

工学ジャーナル 第 11 卷

目 次

指定投稿論文

直交系列生成の理論	大上 健二	1
-----------	-------	---

一般投稿論文

東京湾および伊勢湾における 1961 ~ 2005 年の波浪推算資料を用いた波高の極値の推定	山口 正隆・畑田 佳男 大福 学・野中 浩一	9
1911 ~ 2005 年の巨大ストームに伴う東京湾の風速と波高の極値の推定	山口 正隆・畑田 佳男 大福 学・野中 浩一	42
1921 ~ 2005 年の巨大ストームに伴う伊勢湾の風速と波高の極値の推定	山口 正隆・畑田 佳男 大福 学・野中 浩一	70
瀬戸内海における 1961 ~ 2005 年のストーム時風速・波高分布の再現と極値の評価	山口 正隆・畑田 佳男 大福 学・野中 浩一	93
瀬戸内海における風速・波高の再現確率値の再評価	山口 正隆・畑田 佳男 大福 学・野中 浩一	129
屋久杉の樹脂斑点幅記録より推定された超強風速の出現可能性の検討	山口 正隆・野中 浩一 畑田 佳男	164
主辞駆動句構造文法のための同期文法の実現に向けて	二宮 崇	178
橋梁点検のためのセンサ内蔵支承の開発	全 邦釘	184
下水道管渠流出モデル（スロットモデル）の圧力波伝播速度算定式	魚谷 牧夫・渡辺 政広 右近 雄大・友近 榮治	191

投稿規程等

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程	198
工学ジャーナル論文申込書	200
著作権委譲書	201
愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程第7に定める投稿料等経費について	202
愛媛大学工学部工学ジャーナル論文執筆規程	203
工学ジャーナル投稿原稿の見本	205

Annual Journal of Engineering

vol. 11

CONTENTS

Selected Papers

Generation Theory of Orthogonal Complex Number Sequence Sets	Kenji OHUE	1
--	------------	---

Papers

Estimating Extremes of Wave Heights in Tokyo Bay and Ise Bay Using Wave Hindcast Data for Intense Storms in the 1961-2005 Year Period	Masataka YAMAGUCHI Yoshio HATADA Manabu OHFUKU and Hirokazu NONAKA	9
Estimating Extremes of Wind Speeds and Wave Heights Generated by Intense Storms during the 1911-2005 Year Period in Tokyo Bay	Masataka YAMAGUCHI Yoshio HATADA Manabu OHFUKU and Hirokazu NONAKA	42
Estimating Extremes of Wind Speeds and Wave Heights Generated by Intense Storms during the 1921-2005 Year Period in Ise Bay	Masataka YAMAGUCHI Yoshio HATADA Manabu OHFUKU and Hirokazu NONAKA	70
Estimating Storm-Generated Winds and Waves and their Extremes in the Seto Inland Sea during the 1961-2005 Year Period	Masataka YAMAGUCHI Yoshio HATADA Manabu OHFUKU and Hirokazu NONAKA	93
Re-Evaluation for Return Values of Wind Speeds and Wave Heights in the Seto Inland Sea	Masataka YAMAGUCHI Yoshio HATADA Manabu OHFUKU and Hirokazu NONAKAU	129
Investigating Occurrence Possibility of Super-Strong Wind Speed Estimated Using Width Records of Resin Freckle Left along Annual Rings of 'Yakusugi'	Masataka YAMAGUCHI Hirokazu NONAKA and Yoshio HATADA	164
Towards Synchronous Head-driven Phrase Structure Grammars	Takashi NINOMIYA	178
Development of Sensored Rubber Bearing and its Application for Bridge Health Monitoring	Pang-jo Chun	184
Evaluation Equation of Pressure Wave Speed in SLOT Model of Urban Storm Sewer Runoff Model	Makio UOTANI Masahiro WATANABE Takehiro UKON Eiji TOMOCHIKA	191

直交系列生成の理論

Generation Theory of Orthogonal Complex Number Sequence Sets

大上健二 *

Kenji OHUE *

The four basic problems in generation of orthogonal complex number sequence sets having zero cross-correlation, lowest peak cross-correlation and polyphase elements have been unsolved. In this paper these problems are solved by using Ohue-Okahisa, Ohue-Uto and Alltop theorems for the inverse discrete Fourier transform of Chirp sequences. An application of the orthogonal complex number sequence sets to the smear transform which is an orthogonal transform spreading signals optimally is shown.

Key words : Orthogonal complex number sequence sets, Ohue-Okahisa, Ohue-Uto and Alltop theorems, Zero cross-correlation, Lowest peak cross-correlation, Polyphase elements, Chirp sequences

1. まえがき

スペクトル拡散通信方式, 著作権保護のための電子透かし法及び遠距離レーダや水中音波探知のパルス圧縮法などの拡散符号を構成するために, 直交系列が用いられる. 直交系列の生成においては, **2.** で述べる第一問題から第四問題の 4 つの基本問題が未解決であった. 筆者は大上・岡久の定理 [7] 及び大上・宇戸の定理 [9] を明らかにし, これらの定理と Alltop の定理を用いて直交系列の第二問題から第四問題の基本問題を解いた. 本論文では, 直交系列の 4 つの基本問題の解を示す. チャープ系列を母系列としその逆離散フーリエ変換を施すことにより第二問題から第四問題の特性を有する直交周期複素数系列セットを生成している. また, 一般化されたチャープ系列を定義しこの一般化された母系列を用いて相互相関関数の絶対値を不変とする直交周期複素数系列セットの族を生成している. この直交周期複素数系列セットの族が第二問題から第四問題の特性を有する直交周期複素数系列セットを包含することを用いて, さらに新しい直交周期複素数系列セットを生成している. 最後に, 筆者が提案した拡散能力の最も優れた直交変換であるスミア変換への適用例を示す.

2. 直交系列の未解決の基本問題と解

直交系列の未解決の基本問題と解は以下のとおりである.

直交系列の基本問題

第一問題 : 任意長の擬直交有限系列の生成

* 愛媛大学大学院理工学研究科 (790-8577 愛媛県松山市文京町 3 番)

Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, 3 Bunkyo-cho, Matsuyama, 790-8577 Japan

原稿受理 平成 23 年 10 月 28 日

第二問題：任意周期の多相直交周期系列の生成

第三問題：相互相関関数の絶対値が一様となる任意周期の直交周期系列セットの生成

第四問題：相互相関関数が零範囲を有する任意周期の直交周期系列セットの生成.

直交系列の基本問題の解

第一問題の解——論文 [1]

第二問題の解——論文 [2] , [7] , [8]

第三問題の解——論文 [3] , [6] , [7]

第四問題の解——論文 [4] , [5] , [6] , [7] , [9]

論文

- [1] 大上健二, "鋭い自己相関関数をもつ有限複素数系列の生成法," 信学論 (A), vol. J 76 - A, no. 3, pp.493-499, March 1993.
- [2] 大上健二, 岡久卓也, "チャープ系列に基づく任意周期の多相直交周期系列の生成法", 信学論 (A), vol. J 84 - A, no.8, pp.1054-1062, Aug. 2001.
- [3] 大上健二, "チャープ系列に基づく相互相関の尖頭値が最小な任意周期の直交周期複素数系列セットの生成法", 信学論 (A), vol. J 86 - A, no.3, pp.288-297, March 2003.
- [4] 大上健二, 宇戸寿幸, "周期的な零相互相関範囲を有する任意周期の直交周期複素数系列セットの生成法," 信学論 (A), vol. J 89 - A, no.12, pp.1185-1197, Dec. 2006.
- [5] 大上健二, 宇戸寿幸, "零シフトを含むシフト区間で零相互相関範囲を有する任意周期の直交周期複素数系列セットの生成法," 信学論 (A), vol. J 91 - no.3, pp.411-428, March 2008.
- [6] 大上健二, 宇戸寿幸, "相互相関関数の絶対値を不変とする直交周期複素数系列セットの族," 信学論 (A), vol. J 91 - A, no. 11, pp.1058-1071, Nov. 2008.
- [7] 大上健二, 宇戸寿幸, "大上・岡久の予想の証明," 信学論 (A), vol. J 92 - A, no. 4, pp.246-248, April. 2009.
- [8] 大上健二, 宇戸寿幸, "任意周期の新しい多相直交周期系列の生成法," 信学論 (A), vol. J 92 - A, no. 11, pp.917-920, Nov. 2009.
- [9] 大上健二, 宇戸寿幸, "零相互相関範囲を有する直交周期複素数系列セットの生成に用いた大上・宇戸の予想の証明," 信学論 (A), vol. J 95 - A, no. 2, Feb. 2012 (印刷中).

3. 直交系列生成に用いた定理

直交系列生成の第二問題から第四問題は, 以下の大上・岡久の定理 [7], 大上・宇戸の定理 [9] 及び Alltop の定理 [4] を用いて解かれる.

[大上・岡久の定理]

周期 N が奇数であるとき R が $0 < |R| < N$ を満たす N と互いに素な整数であり, 周期 N が偶数であるとき $2R$ が $0 < |2R| < N$ を満たす N と互いに素な整数であるならば,

$$\left| \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\ell=0}^{N-1} e^{j \frac{2\pi}{N} \{R\ell^2 + k\ell\}} \right| = 1 \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1) \quad (1)$$

となる. ただし, $j = \sqrt{-1}$ である.

[大上・宇戸の定理]

偶数である周期を N_e とし、

$$N_e = 2^{\alpha_0} p_1^{\alpha_1} p_2^{\alpha_2} p_3^{\alpha_3} \cdots p_m^{\alpha_m}$$

と素因数分解されるとする。ただし、 $p_i (i = 1, 2, 3, \dots, m)$ は奇素数であり、 $\alpha_i (i = 0, 1, 2, 3, \dots, m)$ は正整数である。 N_e の約数の集合 \mathbf{H}_{N_e} および $\mathbf{H}_{N_e}^c$ を、それぞれ、

$$\mathbf{H}_{N_e} = \{r \mid r = 2^{\alpha_0} \times d, d \in \{p_1^{\alpha_1} p_2^{\alpha_2} p_3^{\alpha_3} \cdots p_m^{\alpha_m} \text{ の約数} \}\}$$

$$\mathbf{H}_{N_e}^c = \{2^{\alpha_0-1} p_1^{\alpha_1} p_2^{\alpha_2} p_3^{\alpha_3} \cdots p_m^{\alpha_m} \text{ の約数} \}$$

とする。また、 $R \in \{\frac{1}{2}, \frac{2}{2}, \frac{3}{2}, \dots, \frac{N_e-1}{2}\}$ とし、 $\gcd(2R, N_e) = L$ とする。ここで、 $\gcd(\cdot, \cdot)$ は最大公約数を表す。

このとき、 $L \in \mathbf{H}_{N_e}$ かつ $\frac{2R}{L} \in \{2, 4, 6, 8, 10, \dots, p_{min} - 1\}$ であるか、または $L \in \mathbf{H}_{N_e}^c$ であるならば、 $k = 0, 1, 2, 3, \dots, N_e - 1$ に対して、

$$\left| \frac{1}{N_e} \sum_{h=0}^{N_e-1} e^{j \frac{2\pi}{N_e} \{R \cdot h^2 + kh\}} \right| = \begin{cases} \sqrt{\frac{L}{N_e}} & (k \equiv 0 \pmod{L}) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (2)$$

となる。ただし、 p_{min} は $\frac{N_e}{L}$ の最小素因数であり奇素数である。

また、 $L \in \mathbf{H}_{N_e}$ かつ $\frac{2R}{L} \in \{1, 3, 5, 7, 9, \dots, p_{min} - 2\}$ であるならば、 $k = 0, 1, 2, 3, \dots, N_e - 1$ に対して、

$$\left| \frac{1}{N_e} \sum_{h=0}^{N_e-1} e^{j \frac{2\pi}{N_e} \{R \cdot h^2 + kh\}} \right| = \begin{cases} \sqrt{\frac{L}{N_e}} & (k \equiv \frac{L}{2} \pmod{L}) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (3)$$

となる..

[Alltop の定理]

奇数である周期を N_o とし、 $R \in \{1, 2, 3, \dots, N_o - 1\}$ とする。 $\gcd(R, N_o) = L$ であるならば、 $k = 0, 1, 2, 3, \dots, N_o - 1$ に対して、

$$\left| \frac{1}{N_o} \sum_{h=0}^{N_o-1} e^{j \frac{2\pi}{N_o} \{R \cdot h^2 + kh\}} \right| = \begin{cases} \sqrt{\frac{L}{N_o}} & (k \equiv 0 \pmod{L}) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (4)$$

となる。

4. 直交系列の生成法

(1) 擬直交有限複素数系列の生成

要素の絶対値が零でない任意長の直交有限複素数系列の生成法は存在しない。そこで、任意長の擬直交有限複素数系列を以下に求める。今、長さが奇数 N_o である有限複素数系列 $\mathbf{Z}_{N_o}(\alpha)$ を生成する母関数 $G_{N_o}^\alpha(\omega)$ を

$$G_{N_o}^\alpha(\omega) = e^{j\alpha \frac{(N_o-1)T}{\tau_{max}} \theta'(\omega)} \quad (5)$$

とする. ここで, α は位相係数であり, $\theta'(\omega)$ は $-\frac{\pi}{T} \leq \omega \leq \frac{\pi}{T}$ を一周期とする周期関数である. また, τ_{max} は $\theta'(\omega)$ の最大遅延偏差であり,

$$\tau_{max} = \max_{|\omega| \leq \frac{\pi}{T}} \left\{ \frac{d\theta'(\omega)}{d\omega} \right\} - \min_{|\omega| \leq \frac{\pi}{T}} \left\{ \frac{d\theta'(\omega)}{d\omega} \right\} \quad (6)$$

である.

この母関数 $G_{N_o}^\alpha(\omega)$ より生成される有限複素数系列を

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}_{N_o}(\alpha) = & [Z_{-\frac{N_o-1}{2}}(\alpha), Z_{-\frac{N_o-1}{2}+1}(\alpha), Z_{-\frac{N_o-1}{2}+2}(\alpha), \dots, Z_{-2}(\alpha), Z_{-1}(\alpha), Z_0(\alpha), Z_1(\alpha), Z_2(\alpha), \\ & \dots, Z_{\frac{N_o-1}{2}-1}(\alpha), Z_{\frac{N_o-1}{2}}(\alpha)] \end{aligned} \quad (7)$$

とする. ここで, 要素 $Z_k(\alpha)$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm \frac{N_o-1}{2}$) は,

$$Z_k(\alpha) = \frac{T}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{T}}^{\frac{\pi}{T}} G_{N_o}^\alpha(\omega) e^{jk\omega T} d\omega \quad (8)$$

である [1].

そこで, $0 < \alpha < 1$ かつ $\alpha \approx 1$ を満たす位相係数 α の値を ξ とすると, $0 < \alpha \leq \xi$, $N_o \gg 0$ における有限複素数系列 $\mathbf{Z}_{N_o}(\alpha)$ は鋭い自己相関関数をもつ有限複素数系列となる [1]. 長さが偶数 N_e である有限複素数系列 $\mathbf{Z}_{N_e}(\alpha)$ は, 式 (7) の系列 $\mathbf{Z}_{N_o}(\alpha)$ の最初の要素 $Z_{-\frac{N_o-1}{2}}(\alpha)$ または最後の要素 $Z_{\frac{N_o-1}{2}}(\alpha)$ を除いて構成する.

(2) 多相直交周期系列セットの生成

位相係数が R であるチャープ系列 $\mathbf{G}_N(R) = [G_0(R), G_1(R), G_2(R), \dots, G_{N-1}(R)]$ を逆離散フーリエ変換して生成される, 周期が N である周期複素数系列を $\mathbf{Z}_N(R) = [Z_0(R), Z_1(R), Z_2(R), \dots, Z_{N-1}(R)]$ とする [2]~[5]. そうすると, 周期複素数系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ は直交周期複素数系列となり, その要素 $Z_k(R)$ は,

$$\begin{aligned} Z_k(R) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\ell=0}^{N-1} G_\ell(R) e^{j\frac{2\pi k\ell}{N}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\ell=0}^{N'} e^{j\frac{2\pi}{N}\{R\ell^2\}} e^{j\frac{2\pi k\ell}{N}} \\ &\quad + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\ell=N'+1}^{N-1} e^{j\frac{2\pi}{N}\{R(N-\ell)^2\}} e^{j\frac{2\pi k\ell}{N}} \\ &\quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1) \end{aligned} \quad (9)$$

となる [2]~[5]. ここで,

$$N' = \begin{cases} \frac{N-1}{2} & (N = \text{奇数}) \\ \frac{N}{2} & (N = \text{偶数}) \end{cases} \quad (10)$$

である.

今, 周期 N が奇数であるとき R が $0 < |R| < N$ を満たす N と互いに素な整数であり, 周期 N が偶数であるとき $2R$ が $0 < |2R| < N$ を満たす N と互いに素な整数であるならば, 直交周期複素数系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ の要素の絶対値 $|Z_k(R)|$ は, 大上・岡久の定理と式 (9) より,

$$\begin{aligned} |Z_k(R)| &= \left| \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\ell=0}^{N-1} e^{j\frac{2\pi}{N}\{R\ell^2+k\ell\}} \right| \\ &= 1 \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1) \end{aligned} \quad (11)$$

となる [2]. したがって, 式 (11) で表される要素 $Z_k(R)$ ($k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$) で構成される直交周期複素数系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ は多相直交周期系列となる. すなわち, 生成される周期が N である多相直交周期系列セット \mathcal{S}_N は,

$$\mathcal{S}_N = \{\mathbf{Z}_N(R) \mid R \in \mathcal{V}(N)\} \quad (12)$$

となる [2], [8]. ここで, 位相係数の集合 $\mathcal{V}(N)$ は,

$$\mathcal{V}(N) = \begin{cases} \{R \mid \gcd(|R|, N) = 1, |R| \in \{1, 2, 3, \dots, N-1\}\} & (N = \text{奇数}) \\ \{R \mid \gcd(|2R|, N) = 1, |2R| \in \{1, 2, 3, \dots, N-1\}\} & (N = \text{偶数}) \end{cases} \quad (13)$$

である. 多相直交周期系列セット \mathcal{S}_N の大きさは, N のオイラーの関数の値に等しい.

今, 周期が N であるチャープ系列 $\mathbf{G}_N(R)$ を一般化したチャープ系列 $\mathbf{G}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R)$ を,

$$\mathbf{G}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R) = [G_0^{\mu, \gamma, \delta}(R), G_1^{\mu, \gamma, \delta}(R), G_2^{\mu, \gamma, \delta}(R), \dots, G_{N-1}^{\mu, \gamma, \delta}(R)] \quad (14)$$

とする [6]. ここで, $\mathbf{G}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R)$ の要素 $G_h^{\mu, \gamma, \delta}(R)$ ($h = 0, 1, 2, \dots, N-1$) は,

$$G_h^{\mu, \gamma, \delta}(R) = \begin{cases} e^{j \frac{2\pi}{N} R \{(h-\gamma)^2 + \delta\}} & (h = 0, 1, 2, \dots, \mu) \\ e^{j \frac{2\pi}{N} R \{(N-(h-\gamma))^2 + \delta\}} & (h = \mu+1, \mu+2, \mu+3, \dots, N-1) \end{cases} \quad (15)$$

$((\mu, \gamma, \delta) \in \mathcal{N} \times \mathcal{N} \times \mathcal{R})$

である. $\mathcal{N} = \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$ であり, \mathcal{R} は実数の集合である.

一般化されたチャープ系列 $\mathbf{G}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R)$ を逆離散フーリエ変換することにより導出される直交周期複素数系列を

$$\mathbf{Z}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R) = [Z_0^{\mu, \gamma, \delta}(R), Z_1^{\mu, \gamma, \delta}(R), Z_2^{\mu, \gamma, \delta}(R), \dots, Z_{N-1}^{\mu, \gamma, \delta}(R)] \quad (16)$$

$((\mu, \gamma, \delta) \in \mathcal{N} \times \mathcal{N} \times \mathcal{R})$

とする. ここで, $\mathbf{Z}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R)$ の要素 $Z_k^{\mu, \gamma, \delta}(R)$ は, 式 (15) より,

$$\begin{aligned} Z_k^{\mu, \gamma, \delta}(R) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{h=0}^{N-1} G_h^{\mu, \gamma, \delta}(R) e^{j \frac{2\pi k h}{N}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{h=0}^{\mu} e^{j \frac{2\pi}{N} R \{(h-\gamma)^2 + \delta\}} e^{j \frac{2\pi k h}{N}} \\ &\quad + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{h=\mu+1}^{N-1} e^{j \frac{2\pi}{N} R \{(N-(h-\gamma))^2 + \delta\}} e^{j \frac{2\pi k h}{N}} \end{aligned} \quad (17)$$

$(k = 0, 1, 2, \dots, N-1)$

である.

この一般化されたチャープ系列 $\mathbf{G}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R)$ を用いて生成した一般化された多相直交周期系列セット $\hat{\mathcal{S}}_N$ は,

$$\hat{\mathcal{S}}_N = \{\mathbf{Z}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R) \mid R \in \mathcal{V}(N), (\mu, \gamma, \delta) \in \mathcal{N} \times \mathcal{R}\} \quad (18)$$

となる [8]. この一般化された多相直交周期系列セット $\hat{\mathcal{S}}_N$ は, 式 (12) の多相直交周期系列セット \mathcal{S}_N を包含し $\hat{\mathcal{S}}_N \supset \mathcal{S}_N$ となる.

(3) 相互相関の尖頭値が最小な直交周期複素数系列セットの生成

異なる位相係数 R と R' に対応するチャープ系列 $\mathbf{G}_N(R)$ と $\mathbf{G}_N(R')$ をそれぞれ逆離散フーリエ変換して生成される直交周期複素数系列を $\mathbf{Z}_N(R)$ と $\mathbf{Z}_N(R')$ とする. そうすると, 直交周期複素数系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ と $\mathbf{Z}_N(R')$ の相互相関関数 $\varphi_{\mathbf{Z}_N(R)\mathbf{Z}_N(R')}(k)$ は,

$$\begin{aligned}\varphi_{\mathbf{Z}_N(R)\mathbf{Z}_N(R')}(k) &= \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^{N-1} Z_{(k+\ell) \bmod N}(R) \cdot \overline{Z_{\ell}(R')} \\ &= \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^{N-1} G_{\ell}(R) \cdot \overline{G_{\ell}(R')} \cdot e^{j\frac{2\pi k\ell}{N}} \\ &\quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1)\end{aligned}\tag{19}$$

となる [3].

今, 周期 N が奇数であるとき $(R - R')$ が $0 < |R - R'| < N$ を満たす整数であり, 周期 N が偶数であるとき $2(R - R')$ が $0 < 2|R - R'| < N$ を満たす整数であるならば, 直交周期複素数系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ と $\mathbf{Z}_N(R')$ の相互相関関数の絶対値 $|\varphi_{\mathbf{Z}_N(R)\mathbf{Z}_N(R')}(k)|$ は, 式 (9), (19) より,

$$\begin{aligned}|\varphi_{\mathbf{Z}_N(R)\mathbf{Z}_N(R')}(k)| &= \left| \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^{N-1} e^{j\frac{2\pi}{N}\{(R-R')\ell^2+k\ell}\} \right| \\ &\quad (k = 0, 1, 2, \dots, N-1)\end{aligned}\tag{20}$$

となる [3].

したがって, 周期 N が奇数であるとき $(R - R')$ が $0 < |R - R'| < N$ を満たす N と互いに素な整数であり, 周期 N が偶数であるとき $2(R - R')$ が $0 < 2|R - R'| < N$ を満たす N と互いに素な整数であるならば, 直交周期複素数系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ と $\mathbf{Z}_N(R')$ の相互相関関数の絶対値 $|\varphi_{\mathbf{Z}_N(R)\mathbf{Z}_N(R')}(k)|$ は, 大上・岡久の定理と式 (20) より,

$$\begin{aligned}|\varphi_{\mathbf{Z}_N(R)\mathbf{Z}_N(R')}(k)| &= \left| \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^{N-1} e^{j\frac{2\pi}{N}\{(R-R')\ell^2+k\ell}\} \right| \\ &= \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (k = 0, 1, 2, \dots, N-1)\end{aligned}\tag{21}$$

となる [3]. よって, 式 (21) で表される相互相関関数をもつ直交周期複素数系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ と $\mathbf{Z}_N(R')$ は相互相関の尖頭値が最小な直交周期複素数系列対となる [3]. すなわち, 奇数周期及び偶数周期をそれぞれ N_o 及び N_e とすると, 生成される相互相関の尖頭値が最小な奇数周期及び偶数周期の直交周期複素数系列セット \mathcal{S}_{N_o} 及び \mathcal{S}_{N_e} は, それぞれ,

$$\mathcal{S}_{N_o} = \{\mathbf{Z}_{N_o}(R) \mid R \in \{\ell + a, \ell = 0, 1, 2, \dots, q_{min} - 1\}\}\tag{22}$$

$$\mathcal{S}_{N_e} = \{\mathbf{Z}_{N_e}(R) \mid R \in \{\frac{\ell + b}{2}, \ell = 0, 1\}\}\tag{23}$$

となる [3], [6]. ここで, q_{min} は N_o の最小素因数であり, a 及び b は実数である.

(4) 零相互相関範囲を有する直交周期複素数系列セットの生成

系列セットの任意の異なる2つの要素である系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ と $\mathbf{Z}_N(R')$ の相互相関関数の絶対値 $|\varphi_{\mathbf{Z}_N(R)\mathbf{Z}_N(R')}(k)|$ ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$) が

$$\begin{aligned}|\varphi_{\mathbf{Z}_N(R)\mathbf{Z}_N(R')}(k)| &= \left| \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^{N-1} e^{j\frac{2\pi}{N}\{(R-R')\ell^2+k\ell}\} \right| \\ &= \begin{cases} \sqrt{\frac{L}{N}} & (k \equiv 0 \pmod{L}) \\ 0 & (otherwise) \end{cases}\end{aligned}\tag{24}$$

を満たす系列セット $\mathbf{S}_N^A(L-1)$ を, タイプ A の零相互相関範囲をもち零相互相関範囲の大きさが $L-1$ である直交周期複素数系列セットと呼ぶ [4]. また, 系列セットの任意の異なる 2 つの要素である系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ と $\mathbf{Z}_N(R')$ の相互相関関数の絶対値が

$$\begin{aligned} |\varphi_{\mathbf{Z}_N(R)\mathbf{Z}_N(R')}(k)| &= \left| \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^{N-1} e^{j\frac{2\pi}{N}\{(R-R')\ell^2+k\ell}\} \right| \\ &= \begin{cases} \sqrt{\frac{L}{N}} & (k \equiv \frac{L}{2} \pmod{L}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \end{aligned} \quad (25)$$

を満たす系列セット $\mathbf{S}_N^B(L-1)$ を, タイプ B の零相互相関範囲をもち零相互相関範囲の大きさが $L-1$ である直交周期複素数系列セットと呼ぶ [4].

式 (24) のタイプ A の相互相関関数をもつ直交周期複素数系列セット $\mathbf{S}_N^A(L-1)$ の生成においては, 式 (2) 及び式 (4) が成立するという大上・宇戸の定理及び Alltop の定理が用いられており, 式 (25) のタイプ B の相互相関関数をもつ直交周期複素数系列セット $\mathbf{S}_N^B(L-1)$ の生成においては, 式 (3) が成立するという大上・宇戸の定理が用いられている [4], [6]. すなわち, 周期的な零相互相関範囲を有する任意の奇数周期の直交周期複素数系列セット $\mathbf{S}_{N_o}^A(\frac{N_o}{q_i} - 1)$ は,

$$\mathbf{S}_{N_o}^A(\frac{N_o}{q_i} - 1) = \{\mathbf{Z}_{N_o}(R) \mid R \in \{\frac{(\ell+a)N_o}{q_i}, \ell = 0, 1, 2, \dots, q_i - 1\}\} \quad (26)$$

となる [4], [6]. ここで, q_i は N_o の素因数であり, a は実数である.

周期的な零相互相関範囲を有する任意の偶数周期の直交周期複素数系列セット $\mathbf{S}_{N_e, I}^A(\frac{N_e}{p_i} - 1)$, $\mathbf{S}_{N_e, II}^A(\frac{N_e}{p_i} - 1)$, $\mathbf{S}_{N_e, III}^B(\frac{N_e}{p_i} - 1)$ 及び $\mathbf{S}_{N_e, IV}^A(\frac{N_e}{2} - 1)$ は, それぞれ,

$$\mathbf{S}_{N_e, I}^A(\frac{N_e}{p_i} - 1) = \{\mathbf{Z}_{N_e}(R) \mid R \in \{\frac{(\ell+b)N_e}{2p_i}, \ell = 0, 2, 4, 6, \dots, p_i - 1\}\} \quad (27)$$

$$\mathbf{S}_{N_e, II}^A(\frac{N_e}{p_i} - 1) = \{\mathbf{Z}_{N_e}(R) \mid R \in \{\frac{(\ell+b)N_e}{2p_i}, \ell = 1, 3, 5, 7, \dots, p_i - 2\}\} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{N_e, III}^B(\frac{N_e}{p_i} - 1) &= \{\mathbf{Z}_{N_e}(R), \mathbf{Z}_{N_e}(R')\} (R \in \{\frac{(\ell+b)N_e}{2p_i}, \ell = 0, 2, 4, 6, \dots, p_i - 1\}, \\ &R' \in \{\frac{(\ell+b)N_e}{2p_i}, \ell = 1, 3, 5, 7, \dots, p_i - 2\}) \end{aligned} \quad (29)$$

$$\mathbf{S}_{N_e, IV}^A(\frac{N_e}{2} - 1) = \{\mathbf{Z}_{N_e}(R) \mid R \in \{\frac{(\ell+b)N_e}{4}, \ell = 0, 1\}\} \quad (30)$$

となる [4], [6]. ここで, p_i は N_e の 2 以外の素因数であり, b は実数である.

零シフトを含むシフト区間で零相互相関範囲を有する任意周期の直交周期複素数系列セットは, タイプ B の零相互相関範囲をもつ直交周期複素数系列セット $\mathbf{S}_N^B(L-1)$ であり, また, タイプ A の零相互相関範囲をもつ直交周期複素数系列セット $\mathbf{S}_N^A(L-1)$ を用いてその要素である系列を巡回置換することにより生成した [5], [6].

(5) 直交周期複素数系列セットの族の生成

式 (14) で表される一般化されたチャープ系列 $\mathbf{G}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R)$ を逆離散フーリエ変換することにより導出される直交周期複素数系列セットを $\{\mathbf{Z}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R)\}$ とする. この直交周期複素数系列セット $\{\mathbf{Z}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R)\}$ を用いて構成される直交周期複素数系列セットの族 $\{\{\mathbf{Z}_N^{\mu, \gamma, \delta}(R)\}, (\mu, \gamma, \delta) \in \mathcal{N} \times \mathcal{N} \times \mathcal{R}\}$ は, 相互相関関数の絶対値が (μ, γ, δ) -不変である直交周期複素数系列セットの族となる [6]. そこで, 式 (22), (23), (26)~(30) で表される直交周期複素数系列セットがこれらの直交周期複素数系列セットの族の要素であることを用いて, さ

らに新しい4.の(3),(4)の相互相関特性をもつ直交周期複素数系列セットを生成した[6].

5. スミア変換への適用

ここで生成した直交周期複素数系列 $\mathbf{Z}_N(R)$ を用いて筆者が提案した拡散能力の最も優れた直交変換であるスミア変換を構成することができる. 入力複素数系列を $\mathbf{x} = [x_0, x_1, x_2, \dots, x_{N-1}]$, スミア変換された拡散複素数系列を $\mathbf{y} = [y_0, y_1, y_2, \dots, y_{N-1}]$ とすると, スミア変換対は,

$$\mathbf{y}^t = \mathbf{S} \cdot \mathbf{x}^t \quad (31)$$

$$\mathbf{x}^t = \mathbf{D} \cdot \mathbf{y}^t \quad (32)$$

となる. ここで, \mathbf{S} はスミア変換行列であり,

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\sqrt{N}} [\sigma^0(\mathbf{Z}_N(R))^t, \sigma^1(\mathbf{Z}_N(R))^t, \sigma^2(\mathbf{Z}_N(R))^t, \dots, \sigma^{N-1}(\mathbf{Z}_N(R))^t] \quad (33)$$

である. $\sigma^k(\cdot)$ は k -右巡回置換を表す[5]. 記号 t は転置である. また, \mathbf{D} はデスミア変換行列であり $\mathbf{D} = \overline{\mathbf{S}}^t$ である. 記号 $\bar{\cdot}$ は複素共役である. $\mathbf{Z}_N(R)$ は直交周期複素数系列であるので $\mathbf{D} \cdot \mathbf{S} = \mathbf{E}$ が成り立つ. ここで, \mathbf{E} は単位行列である. すなわち, 入力複素数系列にスミア変換を施して得られる拡散複素数系列にデスミア変換を施すと, 元の入力複素数系列に完全に復元される. 一方, 拡散複素数系列に加算された複素信号はデスミア変換が施され, 復元された系列全体に拡散される.

6. むすび

ここで述べた相互相関特性をもつ任意周期の直交周期複素数系列セットは群遅延特性が線形であるチャープ系列を母系列とする場合に限り生成できる. このチャープ系列は周波数スペクトルの振幅値が一様である単一インパルスをもつ直交周期複素数系列の母系列である. 一般に周波数スペクトルが $[r_k]$ である信号系列を最適に拡散する直交周期複素数系列はその周波数 k における群遅延特性の傾斜をその周波数 k における信号系列のパワースペクトル値 $|r_k|^2$ に比例するように母系列の位相特性 $[\theta_k]$ を定義することにより構成できる. その場合ここで述べたような相互相関特性をもつ任意周期の直交周期複素数系列セットの生成法を構成することはできない. また, 本論文で求めた任意周期の直交周期系列の生成法は直交周期複素数系列の生成法であり複素数の世界で成り立つ. 実数の世界は複素数の世界を鏡で写した世界であるので, 実数の世界における本論文で述べた特性を有する任意周期の直交周期実数系列セットの生成法を構成することはできない.

東京湾および伊勢湾における1961～2005年の波浪推算資料を用いた 波高の極値の推定

Estimating Extremes of Wave Heights in Tokyo Bay and Ise Bay Using Wave Hindcast Data for Intense Storms in the 1961-2005 Year Period

山口正隆*・畑田佳男**・大福 学***・野中浩一***

Masataka YAMAGUCHI*, Yoshio HATADA**,
Manabu OHFUKU*** and Hirokazu NONAKA***

Shallow water wave hindcasting for each of around 100 intense storms in the past 45 years from 1961 to 2005 is conducted independently in Tokyo Bay and Ise Bay. Input wind distributions are made by applying a method developed by Yamaguchi et al.(2009) to the SDP wind data acquired at on-land meteorological stations around Tokyo Bay and Ise Bay respectively. Comparison between hindcasts and measurements for many cases of the time-varying wave height and its peak wave height during a storm at several stations shows that the wave model yields a reasonable estimation in the outer area of each bay and a slight over-estimation in the inner area of each bay. An analysis of the error indices confirms the above-mentioned tendency. An extreme value analysis is performed to obtain 50-year return wave height H_{50} in both bays. In Tokyo Bay, the H_{50} value ranges from 8 m in the open sea-connecting area to 5 m in the entrance area and a 3 m contour line of the wave height covers a wide area in the inner bay area. In Ise Bay, the H_{50} value decreases from 13 m to 6~7 m in the outer area facing open sea and a 5 m contour line of the wave height spreads over a wide area in the inner bay area.

Key Words ; Tokyo Bay, Ise Bay, wave height, intense storms, year period of 1961-2005, the largest value and 50-year return value

1. 緒 言

わが国の内湾を代表し、人口や産業が過度の集中状態にある東京湾や伊勢湾において、波浪の最大規模を適正に評価することは沿岸部の防護および海岸・港湾構造物の合理的設計のためにきわめて重要な課題の1つである。これに関連する既往の研究を概観すると、東京湾においては、多数ケースの

*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

**愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

***愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成23年10月5日

モデル台風に対する波浪推算の研究が古くは佐々木・五十嵐^[1]、近年では気象協会^[2]により、特定の既往台風および20ケースの既往台風に対する波浪推算の研究がそれぞれ岡田・磯崎^[3]と岡田ら^[4]、および河合ら^[5]により、台風渦位ボーガス手法と大気・海洋・波浪結合モデルを用いた現在気候下および今世紀末気候下における可能最大台風による高潮・波高の推定が村上ら^[6]、^[7]により行われている。また、2～4年間の波浪に対する推算研究が橋本ら^[8]、^[9]や川口ら^[10]により、26年間および45年間の波浪に対する推算研究がそれぞれ日野ら^[11]および山口ら^[12]、^[13]、^[14]により実施されている。しかし、確率波高などの波高の極値を推定した研究事例は論文として公表されていない。

一方、伊勢湾においては、伊勢湾台風に対する波浪の推算研究が古くは井島ら^[15]や岩垣・柿沼^[16]により、近年では柴木ら^[17]、小林ら^[18]により、多数ケースのモデル台風に対する波浪の推算研究が気象協会^[19]により、8～9ケースの既往台風に対する波浪の推算研究が佐藤ら^[20]により、東京湾の場合と同様に台風渦位ボーガス手法と大気・海洋・波浪結合モデルを用いた現在気候下と今世紀末気候下における可能最大台風に伴う高潮・波高の推定研究が吉野ら^[21]、村上ら^[22]、^[23]により実施され、また1年間にわたる波浪の推算研究が小林ら^[24]により、9年間および45年間の長期波浪の推算研究がそれぞれ山口ら^[25]および山口ら^[14]、^[26]により行われているが、確率波高などの波高の極値についての推定結果を記載した論文はない。唯一の例外は国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港調査事務所^[27]によってインターネット上で公表されている伊勢湾内5地点における確率波高の推定結果であり、WAMを用いた波浪推算資料に基づく50年確率波高がSMB法およびパラメータ法に基づく結果とともに掲載されている。

以上のように、東京湾および伊勢湾において確率波高で代表される波高の極値を推定した結果はほとんど公表されていない。なお、山口ら^[28]、^[29]は東京湾から伊勢湾を経て大阪湾を含む瀬戸内海に至る内湾・内海における複数の地点で取得された風速・波高・高潮偏差資料に対する極値統計解析を行って50年確率風速・波高と200年確率高潮偏差の推定値を得ている。しかし風速・波高に関しては、それらの観測資料の期間が短いことから、1970年代以前の巨大台風に伴う異常な強風・高波を考慮すると、風速・波高の再現確率値の推定値の信頼性に問題を残していると推測される。

こうした現状から、本研究では、東京湾を含む関東沿岸海域や伊勢湾の周辺に位置する気象庁気象官署における風観測資料を主に用いて作成した1961～2005年45年間1時間ごとの両海域における海上風分布のデータセット^[30]、^[31]から100ケース前後のストームを抽出したのち、個々のストームに対する浅海波浪推算を実施し、観測波高資料との広範な比較から波浪推算の妥当性を評価するとともに、波浪推算資料から得た年別最大波高資料に対する極値統計解析の結果に基づいて、期間最大波高および50年確率波高の空間分布の特性を包括的に調べる。

2. 波浪推算と極値統計解析の方法

2.1 海上風分布資料

波浪推算にあたり、外洋および内湾でそれぞれ海上風分布資料を用意する。すなわち、外洋では北西太平洋に設けた格子間隔80kmの格子網における表面風解析値(NCEP風資料)に、中心気圧980hPaの台風に対して楕円型気圧分布の仮定に基づく台風モデル風を埋め込んだ海上風分布の1時間間隔値^[32]を用いる。台風モデル風の計算では海上風への換算に際して台風半径相当距離地点で1を取り、遠方場で0.6に漸近する係数を乗じて台風中心付近の風速の増強をはかる。台風モデル風の埋込みは、台風モデル風速がNCEP風速より大きい場合にそのままの値を用いて行う。対象期間は1948～2008年の61年のうち、内湾の海上風分布資料が得られる1961～2005年の45年である。

内湾では、Fig. 1に示すように関東沿岸海域および伊勢湾を囲む気象官署で取得された風観測資料、すなわちSDP(Surface Data Product)風資料および対象領域の外洋境界上の複数地点における台風モ

デル風を埋め込んだ NCEP 風資料を入力条件として、対象領域内に位置する海上・沿岸観測地点の観測相当風を推定したのち、空間補間法の適用によってそれぞれの領域に設けた格子間隔 2 km の格子網（各図の外側の点線枠内、関東沿岸海域では 100×91 の領域、伊勢湾では 48×53 の領域）上で海上風分布を求めるとともに、方法の詳細

は山口ら^{[29], [30]}で述べている。期間は電子データが入手可能な 1961 年を開始年として 2005 年までの 45 年、時間間隔は 1 時間である。東京湾を対象とした波浪推算では、関東沿岸海域における海上風分布から Fig. 1 左側の図の最も内側の枠内に示す東京湾領域(37×26)における海上風分布を取り出す。これは海上風分布の作図範囲でもある。同様に、伊勢湾では最も内側の点線枠内の領域 (40×40) を海上風分布の作図範囲とする。

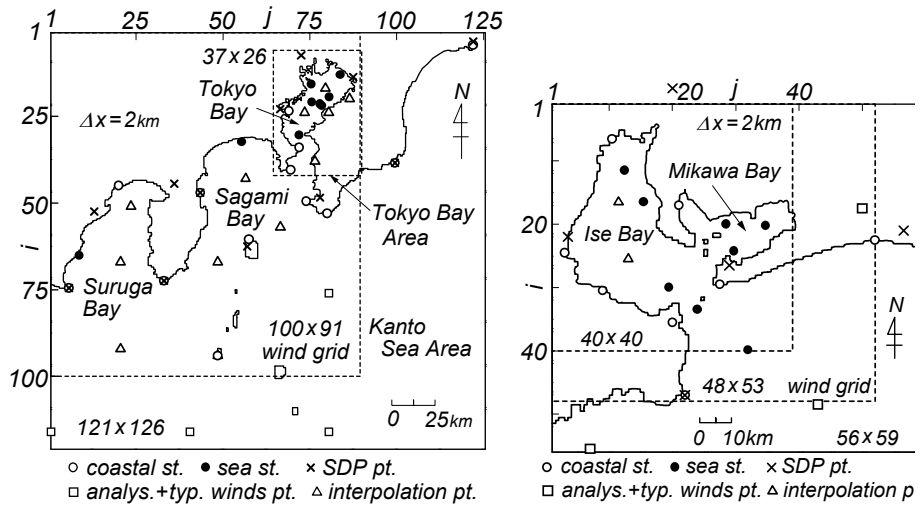


Fig. 1 Location of points where wind data are given in the Kanto Sea Area or Ise Bay for estimating sea wind distribution.

2.2 波浪推算の方法

内湾（東京湾、伊勢湾）を対象とした波浪推算は外洋に接続する境界上の複数地点における方向スペクトルの計算値を流入境界条件として、SDP 風資料による海上風分布を入力条件に与えて実施する。Fig. 2 に示すように、東京湾の外洋境界上の 4 地点（図中の○印）における波浪推算では、格子間隔 5 km の北西太平洋領域に駿河湾・相模湾・東京湾とその沖合海域からなる格子間隔 1 km の関東沿岸海

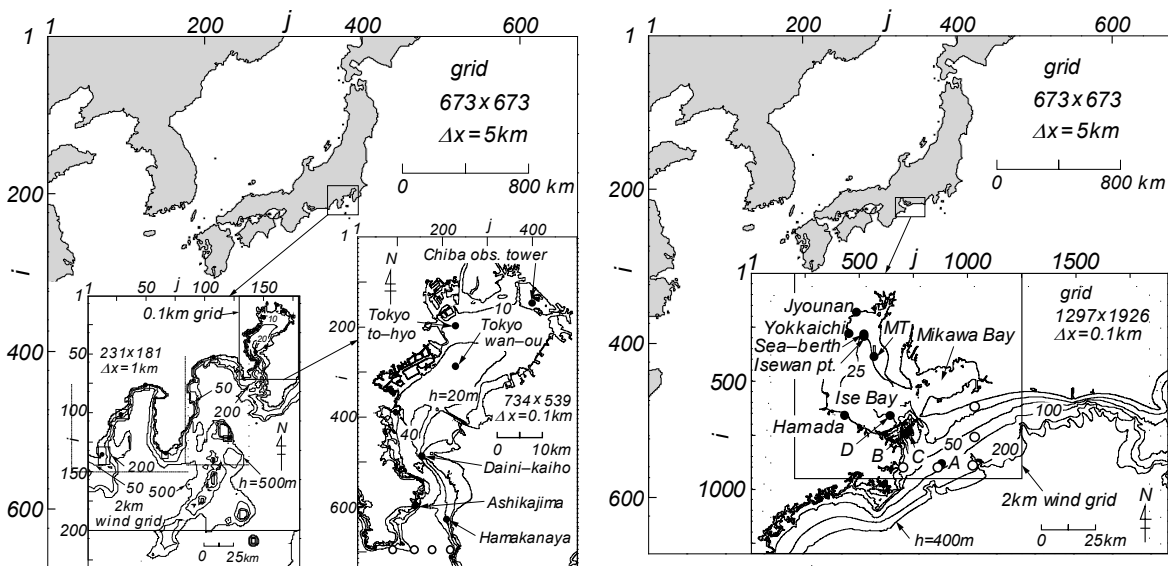


Fig. 2 A nested grid used in wave hindcasting at points along open boundary of Tokyo Bay or Ise Bay by use of backward ray tracing model.

域, さらにこれに格子間隔 0.1 km の東京湾を組み込んだ 3 段階水深格子網を用いる。伊勢湾の外洋境界上の 5 地点 (図中の○印) における波浪推算でも, 格子間隔 5 km の北西太平洋領域に格子間隔 0.1 km の伊勢湾を組み込んだ 2 段階格子網を用いる。入力条件とする海上風は, 外洋領域では台風モデル風を埋め込んだ NCEP 風資料, 関東沿岸海域と伊勢湾ではそれぞれ SDP 風資料に基づく内湾海上風である。

波浪推算は 1 点浅海モデル^[33]により行い, 各波浪推算地点において 1 時間ごとの方向スペクトルを求める。周波数データの個数は 0.047~1 Hz 間を不等分割した 20 個, 方向データの個数は全平面を 20° で等分割した 19 個である。計算期間は, 遠方から到達するうねり性波浪を評価するために, 内湾における計算開始時点より少なくとも 1 週間前から内湾における計算終了時点までとする。

内湾における波浪推算には, 砕波減衰エネルギーを段波モデルで評価した格子点浅海モデル^{[34], [35]}を適用する。周波数・方向データは境界地点における波浪推算で用いたものと同じである。Fig. 3 は格子間隔 1 km で近似した東京湾 (69 × 54 に分割) および伊勢湾 (80 × 77 に分割) を示す。それぞれの図には, 波浪観測地点 (●印) および外洋に接続する境界上に設けた

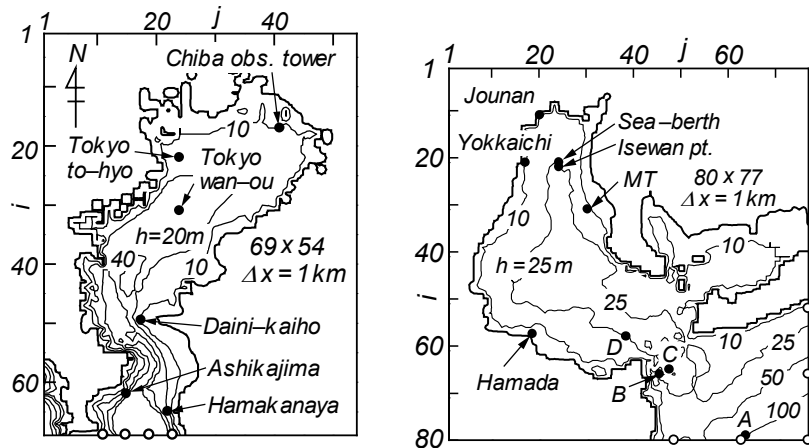


Fig. 3 Grid set on Tokyo Bay or Ise Bay used in wave hindcasting and name of measurement station.

流入境界地点 (○印, 東京湾で 4 地点, 伊勢湾で 5 地点) を与える。波浪推算の時間間隔は 1 分, 海上風の入力時間間隔は 20 分であり, 海上風分布の 1 時間間隔資料を 20 分ごとに線形補間, 空間に関して 4 点双 1 次補間 (実際には 4 つの格子点値の平均) して 1 km 格子網上で得た海上風分布を 20 分の間不変として計算を進める。外洋に接続する境界上の各格子点では, 境界 4 地点 (東京湾) あるいは 5 地点 (伊勢湾) において 1 点浅海モデルにより計算した 1 時間ごとの方向スペクトルを 1 分間隔で線形補間するとともに, 1 km ごとに線形補間して与える。また, 外洋に接続する境界上格子点において流出方向には方向スペクトルの完全流出条件を課し, 陸地境界格子点では方向スペクトルの値を 0 とする。

2.3 波浪推算対象ストームの選択

波浪推算の対象とするストームは, 外洋では台風モデル風を埋め込んだ NCEP 風資料, 内湾では SDP 風資料に基づく海上風分布を入力条件として, 上述した高地形解像度格子網で 1 点浅海モデルを用いて東京湾内外および伊勢湾内外の波浪観測地点 (Fig. 3) や任意に設けた複数の地点で得た 45 年間 1 時間ごとの波浪推算結果^[14]を主体とし, 風・波浪・高潮偏差の観測資料や天気図などを包括的に考慮して東京湾と伊勢湾で別々に決める。ストームの期間は 2~4 日, 1961~2005 年の 45 年間においてケース数は東京湾で 94 ケース (台風 38 ケース, その他のストーム 56 ケース), 伊勢湾で 104 ケース (台風 67 ケース, その他のストーム 37 ケース) である。対象ストームに占める台風の割合は東京湾で約 40 %, 伊勢湾で約 64 % であるから, 台風の経路特性を反映して伊勢湾で多い。東京湾と伊勢湾で共通するストームは 34 ケースであり, 意外に少ない。これは S~SW 方向を外洋に開いた東京湾と

S~ESE 方向を外洋に開いた伊勢湾の地理的状況の相違, および両湾における湾軸方向と卓越風向の相違によるものであろう。

2.4 極値統計解析の方法

極値統計解析には, 合田^[36]によるモデルを変更した Yamaguchi・Hatada^[37]のモデルを用いる。これは候補分布を Gumbel 分布, Weibull 分布(形状母数 $k=0.5\sim 10$ の 27 種類), FT-II 型分布(形状母数 $k=2.5\sim 40$ の 20 種類) の計 48 種類とし, 順序統計量の非超過確率の評価を合田^[36]のプロットング公式, 尺度母数と位置母数の推定を最小 2 乗法, 最適分布の選択を最大相関係数基準, 確率波高の分散(平方根は標準偏差)の推定を jackknife 法による。候補分布の数を増加させるとともに, 分散推定に jackknife 法を導入した点が合田^[36]のモデルと異なる。

本モデル^[37]は合田^[36]のモデルと同様に下限 censoring を受けた年別最大値資料と極大値資料の両者に適用可能であるが, ここでは 1961~2005 年の格子点別波高の年別最大値 (AM) 資料に対する解析に適用する。資料年数 K , 資料数 N , 資料総数 N_T を $N_T=K=45$, $N=15$ (資料採択率 $\nu=1/3$) とする。この資料採択率 ($\nu=1/3$) の採用は 1961 年より以前の時期で標本中の上位に属するような大きい値をもつ資料のみを含めた今後の解析を視野に入れたことによる。また, 資料採択率の影響を調べるため, $\nu=1/2$ とした解析 ($N=22$) および波高観測資料に基づく結果との比較を行うために, 1961~2005 年の全期間およびそれぞれの観測地点の観測期間に対して $\nu=1$ とした解析も行う。

3. 海上風および波浪の推算精度の検討

3.1 海上風・波高時系列およびそれらの最大値の比較

東京湾の内外では, 海上風および波浪の観測資料が東京灯標 (風向風速計高度 $z=24$ m, 波高計設置水深 $h=15$ m), 千葉観測塔 ($z=22$ m, $h=10$ m), 東京湾湾央地点 ($z=10$ m, $h=26.5$ m), 第 2 海堡 ($z=29$ m, $h=16.5$ m), アシカ島 (波浪のみ, $h=21.7$ m), 浜金谷 (波浪のみ, $h=23$ m) で取得されてきた。このうち湾央地点と浜金谷における観測は終了している。伊勢湾内外の観測地点は城南 (波浪のみ, $h=13$ m), 四日市 (波浪のみ, $h=8$ m), シーバース ($z=32$ m, $h=26$ m), 伊勢湾湾央地点 (波浪のみ, $h=27$ m), MT 局 ($z=19$ m, $h=8$ m), 浜田 (波浪のみ, $h=20$ m), ブイ D ($z=4.5$ m, $h=35$ m), ブイ C ($z=4.5$ m, $h=40$ m), ブイ B ($z=4.5$ m, $h=40$ m), ブイ A ($z=4.5$ m, $h=92$ m) の 10 地点である。このうち, 四日市, ブイ B, ブイ C, ブイ D における観測は終了している。また, 観測風速は 1/7 乗則の適用によって 10 m 高度風速に変換する。

Fig. 4 は台風 (T) 7920 号, T8506 号, 1995 年 4 月 21~23 日低気圧 (L9504), T0115 号, T0221 号時の風 (10 m 高度風速 U_{10} , 風向 θ_w) および (有義) 波高 H_s の各時系列を推算値と観測値についてそれぞれ与える。T7920 号時の観測地点は東京灯標 1 地点, 観測波高は最大 (有義) 波高 H_{max} に限定される。これは T8506 号時のアシカ島でも同様である。海上風観測値は東京灯標, 千葉観測塔, 湾央地点, 第 2 海堡 (正確には准海上風観測地点) で得られており, 逆に浜金谷, アシカ島では得られていない。ストーム (台風, 低気圧) 別に年を追って比較結果をみると, T7920 号時には, 東京灯標における風および波高の推算値は, 3 m を越える最大波高を含めて観測値に近い値を与える。T8506 号時には, 風速・風向の経時変化に関して東京灯標における推算値は観測値に比較的よく追従するが, 最大波高値 (ピーク値) より少し手前で大きめの評価, ピーク値付近で小さめの評価になっている。波高に関して内湾の推算値は東京灯標で観測値よりやや低いピーク値を, ピーク時以外の時点で東京灯標のみならず外洋波浪が入射する浜金谷でも大きい値を与えるものの, それぞれ類似した経時変化を示すし, 浜金谷とアシカ島でピーク値に関して両者はよく符合する。L9504 時には, 風速・風向に

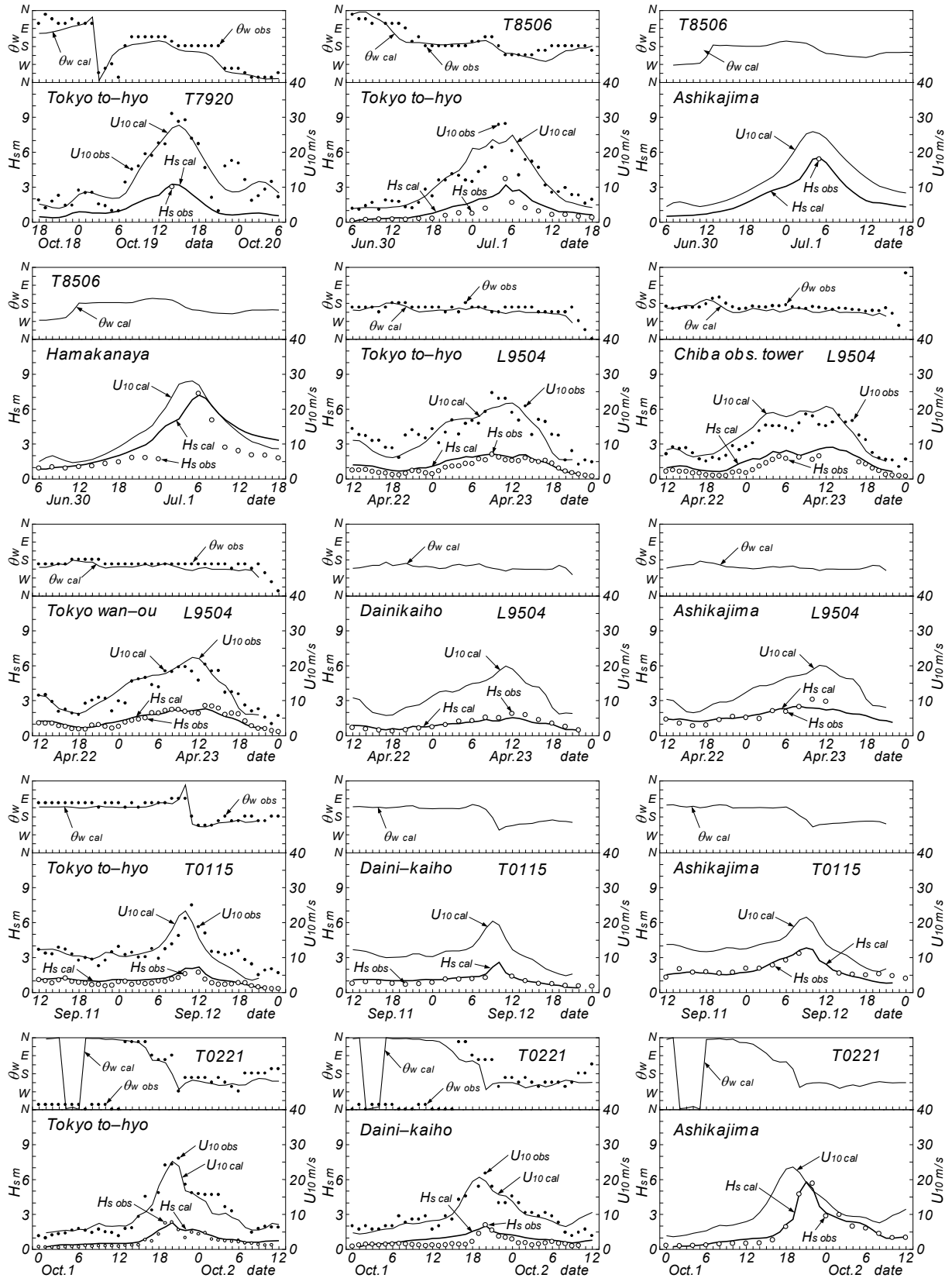


Fig. 4 Comparison between hindcast and measurement for time variations of winds and waves at measurement stations in Tokyo Bay.

関して推算値は湾央地点と東京灯標の観測値とかなりよく対応するが、千葉観測塔では観測値よりやや大きい。最大波高に関して、推算値はアシカ島や第2海堡で観測値よりやや小さめの値を、千葉観測塔で大きめの値を与えるものの、波高時系列に関しては全体として波浪推算の再現性は高い。T0115号およびT0221号時にも、風および波高時系列に関してアシカ島（波高のみ）、第2海堡、東京灯標における推算値はそれぞれ観測値とかなりよく対応する。

Fig. 5はT8719号、T9019号、T9426号、T9807号、T9810号、T0310号の6台風を対象として伊勢湾内外の観測地点における風（10 m高度風速 U_{10} 、風向 θ_w ）および（有義）波高 H_s の各時系列を推算値と観測値についてそれぞれ与える。城南ではT8719号とT9019号時に入手できた観測波高は最大（有義）波高 H_{max} のみである。四日市でもT9019号時に最大波高の観測資料のみが入手されている。T8719号時には、シーバースで推算風と観測風はよく符合する。波高についても同様の特徴がうかがえるが、シーバースのみならず城南でも推算値における波高のピーク値がやや大きい。また、四日市では両者はよく符合する。T9019号時にも、シーバースにおける風の対応は良好であり、波高についても3地点における推算値は四日市における多少の過大な値を除いて観測値とよく符合する。T9426号時には、シーバース（最盛時に欠測）やブイBで風に関する対応は良好である。波高についてもシーバースで推算値が観測値よりやや大きめの値を与えるものの、4地点全体について推算値と観測値の一致の度合は高い。T9807号時には、シーバースで推算風速が観測風速より大きい、風向について両者はよく一致する。波高について城南やシーバースで推算値と観測値はよく符合するものの、浜田ではピーク付近の値に関して推算値は小さい値を与える。T9810号時には、シーバースで推算風速は観測風速よりやや小さく、ブイBで比較的良好に符合する。風向についての対応はよいが、ブイBで時間（位相）のずれがみられる。波高に関して城南、シーバース、浜田で推算値と観測値はよく対応するが、ブイDやブイBでは推算値がやや大きい。T0310号時には、風速に関してシーバースで推算値が観測値より小さく、ブイAで大きい、風向についてはいずれの地点でも両者はよく符合する。波高に関して城南やブイAで推算値と観測値がよく一致するものの、シーバース、MT局、浜田のうちとくにMT局で推算値が観測値より大きい。

以上、風速の時系列に関して推算値と観測値はその大小関係においてばらつきを伴うものの、平均的にある程度符合するし、風向の時系列に関して両者はよく符合する。波高の時系列に関して推算値は観測値とよく符合するか、あるいは若干大きめの傾向を与えるが、全体としてはおおむねよく対応する。

Fig. 6はストーム時最大風速 U_{10max} に対する推算値と観測値の比較結果（散布図）を東京湾内の4海上風観測地点（東京灯標、千葉観測塔、湾央地点、第2海堡）および伊勢湾の6海上風観測地点（シーバース、MT局、ブイD、ブイC、ブイB、ブイA）についてそれぞれ示す。図中には相関係数 ρ_U と原点を通る相関直線の勾配値 a_{0U} を与える。東京湾、伊勢湾ともに推算値は観測値より若干小さめの値を示し、伊勢湾ではやや大きめのばらつきを与えるけれども、推算値と観測値の全体的な対応は悪くない。

Fig. 7は東京湾内外の6波浪観測地点および伊勢湾内外の10波浪観測地点で得たストーム時最大波高 H_{max} に対する推算値と観測値の比較結果（散布図）をそれぞれ示す。図中には相関係数 ρ_H と勾配値 a_{0H} を与える。東京湾および伊勢湾の両者について、外洋波浪の影響が大きい高波高部では推算値と観測値は比較的良好に符合するが、湾内発生波高資料が多くを占める中規模以下の波高部では推算値は観測値よりやや大きい傾向にある。この要因の1つとして、観測値は1～2時間間隔、推算値は1分間隔で得られていることから、観測値は真のピーク値を捉えていない可能性があり、とくに風波の発達・減衰の時間スケールが短い湾内波浪の観測地点では結果的に低めの値を与える傾向にあること

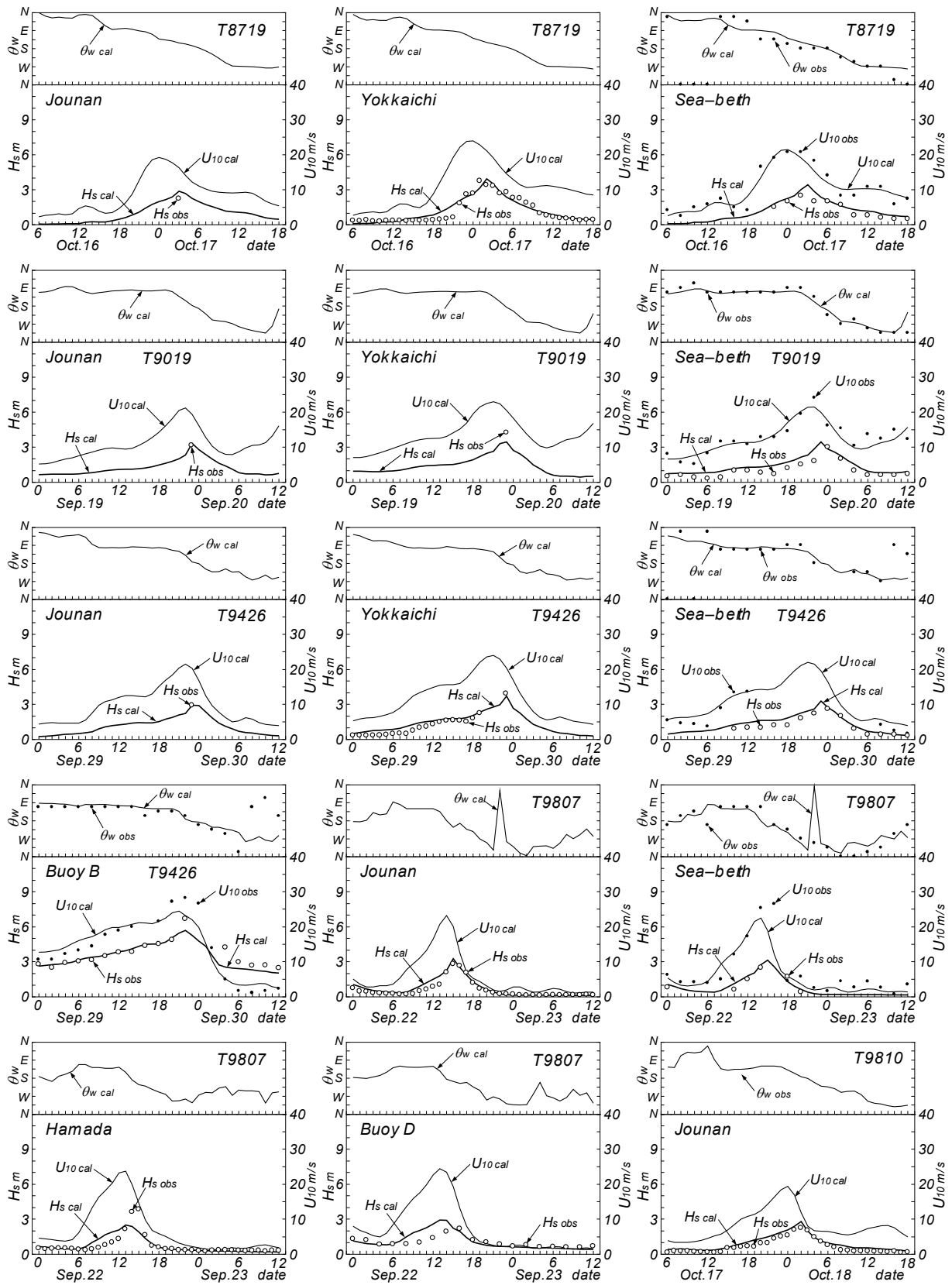


Fig. 5 Comparison between hindcast and measurement for time variations of winds and waves at measurement stations in Ise Bay(1).

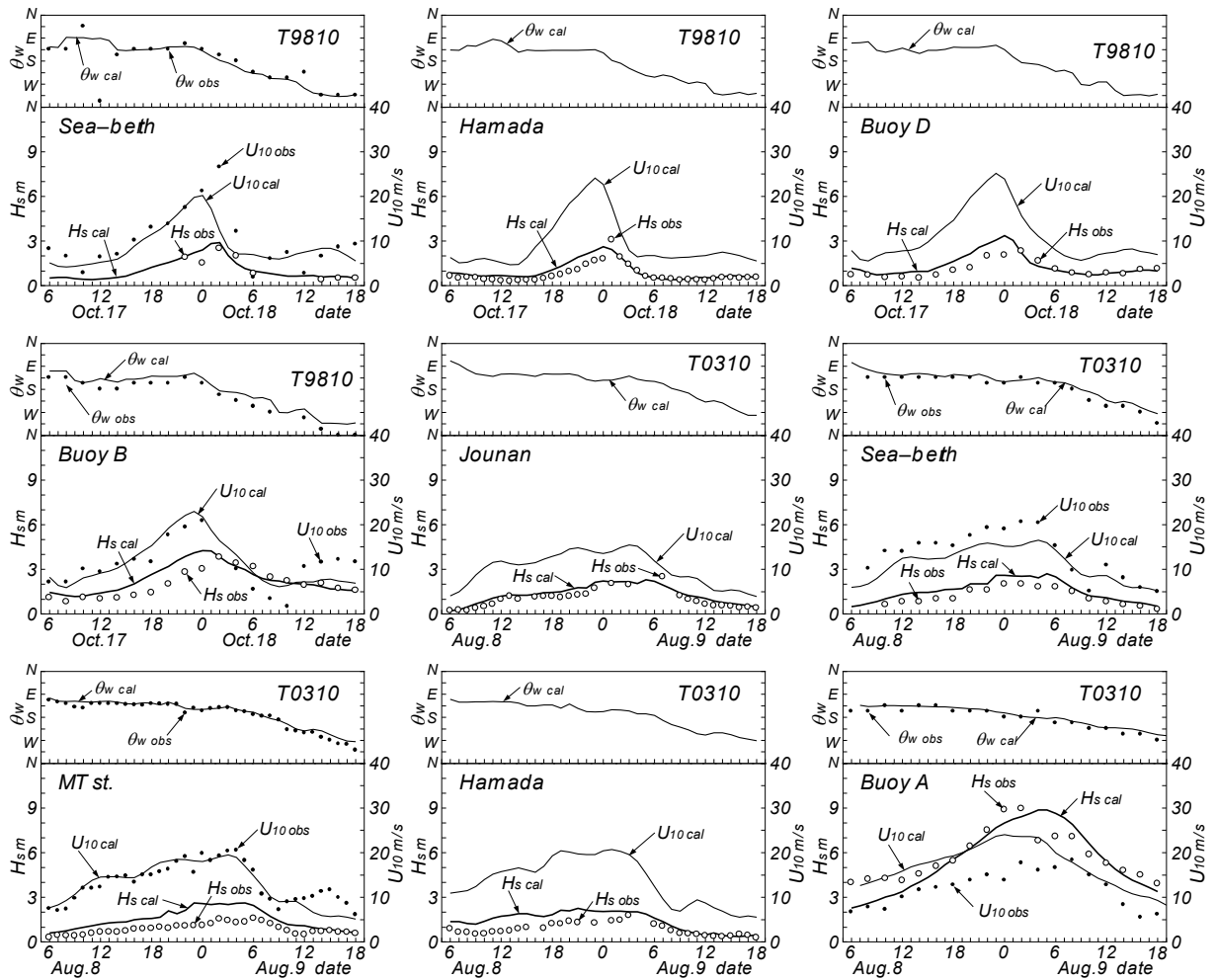


Fig. 5 Comparison between hindcast and measurement for time variations of winds and waves at measurement stations in Ise Bay(2).

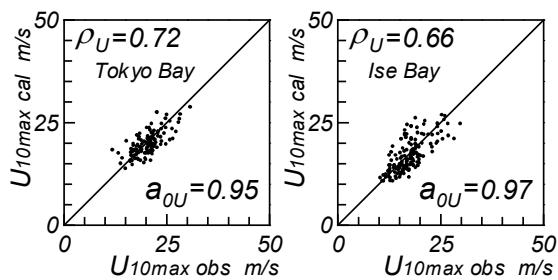


Fig. 6 Comparison between hindcast and measurement for maximum wind speed during a storm at measurement stations in Tokyo Bay or Ise Bay.

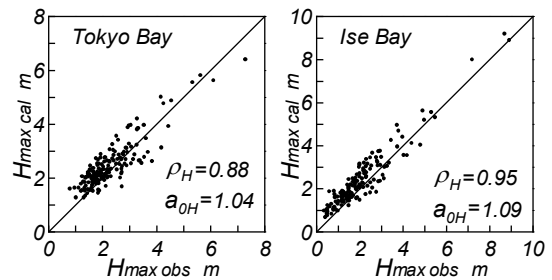


Fig. 7 Comparison between hindcast and measurement for maximum wave height during a storm at measurement stations in Tokyo Bay or Ise Bay.

があげられよう。

以上のように、推算値と観測値の間に多少の乖離がみられるけれども、全体的には風・波高の時系列のみならずピーク値に対して推算値は同じストーム時に複数の地点でそれぞれ観測値と比較的よく符合することから、4. で述べるストーム別最大風速・風向と最大波高の空間分布の推定結果に対す

る信頼性はある程度担保されていると言えよう。

3.2 誤差指標による精度評価

Fig. 8 は Fig. 4 に示した T0221 号時の東京灯標における海上風・波高時系列の推定値と観測値から得た風速 U_{10} , 風向 θ_w , (有義) 波高 H_s の散布図を表す。風資料の解析は、観測資料において 10 m 高度風速 4 m/s 以上のストーム期間中の平均風速 \bar{U}_{10obs} が 8 m/s 以上でかつストーム期間中の最大風速が

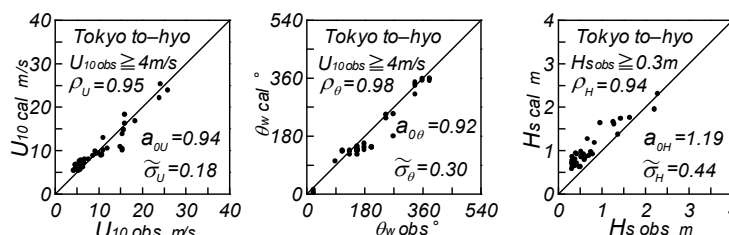


Fig. 8 Scatter diagrams between calculated and measured values for wind speed, wind direction and wave height.

12 m/s 以上をとり、しかもストーム期間中の風向が 5 方位 (90°) 以上の変動範囲をもつケースに限定する。波高資料の解析も、波高 0.3 m 以上のストーム期間中の平均 (有義) 波高 \bar{H}_{sobs} が 0.6 m 以上でかつストーム期間中の最大波高が 0.9 m 以上を与えるストームを対象とする。外洋波浪が伝播する東京湾外のアシカ島や伊勢湾外のブイ A と伊勢湾口 (湾外側) のブイ B, ブイ C では、限界波高を 0.5 m, 平均 (有義) 波高を 1.0 m, 最大波高を 1.5 m とし、これらを同時に上まわるケースを対象とする。制約条件の設定は、実用的にあまり意味をもたない低風速・低波高時資料を除外することによって、できるだけ有意な大きさの相関係数を与える資料を選択するためである。

図に示した推定値と観測値の符合の度合は、風速・風向に関してそれぞれ相関係数 ρ_U , ρ_θ , 散布図において原点を通る相関直線の勾配値 a_{0U} , $a_{0\theta}$, 2 乗平均平方根誤差 σ_U m/s, σ_θ ($^\circ$) のほか、最大風速の無次元量 $\tilde{U}_{max} (= U_{maxcal}/U_{maxobs})$ により評価する、これと同様に、 $\tilde{\sigma}_U = \sigma_U/\bar{U}_{10obs}$, $\tilde{\sigma}_\theta = \sigma_\theta/10^2$ と無次元化する。ここに、 10^2 は 100° を表す。風速に関して ρ_U , a_{0U} , $\tilde{\sigma}_U$, \tilde{U}_{max} の 4 つの誤差指標、風向に関して ρ_θ , $a_{0\theta}$, $\tilde{\sigma}_\theta$ の 3 つの誤差指標を用いる。波高の場合には ρ_H , a_{0H} , $\tilde{\sigma}_H (= \sigma_H/\bar{H}_{sobs})$, $\tilde{H}_{max} (= H_{maxcal}/H_{maxobs})$ の 4 つの誤差指標である。因みに、本事例の波高資料は、 $\rho_H = 0.94$, $a_{0H} = 1.19$, $\tilde{\sigma}_H = \sigma_H/\bar{H}_{sobs} = 0.34 \text{ m}/0.77 \text{ m} \approx 0.44$, $\tilde{H}_{max} = H_{maxcal}/H_{maxobs} = 2.30 \text{ m}/2.29 \text{ m} \approx 1.00$ を与える。

なお、海上の風観測地点には東京湾で京葉シーバース ($z=32 \text{ m}$) とうみほたる (40 m), 伊勢湾で三河湾内にあるブイ 1, ブイ 2, ブイ 3 ($z=5 \text{ m}$) が加わる。沿岸の風観測地点は、東京湾の内外で本牧 (56 m), 剣埼 (41 m), 洲崎 (33 m), 野島崎 (32 m) の 4 灯台, 伊勢湾の内外で日出 (20 m), 菅島 (51 m), 武豊 (26 m), 浜田 (26 m), 城南 (18 m) の 5 地点である。

Fig. 9 は東京湾内の全 6 海上観測地点 (東京灯標, 千葉観測塔, 京葉シーバース, 東京湾湾央地点, うみほたる, 第 2 海堡) の風速と風向に対する 7 種類の誤差指標をそれぞれ頻度分布として示す。図中には、各指標値の平均値 m と標準偏差 σ , および出現率 γ を与える。出現率 γ は風速・風向資料のみならず後出する波高資料の各誤差指標について指定値以上 ($\rho_U > 0.85$, $\rho_\theta > 0.95$, $\rho_H > 0.80$), または以下 ($\tilde{\sigma}_U < 0.25$, $\tilde{\sigma}_\theta < 0.25$, $\tilde{\sigma}_H < 0.40$), あるいは指定値の範囲内 ($a_{0U} = 0.9 \sim 1.1$, $a_{0\theta} = 0.9 \sim 1.1$, $a_{0H} = 0.8 \sim 1.2$, $\tilde{U}_{max} = 0.85 \sim 1.15$, $\tilde{H}_{max} = 0.8 \sim 1.2$) のケース数の、全ケース数 ($N=150$) に対する割合で代表させる。図中の実線は平均値 m , 点線はこれに標準偏差 σ を加・減した $m \pm \sigma$ を表す。

風速に関して、相関係数 ρ_U は 1 に近く、勾配値 a_{0U} は 1 のまわりに集中し、2 乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_U$ は 0.3 以下で大部分を占めることから、推定値と観測値が平均的によく符合することが示唆される。また、 \tilde{U}_{max} の分布特性からみて最大風速に対する対応も良好とみなされる。風向に関して、相関係数

ρ_θ の大部分は1にかなり近く、勾配値 $a_{0\theta}$ も1の近くに集まり、2乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_\theta$ も0.25以下で多くを占めることから、推定値と観測値の対応はかなりよいと言える。

Fig. 10は東京湾周辺の全4沿岸観測地点（本牧、剣崎、洲崎、野島崎）における推定風資料の誤差指標に対する頻度分布（全ケース数 $N=187$ ）を表す。風速に関し相関係数 ρ_U 、勾配値 a_{0U} 、2乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_U$ 、最大風速 \tilde{U}_{max} からみて推定風速と観測風速の対応は海上観測地点における結果ほどでないにしてもかなり良好であること、および風向に関し ρ_θ 、 $a_{0\theta}$ 、 $\tilde{\sigma}_\theta$ からみて推定風向と観測風向の対応は海上観測地点における結果と同程度あるいはそれ以上によいことが統計的に支持される。以上の結果から、東京湾の内外の海上や沿岸の観測地点における推定風の精度はかなり高いと言えよう。

Fig. 11は東京湾内外の全5観測地点（東京灯標、千葉観測塔、東京湾湾央地点、第2海堡、アシカ島）の推算波高資料に対する4種類の誤差指標 ρ_H 、 a_{0H} 、 $\tilde{\sigma}_H$ 、 \tilde{H}_{max} の頻度分布を表す。全ケース数は89である。相関係数 ρ_H は比較的大きく、2乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_H$ も多くを0.25以下とするけれども、平均的にみて勾配値 a_{0H} は1より0.15大きいことから、推算波高は観測波高の経時変化によく追従するものの、観測波高よりやや大きい傾向にあることが示唆される。しかし、最大波高に関しては \tilde{H}_{max} の平均値 m が1.03、標準偏差 σ が0.14、0.85~1.15の \tilde{H}_{max} に対する出現率 γ が0.81であるから、

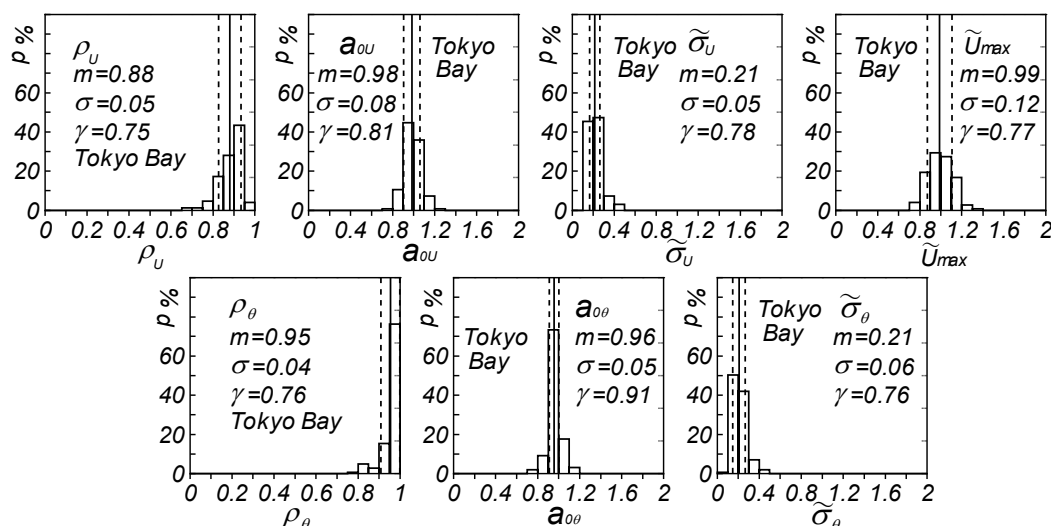


Fig. 9 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at sea stations in Tokyo Bay.

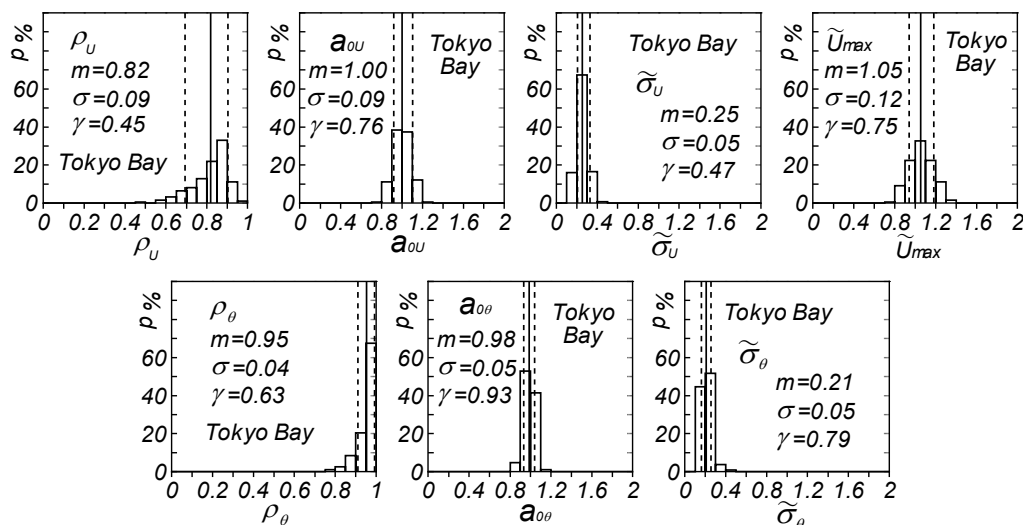


Fig. 10 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at coastal stations in Tokyo Bay.

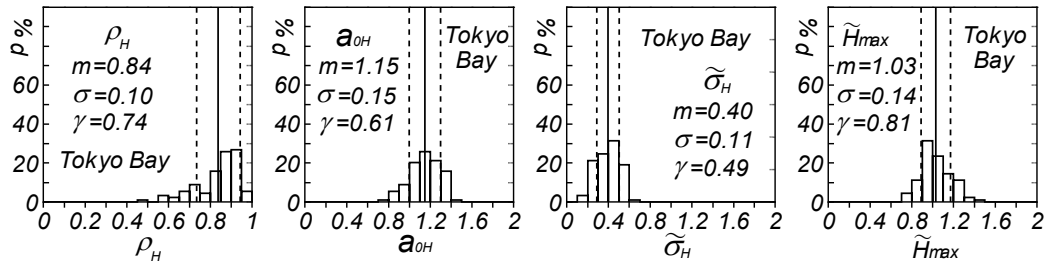


Fig. 11 Histograms of 4 error indices for wave heights at measurement stations in Tokyo Bay.

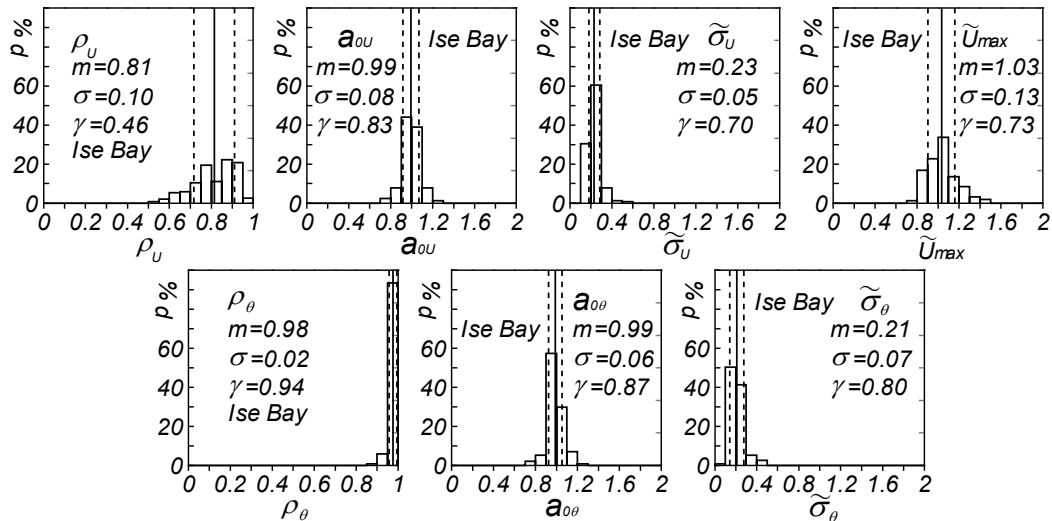


Fig. 12 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at sea stations in Ise Bay.

推算波高と観測波高はよく符合すると推測される。

ついで、伊勢湾内外の全9海上観測地点（湾外のブイAと湾口部湾外側のブイB、ブイC、三河湾内のブイ1、ブイ2、ブイ3、伊勢湾内のブイD、伊勢湾MT局、伊勢湾シーバース）における推定風の誤差指標から作成した頻度分布をFig. 12に与える。誤差指標のうち出現率と平均値をみると、風速に関して $\rho_U > 0.85$ の出現率 $\gamma = 0.46$ 、平均値 $m = 0.81$ 、 $a_{0U} = 0.9 \sim 1.1$ の出現率 0.83、平均値 0.99、 $\sigma_U < 0.25$ の出現率 0.70、平均値 0.23、 $\tilde{U}_{max} = 0.85 \sim 1.15$ の出現率 0.73、平均値 1.03 を与える。これらの数値は推定風速と観測風速の対応がよいことを示唆するけれども、東京湾における結果と比べると、とくに相関係数 ρ_U の出現率や平均値からみて、両者の対応はやや低い。風向に関して、 $\rho_\theta > 0.95$ の出現率 0.94、平均値 0.98、 $a_{0\theta} = 0.9 \sim 1.1$ の出現率 0.87、平均値 0.99、 $\tilde{\sigma}_\theta < 0.25$ の出現率 0.80、平均値 0.21 をとるので、推定風向は観測風向とかなりよく符合することが示唆される。これらの数値は伊勢湾における推定風向が東京湾における推定風向より高い精度をもつことを表す。

Fig. 13は伊勢湾の全5沿岸観測地点（日出、菅島、武豊、浜田、城南）における7種類の誤差指標の頻度分布（ケース数79）を示す。風速に関して ρ_U の頻度分布幅が広がる平均値 0.72、標準偏差 0.16 をとるうえに、相対的に a_{0U} 、 $\tilde{\sigma}_U$ の標準偏差が大きく出現率が小さいことから、海上観測地点における結果と比べて推定風速と観測風速の対応はやや不足する。しかし、最大風速については同程度の精度が示唆される。風向に関しては、海上観測地点における結果と比べて相関係数 ρ_θ がやや小さいものの、 $a_{0\theta}$ と $\tilde{\sigma}_\theta$ は同様な値をとる。全体として、沿岸観測地点の風速に対する推定風の精度は海上観測地点におけるものより低い点は否めないが、風向に対する精度に差はほとんどない。また、海上観測地点の場合と同様に伊勢湾における沿岸観測地点の推定風速の精度は東京湾におけるものより低い傾

向にあることが示唆される。

なお、Table 1 は東京湾と伊勢湾の海上観測地点および沿岸観測地点における推定風の各誤差指標の平均値 m 、標準偏差 σ 、出現率 γ の一覧を与える。

Fig. 14 は伊瀬湾内外の全9波浪観測地点（ブイ A、ブイ B、ブイ C、浜田、伊勢湾シーバース、伊勢湾湾央地点、四日市、城南）における波高に関する誤差指標の頻度分布（ケース数 100）を与える。相関係数 ρ_H は比較的大きいケースが多く、2乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_H$ も 0.4 以下のケースが少ないが、勾配値 a_{0H} の平均値は 1 より 0.13 大きく、 \tilde{H}_{max} も 1 を 0.08 上まわる。推算波高の時系列は観測波高の時系列に比較的良好に追従するが、個々の推算波高が観測波高より 10% 以上大きく、最大波高も 8% 過大な値を与える傾向にあることが示唆される。Table 2 は推算波高の誤差指標に関する統計値の一覧を東京湾と伊勢湾のケースについて与える。なお、推定風資料に関して $\rho_\theta > 0.8$ かつ $a_{0\theta} = 0.8$

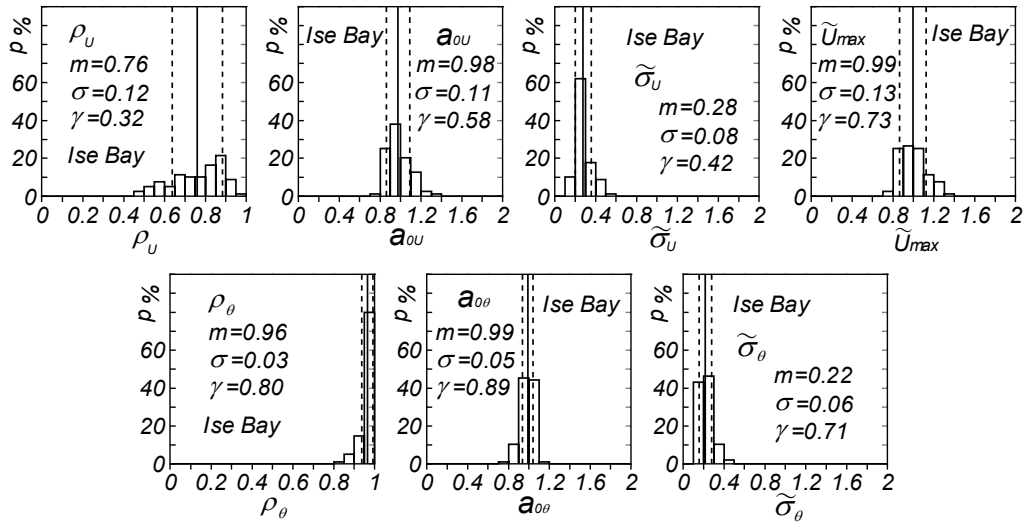


Fig. 13 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at coastal stations in Ise Bay.

Table 1 Mean, standard deviation and range-limited occurrence rate for each of winds-related error indices at sea and coastal stations(stns.) in Tokyo Bay and Ise Bay.

Area	stns.	N	$\rho_U \times 10^2$			$a_{0U} \times 10^2$			$\tilde{\sigma}_U \times 10^2$			$\tilde{U}_{max} \times 10^2$		
			m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ
Tokyo Bay	sea	150	88	5	75	98	8	81	21	5	78	99	12	77
	coast	187	82	9	45	100	9	76	25	5	47	105	12	75
Ise Bay	sea	154	81	10	46	99	8	83	23	5	70	103	13	73
	coast	79	76	12	32	98	11	58	28	8	42	99	13	73
condition			$\gamma(>85)$			$\gamma(90 \sim 110)$			$\gamma(<25)$			$\gamma(85 \sim 115)$		
Area	stns.	N	$\rho_\theta \times 10^2$			$a_{0\theta} \times 10^2$			$\tilde{\sigma}_\theta \times 10^2$					
			m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ			
Tokyo Bay	sea	150	95	4	76	96	5	91	21	6	76			
	coast	187	95	4	63	98	5	93	21	5	79			
Ise Bay	sea	154	98	2	94	99	6	87	21	7	80			
	coast	79	96	3	80	99	5	89	22	6	71			
condition			$\gamma(>95)$			$\gamma(90 \sim 110)$			$\gamma(<25)$					

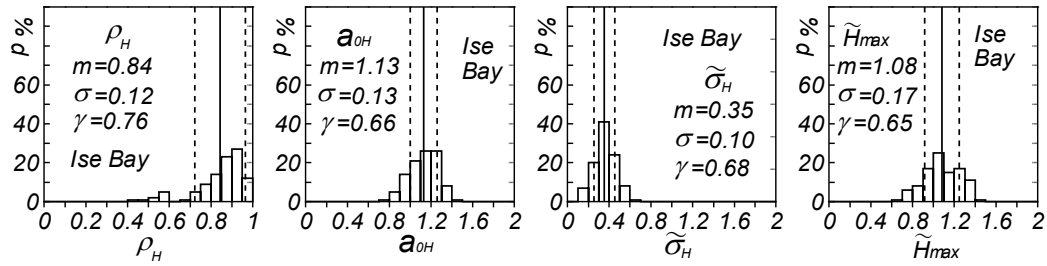


Fig. 14 Histograms of 4 error indices for wave heights at measurement stations in Ise Bay.

Table 2 Mean, standard deviation and range-limited occurrence rate for each of wave heights-related 4 error indices at measurement stations in Tokyo Bay and Ise Bay.

Area	N	$\rho_H \times 10^2$			$a_{0H} \times 10^2$			$\tilde{\sigma}_H \times 10^2$			$\tilde{H}_{max} \times 10^2$		
		m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ
Tokyo Bay	89	84	10	74	115	15	61	40	11	49	103	14	81
Ise Bay	100	84	12	76	113	13	66	35	10	68	108	17	65
condition		$\gamma(>80)$			$\gamma(80\sim 120)$			$\gamma(<40)$			$\gamma(80\sim 120)$		

～1.2 かつ $\tilde{\sigma}_\theta < 0.35$ の条件のもとに、 $\rho_U > 0.7$ 、 $a_{0U} = 0.8 \sim 1.2$ 、 $\tilde{\sigma}_U < 0.35$ 、 $\tilde{U}_{max} = 0.75 \sim 1.25$ の各条件を同時に満たすケース数の割合は東京湾の海上風で 96 %、沿岸風で 82 %、伊勢湾の海上風で 80 %、沿岸風で 60 % であるから、海上風と沿岸風いずれについても風速に対する精度は伊勢湾より東京湾のケースで高い。また、推算波高資料に関して $\rho_H > 0.75$ 、 $a_{0H} = 0.7 \sim 1.3$ 、 $\tilde{\sigma}_H < 0.5$ 、 $\tilde{H}_{max} = 0.6 \sim 1.4$ の各条件を同時に満たすケース数の割合は東京湾で 61 %、伊勢湾で 72 % であるから、いずれの海域でも推算波高の精度は有意と言えるが、伊勢湾における精度が東京湾におけるのもよりやや高い。

4. 代表台風・低気圧時の風速・波高の空間分布

4.1 代表台風・低気圧の抽出

ここでは、3. で風速・風向と波高の時系列に対して観測値との比較を行った台風および低気圧を代表例として、経路や風・波浪の空間分布の特性を東京湾では 5 台風と 1 低気圧、伊勢湾では 7 台風について述べる。以下では、各台風または低気圧について経路、(10 m 高度) 最大風速 U_{10max} と風向の空間分布、最大(有義)波高 H_{max} と波向の空間分布を順次示す。経路図には、ストーム特性として日時、中心の緯度、中心気圧 p_c 、および台風の場合台風半径 r_0 の一覧を含む。ただし、T6626 号時(東京湾)と T6524 号時(伊勢湾)には、該当する風・波浪観測値は得られていない。各図は同じ形式の図から構成されるので、本文における図の説明を省略する。

4.2 東京湾における風速・波高

(1) T6626 号 (Fig. 15)

1) 台風特性と被災状況 [2]. [38]. [39]. [40]. [41]

本台風は 1966 年(昭和 41 年) 9 月 22 日サイパン島の東方海上で発生、NW 方向、NNW 方向に進路をとって、9 月 24 日 9 時に小笠原諸島西方海上に達した。中心気圧は 965hPa と中程度の強さをも

った。そこから進行方向を N 方向, NNE 方向にとって非常に速い速度で 24 日夜半過ぎ御前崎の西方に上陸, 関東地方を通過して 25 日早朝に仙台付近から三陸沖に抜けた。上陸時の中心気圧は 960 hPa である。台風経路に近い気象官署における最低観測気圧は御前崎で 965.6 hPa, 静岡で 968.4 hPa, 三島で 981.4 hPa, 横浜で 990.8 hPa を示す。台風は静岡, 山梨の両県をはじめ関東地方の各県に暴風雨による大きな被害をもたらした。本台風時には富士山で最大瞬間風速 91.0 m/s (風向 SE) というわが国の観測史上最強の風速が記録された。また, 駿河湾湾奥では周期数十秒の長周期波に乗った巨大波浪によって死者 20 名をはじめ大きな被害を生じた。東京での高潮偏差は 77 cm と推測され, それほど大きくない。死者・行方不明者は 318 名, 家屋被害は 11,700 棟, 浸水被害は 53,600 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は東京湾の西側を NE 方向に進行していることから, 風向 S~SE の風が卓越する。風速は湾央と湾奥北西端で 32.5 m/s をとり, 湾外や湾奥北東側の 22.5 m/s に向けて小さくなる。

3) 最大波高・波向の空間分布

東京湾の湾外では境界から浦賀水道北部にかけて 5 m から 4 m の波高域が伸びているだけで, 波高はあまり大きくない。波向は S を主とし, 東側で SW 方向に傾く。湾内では横浜の沖合から浦安にかけての西側海域で波高は 3 m を越え, 川崎の沖合と東京港付近で 3.5 m 波高域が現われる。波高は東に向けて小さくなる。波向は S をとり, 東側海域で SW に変化する。

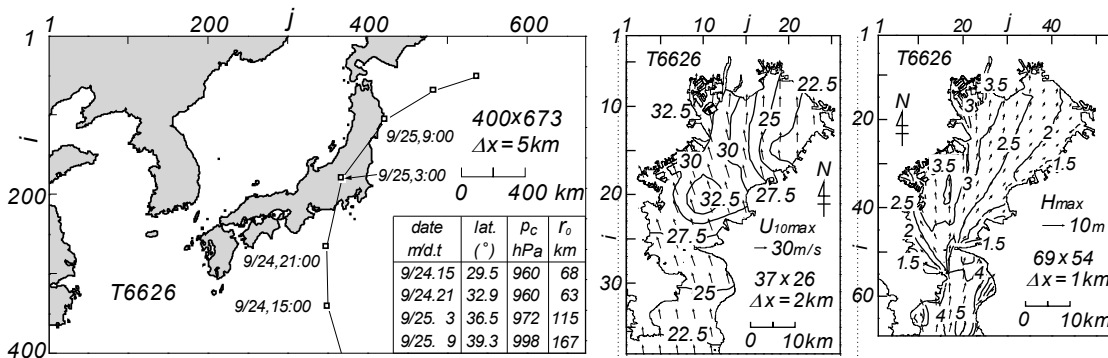


Fig. 15 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 6626.

(2) T7920 号 (Fig. 16)

1) 台風特性と被災状況 [2], [39], [41], [42]

本台風は 1979 年 10 月 6 日トラック島の南東海上で台風になったのち, 10 月 12 日には中心気圧 870hPa という観測史上最底の気圧を記録するほど発達し, 沖縄諸島付近から NE 方向に進行, 10 月 19 日朝和歌山県白浜町付近に上陸した。上陸時の中心気圧は 965hPa である。上陸後, 台風は時速 70~90 km の速度で本土を NE 方向に縦断し, 北海道釧路市に再上陸後, アリューシャン方面に抜けた。この結果, 暴風と豪雨によって全国で重大な被害が生じ, 関東沿岸では, 駿河湾一帯に大規模な沿岸災害がもたらされた。因みに, 最低観測気圧は経路からかなり離れた東京でも 976.1 hPa, 横浜でも 977.0 hPa とかなり低い。東京湾では観測史上第 6 位にあたる高潮偏差 116 cm が記録された。台風による死者・行方不明者は 115 名, 負傷者は 543 名, 家屋被害は 1,400 棟, 浸水被害は 56,000 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は東京湾の西側を NE 方向に進行したことから, 東京湾では S 寄りの強風が吹送した。最大風速は 25~30 m/s であり, 湾外で 27.5 m/s, 湾内では湾奥北西端と湾央で 30 m/s, 北東側で 25 m/s 弱

をとる。風向は湾軸方向にあたる SSW である。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の中央で 8 m を越え、浦賀水道では北部の富津岬付近で 4~5 m に小さくなる。湾内では南側の第 2 海堡付近から湾奥にかけて 3 m 域が広範に拡がり、横浜の沖合や東京港付近で局所的に 4 m に達する。千葉方面でも波高は 2~2.5 m である。波向は湾外で S~SSW, 湾内では東側海域で S から SW 方向に、西側海域で S から SE 方向に傾く。台風が東京湾の西側を NE 方向に進行したことに伴う S~SW 方向の強風の吹送により、異常波高が出現した。

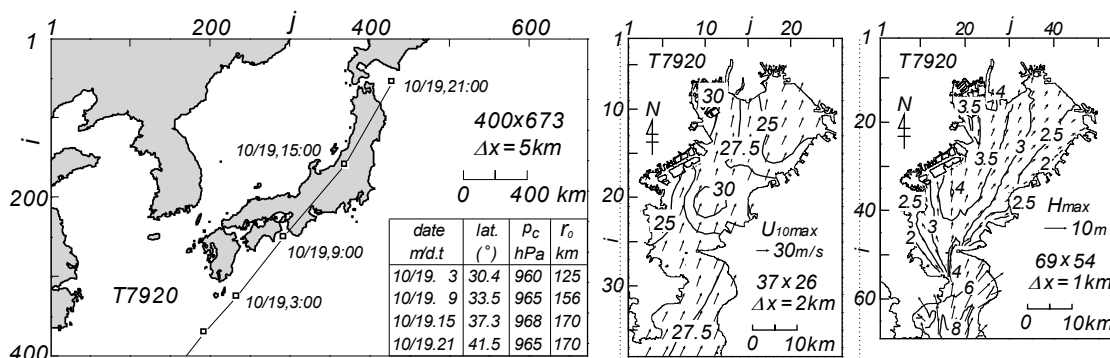


Fig. 16 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 7920.

(3) T8506 号 (Fig. 17)

1) 台風特性と被災状況 [2], [39], [41], [42], [43]

本台風は 1985 年 6 月 25 日カロリン諸島の南方海上で台風になり、N 方向に進行して 6 月 20 日 9 時頃種子島の南東海域で NE 方向に進路を変え、7 月 1 日 3 時頃静岡県沼津市付近（田子浦）に上陸した。上陸時の中心気圧は 968 hPa である。上陸後、時速 80 km という早い速度で NE 方向に関東地方を進み、福島県を経て太平洋に抜けた。台風は上陸後も比較的強い勢力を保ち、きわめて早い移動速度を伴ったため、関東地方では強風による被害が続出した。因みに、最低観測気圧は東京で 970.0 hPa, 横浜で 969.9 hPa とかなり低い。東京湾では、S 寄りの強風によって観測史上第 5 位にあたる高潮偏差 127 cm が生じた。台風通過後には強い副振動が発生し、これが最大偏差をもたらしたのが特徴的である。本台風に伴う死者・行方不明者は 16 名、負傷者は 49 名、家屋被害は 800 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風 7920 号と同様に、東京湾の西側を NE 方向に速い速度で移動したことから、東京湾では S~SW 方向の強風が吹送した。最大風速は 25~35 m/s の範囲にあり、湾軸の北西~西側沿岸で 25 m/s, 東~南東側沿岸で 35 m/s と、北西側から南東側に向けて大きくなる。風向は湾外で SW, 湾内では南側で SSE, 中央から北側で SSW をとり、3 方位異なる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の中央で 8 m, 浦賀水道北部の富津岬付近で 4~5 m に減じている。湾内の南側から北側にかけて 3 m の波高域が広範に拡がり、川崎~横浜の沖合で 3.5 m, 局所的に 4 m をとる。湾内東側の千葉県方面および南西側の横浜~横須賀付近で 2~2.5 m を与える。湾外の波向は SSE~SE, 湾内の波向は S 方向を中心に東側海域では W 方向に、西側海域で E 方向に傾く。台風 7920 号時と比べて台風 8506 号時の風速は西側海域で小さく東側海域で大きいことから、波高分布にもその特性が現われる。東京灯標における最大観測波高は 3.69 m (7 月 1 日 5 時, 水圧式波高計記録の換算値), 最大

推算波高は 3.18 m であるから、観測波高がやや大きい。また、本台風時の東京湾における風および波高に対する推算値と観測値の比較・検討が岡田ら^[4]によって行われている。

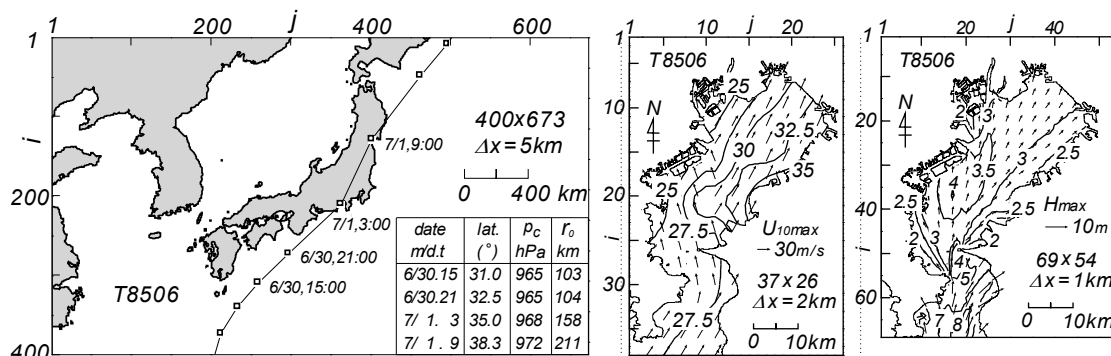


Fig. 17 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 8506.

(4)L9504 (1995年4月21日～24日の低気圧, Fig. 18)

1) 低気圧特性^[44]

1995年4月21日から22日にかけて日本付近を通過し、勢力を強めた移動性高気圧と北日本に近づいた気圧の谷によって生じた有意な気圧傾度に伴うS寄りの風に加えて、23日には日本海を通過した低気圧によりSW方向の強風が日本各地で吹送した。この間の低気圧の中心気圧は985 hPa程度とかなり低い。

2) 最大風速・風向の空間分布

低気圧の日本海から本州北部を経て北部太平洋への進行に伴い、東京湾ではSW方向の強風が吹送している。風速は22.5～27.5 m/sの範囲にあり、湾央から湾奥や湾外に向けて小さくなる。風速は比較的大きい。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界付近の東側で4.5～5 m、富津岬付近で2.5～3 mであり、あまり大きくない。波向はS～SWである。湾内では南側の1.5～2 mから北東側の2.5 m以上に向けて、NE方向に大きくなる。湾奥の北東岸で波高は最も大きい、3 mには達しない。波向は南側でS、北東側でSWを与える。

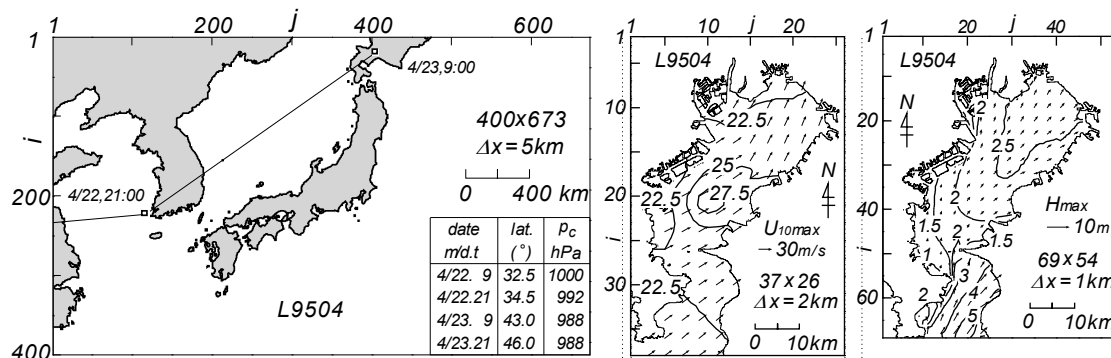


Fig. 18 Low depression track diagram supplemented with a list of low parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by the low depression L9504.

(5) T0115 (Fig. 19)

1) 台風特性と被災状況^[45]

本台風は2001年(平成13年)9月4日南鳥島の南方海上で発生、NNW方向、N方向に進路をとったのち、8日9時小笠原諸島北東海域に達した。このときの中心気圧は950 hPaとかなり低い。引き続き、進路をNW方向にとり、10日早朝頃からN方向、NE方向に転じて11日9時半頃神奈川県鎌倉市付近に上陸した。上陸時の中心気圧は970 hPaである。上陸後はNE方向に進行を続け、茨城県を経て三陸沖に抜けた。台風経路に近い気象官署における最低観測気圧は石廊崎で972.2 hPa、大島で973.4 hPa、横浜で971.3 hPa、東京で973.6 hPa、水戸で978.2 hPaをとったことから明らかなように、上陸後も強い勢力を維持している。関東地方と東海地方では暴風と大雨による被害が出た。東京では1911年以降の観測史上第5位にあたる127 cmの高潮偏差(T8506号時の値と同じ)が得られた。最高潮位は過去に高潮による大災害をもたらしたT4910号(キティ台風)と同等であったが、防護施設の整備により高潮による被害は免れたとのことである。死者・行方不明者は8名、住宅被害は130棟、浸水被害は750棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は22.5~30 m/sの範囲にあり、湾央付近や湾奥北西端で大きく、湾外の南西側と湾内の北東側で小さい。風向は湾外でSからSW、湾内で南側のWから湾奥北東側でS、湾奥西側でN寄りをとる。台風中心の東京湾通過に伴い、最大風速時の風向場が著しく変化する。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界中央付近で6 mをとり、4 m域が境界から富津岬付近まで広がる。波向はSからSWである。湾内では湾口から湾奥の浦安付近に向けて2.5 m波高域が延び、その東側の千葉県沿岸で1.5~2 m、西側沿岸でも1.5~2 mをとる。波向はSを中心として、それぞれSW方向とSE方向に傾く。

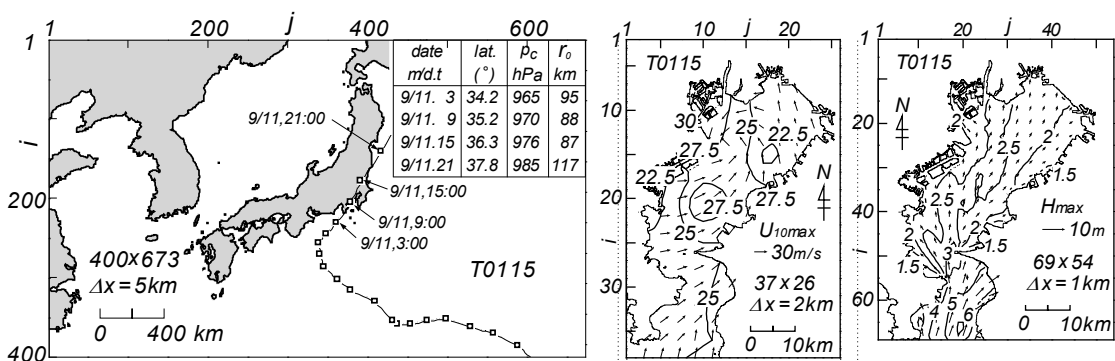


Fig. 19 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 0115.

(6) T0221号 (Fig. 20)

1) 台風特性と被災状況^[46]

本台風は2002年(平成14年)9月27日サイパン島東方海域で発生、WNW方向、NW方向に進んで29日9時沖ノ島島東方海上で中心気圧940 hPa、30日9時沖ノ島島北西海上で930 hPaを示した。その後、台風はN方向、NNE方向に進行を続け、10月1日20時頃三浦半島を通過、20時半頃川崎市付近に上陸した。上陸時の中心気圧は960 hPaである。その後関東地方、東北地方を経て八戸付近を通過、北海道に再上陸して日本海に出た。台風経路近くの気象官署における最低観測気圧は大島で

956.7 hPa, 横浜で 961.1 hPa, 千葉で 963.4 hPa, 東京で 965.2 hPa, 水戸で 967.1 hPa, 小名浜で 971.2 hPa, 仙台で 972.8 hPa, 八戸で 975.5 hPa であるから, 上陸後もかなり低い中心気圧を維持している。台風は上陸後速い速度で移動したことから, 強風を伴い, 大雨と相まって大きな被害(茨城県潮来市における 9 基の送電線鉄塔の倒壊を含む)を生じた。東京における高潮偏差は 72 cm (観測史上第 17 位) であり, 台風の勢力のわりに大きくない。死者・行方不明者は 5 名, 住宅被害は 1,070 棟, 浸水被害は 2,000 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は 22.5~32.5 m/s をとり, 西岸より東岸で大きい。風向は湾外で SE 方向, 湾内で W 方向である。台風は東京湾を NNE 方向に進行したことから, 風向の空間変化が著しい。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界中央の 6 m から富津岬付近で 2.5~3 m になる。波向は S から SW をとる。湾内では, 南側で 2 m 弱である。湾中央から北側にかけても西岸の 2 m から東岸あるいは北東岸の 2.5 m へとやや大きくなるにすぎない。波向は湾外で SSW 方向, 湾口や湾内の西側で ESE~SE 方向, 東側で SW 方向をとり, 90° 近く異なる。これは台風の東京湾における通過経路の特徴を反映する。

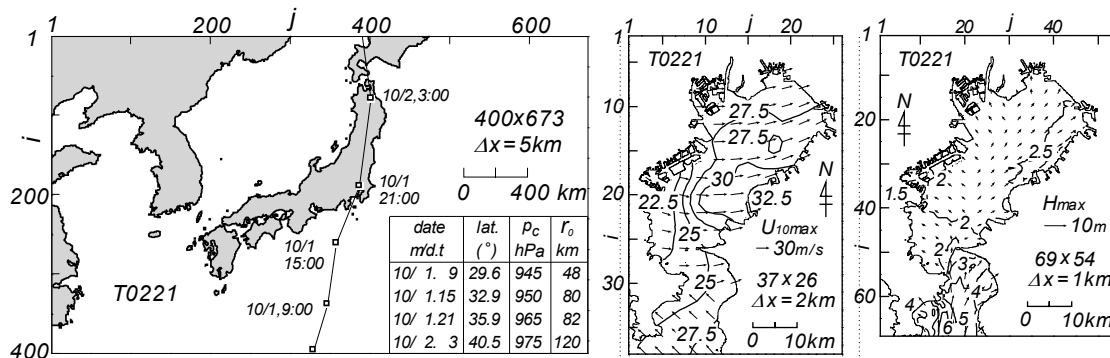


Fig. 20 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 0221.

4.3 伊勢湾における風速・波高

(1) T6524 号 (Fig. 21)

1) 台風特性と被災状況^{[19], [38], [39], [40], [47], [48]}

本台風は 1965 年 9 月 8 日グアム島南西海上で発生, NW 方向に進行したのち, 15 日沖縄本島の南方海上から進行方向を NNE 方向に転じ 17 日 21 時頃三重県大王崎付近(志摩半島)に上陸, ついで渥美半島に再上陸した。上陸時の中心気圧は 955 hPa とかなり低い。因みに, 最低観測気圧は尾鷲で 963.3 hPa, 伊良湖で 959.2 hPa, 浜松で 961.9 hPa, 津で 968.8 hPa, 名古屋で 970.2 hPa である。その後, 台風は東日本, 北日本を縦断した。この台風時には強い勢力に伴い強風が広い範囲で吹送するとともに, 四国・近畿・中部地方に大雨が降り, 各地で水害が発生した。伊勢湾では, 鳥羽において観測史上第 5 位にあたる 84 cm の高潮偏差を生じたが, 台風経路の西側に当たる名古屋においては 75 cm とあまり大きくなかった。死者・行方不明者は 107 名, 負傷者は 330 名, 家屋被害 1,100 棟, 浸水被害 252,000 棟であり, とくに洪水に伴う浸水被害が多い。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾外では SE 方向に向けて増大し, 南東端で 30 m/s を越える。伊勢湾内では湾口から湾中央にかけて 30 m/s 域が拡がり, ここを中心に周囲に向けて三河湾で 25 m/s, 伊勢湾の北部で 17.5 m/s に

まで減少する。風向は湾外では SE であるのに対して、湾内ではほぼ NW であり、伊勢湾の内外で 180° 近く異なる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では南東側の 12 m から湾口の 6 m に向けて NW 方向に小さくなる。波向は S~SSE である。湾口においては波高の急減がみられ、湾内では湾口内側で波向 N 寄りの 3.5 m 波高域が広がる。これは、台風の左側半円に入った伊勢湾では台風通過後に NW 方向の強風が卓越し、その結果として波向 N~NW の湾内発生波の影響が外海から波向 S~SSE で伝播する波浪の影響を上まわる特徴を反映する。また 2.5 m 波高域が湾内の南側半分を覆い、波高は湾奥に向けて 1 m に減少する。波向は湾内の西側半分で SE 寄り、東側半分で N 寄りをとって 90° 以上異なる。これは台風接近前の SE 方向の強風と通過後の NW 方向の強風の特徴を反映する。三河湾では、波高は 1~2 m、波向は西側で W、東側で E であり、伊勢湾内と同様に台風経路の影響が現われている。いずれにせよ、湾外で高波高が生じたにもかかわらず、台風経路の特性のため湾内ではあまり大きい波高を生じていない状況が特徴的である。

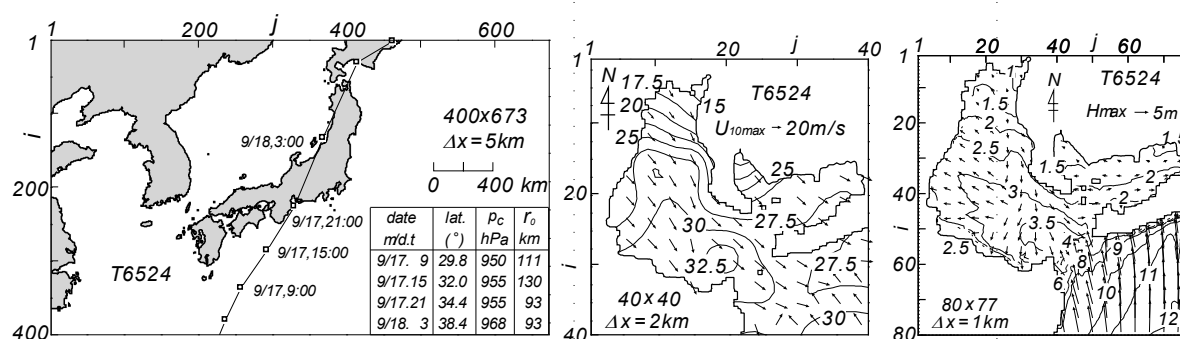


Fig. 21 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 6524.

(2) T8719 号 (Fig. 22)

1) 台風特性と被災状況^[19]

本台風は 1987 年 10 月 11 日フィリピンの東方海上で発生、発達しながら北上し、16 日には NNE 方向に転じて 17 日午前 4 時 30 分頃に室戸岬近くに上陸した。上陸時の中心気圧は約 980 hPa である。また、最低観測気圧は名古屋で 991.6 hPa、津で 989.1 hPa、尾鷲で 988.9 hPa、伊良湖で 994.1 hPa、浜松で 996.5 hPa と、台風経路からやや離れているため、あまり低くない。台風は上陸後、四国東部を NE 方向に進んで日本海に抜け、再び青森県に再上陸して太平洋に達した。台風経路は台風 3412 号(室戸台風)や台風 6118 号(第 2 室戸台風)のものとかかなり類似する。本台風時には強風に加えて豪雨を伴い洪水災害が各地で発生した。台風の右側半円に入った伊勢湾では、S~SE 方向の強風が吹送し、名古屋で 81 cm(観測史上第 26 位)、鳥羽で 53 cm(第 26 位)の高潮偏差が記録された。死者は 9 名、負傷者は 17 名、浸水被害は 25,000 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾内では北側や東側で 20~25 m/s から南西側で 35 m/s を、三河湾では 20~25 m/s を与える。伊勢湾外でも北東側の 20 m/s から南西側の 27.5 m/s に向けて増大する。風向は主に SE であり、伊勢湾の西岸と南西岸で E 方向を示す。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は伊勢湾外では沖合の7 mから湾口の5 mに小さくなる。波向は主にSである。湾内では湾口沖合から4 m波高域がNW方向に広範に拡がり対岸に達する。波向はSEである。湾奥では波高は2 m以下に減少する。波向もS方向をとり時計方向に45°傾く。三河湾では波高は2 m以下であり、波向も空間的に大きく変化する。因みに、四日市における最大推算波高は3.94 m、最大観測波高は3.75 mであるから、推算波高が観測波高よりやや大きい。

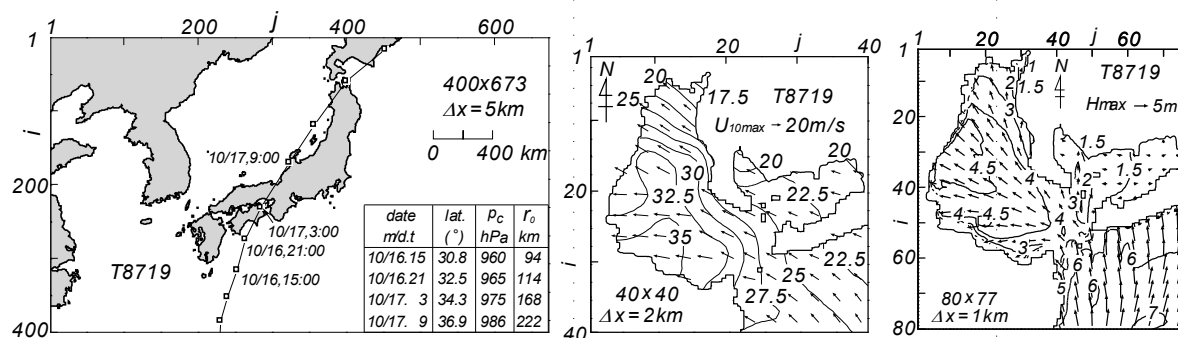


Fig. 22 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 8719.

(3) T9019号 (Fig. 23)

1) 台風特性と被災状況^[19]

1990年(平成2年)9月13日マリアナ沖で熱帯低気圧から台風が発達した本台風は、NW方向に進行して17日午前9時に沖縄本島の南東で中心気圧890hPaに達した。その後17日から18日にかけて進行方向をNNE, NEに転じて19日20時過ぎには和歌山県白浜町に中心気圧945hPaで上陸した。その後、NE方向に進行を続けて三重県から北陸・東北地方を経て三陸沖に抜けた。台風経路近くに位置する地点の最低観測気圧は尾鷲で962.1 hPa, 上野で963.7 hPa, 津で965.4 hPa, 名古屋で972.5 hPa, 松本で983.2 hPaであり、伊勢湾を囲む地点ではかなり低い。この台風時には強風に加えて大雨により甚大な被害が出た。高潮偏差は名古屋で167 cm(観測史上第4位), 鳥羽で61 cm(第18位), 舞阪で91 cm(第10位), 尾鷲で70 cm(第5位)を記録しており、名古屋ではかなりの大きさに達する。全国の死者・行方不明者は44名, 住宅被害1,000棟, 浸水被害は66,000棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は名古屋付近をNE方向に進行していることから、伊勢湾においてS~SE方向の風が卓越した。最大風速は湾口付近の32.5 m/sを中心に周囲に向けて減少し、湾外南東側および湾奥で25 m/sになる。湾内では伊勢湾の中央以南と三河湾の中部以西で風速30 m/s以上を与える。風向は湾口付近と三河湾、湾外ではS方向、湾内では中部から南西側でESE, 北東側でSSEをとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は港外南東端で11 m, そこからNW方向に湾口の7~8 mに向けて小さくなる。波向はSSWからSをとる。湾内では湾口から4 m等波高線がNW方向(波向SE)に向けて湾内に拡がり、西岸に達する。3 m波高域が湾内のほぼ全域を覆う。波向は湾口西側でE方向に、湾奥でS方向に傾く。三河湾では湾入口の3 mから東岸湾奥の1.5 mとへと小さくなり、波向もSからSW, Wに変化する。

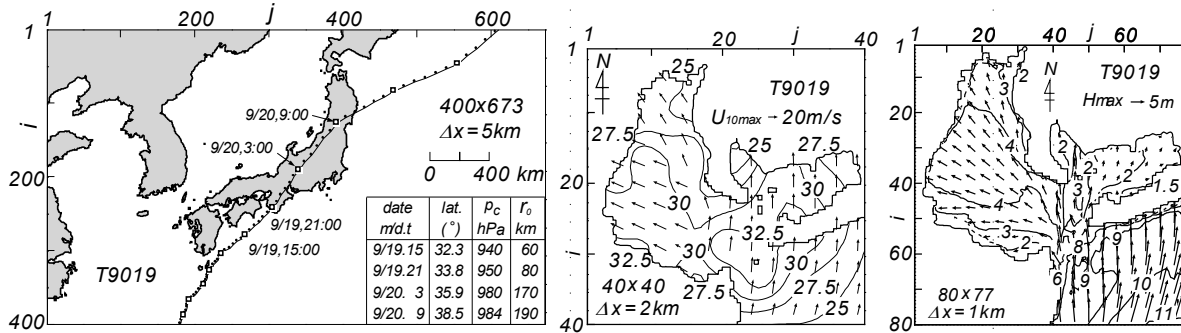


Fig. 23 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 9019.

(4) T9426号 (Fig. 24)

1) 台風特性と被災状況^[19]

本台風は1994年(平成6年)9月19日にグアム島の南西海上で発生後、NNE、NNW、WSW、NNWと頻りに進行方向を変えながら、24日21時に中心気圧925hPaにまで発達した。台風はその後も中心気圧925hPaを維持したままNNW方向に進行を続け、沖縄本島の東方海上から進路をNW方向に変えて進行し、29日19時30分頃和歌山県南部に進んで近畿・北陸地方を通過して日本海に抜けた。台風経路に近い地点の最低観測気圧は潮岬で960.9hPa、奈良で971.8hPa、彦根で973.2hPa、敦賀で978.0hPaである。高潮偏差は名古屋で152cm(観測史上第5位)、鳥羽で70cm(第11位)、尾鷲で104cm(第2位)、舞阪で100cm(第6位)であり、かなり大きい。台風は近畿地方や東海地方を中心に中国地方から北日本の広い範囲に大雨と暴風による被害をもたらした。全国の死者・行方不明者は3名、住宅被害は200棟、浸水被害570棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾口の内側を中心とした35m/s域から湾外や湾奥の25m/sに向けて減少する。30m/s域は北部を除く湾内の広い範囲を覆う。三河湾では湾入口の30m/sから湾奥の25m/s弱に向けてE方向に小さくなる。風向は海域全体でSE~SSEをとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外南東側で8.5mより大きく、湾口で6~7mに減じる。波向はSからSSEをとる。湾内

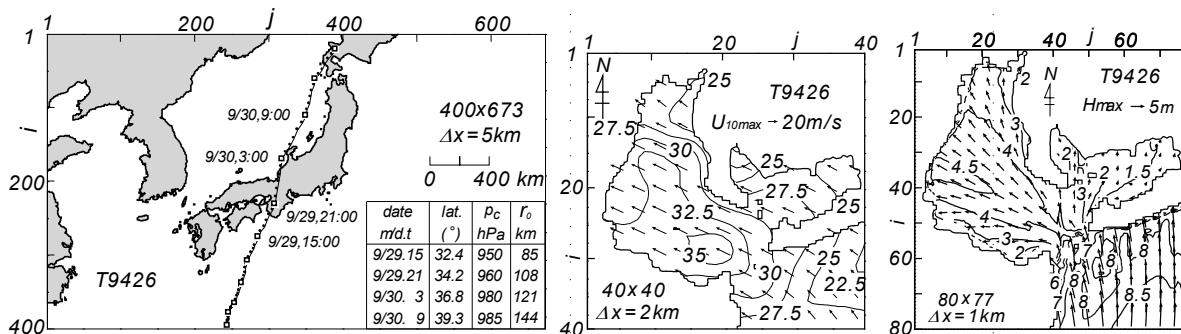


Fig. 24 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 9426.

では湾口から 4 m 波高線が NW 方向に延びて西岸に達する。西岸沖合には 4.5 m 波高域が出現する。波向は SE であり、南西側で E 方向、北東側で S 方向に傾く。湾内全体では 3 m 波高域がほぼ全域を占め、西側と湾奥で 2 m 波高域がみられる。三河湾では湾入口の 3 m から湾奥で 1 m 強になる。波向は S から SW をとる。

(5) T9807 号 (Fig. 25)

1) 台風特性と被災状況^[49]

本台風は 1998 年(平成 10 年) 9 月 17 日ルソン島の西方海上で発生後、南西諸島を NE 方向に進み、22 日 13 時過ぎに和歌山県御坊市付近に上陸した。その後、近畿・北陸地方を通過して 22 日 18 時過ぎに富山湾に出たのち、山形県鶴岡市付近に再上陸、岩手県を通過して太平洋に抜けた。上陸時の中心気圧は 960 hPa、台風経路近くの最低観測気圧は和歌山で 975.5 hPa、奈良で 976.8 hPa、彦根で 980.0 hPa、津で 985.1 hPa、名古屋で 991.1 hPa を記録した。高潮偏差は名古屋で 110 cm (観測史上第 13 位) とかなり大きい。本台風とともに来襲した T9808 号の両台風に伴う大雨と暴風によりかなりの被害が出た。両台風時の被害を合わせると、死者・行方不明者は 18 名、住宅被害は一部損壊 (49,000 棟) を含めて 50,000 棟、浸水被害は 10,600 棟にのぼる。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾内中央や湾奥で 30 m/s を上まわり、湾外や三河湾の湾奥の 22.5 m/s に向けて小さくなる。湾内全体で風速は 25 m/s を越える。風向は湾外と湾口、三河湾で S、湾内の南部と中部で SE、北部で SW と海域ごとに異なる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外の広い範囲で 7 m 程度であり、湾口で 5~6 m になる。湾内では 3 m 波高域が広範に拡がり、西岸近くでわずかに 4 m 域がみられる。波向は主に SE を示す。三河湾では波高は 2 m 以下である。波向は湾入口の S から湾奥の SW に変化する。

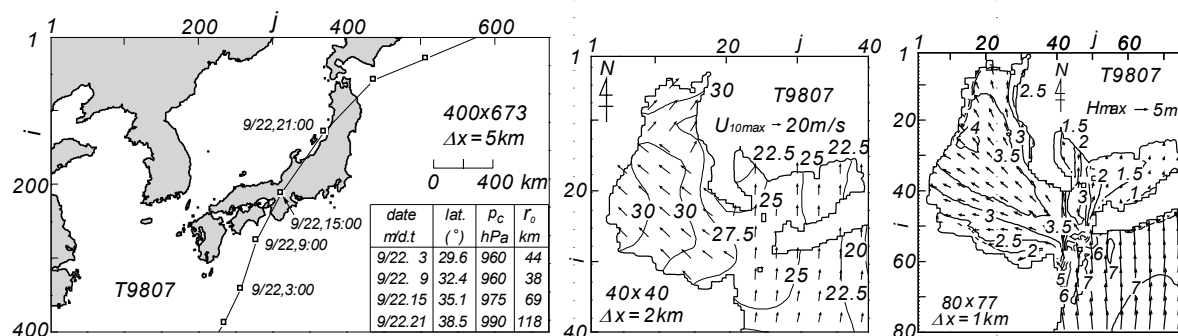


Fig. 25 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 9807.

(6) T9810 号 (Fig. 26)

1) 台風特性と被災状況^[50]

本台風は 1998 年(平成 10 年) 10 月 11 日マリアナ諸島の西方海域で発生、WNW 方向に進んで 14 日ルソン島北部に上陸、進行方向を N 寄り、ついで NE 方向に変えて東シナ海を通過、17 日 16 時 30

分頃鹿児島県枕崎市付近に上陸した。中心気圧は 975 hPa である。その後、高知県宿毛市付近、岡山県玉野市付近に再上陸を繰り返す、中国地方東部を経て日本海に出た。台風経路に近い地点の最低観測気圧は高知県宿毛で 979.1 hPa、岡山県津山で 976.6 hPa、鳥取で 978.0 hPa であるから、陸上部における台風時気圧としてはかなり低い。しかし、台風経路から離れた名古屋では 989.1 hPa、津では 989.3 hPa と上記の地点より 10 hPa 程度高い。高潮偏差は名古屋で 89 cm（観測史上第 22 位）を記録したが、鳥羽、舞阪、尾鷲では小さい。台風時には強風というより台風により刺激された前線の活動の活発化に伴う大雨により、被害が全国に及んだ。死者・行方不明者は 15 名、住宅被害は 650 棟、浸水被害は 12,000 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾内の中央と南側の 30 m/s 域を中心に湾奥と湾外の 22.5 m/s、三河湾湾奥の 20 m/s に向けて小さくなる。風向はほぼ SE を与える。本台風は伊勢湾のかなり西方を NE 方向に通過したので、空間スケールの小さい伊勢湾では最大風速時の風向の空間変化はあまりみられない。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で 5.5 m から 4.5 m、湾内では 3 m 等波高線が広い範囲を占める。北西岸の沖合には 4 m 波高域もみられる。三河湾では波高は 2 m 以下である。波向は湾外で S 方向、湾内で SE 方向を主とする。

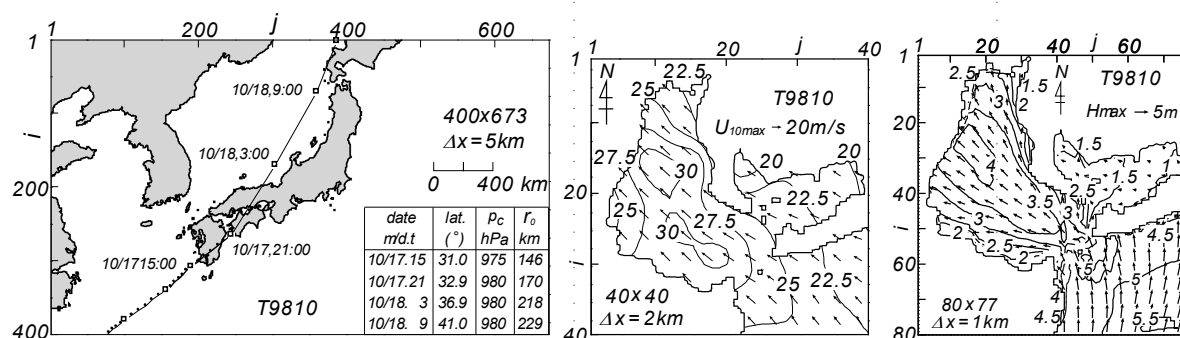


Fig. 26 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 9810.

(7) T0310 号 (Fig. 27)

1) 台風特性と被災状況^[51]

本台風は 2003 年（平成 15 年）8 月 3 日フィリピンの東方海上で発生、NW 方向、NNW 方向に進路をとって 7 日に沖縄本島を通過した。この時点の中心気圧は 945 hPa と強い勢力をもった。その後、台風は進行方向を N、NE 方向に変えて 8 日 21 時半頃高知県室戸市に上陸（中心気圧 950 hPa）、9 日 6 時頃には兵庫県西宮市付近に再上陸し、そのまま近畿・北陸・東北地方・北海道東部を経てオホーツク海に達した。台風経路に近い気象官署における最低観測気圧は室戸岬で 950.5 hPa、徳島で 963.4 hPa、洲本で 967.0 hPa、神戸で 972.6 hPa、京都で 976.9 hPa、上野で 979.2 hPa、福井で 981.5 hPa、金沢で 983.2 hPa、新潟で 985.1 hPa であり、上陸後も低い値を保っている。また、最大高潮偏差は室戸岬で 81 cm、高知で 69 cm、小松島で 80 cm、高松で 89 cm、神戸で 83 cm、大阪で 84 cm、名古屋で 65 cm、舞阪で 67 cm と、比較的大きい値を記録した。全国の死者・行方不明者は 19 名、住宅被害 610 棟、浸水被害 2,400 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風が伊勢湾の西側を NE 方向に通過したことに伴い、伊勢湾では SE 寄りの風が吹送した。最大風速は湾外で 27.5 m/s、湾口で 25 m/s、湾中央で 22.5 m/s、湾奥で 17.5 m/s と湾外から湾奥に向けて SE—NW 方向に減少する。三河湾では 20~22.5 m/s であり、北西側で 15 m/s とやや小さくなる。風向は SSE~SE を示す。

3) 最大波高・波向の空間分布

湾外南東端で 9 m を越える波高は湾口で 5~6 m に減少する。湾内では湾口から 3 m 波高域が NW 方向に延びて北西岸近くに達する。2 m 波高域が湾のほぼ全域を占める。三河湾では波高は 2 m より小さい。波向は湾外と三河湾で S 方向をとる。湾内では SE を主として南西側で E 方向に、北東側で S 方向に傾く。

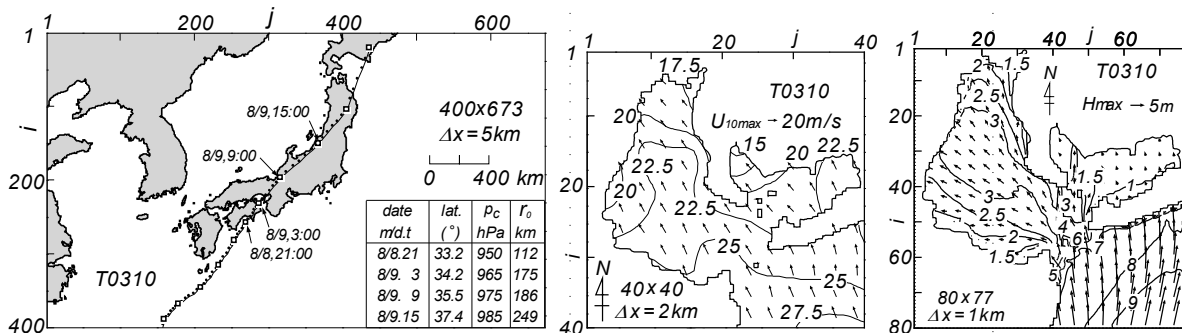


Fig. 27 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 0310.

5. 波高の極値の空間分布

5.1 東京湾における波高の極値

(1) 期間最大波高

1961~2005 年 (45 年間) 94 ケースのストーム別最大波高の格子点別値を重ねて得た期間最大波高 H_{max}^{61-05} と波向の空間分布を Fig. 28 に与える。 H_{max}^{61-05} における上側の添字は期間 (1961~2005 年) を、下側の添字は最大値を表す。期間最大波高は湾外境界では 8 m を越えるが、浦賀水道北部の富津岬付近では 4~5 m に減少する。波向は S から東側で SW 方向に、西側で SSE 方向に傾く。湾内では湾口から湾奥に向けて 3 m 波高域が拡がり、北端の東京港付近で波高は 4 m に達する。横浜沖にも局所的に 4 m 波高域がみられる。波向は S から SSW である。西側 3 m 等波高線の南西側海域では波高は西岸で 2 m にまで小さくなり、東側 3 m 等波高線の東側海域では波高は東岸に沿って 2.5 m を与える。波向は西側海域で SE 方向に、東側海域で SW 方向に傾く。期間最大波高を生起した主なストームは湾外と湾内の 3 m 波高域で T7920 号、その西側海域と東側海域で T8506 号で

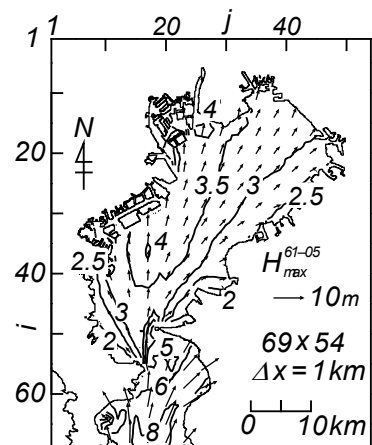


Fig. 28 Largest wave height H_{max}^{61-05} and its wave direction in Tokyo Bay during the period of 1961 - 2005.

ある。

(2) 50年確率波高

Fig. 29 は資料採択率 ν を 1/2, 1/3 とした場合に、45 年間の年別最大波高資料に対する極値統計解析によって得た 50 年確率波高の相違を相対差の%値 $(H_{50(1/2)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として表す。ここに、各記号における上側の数値は資料期間 (1961~2005 年)、下側の最初の添字は再現期間 R 、() 内の数字は資料採択率 ν を表す。相対差はほぼ $\pm 1\%$ 以内に納まることから、50 年確率波高の推定値に及ぼす資料採択率の影響は小さい。

Fig. 30 は 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ とその変動係数の%値 $(H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05}) \times 10^2$ の空間分布を示す。 $H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}$ は 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ の標準偏差であり、 σ は標準偏差を表す。45 年間の極大風速資料に対する極値統計解析から得た 50 年確率風速とその変動係数の空間分布はすでに山口ら^[31]に与えている。50 年確率波高は湾外境界付近で 8 m をとり、湾外の広い範囲で 6 m を越える。浦賀水道では北部の富津岬付近の 4~5 m に向けて漸減する。湾内では南側から中央、北側に向けて 3 m 波高域が拡がり、湾奥の東京港付近と横浜の沖合に 4 m 域も出現する。また、3 m 波高域の西側では西岸に向けて波高は 2 m に、その東側では東岸に向けて 2.5 m になる。変動係数は湾外で 4~9%，湾内で 4~6% であり、湾外および湾内のいずれでも SW-NE 方向の中央軸線に沿った周辺海域で小さく、沿岸部で大きい。

Fig. 31 は期間最大波高 H_{max}^{61-05} と 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ の相対的大きさの差を $(H_{max}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1.0)$ の%値として示したものである。資料期間 (45 年) と再現期間 (50 年) は相互に近い値をもつことから、両者の比較は可能であろう。上記の差は広い範囲で $\pm 3\%$ 以内に納まるが、湾外の西側や湾奥の北東側と南東側では期間最大波高 H_{max}^{61-05} が 50 年確率波高 H_{50} と比べて 6% 以上大きい。これは期間最大波高 H_{max}^{61-05} 、すなわち年別最大波高資料のうち第 1 位値が第 2 位値よりかなり突出した値をとる特徴を示唆する。

Table 3 は推算資料および観測資料^{[28], [29]}より得た年別最大波高資料に対する極値統計解析に基づく相関係数 ρ 、50 年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}$ の一覧を解析条件 (資料期間、資料年数 K 、使用資料数 N 、資料採択率 ν) とともに東京灯標、千葉観測塔、第 2 海堡、アシカ島、浜金谷の 5 地点に

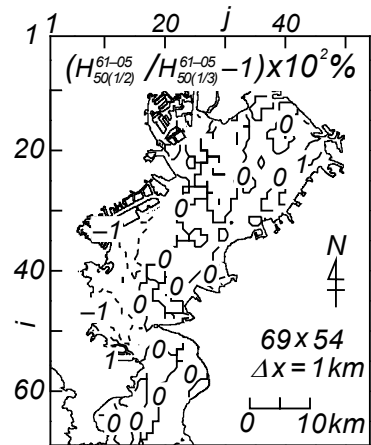


Fig. 29 Effect of data censoring ratio ν on the estimate of 50-year return wave height H_{50}^{61-05} in Tokyo Bay.

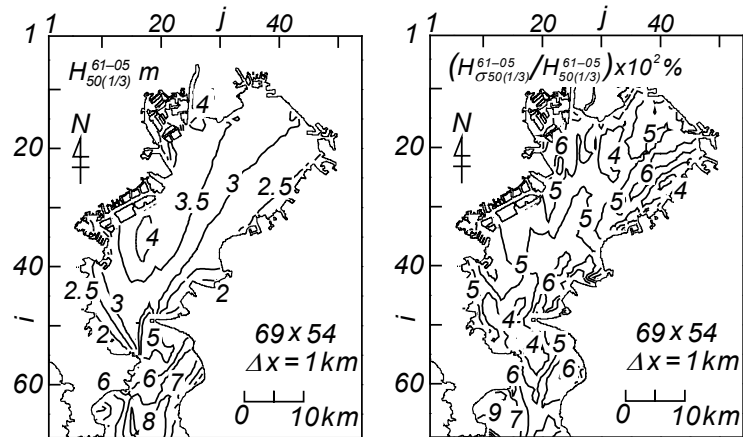


Fig. 30 50-year return wave height $H_{50(1/3)}^{61-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}$ divided by 50-year return wave height) $(H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05}) \times 10^2$ in Tokyo Bay estimated using the annual maximum data during the period of 1961 - 2005.

ついて示す。推算資料を用いた解析は観測資料期間（資料採択率 $\nu=1$ ）および1961～2005年の45年間（ $\nu=1/3$ と1）の2通りの資料について行う。

東京灯標（1969～2004年の資料のうち、1982年以前の資料および1985年の資料は水圧式波高計による資料）において観測資料に基づく50年確率波高 H_{50} と標準偏差 $H_{\sigma 50}$ は 3.63 ± 0.29 m, 同じ期間の推算資料に基づく50年確率波高と標準偏差は 3.56 ± 0.25 mであり、両者はほぼ符合する。45年間の推算資料では50年確率波高と標準偏差は $\nu=1$ に対して 3.81 ± 0.20 m, $\nu=1/3$ に対して 3.79 ± 0.20 mであるから、確率波高はわずかに増大し、標準偏差は一致する。千葉観測塔でも50年確率波高と標準偏差は観測資料に対して 3.05 ± 0.39 m, 推算資料に対して 3.06 ± 0.19 mであるから、50年確率波高はほぼ一致し、標準偏差は観測資料の場合に大きい。推算資料期間45年に対しても同程度の値が得られているが、 $\nu=1/3$ の場合の標準偏差が $\nu=1$ の場合より大きい。第2海堡では観測資料および同じ期間の推算資料では50年確率波高はそれぞれ2.23 mと2.84 m, 45年間の推算資料で3.22 m ($\nu=1$), 3.21 m ($\nu=1/3$)である。波浪推算における地形解像度は1 kmであるので、第2海堡付近の地形が必ずしも適切に表現されないことから、推算資料は観測資料より大きい確率波高の推定値を与える。

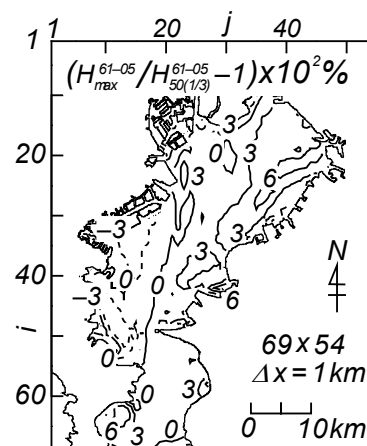


Fig. 31 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wave height during the period of 1961-2005 to 50-year return wave height

$$\left(\frac{H_{max}^{61-05}}{H_{50(1/3)}^{61-05}} - 1 \right) \times 10^2 \text{ in Tokyo Bay.}$$

Table 3 Comparison of 50-year return wave height H_{50} and its standard deviation $H_{\sigma 50}$ estimated from data samples of annual maximum wave height based on hindcasts and measurements in Tokyo Bay.

location	data	period	K yrs.	N	ν	ρ	H_{50} m	$H_{\sigma 50}$ m
Tokyo	cal.	61-05	45	15	1/3	0.984	3.79	0.20
	cal.	61-05	45	45	1	0.995	3.81	0.20
to-hyo	cal.	69-04	36	36	1	0.991	3.56	0.25
	obs.	69-04	36	36	1	0.996	3.63	0.29
Chiba	cal.	61-05	45	15	1/3	0.995	3.13	0.16
	cal.	61-05	45	45	1	0.993	3.05	0.10
	cal.	94-03	10	10	1	0.988	3.06	0.19
	obs.	94-03	10	10	1	0.995	3.05	0.39
Daini-	cal.	61-05	45	15	1/3	0.986	3.21	0.13
	cal.	61-05	45	45	1	0.991	3.22	0.17
	cal.	88-05	18	18	1	0.992	2.84	0.18
	obs.	88-05	18	18	1	0.985	2.23	0.13
Ashika-	cal.	61-05	45	45	1/3	0.991	6.50	0.37
	cal.	61-05	45	15	1	0.992	6.48	0.43
	cal.	88-05	18	18	1	0.992	6.28	0.69
jima	obs.	88-05	18	18	1	0.958	6.96	0.86
	cal.	61-05	45	15	1/3	0.991	7.28	0.40
	cal.	61-05	45	45	1	0.994	7.24	0.38
Hama-	cal.	74-90	17	17	1	0.978	8.01	0.80
	obs.	74-90	17	17	1	0.989	7.29	2.01

ex. 61-05 : 1961-2005

湾外のアシカ島では観測資料および同じ期間の推算資料に基づく 50 年確率波高は 6.96 m と 6.28 m, 45 年間の推算資料に基づく値は 6.48 m ($\nu=1$), 6.50 m ($\nu=1/3$) であり, 推算資料に基づく推定値がやや小さい。しかし, 標準偏差は観測資料で 0.86 m, 推算資料(観測資料期間)で 0.69 m とかなり大きいことから, これを考慮すると, 両者の対応は悪くない。浜金谷では観測資料および同じ期間の推算資料に基づく 50 年確率波高は 7.29 m と 8.01 m, 45 年間の推算資料に基づく値は 7.24 m ($\nu=1$), 7.28 m ($\nu=1/3$) である。標準偏差はとくに観測資料では 2.01 m と非常に大きく, 推算資料でも 0.80 m とかなり大きいことから, 突出した第 1 位値によって確率波高の信頼性が低くなっている。また, 推算資料では資料期間の増加によって標準偏差は小さくなり, 確率波高推定値の信頼性が向上する。なお, 確率波高の推定値に及ぼす採択率の影響は有意でない。また, 標準偏差に及ぼす影響は必ずしも一貫性をもたない。

以上, 推算資料および観測資料に基づく 50 年確率波高は比較的近い値をとるが, 湾外と湾内の境界に位置する第 2 海堡では波浪推算における地形解像度の不足のため, 推算資料に基づく結果がやや大きい値を与える傾向にある。

5.2 伊勢湾における波高の極値

(1) 期間最大波高

1961~2005 年の 45 年間 104 ケースのストーム別最大波高資料より得た期間最大波高 H_{max}^{61-05} と波向の空間分布を Fig. 32 に示す。期間最大波高は湾外では南東側の 12 m から湾口の 6~7 m に向けて小さくなる。波向は SSW~S から SSE 方向に若干変わる。湾内では 5 m の等波高線が湾口から北側へ, また湾口の沖合から北西側に広がっており, 6 m 波高域も北西岸沖合にごく局所的に出現する。南西側や北東側で波高は 4 m, 湾奥の名古屋港付近で 3 m を与える。波向は 5 m 波高域の SE 方向を中心に南西側で E 方向に, 北東側で S 方向に傾く。三河湾内では波高は湾入口の 4 m から湾奥の 2.5 m 以下に向けて小さくなる。波向は S から W に変わる。期間最大波高は湾外においては T7220 号と T7920 号, 湾内において湾口から延びる 5 m 波高域では T7220 号, 北東側 5 m 等波高線の北東側と三河湾の北側では T6118 号, 南西側 5 m 等波高線の南西側では T8719 号と, T6126 号, T6524 号, 三河湾の南側で T6734 号によって生じている。概略で見れば, 45 年間の期間最大波高は伊勢湾の湾外では T7220 号と T7920 号, 湾内では T7220 号と T6118 号によってほぼ生じていると言える。

(2) 50 年確率波高

Fig. 33 は資料採択率を $\nu=1/2$ と $1/3$ とした場合に, 50 年確率波高に及ぼす資料採択率 ν の影響を 50 年確率波高の相対差の % 値 $(H_{50(1/2)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として表す。相対差は対象領域のほぼ全体で ± 3 % 以内, 大部分の

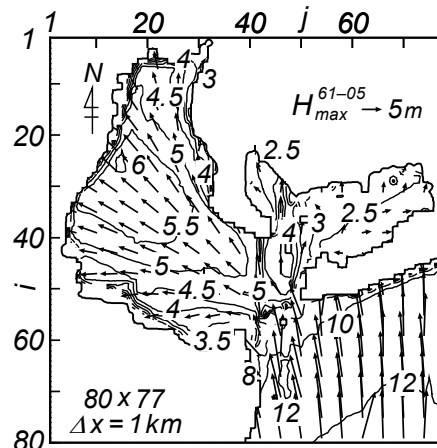


Fig. 32 Largest wave height H_{max}^{61-05} and its wave direction in Ise Bay during the period of 1961 - 2005.

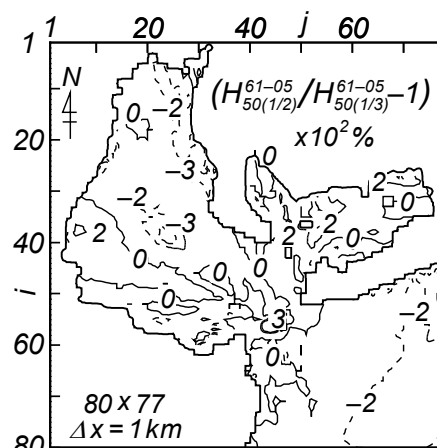


Fig. 33 Effect of data censoring ratio ν on the estimate of 50-year return wave height H_{50}^{61-05} in Ise Bay.

海域で±2%以内に納まることから、資料採択率の影響はおおむね有意でない。

Fig. 34 は資料採択率を $\nu=1/3$ として得た 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ とその変動係数の%値 $(H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05}) \times 10^2$ の空間分布を表す。

50 年確率波高は湾外南東端の 13 m から湾口の 6~7 m に向けて減少する。湾内では、5 m 波高線が湾口の北側および湾口の沖合から NW 方向に広がっており、北西岸沖合で 5.5 m 波高域もみられる。湾内の南西側や北東側で波高は 4 m、名古屋港付近で 3 m をとる。三河湾では湾入口の 3~4 m から湾奥の 2 m に向けて小さくなる。変動係数は 2~12% の範囲にあり、8% 以内の値をとる湾外に比べて湾の北側や南西岸および三河湾では 10% 以上と大きい。

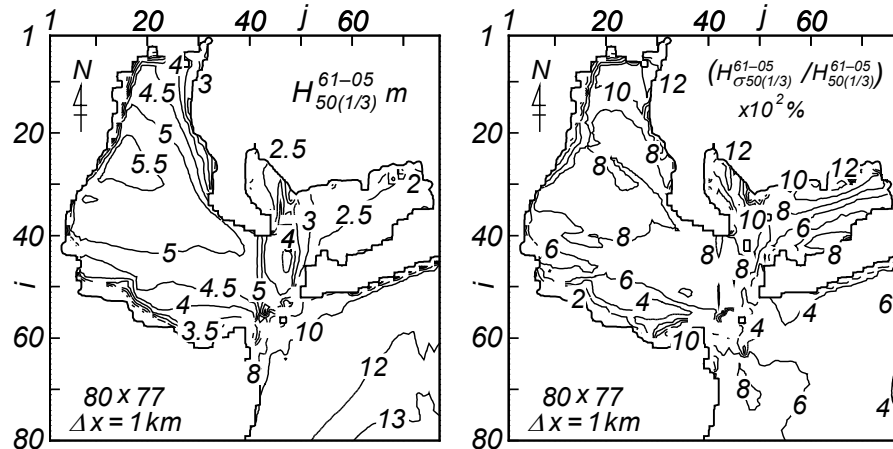


Fig. 34 50-year return wave height $H_{50(1/3)}^{61-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}$ divided by 50-year return wave height) $(H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05}) \times 10^2$ in Ise Bay estimated using the annual maximum data during the period of 1961 - 2005.

Fig. 35 は 45 年間の期間最大波高 H_{max}^{61-05} と 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ の相対差の%値 $(H_{max}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ を、Fig. 36 は期間最大 (第1位) 波高 H_{max}^{61-05} と第2位波高 H_{max2}^{61-05} の相対差 (突出率) の%値 $(H_{max}^{61-05}/H_{max2}^{61-05} - 1) \times 10^2$ をそれぞれ空間分布図として与える。期間最大波高と 50 年確率波高の差は湾内の広い範囲で 6% 以内に納まるけれども、南西側および湾奥のごく一部および三河湾の

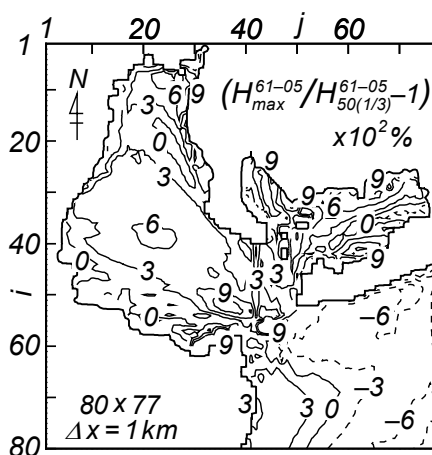


Fig. 35 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wave height during the period of 1961-2005 to 50-year return wave height $(H_{max}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ in Ise Bay.

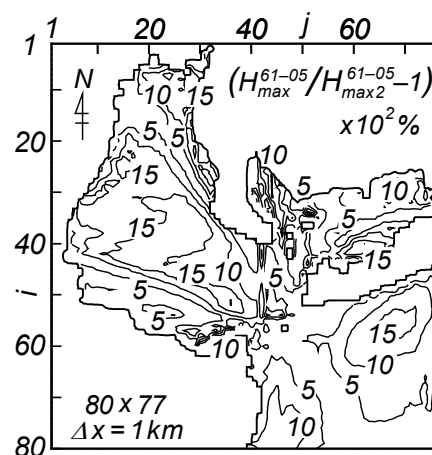


Fig. 36 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wave height to second largest wave height $(H_{max}^{61-05}/H_{max2}^{61-05} - 1) \times 10^2$ in Ise Bay during the period of 1961 - 2005.

多くの海域では期間最大波高は50年確率波高より9%以上大きい。上記の海域では期間最大(第1位)波高が年別最大波高資料における第2位波高に比べて突出した値をとるため、最適分布は正側に裾を引く分布で表される傾向にあり、期間最大波高に比べて50年確率波高がより小さくなる。一方、湾外では期間最大波高は南東側で50年確率波高より3~6%小さい。これらの海域では期間最大(第1位)波高と第2位波高の差が小さいため、最適分布は尖った分布で表される傾向にあり、50年確率波高が期間最大波高に近いが、より小さくなる。したがって、Fig. 35とFig. 36の空間分布の状況はよく対応するが、湾外の北側、あるいは湾の中央のように期間最大(第1位)波高が第2位波高よりかなり大きい(突出率が大きい)ときでも、期間最大(第1位)波高と50年確率波高の差が6%以内にとどまるか、あまり差がない場合がある。

Table 4は観測資料および推算資料に基づく50年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}$ の推定値を四日市について示す。推算資料に基づく値は観測資料期間と45年間の両者について与える。伊勢湾の北西端に位置する四日市では、観測資料および推算資料に基づく50年確率波高はそれぞれ3.70 mと3.94 m、45年間の推算資料に基づく50年確率波高は4.24 m ($\nu=1/3$)、4.30 m ($\nu=1$)であるから、推算資料に基づく結果がやや大きい。観測資料の時間間隔は1977~1996年の資料期間のうち、1986年6月以前では2時間、それ以降で1時間であり、異常波高時に欠測を伴う場合もあること、波浪推算の時間間隔は1分、地形解像度は1 kmであることを考慮すると、推算資料に基づく確率波高の推定値が観測資料によるものより大きいのはある程度予想される。要するに、この結果は周辺地形の複雑な伊勢湾内の観測資料と推算資料の整合性をとることが容易でないことを示唆する。また資料期間を延長すれば、この場合には最大級の異常波高が新たに年最大波高資料に含まれるので、50年確率波高の推定値は大きくなる。

Table 4 Comparison of 50-year return wave height H_{50} and its standard deviation $H_{\sigma 50}$ estimated from data samples of annual maximum wave height based on hindcasts and measurements in Ise Bay.

location	data	period	K yrs.	N	ν	ρ	H_{50} m	$H_{\sigma 50}$ m
Yokkaichi	cal.	61-05	45	15	1/3	0.989	4.24	0.24
	cal.	61-05	45	45	1	0.993	4.30	0.27
	cal.	77-96	20	20	1	0.981	3.94	0.28
	obs.	77-96	20	20	1	0.975	3.70	0.64

ex. 61-05 : 1961-2005

6. 結 語

本研究で得た知見はつぎのようである。

- 1) 風速・風向の時系列や最大風速に関して、推定値と観測値は平均的にみてよく符合する。
- 2) 波高時系列に対して推算値と観測値は全体的によく一致する。ストーム別最大波高に対しても、外洋波浪の影響が大きい東京湾外や伊勢湾外の観測地点で推算値と観測値は比較的よく符合するが、湾内の観測地点で推算値が観測値よりやや大きい傾向にある。
- 3) 各観測地点における各ストーム時の推定風速・風向および波高資料の誤差指標を東京湾および伊勢湾の全観測地点の多数ケースについてそれぞれ集積して得た頻度分布によれば、風速・風向に関して推定値と観測値のよい対応が統計的に支持される。波高に関しては、推算値は個々の時点について平均的に観測値より10%以上大きい傾向を示す。一方、ストーム別最大波高については東京湾で3%

伊勢湾で8%の大きめの評価にとどまる。

4)1961～2005年の45年間において、東京湾に最大級の波高をもたらした主なストームはT7920号とT8506号、伊勢湾においては湾外でT7220とT7920号、湾内でT7220号とT6118号である。

5)50年確率波高の推定値に及ぼす資料採択率の影響は小さい。

6)東京湾における50年確率波高は湾外から湾口に向けて最大8mから5mに減少する。湾内では広い範囲で3mを越え、局所的に4mに達する。伊勢湾においては、湾外から湾口に向けて13mから6～7mに減じる。湾内では湾口から北側と北西側の海域に向けて広い範囲で5mを上まわる。

7)東京湾および伊勢湾における45年間の期間最大波高は50年確率波高とおおむね対応するが、期間最大波高が50年確率波高より6%以上大きい海域も存在する。また、伊勢湾の湾外では西側を除いて期間最大波高が50年確率波高より3%以上小さい。

8)観測資料およびこれと同じ期間の推算資料に基づく50年確率波高は東京湾内の観測地点では湾口に位置する第2海堡を除いてほぼ符合し、湾外の観測地点ではその標準偏差で表された変動範囲内に納まる。伊勢湾内の観測地点では推算資料に基づく値が大きめの値を与える傾向にある。

最後に、多量の風・波浪観測資料を提供戴いた多くの関係機関に深く感謝します。

参 考 文 献

- [1] 佐々木民雄・五十嵐 元：東京湾における台風時の波浪推算について，第23回海岸工学講演会論文集，pp.291-295，1976.
- [2] (財)日本気象協会：気象海象要覧 東京湾，港湾気象海象シリーズ⑬，417p.，1994.
- [3] 岡田弘三・磯崎一郎：内湾の波浪推算に関する諸問題，沿岸海洋研究ノート，第23巻，pp.138-149，1992.
- [4] 岡田弘三・川村 宏・鳥羽良明：東北Ⅱ波浪モデルに基づく浅海波浪予測手法，海の研究，Vol.4，No.5，pp.415-422，1995.
- [5] 河合弘泰・竹村慎治・原 信彦：東京湾における台風による高潮と高波の同時性と継続時間特性，海岸工学論文集，第49巻，pp.251-255，2002.
- [6] 村上智一・吉野 純・深尾宏矩・安田孝志・飯塚 聡・下川信也：大気-海洋-波浪結合モデルを用いた可能最大級台風による東京湾の高潮予測，海洋開発論文集，第27巻，2011.
- [7] 村上智一・深尾宏矩・吉野 純・安田孝志・飯塚 聡・下川信也：温暖化による台風強大化に伴う東京湾での最大級高潮と波浪の時空間分布，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67，No.1，2011 (印刷中) .
- [8] 橋本典明・杉本 彰・川口浩二・宇都宮好博：局地気象モデルと第三世代波浪推算モデルの内湾波浪推算への適用，海岸工学論文集，第49巻，pp.201-205，2002.
- [9] 橋本典明・川口浩二・池上正春・鈴山勝之：東京湾におけるWAMの波浪推算特性に関する検討，海洋開発論文集，第20巻，pp.845-850，2004.
- [10] 川口浩二・橋本典明・杉本 彰：内海域における波浪推算精度向上を目的とした第3世代波浪推算モデルWAMの改良，海岸工学論文集，第50巻，pp.191-195，2003.
- [11] 日野幹雄・山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一：東京湾における長期の波浪特性の推定，水工学論文集，第52巻，pp.1351-1356，2008.
- [12] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における45年間の波浪推算システム－東京湾の場合－，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.B2-65，No.1，

- pp.191-195, 2009.
- [13] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一：SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた 45 年間の波浪推算システム—関東沿岸海域の場合—, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第 9 巻, pp.14-26, 2010.
- [14] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における波浪の長期推算システムの適用性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.151-155, 2010.
- [15] 井島武士・伊藤昭二・青野 尚：伊勢湾台風による外海及び伊勢湾沿岸の波, 第 7 回海岸工学講演会講演集, pp.149-161, 1960.
- [16] 岩垣雄一・柿沼忠男：海岸波浪の予知に関する研究 (第 1 報) —伊勢湾台風時における沖波の推算—, 京大防災研究所年報, 第 5 号 A, pp.284-295, 1962.
- [17] 柴木秀之・渡辺 晃・磯部雅彦・三原正裕：浅海波浪推算モデルとその応用に関する研究, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp.341-345, 1995.
- [18] 小林智尚・座沢慎一郎・安田孝志：波浪推算モデル SWAN による伊勢湾台風時波浪の再現, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.181-185, 2003.
- [19] (財) 日本気象協会：気象海象要覧 伊勢湾・三河湾, 港湾気象海象シリーズ⑮, 394p., 1996.
- [20] 佐藤 清・柴木秀之・鈴山勝之：伊勢湾海岸保全施設の越波量を指標とした安全性の点検, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.656-660, 2003.
- [21] 吉野 純・小林孝輔・小島弘展・安田孝志：大気・海洋力学的手法に基づく伊勢湾の可能最大高潮・波浪の評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.B22-65, No.1, pp.396-400, 2009.
- [22] 村上智一・深尾宏矩・吉野 純・安田孝志：現在気候の下での最大級台風による伊勢湾の可能最大高潮, 海洋開発論文集, 第 27 巻, 2011.
- [23] 村上智一・深尾宏矩・吉野 純・安田孝志：温暖化シナリオ A1B の下で今世紀末に予想される最大級台風による伊勢湾全域の高潮・高波, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.1, 2011 (印刷中) .
- [24] 小林智尚・樋口喬士・大澤輝夫・安田孝志：波浪推算による中部国際空港人工島の波浪場への影響評価, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.196-200, 2003.
- [25] 山口正隆・大福 学・日野幹雄・畑田佳男・森 正憲・野中浩一：内湾・内海における波浪の長期推算システムの構築—伊勢湾の場合—, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.116-120, 2006.
- [26] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一：SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた 45 年間の波浪推算システム—伊勢湾の場合—, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第 9 巻, pp.27-39, 2010.
- [27] 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所：管内設計沖波検討調査 (http://www.pa.cbr.mlit.go.jp/MEIGI/br_ex_report/h_17.html), 2007.
- [28] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男：内湾・内海における観測資料を用いた確率風速と確率波高の推定, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第 8 巻, pp.118-128, 2009.
- [29] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男：内湾・内海における観測資料を用いた風速・波高・高潮偏差の再現確率値の推定, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.131-135, 2010.
- [30] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.186-190, 2009.
- [31] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男：SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第 9 巻, pp.1-13, 2010.

- [32] 畑田佳男・山口正隆・大福 学・高橋秀典：表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システムの適用性の向上，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.141-145，2005.
- [33] 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博：一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性，土木学会論文集，第 381 号/II-7，pp.151-160，1987.
- [34] 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄：エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて，第 31 回海岸工学講演会論文集，pp.123-127，1984.
- [35] 山口正隆・西岡賢嗣・田中浩二：構造物が存在する場合の不規則波に伴う海浜流の数値モデル，海岸工学論文集，第 37 巻，pp.190-194，1990.
- [36] 合田良實：[増補改訂] 港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—，11.極値統計解析，鹿島出版会，pp.267-326，1990.
- [37] Yamaguchi, M. and Y. Hatada : An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp.932-946, 1997.
- [38] (財) 日本気象協会：1940～1970 台風経路図 30 年集，日本気象協会，139p., 1973.
- [39] 力武常次・竹田 厚 (監)：日本の自然災害，国会資料編纂会，637p., 1999.
- [40] 和達清夫監修：新版気象の事典，付録 気象災害年表，東京堂出版，pp.584-616，1989.
- [41] 饒村 曜：続・台風物語，(財) 日本気象協会，295p., 1993.
- [42] 高橋 博・竹田 厚・谷本勝利・郡司嘉宣・磯崎一郎：沿岸災害の予知と防災—津波・高潮にどう備えるか—，白亜書房，408p., 1988.
- [43] 宮崎正衛：高潮の研究 その実例とメカニズム，成山堂書店，134p., 2003.
- [44] 永井紀彦・菅原一晃・渡邊 弘・川口浩二：全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 1995)，港湾技術資料，No.859，318p., 1997.
- [45] 気象庁：気象要覧，第 1225 号 (9 月号)，pp.39-41，第 1226 号 (10 月号)，pp.14-21，2001.
- [46] 気象庁：気象要覧，第 1238 号 (10 月号)，pp.22-25，p.33，2002.
- [47] 気象庁：1965 年第 23，24，25 号台風調査報告，気象庁技術調査報告，第 53 号，1966.
- [48] (財) 日本気象協会，気象要覧 関東東部沿岸海域，港湾気象海象シリーズ⑩，360p., 1991.
- [49] 気象庁：気象要覧，第 1189 号 (9 月号)，pp.28-29，第 1190 号 (10 月号)，pp.26-29，1998.
- [50] 気象庁：気象要覧，第 1190 号 (10 月号)，pp.48-49，第 1191 号 (11 月号)，pp.15-21，1998.
- [51] <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2003/20030807/20030807.html>

1911～2005年の巨大ストームに伴う東京湾の

風速と波高の極値の推定

Estimating Extremes of Wind Speeds and Wave Heights Generated by Intense Storms during the 1911-2005 Year Period in Tokyo Bay

山口正隆*・畑田佳男**・大福 学***・野中浩一***

Masataka YAMAGUCHI*, Yoshio HATADA**,
Manabu OHFUKU*** and Hirokazu NONAKA***

Shallow water wave hindcasting under the SDP measurement data-based wind condition is conducted for each of the 20-selected strong typhoons during the year period of 1911-1959 in Tokyo Bay, and spatial distributions of the maximum values of wind speed and wave height during a typhoon in the bay are discussed typhoon by typhoon. A gross finding is that the intensities of winds and waves depend strongly on the typhoon's characteristics such as its course and strength. Extreme value analyses are made using the annual maximum data samples of wind speed and wave height combined with those during the year period of 1961-2005. Maximum of the estimated 100-year return wind speed may be around 45 m/s in the bay. Also, maximum of the 100-year return wave height may be at most 4.5 m in the inner areas of the bay, while a much greater value is obtained in the outer areas of the bays exposed to open sea.

Key Words ; Tokyo Bay, wind speed, wave height, intense storms, year period of 1911-2005, the largest values and 100-year return values

1. 緒 言

わが国経済の中枢をなす東京湾は、多くの文献によりその歴史が明らかな近世に入って以降も、それ以前以上に台風に伴う高潮によって甚大な被害を受けてきたことから、近年における産業と人口の一層の集中を考慮するとき、できるだけ過去に遡って台風に伴う強風・高潮・高波の特性を明らかにし、将来起こりうる同種の異常海象に対する対応策の作成に資する努力が社会的に要請されている。とりわけ高潮時には、上昇した平均水面の上で高波が生じるので、高潮に加えて高波の適正な評価が

*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

** 愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

***愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成 23 年 10 月 5 日

重要になる。東京湾における過去の高潮に関しては、これが沿岸部の防災対策に直接関係することから、かなり詳細な検討が行われてきているが、ここで検討対象とする 1960 年以前の台風時の波浪に関する検討事例は、1958～1998 年の 20 台風のうち、台風 5811, 5821, 5915 号を対象とした波浪推算に基づく河合ら^[1]の研究にほぼ限られる。

さて、内湾・内海における波浪や高潮の推定精度を高めるためには、その成因となる海上風を適正に評価する必要がある。最近では、MM5 のようなメソ気象モデルの利用によって内湾・内海における海上風分布の推定精度が改善されつつある。しかし、1960 年以前のように古い時代の台風に対しては、伊勢湾台風時の伊勢湾における海上風分布を推定した大澤ら^[2]の研究を除いて、この種のモデルが適用されてきたことはほとんどない。これはモデルへの入力条件の不足や長大な計算時間によると推測される。一方、山口ら^{[3], [4]}は内湾・内海の周辺に位置する気象庁気象官署において長年にわたり取得されてきた風観測資料（SDP 風資料）と内湾・内海の海上部と沿岸部の複数地点で取得された風観測資料との相関を利用して、海上部と沿岸部における観測相当風を求め、これらに対する空間補間によって海上風分布を算定する方法を開発した。観測相当風の観測風に対する再現性はかなり高いことが確認されている。

そこで本研究では、東京湾を含む関東沿岸海域において山口ら^{[3], [4]}の方法により作成した 1911～1959 年の 20 台風時の海上風分布^[5]を入力条件とする波浪推算の結果に基づいて、入力条件として与えた台風別最大風速の空間分布とともに、台風別最大波高の空間分布の特性を台風の生起年代順に考察する。ついで、1961～2005 年の 45 年間の海上風分布のデータセット^{[3], [4]}から抽出した 100 ケース前後のストーム時海上風分布から得た年別最大風速資料およびこの海上風分布を入力条件とする波浪推算から得た年別最大波高資料^[6]と本研究における 1959 年以前の結果をそれぞれ併せて極値統計解析を行い、東京湾における風速・波高の期間最大値および再現確率値の空間分布の特性を考察する。

2. 台風時の波浪推算と極値統計解析の方法

2.1 海上風分布資料

内湾（東京湾）における波浪推算は、外洋に接続する境界上格子点に外洋から入射する方向スペクトルを流入境界条件として与えるとともに、内湾海上風の入力条件のもとに波浪の発達・減衰計算を行うことから、海上風分布資料を 2 種類用意する。すなわち、1 つは北西太平洋に設けた格子間隔 80 km の格子網における表面風再解析値（NCEP 風資料）に楕円型気圧分布の仮定に基づく台風モデル風を埋め込んだ海上風分布資料の 1 時間間隔値のデータセット^[7]（1948 年以降）、NCEP 風資料が存在しない 1947 年以前では円型気圧分布（Myers 式）の仮定に基づく台風モデル風による海上風分布資料の 1 時間間隔値のデータセットである。台風モデル風において傾度風速から海上風速への変換に際しては、台風半径相当距離地点で 1 をとり、遠方場で 0.6 に漸減する係数を乗じて台風中心付近の風速の増強をはかる。もう 1 つは Fig. 1 に示すように、東京湾・相模湾・駿河湾とその沖合海域からなる関東沿岸海域の周辺にそれぞれ位置する気象官署で取得された SDP 風資料に山口ら^{[3], [4]}の方法を適用して格子間隔 2 km の格子網（100×91 の領域）上で 10 分ごとに作成した各台風時の海上風分布

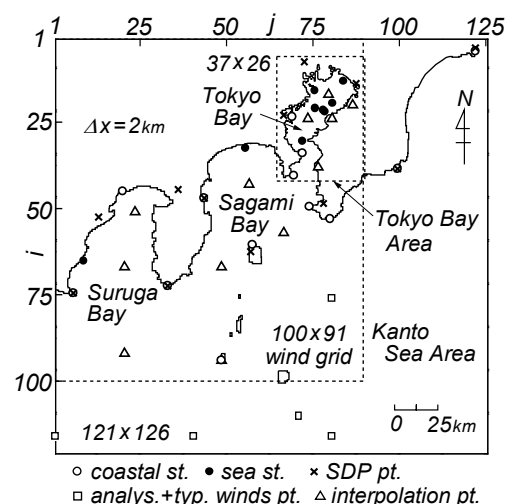


Fig. 1 Location of points where wind data are given in the Kanto Sea Area for estimating sea wind distribution.

のデータセットである。これは SDP 風資料と当該海域に位置する海上・沿岸観測地点における観測風資料との相関を利用して SDP 風資料から海上・沿岸観測地点における観測相当風を計算したのち、これらを空間補間して海上風分布を推定する方法であり、海上・沿岸観測風に対してかなり良好な再現性を示す。この方法の詳細は山口ら^{[3], [4]}に、また本論文で対象とする 1911~1959 年の 10 台風に対する適用結果は山口ら^[5]に与える。なお、図中の最も内側の点線枠は東京湾における海上風分布の抽出範囲 (37×26 の領域) を表す。

2.2 波浪推算の方法

波浪推算では Fig. 2 に示すように、まず東京湾の湾外で外洋に接続する境界上の格子点 (図中の○印, 4 地点) における波浪の方向スペクトルを 1 点浅海モデル^[8]によって 1 時間間隔で計算する。用いる格子網は格子間隔 5 km の北西太平洋領域に格子間隔 1 km の関東沿岸海域, さらに格子間隔 0.1 km の東京湾 (図中の●印は波浪観測地点名) を組み込んだ 3 段階格子網である。入力条件とする海上風分布として, 2.1 で述べたように台風モデル風を埋め込んだ NCEP 風 (1948 年以降) あるいは台風モデル風 (1947 年以前) と, SDP 風資料に基づく内湾海上風の 1 時間間隔値の 2 種類を使用する。周波数データの個数は 0.047~1 Hz を不等分割した 20 個, 方向データの個数は全平面を 20° で等分割した 19 個である。計算期間は台風到着前の 3~4 日を含めて 4~5 日とする。湾内 (東京湾) における波浪推算では, 砕波減衰エネルギーを段波モデルで評価した格子点浅海モデル^{[9], [10]}を適用する。周波数・方向データは境界地点における波浪推算に用いたものと同じである。

Fig. 3 は格子間隔 1 km で近似した東京湾 (69×54 に分割) を示す。図には, 外洋に接続する境界上に設けた流入境界地点 (○印, 4 地点) および沿岸地点名 (●印) を与える。波浪推算の時間間隔は 1 分, SDP 風より推定した海上風分布の入力時間間隔は 10 分であり, 格子間隔 2 km の海上風分布を 4 点双 1 次補間して 1 km 格子網上の値を求め, これが 10 分間不変とする。外洋に接続する境界上の格子点では, 境界 4 地点において 1 点浅海モデルにより計算した方向スペクトルを 1 分間隔で線形補間するとともに, 1 km ごとの境界格子点上に線形補間して与える。また, 外洋に接続する境界格子点において流出方向に方向スペクトルの完全流出条件を課し, 陸地境界地点では方向スペクトルの値を 0 とする。

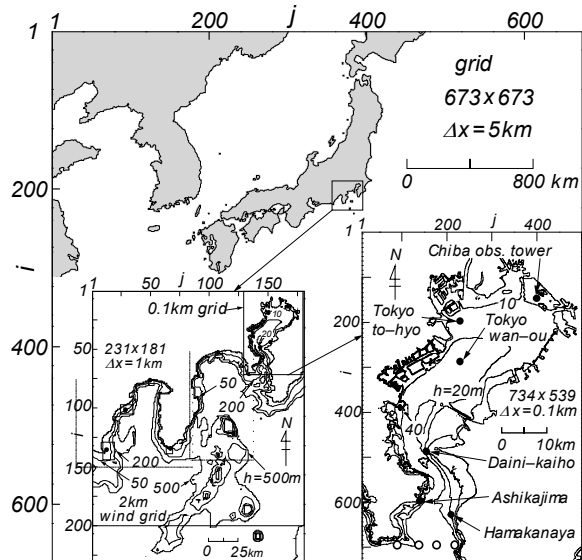


Fig. 2 A nested grid used in wave hindcasting at points along open boundary of Tokyo Bay by use of backward ray tracing model.

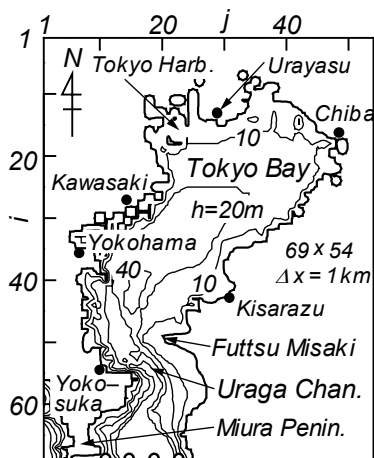


Fig. 3 Grid set on Tokyo Bay used in wave hindcasting and location name.

2.3 極値統計解析の方法

極値統計解析には、候補分布を Gumbel 分布、Weibull 分布（形状母数 $k=0.5\sim 10$ の 27 種類）、FT-II 型分布（形状母数 $k=2.5\sim 40$ の 20 種類）の計 48 種類とし、順序統計量のプロットポジションを合田^[11]の公式、位置母数と尺度母数の推定を最小 2 乗法、最適分布の選択を最大相関係数基準、再現確率統計量の分散（平方根は標準偏差）の推定を jackknife 法による Yamaguchi・Hatada^[12]のモデルを用いる。ここでは、このモデルを下限 censoring を受けた年別最大値資料の解析に適用する。

2.4 波浪推算対象台風

対象台風は、①1911 年（明治 44 年）7 月台風（T11-Jul 台風）、②1917 年（大正 6 年）10 月台風（T17-Oct 台風）、③1932 年（昭和 7 年）11 月台風（T32-Nov 台風）、④T3412 号（室戸台風）、⑤1938 年（昭和 13 年）9 月台風（T38-Sep 台風）、⑥T4021 号、⑦T4108 号、⑧T4327 号、⑨T4511 号、⑩T4709 号（カスリーン台風）、⑪T4821 号（アイオン台風）、⑫T4910 号（キティ台風）、⑬T5202 号、⑭T5313 号（テス台風）、⑮T5615 号、⑯T5811 号、⑰T5821 号、⑱T5822 号（狩野川台風）、⑲T5907 号、⑳T5915 号（伊勢湾台風）の 20 ケースである。これらは東京における高潮偏差記録、気象庁による異常気象報告書、日本気象協会による台風経路図 30 年集^[13]、台風・高潮災害に関する書物^{[14]~[20]}などを参照して、決めている。山口ら^[5]はすでに主要な台風時の東京湾（⑥~⑪、⑬~⑮、⑲の 10 ケースを除く）における海上風分布の特性を議論しているが、今回の研究では波高分布の特性を新たに検討する立場から該当する台風に対して同じ図を採録している。

Table 1 は 20 ケースの台風番号（著者らが独自に番号名を付与した T11-Jul, T17-Oct, T32-Nov, T38-Sep の各台風を含む）と波浪推算の期間（m：月，d：日，t：時刻）の一覧を示す。欄外には特定の台風に対して気象庁により付与された名称あるいは英語表記の名前を与える。Fig. 4 は 20 ケースの台風の経路を 4 枚の図に分割して与える。

Table 1 List of name of wave-hindcasted typhoon and its day-period.

No.	typhoon name	cal. period (m/d.t)	No.	typhoon name	cal. period (m/d.t)
①	T11-Jul	7/25.10-7/26.06	⑪	T4821 ³⁾	9/15.09-9/17.09
②	T17-Oct	9/30.08-10/01.12	⑫	T4910 ⁴⁾	8/31.06-9/01.06
③	T32-Nov	11/14.10-11/15.10	⑬	T5202	6/23.00-6/24.15
④	T3412 ¹⁾	9/20.18-9/21.18	⑭	T5313 ⁵⁾	9/24.12-9/26.12
⑤	T38-Sep	8/31.00-9/01.08	⑮	T5615	9/26.00-9/27.21
⑥	T4021	8/26.00-8/27.18	⑯	T5811	7/22.10-7/23.21
⑦	T4108	7/22.00-7/23.23	⑰	T5821	9/17.14-9/18.14
⑧	T4327	10/02.00-10/04.00	⑱	T5822 ⁶⁾	9/26.00-9/27.09
⑨	T4511	8/22.00-8/23.22	⑲	T5907	8/12.15-8/14.15
⑩	T4709 ²⁾	9/14.09-9/16.09	⑳	T5915 ⁷⁾	9/26.03-9/27.16

¹⁾Muroto, ²⁾Kathleen, ³⁾Ione, ⁴⁾Kitty, ⁵⁾Tess, ⁶⁾Kanogawa, ⁷⁾Isewan

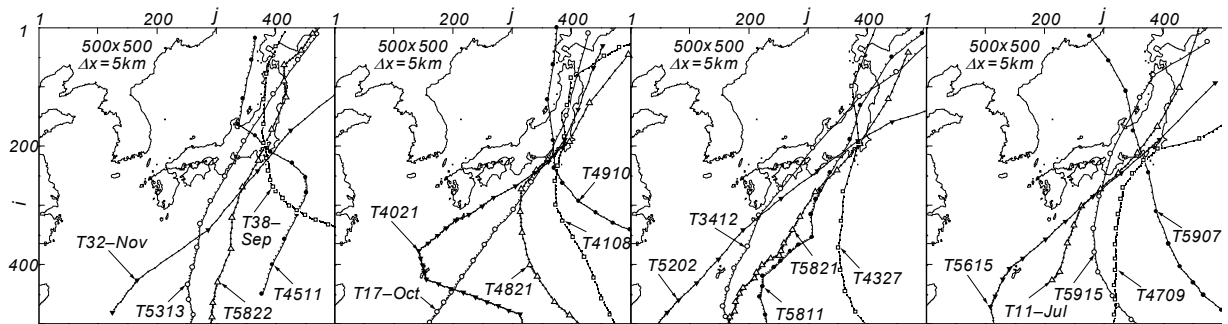


Fig. 4 Tracks of 20 typhoons used in wave hindcasting.

3. 台風特性と風速・波高の空間分布

3.1 結果の提示方法

20 ケースの台風のうち個々の台風ケースについて、台風経路、(10 m 高度) 最大風速 U_{10max} と風向、および最大 (有義) 波高 H_{max} と波向の空間分布を台風の生起年代順に Fig. 5~Fig. 24 に与える。台風経路図は台風特性として日時 (日本への接近・通過時の 6 時間ごとの時点)、台風中心の緯度、中心気圧 p_c 、台風半径 r_0 の一覧表を含む。ただし、1932 年以前の台風についての特性は 1 日 2~3 回の資料に基づく線形補間値である。これらは同じパターンの図であるので、本文の中で図の表題の説明は個別には行わない。東京湾における海上風分布は波浪推算領域に合わせて、関東沿岸海域で推定した結果から部分的に抽出している。

3.2 各台風の特徴と最大風速・波高

(1) 1911 年 (明治 44 年) 7 月台風 (T11-Jul 台風) (Fig. 5)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [14], [15], [16], [17]}

この台風は 1911 年 (明治 44 年) 7 月 19 日マリアナ諸島の西方海上で発生、NW 方向に進行したのち 24 日早朝南大東島付近から進路を NE 方向に転じて、26 日午前 1 時頃静岡県沼津付近に上陸した。沼津における最低観測気圧は 967.9 hPa である。この時点の台風の中心気圧は 960 hPa、台風半径は 60 km と推定される。その後、台風は関東地方を NNE 方向に進行して午前 6 時頃福島県から太平洋に出た。因みに、東京では最低気圧 969.9 hPa を記録している。この台風に伴う豪雨と強風のため、関東地方一帯で多くの被害が生じた。とくに、東京湾湾奥の壺岸島で最大高潮偏差 190 cm (第 1 ピーク) と 130 cm (第 2 ピーク) を記録し、深川一帯で堤防決壊、家屋流出、人畜死傷などの著しい被害を生じた。死者・行方不明者、負傷者の人数や家屋被害や浸水家屋数などの具体的な数値は各資料に掲載されていない。

2) 最大風速・風向の空間分布

この台風は東京湾の西側を NNE 方向に進行したことから、東京湾では風向 SE から S を経て SW 方向に経時変化する強風が吹送した。最大風速は湾外や湾口の 30 m/s から湾奥の 37.5 m/s に向けて大きくなり、風向も SW から S に変化する。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界付近で 7 m、浦賀水道北部の富津岬付近で 5 m、波向は SSW である。湾内では、湾口から 3 m の等波高線が広がっており、川崎沖合や湾奥の浦安方面で 3.5 m に達する。波向は S 方

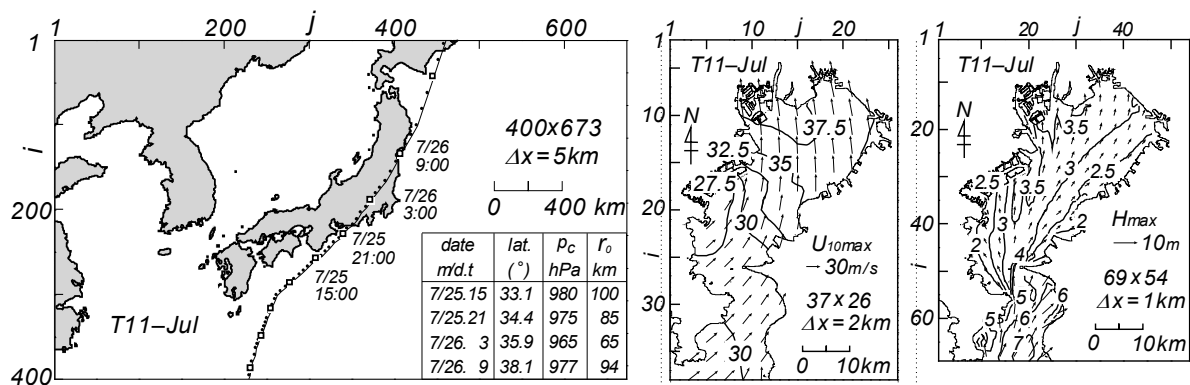


Fig. 5 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon T11-Jul.

向を中心に東側海域で SW 方向に、湾口近くの西側海域で SSE 方向に傾く。湾内の東半分で見れば、波高は千葉県沿岸の 2.5 m から東京港や浦安方面の 3.5 m に向けて NW 方向に大きくなる。

(2) 1917 年 (大正 6 年) 10 月台風 (T17-Oct 台風) (Fig. 6)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [14], [15], [16], [17]}

1917 年 (大正 6 年) 9 月 25 日フィリピン諸島の東方海上で発生, 9 月 27 日に進路を NNW から NNE~NE に転じて 29 日南大東島付近を通過, 30 日夜半沼津付近に上陸した。沼津では最低気圧 952.3 hPa を記録した。台風はその後毎時 80~90 km という速い速度で進み, 10 月 1 日 3 時頃浦和を経て東北地方を縦断し, 北上した。10 月 1 日 1 時~3 時頃の台風勢力は中心気圧 945 hPa, 台風半径約 110 km と推測される。東京では最低気圧 952.7 hPa を観測した。この台風のため, 東海地方から東北地方にかけて大規模な風水害が発生した。とくに東京湾では, 満潮時近くで生じた観測史上第 1 位にあたる最大大潮偏差 230 cm という未曾有の高潮が, 湾奥の羽田, 品川から江戸川河口部にかけて激甚な災害をもたらした。死者・行方不明者 1,324 人, 負傷者 2,022 人, 家屋被害 60,000 棟, 浸水被害 303,000 棟, 船舶被害 8,182 隻の大被害となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

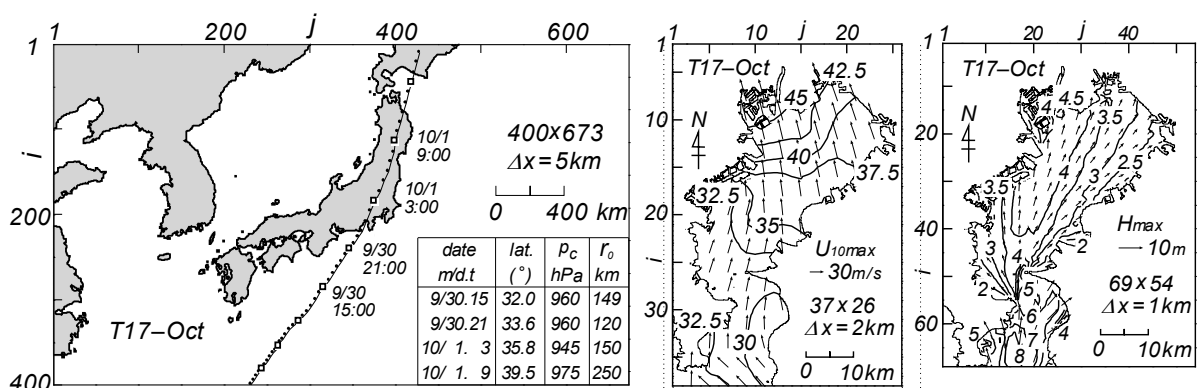


Fig. 6 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon T17-Oct.

この台風も東京湾の西側を NNE 方向に進行したことから、台風の進行とともに風向は SE から S を経て SW に変化し、強風が吹送した。最大風速は湾外の 30 m/s から湾奥の 45 m/s へと急増している。風向は湾外で SE, そこから湾内に向けて SSW~S, SSE と変化する。東京港や浦安方面では 40 m/s を越える猛烈な風が吹送している。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界で 8 m, 浦賀水道北部で 5 m, 波向は S~SSW である。湾内では湾口から 3 m の等波高線が、横浜の沖合から 4 m の等波高線が延びてそれぞれ湾奥にまで達し、浦安沖に 4.5 m 波高域も出現する。波向は S を中心に SSE 方向にやや傾く。千葉県側の東岸では 2.5 m に、横浜~横須賀でも 2~2.5 m に向けて小さくなる。

(3) 1932 年 (昭和 7 年) 11 月台風 (T32-Nov 台風) (Fig. 7)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [16], [17]}

台風は 1932 年 (昭和 7 年) 11 月 7 日ヤップ島の南方海上で発生, 12 日ルソン島北端近くから NE 方向に進行し, 14 日朝四国の南方海上を進んで, 18 時に伊豆半島沖を通過 (台風の中心気圧は 945 hPa 程度), 15 日 3 時に房総半島をかすめて, 9 時に仙台沖から NE 方向に去った。勝浦で 952.9 hPa, 銚子で 952.3 hPa の最低気圧を記録した。房総半島付近で台風の中心気圧は 945~950 hPa, 台風半径は 80 km と推測される。この台風に伴う強風と大雨によって, 関東・東北地方に重大な風水害が発生した。死者・行方不明者 235 名, 負傷者 357 名, 家屋被害 32,000 棟, 浸水被害 65,000 棟, 船舶被害 2,228 隻に及ぶ。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は伊豆半島沖から房総半島沖を NE 方向に進行したことから, 台風左側半円に入った東京湾では台風の進行につれて風向 N から NW に変化する強風が吹送した。最大風速は湾外の 45 m/s から湾口の 40 m/s, 湾奥北部の 30 m/s へと湾内で急激に小さくなる。風向は NNW から N である。この台風は湾外で猛烈な風を伴ったにもかかわらず, N 寄りの風向をもったことから, 東京湾内では大きな高潮は生じていない。

3) 最大波高・波向の空間分布

湾外で波高 5 m 程度の SSW 方向波浪の侵入がみられるが, N 寄りの烈風を伴った台風特性を反映して, 波高は湾奥での 2 m から湾内中央の 3 m を経て湾内南東側の 4 m に向けて増大し, 湾口の外側で 5 m に達する。波向は主に N である。湾内南東岸の 4 m 波高域はこの海域における期間最大波高域

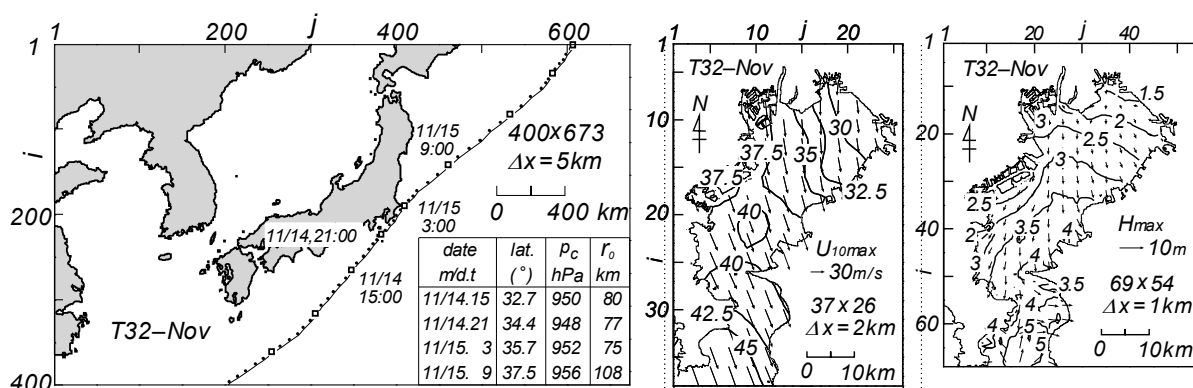


Fig. 7 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon T32-Nov.

に対応する。

(4) T3412号(室戸台風)(Fig. 8)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [15], [16], [17], [21]}

1934年(昭和9年)9月13日頃カロリン諸島の南東海上で発生, 19日夜半沖縄の南東海上で進路をNNE方向に転じ, 20日夜半に宮崎の南東海上を通過して21日5時前に高知県奈半利町に上陸した。室戸測候所では最低気圧911.9 hPaを記録した。その後, 台風は淡路島を経て神戸近郊に再上陸, 9時頃敦賀付近に達し, 北陸・東北地方を経て太平洋に進んだ。超大型の本台風は猛烈な風と豪雨によって全国的に甚大な風水害をもたらし, とくに阪神地区では高潮によって未曾有の大被害を生じた。東京湾でも羽田で約20 cmの高潮偏差^[17]が生じたことが述べられているが, 被害の状況は明らかでない。被害は大阪で最も大きく, 近畿・四国地方を中心に, 死者・行方不明者3,036名, 負傷者14,994名, 家屋被害93,000棟, 浸水被害401,000棟, 船舶被害27,594隻と膨大な数に達する。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風が敦賀付近に位置する9月21日9時で中心気圧952 hPa, 台風半径117 km, 秋田県に位置する15時で中心気圧967 hPa, 台風半径165 kmとかなり強い勢力を保っていたことから, 台風の右側半円に入った東京湾においてもSからSW方向の強風が吹続した。最大風速は25~35 m/sの範囲にあり, 湾内では中央より北側で30~35 m/sをとり, 湾奥の東京港付近で35 m/sときわめて強い。風向はSSW~Sである。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界で6 m, 波向はSSW, 浦賀水道の北部で4.5 mとやや小さくなる。湾内では3 mの等波高線が湾口から湾中央部および北部にまで延び, 湾奥では4.5 mに達する。湾内の東岸では2.5 m, 西岸では2 m程度に減じる。波向はSを中心に東側海域でSSW~SW, 湾口近くの西側海域でSSEをとる。東京湾が台風経路から200 km以上離れているとはいえ, 強風によってかなりの高波が生じている。

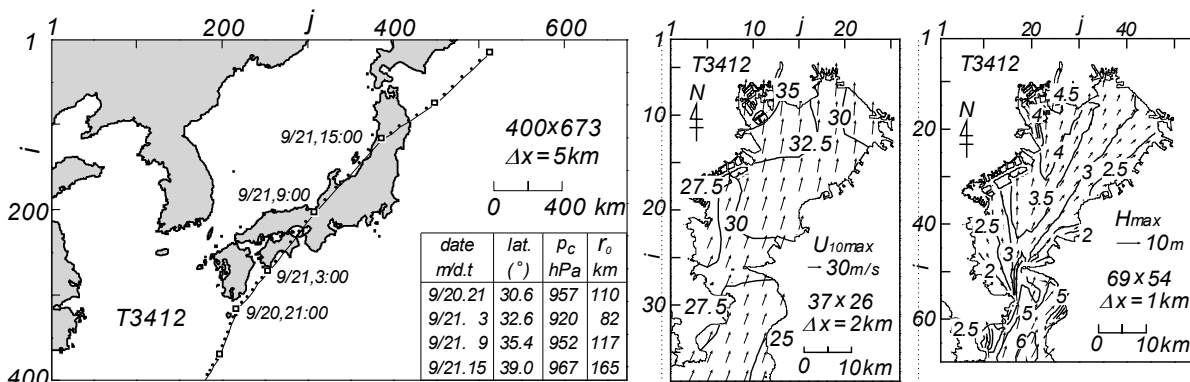


Fig. 8 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T3412.

(5) 1938年(昭和13年)9月台風(T38-Sep台風)(Fig. 9)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [14], [15], [16], [17]}

1938年(昭和13年)8月26日南鳥島の西方海上で発生, WNW~NW方向に進み, 8月31日朝八丈島付近から進路をN方向に転じた。9月1日1時前に三浦半島に上陸, 横浜・東京の西側を通過し

て関東地方を N 方向に進行したのち、進路を NNE 方向に変えて東北地方を日本海沿いに縦断した。三浦半島を通過中の台風の中心気圧は 965 hPa、台風半径は 105 km と推定される。横浜では最低気圧 970.9 hPa を記録した。台風の暴風域は小さかったが、中心付近で強風が吹送するとともに大雨が降ったため、関東・甲信越・東北地方の各地に甚大な被害がでた。東京湾では 194 cm の最大高潮偏差を記録したが、干潮時にあつたため、高潮による被害は少なかった。しかし、強風によって船舶被害が続出した。東京湾に巨大な高潮をもたらす台風の経路は四国沖や紀伊半島沖を経て東京湾の西側を NNE~NE 方向に進行する経路と、東京湾の南東海域を NW 方向に進行したのち N~NNW 方向に進路を転じて東京湾の西側を通過する経路に大別される。このケースは後述する T4910 号と同様に、後者に分類される。死者・行方不明者 245 名、負傷者 137 名、家屋被害 13,000 棟、浸水被害 159,000 棟、船舶被害 378 隻にのぼる。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風の経路特性を反映して、強風を伴いながら風向は NE から E, SE, S に変化した。台風が三浦半島を N 方向に進行したことから、最大風速は湾内外の西岸で 40 m/s を越え、東岸でも 35~40 m/s を与える。風向は湾外から湾南側で SE~E~NE, 湾中央から湾奥で S をとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界付近の 6 m から富津岬付近で 4.5 m になる。波向は S~SSW をとる。湾内では湾北部で南東側の 2 m から北西側の羽田空港付近の 3.5 m に NW 方向に大きくなる。波向は S 向きである。湾中央より南側では中央の 2.5 m から SW 方向に向けて 4.5 m に大きくなる。波向は NE である。このように、台風の経路特性のため、湾内の中央より南側と北側の海域で波高の分布状況が全く異なる。

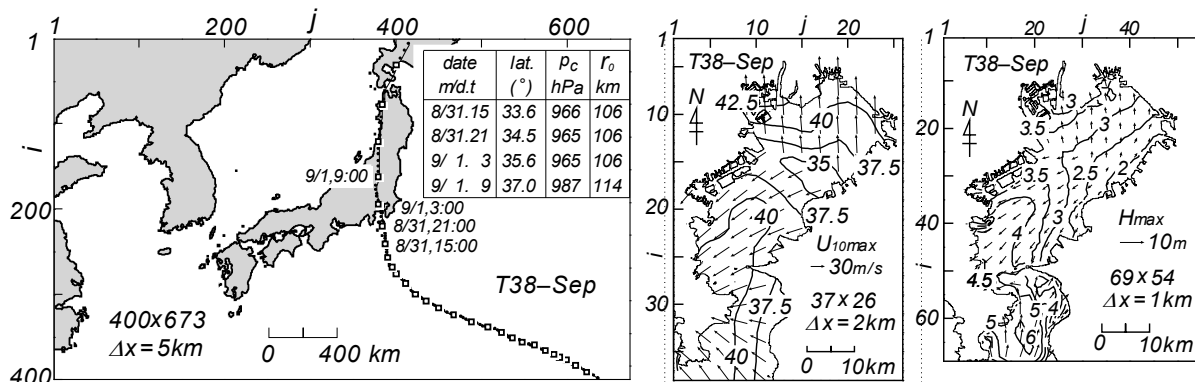


Fig. 9 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T38-Sep.

(6) T4021 号 (Fig. 10)

1) 台風特性と被災状況^[13]

本台風は 1940 年 (昭和 15 年) 8 月 18 日にサイパン島の西方海上で発生, NNW 方向に進路をとり, 22 日沖の大東島を経て 23 日沖縄本島に上陸した。その後, 東シナ海で進路を NE 方向に変えて 25 日鹿児島沖 (中心気圧 973 hPa), 26 日紀伊半島沖 (中心気圧 973 hPa) を通過したのち, 伊豆大島付近で NNE 方向に転じて 26 日夜半東京湾を縦断し, 27 日仙台付近 (中心気圧 973 hPa) から太平洋に出て, 北海道の根室を通過した。最低観測気圧は経路に近い大島で 965.2 hPa, 横浜で 977.6 hPa, 少し離れた勝浦で 986.9 hPa, 銚子で 989.1 hPa であるから, 上陸台風時の気圧としては比較的低いと推測される。この台風時の強風域は限られていたが, 大雨を伴い, 千葉県や茨城県で相当の被害が出たと

のことである。両県の死者・行方不明者は 19 人，家屋被害は 100 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は東京湾を湾軸方向（NNE 方向）に進行していることから，台風進行に伴って風向は反時計方向に急変する。最大風速は湾外で 32.5 m/s，湾口や湾央で 30 m/s，東京や横浜など西岸で 25～27.5 m/s であり，E 方向に大きくなる。風向は台風中心が通過した南側で S，湾内に入ると湾奥の E 寄りから湾口の N に反時計まわりに変化する。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界近く 5 m から富津岬付近で 3.5 m に減じる。波向は S から SW をとる。湾内では湾口の 3.5 m から湾中央で 2.5 m，湾奥の北東側で 2 m，北端で 1.5 m と順に小さくなる。逆に言えば，湾奥北東側の 2 m から湾口の 3.5 m に向けて大きくなる。また北東側海域では北側の 1.5 m から東側の 2 m に増大する。波向は東側の 2 m 等値線付近で W 方向，西側の 2m 等値線から湾口の 3.5 m 等値線付近に向けて E から NE に変化する。

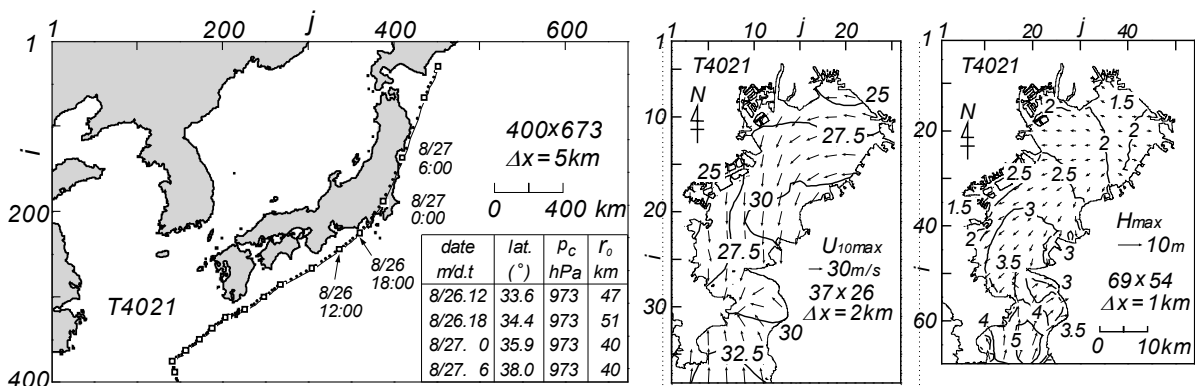


Fig. 10 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T4021.

(7) 台風 4108 号 (Fig. 11)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [16], [18]}

本台風は 1941 年（昭和 16 年）7 月 17 日にマリアナ諸島南東海域で発生，NNW～NW 方向に進行して 7 月 22 日 6 時には北緯 31°，東経 139° 付近に達した。中心気圧は 967 hPa である。台風はここから進路を N 方向あるいは NNE 方向にとって伊豆大島，房総半島先端（22 日 21 時，中心気圧 971 hPa），東京（22 日 23 時，中心気圧 979 hPa）を通り，仙台・盛岡方面に進み，太平洋に抜けた。最低観測気圧は富崎（房総半島先端の野島崎付近）で 977.4 hPa，横浜で 980.6 hPa である。この台風に伴う強風（東京，千葉，神奈川など）や大雨（福島，茨城など）により，台風の規模から想定される以上の被害が生じた。死者・行方不明者は 98 名，家屋被害は 1,000 棟，浸水被害は 214,000 棟であり，耕地被害も 202,000 ha に及ぶ。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は東京湾の湾軸方向，つまり NNE 方向に進行したことから，風の場の時空間変化が著しい。最大風速は西岸の 20 m/s から東岸の 25 m/s 弱の範囲にあり，西から東に向けてやや大きくなる。風向は E～ESE である。本台風時の東京湾における風はそれほど強くない。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外に 3 m 域が広がる程度で小さい。富津岬付近では 2.5 m をとる。波向は S を中心とする。

湾内では東岸で 1.5 m, 西岸や湾口で 2 m, 波向はおおむね E を示す。いずれにしろ, 本台風時の波高は風速と同様にあまり大きくない。

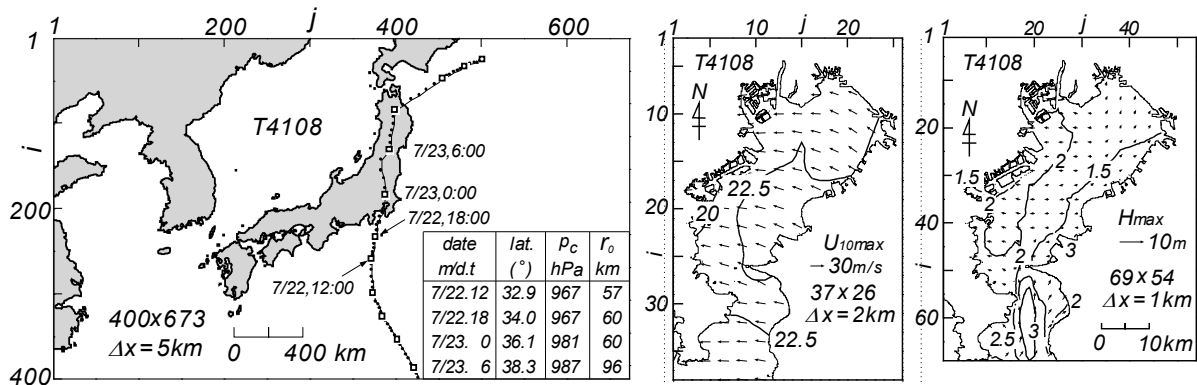


Fig. 11 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T4108.

(8) 台風 4327 号 (Fig. 12)

1) 台風特性と被災状況^[13]

本台風は 1943 年 (昭和 18 年) 9 月 28 日にマリアナ諸島の東方海上で発生, NW 方向に進行し, 30 日には NNW 方向に転じて 10 月 2 日 6 時に北緯 25°, 東経 138° に達した。中心気圧は 953 hPa である。ここから進路を N 方向, ついで NNE 方向に転じて 3 日 6 時には八丈島南東海上で 947hPa をとり, 伊豆大島の東側海上を経て, 3 日 12 時頃房総半島先端の富崎付近に上陸, 東京湾の東岸に沿って進んで仙台, 盛岡に達した。最低観測気圧は台風経路に近い三宅島で 964.3 hPa, 富崎で 965.3 hPa, 東京で 973.0 hPa とかなり低い。本台風時には強風よりむしろ大雨による洪水災害が頻発した。全国の死者・行方不明者は 49 名, 家屋被害は 180 棟, 浸水被害は 36,000 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風も関東沿岸海域では前出の T4108 号と類似するが, やや西寄りの経路をとっている。しかし, 最大風速は東京湾の西側で 20 m/s, 東側で 22.5 m/s であり, E 方向に向けてやや大きくなる。一方, 風向は SW を主な方向とし, 湾奥で W 方向をとり, T4108 号時と 90° 以上異なる。

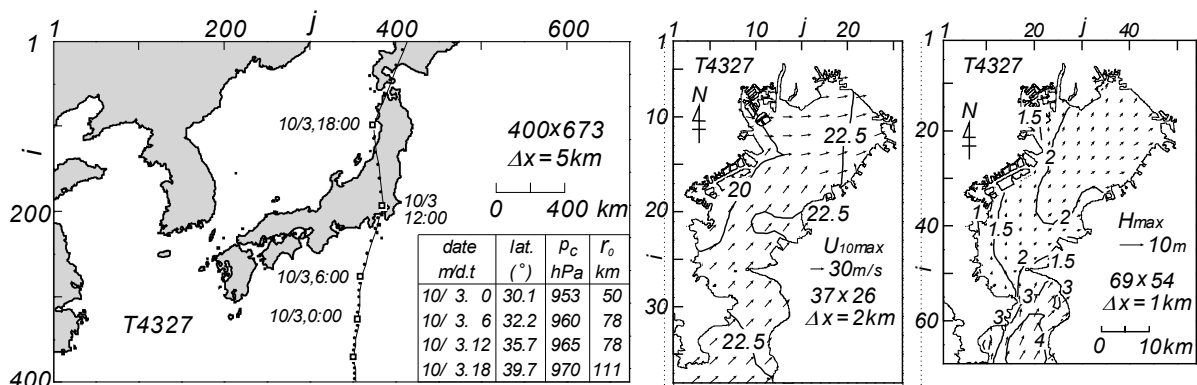


Fig. 12 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T4327.

3) 最大波高・波向の空間分布

湾外では境界から 4 m 波高域が延びるが、富津岬付近では波高は 2.5 m 程度である。波向は SSW から SE をとる。湾内では南西岸で波高は 1.5 m、湾中央で 2 m と NE 方向に向けて大きくなるが、湾奥の北東岸でも 2.5 m には達しない。波向は南部の S から北東部の SW に変化する。

(9) T4511 号 (Fig. 13)

1) 台風特性と被災状況^[13]

本台風は 1945 年（昭和 20 年）8 月 20 日頃マリアナ諸島北西海域で発生、N 方向、ついで NNE 方向に進行して、22 日 6 時北緯 32°、東経 143° 付近に達した。このときの中心気圧は 985 hPa である。続いて台風は進行方向を N、すぐに NW に転じ、房総半島南部や三浦半島を経て 23 日 6 時関東地方北西部に達した。この時の中心気圧は 1000 hPa と台風がかなり衰えている。最低観測気圧は勝浦で 978.4 hPa、横浜で 986.9 hPa である。台風は強風のほか関東一帯に雨を伴ったが、被害の状況は明かでない。

2) 最大風速・風向の空間分布

最大風速は東京湾の湾奥で 35 m/s、湾奥東部から湾口部で 30 m/s、湾外で 30 m/s 弱となっているので、南から北に向けてかなりの強風が東京湾内で吹送している。風向は NNE から NNW あるいは NW と N 寄りの風場となっている。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で 2.5~3 m、波向は SW をとる。湾内では湾奥北東岸の 1.5 m から湾中央の 3 m に大きくなる。波向は N 寄りを主とする。また、湾中央以南では 3 m 域が広範に広がるが、南西側では 2.5 m 域がみられ、やや小さい。要するに、E 方向に波高がやや増大する。波向は N であるが、羽田空港付近では逆に S 方向を示す。

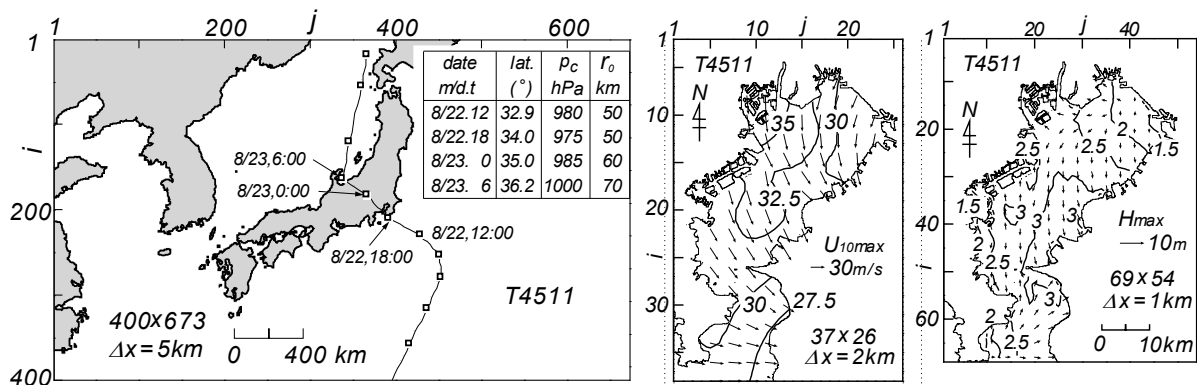


Fig. 13 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T4511.

(10) T4709 号 (カスリーン台風) (Fig. 14)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [16], [18], [19], [20]}

本台風は 1947 年（昭和 22 年）9 月 8 日にマリアナ諸島の東方海上で発生、W, WNW 方向に進行して 12 日北緯 20°、東経 136° に達したのち、進路を N, NNE 方向にとり 15 日 3 時紀伊半島の南東海上に達した。中心気圧は 970 hPa である。本台風はその後 NE 方向に進路をとり、15 日 22 時頃房総半島をかすめて三陸沖に至った。中心気圧は銚子沖にあった 16 日 3 時で 990 hPa とかなり衰えている。最低観測気圧は台風経路に近い大島で 986.6 hPa、富崎で 989.0 hPa である。本台風は強風よりもむしろ

ろ前線を刺激して関東地方から東北地方にかけて大雨をもたらし、その結果、未曾有の大水害が関東地方から東北地方で発生した。全国の死者・行方不明者 1,910 名、家屋被害 9,300 棟、浸水被害 385,000 棟にのぼる。

2) 最大風速・風向の空間分布

東京湾は本台風の左側半円に入ったので、風向は反時計方向に変化した。最大風速は湾奥で 20 m/s、湾口で 15 m/s、風向は N 寄りであり、風は強くない。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の一部で 4 m であり、浦賀水道付近で 2 m に小さくなる。波向は S をとる。湾内では湾奥で 1 m、湾中央から西岸と東岸で 1.5 m、湾口で 2 m になる。波向は湾中央より南西側で NE であるが、湾奥では E~N~NW と広い範囲をもつ。いずれにしろ、波高は小さい。

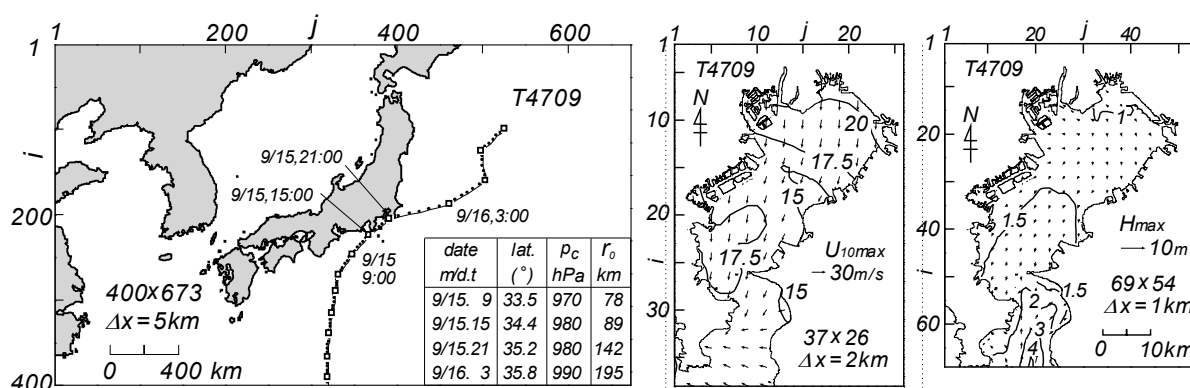


Fig. 14 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T4709.

(11) T4821 号 (アイオン台風) (Fig. 15)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [16], [18], [22]}

1948 年 (昭和 23 年) 9 月 7 日マーシャル諸島の東部海域で発生、進行方向を W 方向、ついで NW 方向にとり、15 日 3 時頃に南大東島の東方海上に達した。このときの中心気圧は 940 hPa である。台風はこのころから向きを N 方向に変え 16 日 3 時頃潮岬の沖合で NE 方向に転じて 16 日夜半千葉県富崎 (館山) と木更津の間に上陸し、房総半島を縦断、銚子付近から太平洋に出て東北地方・北海道の沖合を通過した。最低観測気圧は長津呂 (石廊崎) で 948.3 hPa、大島で 943.0 hPa、富崎 959.8 hPa (千葉県館山で 958.1 hPa)、横浜で 966.7 hPa、東京で 971.9 hPa、銚子で 963.5 hPa である。台風の進路にあたった千葉県を中心に甚大な強風災害が、岩手県を中心に宮城県と福島県で豪雨による前代未聞の土砂・洪水災害が生じ、1949 年 (昭和 24 年) の北上川上流改修計画の大幅な改定と 1950 年 (昭和 25 年) の国土総合開発法の制定・公布につながった。本台風時の死者・行方不明者は 838 名、負傷者は 1,956 名、家屋被害は 18,000 棟、浸水被害は 120,000 棟にのぼる。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は東京湾の湾口から木更津付近を NE 方向に進行していることから、反時計回りの風向をもつ強風場がもたらされている。最大風速は NW-SE 方向に大きくなり、東京湾の西岸側で 30~35 m/s、東岸側で 40 m/s 前後の値をとる。風向は N から W と空間的に変化し、とくに湾外では W を示す。T4821 号は豪雨によって東北地方を中心に空前の洪水災害をもたらした台風としてよく知られているが、東京湾の東岸にあたる千葉県沿岸ではかなりの強風を出現させている。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の一部で 9 m, 富津岬付近で 3.5 m と湾口に近づくとつれて急減する。波向は S から SW である。湾内では波高は北西岸沖合の 2.5 m から東岸の 3 m, 北東岸の 3.5 m に向けて大きくなる。波向は NW あるいは W をとる。これはこの海域における期間最大波高に相当する。また北西岸近くの羽田空港付近や横浜の沖合でも波向 S~SE の 2.5 m 波高域がみられる。湾口の内側では波高は 3 m をとるが, N 寄りと S 寄りの波浪が混在することから, 空間的には 90° 以上の波向の差が現われる。

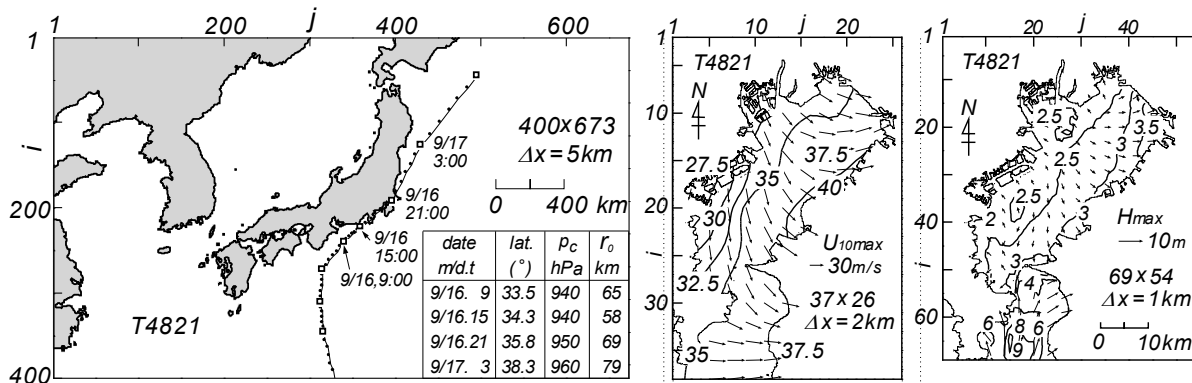


Fig. 15 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T4821.

(12) T4910 号 (キティ台風) (Fig. 16)

1) 台風特性と被災状況^{[14], [15], [16], [17], [23]}

1949 年 (昭和 24 年) 8 月 28 日南鳥島の東方海域で台風が発達, NW 方向に進行して鳥島の東方 200 km に達したのち, 伊豆諸島の西方を NNW 方向に進行して, 31 日 17 時伊豆半島の東岸から 19 時頃神奈川県網代の東方に上陸し, 熊谷, 柏崎を通過して日本海に抜けた。網代では最低気圧 966.2 hPa を記録した。上陸時点で中心気圧 960 hPa, 台風半径 70 km と推測される。この台風は T38-Sep 台風と同様に, 東京湾の西側を N~NNW 方向に進行して, 東京湾に巨大高潮をもたらす経路をとった。本台風時には関東地方を中心に大雨による洪水被害と強風および高潮による被害が広範に生じた。すなわち, 東京湾では霊岸島で最大高潮偏差 140 cm を記録し, しかも台風通過時刻と満潮時が重なったために, 東京湾一帯に高潮による大規模な浸水災害を生じ, 横浜港では甚大な船舶被害をもたらした。死者・行方不明者 160 名, 負傷者 479 名, 家屋被害 17,000 棟, 浸水被害 144,000 棟, 船舶被害 2,755 隻となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は T38-Sep 台風と同様に, 東京湾の西側 (伊豆半島) を N~NNW 方向に進行したことから, 時間の経過とともに風向は SE から S~SSW に変化した。最大風速は湾外で 35 m/s, 湾内で南側の 32.5~35 m/s から北側の 27.5~30 m/s に向けて減少するし, とくに湾奥では東西方向に傾きをもち, 西岸の 32.5 m/s から東岸の 27.5 m/s 以下に小さくなる。風向は湾外で S, 湾内で南側の S~SSE から湾奥の SE 方向へと反時計方向に変化する。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で 5~7 m, 波向は S から SW, 湾内では 3 m 等波高線が西側半分にはたがり, 横浜沖合から川崎に向けて 4 m 域が延びる。波向はおおむね S である。また東側半分では 3 m から 2 m に向けて

小さくなる。波向はSからSW方向に傾く。また横浜方面の南西岸では3 mから2.5 mをとる。波向はSE方向に変化する。T4910号時には波高の最大域が他の台風時より西側に移動している。同じ海域で波向NEをとるT38-Sep台風時の波高の分布状況と全く異なる。

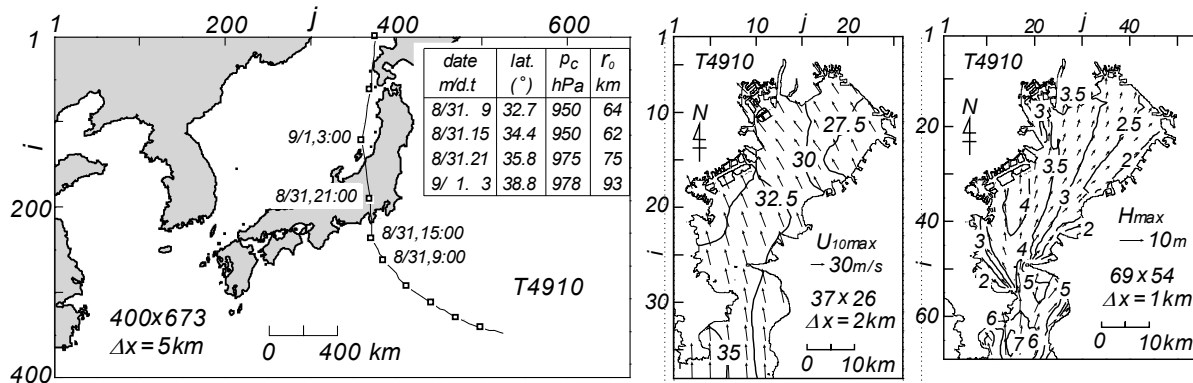


Fig. 16 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T4910.

(13) T5202号 (Fig. 17)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [16], [18]}

本台風は1952年(昭和27年)6月19日フィリピンの東方海上で発生、WからNW方向に進んで21日9時北緯20°線に達した。中心気圧は982 hPaである。その後、NNE~NE方向に進路をとって23日北緯30°線(中心気圧978 hPa)を横切り、九州の大隅半島沖、四国沖を通過して、紀伊半島南部に上陸した。つづいて、台風は志摩半島南部をかすめ23日20時頃浜名湖付近(中心気圧976 hPa)から再上陸して24日3時前に東京を通過し、4時頃鹿島灘に出た。最低観測気圧は潮岬で969.7 hPa、浜松で977.5 hPa、御前崎で980.3 hPa、東京で984.6 hPaである。台風時には大雨による洪水災害や土砂災害が多く場所で頻発した。全国の死者・行方不明者は135名、家屋被害は400棟、浸水被害は40,000棟、船舶被害は182隻(漁船の被害大)である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は東京湾より少し西側をNE方向に進行したため、風向はSEからS, SW, Wと時計まわりに

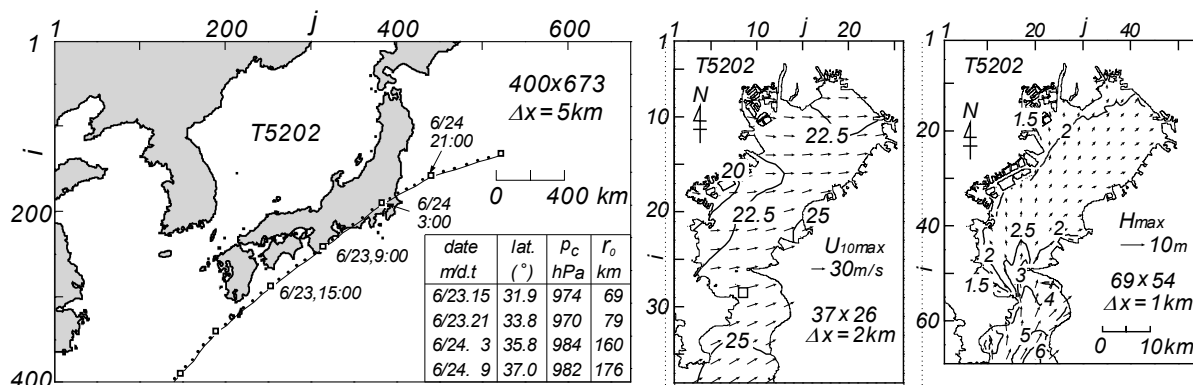


Fig. 17 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T5202.

急変した。最大風速は西岸で 20 m/s, 東岸の一部で 25 m/s で W から E 方向に向けて増大する。風向はほぼ W である。東京湾における風はそれほど強くない。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の一部で 6 m をとり, 4 m 波高域が大部分を占める。波向は SSE から SE である。富津岬付近では波高は 3.5~4 m を示す。湾内では波高は湾口付近で 2.5~3 m であり, 湾内全体では 2 m の等波高線が広がる。つまり, 湾内の波高は 2~2.5 m の範囲にあるが, 湾奥北西側では 1.5~2 m の海域もみられる。波向は湾口の S から湾中央と湾奥の SW に変わる。

(14) T5313 号 (テス台風) (Fig. 18)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [16], [18]}

本台風は 1953 年 (昭和 28 年) 9 月 18 日にカロリン諸島海域で発生, WNW 方向に進み, 20 日に NW 方向に転じ, 北緯 20° 線を横切った 23 日 9 時には中心気圧 915hPa の強烈な台風が発達した。台風は N 方向に進んで 24 日 9 時にも中心気圧 915 hPa を示した。続いて, 方向を NNE 方向に変えて, 四国沖の北緯 32° 線にあった 25 日 9 時にも中心気圧 930 hPa と強烈な勢力を維持したまま, NW 方向に進行して 17 時頃志摩半島に上陸 (中心気圧は 950 hPa), 知多半島, 長野県を経て秋田県南部から三陸沖に出た。最低観測気圧は台風経路に沿って潮岬で 947.9 hPa, 尾鷲で 953.3 hPa, 伊良湖で 957.1 hPa, 飯田で 974.5 hPa である。この台風により三重県や愛知県の沿岸で大規模な高潮が発生した。近畿・東海地方を中心に暴風, 大雨, 高潮により甚大な被害が出た。また, 東京湾における高潮偏差は 100 cm に達した。全国の死者・行方不明者^[16]は 599 名, 家屋被害は 21,000 棟, 浸水被害は 434,000 棟, 船舶被害は 1,581 隻である。

2) 最大風速・風向の空間分布

最大風速は 25 m/s 前後であり, 湾奥西側と湾外で大きく, 湾中央の西岸で小さい。風向は SSW~S である。本台風時の強風域は東海地方にあることから, 東京湾における風はあまり強くない。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の一部で 7.5 m, 浦賀水道北部で 4 m に小さくなる。波向は S を主とし, 東側で SW を示す。湾内では北東岸の 1.5 m から西岸と北西岸の 2.5~3 m に向けて大きくなる。波向は SW をとる。

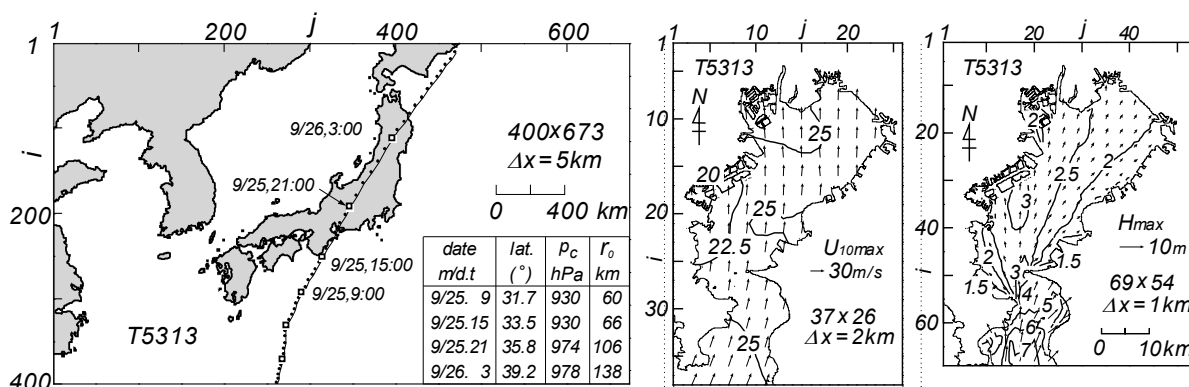


Fig. 18 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T5313.

(15) T5615 号 (Fig. 19)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [18]}

本台風は1956年(昭和31年)9月19日マリアナ諸島海域西側に現われた熱帯低気圧から発達、W, WNW, NW方向に進行して、24日9時に北緯20°線(中心気圧980 hPa)を通過、25日から26日にかけて進行方向をNからNE方向に変え、26日9時に沖縄北東海域で955 hPaにまで発達した。そしてそのままNE方向に進んで27日9時に紀伊半島東側(中心気圧968 hPa)を通過して御前崎付近に上陸、東京の西から鹿島灘に抜けた。最低観測気圧は潮岬で971.1 hPa、御前崎で974.6 hPa、網代で981.1 hPa、横浜で986.9 hPa、東京で989.0 hPaである。暴風雨による被害は四国から近畿、東海、関東の各地方に及ぶ。死者・行方不明者は31名、家屋被害は4,200棟、浸水被害は48,000棟である^[18]。

2) 最大風速・風向の空間分布

東京湾は台風の右側半円に入ったので、風向は時計まわりの変化を示す。最大風速は西岸から湾奥で20 m/s、湾口で25 m/s、湾外で27.5 m/sを与え、北から南に向けてやや大きくなる。風向は湾内で主にNWであり、湾外でW~SWをとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の一部で7 mであるが、富津岬付近で3~3.5 mに減じる。波向はSSW~SWである。湾内では湾口付近から2 mの等波高線が扇状に伸び、川崎の北東海域にまで延びる。1.5 m波高域は湾内全域をほぼ覆う。波向は湾口付近のSから湾奥のSW~Wに向けて変化する。

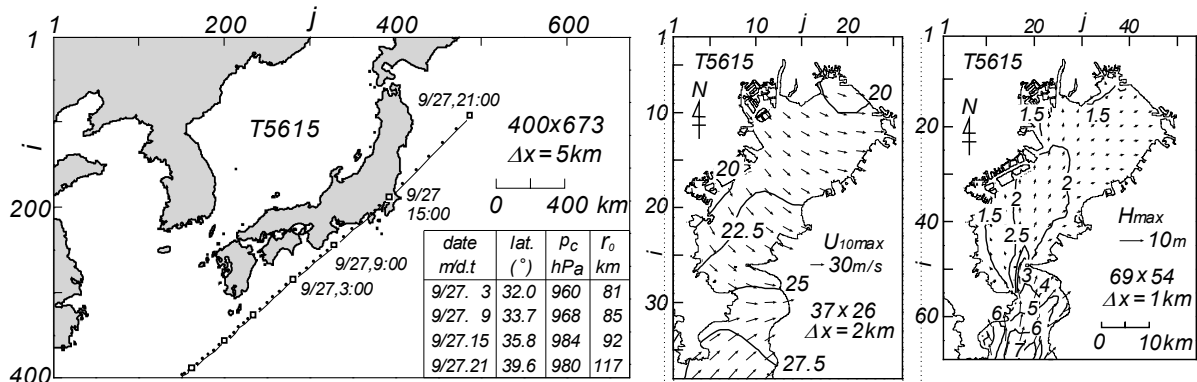


Fig. 19 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T5615.

(16) T5811号 (Fig. 20)

1) 台風特性と被災状況^{[18], [24]}

1958年(昭和33年)7月14日マリアナ諸島の南方海域で台風が発達、NW方向に進行して16日昼頃沖ノ鳥島の南方海上に到達、20日20時頃には南大東島付近で進路をNE方向に転じ、23日6時前に御前崎のすぐ西方に上陸、NE方向を維持したまま静岡、宇都宮、仙台の西方を経て太平洋に抜けた。上陸時点の台風の中心気圧は975 hPa、台風半径は135 kmと推測される。強風と大雨による被害は関東地方で大きい。とくに、この台風時には台風の右側半円内での風速が左側半円内に比べてかなり強かったため、東京湾では堤防の決壊や浸水などの高潮の被害を受けた。最大高潮偏差は観測史上8位にあたる114 cmを記録した。この台風に伴う人的・物的被害は死者・行方不明者40名、家屋被害1,100棟、浸水被害46,000棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は東京湾の西側をNE方向へ進行したことから、東京湾には風向SSEからS, SSWと変化する強風を生じた。最大風速は湾全域で25 m/sから30 m/s弱、風向は湾内のほぼ全域でSSE、北東側でSSWである。

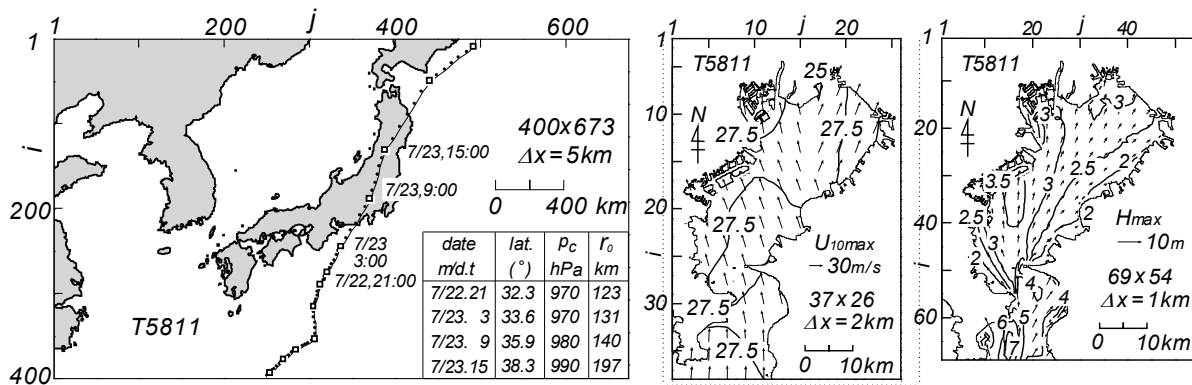


Fig. 20 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T5811.

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界での7 mから浦賀水道北部の4 mに減じる。波向はS~SSWである。湾内では、湾口から3 mの等波高域が湾内の西側半分を占め、川崎に3.5 m域が達する。波向はSを主とする。東側半分では波高は3 mから東岸の2 mに減じるが、湾奥で3 mを越える。波向はSW方向に傾く。

(17) T5821号 (Fig. 21)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [18], [25]}

1958年(昭和33年)9月8日ウルシー島の東方海上で発生、NW方向ついでN方向に進行したのち、15日に沖縄の南東海上で進路をNE方向に転じて17日21時潮岬の南方海上(中心気圧955 hPa)を通過、18日6時伊豆半島の南端をかすめて8時に神奈川県鎌倉市付近に上陸した。台風の中心気圧は962 hPa、台風半径は130 kmである。その後、横浜および東京を通過して鹿島灘に抜けた。最低気圧は横浜で962.6 hPa、東京で965.3 hPaを記録した。この台風は非常に強い勢力を保ったまま上陸した台風であり、関東各地で強風を吹送させるとともに、関東地方を中心に全国的に大雨をもたらした。東京湾では強風の吹送と満潮の重なりによって、潮位がかなり上昇した。しかし、最大高潮偏差は72 cmとT5811号時の114 cmと比べてもあまり大きくない。いずれにしろ、東京や埼玉では豪雨に伴う洪水による被害が多発した。全国の死者・行方不明者72名、負傷者111名、家屋被害5,600棟、浸水被害49,000棟、船舶被害384隻となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風の接近・通過に伴い、風向はSEからSを経てWNW方向へと著しく変化した。最大風速は湾内西側の25 m/sから東側の30 m/sへ増加する。湾外でも同様に、西側から東側へ向けて22.5 m/sから25 m/sに大きくなる。風向はWNW~WSWである。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の一部で10 mをとるが、浦賀水道北部の富津岬付近で3.5 mに急減する。波向はSを中心に東側でSW方向に、西側でSE方向に傾く。10 m波高域は期間最大波高域に相当する。湾内では、波高は湾中央の南北線上で2 m、北東側の千葉付近で2.5 m強と全般的に小さい。湾内で吹送した強風のわりに波浪があまり発達していないのが特徴的である。これは、東京湾のすぐ西側を著しい風の場の変化を伴う台風の中心が通過したことによると推察される。

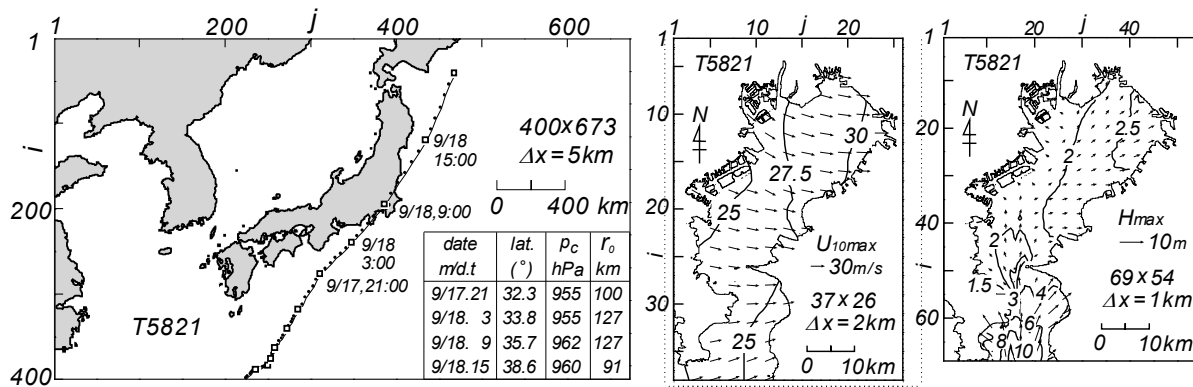


Fig. 21 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T5821.

(18) T5822号 (狩野川台風) (Fig. 22)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [16], [18], [19], [26]}

1958年(昭和33年)9月21日グアム島付近の海上で発生、22日午後進路をNWからNに変えるとともに急激に発達し、24日13時30分中心気圧877hPaが飛行機観測によって得られた。その後、台風は衰えながら26日21時30分中心気圧955hPaで伊豆半島の南端をかすめて27日0時神奈川県江ノ島付近に上陸、横浜を経て27日1時に東京を通り、2時筑波山付近を通過して6時には三陸沖に抜け、北上した。江ノ島付近に上陸した時点の中心気圧は965hPa、台風半径130kmと推測される。最低気圧は石廊崎付近で955.4hPa、横浜で968.5hPa、東京で970.7hPaを記録している。この台風に伴う災害の際立った特徴は強風というよりも豪雨に伴う土砂崩れや崖崩れおよび洪水などに伴う災害であり、中伊豆地方の狩野川流域に空前の被害をもたらした。また東京、横浜で洪水被害や崖崩れによる被害が多発した。東京湾では高潮偏差は72cmとT5821号時と同様にあまり大きくなく、しかも台風通過時は干潮にあたったので、高潮被害は低めに抑えられた。この台風に伴う死者・行方不明者1,269名、負傷者1,138名、家屋被害17,000棟、浸水被害522,000棟であり、激甚な被害を受けている。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風が東京湾の西側をNE方向に進行したことに伴い、東京湾では風向はNEからSEを経てSWと急激に経時変化した。最大風速は30m/sから32.5m/sであり空間変化を伴わない。風向は湾内中央より西側および湾外を含む南側でS~SSE、湾内中央より東側でSWを与える。1958年(昭和33年)7月と9月に相次いで来襲したT5811号、T5822号、T5821号は類似したコースをとり、東京湾からみて西側からこの順に東京湾に近い場所をNE方向に進行した。最大風速の風向場は台風の中心が東京湾の西岸近くを通過したT5821号およびT5822号と西側の少し離れた場所を通過したT5811号でかなり異なるのが特徴的である。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界で9m、北部で5mを与える。湾内では湾口から2.5mの等波高線が湾内全体に広がる。波向は主にSEである。湾内の南側では波高は湾口の4mから川崎沖合の3mに小さくなる。波向はS~SSEである。一方、湾奥北東側の千葉付近で3m波高域が局所的に現われる。波向はSからSW方向に傾く。

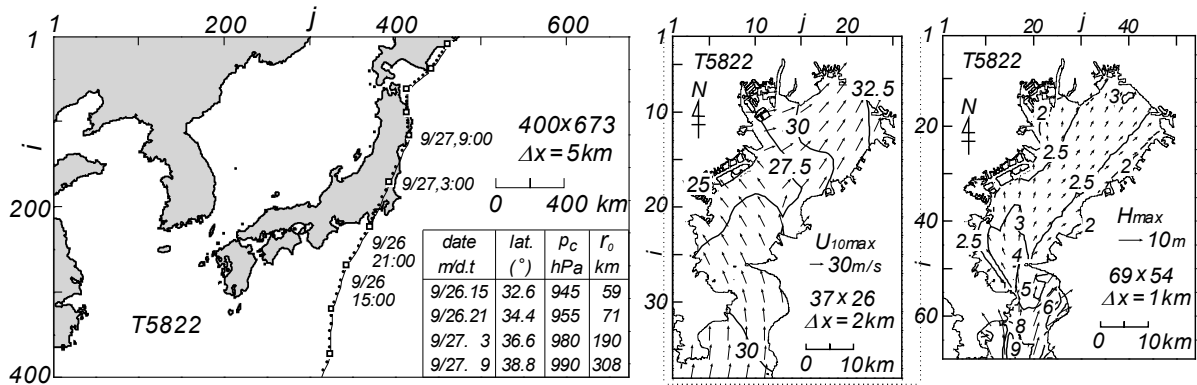


Fig. 22 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T5822.

(19) T5907号 (Fig. 23)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [16]}

本台風は1959年(昭和24年)8月10日マリアナ諸島東方海域で発生、NW方向に進んで13日9時北緯27°線あたりに到達(中心気圧960 hPa)、その後NNW方向に非常に速い速度で進行して14日6時半頃駿河湾湾奥の富士川付近に上陸し、速い速度を維持したまま、10時には直江津付近(9時の中心気圧は978 hPa)から日本海に抜けた。最低観測気圧は、経路に沿って三宅島で986.1 hPa、大島で987.1 hPa、長津呂(石廊崎)で959.5 hPa、静岡で973.8 hPa、三島で977.5 hPaである。長津呂での最大観測風速48.8 m/sはそれぞれ約50 km西と東に離れた御前崎の29.6 m/sや大島の30.0 m/sに比べてかなり大きく、中心気圧959.5 hPaも御前崎の983.5 hPaや大島の987.8 hPaに比べてかなり低い。台風に伴う強風に加えて大雨のため、とくに近畿・東海・関東各地方で洪水被害が大きかった。死者・行方不明者は235名、家屋被害は14,000棟、浸水被害は138,000棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

最大風速は17.5~25 m/sの範囲にあり、湾央に比べて湾奥と湾口・湾外で大きい。風向はSSEである。

3) 最大波高・波向の空間分布

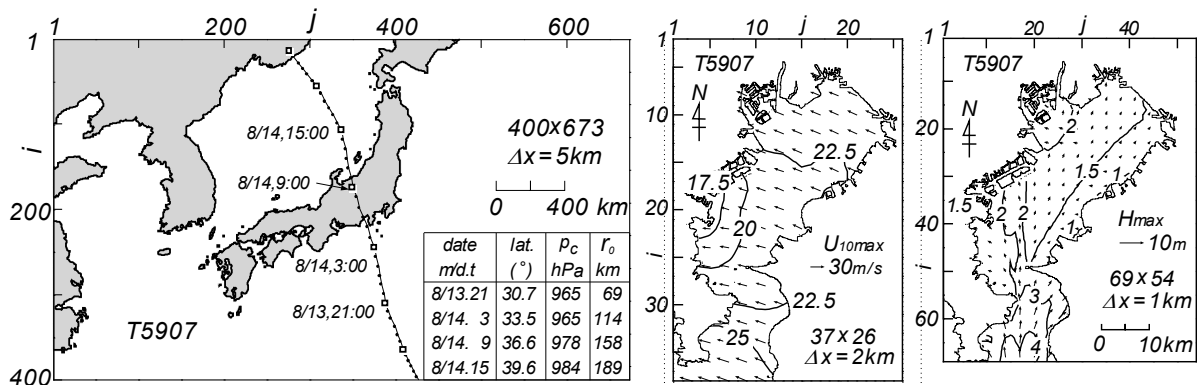


Fig. 23 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T5907.

湾外境界から4 mの等波高線が伸び、浦賀水道北部の富津岬付近で波高は2.5~3 mをとる。波向はS~SSWである。湾内では南東岸の1 mから北西岸の2 mに向けて大きくなるし、湾口から2 mの等波高線が川崎付近にまで伸びる。波向は湾口付近のSから湾奥のSWに変わる。

(20) T5915号(伊勢湾台風)(Fig. 24)

1) 台風特性と被災状況^{[13], [16], [18]}

この台風は、1959年(昭和34年)9月26日18時に紀伊半島に上陸し、NNE~NE方向に進行した超大型台風であり、伊勢湾沿岸を中心に未曾有の高潮・洪水・強風災害をもたらした。東京湾でも強風により高潮偏差が100 cmに達する高潮が生じた。しかし、被害の中心は愛知県、三重県、岐阜県など中部地方である。全国の死者・行方不明者は5,098名、負傷者は38,921名、家屋被害は834,000棟、浸水被害は364,000棟、船舶被害は13,795隻に達する^[16]。

2) 最大風速・風向の空間分布

紀伊半島に上陸後NE方向に進行した本台風時には、東京湾は台風の右側半円に入ったことから、風向SEからSの風が吹送した。最大風速は湾外から湾内の南側で25 m/s、湾内の中央で25 m/s前後、湾奥で27.5~32.5 m/sと、北に向けて大きくなる。風向はSからSSEである。なお、船舶からの報告に基づくT5915号時の東京湾における3時間ごとの風力の空間分布図が矢吹^[27]によって与えられており、湾央や湾奥の海上部で風力が大きい挙動が示されているが、最大風速の空間分布は揭示されていない。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で7 mから4 m、波向はSからSSWをとる。湾内では湾口から2.5~3 mの等波高線が湾奥まで放射状に拡がり、川崎の沖合や湾奥の浦安付近に3.5 mの波高域もみられる。波向はSを中心に東側でSW方向、南西側でSE方向に傾く。湾内での波高は風特性を反映して南東岸から北西岸に向けてNW~NNW方向に大きくなる。

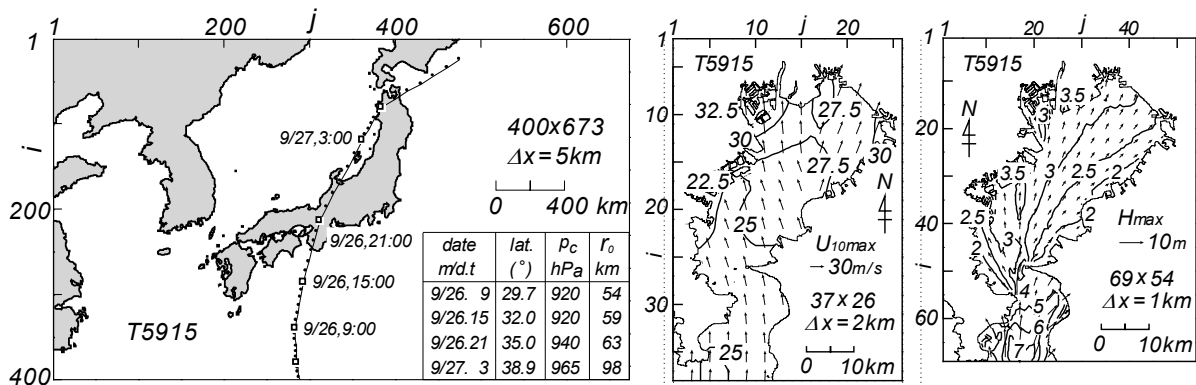


Fig. 24 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by T5915.

4. 風速・波高の極値の空間分布

4.1 風速の極値

Fig. 25は1911~1959年(49年間)20ケースの台風別最大風速・風向資料と1961~2005年(45年間)の年別最大風速・風向資料^[4]を併せて得た、1911~2005年(95年間)の期間最大風速 U_{max}^{11-05} とそ

の風向の空間分布を示す。ここで、 U_{max}^{11-05} の上側の添字が資料期間を、下側の添字が最大値を表す。1911～1960年において台風時最大風速資料がない年に例外的な異常風速が生じていないことが災害記録、気象要覧、天気図などから推測されるので、これらの空白期間の風資料が上記の期間最大風速を越えないと考えられる。図によると、期間最大風速は東京湾の湾奥北西端で 45 m/s (風向 SSE)、湾奥北西部で 40～45 m/s (風向 SSE)、湾の東岸にあたる千葉県沿岸で 40 m/s (風向 W 寄り)、湾中央部で 37.5～40 m/s (風向 SSE または NE)、湾中央部から湾口にかけて 40 m/s 以上 (風向 NE または NW)、湾外境界付近で 45 m/s 以上 (風向は NNW) をとる。これらは北部から順に T17-Oct 台風、T38-Sep 台風、T4821 号 (アイオン台風)、T32-Nov 台風など、主として 1950 年以前の台風時に生じている。これは東京湾における最大高潮偏差の上位値が 1950 年以前の台風時に記録されていることと符合する。

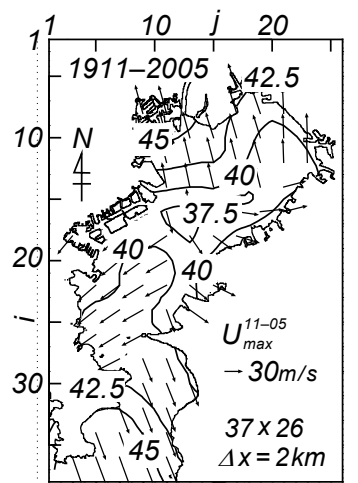


Fig. 25 Largest wind speed U_{max}^{11-05} and its wind direction during the year period of 1911 - 2005 in Tokyo Bay.

つぎに、極値統計解析は 1932～1959 年の台風別最大風速資料をそれぞれ該当する年の年別最大風速資料 (1958 年については T5811 号、T5821 号、T5822 号 (狩野川台風) 時、1959 年については T5907 号と T5915 号 (伊勢湾台風) 時の最大風速資料のいずれか) とみなすことにより、1932～2005 年 (74 年間) の年別最大風速資料に対して資料採択率 ν を 1/3 および 1/5、1/2 に設定して行った。1932～1960 年の 29 年間において 15 年相当の年別最大風速資料を採録しているにすぎないが、これら以外の年の年別最大風速資料が全資料期間 (74 年) で指定した上位の資料に入らないと仮定している。

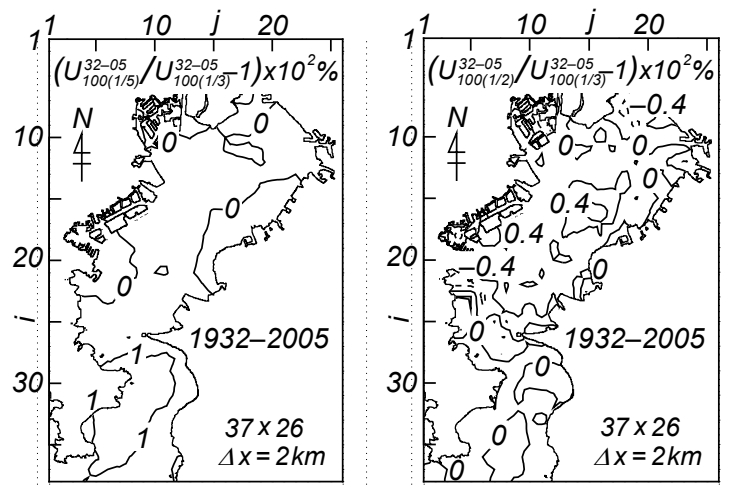


Fig. 26 Effect of data censoring ratio on the estimate of 100-year return wind speed U_{100}^{32-05} in Tokyo Bay.

Fig. 26 は 100 年確率風速 U_{100}^{32-05} に及ぼす資料採択率 ν の影響をその相対差の % 値 $(U_{100(\nu)}^{32-05}/U_{100(1/3)}^{32-05}-1) \times 10^2$ ($\nu=1/5$ または $\nu=1/2$) の空間分布として示す。下側の添字の最初の数字が再現期間を、括弧内の数値が資料採択率 ν を表す。相対差は、大きい値を示す $\nu=1/5$ の場合でもほぼ $\pm 1\%$ 以内 (局所的にも三浦半島東側海域で最大 1.25% 以内) に納まることから、100 年確率風速に及ぼす資料採択率の影響は無視しえよう。以下では資料採択率 1/3 に対する結果を標準とする。

Fig. 27 は資料採択率 ν を 1/3 とした場合の 100 年確率風速 $U_{100(1/3)}^{32-05}$ およびその標準偏差 $U_{\sigma 100(1/3)}^{32-05}$ を 100 年確率風速で除した値の % 値、すなわち変動係数 $(U_{\sigma 100(1/3)}^{32-05}/U_{100(1/3)}^{32-05}) \times 10^2$ の空間分布を与える。下側の添字 σ は標準偏差を意味する。100 年確率風速は東京湾の湾奥北西端で 40 m/s 以上、湾北部から湾中央部で湾中央の 37.5 m/s よりやや小さい海域を除いて 37.5～40 m/s、南部で 40 m/s、湾外で 40 m/s から 42.5 m/s 以上を示す。概略で言えば、東京湾内と湾外の 100 年確率風速はそれぞれ 35～40 m/s および 40～45 m/s

をとる。変動係数は湾北部で 8 ~10 %, 湾央で 5 %弱から 8 %, 南部で 8 %強, 湾外で 8 %強から 12 %を与える。変動係数は湾央で小さく, 北側および南側に向けて増大する。100 年確率風速は湾外境界付近の三浦半島先端から房総半島先端に向けての海域で大きい値をとる。これは T32-Nov 台風時に生じた年最大風速が当該海域で突出した第 1 位値をとることを反映する。

Fig. 28 は 1932~2005 年 (74 年間) の年別最大風速資料に対する極値統計解析 (資料採択率 ν は 1/3) から得た最適分布を用いて求めた, 1911~

2005 年の期間最大風速 U_{max}^{11-05} に対する再現期間 $R(U_{max}^{11-05})$ の空間分布を表す。再現期間は湾奥西側海域を除くほぼ全域で 80~150 年の値をとる。より詳細にみると, 湾奥西側で 200~500 年あるいはそれ以上, 湾奥東側で 100~150 年, 湾央から湾口で 80 年から 125 年弱, 湾外で 100~150 年となっており, 湾奥と湾外でやや長い。これは湾奥では T17-Oct 台風, 湾外では T32-Nov 台風に伴う最大風速の影響を表している。

Fig. 29 は 1911~2005 年の 95 年間の期間最大風速 U_{max}^{11-05} に対する 100 年確率風速 $U_{100(1/3)}^{32-05}$ の相対差の % 値 $(U_{max}^{11-05}/U_{100(1/3)}^{32-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布を表す。資料期間 95 年と再現期間 100 年の差は小さいことから, 両者の比較は可能であろう。相対差は -2 % から 10 % 強の範囲にあり, 再現期間の大きい海域で相対比も大きく, 再現期間の小さい海域で小さくなって, 両者は連動する。

Fig. 30 は年別最大風速資料の期間延長 (1961~2005 年の 45 年間から 1932~2005 年の 74 年間) に伴う 100 年確率風速の変化を相対差の % 値 $(U_{100(1/3)}^{32-05}/U_{100(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として表す。極値解析における資料採択率 ν はいずれも 1/3 である。1960 年以前には T38-Sep 台風や T32-Nov 台風などの巨大

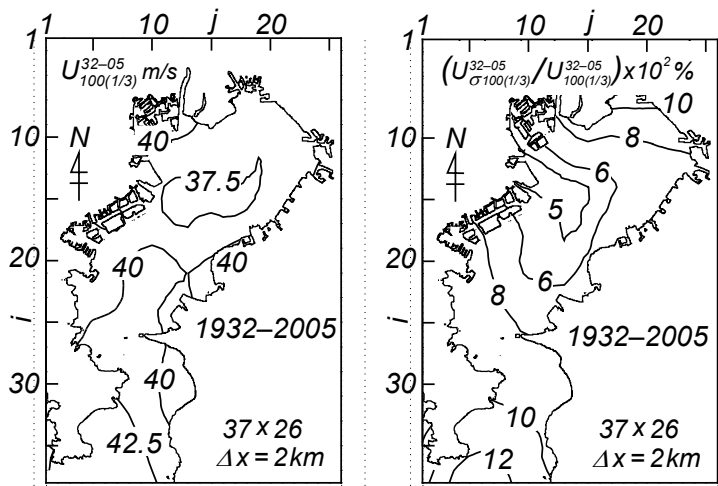


Fig. 27 100-year return wind speed $U_{100(1/3)}^{32-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $U_{\sigma 100(1/3)}^{32-05}$ divided by 100-year return wind speed) $(U_{\sigma 100(1/3)}^{32-05}/U_{100(1/3)}^{32-05}) \times 10^2$ estimated using the annual maximum data of the year period of 1932 - 2005 in Tokyo Bay.

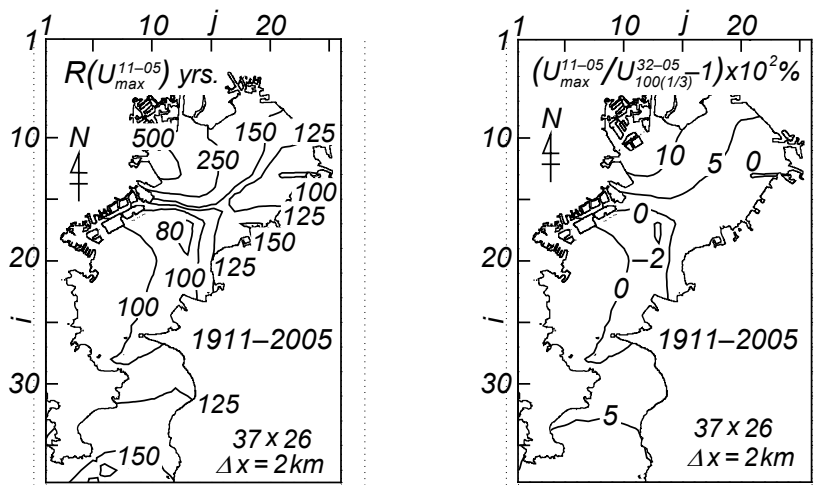


Fig. 28 Return year period $R(U_{max}^{11-05})$ of the largest wind speed U_{max}^{11-05} during the year period of 1911 - 2005 in Tokyo Bay.

Fig. 29 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wind speed during the period of 1911 - 2005 to 100-year return wind speed $(U_{max}^{11-05}/U_{100(1/3)}^{32-05} - 1) \times 10^2$ in Tokyo Bay.

台風に伴う最大級の強風が生起していることから、相対差は15~50%をとり、資料期間の伸長によって確率風速がかなり増大する。相対差は湾外で30~50%，湾内で15~40%を与え、上記の台風時最大風速などの影響により湾内の南西側および湾外で大きい。

4.2 波高の極値

Fig. 31は1911~1959年(49年間)20ケースの台風別最大波高・波向資料と1961~2005年の年別最大波高資料^[6]を併せて得た、1911~2005年(95年間)の期間最大波高 H_{max}^{11-05} と波向の空間分布を示す。1960年以前の台風のケース数が少ないけれども、これらは東京湾に来襲した最大級の台風として抽出されているので、資料期間全体(95年間)で期間最大波高をもたらした台風などの異常ストームを見落としている可能性はほとんどないと考えられる。

期間最大波高は湾外境界の中央で10m、浦賀水道北部の富津岬周辺で5mをとり、7m以上の波高域が湾外の南半分を占める。波向はSからSWである。湾外の西側海域ではT5821号、東側海域ではT7920号に伴う最大波高が主として期間最大波高をもたらしている。湾内では湾口から湾奥の浦安方面に向けて4m等波高線が延び、その西側では4mを越える波高域となっている。このうち、横浜の沖合より北側の海域では波向はS~SSWをとる。この海域の期間最大波高はT17-Oct台風により生じており、湾奥で4.5mの波高域もみられる。このほか羽田空港や東京港の周辺ではT38-Sep台風やT3412号(室戸台風)により期間最大波高が生起している沿岸域も局所的にみられる。一方、横浜の沖合より南側の海域では波向はNEをとり、期間最大波高はT38-Sep台風時に生じている。横須賀の沿岸では4.5mの波高域も出現している。また、横浜周辺海域における期間最大波高の出現はT4910号の寄与による。ついで湾奥をほぼ南北に走る4m等波高線の東側の海域では4mから3mの波高域がほぼ全域を占める。北東部で波向SWをとる3.5~4mの波高を生起した台風はT17-Oct台風とT8506号、波向Wをとる3.5~4mの波高を生起した台風はT4821号(アイオン台風)、南東部で波向N~NNEをとる3.5~4mの波高を生起した台風はT32-Nov台風であり、沿岸部での波高は4mをやや上まわる。東京湾内の期間最大波高をもたらした台風はT17-Oct台風、T38-Sep台風、T4821号(アイオン台風)、T32-Nov台風、T4910号(キティ台風)、T3412号(室戸台風)、T8506号などであり、1950年以前の台風、とくにT17-Oct台風とT38-Sep台風の影響が大きい。

つぎに、1932~1959年(28年間)18ケースの台風別最大波高資料と1961~2005年(45年間)の年別最大波高資料より作成した1932~2005年(74年間)の年別最大波高資料に対して、資料採択率 ν を1/3および1/5、1/2とする極値統計解析を行った。1932~1960年でわずか15ケースの台風別最大波高資料を考慮しているに過ぎないけれども、年別最大波高資料を上位1/3あるいは1/5あるいは1/2

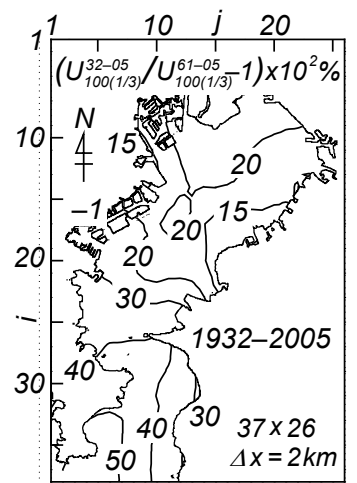


Fig. 30 Change of 100-year return wind speed $(U_{100(1/3)}^{32-05}/U_{100(1/3)}^{61-05}-1)\times 10^2$ in Tokyo Bay with extension of the data period from 45 years to 74 years.

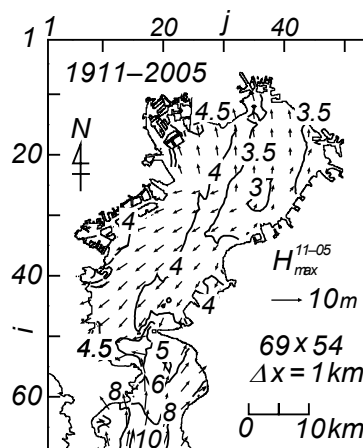


Fig. 31 Largest wave height H_{max}^{11-05} and its wave direction during the year period of 1911 - 2005 in Tokyo Bay.

に限定することによって、対象全期間の上位値資料がもれなく採択されていると仮定することになる。

Fig. 32 は 100 年確率波高 H_{100}^{32-05} に及ぼす資料採択率 ν の影響をその相対差の % 値 $(H_{100(\nu)}^{32-05}/H_{100(1/3)}^{32-05}-1)\times 10^2$ ($\nu = 1/5$ または $\nu = 1/2$) の空間分布として示す。100 年確率波高の相対差は、その値が大きい $\nu = 1/5$ の場合でもほぼ $\pm 1\%$ 以内、大きくても $\pm 2\%$ 以内に納まることから、下限 censoring 条件における資料採択率の影響は無視しうる。以下では資料採択率 1/3 に対する結果を標準とする。

Fig. 33 は 100 年確率波高 $H_{100(1/3)}^{32-05}$ と、その標準偏差 $H_{\sigma 100(1/3)}^{32-05}$ を 100 年確率波高で除した値、すなわち変動係数の % 値 $(H_{\sigma 100(1/3)}^{32-05}/H_{100(1/3)}^{32-05})\times 10^2$ の空間分布をそれぞれ示す。100 年確率波高は湾外境界中央の 9 m 強から浦賀水道北部の 5 m をとる。湾内では、湾口から湾奥に向けて 4 m 波高域が拡がり、湾奥の東京港付近では 4.5 m 波高域もみられる。湾内の北東側では波高は 3 m にまで小さくなり、南東岸では 3.5~4 m を与える。変動係数は 3~15% の範囲にあり、湾外・湾内ともに湾中央軸線周辺の海域で 3~5% と小さいが、その西側と東側では沿岸に向けて 10% 程度にまで大きくなり、湾内の南西岸や北東岸および東岸の一部のように 15% に達するところもある。

Fig. 34 は 1911~2005 年 (95 年間) の期間最大波高 H_{max}^{11-05} に対する再現期間 $R(H_{max}^{11-05})$ の空間分布を示す。再現期間は 1932~2005 年 (74 年間) の年別最大波高資料において資料採択率 ν を 1/3 とした上記の極値統計解析より得られた最適分布を用いて求めている。これによると、再現期間は東京湾の多くの海域で 75~125 年程度であるが、湾中央から北東部に拡がる海域で 125 年を大きく上まわり、局所的に 400 年を越える小海域もみられる。これらの海域では最適分布として選択された Weibull 分布の形状母数の値が 3 以上と大きく、したがって最適分布が尖った形状をもつために、期間最大波高として選択された、主に T17-Oct 台風時の突出した最大波高に相当する再現期間が長大に評価されること

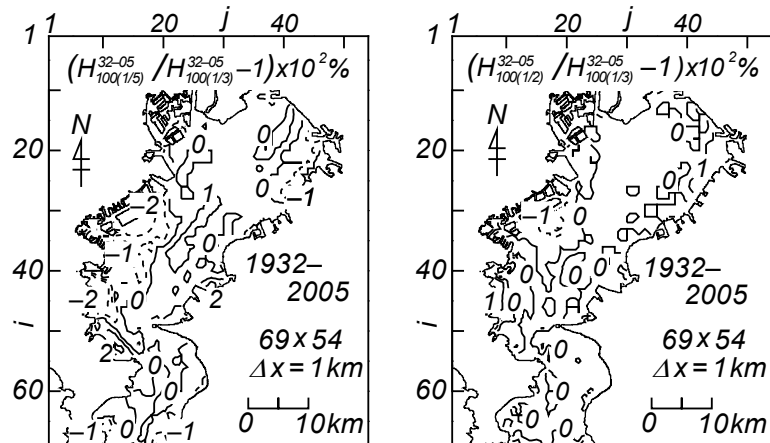


Fig. 32 Effect of data censoring ratio on the estimate of 100-year return wave height H_{100}^{32-05} in Tokyo Bay.

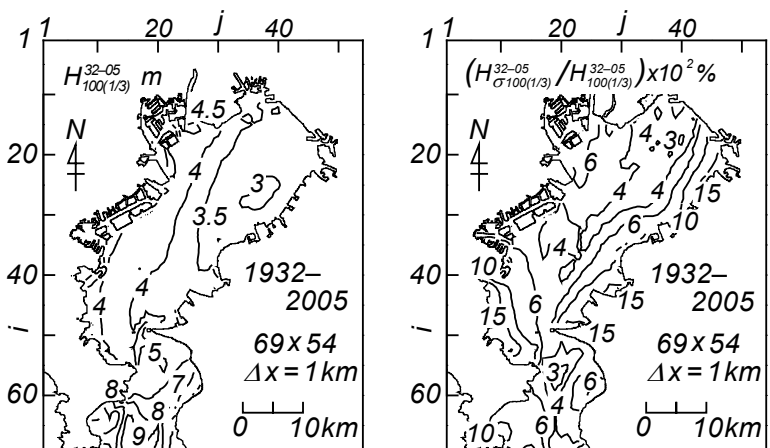


Fig. 33 100-year return wave height $H_{100(1/3)}^{32-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $H_{\sigma 100(1/3)}^{32-05}$ divided by 100-year return wave height) $(H_{\sigma 100(1/3)}^{32-05}/H_{100(1/3)}^{32-05})\times 10^2$ estimated using the annual maximum data of the year period of 1932 - 2005 in Tokyo Bay.

になる。また、再現期間が 75 年以下の小海域もあるが、50 年以下の海域は見出されない。

Fig. 35 は期間最大波高 H_{max}^{11-05} に対する 100 年確率波高 $H_{100(1/3)}^{32-05}$ の相対差の% 値 $(H_{max}^{11-05}/H_{100(1/3)}^{32-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布を表す。この相対比と再現期間 $R(H_{max}^{11-05})$ はほぼ同じ内容を表すので、Fig. 35 と Fig. 34 の等値線形状は類似しており、相対差 5 % および 2 % の等値線がそれぞれ再現期間 125 年および 75 年に大略相当する。要するに、T17-Oct 台風に伴う湾央から北東部にかけての突出した高波高域、T4821 号に伴う湾奥北東部の沿岸海域の突出した高波高域、T32-Nov 台風に伴う湾内南東部沿岸の突出した高波高域、T38-Sep 台風に伴う湾内南西部沿岸の突出した高波高域では、相対比および再現期間ともに大きくなる。とくに、最適分布として選択された Weibull 分布の形状母数が大きいほど、分布の裾を長く引かなくなるので、再現期間は大きく評価される。

Fig. 36 は資料期間 (1961~2005 年の 45 年間から 1932~2005 年の 74 年間) の延長に伴う 100 年確率波高の変化をその相対差の% 値 $(H_{100(1/3)}^{32-05}/H_{100(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として表す。湾外では中央線とその東側海域、湾内では湾央南側から北側の海域で相対差は 10 % 以内とあまり大きくない。また、湾外の東側や湾奥の北東側で局所的に小さい負の値をとる海域もみられる。一方、湾外の西側海域で相対差は 20 %、湾内の南部沿岸で 20 %、さらに湾内の南西海側海域や南東側海域の一部で 80 % にも達する。これは 1950 年以前の巨大台風、とくに南西側海域では T38-Sep 台風、南東側海域では T32-Nov 台風時に生じた異常波高の影響による。以上のように、確率波高の推定値に及ぼす資料期間延長の影響は小海域でみれば有意であり、局所的には非常に大きい。

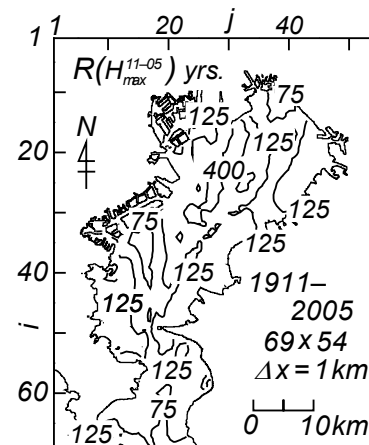


Fig. 34 Return year period $R(H_{max}^{11-05})$ of the largest wave height H_{max}^{11-05} during the year period of 1911 - 2005 in Tokyo Bay.

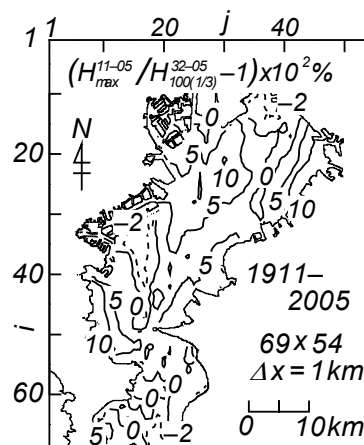


Fig. 35 Percentage expression of a one-subtracted ratio of largest wave height during the period of 1911 - 2005 in Tokyo Bay.

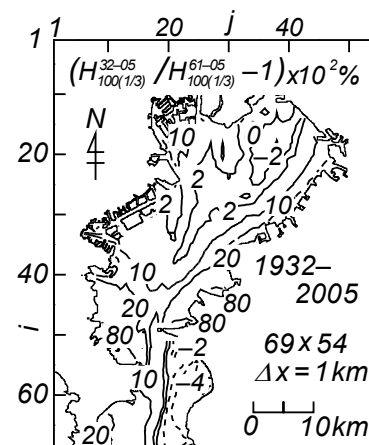


Fig. 36 Change of 100-year return wave height $(H_{100(1/3)}^{32-05}/H_{100(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ in Tokyo Bay associated with extension of the data period from 45 years to 74 years.

5. 結 語

東京湾における風速と波高の極値に関して本研究で得た知見はつぎのように要約される。

①SDP 風資料に基づいて推定した東京湾における 1911～1959 年の 20 ケースの台風別最大風速・風向の空間分布は各台風の経路や勢力に対応した合理的挙動を示す。同様に、SDP 風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算から得た台風別最大波高・波向の空間分布も各台風の特性を反映した特徴を与える。

②東京湾の内外における過去 95 年間の期間最大風速は 35～45 m/s と推測され、湾奥北西部や三浦半島から房総半島にかけての海域で大きい。これらは湾内では 1917 年 (大正 6 年) 10 月台風 (T17-Oct 台風), 1938 年 (昭和 13 年) 9 月台風 (T38-Sep 台風) および台風 4821 号 (アイオン台風), 湾外では 1932 年 (昭和 7 年) 11 月台風 (T32-Nov 台風) により生じている。期間最大風速の再現期間は大部分の海域で 80～150 年, 局所的には 200～500 年あるいはそれ以上に相当する。また, 100 年確率風速は 35 m/s から 45 m/s 弱をとる。その変動係数は 5～12 %を与え, 確率風速が大きい海域で大きい傾向にある。

③東京湾の内外における過去 95 年間の期間最大波高は湾外境界の中央で 10 m, 湾内で 3～4.5 m をとる。湾内では湾口から湾奥の浦安方面にかけて大きく, とくに東京港付近では 4.5 m に達する。これらは上記の台風時に生起しており, その再現期間は 75～125 年, 局所的に 200～400 年あるいはそれ以上と評価される。また, 100 年確率波高は湾外境界の中央で 9 m 強, 湾内で 3～4.5 m をとる。このうち, 湾口から湾奥の広い内湾で 100 年確率波高は 4 m を越える。変動係数はおおむね 3～10 %の範囲にある。

④1950 年以前には巨大台風の来襲によって最大級の風速や波高が生じていることから, 1961 年以降の推算資料に基づいて得られた風速や波高の再現確率値に及ぼす資料期間延長の影響はかなり大きい。したがって, 風速や波高の極値解析では資料期間をできるだけ長くとる必要がある。

最後に, 本研究で利用した貴重な関係資料を提供戴いた関係各機関に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- [1] 河合弘泰・竹村慎治・原 信彦: 東京湾における台風による高潮と高波の同時性と継続時間特性, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp.251-255, 2002.
- [2] 大澤輝夫・竹山剛生・安田孝志: メソ気象モデルと台風ボーガスを用いた伊勢湾台風時の風の場のシミュレーション, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.281-285, 2001.
- [3] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄: SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.186-190, 2009.
- [4] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男: SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第 9 巻, pp.1-13, 2010.
- [5] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄: 1911～1972 年の 17 巨大台風時の関東沿岸海域および伊勢湾における海上風分布の再現, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.396-400, 2010.
- [6] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一: 東京湾および伊勢湾における 1961～2005 年の波浪推算資料を用いた波高の極値の推定, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第 11 巻, 2012 (投稿予定).
- [7] 畑田佳男・山口正隆・大福 学・高橋秀典: 表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システム

- の適用性の向上, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.141-145, 2005.
- [8] 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博:一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性, 土木学会論文集, 第 381 号/II-7, pp.151-160, 1987.
- [9] 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄:エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp.123-127, 1984.
- [10] 山口正隆・西岡賢嗣・田中浩二:構造物が存在する場合の不規則波に伴う海浜流の数値モデル, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp.190-194, 1990.
- [11] 合田良實:[増補改訂] 港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—, 11.極値統計解析, 鹿島出版会, pp.267-326, 1990.
- [12] Yamaguchi, M. and Y. Hatada: An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp.932-946, 1997.
- [13] (財)日本気象協会:1940~1970 台風経路図 30 年集, 日本気象協会, 139p., 1973.
- [14] (財)日本気象協会:気象海象要覧 東京湾, 港湾気象海象シリーズ⑬, 417p., 1994.
- [15] 宮崎正衛:高潮の研究 その実例とメカニズム, 成山堂書店, 134pp., 2003.
- [16] 和達清夫監修:新版気象の事典, 気象災害年表, 東京堂出版, pp.584-616, 1989.
- [17] 黒田静夫・石綿知治:防災工学—台風に対する海岸と港湾の防災, 山海堂, 453p., 1960.
- [18] 力武常次・竹田 厚(監):日本の自然災害, 国会資料編纂会, 637p, 1999.
- [19] 饒村 曜:続・台風物語, (財)日本気象協会, 295p., 1993.
- [20] 宮澤清治:近・現代日本気象災害史, イカロス出版, 325p., 1999.
- [21] 中央气象台:室戸台風調査報告, 中央气象台彙報, 第 9 冊, 616p., 1935.
- [22] 中央气象台:アイオン台風および北九州大雨報告, 中央气象台彙報, 第 34 冊, 第 2 号, 1950.
- [23] 中央气象台:キティ, デラ台風報告, 中央气象台彙報, 第 35 冊 第 2 号, 1950.
- [24] 気象庁予報部:昭和 33 年 7 月 23 日東京西方をへて北上した台風第 11 号速報, 昭和 33 年度速報第 1 号, 1958.
- [25] 気象庁予報部:昭和 33 年 9 月 18 日東京附近を通過して鹿島灘に抜けた台風 21 号速報, 昭和 39 年度速報第 3 号, 1958.
- [26] 気象庁予報部:昭和 33 年 9 月 26 日東日本とくに伊豆半島および東京周辺に大水害を与えた台風第 22 号速報, 昭和 33 年度速報第 4 号, 1958.
- [27] 矢吹文太郎:第二室戸台風時の海上気象(船舶資料による), 神戸海洋气象台彙報, Vol.170, pp.58-75, 1963.

1921～2005年の巨大ストームに伴う伊勢湾の

風速と波高の極値の推定

Estimating Extremes of Wind Speeds and Wave Heights Generated by Intense Storms during the 1921-2005 Year Period in Ise Bay

山口正隆*・畑田佳男**・大福 学***・野中浩一***

Masataka YAMAGUCHI*, Yoshio HATADA**,
Manabu OHFUKU*** and Hirokazu NONAKA***

Shallow water wave hindcasting under the SDP measurement data-based wind condition is conducted for each of the 14-selected typhoons during the year period of 1921-1972 in Ise Bay, and spatial distributions of the maximum values of wind speed and wave height during a typhoon in the bay are discussed typhoon by typhoon. A gross finding is that the intensities of winds and waves depend strongly on the typhoon's characteristics such as its course and strength. Extreme value analyses are made using the annual maximum data samples of wind speed and wave height combined with those during the year period of 1961-2005. Maximum of the estimated 100-year return wind speed may be around 45 m/s in the bay. Also, maximum of the 100-year return wave height may be at most 6.5 m in the inner bay areas of the bay, while a much greater value of 15 m is obtained in the outer areas of the bay exposed to open sea.

Key Words ; Ise Bay, wind speed, wave height, intense storms, year period of 1921-2005, the largest values and 100-year return values

1. 緒 言

沿岸の防災対策にとって高潮と高波の適正な評価は津波とならんで重要な課題であり、そのためにはできるだけ過去に遡って異常事象を検討する必要がある。とくに伊勢湾では伊勢湾台風 (T5915 号) によってわが国の近世史上最悪の高潮災害が生じていることから、伊勢湾台風時の高潮に関して詳細な検討が現在に至るまで数多く行われている。しかし、そのときの波浪に関しては、古くは有義波法による井島ら^[1]や岩垣・柿沼^[2]の推定結果や、最近ではスペクトル法による柴木ら^[3]や小林ら^[4]の推定

*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

**愛媛大学大学院理工学研究科 (工学系) 生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

***愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成 23 年 10 月 5 日

結果が目に着く程度で、他にあまり見当たらないし、伊勢湾台風以前の台風時の波浪に対する検討事例はほとんど見出されない。唯一の例外は、国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港調査技術事務所^[5]によりインターネット上で公開されている伊勢湾内5地点における確率波高の推定値である。これは1955～2003年の49年間における146ケースのストームに対する波浪推算に基づいて推定されていることから、本研究で主な検討対象とする1960年以前のいくつかのストームも推算対象になっているはずであるが、該当する台風名などは明らかでない。

内湾・内海における波浪や高潮の推定精度を高めるためには、その成因となる海上風を適正に評価する必要がある。最近では、MM5のようなメソ気象モデルの利用によって内湾・内海における海上風分布の推定精度が改善されつつある。しかし、1960年以前のように古い時代の台風に対しては、伊勢湾台風の伊勢湾における海上風分布を推定した大澤ら^[6]の研究を除いて、この種のモデルが適用されてきたことはほとんどない。これはモデルへの入力条件の不足や長大な計算時間によると推測される。一方、山口ら^{[7], [8]}は内湾・内海の周辺に位置する気象庁気象官署において長年にわたり取得されてきた風観測資料（SDP風資料）と内湾・内海の海上部と沿岸部の複数地点で取得された風観測資料との相関を利用して、海上部と沿岸部における観測相当風を求め、これらに対する空間補間によって海上風分布を算定する方法を開発した。観測相当風の観測風に対する再現性はかなり高いことが確認されている。

また、山口ら^[9]は上記の海上風分布を入力条件とする1961～2005年45年間の104ケースの気象擾乱（台風、低気圧）に対する波浪推算の結果に基づいて50年確率波高などの波高極値の空間分布を調べている。しかし、対象期間に既往最大級の突出した異常値（風速、高潮偏差など）を生起したT5915号（伊勢湾台風）を含まないことから、確率波高が過小評価されている可能性がある。したがって、確率波高の適正な評価のためにはT5915号を含め利用可能な資料を入手しうるだけ過去に遡って、対象期間を延長する必要があると考えられる。

そこで本研究では、伊勢湾において山口ら^{[7], [8]}の方法で作成した1921～1960年の12台風時およびT6118号（第2室戸台風）とT7220号時の海上風分布^[10]を入力条件とする波浪推算の結果に基づいて、入力条件として与えた各海域の台風別最大風速・風向の空間分布とともに、台風別最大波高・波向の空間分布の特性を台風の生起年代順に考察する。ついで、1961～2005年45年間のストーム時海上風分布から得た伊勢湾の年別最大風速資料^{[7], [8]}およびこれを入力条件とする波浪推算から得た年別最大波高資料^[9]と上記の1960年以前の資料をそれぞれ併せて極値統計解析を行い、伊勢湾における風速・波高の期間最大値とその風向・波向および風速・波高の再現確率値の空間分布の特性を考察する。

2. 台風時の波浪推算と極値統計解析の方法

2.1 海上風分布資料

内湾（伊勢湾）における波浪推算は、外洋に接続する境界上格子点に外洋から入射する方向スペクトルを流入境界条件として与えるとともに、内湾海上風の入力条件のもとに波浪の発達・減衰計算を行うことから、海上風分布資料を2種類用意する。すなわち、1つは北西太平洋に設けた格子間隔80kmの格子網における表面風再解析値（NCEP風資料）に楕円型気圧分布の仮定に基づく台風モデル風を埋め込んだ海上風分布資料の1時間間隔値のデータセット^[11]（1948年以降）、NCEP風資料が存在しない1947年以前では円型気圧分布（Myers式）の仮定に基づく台風モデル風による海上風分布資料の1時間間隔値のデータセットである。台風モデル風において傾度風速から海上風速への変換に際しては、台風半径相当距離地点で1をとり、遠方場で0.6に漸減する係数を乗じて台風中心付近の風速の増強をはかる。もう1つはFig.1に示すように、伊勢湾の周辺にそれぞれ位置する気象官署で取得されたSDP風資料に山口ら^{[7], [8]}の方法を適用して格子間隔2kmの格子網上で10分ごとに作成した、

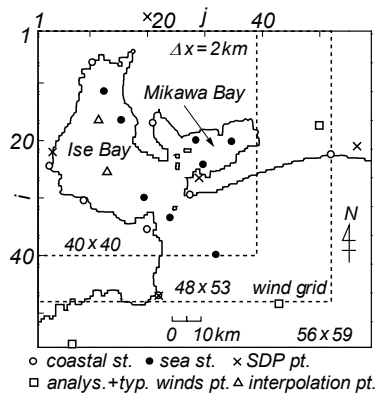


Fig. 1 Location of points where wind data are given in Ise Bay for estimating sea wind distribution.

伊勢湾における各台風時の海上風分布のデータセットである。これはSDP風資料と当該海域に位置する海上・沿岸観測地点における観測風資料との相関を利用してSDP風資料から海上・沿岸観測地点における観測相当風を計算したのち、これらを空間補間して海上風分布を推定する方法であり、海上・沿岸観測風に対してかなり良好な再現性を示す。この方法の詳細は山口ら^{[7], [8]}に、また本論文で対象とする1921~1972年の台風に対する適用結果は山口ら^[10]に与える。なお、図中の外側の点線枠(48×53の領域)は伊勢湾における海上風分布資料の作成範囲、内側の点線枠(40×40の領域)は海上風分布の作図範囲を表す。

2.2 波浪推算の方法

波浪推算ではFig. 2に示すように、まず伊勢湾の湾外で外洋に接続する境界上の格子点(図中の○印, 5地点)における波浪の方向スペクトルを1点浅海モデル^[12]によって1時間間隔で計算する。用いる格子網は格子間隔5kmの北西太平洋領域に格子間隔0.1kmの伊勢湾(図中の●印は波浪観測地点名)を組み込んだ2段階格子網である。入力条件とする海上風分布として、2.1で述べたように台風モデル風を埋め込んだNCEP風(1948年以降)あるいは台風モデル風(1947年以前)と、SDP風資料に基づく内湾海上風の1時間間隔値の2種類を使用する。周波数データの個数は0.047~1Hzを不等分割した20個、方向データの個数は全平面を20°で等分割した19個である。計算期間は台風到着前の3~4日を含めて4~5日とする。

つぎに伊勢湾領域における波浪推算では、砕波減衰エネルギーを段波モデルで評価した格子点浅海モデル^{[13], [14]}を適用する。周波数・方向データは境界地点における波浪推算に用いたものと同じである。Fig. 3は格子間隔1kmで近似した伊勢湾領域(80×77に分割)を示す。図には、外洋に接続する境界上に設けた流入境界地点(○印, 5地点)および沿岸地点名(●印)を与える。波浪推算の時間間隔は1分、SDP風より推定した海上風分布の入力時間間隔は

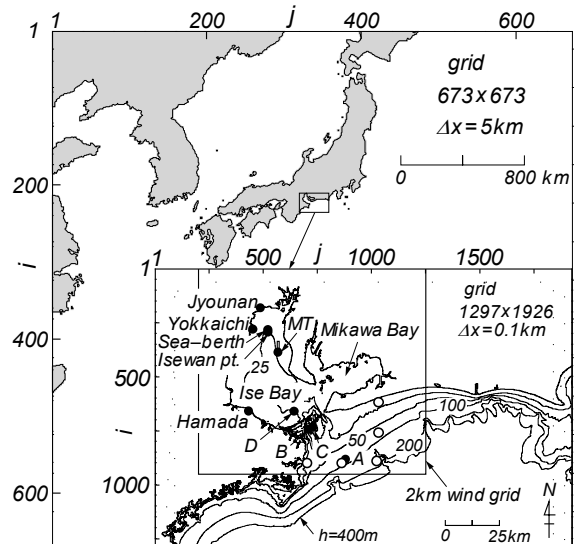


Fig. 2 A nested grid used in wave hindcasting at points along open boundary of Ise Bay by use of backward ray tracing model.

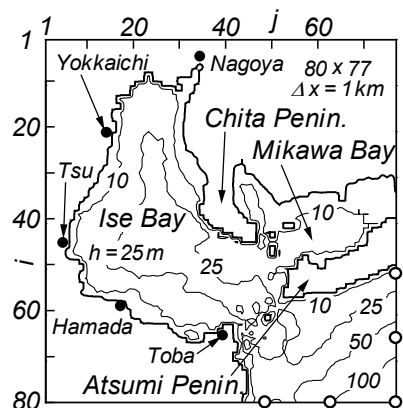


Fig. 3 Grid set on Ise Bay used in wave hindcasting and location name.

10分であり、格子間隔2 kmの海上風分布を4点双1次補間して1 km格子網上の値を求め、これが10分間の間不変とする。外洋に接続する境界上の格子点では、境界5地点において1点浅海モデルにより計算した方向スペクトルを1分間隔で線形補間するとともに、1 kmごとの境界格子点上に線形補間して与える。また、外洋に接続する境界格子点において流出方向に方向スペクトルの完全流出条件を課し、陸地境界地点では方向スペクトルの値を0とする。

2.3 極値統計解析の方法

極値統計解析には、候補分布を Gumbel 分布, Weibull 分布 (形状母数 $k=0.5\sim 10$ の 27 種類), FT-II 型分布 (形状母数 $k=2.5\sim 40$ の 20 種類) の計 48 種類とし、順序統計量のプロットイングポジションを合田^[5]の公式、位置母数と尺度母数の推定を最小 2 乗法、最適分布の選択を最大相関係数基準、再現確率統計量の分散 (平方根は標準偏差) の推定を jackknife 法による Yamaguchi・Hatada^[6]のモデルを用いる。ここでは、このモデルを下限 censoring を受けた年別最大値資料の解析に適用する。

2.4 波浪推算対象台風

対象台風は、①1921年(大正10年)9月台風(T21-Sep台風)、②T3412号(室戸台風)、③T5028号(ジェーン台風)、④T5202号、⑤T5313号(テス台風)、⑥T5415号(洞爺丸台風)、⑦T5526号、⑧T5615号、⑨T5817号、⑩5821号、⑪T5915号(伊勢湾台風)、⑫T6016号、⑬T6118号(第2室戸台風)、⑭T7220号、の14ケースである。これらは名古屋における高潮偏差記録、気象庁による異常気象報告書、日本気象協会による台風経路図30年集^[17]、台風・高潮災害に関する書物^{[18]~[24]}などを参照して決めたものである。山口ら^[10]はすでに主要な台風時(①、②、③、⑤、⑪、⑬、⑭の7ケース)の伊勢湾における海上風分布の特性を議論しているが、今回の研究では波高分布の特性を新たに検討する立場から該当する台風に対して同じ図を採録している。またT6118号およびT7220号時の海上風分布も、山口ら^[8]のケースより詳しいSDP風資料を用いて得たものを採用している。

Table 1は14ケースの台風番号名(著者らが独自に番号名を付与したT21-Sep台風を含む)と波浪推算の期間(m:月, d:日, t:時刻)の一覧を示す。欄外には特定の台風に対して気象庁により付与された名称あるいは英語表記の名前を与える。Fig. 4は14ケースの台風の経路を分割して示す。

Table 1 List of name of wave-hindcasted typhoon and its day-period.

No.	typhoon name	cal. period (m/d.t)	No.	typhoon name	cal. period (m/d.t)
①	T21-Sep	9/25.06-9/26.06	⑧	T5615	9/26.00-9/27.21
②	T3412 ¹⁾	9/20.16-9/21.12	⑨	T5817	8/24.09-8/26.09
③	T5028 ²⁾	9/03.00-9/03.21	⑩	T5821	9/17.00-9/18.21
④	T5202	6/23.00-6/24.15	⑪	T5915 ⁵⁾	9/26.01-9/27.12
⑤	T5313 ³⁾	9/25.03-9/26.03	⑫	T6016	8/29.04-8/30.04
⑥	T5415 ⁴⁾	9/25.00-9/26.22	⑬	T6118 ⁶⁾	9/15.00-9/16.20
⑦	T5526	10/19.09-10/21.02	⑭	T7220	9/16.00-9/17.23

¹⁾Muroto, ²⁾Jane, ³⁾Tess, ⁴⁾Toh-ya-maru, ⁵⁾Isewan, ⁶⁾Daini-muroto

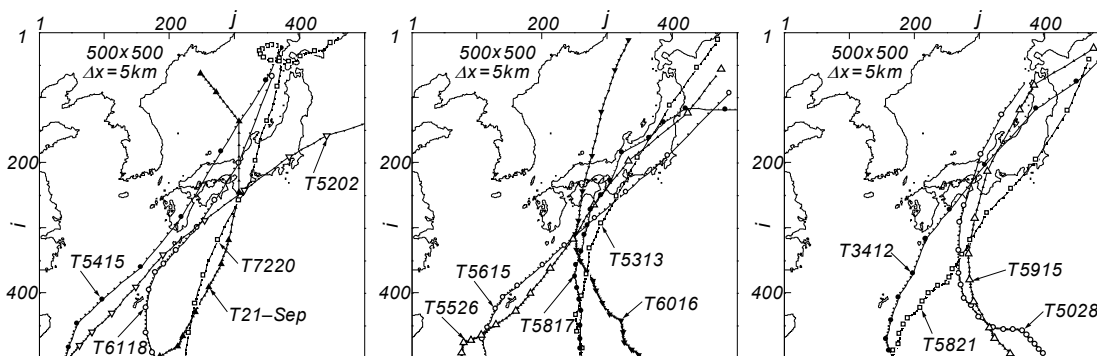


Fig. 4 Tracks of 14 typhoons used in wave hindcasting.

3. 台風特性と風速・波高の空間分布

3.1 結果の提示方法

14 ケースの台風のうち個々の台風ケースについて、台風経路、(10 m 高度) 最大風速 U_{10max} と風向、および最大 (有義) 波高 H_{max} と波向の空間分布を台風の生起年代順に Fig. 5~Fig. 18 に与える。台風経路図は台風特性として日時 (日本への接近・通過時の 6 時間ごとの時点)、台風中心の緯度、中心気圧 p_c 、台風半径 r_0 の一覧表を含む。ただし、1921 年 9 月の台風 (T21-Sep 台風) についての特性は 1 日 2~3 回の資料に基づく線形補間値である。これらは同じパターン of 図であるので、本文における図の表題の説明は個別には行わない。

3.2 個々の台風特性と最大風速・波高

(1) 1921 年 (大正 10 年) 9 月台風 (T21-Sep 台風) (Fig. 5)

1) 台風特性と被災状況^{[19], [20], [21], [22]}

1921 年 (大正 10 年) 9 月 16 日北緯 20° 付近で発生が認められ、W 方向に進んだのち、23 日以降 NE, NNE, N と進行方向を変え、25 日夜紀伊半島を縦断、26 日朝に能登半島の西方海上に達した。潮岬、大阪、津、名古屋ではそれぞれ最低気圧 967.8 hPa, 971.5 hPa, 975.4 hPa, 985.3 hPa を記録した。この台風時には近畿・中部地方で暴風が吹き荒れ、豪雨および高潮と相まって、多大な被害が大阪や名古屋で生じた。全国の人的被害は死者・行方不明者 852 名^[19]、負傷者 187 名、家屋被害 12,500 棟、浸水被害 25,900 棟、船舶被害 200 隻^[22]にのぼる。愛知県においては名古屋の埋立地および熱田付近で浸水が甚だしく、死者・行方不明者 20 名、負傷者 17 名、住宅被害 1,000 棟、浸水被害 2,800 棟、船舶被害 55 隻以上という被災状況であり、防波堤・護岸・堤防の破壊や欠潰が多数みられた。三重県でも浸水被害 3,000 棟、船舶被害 100 隻とのことである^[20]。

2) 最大風速・風向の空間分布

紀伊半島を北上したこの台風時には、伊勢湾は台風右側半円に入ったので、風向 SE から S の風が吹送した。最大風速は湾外の 32.5 m/s から湾奥の 40 m/s に向けて増加し、沿岸より沖合で大きい。三河湾でも風速は 30~35 m/s の範囲にある。風向は S~SSE である。要するに、領域全体でかなりの強風が吹送している。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で 9~10 m、波向は SSW~S、湾内では湾口から 5 m 波高線が知多半島の先端に達するとともに 4 m の等波高線が湾奥までの広い範囲を覆い、北西岸沖合に 5 m 波高域がみられる。波向は

SE を中心とする。また、湾内の南西側海域では波高は 3 m 以下に低下し、波向も E 方向に傾く。同様に、湾奥の名古屋港付近で波高は 3 m 以下に減少する。三河湾では波高は湾入口で 4 m、中央で 2.5 m、東岸で 2 m 以下になる。波向は S~SSW である。強風に伴ってかなり大きい波高が湾内で得られる。

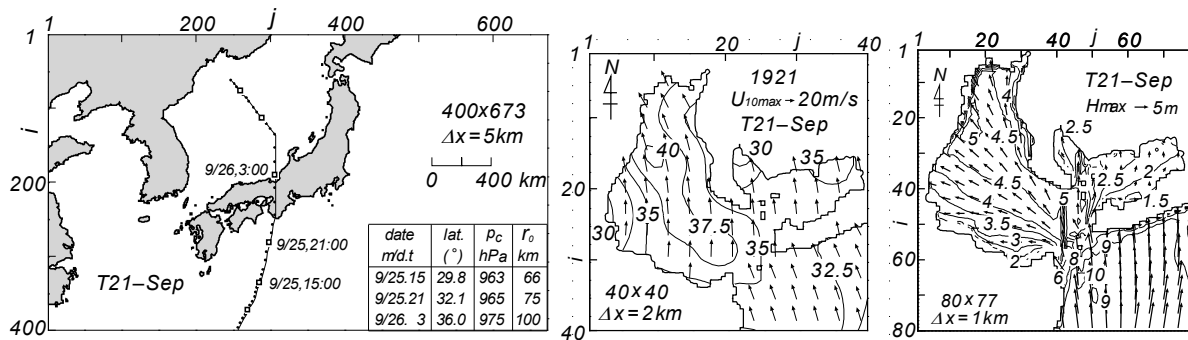


Fig.5 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T21-Sep.

(2) T3412 号 (室戸台風) (Fig. 6)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [19], [20], [23], [25]}

1934 年 (昭和 9 年) 9 月 21 日高知県奈半利町に上陸し、淡路島を経て神戸に再上陸後、北陸・東北地方を通過したこの超巨大台風によって、大阪を中心に暴風雨や高潮に伴う空前絶後の大災害が生じた。伊勢湾でも強風が吹送し、潮位の上昇がみられたが、最高潮位の時刻が満潮後約 5 時間を経っていたため、最高潮位は満潮位とほぼ一致する程度でほとんど浸水しなかったとのことである^[20]。愛知県・三重県における被害は死者 10 名、負傷者 99 名、家屋被害 2,400 棟、船舶被害 127 隻となっている^[20]。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風時に伊勢湾は台風の右側半円に入ったので、風向が SE から S, SW と経時変化をした。最大風速は湾外・湾内ともに大部分の領域で 35~37.5 m/s (40 m/s 以下) を与え、わずかに湾内の西側および三河湾の東側で 35 m/s 以下の値をとる。風向はおおむね S である。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外の境界付近で 13 m 以上、湾口で 6~7 m をとり、波向は SSW から S である。湾内では、

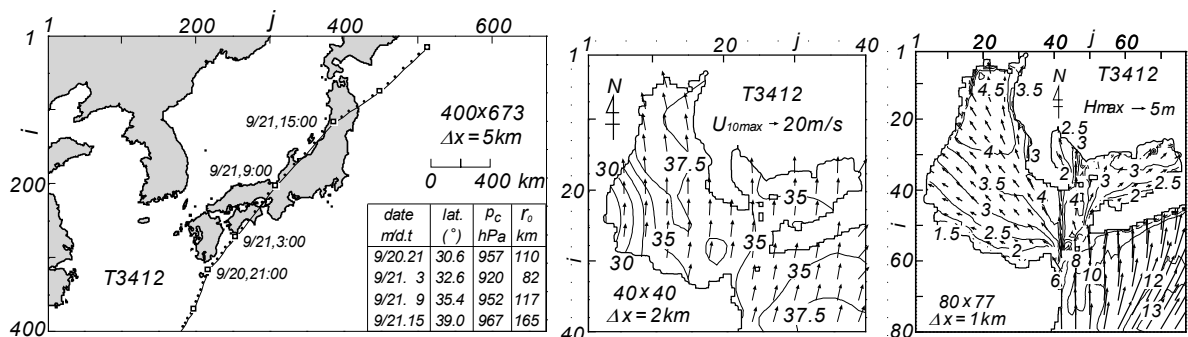


Fig. 6 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T3412.

湾口から 4 m の等波高線が N 方向に伸び知多半島に達している。波向は S を中心に SSW～SSE をとる。また、4 m 等波高線が湾中央から湾奥に拡がり、湾北西端で 4.5 m の等波高線もごく局所的に出現する。波向は SE から S である。湾内の南西側で波高は 2～3 m、波向は SSE をとる。三河湾では湾入口で 4 m、東側湾奥で 3 m、南側で 2 m を与える。波向は SW 方向に傾く。T3412 号（室戸台風）時には波高は湾外においてかなり大きい一方、湾内では大きいとはいえ最大級の値を示していない。

(3) T5028 号（ジェーン台風）(Fig. 7)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [19], [20]}

1950 年（昭和 25 年）8 月 30 日硫黄島の南西海上で発生、9 月 2 日 21 時頃から進路を NNE にとって進行し、3 日 9 時頃室戸岬のすぐ東を通過して 10 時頃徳島県日和佐町付近に上陸、淡路島、神戸を経て若狭湾から日本海へ進んだ。近畿地方は暴風雨により、大阪湾沿岸ではこれに巨大な高潮が加わり大被害を受けた。全国の人的被害は死者・行方不明者 539 名、負傷者 26,062 名、家屋被害 56,000 棟、浸水家屋 167,000 棟、船舶被害 2,798 隻というきわめて大規模なものである。伊勢湾でも強風が吹き、高潮偏差 146 cm（観測史上第 6 位）と 143 cm の 2 回の山が現われたが、干潮時であったため浸水には至らなかった。しかし、名古屋の港湾施設に被害が生じ、船舶の損壊もみられた。愛知県では死者 6 名、負傷者 36 名、家屋被害 190 棟、船舶被害 75 隻となっている^[20]。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風の通過期間中には台風の経路特性に応じて SE 方向の風が卓越した。風速は湾外東側の 27.5 m/s から湾口の 32.5 m/s に増大する。風向は S～SSE である。湾内では風向 SSE～SE の 35 m/s 風速域が広範に拡がり、一部 37.5 m/s に達する。三河湾では風速は 30 m/s 前後、風向は S～SSE であり、風速は伊勢湾より 5 m/s 程度小さい。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外の境界近くで 9 m、湾口の外側で 7～8 m、波向は SSW から S をとる。湾内では湾口から 4 m 波高域が全域に拡がる。湾中央から北西端では 5 m 域も広い範囲を占め、北西端で 5.5 m に達する。波向は SE である。三河湾では波高は湾入口の 3 m から湾奥の 2 m 以下になる。波向は S～SW をとる。強風・高波高の中心は大阪湾にあるが、伊勢湾でもかなり波高は大きい。

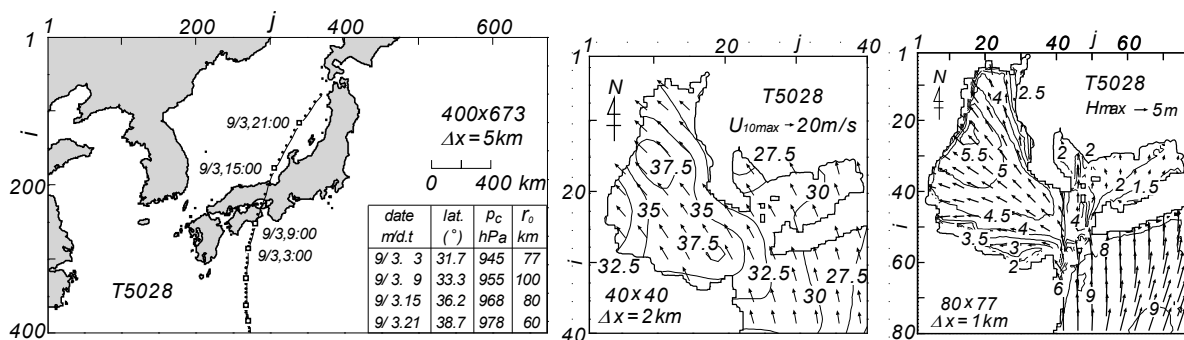


Fig. 7 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T5028.

(4) T5202 号 (Fig. 8)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [19], [23]}

本台風は 1952 年（昭和 27 年）9 月 19 日フィリピン東方海上で発生、NW 方向に進行後、台湾南東海上で NNE、NNW 方向に転向してそのまま進行し、23 日 9 時九州南方海上（中心気圧 970 hPa）、室

戸岬沖, 潮岬付近を経て 23 日 23 時過ぎ志摩半島の大王埼から浜名湖付近を NE 方向に通過している。この時点の台風の中心気圧は 976 hPa 程度, 伊良湖と浜松における最低観測気圧は 980.0 hPa と 977.5 hPa である。全国の死者・行方不明者は 135 名, 家屋被害は 400 棟, 浸水被害は 40,000 棟であるから, 少なからぬ被害がみられる。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風時には伊勢湾は台風の左側半円に入っている。最大風速は湾口の内外における 27.5 m/s 以上 (30 m/s 以下), 風向 SE を中心として, 四方に向けて同心円状に減少しており, 伊勢湾の南側半分で 25 m/s 以上 (風向 E), 三河湾でも 25 m/s 以上 (風向 SE), 湾奥で 20 m/s 以下 (風向 NNE) となっている。T5202 号時には伊勢湾における風はそれほど強くない。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外南東側の 7 m から湾口の 4 m に向けて小さくなる。波向は SW から S に変化する。湾内では湾口から中央付近に 3 m 波高域が広がるが, 北側の海域は 2 m 波高域になる。波向は SE から E, 北側の海域で SE から S をとる。三河湾では湾入口で 3 m, 湾内で 2 m をとり, 波向は S から SW に変化する。

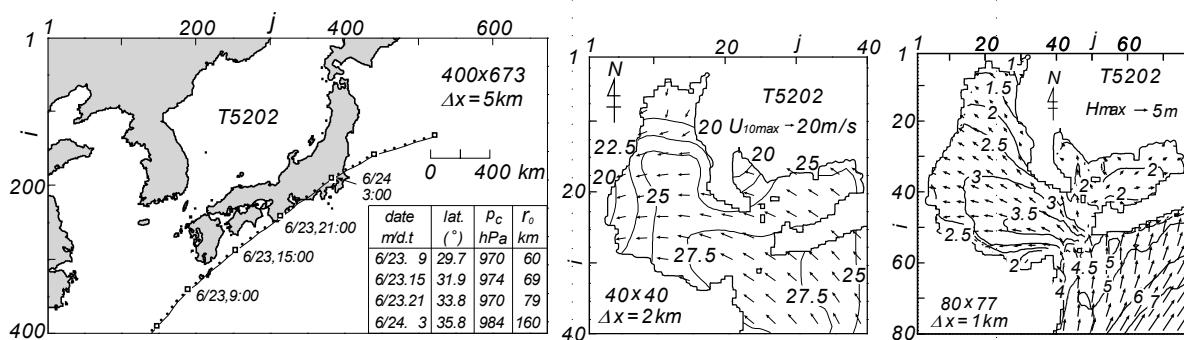


Fig. 8 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T5202.

(5) T5313 号 (テス台風) (Fig. 9)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [18], [19], [20], [23], [24], [26], [27], [28]}

1953 年 (昭和 28 年) 9 月 18 日にグアム島の南東海上で発生, 22 日には中心気圧 900 hPa に急速に発達し, N 方向に進行した。25 日 9 時には進行方向を NE に保って室戸岬の沖合を中心気圧 930 hPa で通過し, 17 時頃に三重県志摩半島に上陸, 伊勢湾を経て 18 時 30 分愛知県知多半島南端に再上陸し, 中部・関東・東北地方を通過して三陸沖に抜けた。台風経路に近い伊良湖岬では最低気圧 957.1 hPa を記録した。この台風時には暴風雨により四国・近畿・中部の各地方の広い範囲で大規模な風水害が発生した。また, 台風の接近・通過に伴い発生した高潮が満潮時と重なったため, 高潮偏差そのものは T5915 号 (伊勢湾台風) 時に遠く及ばないものの, 三重県沿岸や愛知県の三河湾・渥美湾沿岸一帯に壊滅的な打撃を与えた。因みに, 最大高潮偏差は名古屋で 90 cm (第 1 位は T5915 号時の 345 cm), 鳥羽で 101 cm (第 1 位は T5915 号時の 123 cm) である。本台風は, 裏込めが土で作られていた当時の海岸堤防を三面コンクリート張りに変える契機になり, また 1956 年に海岸法を制定する要因となった台風として知られている。死者・行方不明者 599 名, 負傷者 993 名, 家屋被害 22,000 棟, 浸水被害 434,000 棟, 船舶被害 1,581 隻となっている^[19]。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風の伊勢湾横断に伴い, 風向は反時計回りに経時変化した。風速は台風の右側半円に位置した湾

外で 40 m/s に達し、湾口でも 35 m/s を与える。風向は S から SE である。湾内では湾口の 35 m/s から北側の 30 m/s に小さくなる。風向は湾奥の NNW を除いて、おおむね E 方向である。三河湾では風速は 30~35 m/s であり、東側で大きい。風向は SSE を示す。

3) 最大波高・波向の空間分布

湾外の境界南東側で 12 m を越える波高は、湾口で 6~7 m に減じる。波向は S から SSE をとる。湾内では湾口から 4 m の等波高線が放射状に拡がり、3 m 波高域が湾の中央から南側を占める。湾内に進むにつれて波高は減少し、湾奥で 2 m 以下になる。波向は SE を中心に北東側では SSE 方向に変化し、南西側では E 方向に傾く。三河湾では波高は 3 m 以下であり、湾奥で 2.5 m をやや上まわる。台風経路特性を反映して台風の勢力のわりに、湾内の波高はそれほど大きくない。

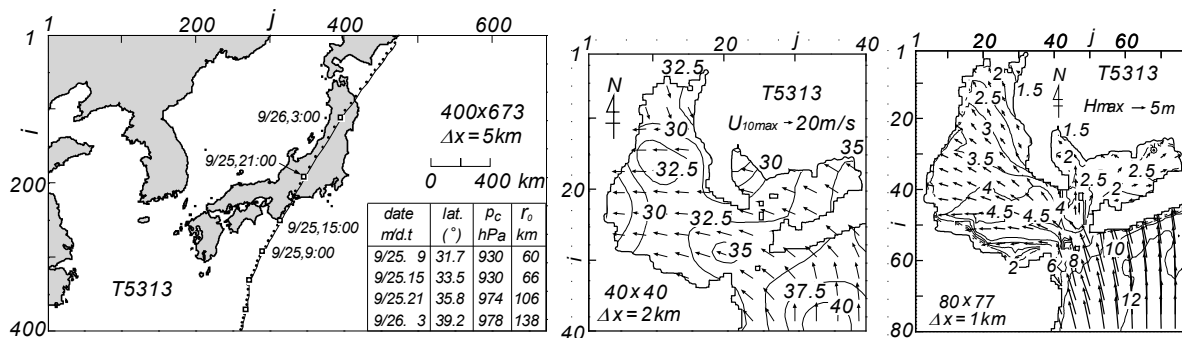


Fig. 9 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T5313.

(6) T5415 号 (洞爺丸台風) (Fig. 10)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [21], [23]}

1954 年 (昭和 29 年) 9 月 23 日フィリピン東方海上で熱帯低気圧から台風が発達した本台風は NW 方向, N 方向, NE 方向に進路を変えながら猛烈なスピードで進み, 26 日 2 時鹿児島に上陸, 大分から広島へと瀬戸内海を突っ切って日本海に抜け, 北海道のすぐ西側海域から宗谷岬を通過した。この台風は日本海を進行中にも発達し, しかも猛スピードであったので, 猛烈な風をとくに北海道にもたらした。その結果, 青函連絡船洞爺丸など 5 隻の沈没と死者 1,047 名, 行方不明者 92 名の大火事や北海道岩内町の大火を招いた。伊勢湾周辺における最低観測気圧は名古屋で 993.0 hPa, 津で 990.6 hPa, 伊良湖で 994.1 hPa とあまり低くないが, 陸上での最大観測風速は名古屋で 22.2 m/s, 津で 19.4 m/s, 伊良湖で 24.7 m/s とかなり強い。全国の死者・行方不明者は 1,761 名, 家屋被害は 34,000 棟, 浸水被害は 104,000 棟, 船舶被害は 5,581 隻にのぼる。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風時には, 経路にあたる瀬戸内海の全域で強風が吹送した。伊勢湾沿岸でも伊良湖で日最大風速 24.7 m/s, 名古屋で 22.2 m/s とかなりの強風が記録されている。伊勢湾における最大風速に関して 27.5 m/s 域が広い範囲を覆っており, 伊勢湾の北側および三河湾の湾奥では風速は 30 m/s を上まわる。一方, 伊勢湾の南西岸や三河湾の北西岸で 22.5 m/s にまで風速は低下する。風向はおおむね S であり, 伊勢湾では北側に向かうほど SSE 方向をとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で沖合の 7 m 強から湾口の 5 m, 波向は SSW から S に変わる。湾内では 4 m 波高域が知多半島先端に達するとともに, 3 m 波高域が北西側および北側の海域に拡がる。後者の波向は SE から S をとる。南西側海域では波高は 3 m から 2 m 以下になり, 波向は SE 寄りを与える。三河湾では波

向は湾の北西側で 2 m 以上，南側で 2 m 以下をとる。波向は S から SW に変化する。波高は全般的に大きくない。

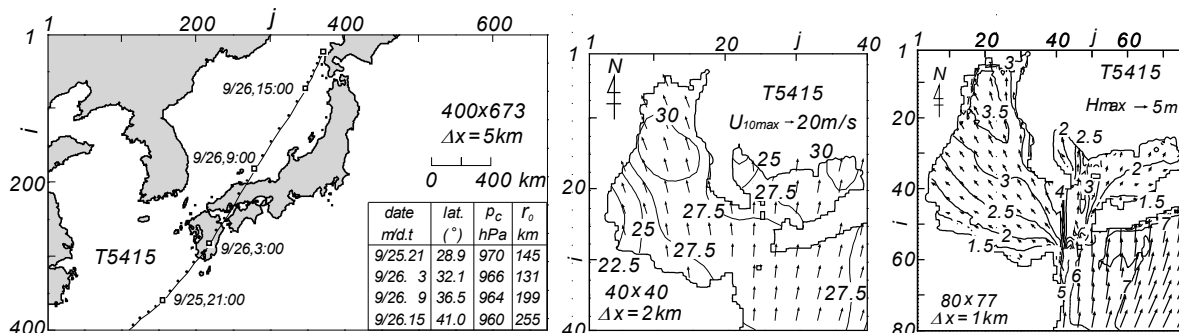


Fig. 10 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T5415.

(7) T5526 号 (Fig. 11)

1) 台風特性と被災状況^[17]

1955 年 (昭和 30 年) 10 月 17 日 15 時北緯 22°，東経 125° 付近で台風として確認された進行方向 N の本台風は 18 日 9 時頃 NW 方向に向きを変えてそのまま進み，20 日 12 時頃和歌山県田辺市付近に上陸した。中心気圧は 985 hPa である。その後，台風は 14 時頃名古屋付近を，18 時頃関東地方北部を経て福島県から太平洋に出た。最低観測気圧は潮岬で 986.3 hPa，尾鷲で 986.6 hPa，津で 987.3 hPa，名古屋で 989.7 hPa とあまり低くない。四国・近畿地方や中部以東の各地方は暴風雨にみまわれたが，中規模以下の台風強度や降雨のため，被害は軽微であった。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風時には，台風中心が名古屋の北西側を NE 方向に通過しているという意味で，T5915 号 (伊勢湾台風) の経路と類似する。最大風速は伊勢湾の湾外から湾内にかけての広い範囲および三河湾の東側湾奥で 32.5 m/s を越える。風速 30 m/s 域は伊勢湾の西岸の一部と三河湾の北西端を除く伊勢湾と三河湾のほぼ全域を覆う。風向は湾外と三河湾で S，湾口から湾内で SE である。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で 6 m から 5 m，波向は SSW から S である。湾内では 4 m 波高域 (波向 S) が知多半島に達するとともに，知多半島沖合から北西方向に湾奥近くにまで延びる。波向は SE である。南西側

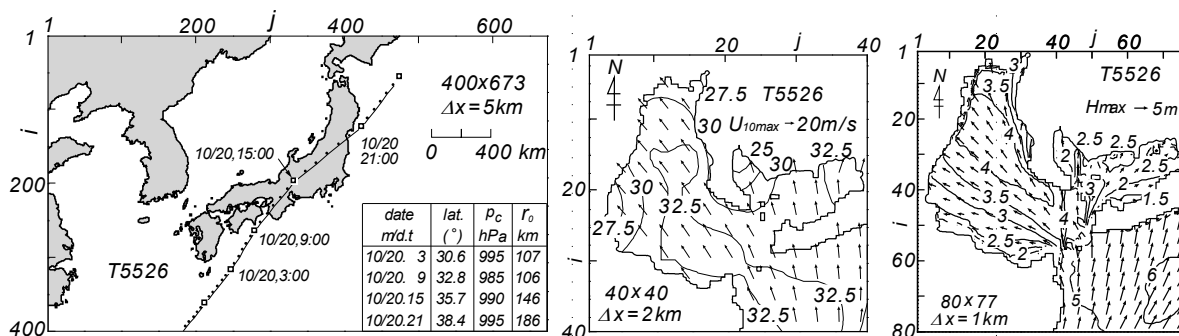


Fig. 11 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T5526.

海域では沿岸部で波高は 2 m にまで低下し、波向も SSE～E をとる。三河湾では波高は湾入口で 3 m、湾内で 1.5～2.5 m の範囲にあり、北側の海域で大きい。波向は S～SW を示す。

(8) T5615 号 (Fig. 12)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [23]}

本台風は 1956 年 (昭和 31 年) 9 月 21 日頃北緯 15° , 東経 135° 付近で発生, WNW, NW 方向に進行後, 25 日台湾の南方海域 (中心気圧 970 hPa) で次第に NW 方向に転向し 27 日 9 時紀伊半島沖 (中心気圧 968 hPa) を経て御前崎付近に進行し上陸, 猛スピードで東京の西側から鹿島灘に抜けている。最低観測気圧は潮岬で 971.1 hPa, 伊良湖で 982.1 hPa, 浜松で 976.2 hPa, 御前崎で 974.6 hPa である。被害は四国地方から関東地方に及んでおり, 死者・行方不明者は 31 名, 家屋被害は 4,200 棟, 浸水被害は 47,500 棟に達する。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は, 伊勢湾の沖合を NE 方向に進行しており, 伊勢湾は台風の左側半円に位置する。風速は湾口内外で 32.5 m/s を上まわり, そこから四方に向けて風速が減少する。30 m/s 域が伊勢湾の南側と三河湾のほぼ全域を覆う。風向は ENE である。伊勢湾全体は 22.5 m/s 域に入っており, 湾奥に向かうほど小さい。風向は湾南側の ENE から反時計方向に傾き, 湾奥で N をとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外南東側の 8 m 強から, 湾口外側の 5 m に小さくなる。波向は SSW から S を経て SE に反時計まわりに変化する。湾内では湾口から 3 m の等波高線が北西側 (波向は E) に若干延びる程度であり, 2 m 波高域が多くを占める。波向は N 寄りである。要するに, 湾内での波高はあまり大きくない。波浪は N 寄りの風によって発達している。三河湾では湾入口の 3 m 弱から湾奥の 1.5 m へと小さくなる。波向は NE～E であるが, 波浪が NE 方向の風によって湾奥から湾入口に向けて発達したと言ふべきであろう。

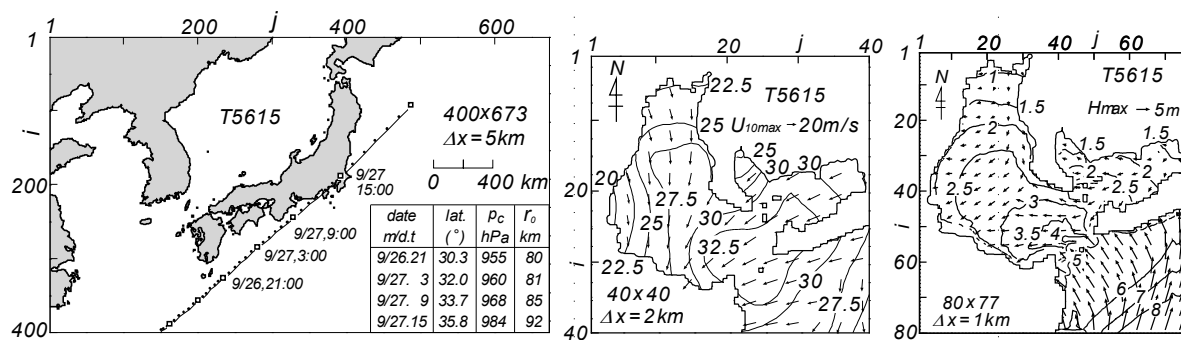


Fig. 12 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T5615.

(9) T5817 号 (Fig. 13)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [23]}

本台風は 1958 年 (昭和 33 年) 8 月 21 日北緯 18° , 東経 135° のフィリピンとマリアナ諸島の間海域で発生, 進路を NW 方向, ついで 22 日 9 時に N 方向, 24 日 9 時から NNE 方向に転じ, 25 日 9 時の四国沖 (中心気圧 970 hPa) を経て和歌山県御坊市付近に上陸した。その後, 近畿・北陸・関東地方を通過して仙台付近から太平洋に出た。最低観測気圧は台風経路に近い和歌山で 980.2 hPa, 奈良で 986.1 hPa であるが, 東側に離れた名古屋では 990.0 hPa, 津では 994.9 hPa, 伊良湖では 999.9 hPa

とあまり低くない。この台風により、通過経路にあたる近畿・中部地方で豪雨・洪水災害が生じた。死者・行方不明者は45名、家屋被害2,000棟、浸水被害は18,000棟に達する。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風時には、伊勢湾は台風の右側半円に入ったことから、S寄りの強風が吹続した。台風の規模ははるかに及ばないものの、経路はT5915号（伊勢湾台風）のものに似ている。最大風速は湾外の西側から湾奥にかけて32.5 m/sの等風速線（35 m/s以下）が広がっている。風向は湾外でS、湾内で北に向かうにつれSE方向に変わる。湾内の西岸中央や東岸に沿って風速は30 m/sと相対的に小さい。風向は湾外でS、湾内でSEに傾く。さらに、三河湾では風速は25～27.5 m/sの範囲にある。風向は西側でSE、東側でSである。全般的にかなりの強風が吹送している。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で6 m程度、波向はSSW～Sをとる。湾内では湾口から北西側海域に向けて3 m波高域が延びており、北西岸沖合に4 m波高域も出現する。波向はSEである。湾内全体では2 m波高域が大部分を占める。三河湾では湾入口で2 m、湾内北西側で1.5 m以上、南東側で1.5 m以下を示す。波向はSSWをとる。

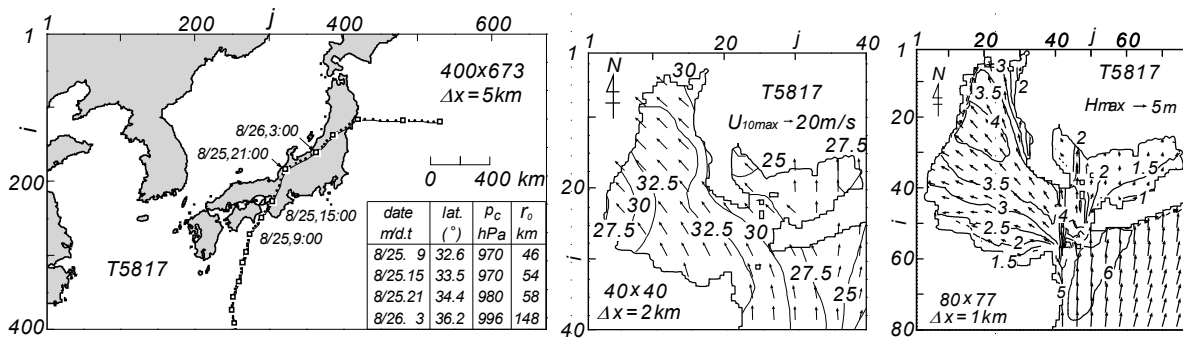


Fig. 13 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T5817.

(10) T5821号 (Fig. 14)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [23], [29]}

本台風は1958年（昭和33年）9月8日北緯10°、東経140°付近で発生、NW方向に進行して13日に台湾のはるか東方海上、北緯21°、東経129°付近からN方向からNW方向に転向し、そのまま17日夜半から18日の朝にかけて紀伊半島、伊勢湾の沖合をNE方向に進んで、18日8時鎌倉市付近に上陸、横浜、東京を通過して鹿島灘に抜けている。上陸時の中心気圧は962 hPaである。台風の左側半円に位置した伊勢湾沿岸においても、最低観測気圧は浜松で967.5 hPa、伊良湖で975.0 hPa、津で981.2 hPa、名古屋で981.3 hPaと、とくに台風経路に近い浜松や伊良湖でかなり低い値を記録している。本台風時には風というよりむしろ豪雨による被害が全国に及び、関東・東北地方に被害が集中した。死者・行方不明者は72名、家屋被害は5,600棟、浸水被害は49,000棟となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は伊勢湾の沖合をNE方向に進行したことから、伊勢湾は台風の左側半円に入り、台風の接近・通過による反時計まわりの風向変化を伴いながら、風の方が著しく変わった。風速は湾外で35 m/sと強く、湾内の湾奥に向けて20 m/s程度にまで小さくなる。風向はNNW～NNEをとる。要するに、伊勢湾内で風速は北側の湾奥の20 m/sから南側の湾口の32.5 m/sに向けて増大する。三河湾でもほぼ全域で30 m/s前後（風向N）の風が出現している。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外の南東端で 9 m, 湾口の外側で 5~6 m をとり, 波向は S から SSE に変化する。湾内では波高は湾奥から湾口に向けて大きくなり, 北側海域で 1.5~2 m, 湾口近くで 3 m 強をとる。波向は N 寄りを中心とする。三河湾でも波高は北側の 1.5 m から南側の 2 m に大きくなる。波向は NE を主体とする。いずれにしる, 湾内での波高は湾外に比べて大きくない。

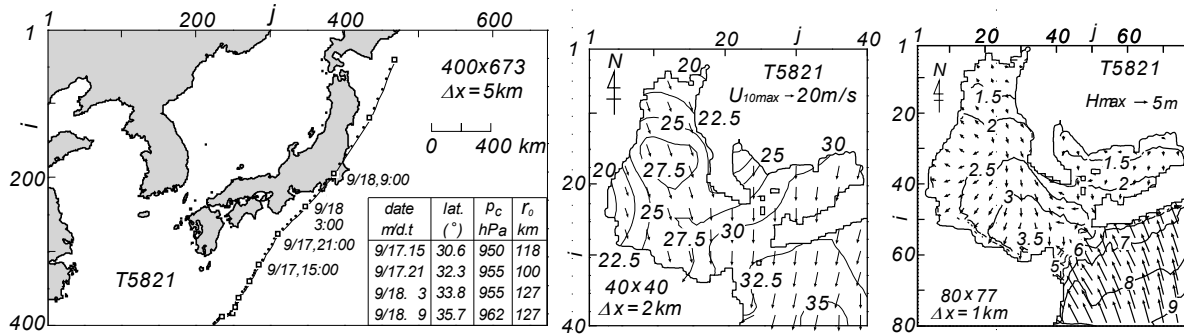


Fig. 14 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T5821.

(11) T5915 号 (伊勢湾台風) (Fig. 15)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [27], [28], [30]}

1959 年 (昭和 34 年) 9 月 21 日サイパン島の東方海域で発生, 進路を NW 方向にとって急速に発達し, 23 日 15 時に中心気圧 894 hPa, 24 日 15 時でも 900 hPa を示した。その後, 勢力をあまり衰えさせず次第に進路を N 方向から NNE 方向に転じて 26 日 18 時過ぎに和歌山県潮岬のすぐ西に上陸, 紀伊半島を縦断, 中部山岳地帯を経て 27 日 0 時過ぎに日本海に抜けた。上陸時には潮岬で最低気圧 929.5 hPa を記録した。伊勢湾でも最低観測気圧は津で 944.7 hPa, 名古屋で 958.5 hPa を与えた。この台風は超大型の非常に強い台風で全国各地に甚大な被害を与えた。とりわけ, 伊勢湾では台風の通過が満潮時と重なったため, 観測史上最大の高潮 (高潮偏差は名古屋で 345 cm, 鳥羽で 123 cm) が発生し, 烈風, 高波, 河川の洪水と相まって, 伊勢湾沿岸一帯に未曾有の大災害をもたらした。災害の原因として空前絶後の厳しい自然条件のほか, 避難誘導や住民への災害情報の伝達を含めた防災体制および防災施設の不備などがあげられた。この大災害は日本の防災体制に根本からの変革を迫るものであり, 1961 年の「災害対策基本法」の制定・公布に結びついた。死者・行方不明者 5,098 名, 負傷者 38,921 名, 家屋被害 834,000 棟, 浸水被害 364,000 棟, 船舶被害 13,795 隻と膨大な数にのぼる^[19]。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は伊勢湾の西を NE 方向に進行したことから, 風向は SE から S, SW に変化した。風速は湾外沖合で 40 m/s, 湾口付近で 45 m/s と猛烈な風になっている。風向は S である。湾内では湾口の 45 m/s から湾中央, 北側に向うにつれて 40 m/s と 5 m/s 程度小さくなるものの, 烈風であることに変わりない。風向は湾口で S, 湾内で SE あるいは ESE を与える。三河湾内でも風速は 40~45 m/s, 風向は S である。

T5915 号時の伊勢湾における海上風分布は気象庁^{[28], [30]}, 山元・光田^[31], 柴木・後藤^[32], 大澤ら^[6]によって調べられている。気象庁^{[28], [30]}の結果では, 志摩半島先端の大王崎付近で 50 m/s 風速域が, 志摩半島から知多半島, 渥美半島にかけて 45 m/s 域が, さらに北側の松阪, 名古屋, 岡崎付近にかけて 40 m/s 域が形成され, 伊勢湾・三河湾全体で風速 35 m/s 以上となっている。9 月 26 日 20 時, 21 時, 22 時の風速分布を与えた山元・光田^[31]の結果では, 湾外と湾内で 45 m/s 域が出現し, 35~40 m/s

域は湾外や三河湾を含む湾内全体を占める。この分布状況は今回の結果と定性的に符合する。柴木・後藤^[32]の結果は等風速線で表されていないので、細部は判読不能である。メソ気象モデル MM5 による計算結果から 9 月 26 日 16 時～27 日 2 時までの 8 時点について風速・風向分布を与えた大澤ら^[6]の結果では、最大風速は湾外と湾内中央部より南側で 40 m/s 以上となっており、湾内の沿岸部でも大部分の地区で 36 m/s を越え、32 m/s 域は伊勢湾全体を覆う。本研究の結果と比べると、大澤ら^[6]の結果における風速が 2.5～5 m/s 小さい傾向にあるが、空間分布のパターンは類似する。要するに、山元・光田^[31]の結果、大澤ら^[6]の結果、本研究の結果は多少の風速の差を除くと、定性的にみて相互に類似した風速の空間分布を与えると言える。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外の南東側で 15 m を越えるが、湾口では 8 m に減じる。波向は SSW から SSE である。湾内では、5 m 波高域が湾内の北西部や北部に向けて広範に広がっており、北西側や知多半島沖合で 6 m 域、北西岸沖合で 6.5 m 域もみられる。波向は SE を中心に知多半島沖合で S、北東側で SSE～S、南西側で E をとる。三河湾では波高は湾入口で 5 m、東側湾奥で 2.5 m と小さくなり、波向は S から SW をとる。

T5915 号時の波浪推算は緒言で述べたように、井島ら^[1]、岩垣・柿沼^[2]、柴木ら^[3]、小林ら^[4]により行われている。有義波法に基づく井島ら^[1]の結果では伊勢湾に沿った水深 8 m 地点における波高は 3.2～4.3 m、岩垣・柿沼^[2]の結果では湾中央における波高は 4.5～6.4 m と推定されている。スペクトル法に基づく柴木ら^[3]の結果では湾外の境界付近で 14～15 m、湾口で 10 m 前後、湾内では湾口の 6 m から湾中央および北西側で 3.5～4 m を与える。小林ら^[4]の結果では波浪推算モデルにおける入力項の違いにより湾外部で 16 m あるいは 20 m をとり、湾内では入力項の違いにより 6 m 域あるいは 8 m 域が湾口から湾中央にまで広がるという空間分布のパターンになっている。今回の結果は湾外では柴木ら^[3]の結果に、湾内では小林ら^[4]の結果に近い波高を与える。T5915 号時には少なくとも風速 35 m/s を越える SE 方向の強風が 2 時間以上吹送していることから、湾内発生最大波高は 5 m を越えると推測される。

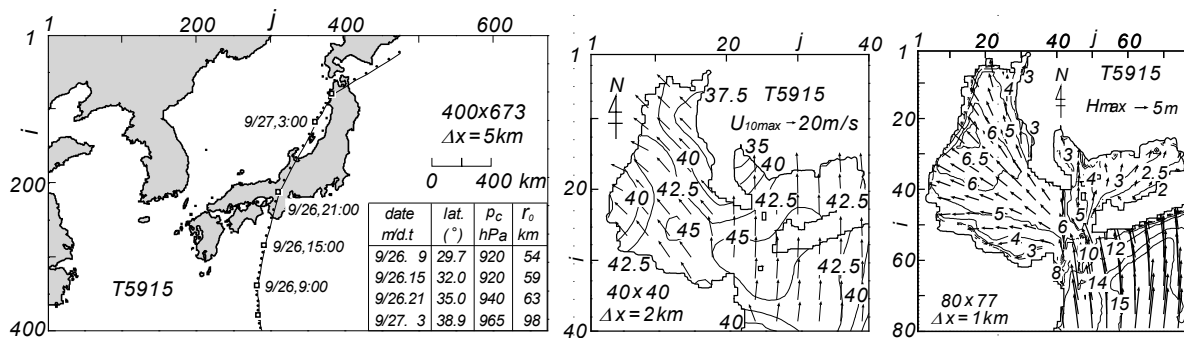


Fig. 15 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T5915.

(12) T6016 号 (Fig. 16)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [19]}

1960 年 (昭和 35 年) 8 月 18 日グアム島の東方海域で発生、NW 方向に進行したのち、8 月 25 日北緯 22° 付近で進路を NNW 方向、8 月 29 日早朝北緯 31° 付近で NNE 方向に転じ 14 時頃高知市付近に上陸した。高知市では最低気圧 969.8 hPa を記録している。その後、台風は中国地方中部を経て日本海に抜けた。四国・中国・近畿地方では暴風雨により、土砂崩れや堤防決壊などの土砂災害・洪

水災害が生じた。台風経路から少し離れた伊勢湾でも比較的強い風が吹き、名古屋で46 cmの高潮偏差が記録された。死者・行方不明者は61名、負傷者は145名、家屋被害600棟、浸水被害45,000棟、船舶被害54隻となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾外の17.5 m/sから湾内北西端の32.5 m/sに向って増大している。風向はSEである。台風経路から数百 km 離れた伊勢湾においても25 m/sを上まわる強風が吹送したことがわかる。また、三河湾でも風速20~22.5 m/s、風向SEの強風場となっている。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で4 mから4.5 m程度、波向はSをとる。湾内では2.5 m以上の波高域が広い範囲に広がる。4 m波高域も北西端に出現する。南西側では波高は2 m以下である。波向はSEを主とし、南西側でE方向に、北東側でS方向に傾く。また、三河湾では1~2 mの波高域が形成されている。波向はS方向を主とする。

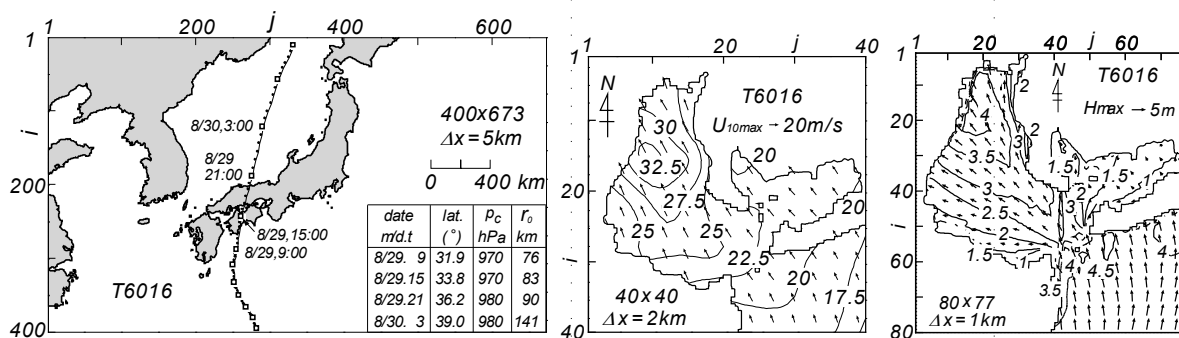


Fig. 16 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T6016.

(13) T6118号 (第2室戸台風) (Fig. 17)

1) 台風特性と被災状況^{[17], [18], [19], [20], [33], [34]}

1961年(昭和36年)9月8日マーシャル諸島近海で発生、NW方向に進行して12日朝には900 hPa以下に発達、14日夜半沖縄の東海上で転向してNNE方向に進行し16日9時過ぎに四国の室戸岬の西方に上陸した。上陸時の中心気圧は925 hPa、台風半径は100 kmである。台風はその後12時に淡路島、13時30分頃に尼崎市と西宮市の間を通り、18時に能登半島東部に達し日本海に出た。台風の勢力は上陸後も衰えず、室戸岬で最低気圧930.7 hPa、洲本で934.7 hPa、大阪で937.3 hPaを記録した。T6118号は大阪湾に到達する前1週間にわたり中心気圧930 hPa以下を保持した超巨大台風であり、経路を含めて台風特性がT3412号(室戸台風)のものと類似することから、第2室戸台風と命名された。大阪では、観測史上第1位の292 cm(室戸台風)に次ぐ245 cmの高潮偏差が生じた。近畿・北陸地方を中心としたほぼ全国規模の暴風被害や、大阪をはじめ兵庫、和歌山、香川の各県における高潮被害は甚大であるが、雨による被害は少ない。伊勢湾でも名古屋で最低気圧971.7 hPaを記録し、また観測史上第2位にあたる高潮偏差197 cmを生じた。全国の死者・行方不明者は202名、負傷者は4,972名、家屋被害は61,000棟、浸水被害は384,000棟、船舶被害は2,540隻にのぼった。超巨大台風のわりに、高潮に伴う死者・行方不明者は皆無であった。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風の室戸岬付近への上陸と淡路島を経て福井県への通過に伴い、台風の右側半円に位置した伊勢湾では風向SEからSSE、Sの強風が吹送した。風速は湾外から湾内の非常に広い範囲で37.5 m/sを上

まわり、湾内の中央や北西端では 40 m/s を越える。風向は湾外で S，湾内で SE である。三河湾でも風速は 35 m/s 前後，風向は S をとる。

T6118 号時の伊勢湾における風力階級が気象庁^[34]や矢吹^[33]により，風速分布が山元ら^[35]により与えられている。気象庁^[34]の結果（当該箇所は矢吹による執筆）や矢吹^[33]の結果では，9 月 16 日 11 時～15 時で風力階級 12 の等値線が伊勢湾の沿岸全体を覆っていることから，この時間帯には伊勢湾内で 35 m/s あるいはそれ以上の強風（風向は S～SE）が吹送したと推測される。また，山元ら^[35]の結果によれば，伊勢湾の沿岸に沿って舌状に風速 30 m/s の等値線が引かれていることから，伊勢湾内での最大風速は 30 m/s を越えていたことが示唆される。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外の沖合で 12 m，湾口で 6～7 m，波向は SSW～S をとる。湾内では湾口から 5 m 波高線が北側の知多半島に到達するとともに，北西側で湾奥まで 4 m の等波高線が拡がり，北西岸沖合に 5 m の等波高線が出現する。また，南西側では波高は南西岸の 2 m にまで小さくなる。波向は SE を中心として南西側に向かうにつれて ESE 方向に，北側に向かうにつれて S 方向に傾く。三河湾では波高は湾入口の 4 m から東側湾奥の 2～2.5 m にまで小さくなる。波向はおおむね SSW～SW を与える。

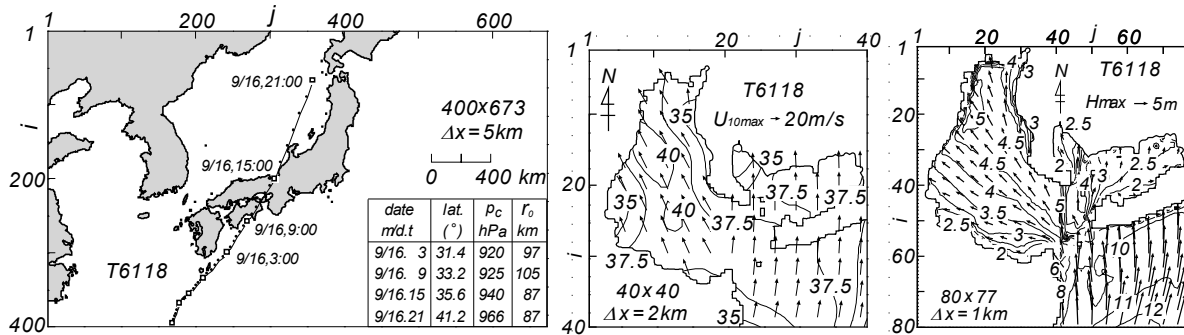


Fig. 17 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T6118.

(14) T7220 号 (Fig. 18)

1) 台風特性と被災状況^{[19], [28]}

1972 年（昭和 47 年）年 9 月 13 日にフィリピンのはるか東方海上で台風が発達，NW 方向に進路をとったのち 9 月 15 日以降進行方向を N から NNE に転じ，9 月 16 日 19 時前和歌山県潮岬付近に上陸した。潮岬の最低観測気圧は 956.9 hPa である。その後，台風は三重県西部から岐阜・富山県を経て日本海に抜けた。名古屋における最低気圧は 974.8 hPa を記録した。台風は豪雨を誘発し，土砂崩れが続発，洪水と重なって被害は全国に及んだ。伊勢湾では観測史上第 3 位に当たる高潮偏差 196 cm を生じるなど，第 2 伊勢湾台風と呼ばれるほどの高潮を生起したが，高潮の起時が満潮時刻とずれていたため重大な高潮災害に至らなかった。この台風は北海道西方の日本海上でループを描く経路をとって日本海に長期間停滞し，その結果として生じた異常波浪が巨大なうねりとなって韓国東岸に襲来し，大きな海岸災害をもたらした事例として専門家の間では知られている。全国の被害は死者・行方不明者 38 名，負傷者 158 名，家屋被害 1,300 棟，浸水被害 78,000 棟，船舶被害 240 隻となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は伊勢湾のすぐ西側を NNE 方向に進行していることから，風向は SE から S，SW と変化した。風速は湾外と湾内の広い範囲で 37.5 m/s 以上をとり，湾外の沖合や湾内の湾口から北西側および湾奥において 40 m/s を越える。風向は湾外で S～SSE，湾内で SE である。三河湾でも風速は 32.5 m/s

から 37.5 m/s 弱, 風向は SE の場となっている。このように, T7220 号は伊勢湾全域にきわめて強い風
の場を生起しており, 名古屋で 196 cm の高潮偏差を生じたことと相まって, 第 2 伊勢湾台風と呼ばれ
る由縁となっている。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では沖合で 11 m 以上, 波向は S を主とし, 湾口で 6~7 m, 波向は SSE から S である。
湾内では湾口から 5 m の等波高線が北西側にまで延びており, 局所的に北西岸沖合に 6 m 域も出現す
る。湾奥を含めて 3 m 波高域はほぼ湾全体を覆う。波向は SE を主とし, 南西側で E 方向, 北東側で
SSE~S をとる。三河湾では湾入口で 4 m, 湾中央で 2.5 m をとり, 東側の湾奥で 2 m 程度を与える。
波向は主として SE である。T7220 号時には湾外と湾内でかなり大きい波高が生じている。

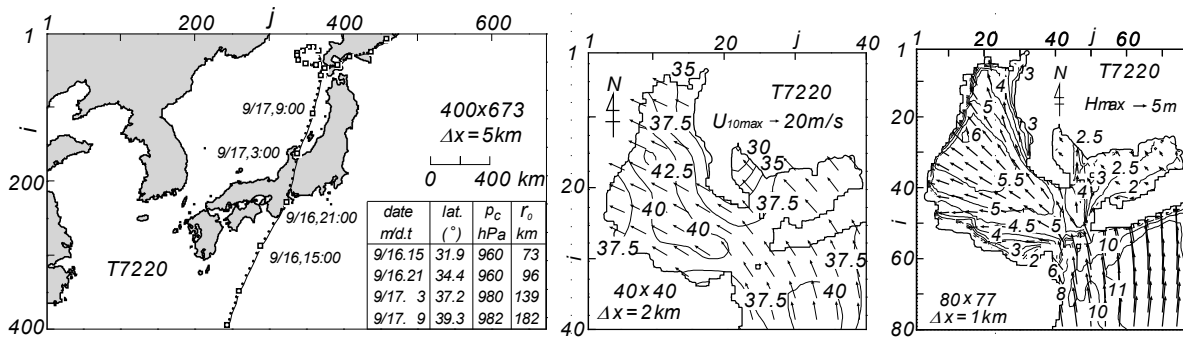


Fig. 18 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by T7220.

4. 伊勢湾における風速・波高の極値の空間分布

4.1 風速の極値

Fig. 19 は 1921~1960 年 (40 年間) 12 ケースの台風別最大風速・風向資料と 1961~2005 年 (45 年
間) の年別最大風速・風向資料^[8]より得た, 1921~2005 年 (85 年間) の期間最大風速 U_{max}^{21-05} とその風
向の空間分布を示す。この場合, T6118 号と T7220 号時の最大風速資料はそれぞれ本研究で得た各台
風時の最大風速資料に置き換えている。これは細かい情報を含
む SDP 風資料の使用によって, より高い精度の台風時最大風速
資料が期待されるためである。85 年間の期間最大風速は渥美半
島から西側の湾中央にかけて 45 m/s を越え, ここから周辺の海
域に向けて放射状に小さくなり, 三河湾の湾岸で 42.5 m/s, 伊
勢湾西岸の津付近, 湾奥を含めて北東側海域および湾外境界付
近でそれぞれ 40 m/s 程度をとる。風向は伊勢湾海域の東側半分,
すなわち湾外, 湾口, 湾奥のごく一部, 三河湾で S, 湾内の西
側半分で SE~ESE を与える。期間最大風速を生起した台風は伊
勢湾の大部分で T5915 号 (伊勢湾台風) であり, わずかに湾外
の南東側で T5313 号 (テス台風) の寄与がみられる程度である。

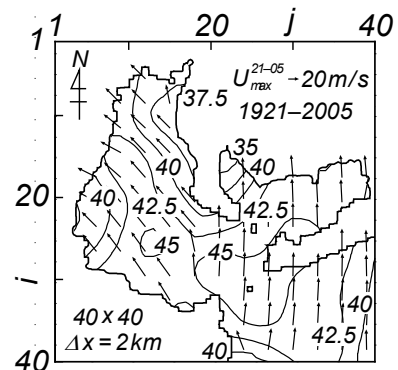


Fig. 19 Largest wind speed U_{max}^{21-05} and its wind direction during the year period of 1921 - 2005 in Ise Bay.

つぎに, 1959~2005 年 (47 年間) および 1950~2005 年 (56
年間) の年別最大風速資料に対して資料採択率 ν を 1/3 および

1/5 とする極値統計解析を行った。Fig. 20 は 100 年確率風速 U_{100}^{50-05} に及ぼす資料採択率 ν の影響をその相対差の%値 $(U_{100(1/5)}^{50-05}/U_{100(1/3)}^{50-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として与える。両者の差はほぼ $\pm 1.5\%$ 以内に納まることから、その差は無視し得よう。

Fig. 21 は 100 年確率風速 $U_{100(1/3)}$ とその標準偏差 $U_{\sigma 100(1/3)}$ に及ぼす資料期間長の影響をその相対差の%値 $(U_{100(1/3)}^{50-05}/U_{100(1/3)}^{59-05} - 1) \times 10^2$ および $(U_{\sigma 100(1/3)}^{50-05}/U_{\sigma 100(1/3)}^{59-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として与える。両資料において第 1 位値が湾外の南東側を除く伊勢湾内外のほぼ全域で同一であることから、資料期間の伸長に伴って確率風速は最大 3.5% 小さくなる。一方、湾外

のうち南東側では 1950~2005 年の年最大風速資料において T5313 号による風速が第 1 位値をとる。その結果、確率風速は資料期間の伸長に伴い最大 6% 増加するが、提示した図の範囲は対象海域よりかなり狭いことから、その大きさは最大で 2% にとどまる。また、100 年確率風速の標準偏差は資料期間の伸長に伴い、10~30% 小さくなり、信頼区間の幅が減少する。

Fig. 22 は 1950~2005 年 (56 年間) の別年最大風速資料に対して資料採択率 ν を 1/3 とした極値統計解析から得た、100 年確率風速 $U_{100(1/3)}^{50-05}$ とその変動係数の%値 $(U_{\sigma 100(1/3)}^{50-05}/U_{100(1/3)}^{50-05}) \times 10^2$ の空間分布を与える。100 年確率風速は知多半島周辺から湾奥にかけての海域を除く全域で 40 m/s を越え、湾口から湾内外にかけての広い範囲で 45 m/s (最大 46 m/s) をとる。変動係数は海域の東側半分で 8% から 10% 強を与え、とくに湾口の周辺で大きい。海域の西側半分では 6~8% で西側に向けて小さくなる。

Fig. 23 は 1921~2005 年 (85 年間) の期間最大風速 U_{max}^{21-05} に対する再現期間 $R(U_{max}^{21-05})$ の空間分布を示す。計算には 1950~2005 年 (56 年間) の年別最大風速資料に対して資料採択率 ν を 1/3 とした極値統計解析により得た最適分布を用いている。再現期間は湾口付近の 100~120 年から周辺に向けて 60 年へと短くなる。資料期間長は 85 年で

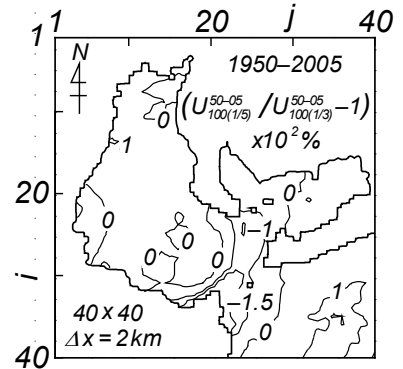


Fig. 20 Effect of data censoring ratio on the estimate of 100-year return wind speed U_{100}^{50-05} in Ise Bay.

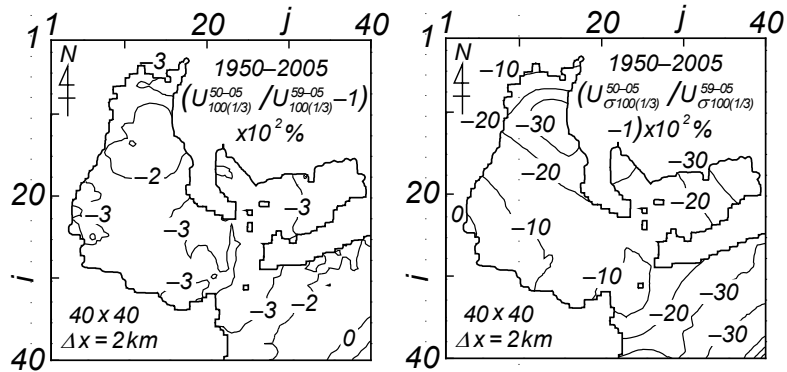


Fig. 21 Effect of data year-length on the estimates of 100-year return wind speed $U_{100(1/3)}$ and its standard deviation $U_{\sigma 100(1/3)}$ in Ise Bay.

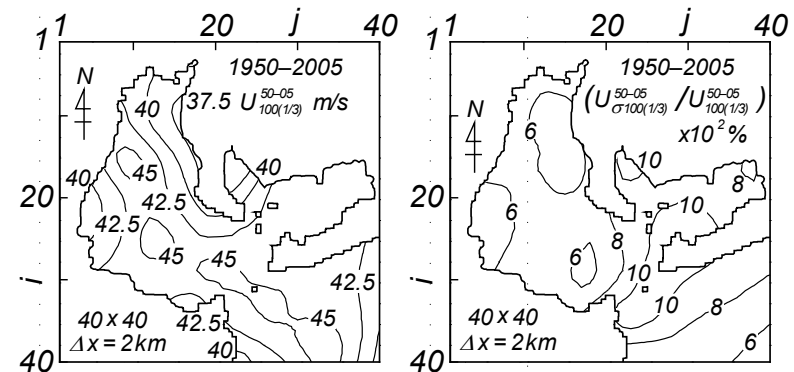


Fig. 22 100-year return wind speed $U_{100(1/3)}^{50-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $U_{\sigma 100(1/3)}^{50-05}$ divided by 100-year return wind speed) $(U_{\sigma 100(1/3)}^{50-05}/U_{100(1/3)}^{50-05}) \times 10^2$ estimated using the annual maximum data of the year period of 1950 - 2005 in Ise Bay.

あるから、期間最大風速は全体的には 100 年確率風速とそれほど離れていない値になっている。細部でみると、湾口付近では期間最大風速は 100 年確率風速よりやや大きめの値、湾内の北西側と湾外の南東側では小さめの値に相当する。

4.2 波高の極値

Fig. 24 は 1921~1960 年 (40 年間) 12 ケースの台風別年最大波高・波向資料と 1961~2005 年 (45 年間) の年別最大波高・波向資料⁹⁾を併せて得た、1921~2005 年 (85 年間) の期間最大波高 H_{max}^{21-05} とその波向の空間分布を示す。ただし、T6118 号と T7220 号時の最大波高資料は SDP 風資料の充実に伴い、より高い精度の確保が期待される本研究の台風時最大波高資料によって置き換えている。85 年間の期間最大波高は湾外では 15 m 強から湾口の 7~8 m に小さくなる。波向は SSW から SSE をとる。湾内では湾口から知多半島に向けて 6 m 波高域が到達するとともに、5 m 波高域が湾の西側を除く大部分の海域に広がっており、湾口からみて北西側に位置する四日市沖合で 6.5 m 波高域も出現する。また、名古屋方面では 3~4 m、湾の南西岸でも 3 m にまで小さくなる。波向は SE を中心にそれぞれ S 方向および W 方向に傾く。三河湾では、波高は湾入口の 4~5 m から湾奥の 3 m に減少する。南側では 2.5 m をとる。波向は S から SW に変化する。期間最大波高はほぼ全域で T5915 号時に生起している。

つぎに、極値統計解析は 1950~2005 年 (56 年間) および 1959~2005 年 (47 年間) の年別最大波高資料に対して資料採択率 ν を 1/3 および 1/5 として行った。1950~2005 年 (56 年間) の年別最大波高資料は 1950~1958 年の 9 年間のうち 1951 年と 1957 年を除いて毎年 1 ケースの台風 (1958 年では T5817 号と T5821 号の 2 ケースの台風) に伴う最大波高資料しか含まないけれども、これらの資料は上位に位置付けられる波高をもち、また資料を欠く他の空白年 (1951 年と 1957 年の 2 年) においても上位 1/3 に分類されるほどの年別最大波高資料の生起が各種の資料からみて推測されないことから、1950~2005 年の年別最大波高資料に対して資料採択率 ν を 1/3 あるいは 1/5 とする解析は有効と考えられる。

Fig. 25 は 1950~2005 年 (56 年間) の年別最大波高資料を用いて推定した 100 年確率波高 H_{100}^{50-05} に及ぼす資料採択率 ν の影響をその相対差の % 値 $(H_{100(1/5)}^{50-05}/H_{100(1/3)}^{50-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として与える。相対差は大部分の海域で $\pm 1\%$ 以内にあることから、100 年確率波高に及ぼす資料採択率の影響は無視しうる。

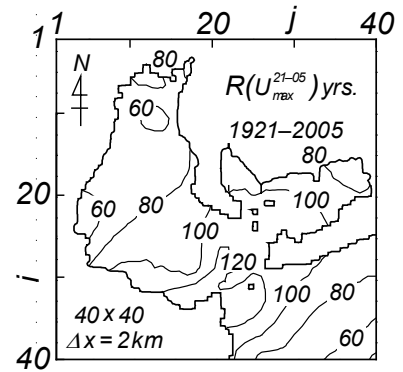


Fig. 23 Return year period $R(U_{max}^{21-05})$ of the largest wind speed U_{max}^{21-05} during the year period of 1921 - 2005 in Ise Bay.

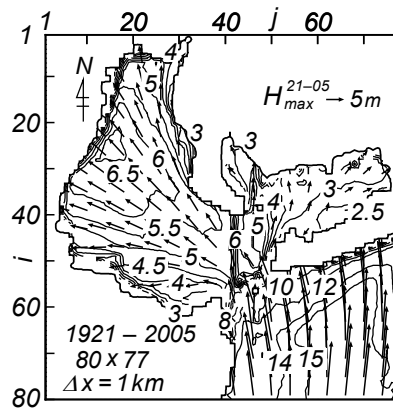


Fig. 24 Largest wave height H_{max}^{21-05} and its wave direction during the year period of 1921 - 2005 in Ise Bay.

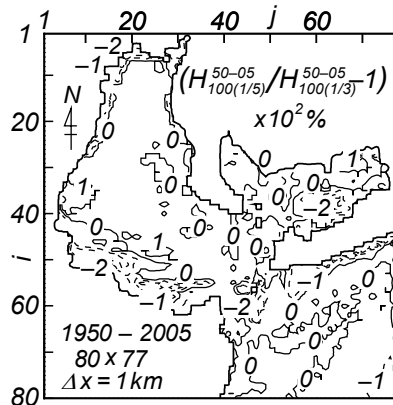


Fig. 25 Effect of data censoring ratio on the estimate of 100-year return wave height H_{100}^{50-05} in Ise Bay.

Fig. 26 は 100 年確率波高とその標準偏差に及ぼす資料期間長の影響をそれぞれ相対差の%値 $(H_{100(1/3)}^{50-05}/H_{100(1/3)}^{59-05}-1)\times 10^2$ および $(H_{\sigma 100(1/3)}^{50-05}/H_{\sigma 100(1/3)}^{59-05}-1)\times 10^2$ の空間分布として表す。1959 年 (T5915 号) の年最大波高資料がほぼ全域で両資料期間における第 1 位値を占めることから、資料期間の伸張とともに 100 年確率波高は最大 3 %程度小さくなる。100 年確率波高の標準偏差も 15~30%減少し、推定値の統計的な信頼性が向上する。

Fig. 27 は 1950~2005 年 (56 年間) の年別最大波高資料に対する解析 (資料採択率は 1/3) から得た 100 年確率波高 $H_{100(1/3)}^{50-05}$ とその変動係数の%値 $(H_{\sigma 100(1/3)}^{50-05}/H_{100(1/3)}^{50-05})\times 10^2$ の空間分布を与える。100 年確率波高は湾外の沖合で 15 m, 湾口で 7~8 m をとる。湾内では湾口から 6 m 波高域が知多半島沖に到達し, 5 m 波高域が対岸の湾西側や北西側, 北側へと広範に拡がる。北西岸沖合では 6.5 m 波高域も出現する。湾奥のうち名古屋付近では, 100 年確率波高は 3~4 m である。三河湾では 100 年確率波高は湾入口の 5 m から湾奥の 3 m にまで次第に減少する。また, 南側沿岸で 2.5 m 程度をとる。変動係数は 4~12 %と広く分布する。海域別では, 湾外や湾奥, 三河湾の西側などで 8~12 %と大きい。

Fig. 28 は上記の解析で得た最適分布を用いて求めた, 1921~2005 年(85 年間) の期間最大波高 H_{max}^{21-05} に対する再現期間 $R(H_{max}^{21-05})$ の空間分布を示す。再現期間は大略 80~120 年であるが, 湾内の南西側や湾口の一部で 40 年と小さく, 三河湾の湾奥で 200 年と相対的に大きい。

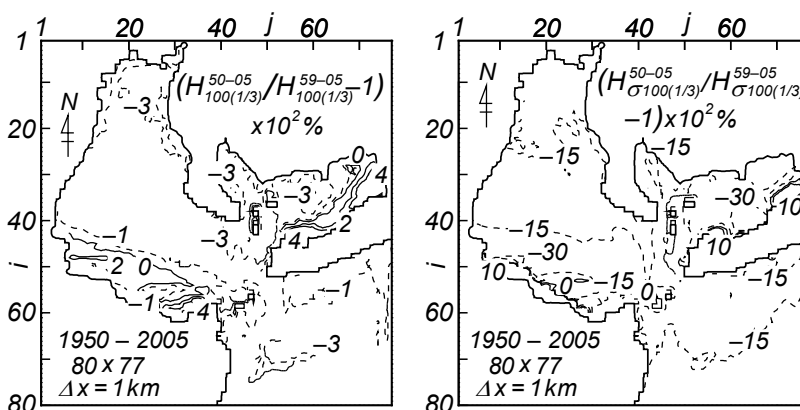


Fig. 26 Effect of data year-length on the estimates of 100-year return wave height $H_{100(1/3)}$ and its standard deviation $H_{\sigma 100(1/3)}$ in Ise Bay.

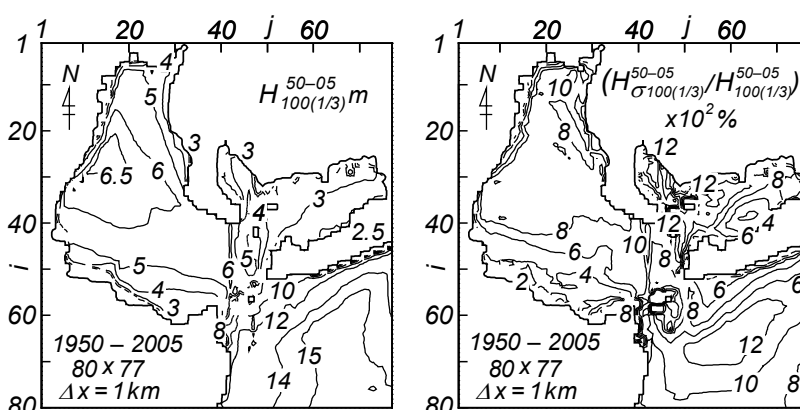


Fig. 27 100-year return wave height $H_{100(1/3)}^{50-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $H_{\sigma 100(1/3)}^{50-05}$ divided by 100-year return wave height) $(H_{\sigma 100(1/3)}^{50-05}/H_{100(1/3)}^{50-05})\times 10^2$ estimated using the annual maximum data of the year period of 1950 - 2005 in Ise Bay.

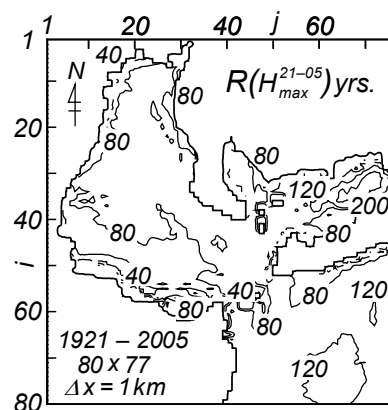


Fig. 28 Return year period $R(H_{max}^{21-05})$ of the largest wave height H_{max}^{21-05} during the year period of 1921 - 2005 in Ise Bay.

5. 結 語

伊勢湾における風速と波高の極値に関して本研究で得た知見はつぎのように要約される。

①SDP 風資料に基づいて推定した伊勢湾における 1921～1972 年の 14 ケースの台風別最大風速・風向の空間分布は各台風の経路や勢力に対応した合理的挙動を示す。同様に、SDP 風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算から得た台風別最大波高・波向の空間分布も各台風の特性を反映した特徴を与える。

②風速・波高の再現確率値に及ぼす資料採択率の影響は無視しうる。また、突出した第 1 位値をとる T5915 号（伊勢湾台風）時の最大風速・風向を含んだ年別最大値資料に対する極値統計解析の結果によれば、資料期間の延長とともに第 1 位値が更新されない限り再現確率値の標準偏差が有意な程度に減少する。また、再現確率値はやや小さくなる。

③伊勢湾における 85 年間の期間最大風速は概略 40～45 m/s であり、局所的に 45 m/s を越える。最大風速は T5313 号（テス台風）により生じた南東側を除く湾外および湾内では T5915 号（伊勢湾台風）によりもたらされており、T5915 号の影響が圧倒的である。期間最大風速の再現期間は 60～120 年で比較的短い。100 年確率風速は 40～45 m/s、その変動係数は 6～10 % を与える。

④伊勢湾における 85 年間の期間最大波高は湾外で 15 m、湾口で 7～8 m、湾内で最大 6.5 m と評価される。湾内では湾口から伊勢湾内の広い範囲で 5 m 波高域が拡がり、伊勢湾の北西岸沖合で 6 m を越える。三河湾では湾入口の 4～5 m から湾奥の 3 m に減少する。これらは主として T5915 号時に生じており、その再現期間は概略 80～120 年と推測される。100 年確率波高は期間最大波高とほぼ対応し、湾外沖合で 15 m、湾口で 7～8 m、湾内の広い範囲で 5 m、湾内側の湾口付近から知多半島にかけて 6 m、湾内北西端で 6.5 m をとる。また、三河湾では湾入口の 4～5 m から湾奥の 2.5～3 m に小さくなる。変動係数は 4～12 % と広く分布し、湾外や湾奥、三河湾の西側で大きい。

最後に、本研究で利用した貴重な関係資料を提供戴いた関係各機関に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- [1] 井島武士・伊藤昭二・青野 尚：伊勢湾台風による外海及び伊勢湾沿岸の波，第 7 回海岸工学講演会講演集，pp.149-161，1960.
- [2] 岩垣雄一・柿沼忠男：海岸波浪の予知に関する研究（第 1 報）—伊勢湾台風時における沖波の推算—，京大防災研究所年報，第 5 号 A，pp.284-295，1962.
- [3] 柴木秀之・渡辺 晃・磯部雅彦・三原正裕：浅海波浪推算モデルとその応用に関する研究，海岸工学論文集，第 42 卷，pp.341-345，1995.
- [4] 小林智尚・座沢慎一郎・安田孝志：波浪推算モデル SWAN による伊勢湾台風時波浪の再現，海岸工学論文集，第 50 卷，pp.181-185，2003.
- [5] 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所：管内設計沖波検討調査（http://www.pa.cbr.mlit.go.jp/MEIGI/br_ex_report/h_17.html），2007.
- [6] 大澤輝夫・竹山剛生・安田孝志：メソ気象モデルと台風ボーガスを用いた伊勢湾台風時の風の場のシミュレーション，海岸工学論文集，第 48 卷，pp.281-285，2001.
- [7] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.B2-65，No.1，pp.186-190，2009.
- [8] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男：SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性，

- 工学ジャーナル (愛媛大学), 第9巻, pp.1-13, 2010.
- [9] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一: 東京湾および伊勢湾における 1961~2005 年の波浪推算資料を用いた波高の極値の推定, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第11巻, 2012 (投稿予定).
- [10] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄: 1911~1972 年の 17 巨大台風時の関東沿岸海域および伊勢湾における海上風分布の再現, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.396-400, 2010.
- [11] 畑田佳男・山口正隆・大福 学・高橋秀典: 表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システムの適用性の向上, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.141-145, 2005.
- [12] 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博: 一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性, 土木学会論文集, 第381号/II-7, pp.151-160, 1987.
- [13] 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄: エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて, 第31回海岸工学講演会論文集, pp.123-127, 1984.
- [14] 山口正隆・西岡賢嗣・田中浩二: 構造物が存在する場合の不規則波に伴う海浜流の数値モデル, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.190-194, 1990.
- [15] 合田良實: [増補改訂] 港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—, 11.極値統計解析, 鹿島出版会, pp.267-326, 1990.
- [16] Yamaguchi, M. and Y. Hatada: An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp.932-946, 1997.
- [17] (財) 日本気象協会: 1940~1970 台風経路図 30 年集, 日本気象協会, 139p., 1973.
- [18] 宮崎正衛: 高潮の研究 その実例とメカニズム, 成山堂書店, 134p., 2003.
- [19] 和達清夫監修: 新版気象の事典, 気象災害年表, 東京堂出版, pp.584-616, 1989.
- [20] 黒田静夫・石綿知治: 防災工学—台風に対する海岸と港湾の防災, 山海堂, 453p., 1960.
- [21] 饒村 曜: 続・台風物語, (財) 日本気象協会, 295p., 1993.
- [22] 宮澤清治: 近・現代日本気象災害史, イカロス出版, 325p., 1999.
- [23] 力武常次・竹田 厚 (監): 日本の自然災害, 国会資料編纂会, 637p, 1999.
- [24] 本間 仁 編: 海岸防災, 第3編 海岸災害の記録および防災計画, 防災科学技術シリーズ6, 共立出版株式会社, pp.361-378, 1973.
- [25] 中央气象台: 室戸台風調査報告, 中央气象台彙報, 第9冊, 616p., 1935.
- [26] 中央气象台: 昭和28年台風第13号報告, 中央气象台彙報, 第39冊 第2号, 1955.
- [27] 岩田好一郎: 伊勢湾沿岸の高潮災害対策, 2006年度(第42回)水工学に関する夏期研修会講義集, Bコース, 土木学会水工学委員会・海岸工学委員会, B-6-1-B-6-20, 2006.
- [28] (財) 日本気象協会: 気象海象要覧 伊勢湾・三河湾, 港湾気象海象シリーズ⑬, 394p., 1996.
- [29] 気象庁予報部: 昭和33年9月18日東京附近を通過して鹿島灘に抜けた台風21号速報, 昭和39年度速報第3号, 1958.
- [30] 気象庁: 伊勢湾台風調査報告, 気象庁技術報告, 第7号, 889p., 1961.
- [31] 山元龍三郎・光田 寧: 台風域内の風の分布の推算法, 京大防災研究年報, 第5号(10周年記念号), pp.139-146, 1962.
- [32] 柴木秀之・後藤智明: 陸上地形の影響を考慮した内湾海上風の推算モデル, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.166-170, 1993.
- [33] 矢吹文太郎: 第二室戸台風時の海上気象(船舶資料による), 神戸海洋气象台彙報, Vol.170, pp.58-75, 1963.
- [34] 気象庁: 第2室戸台風調査報告, 気象庁技術報告, 第54号, 1967.

- [35] 山元竜三郎・光田 寧・宮田賢二：第二室戸台風通過時の強風分布について，京大防災研究年報，第6号，pp.113-127，1963.

瀬戸内海における1961～2005年の

ストーム時風速・波高分布の再現と極値の評価

Estimating Storm-Generated Winds and Waves and their Extremes in the Seto Inland Sea during the 1961-2005 Year Period

山口正隆*・畑田佳男**・大福 学***・野中浩一***

Masataka YAMAGUCHI*, Yoshio HATADA**,
Manabu OHFUKU*** and Hirokazu NONAKA***

The first part of this paper discusses accuracy of hindcasts of storm-generated sea surface winds and wave heights in the Seto Inland Sea by comparison with their measurement data. Time-space variations of sea surface winds were derived from the land-based measurement winds called SDP winds at the official meteorological observatories. Then using them as an input condition, shallow water wave hindcastings in 3 sub-areas of the Inland Sea were conducted for each of around 200 storms such as typhoons and depressions selected in from the 1961-2005 year period. The comparison is made using not only the time records of winds and wave heights and their maximum values during a storm but also the frequency distributions of the error indices defined for individual time record of winds or waves. Results reveal that the hindcastings yield reasonable estimates for both winds and wave heights. The second part discusses spatial distributions of the maximum wind speed and the maximum wave height during typhoons hindcasted in 15 representative cases. Each distribution reflects the typhoon characteristics such as its course and strength. The third part investigates spatial distributions of the largest wind speed and wave height in the past 45 years and the 50-year return wind speed and wave height. A rough summary of the results is that their magnitudes are strongly local area-dependent.

Key Words ; The Seto Inland Sea, typhoons and depressions, 1961-2005 year period, sea wind estimation, wave hindcasting, wind speed and wave height, extreme statistics

1. 緒 言

わが国の代表的内湾である瀬戸内海における波高極値の推定に関して、これまでに公表されたいく

*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

** 愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

***愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成23年10月5日

つかの研究事例^{[1][4]}があるけれども、数十年以上の長い期間における多くの異常ストームを対象として、瀬戸内海の周辺地形の影響を適正に評価した海上風分布を入力条件とする波浪推算に基づく研究事例はほとんどない。このなかで、山口ほか^{[5], [6]}は瀬戸内海周辺の気象官署で取得された陸上観測風資料（SDP 風資料）に種々の補正を加えて海上風分布を推定する方法を開発し、1961～2005 年の 45 年間にわたる 1 時間間隔の海上風分布資料のデータセットを作成するとともに、1980 年以降の海上部や沿岸部の観測風に対する良好な再現性を確認した。また、この海上風分布を入力条件とした高地形解像度対応の 1 点浅海モデルを用いて 45 年間 1 時間ごとの地点別長期波浪推算を行い、波浪時系列のみならず波浪統計量に対して観測資料との比較からその有意な精度を明らかにした^[7]。

本研究では 1961～2005 年の 200 ケース前後のストーム（台風、低気圧、季節風）に対して、SDP 風資料より得た海上風分布を入力条件とする波浪推算を瀬戸内海の 3 海域（西部、中部、東部）で別々に行い、1980 年以降のストーム時風速・風向と波高に対する再現性を時系列や最大値についての観測資料との比較のみならず、ストームごとに観測地点別に得た誤差指標の統計解析に基づいて詳細に検討したのち、上記の海上風分布資料および波浪推算資料から抽出した代表的な異常台風時の最大風速と最大波高の空間分布の特性を考察し、さらに風速と波高に関して 1961～2005 年 45 年間の期間最大値や 50 年再現確率値の空間分布の特性を調べる。

2. 波浪推算の概要

2.1 波浪推算の方法^[8]

海上風分布は、瀬戸内海周辺の気象官署（佐田岬と土佐沖ノ島の 2 灯台を含む）における SDP 風資料に内在する風速資料の非等質性を調整したのち、海上部・沿岸部観測地点における観測相当風を推定し、ついで空間補間法を適用して求める。格子間隔は 2 km である。非等質性の調整方法、観測相当風の推定法、空間補間の方法などの詳細は山口ほか^{[5], [6]}に述べている。SDP 風資料は、1961～1990 年では時間間隔 1 時間の直線補間値、台風 (T) 6118 号（第 2 室戸台風）、T6420 号、T6523 号等の場合には、より質の高い観測資料（1 時間間隔観測資料と 10 分単位で表示された日最大風資料）を用いて得た時間間隔 10 分の直線補間値、1991～2005 年では 1 時間間隔観測値である。

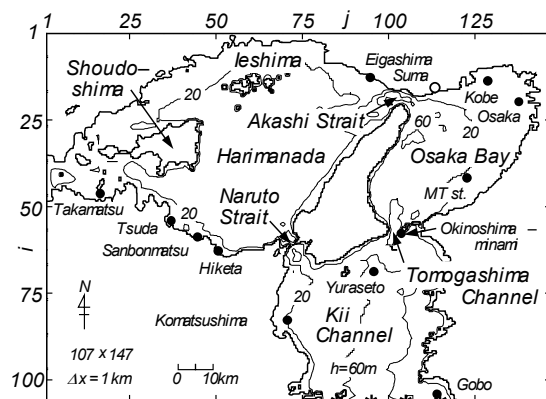
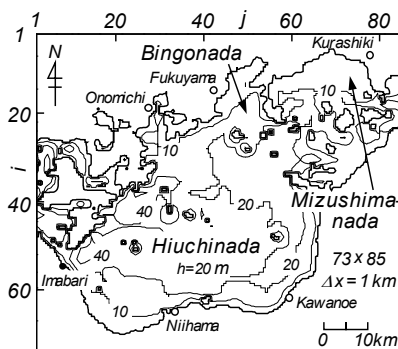
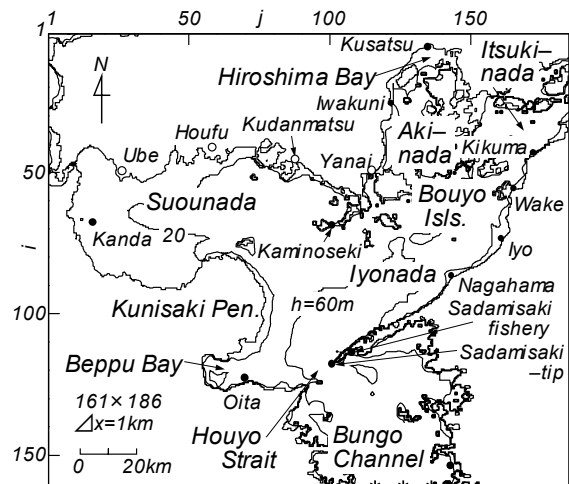


Fig. 1 Grids set on three areas of the Seto Inland Sea used in wave hindcasting and names of small sea area, bay, strait, channel, measurement station and city (upper : Western area, central : Middle area, lower : Eastern area).

Fig. 1 は瀬戸内海に設けた格子間隔 1 km の波浪推算領域と湾、海峡、島の名前および都市・地区名 (○印) や波浪観測地点 (●印) を示す。波浪推算は計算時間や対象台風の影響範囲を考慮し、瀬戸内海を西部、中部、東部の 3 海域に分けて別々に行う。波浪推算は外洋に接続する西部海域と東部海域では、各外洋境界地点 (Fig. 1 の * 印) で外洋から入射する波浪の方向スペクトルの 1 時間間隔値を流入境界条件として与えるとともに、上記の海上風条件のもとに砕波減衰を段波モデルで近似した格子点浅海モデルによって時間間隔 1 分で 2~3 日のストーム期間ごとに行う。周波数データの個数は 0.047~1Hz で不等分割した 20 個、方向データの個数は 0~360° を 20° で等分割した 19 個 (中部海域)、あるいは 10~20° で不等分割した 24 個 (西部海域) または 27 個 (東部海域) である。流入方向スペクトルの計算は、外洋では台風モデル風を組み込んだ NCEP 風資料 (1948 年以降)、あるいは台風モデル風資料 (NCEP 風資料が存在しない 1947 年以前)、内海では SDP 風資料に基づく上記の海上風分布を入力条件とする高地形解像度対応の 1 点浅海モデルによる。流入方向スペクトルは時間に関して 1 分間隔、空間に関して 1 km 間隔で、また方向データ数が 24 または 27 個の場合、相当する方向に対して線形補間する。一方、中部海域は周囲を陸地で囲まれた閉鎖海域として陸地境界での方向スペクトルの値を 0 とする。

2.2 対象ストームの選択

波浪推算対象ストームは 45 年間の地点別連続波浪推算資料^[7]を主とし、風・波浪観測資料、天気図、気象要覧などを参照して抽出した。3 海域別に抽出したストームは西部海域で 256 ケース (台風 139 ケース)、中部海域で 174 ケース (台風 80 ケース)、東部海域で 181 ケース (台風 71 ケース) である。上述のように、1961~1965 年の巨大台風である T6118 号、T6420 号、T6523 号に対しては、より高い精度が期待される 10 分間隔の海上風分布資料を用いる。Fig. 2 は 3. および 4. で取りあげる対象台風の経路を 4 枚の図に分割して示す。

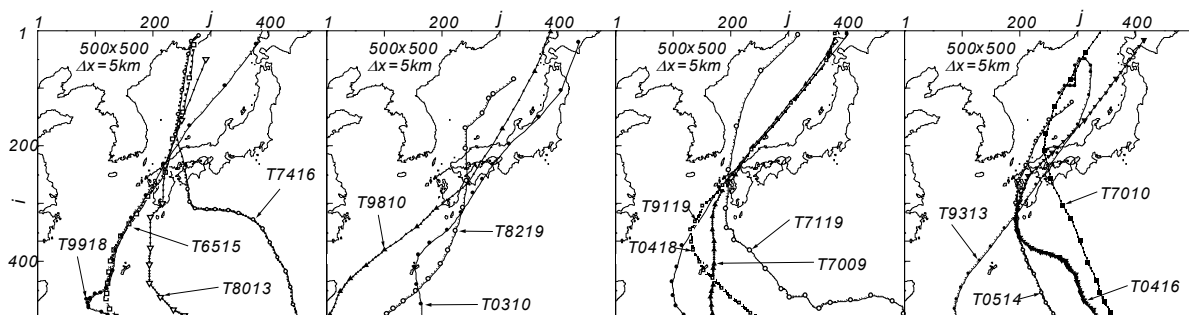


Fig. 2 Typhoon tracks used in wave hindcasting.

2.3 極値統計解析の方法

極値統計解析には、Yamaguchi・Hatada^[9]のモデルを用いる。これは候補分布を Gumbel 分布、Weibull 分布 (形状母数 $k=0.5\sim 10$ の 27 種類)、FT-II 型分布 (形状母数 $k=2.5\sim 40$ の 20 種類) の計 48 種類とし、順序統計量の非超過確率の評価を合田^[10]のプロットング公式、尺度母数と位置母数の推定を最小 2 乗法、最適分布の選択を最大相関係数基準、確率波高の分散 (平方根は標準偏差) の推定を jackknife 法による。候補分布の数を増加させるとともに、分散推定に jackknife 法を導入した点が合田^[10]のモデルと異なる。

本モデルをここでは 1961~2005 年の格子点別波高の年別最大値 (AM) 資料に対する解析に適用する。資料年数 K 、資料数 N 、資料総数 N_T を $K=N=N_T=45$ (資料採択率 $\nu=1$) とする。また、風速・波高観測資料に基づく結果との比較を行うため、各観測地点でそれぞれの観測期間に対する年別最大風

速・波高推算資料と観測資料を用いた解析 ($\nu=1$) も行う。

3. 海上風および波浪の推算精度の検証

3.1 風速・風向および波高に対する観測資料との比較

瀬戸内海西部海域においては、海上風および波浪の観測資料が苅田 (風向風速計高度 $z=11$ m, 波高計設置水深 $h=9$ m), 大分 ($z=15.8$ m, $h=14$ m), 波浪観測資料が上関 ($h=29$ m), 草津 ($h=10.5$ m), 出島 ($h=10$ m), 佐田岬漁港 ($h=15$ m) など得られている。同様に東部海域においては、海上風および波浪の観測資料が神戸 ($z=14$, $h=17$ m), 大阪 ($z=13.2$ m, $h=13$ m), MT局 ($z=17$ m, $h=21$ m), 小松島 ($z=15.4$ m, $h=22$ m), 由良瀬戸 ($z=4.5$ m, $h=65$ m) で、波浪観測資料が江井ヶ島 ($h=11$ m), 三本松 ($h=7$ m), 引田 ($h=12$ m), 沖ノ島南 ($h=36$ m), 御坊 ($h=36$ m) など取得されている。波浪観測資料のみが得られている地点でも沿岸部の風観測資料が取得されている。また中部海域では今治 ($h=26$ m) で観測資料が得られていたが、現在では波高計が撤去されている。これらの観測資料は台風などに伴う異常波浪時のピーク時付近で欠測となっていることも少なくないが、ここでは西部海域で T8013 号, T9918 号の 2 台風, 東部海域で T0310 号, 西部海域と東部海域の両海域で T9119 号, T9313 号, T0416 号, T0418 号, T0514 号の 5 台風を対象として、風向・風速時系列および波高時系列に関する推算資料と観測資料の比較事例を考察するとともに、ストーム (台風と低気圧・季節風) 期間中の風速と波高の最大値に関して全台風・全観測地点における値を西部と東部の海域別にまとめて比較する。観測風速は 1/7 乗則によって 10 m 高度風速に変換する。

Fig. 3 は上述した 8 台風の生起順に各観測地点における風 (10 m 高度風速 U_{10} , 風向 θ_w) および (有義) 波高 H_s の時系列を推算値と観測値について示す。風資料は海上風観測地点にはほぼ限定して与える。これから台風別につきのことが言える。

- ①九州を N 方向に進行した T8013 号時には、苅田における波高の推算値が観測値よりやや大きい、両者の経時変化は類似する。佐田岬漁港では風向・風速、波高ともに比較的よい対応がみられる。
- ②北九州の佐世保に上陸、福岡、下関から日本海を NE 方向に進行した T9119 号時には、西部海域の大分では推算風速がピーク付近で観測風速より大きい点を除けば、風向・風速に関して推算値と観測値の対応はよい。波高に関して西部海域にある苅田では観測資料がピーク値を欠くものの、推算値と観測値の時系列は類似し、大分と出島 (広島港) では両者はピーク値を含めてよく符合する。東部海域の江井ヶ島では推算値が観測値よりやや大きい、時間変化に対する追従性は比較的高い。
- ③延岡 (宮崎) から八幡浜 (愛媛)、福山 (広島) へと NE 方向に進行した T9313 号時には、西部海域の大分において推算波高がピーク値に至る時点までは観測波高よりやや大きい。また、東部海域の神戸や MT 局において風向・風速に対する推算値と観測値の対応は、神戸におけるピーク時付近の低めの評価を除けば、比較的よい。波高に関して MT 局における推算値が観測値より少し早い増大とやや緩やかな減少を示すものの、両地点において波高時系列に対する推算値と観測値の対応はよい。
- ④熊本県北部に上陸し、NE 方向に進行、下関を通過して日本海に抜けた T9918 号時には、西部海域の苅田で風速・風向に関して推算値と観測値の間にある程度の乖離があるが、大分ではピーク付近の多少大きめの評価を除いて、推算値と観測値はよく符合する。波高についても苅田ではピーク付近で推算値が観測値よりやや小さく大分では観測値よりやや大きいし、また、佐田岬漁港ではピーク値以降の観測値を欠くものの、推算値と観測値の全体的な対応はよい。
- ⑤室戸岬に上陸後、NE 方向に進行し淡路島を経て東日本へ近畿・中部地方を通り抜けた台風 0310 号時には、東部海域において紀伊水道奥の沖ノ島でとくに風速の増大期に推算値が観測値より大きいものの、内海・内湾の江井ヶ島、神戸、MT 局における推算風は観測風と比較的よく符合する。波高に関しては紀伊水道に位置する御坊、水道奥の沖ノ島や内海・内湾の江井ヶ島、神戸、MT 局において

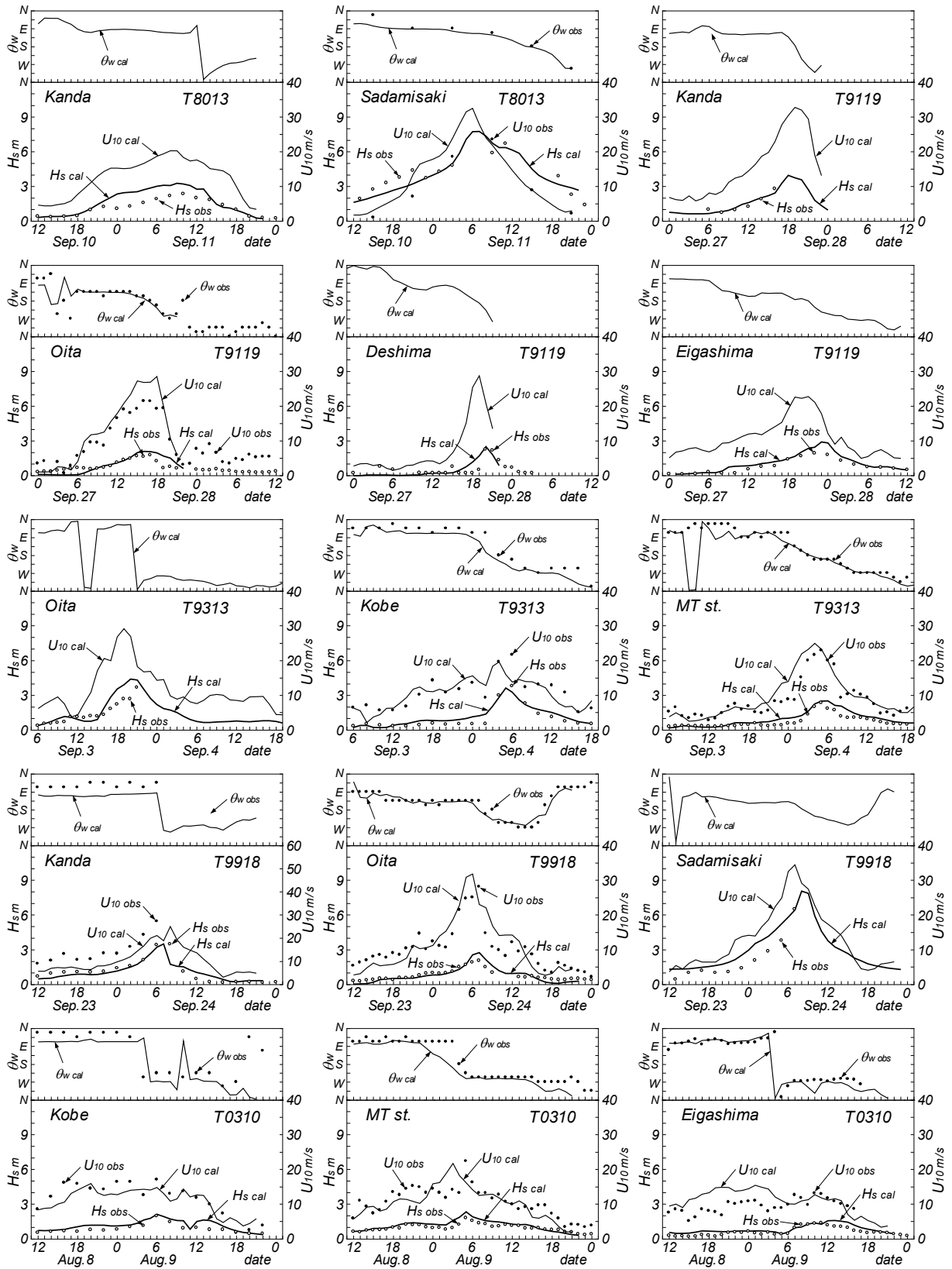


Fig. 3 Comparison between hindcast and measurement for time variations of winds and waves at measurement stations in the Seto Inland Sea (1).

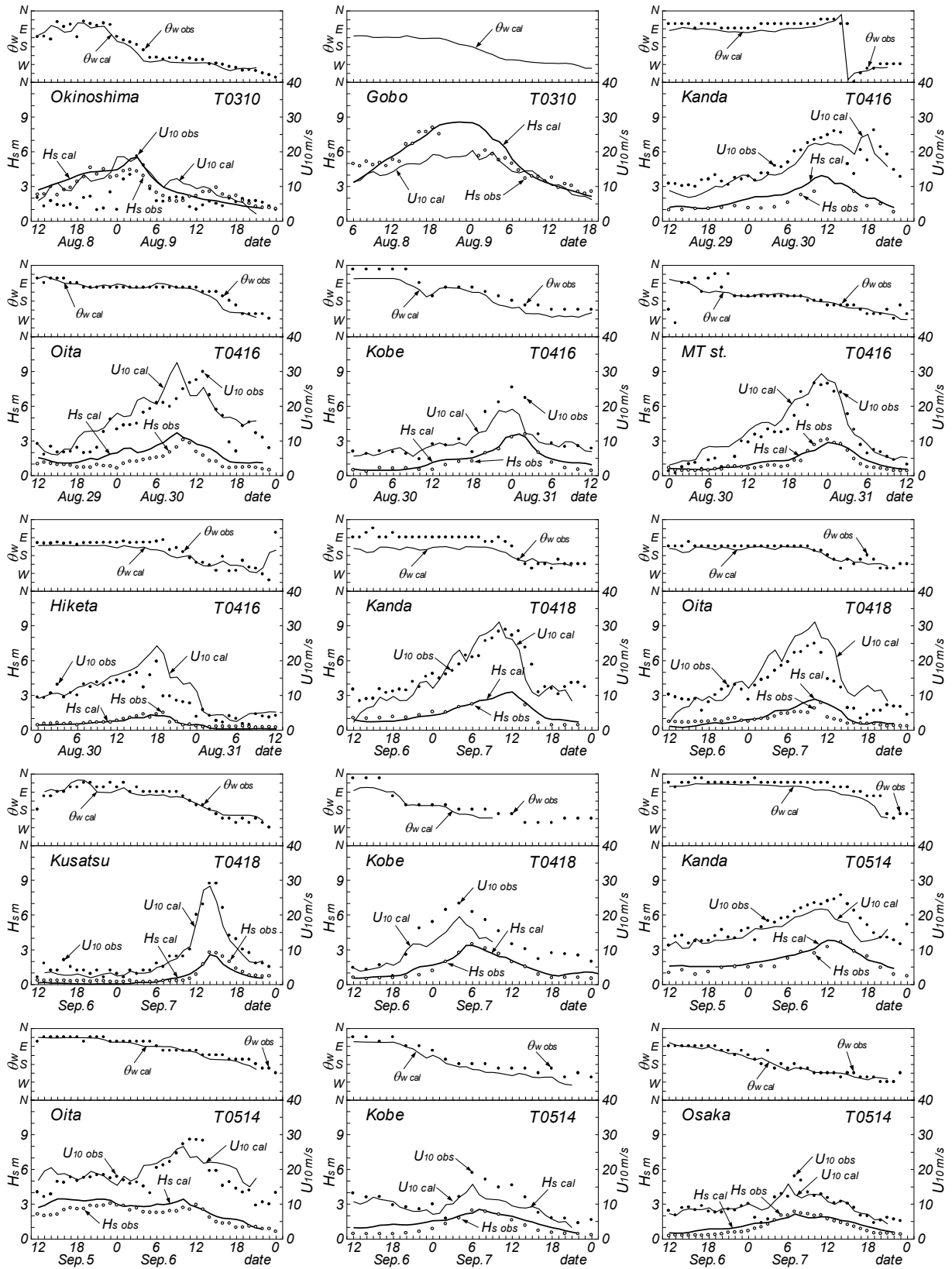


Fig. 3 Comparison between hindcast and measurement for time variations of winds and waves at measurement stations in the Seto Inland Sea (2).

推算値と観測値の一致の度合は悪くない。

⑥鹿児島県串木野付近に上陸，NNE 方向に進行して九州北部から NE 方向に周防灘を横切り日本海に抜けた台風 0416 号時には，西部海域の苅田で推算風速は観測風速よりやや小さい値を，大分で大きめの値を与えるけれども，両者の時系列の対応は悪くない。波高についても両地点において推算値が観測値より過大な値を与える傾向にある。東部海域では神戸で推算風速はピーク付近で観測風速よりやや低めの値を与えるものの，経時変化についての対応はよい。MT 局では推算値と観測値はよく符合する。波高に関して引田，神戸，MT 局における推算値はそれぞれ観測値とかなりよく符合する。

⑦九州長崎に上陸後，NE 方向に進行して下関付近を通り日本海に抜けた T0418 号時には，西部海域において推算風速が観測風速と比べて苅田で低めの値，大分で大きめの値を与える一方，草津（准海上風）では推算値と観測値の対応はよい。波高に関して苅田，大分，草津の 3 地点とも推算値と観測値はよく符合するが，大分では推算値が観測値よりやや大きい。また，苅田ではピーク付近の観測値を欠くが，ピーク前後における両者の対応はよい。東部海域では神戸で推算風速は観測風速より小さめの値を与えるけれども，波高の推算値と観測値の対応はかなり良好である。

⑧熊本県天草下島付近に上陸，NNE 方向に進路をとり，下関を通過して日本海に抜けた T0514 号時には，西部海域の苅田で推算風速は観測風速より全体的に小さめの値を与え，大分で推算風速はピーク時付近で観測風速よりやや小さい傾向にある。波高に関して推算値は苅田で観測値とよく符合する。大分では推算値は観測値よりやや大きめの値を与えるが，両者における時間変化そのものの対応は比較的よい。東部海域では，風に関して神戸と大阪いずれの地点でもピーク時付近の風速の低めの評価を除いて推算風と観測風は比較的よく符合する。波高に関して神戸と大阪の両地点で推算値と観測値の対応は多少の隔たりを除けば，かなりよいと言える。

以上に示したように，8 台風時の複数地点における合計 30 ケースの波高に関する比較事例は，個々には推算値と観測値が乖離を示すケースがある程度認められるけれども，全体的には推算値と観測値の対応が比較的良いであることを表す。これは波高の場合ほどでないけれども，風についてもある程度言える。

つぎに，Fig. 4 は観測資料が得られた全対象ストーム（台風のみならず低気圧や季節風）時の全海上観測地点における最大風速 U_{max} について推算値と観測値の比較を西部海域と東部海域で別々に示す。図中には，推算値と観測値の相関係数 $\rho(U_{max})$ および原点を通る相関直線の勾配値 $a_0(U_{max})$ を与える。各データ点は 45° 直線のまわりに多少ばらつきを伴って集まり，その特徴が相関係数 $\rho(U_{max})=0.75$ （西部海域）， 0.82 （東部海域）で代表される。また，西部海域では勾配値 $a_0(U_{max})=1.07$ が示唆するように，推算値が観測値より若干大きい傾向にある。しかし，全体的には両海域において推算値と観測値は比較的よく符合すると言えよう。

Fig. 5 は観測資料が得られた全対象ストーム時の全観測地点における最大波高 H_{max} について推算値と観測値の比較を西部海域と東部海域の別に示す。図には相関係数 $\rho(H_{max})$ と勾配値 $a_0(H_{max})$ を与える。

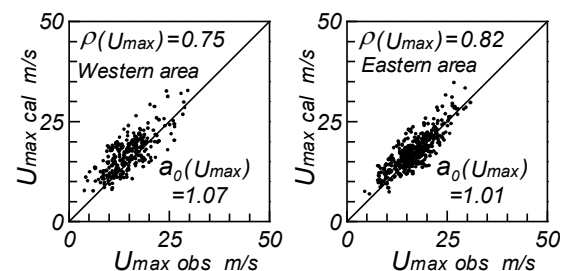


Fig. 4 Comparison between hindcast and measurement for maximum wind speed during a storm at measurement stations in Western and Eastern areas of the Seto Inland Sea.

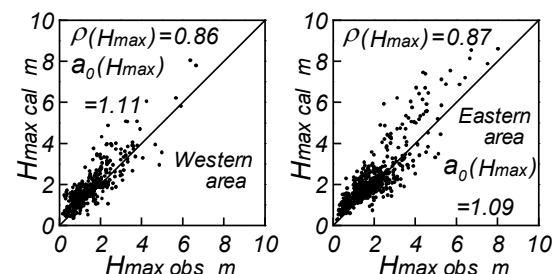


Fig. 5 Comparison between hindcast and measurement for maximum wave height during a storm at measurement stations in Western and Eastern areas of the Seto Inland Sea.

両海域における個々の資料は 45° 直線のまわりに集まり、相関係数の値もかなり大きいことから、推算値と観測値の対応はある程度以上に良好とみなされる。しかし、東部海域では高波高資料について推算値が観測値より大きい傾向を示す。こうした結果は両海域において 1.1 前後をとる勾配値によって代表される。

上述した比較結果を総括すると、風向・風速と波高の時系列および最大値に関する推算値と観測値の比較的良好な対応は本研究における海上風推算および波浪推算の信頼性をおおむね担保すると言える。ただし、東部海域においては外洋波浪の影響を受けた高波高で推算値がやや過大評価傾向にあるのは否めない。

3.2 誤差指標による風速・風向および波高の推算精度の検討

Fig. 6 は Fig. 3 に例示した台風 0416 号時の MT 局における風速・風向時系列について 10 m 高度観測風速 4 m/s 以上の期間（この間の平均風速 \bar{U}_{10obs} ）の推定値と観測値の散布図、および波高時系列について観測波高 0.3 m 以上の期間（この間の平均波高 \bar{H}_{sobs} ）の推定値と観測値の散布図をそれぞれ与える。図中には、風速・風向・波高の各資料について相関係数 ρ_U , ρ_θ , ρ_H , 散布図において原点を通る直線の勾配値 a_{0U} , $a_{0\theta}$, a_{0H} , 2乗平均平方根誤差 σ_U (m/s), σ_θ ($^\circ$), σ_H (m) をそれぞれ平均風速 \bar{U}_{10obs} , 100° , 平均波高 \bar{H}_{sobs} で無次元化した値 $\tilde{\sigma}_U (= \sigma_U / \bar{U}_{10obs})$, $\tilde{\sigma}_\theta (= \sigma_\theta / 10^2)$, $\tilde{\sigma}_H (= \sigma_H / \bar{H}_{sobs})$ を与える。また、最大値に対して台風（ストーム）期間中の観測最大風速 U_{maxobs} , 最大波高 H_{maxobs} で無次元化した最大風速 $\tilde{U}_{max} (= U_{maxcal} / U_{maxobs})$, 最大波高 $\tilde{H}_{max} (= H_{maxcal} / H_{maxobs})$ を用いる。以上の誤差指標は風速資料に対して ρ_U , a_{0U} , $\tilde{\sigma}_U$, \tilde{U}_{max} の 4 種類、風向資料に対して ρ_θ , $a_{0\theta}$, $\tilde{\sigma}_\theta$ の 3 種類、波高資料に対して ρ_H , a_{0H} , $\tilde{\sigma}_H$, \tilde{H}_{max} の 4 種類である。因みに、本事例の波高資料は $\rho_H = 0.95$, $a_{0H} = 1.05$, $\tilde{\sigma}_H = \sigma_H / \bar{H}_{sobs} = 0.29 \text{ m} / 0.91 \text{ m} \approx 0.32$, $\tilde{H}_{max} = H_{maxcal} / H_{maxobs} = 2.86 \text{ m} / 3.06 \text{ m} \approx 0.93$ を与える。

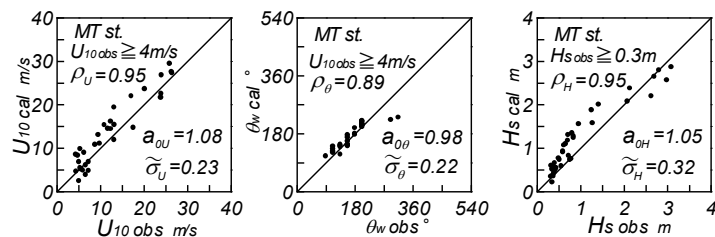


Fig. 6 Scatter diagrams between calculated and measured values for wind speed, wind direction and wave height.

誤差指標の統計解析に使用するストーム（台風・低気圧）は、風資料については 10 m 高度観測風速 4 m/s 以上の期間の平均風速が 8 m/s 以上でこの期間の最大風速が 12 m/s を越え、しかもこの期間の風向の変動範囲が 5 方位 (90°) 以上を与えるケースとする。波高資料については波高 0.3 m 以上の期間の平均波高が 0.6 m 以上で最大波高が 0.9 m を上まわるケースを選択する。外洋の波浪が入射する紀伊水道内の御坊、小松島、由良瀬戸、沖ノ島南や豊後水道北端の佐田岬漁港では、それぞれの値を 0.5 m, 1 m, 1.5 m とする。これらの制約条件の適用はあまり精度が期待されない低風速・低波高時資料を対象外とするためである。とくに、風向に対する条件は大きい相関係数 (0.9 以上) のケースに限定することを目的とする。風向変化が小さい場合にも推定風向と観測風向の対応は良好であるが、散布図上では狭い範囲に資料点が集中して小さい相関係数を生じるケースが多く、これが多数ケースの誤差指標に対する統計解析において相関係数の平均値の著しい低下と標準偏差の増大をもたらすので、上記の制約条件を課している。

海上の風観測地点は西部海域では苅田、大分のほか御荘（マリノフォーラム 21）の 3 地点、東部海域では小松島、由良瀬戸、MT 局、大阪、神戸の 5 地点である。沿岸の風観測地点は灯台、発電所の煙突、港や海岸部の観測所、橋梁などであり、その数はかなり多い。波浪観測地点は西部海域では苅田、大分、上関、草津・出島、佐田岬漁港の 5 地点と中部海域の今治（西部海域に含める）の合計 6

地点), 東部海域では紀伊水道内の御坊, 小松島, 由良瀬戸, 沖ノ島南の4地点, 内海において大阪湾内のMT局, 大阪, 神戸の3地点, 播磨灘内の江井ヶ島, 三本松, 引田, 高松の4地点の合計11地点である。

Fig. 7 は瀬戸内海西部海域の3海上観測地点(大分, 苅田, 御荘)における風速と風向に対する7種類の誤差指標をそれぞれ頻度分布として表す。全ケース数は67である。図中には, 各指標の平均値 m と標準偏差 σ , および出現率 γ を与える。出現率 γ は波高に関するものを含めて各誤差指標について指定値以上 ($\rho_U > 0.75$, $\rho_\theta > 0.95$, $\rho_H > 0.80$), または以下 ($\tilde{\sigma}_U < 0.30$, $\tilde{\sigma}_\theta < 0.25$, $\tilde{\sigma}_H < 0.40$), あるいは指定値の範囲内 ($a_{0U} = 0.9 \sim 1.1$, $a_{0\theta} = 0.9 \sim 1.1$, $a_{0H} = 0.80 \sim 1.20$, $\tilde{U}_{max} = 0.85 \sim 1.15$, $\tilde{H}_{max} = 0.80 \sim 1.20$) のケース数の, 全ケース数に対する割合で代表させる。図中の実線は平均値 m , 点線はこれに標準偏差 σ を加・減した $m \pm \sigma$ を表す。風速に関して相関係数 ρ_U は0.5以上をとり比較的幅広く分布するが, a_{0U} は0.7~1.4の範囲で0.8~1.2の間に, $\tilde{\sigma}_U$ は0.6以上で0.2~0.4の間に集中する。 \tilde{U}_{max} は0.7~1.5の範囲で0.9~1.3の間に比較的集まる。風向に関しては, ρ_θ は0.9以上に, $a_{0\theta}$ は0.9~1.1の間に, $\tilde{\sigma}_\theta$ は0.1~0.4の間に主に分布する。これらの特性は風速・風向資料について推定値と観測値が比較的よく対応するが, 風速に関しては両者の間のある程度のばらつきと, 最大風速に対する10%程度の過大評価の傾向を示唆する。

同様に, Fig. 8 は東部海域の5海上観測地点(小松島, 由良瀬戸, MT局, 大阪, 神戸)における結果を示す。全ケース数は253と, 西部海域のそれの約4倍に達する。風速に関して ρ_U は0.5以上で0.80~0.95の間に, a_{0U} は0.6~1.4の範囲で0.8~1.1の間に, $\tilde{\sigma}_U$ は0.5以下で0.1~0.4の間に比較的集中し, \tilde{U}_{max} も0.6~1.4で0.8~1.2の間に多く集まることから, 推定風速と観測風速の対応は最大風速を含めてかなりよい。風向に関して ρ_θ は0.6以上で0.9~1の間に, $a_{0\theta}$ は0.7~1.3の範囲で0.9~1.1の間に, $\tilde{\sigma}_\theta$ は0.6以下で0.1~0.4の間にほぼ集まることから, 推定風向と観測風向の対応もかなり良好と言える。

Table 1 は海上地点および沿岸地点における風速・風向に対する各誤差指標の平均値と標準偏差および出現率の一覧を与える。これによると, 西部海域における海上風の結果(West. sea)では東部海域における海上風の結果(East. sea)に比べて相関係数 ρ_U , ρ_θ および各誤差指標の出現率 γ がより小さく, \tilde{U}_{max} は観測値より10%以上上まわり, しかも誤差指標の標準偏差もより大きいことから, 西部海域における海上風の推定精度が東部海域におけるものより低い傾向が指摘される。

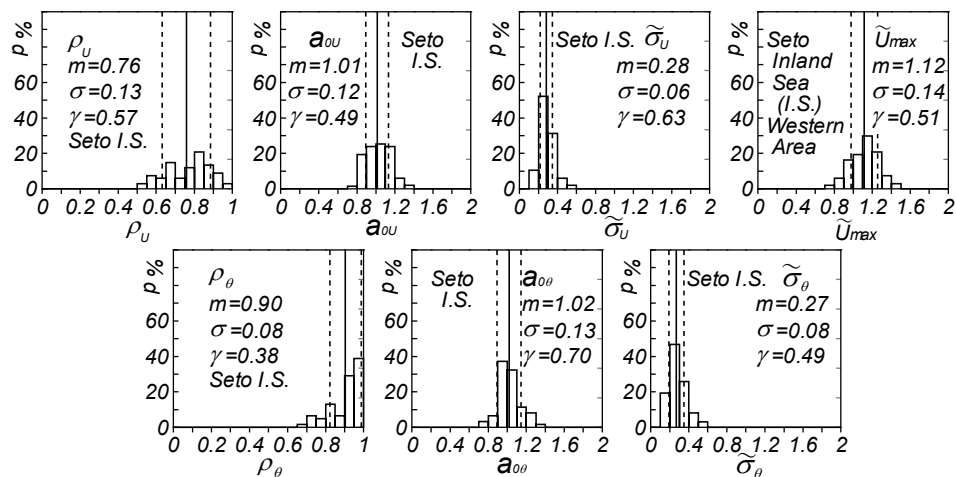


Fig. 7 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at sea stations in Western area of the Seto Inland Sea.

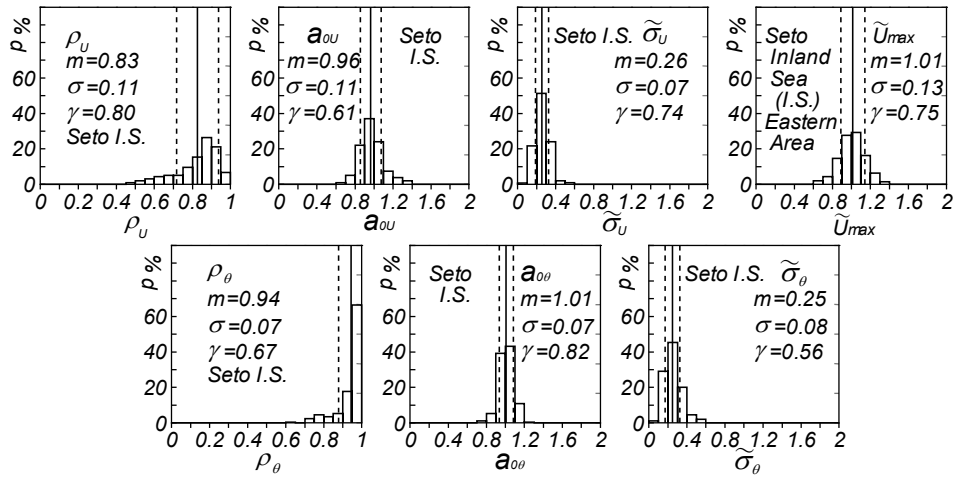


Fig. 8 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at sea stations in Eastern area of the Seto Inland Sea.

Table 1 Mean, standard deviation and range-limited occurrence rate for each of winds-related 7 error indices at sea and coastal stations(stns.) in Western, Middle, Eastern areas of the Seto Inland Sea (I.S.) .

Seto I.S.	stns.	N	$\rho_U \times 10^2$			$a_{0U} \times 10^2$			$\tilde{\sigma}_U \times 10^2$			$\tilde{U}_{max} \times 10^2$		
			m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ
West.	sea	67	76	13	57	101	12	49	28	6	63	112	14	51
	coast	358	70	13	38	97	11	62	31	7	43	102	14	68
Middle	coast	278	74	12	51	97	10	65	26	6	74	103	15	66
East.	sea	253	83	11	80	96	11	61	26	7	74	101	13	75
	coast	215	76	12	56	97	12	56	29	6	54	106	15	60
condition			$\gamma(>75)$			$\gamma(90\sim 110)$			$\gamma(<30)$			$\gamma(85\sim 115)$		
Seto I.S.	stns.	N	$\rho_\theta \times 10^2$			$a_{0\theta} \times 10^2$			$\tilde{\sigma}_\theta \times 10^2$					
			m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ			
West.	sea	67	90	8	38	102	13	70	27	8	49			
	coast	358	95	4	56	99	7	87	28	7	40			
Middle	coast	278	95	5	71	98	7	84	24	6	61			
East.	sea	253	94	7	67	101	7	82	25	8	56			
	coast	215	96	4	71	99	5	93	21	6	76			
condition			$\gamma(>95)$			$\gamma(90\sim 110)$			$\gamma(<25)$					

ついで、Fig. 9 は西部海域の 14 沿岸観測地点における結果 (ケース数 358), Fig. 10 は中部海域の 12 沿岸観測地点における結果 (ケース数 278), Fig. 11 は東部海域の 10 沿岸観測地点における結果 (ケース数 215) を表す。対象地点数はいずれの海域でもかなり多い、因みに、西部海域の沿岸観測地点は松山 (空), 松山港和気海岸, 九町越, 佐賀関, 安芸灘 (橋), 岩国 (発), 水防中津 (港), 大分 (空), 宇部 (空), 下松 (発), 柳井 (発), 豊後高田, 八島 (灯), 周防野島 (灯) の計 14 地点である。ここに ‘発’ は発電所, ‘灯’ は灯台, ‘橋’ は通称 ‘大橋’, ‘空’ は空港を意味する。中部海域の沿岸観測地点は六島 (灯), 坂出 (発), 下津井 (レーダー), 水島 (発), 福山 (信号所), 新居浜 (港), 百

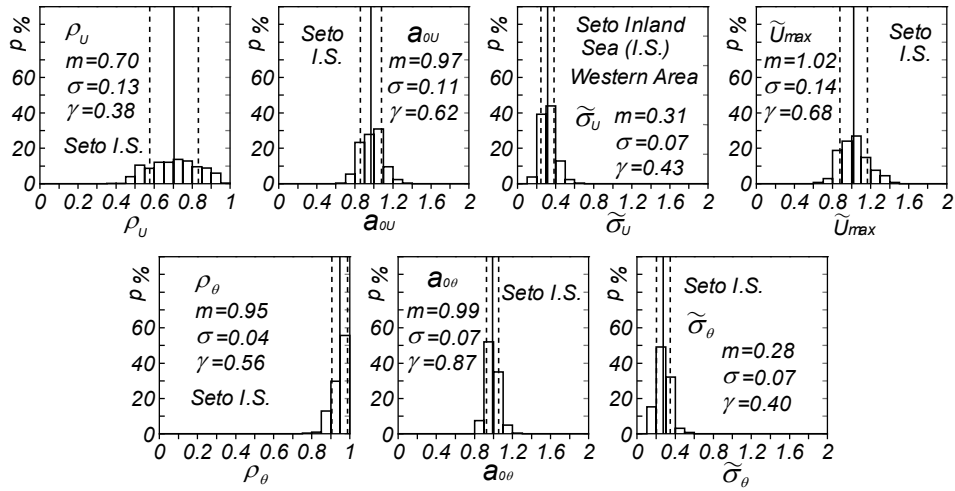


Fig. 9 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at coastal stations in Western area of the Seto Inland Sea.

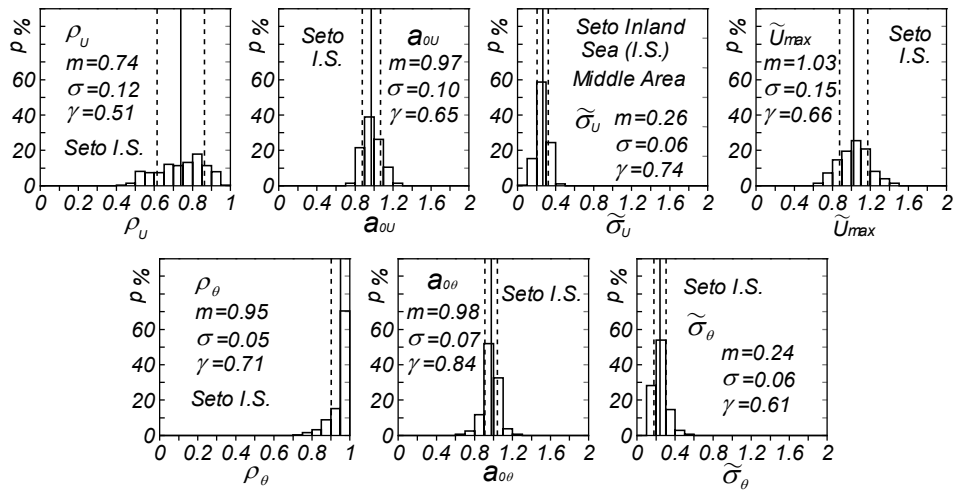


Fig. 10 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at coastal stations in Middle area of the Seto Inland Sea.

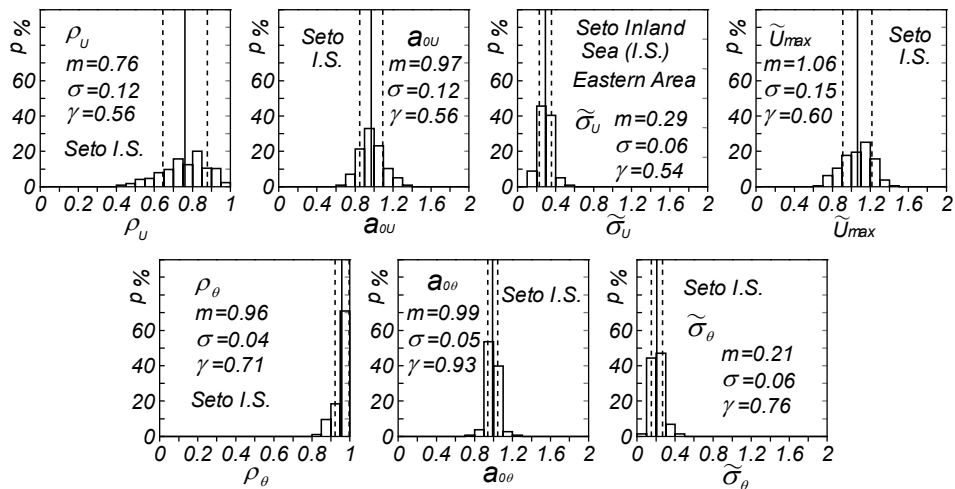


Fig. 11 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at coastal stations in Eastern area of the Seto Inland Sea.

貫島 (灯), 多々羅 (橋), 高井神島 (灯), 大久野島 (灯), 今治 (港), 西条 (発) の計 12 地点, 東部海域の沿岸観測地点は阿南 (発), 孫崎 (灯), 沖ノ島南, 志筑 (港), 明石海峡 (橋), 江井ヶ島, 飾磨 (港), 地蔵崎 (灯), 引田 (港), 高松 (港) の 10 地点である。

これらによると, 沿岸地点における風速・風向に対する推定精度も海上地点の場合と同様に全海域でかなり良好である。海域別にみると, 西部海域における沿岸風の精度は中部海域および東部海域における沿岸風の精度よりやや低い。すなわち誤差指標でみれば, 風速に関して西部海域で得られた相関係数 ρ_U と $\rho_U > 0.75$ の出現率 γ は相対的に小さいし, $\tilde{\sigma}_U$ は大きく, $\tilde{\sigma}_U < 0.30$ の γ も小さい。風向に対して $\rho_\theta > 0.95$ の出現率 γ は小さい。また, 沿岸地点における風速の推定精度は海上地点における風速の推定精度より全般的にやや低いことが各誤差指標の頻度分布図やその平均値と標準偏差および出現率の比較からうかがえる。ただし, 西部海域では海上地点の最大風速は過大評価傾向にある。一方, 風向に関しては沿岸地点における推定精度が海上地点における推定精度を上まわり, とくに西部海域でその傾向が明らかである。なお, 上述したように Table 1 に西部海域の沿岸地点 (West. coast), 中部海域の沿岸地点 (Middle coast) および東部海域の沿岸地点 (East. coast) における各誤差指標の平均値, 標準偏差, 出現率の一覧を与えており, これらからも上記の特徴が言える。

Fig. 12 は瀬戸内海西部海域の全 5 波浪観測地点 (苅田, 大分, 上関, 佐田岬漁港に加えて, 中部海域の今治) における 4 種類の波高誤差指標の頻度分布 (ケース数 112) を示す。図中には, 平均値 m , 標準偏差 σ , 範囲を限定した出現率 γ と, m および $m \pm \sigma$ を表す線 (実線と点線) を与える。相関係数 ρ_H はある程度幅広く分布 ($m=0.78$, $\sigma=0.12$) し, 2 乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_H$ も必ずしも小さくない。また, 勾配値 a_{0H} および最大波高 \tilde{H}_{max} はそれぞれ 7% および 9% 大きい。4 種類の誤差指標の各平均値と標準偏差および出現率は, 全般的に推算波高と観測波高の対応が悪くはないものの, 必ずしもよいとも言えない状況, および推算波高が観測波高より若干大きい傾向を示唆する。

Fig. 13 は瀬戸内海東部海域の全 11 波浪観測地点 (外洋からの入射波浪を受ける紀伊水道内の御坊, 小松島, 由良瀬戸, 沖ノ島南の 4 地点, 内海にあたる大阪湾内の MT 局, 大阪, 神戸の 3 地点と播磨灘内の江井ヶ島, 引田, 三本松, 高松の 4 地点) における各波高誤差指標の頻度分布 (ケース数 258)

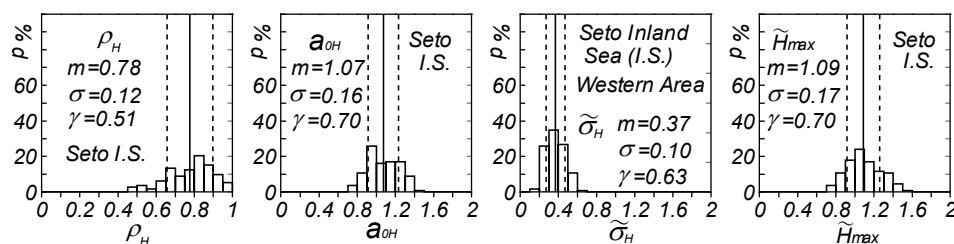


Fig. 12 Histograms of 4 error indices for wave heights at measurement stations in Western area of the Seto Inland Sea.

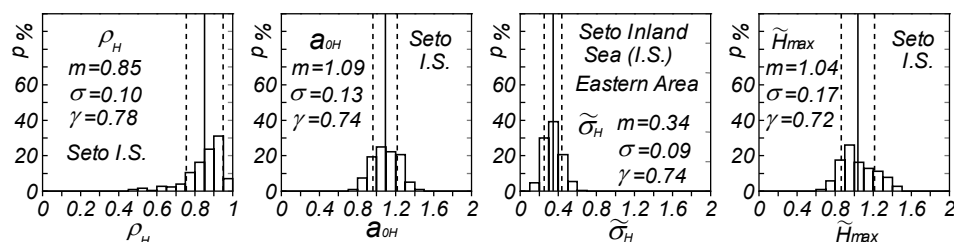


Fig. 13 Histograms of 4 error indices for wave heights at measurement stations in Eastern area of the Seto

を示す。勾配値 a_{0H} の平均値 1.09 が表すように推算波高が観測波高より平均的に 9 % 大きいものの、相関係数 ρ_H はかなり 1 に近く、2 乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_H$ も 0.4 以下で多数を占める。各出現率 γ も 0.7 を越える。また、最大波高に関して推算値が観測値より 4 % 大きい程度である。これらの指標値の特徴から、東部海域においても西部海域と同様に推算波高は観測波高を上まわる傾向にあるものの、両者の対応は西部海域の結果より良好であり、最大波高に対する平均的な再現性も悪くないと推測される。Table 2 は各波高誤差指標の統計量の一覧を西部海域と東部海域についてまとめて与える。

なお、 $\rho_\theta > 0.7$, $a_{0\theta} = 0.8 \sim 1.2$ かつ $\tilde{\sigma}_\theta < 0.35$ の条件のもとで $\rho_U > 0.7$, $a_{0U} = 0.8 \sim 1.2$, $\tilde{\sigma}_U < 0.35$, $\tilde{U}_{max} = 0.75 \sim 1.25$ の各条件を同時に満たすケース数の割合は瀬戸内海全域の海上風で 70 % および沿岸風で 44 %, 小海域別の沿岸風について西部海域で 34 %, 中部海域で 53 %, 東部海域で 51 % であるから、全体としては海上風の推定精度が沿岸風の精度よりやや高いことや、沿岸風について東部海域と中部海域における精度が相対的に西部海域における精度を上まわることが示唆される。また、波高に関して $\rho_H > 0.75$, $a_{0H} = 0.7 \sim 1.3$, $\tilde{\sigma}_H < 0.5$, $\tilde{H}_{max} = 0.6 \sim 1.4$ の各条件を同時に満たすケース数の割合は西部海域で 47 %, 東部海域で 80 % であることから、東部海域における波高の推定精度が平均的にみて西部海域におけるものを有意な程度に上まわると言えよう。

Table 2 Mean, standard deviation and range-limited occurrence rate for each of wave heights-related 4 error indices at sea and coastal stations in Western, Middle, Eastern areas of the Seto Inland Sea (I.S.) .

Seto I.S.	N	$\rho_H \times 10^2$			$a_{0H} \times 10^2$			$\tilde{\sigma}_H \times 10^2$			$\tilde{H}_{max} \times 10^2$		
		m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ
West.	112	78	12	51	107	16	70	37	10	63	109	17	70
East.	258	85	10	78	109	13	74	34	9	74	104	17	72
condition		$\gamma (> 80)$			$\gamma (80 \sim 120)$			$\gamma (< 40)$			$\gamma (80 \sim 120)$		

4. 代表台風時の最大風速と最大波高の空間分布

4.1 代表台風の抽出

ここでは 3. で風速・風向と波高の時系列に対して観測値との比較を行った台風などを中心に、台風の経路や勢力を考慮に入れて対象台風を選択した。Table 3 は対象台風の海域別一覧を示す。以下では各台風について経路、(10 m 高度) 最大風速 U_{max} と風向の空間分布、最大 (有義) 波高 H_{max} と波向の空間分布を与える。経路図には、台風特性として日時、中心の緯度、中心気圧 p_c および台風半径 r_0 を含む。各図は同じ型式の図から構成されるので、本文における図の説明を省略する。図は最初に 3 海域について別々の台風時の結果、ついで 3 海域同じ台風時の結果を掲載する。

Table 3 Name of representative typhoons with day period where wave hindcastings were conducted.

typ. name	period m/d-m/d	typ. name	period m/d-m/d
T6515 ^a	8/5-8/6	T9313 [*]	9/3-9/4
T7009 [*]	8/14-8/15	T9810 ^c	10/16-10/18
T7010 [*]	8/20-8/22	T9918 ^a	9/23-9/24
T7119 [*]	8/4-8/5	T0310 ^c	8/8-8/9
T7416 ^b	8/31-9/1	T0416 [*]	8/29-8/30
T8013 ^a	9/10-9/11	T0418 [*]	9/6-9/7
T8219 ^b	9/24-9/25	T0514 [*]	9/4-9/6
T9119 [*]	9/26-9/27		

a : Western area, b : Middle area, c : Eastern area
* : Whole area (a, b, c)

4.2 海域別台風時最大風速と最大波高の空間分布

(1) T6515号 (Fig. 14)

1) 台風特性と被災状況^{[11]-[13]}

本台風は1965年(昭和40年)7月24日北緯7°付近で発生、WNW方向に進行後、25日9時頃北緯22°のフィリピン東方海上で進路をNNW方向に変え、8月4日9時沖縄本島南端のすぐ南西側に達した(中心気圧965 hPa)。その後、NNE方向に進み、5日4時頃奄美大島南方海域(中心気圧950 hPa)を経て6日4時頃熊本県牛深付近に上陸、6日9時周防灘(中心気圧960 hPa)を経て日本海に達した。最低観測気圧は大分で976.5 hPa、下関で976.7 hPa、防府で973.9 hPa、広島で984.3 hPaと、瀬戸内海周辺海域の観測地点においてもかなり低い。台風に伴う大雨と強風によって九州や中国地方で大きな被害が出た。死者28名、家屋被害8,400棟、浸水被害5,700棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布(西部海域)

台風の経路に対応して、風向は豊後水道でSからSE、伊予灘西部のSEから周防灘でE方向に変化し、伊予灘東部から安芸灘・広島湾でSをとる。風速は20~30 m/sを与え、佐田岬周辺の海域、周防灘西部や安芸灘北部・広島湾で25 m/sを上まわる。

3) 最大波高・波向の空間分布(西部海域)

豊後水道境界で5 mの波高が豊予海峡に向けて6 mに増加する。波向はSからSSEにやや傾く。内海では波高は豊予海峡付近の6 mから対岸の山口県下松付近で4 mに減少する。4 m波高域は周防灘西部にも広がる。別府湾では波高は2 mに減じる。伊予灘では波高は東部で2 mへと小さくなるが、安芸灘の北部では3 mに達する。斎灘では1~2 mをとる。台風の経路を反映して、波高は豊予海峡から周防灘で相対的に大きい。

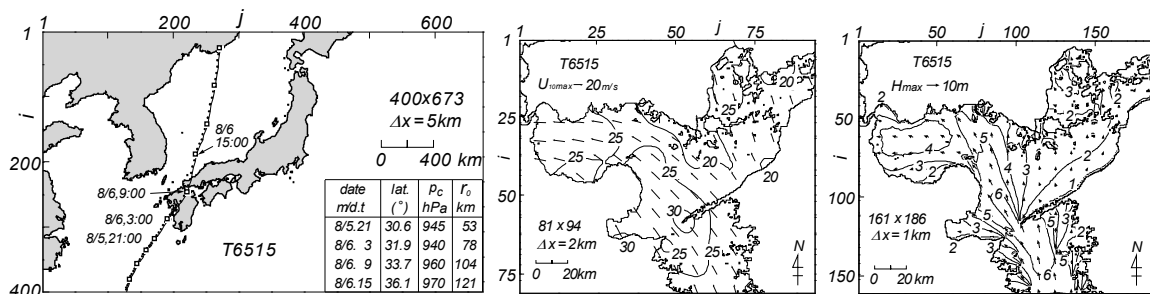


Fig. 14 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in western area of the Seto Inland Sea generated by T6515.

(2) T8013号 (Fig. 15)

1) 台風特性と被災状況

1980年(昭和55年)9月7日9時マリアナ諸島西方海上で台風が発達、WNW方向、ついでNW方向に進路をとり、8~9日に沖縄本島付近に向けて進行し、10日9時沖縄本島南東海上に達したのち、N方向に進んで11日8時頃大隅半島に上陸(中心気圧962 hPa)、15時過ぎ山口県西部から日本海に抜けた。最低観測気圧は延岡で973.4 hPa、大分で971.0 hPa、下関で974.3 hPa、松山で979.5 hPa、広島で978.8 hPaであるから、かなり低い。四国東部や九州東部で大雨による被害が発生した。死者8名、家屋被害13棟、浸水被害4,000棟となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布(西部海域)

風向はT6515号時と類似し、豊後水道から豊予海峡、伊予灘西部、周防灘にかけてSSEからSEに

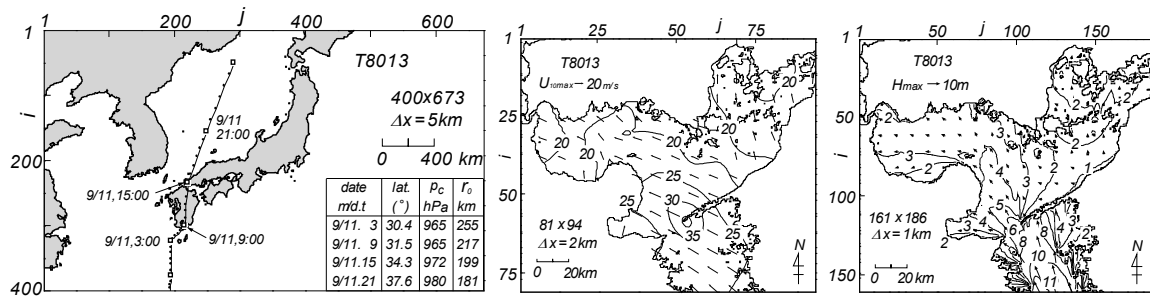


Fig. 15 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in western area of the Seto Inland Sea generated by T8013.

変化する。伊予灘東部から安芸灘・広島湾ではS方向である。風速は佐田岬先端の30 m/s域を中心に25 m/s域が伊予灘西部と豊後水道に拡がり、他の海域では20 m/sをとる。豊予海峡における風速が相対的に大きい。

3) 最大波高・波向の空間分布（西部海域）

波高は境界付近で11 mとかなり大きく、豊予海峡付近でも8 m波高域が延びている。波向はSEである。しかし内海では、4m波高域が国東半島の北側に伸びるだけで山口県沿岸に達せず、3 m波高域が周防灘西部奥まで広範に拡がる。伊予灘東部や安芸灘・広島湾では波高はせいぜい2 mである。要するに、豊後水道の高波高に比べて、内海では波高はあまり大きくない。

(3) T9918号 (Fig. 16)

1) 台風特性と被災状況

1999年（平成11年）9月19日9時に沖縄の南方海上で低気圧より台風が発達後、NW方向に進行して20～21日に進路をNNE方向に変え、22日9時に沖縄本島の南西海上（中心気圧935hPa）から23日9時に北方海上（中心気圧930hPa）で非常に強い勢力になった。その後もNNE方向への進行を続けて24日6時頃熊本県北部に上陸（中心気圧950 hPa）、9時頃山口県宇部付近に再上陸して日本海に抜けた。瀬戸内海周辺の最低観測気圧は大分で974.7 hPa、日田で958.6 hPa、下関で962.6 hPa、山口で967.3 hPa、広島で979.1 hPaとかなり低い。台風時の大雨に伴う洪水・崖崩れによる被害が中部地方以西で続出するとともに、九州北部や山口県沿岸で顕著な高潮により熊本県不知火町の12名の死者を含む大きな被害が生じた。死者は31名、家屋被害4,000棟、浸水被害14,700棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布（西部海域）

風向は豊後水道境界から豊予海峡でSからSSE、伊予灘西部から周防灘東部と西部にかけてSEに変化するが、周防灘西部の北側ではWNWからENEとほぼ180°異なる。伊予灘東部から安芸灘・広島湾でSを示す。風速は佐田岬先端から別府湾にかけての35 m/s域を中心に豊後水道の境界で20 m/sに減じ、内海では伊予灘中部から周防灘、および伊予灘東部から安芸灘・広島湾で25～30 m/sをとる。伊予灘中部や斎灘は20～25 m/s域に入る。

3) 最大波高・波向の空間分布（西部海域）

波高7 mの海域が豊後水道境界から豊予海峡を経て国東半島東側の海域にまで延び、豊後水道中部から豊予海峡にかけて8 mを越える。6 m波高域は山口県下松付近に近づくが到達せず、そこは5 m波高域にとどまる。周防灘では西部奥で3 mに、伊予灘で東部に向けて2 mに、別府湾で沿岸に向けて1 mに減じる。波向はSEを中心に扇形に変わり、周防灘西部奥でE、伊予灘東部でSW、斎灘で波向SW（波高2 m）を与える。T9918号時の最大波高・波向の空間分布は後述するT9119号時のものと類似するが、波高の値は全体として1 m程度小さい。

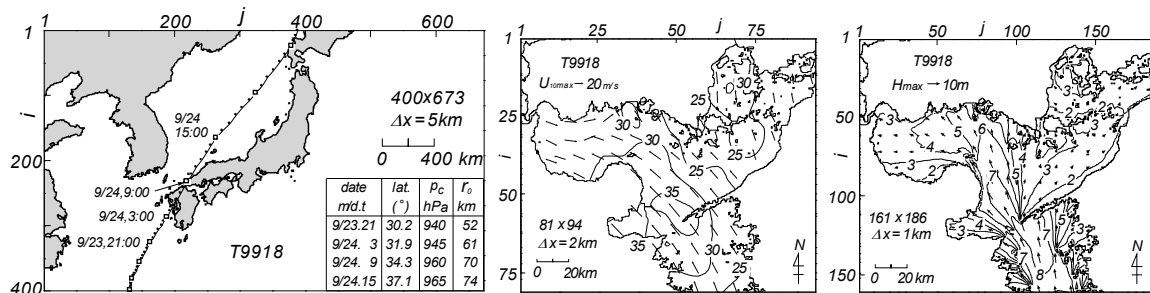


Fig. 16 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in western area of the Seto Inland Sea generated by T9918.

(4) T7416号 (Fig. 17)

1) 台風特性と被災状況

1974年(昭和49年)8月26日21時サイパン島付近で発生、NW~NNW方向に進んで30日9時に父島北西海域に到達(中心気圧955hPa)、NW~NNW方向に転じても中心気圧を維持しながら10月1日9時足摺岬に至った。その後、向きをNNWからN方向に変え、1日18時過ぎ高知県須崎付近に中心気圧960hPaで上陸し、今治から福山など四国・中国地方をNNW~N方向に縦断した。最低観測気圧は足摺岬で966.5hPa、松山で976.1hPa、福山で979.2hPaとかなり低い。台風時の豪雨に伴う被害は台風経路にあたる高知、愛媛、広島各県のほか関東地方でも生じ、とくに東京で多摩川が決壊し、19棟が流出した(多摩川水害)。死者・行方不明者は9名、家屋被害190棟、浸水被害10,400棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布(中部海域)

対象海域が狭いことから、全域で風向はENEをとり、あまり変化しない。風速は25~30m/sを与えるが、東部では20~25m/sとやや小さい。

3) 最大波高・波向の空間分布(中部海域)

最大波高は台風接近前のNE方向の強風により生起している。波高は水島灘あるいは燧灘東岸の1mから燧灘南西部の3.5mに向けてSW方向に増大し、3.5m波高域が広い範囲を覆う。波向はおおむねNEである。

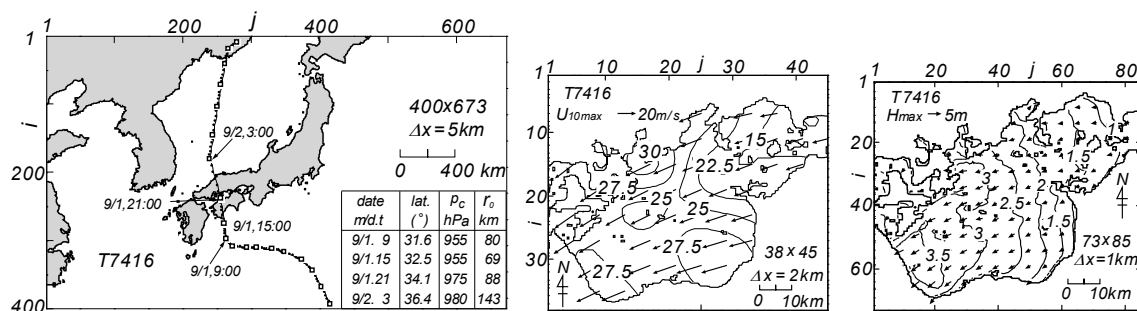


Fig. 17 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in middle area of the Seto Inland Sea generated by T7416.

(5) T8219号 (Fig. 18)

1) 台風特性と被災状況

1982年(昭和57年)9月16日21時フィリピン東方海上で台風に発達、進路をNW方向にとって、

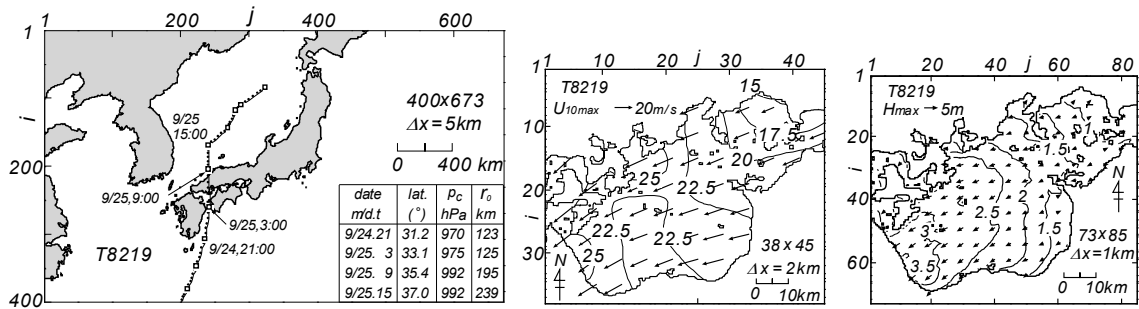


Fig. 18 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in middle area of the Seto Inland Sea generated by T8219.

20日9時にほぼ北緯21°線に到達し北上、22日9時頃(中心気圧965 hPa)からNE方向に進行して、沖縄本島の南岸を通過した。24日3時頃から進行方向をNNEに変え、25日2時30分宇和島付近に上陸した(中心気圧978 hPa)。その後、台風は衰えながら北上を続け広島を経て日本海に抜けた。最低観測気圧は宇和島で977.1 hPa、松山で981.6 hPa、広島で985.6 hPaであるから、それほど低くない。台風に伴い九州東部から四国・紀伊半島東部で大雨が降り、死者4名など22都県に及ぶ被害が出た。

2) 最大風速・風向の空間分布(中部海域)

風向は全体でENE、風速は20~25 m/sをとるが、西側では25 m/sを越える。

3) 最大波高・波向の空間分布(中部海域)

波高は水島灘の1 mから燧灘南西部の3 mに増大し、ごく局所的に3.5 mに達する。3 m波高域は南西部でかなり広い海域を占める。波向はNEである。T8219号は前述のT7416号より西側の豊後水道から伊予灘中部をNNW~N方向に進行した。その結果、T7416号時に比べて風速が小さいにもかかわらず一層NE寄りの強風が吹送したことから、T7416号時と同程度の値をもつ波高の空間分布が得られている。

(6) T9810号 (Fig. 19)

1) 台風特性と被災状況

1998年(平成10年)10月11日3時マリアナ諸島西方海域で台風が発達、WNW方向、ついでNW方向に進路をとって14日にルソン島に上陸(中心気圧900 hPa)、その後、向きをN方向、NNE方向に変えて16~17日に沖縄本島の北方海上を進行し、17日16時30分頃鹿児島県枕崎付近に上陸した。直前での中心気圧は975 hPaである。その後21時頃高知県宿毛付近に再上陸、向きをNNE方向に変えて18日0時頃岡山県玉野付近に再再上陸し、日本海に抜けた。最低観測気圧は台風経路に沿って宿毛で979.1 hPa、多度津で979.7 hPa、高松で978.7 hPa、岡山で979.2 hPa、鳥取で978.0 hPaと上陸後も980 hPa以下を維持しており、陸上部の気圧としてはかなり低い。本台風の通過に伴う強風と大雨のため、被害は中部地方以西の各県に及んだ。兵庫県と香川県で高潮による浸水被害も生じた。最大高潮偏差は高松で87 cm、神戸で128 cm(1942年以降の観測史上第7位)、大阪で138 cm(1902年以降の観測史上第8位)を記録した。死者・行方不明者は15名、家屋被害1,400棟、浸水被害14,700棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布(東部海域)

風速は大阪湾MT局付近の35 m/sを中心に大阪湾内と紀伊水道の北部で30 m/s以上を示す。風向はS方向である。大阪湾湾奥や紀伊水道南部で25~30 m/sを与える。風向はS寄りをとる。播磨灘では風速は北東部の30 m/sから西部の15 m/sに急減する。風向は東部でSE~S、西部でSWからSを与え

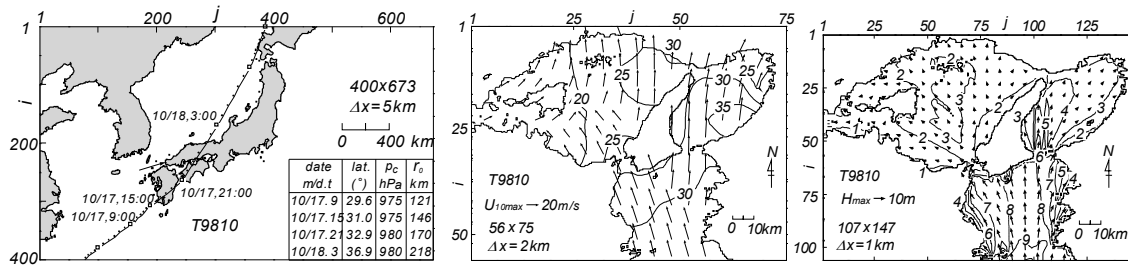


Fig. 19 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in eastern area of the Seto Inland Sea generated by T9810.

る。紀伊水道から大阪湾でS方向の強風が吹送した。

3) 最大波高・波向の空間分布（東部海域）

紀伊水道では波高9mの波高が入射し、紀伊水道の奥まで8mの波高域が伸びている。波向はSを中心として東岸でSW、西岸でSEに傾く。大阪湾では湾口の友ヶ島水道から波高6mの波浪がS方向に伝播し、淡路島北部の東側で5mに、須磨の沖合で4mに小さくなる。大阪湾の湾奥に3m波高域が広がる。波向は湾口部のSから湾奥に向かうほどSW方向に次第に変化する。播磨灘では鳴門海峡付近から2mの波高域が扇状に広がり、中央部の広い範囲で3m波高域が形成されている。波向はSEを主として東側でS方向に、西側でE方向に傾く。本台風時には最大級の波高は出現していないが、台風が東部海域の西側をNE方向に進行した場合に形成される波高の空間分布の典型的なパターンを示す。

(7) T0310号 (Fig. 20)

1) 台風特性と被災状況

本台風は2003年（平成15年）8月3日フィリピンの東方海上で発生、NW方向に進路をとって、6日9時に北緯21.5°線に到達し、さらにその後NNW方向に向きを変えて7日9時に沖縄本島に到達、この時点の中心気圧は950hPaである。台風はこの時点以降NE方向に進行方向を変え8日21時30分室戸岬付近に上陸（中心気圧950hPa）、NE方向の進行を続けて兵庫県西宮付近に再上陸し、東日本へ進行した。最低観測気圧は室戸岬で950.5hPa、徳島で963.4hPa、洲本で957.0hPa、神戸で972.6hPa、大阪で973.5hPaであるから、上陸後も非常に低い。九州・四国・近畿地方などで豪雨に伴う洪水・土砂災害や強風災害が生じた。台風に伴い九州・四国・近畿地方の太平洋側で高潮偏差は100～122cmに達した。瀬戸内海でも高潮偏差は宇野で88cm、高松で91cm、神戸で87cm、大阪で99cm

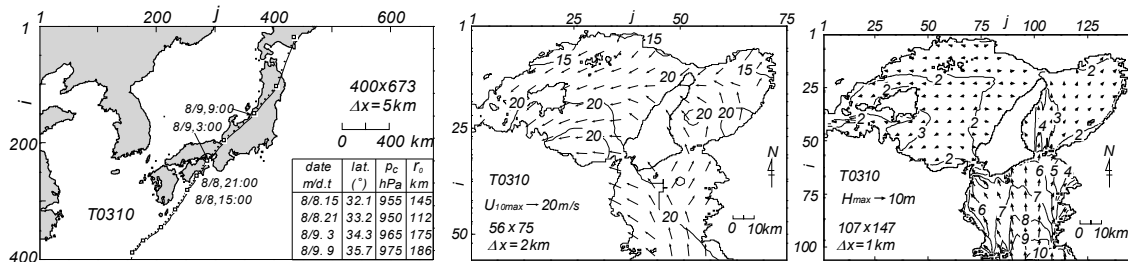


Fig. 20 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in eastern area of the Seto Inland Sea generated by T0310.

と 100 cm 近くのかかなり大きい値を記録したが、大規模な高潮災害は報告されていない。死者・行方不明者は 20 名、家屋被害 690 棟、浸水被害は 2,400 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布（東部海域）

台風が室戸岬から淡路島の洲本、兵庫県の西宮へと NE 方向に進行したことから、風向は播磨灘で NNE～ESE、紀伊水道では SE～SSW、大阪湾で S～SE～E～NE 方向と著しい空間変化を示す。風速は紀伊水道西側と播磨灘南部で 20 m/s 以上、大阪湾と播磨灘中部と北部で 15～20 m/s を与え、必ずしも強いとは言えない。

3) 最大波高・波向の空間分布（東部海域）

紀伊水道境界では、わずかに 10 m 波高域がみられる。そして境界から水道内の奥へ 8 m 等波高線、6 m 等波高線が延びる。波向は S をとり、水道奥の鳴門海峡側では SSE～SE に、友ヶ島水道の東側では SSW に傾く。大阪湾では湾口（友ヶ島水道）から北側に向けて 4 m 波高域がわずかに延び、3 m 波高域が淡路島北端に達する。湾内では全域で波高 2 m 以上をとる。波向は S から SW に変化する。2～3 m 波高域が非常に広い珍しいケースである。播磨灘で鳴門海峡付近から 2 m 等波高線が放射状に拡がり、波向も SE をとるが、灘内では台風の左側半円における NE 方向の内海発生波浪の影響を受けて波向が NE 方向に傾くとともに、等波高線も左側に傾いて 3 m 等波高線が小豆島の南東側と南側に現われる。

4.3 瀬戸内海の台風時最大風速と最大波高の空間分布

(1) T7119 号 (Fig. 21)

1) 台風特性と被災状況^{[12], [13]}

本台風は 1971 年（昭和 46 年）7 月 30 日 21 時硫黄島の南西海上で熱帯低気圧から台風が発達、W 方向ついで NW 方向に進行して、8 月 4 日 9 時奄美大島の北東、屋久島のすぐ南の海上に到達した。中心気圧は 935 hPa と非常に強い勢力をもった。ついで、屋久島付近で反時計まわりのループ（経路図では表現されていない）を描いたのち N 方向に進行し、5 日 9 時 50 分頃島原半島の西有家付近に上陸（中心気圧 950 hPa）、福岡を通過して日本海に抜けた。瀬戸内海西部海域周辺の最低観測気圧は延岡で 979.2 hPa、大分で 976.7 hPa、松山で 986.5 hPa、下関で 972.7 hPa、広島で 985.9 hPa であり、別府湾から周防灘でかなり低い。台風に伴う大雨により、九州を中心に近畿以西で大規模な洪水・浸水被害や土砂災害が生じた。死者・行方不明者は 69 名、家屋被害 1,700 棟、浸水被害 18,100 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風が九州を北上し、日本海に抜けたことから、西部海域では SE 寄りの強風が卓越した。風速に関して、佐田岬周辺海域から山口県下松方面で 30 m/s が拡がり、佐田岬周辺や周防灘中部に局所的に 35 m/s 域もみられる。その他の海域でも風速は 25 m/s を上まわるが、安芸灘・広島湾で 20～25 m/s、斎灘で 20 m/s 以下をとる。中部海域でも風向は SE をとり、風速はおおむね 15～20 m/s の範囲にある。東部海域では風向は反時計まわりに変化して SSE 方向を示す。風速は播磨灘で 20～25 m/s、大阪湾で 15～20 m/s、紀伊水道を 15～25 m/s を与える。このうち紀伊水道の西半分で 20 m/s 以上をとり、北西部では局所的に 25～30 m/s の海域もみられる。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域のうち、豊後水道では 8 m 波高域が広い範囲を占め、豊予海峡でも 7 m をとる。波向は SE である。内海では、佐田岬周辺の海域から伊予灘西部を経て周防灘西部にまで 5 m 波高域が延び、山口県防府沖合で 6 m 波高域もある程度広い範囲を占める。周防灘西部奥では沿岸部に 4 m 波高域が拡がる。波向は SE から SSE～E に変化する。伊予灘では波高は東部の 1～2 m に、別府湾でも沿岸部の 2～3 m に減少する。波向はいずれも SSE から SE をとる。安芸灘では北西部で波高は 3 m、波向は SSE、斎灘では 2 m 以下、S 寄りを示す。

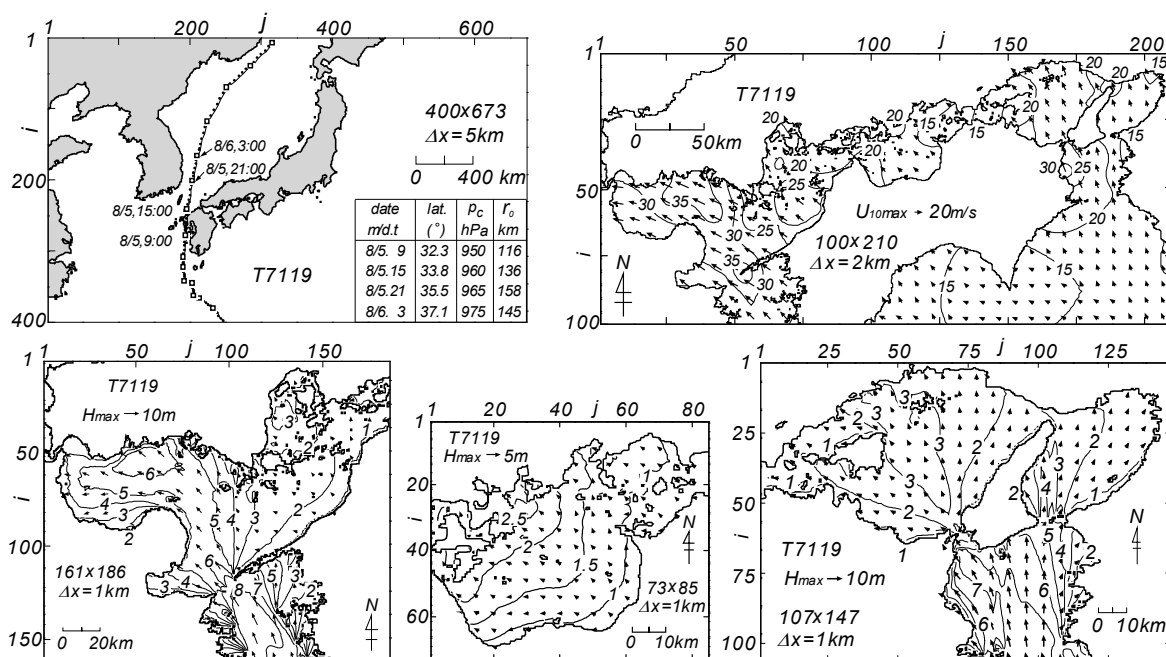


Fig. 21 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in the Seto Inland Sea generated by T7119.

中部海域では波高は隠灘南東部の 1 m から備後灘北西部(尾道方面)の 2.5 m に向けて大きくなる。波向は SE を中心に北側で S 方向, 南西側で E 方向に傾く。

東部海域では紀伊水道で 7 m 波高域が境界から北西部に延びる。波向は SSE から SE をとる。大阪湾では湾口(友ヶ島水道)から N 方向に 4 m 波高域が淡路島中部の沖合に延びるが, 2 m 波高域が神戸方面に達するのみで, 湾の東半分では波高は 2 m 以下である。波向は S から SW に変化する。播磨灘では 2 m 波高域が鳴門海峡付近から放射状に延び, 3 m 波高域が NW 方向に家島方面を越えて広がる。波向は SE を中心とする。要するに, T7119 号時にも S 寄りの風が卓越する場合の典型的な波高の空間分布パターンをとる。

(2) T7009 号 (Fig. 22)

1) 台風特性と被災状況^{[11], [12]}

本台風は 1970 年(昭和 45 年) 8 月 9 日 15 時フィリピン北東海域の北緯 23° 付近で発生, 10 日から N 方向に進行して, 13 日 9 時沖縄本島北部のすぐ東側を通過(中心気圧 945 hPa), 14 日 9 時北緯 30° 付近の九州南端の西方海域から向きを NNE に転じて 14 日 21 時頃長崎付近に上陸し, 福岡, 下関付近を通過して日本海に抜けた。西部海域周辺の最低観測気圧は大分で 986.1 hPa, 松山で 992.5 hPa, 下関で 971.7 hPa, 山口で 980.9 hPa, 広島で 986.0 hPa であり, 台風経路に近い下関を除いてあまり低くない。九州・中国地方を中心に台風時の大雨に伴う洪水・土砂災害が生じ, また強風災害も顕著であった。死者・行方不明者は 12 名, 家屋被害 2,800 棟, 浸水被害 11,900 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

西部海域では東側を除いて SSE から SE の風向場となった。風速は豊予海峡南側の 20 m/s から佐田岬付近の 25 m/s を経て周防灘で 30 m/s を越え, 北西端の下関近傍で 35 m/s に達した。伊予灘中部で 20 m/s 以下である。伊予灘東部から斎灘で 20~25 m/s の S 寄りの風, 安芸灘・広島湾で S 寄りの 25~30 m/s の風の場となっている。

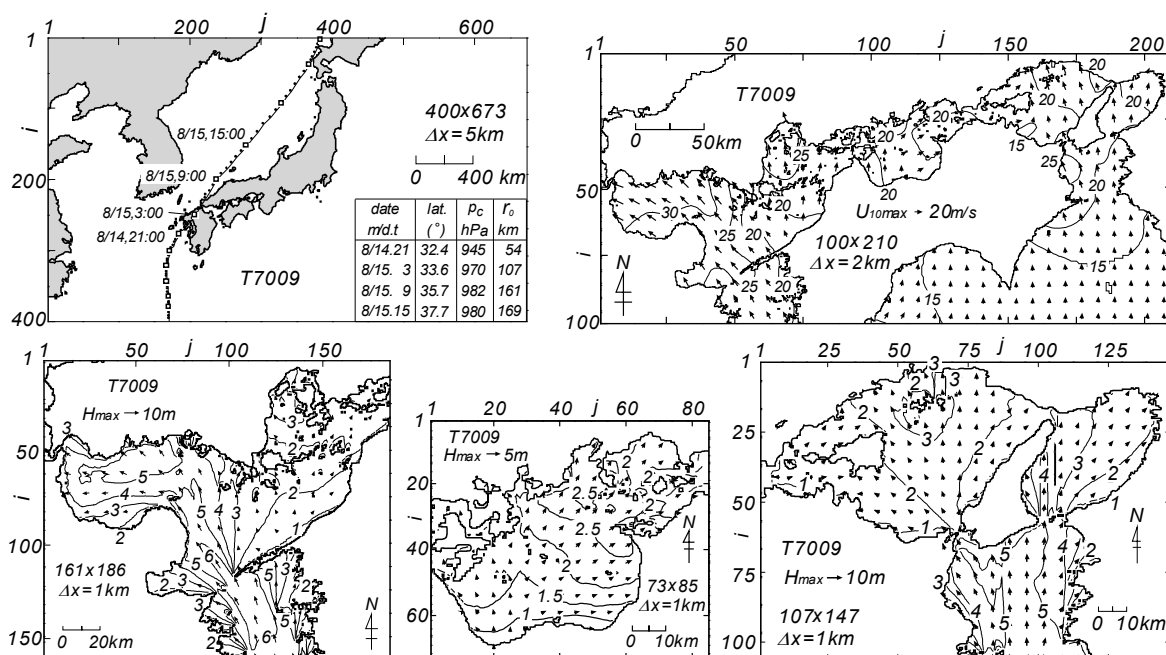


Fig. 22 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in the Seto Inland Sea generated by T7009.

中部海域では西側でS寄りの20 m/s強の風の場合であるが、中央から東側では15~20 m/sあるいは20 m/s以上(東部)で風向はSSWの風の場合を示す、東部海域では播磨灘の西側で風速は15~20 m/s、風向SSWの場合、紀伊水道から大阪湾、播磨灘北東部で風速20~25 m/s、風向S~SSEの場合、大阪湾北部や紀伊水道東部から南部で風速15~20 m/s、風向はS寄りの場となっている。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では6 m波高域が豊後水道から豊予海峡を経て伊予灘の西部に伸びる。波向はSSEからSEである。5 m波高域は豊予海峡から国東半島北東の海域と周防灘中部から西部の山口県沿岸沖合にみられる。波向はSEからESEに傾く。周防灘西部奥には4 m波高域(波向E寄り)が広がる。伊予灘では東側に向けて波高1~2 mに小さくなり、別府湾でも沿岸部で2 mをとる。安芸灘北部では3 m波高域(波向SSE)が出現するが、斎灘では2 mを越える程度で3 mに達しない(波向SSW)。

中部海域では波高は隠灘南部の1 mから備後灘南部の2.5 mへNE方向に増加し、備後灘の広い範囲を覆う。波向はSWである。備後灘の中国地方沿岸部や水島灘では複雑な地形のために波高は1.5 m程度に減じる。波向はSWを中心とする。

東部海域では台風が海域の西側をN~NE方向に進行する場合に形成される典型的な波高の空間分布のパターンを表す。紀伊水道で5 mの等波高線が沖合から水道の奥にまで広がる。波向はSを中心とする。大阪湾で4 mの等波高線が淡路島の北東岸に達するが、湾内の東側で波高は2 mに減じ、波向もSW方向に傾く。播磨灘で鳴門海峡付近から2 mの等波高線が放射状に伸び、家島付近に3 m波高域が出現する。波向はSEを中心とする。

(3) T9119号 (Fig. 23)

1) 台風特性と被災状況^[13]

本台風は1991年(平成3年)9月16日9時マーシャル諸島西方海域で台風に発達、WSW~W方向に進行したのち、22日にフィリピン東方海上で進路をNE方向に変え、26日9時に台湾東方海域に

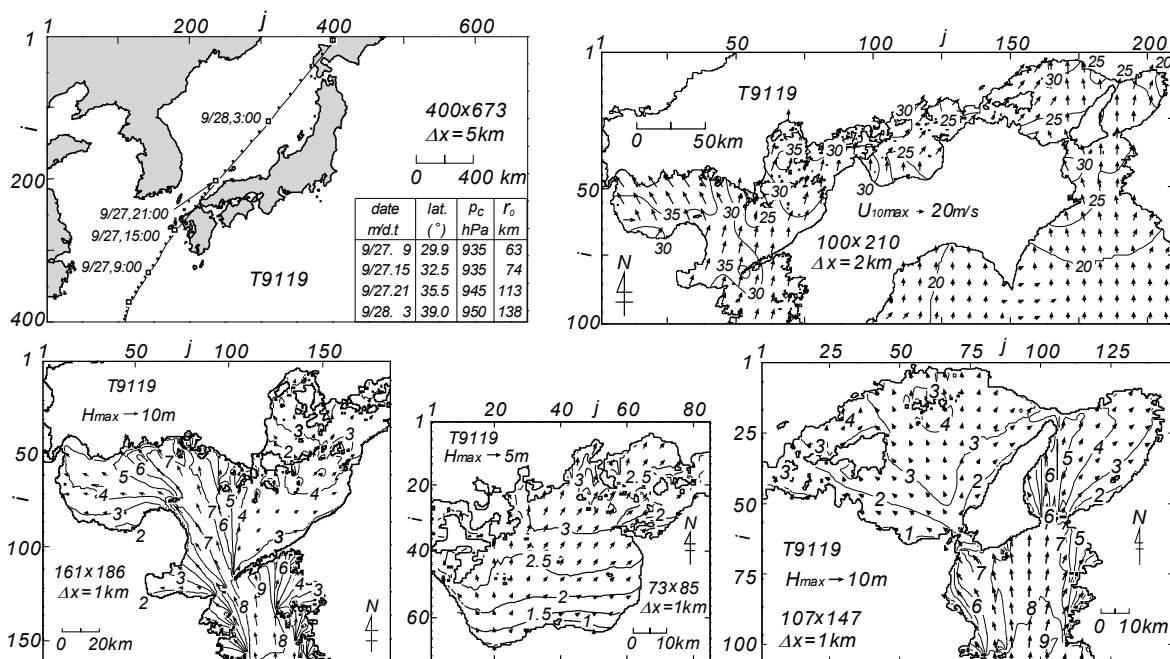


Fig. 23 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in the Seto Inland Sea generated by T9119.

達した。その後、向きをNNEからNEに変えて沖縄本島北方海域を27日9時に中心気圧935 hPaで通過し、27日16時過ぎに佐世保付近に上陸（中心気圧940hPa）、福岡、下関付近を経て日本海をNE方向に進行した。瀬戸内海西部海域周辺の最低観測気圧は延岡で983.9 hPa、大分で973.0 hPa、松山で979.8 hPa、下関で947.3 hPa、山口で957.3 hPa、広島で970.2 hPaであるから、台風経路に近い下関、山口における値が非常に低い。

本台風は上陸後も勢力を保っていたうえに、日本海を速い速度で移動したので、九州から瀬戸内海を始め日本全国で強風が吹き荒れ、重大で多様な強風被害（家屋の損傷と倒壊、九州をはじめ全国規模における山林や庭木などの倒木、厳島神社の損壊、送電鉄塔や電柱の倒壊、九州～中国地方の大規模停電、瀬戸内島嶼部のみかんなど農作物への塩害、富山県における強風による火災と延焼、青森県における大規模なリンゴの倒木と落下など）や瀬戸内海沿岸で高潮災害が生じた。この結果、保険支払額は史上最高の5,679億円にのぼった。しかし、降水をあまり伴わなかったため、洪水被害は少ない。本台風は青森県においてリンゴの大量落下という大被害を引き起こしたことから、気象庁による正式名称でないが、別名リンゴ台風とも言われる。死者・行方不明者は62名、家屋の被害170,000棟、浸水被害23,000棟のほか、船舶被害930隻となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

西部海域では風速30 m/sを越える強風域が豊予海峡から伊予灘西部と周防灘の全域および伊予灘東部、斎灘、安芸灘・広島湾を覆い、豊予海峡周辺、周防灘中部と西部、安芸灘北部に35 m/sを越える海域もみられる。とくに周防灘中部と西部でかなり広い範囲を占める。また、豊後水道で南部から北部に向けて風速は20 m/sから30 m/sへと増加し、伊予灘中部で25～30 m/sになっている。風向は周防灘中部と西部でSSE方向、それ以外の広い海域でSSWをとる。いずれにしても、西部海域全体にS寄りのかんりの強風が吹送している。

中部海域では風速は25～30 m/sの範囲にあり、風向は南西部でS、それ以外でSWを与える。東部海域では風速は播磨灘で25～30 m/s、大阪湾から紀伊水道にかけて25～30 m/s、大阪湾の北部と紀伊

水道の南部で 20~25 m/s を与える。風向は S 寄りであり、播磨灘西部と大阪湾北部で SSW、紀伊水道西部で SSE、それ以外の紀伊水道南部、大阪湾、播磨灘東部で S を示す。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では豊後水道で 8 m 波高域が境界から豊予海峡に向けて延び、佐田岬の南側に 9 m 波高域も出現する。波向は SSE から SE をとる。内海では 7 m 波高域が豊予海峡から対岸の山口県沿岸沖合の広い範囲に達しており、波高は非常に大きい。4 m 波高域は豊予海峡から周防灘の南部を除く非常に広い範囲を覆う。波向は豊予海峡の SE から周防灘西部奥の E に向けて反時計方向に変化する。伊予灘の中部から東部にかけて波高は 3 m から 4 m 以上に増加する。波向は SW をとる。斎灘や安芸灘でも波高は 3 m に達するが、複雑な地形の影響を受けて北部沿岸では 2 m 程度に減少する。波向は斎灘で SW、安芸灘北西部で S~SSE である。別府湾では豊予海峡における波高 7 m が沿岸部で 2 m に小さくなる。波向は E 方向に傾く。

中部海域では波高は隠岐南部沿岸の 1 m から NE 方向に増大し、備後灘南部から北部にかけて 3 m の等波高線が広い範囲を占める。波向は SW である。水島灘では周辺地形の影響を受けて波高は 2.5 m に減じる。波向は SW 方向をとる。本台風時には周辺地形が入り組んだ備後灘北部や水島灘においても波高はそれぞれ 3 m および 2.5 m を上まわり、かなり大きい。

東部海域では紀伊水道で 8 m 域が境界付近から中部にとどまり、7 m 波高域が紀伊水道の奥に達する。波向は S である。大阪湾では 6 m 波高域が湾口から淡路島北部の沖合にまで延び、5 m 波高域が須磨付近、4 m 波高域が神戸付近に達する。3 m 波高域は湾奥に達し、2 m 波高域がほぼ全域を覆う。波向は湾口の S から湾奥の SW に向けて変化する。播磨灘では鳴門海峡の沖合から 2 m 等波高線が放射状に拡がり、海峡の沖合から 3 m 等波高線が同様の分布状況を示し、4 m 波高域が家島周辺に現われる。波向は海峡付近の SE から家島方面の S 方向に傾く。

(4) T0418 号 (Fig. 24)

1) 台風特性と被災状況

2004 年 (平成 16 年) 8 月 28 日マーシャル諸島付近で発生、W 方向ついで WNW 方向に進行し、9 月 4 日 9 時北緯 23.3° に到達した (中心気圧 935 hPa)。台風はこのあたりから向きを NW 方向に変え、5 日 9 時沖縄本島のすぐ南西側に位置し、6 日 21 時頃から NE 方向に進行して 7 日 9 時 30 分頃長崎付近に上陸した。中心気圧は 945 hPa である。その後、福岡、下関付近を通過して日本海に抜けた。日本近海における台風経路は向きを NE 方向に保った T9119 号のそれとよく似ている。瀬戸内海周辺の最低観測気圧は延岡で 981.5 hPa、宇和島で 986.9 hPa、大分で 971.9 hPa、松山で 980.6 hPa、下関で 951.8 hPa、山口で 962.9 hPa、広島で 972.6 hPa、岡山で 983.6 hPa、姫路で 988.0 hPa、大阪で 992.8 hPa であるから、台風経路に近い下関と山口で低い。本台風時には T9119 号時と同様に、九州・中国地方を始め全国規模で強風による被害 (建物の損壊、倒木、農作物の倒伏、塩害、長期の停電、厳島神社建物の再度の損壊、果物の落下など) が顕著であり、瀬戸内海沿岸や日本海沿岸で高潮被害が相次いだ。最大高潮偏差は下関で 117 cm、松山で 143 cm、宇野・高松・大阪でそれぞれ 103 cm、神戸で 101 cm と 1 m を上まわった。とくに松山での観測値は 1950 年以降の観測史上第 2 位 (第 1 位は T9119 号時の 145 cm) にあたる。総降水量も九州や四国地方において台風期間の 5 日間で 500 mm を越えたが、洪水被害は記載されていない。保険金の支払総額は 2,700 億円にのぼる。死者・行方不明者は 45 名、家屋被害 15,400 棟、浸水被害 7,100 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

西部海域においては豊後水道北部から周防灘東部・中部と西部奥にかけて 30 m/s 風速域が拡がり、豊予海峡周辺と国東半島北東側から山口県防府にかけて 35 m/s 域もみられることから、これらの海域でかなりの強風が吹送したことがわかる。風向は SSE から SE および周防灘西部沖で SSW をとる。同

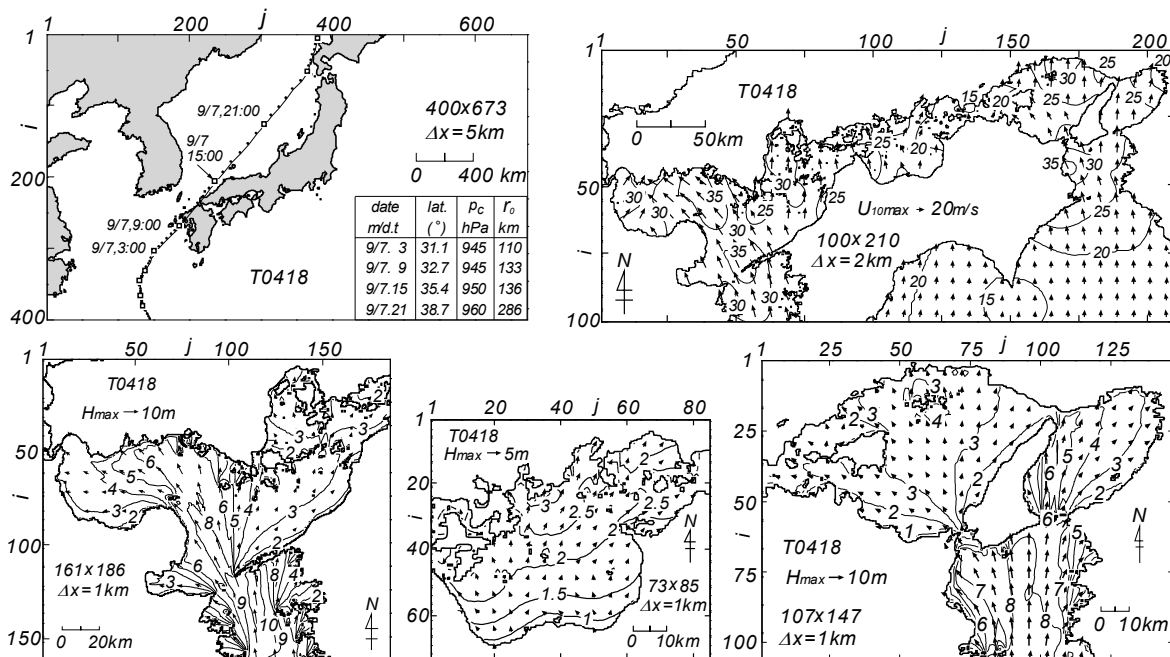


Fig. 24 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in the Seto Inland Sea generated by T0418.

様に、安芸灘西部にも 30 m/s 域 (波向 S) がみられる。このほかの豊後水道南部、伊予灘中部と東部、斎灘・安芸灘東部、周防灘中部と西部の間の海域は 25~30 m/s 域となっており、風向は S 寄り (SSW~SSE) を示す。

中部海域では海域の中部と西部が 20~25 m/s 風速域、東部が 15~20 m/s 域に入り、風向は S 寄りを与える。東部海域では播磨灘で風速は南西側の 20 m/s から北側の 30 m/s あるいは東側の 25 m/s に大きくなり、風向は南側で SSE~SE、北側で S を示す、紀伊水道から大阪湾は風速 25~30 m/s 域に入り、紀伊水道の北西側で 30 m/s を越える、風向は大阪湾で S、紀伊水道で SSE をとる。紀伊水道南部や大阪湾湾奥は 20~25 m/s 域に入り、風向は前者で S~SSE、後者で SSW を与える。本台風時の最大風速・風向の空間分布は絶対値を含めて T9119 号時のそれとかなりの程度類似する。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域においては 9 m 波高域が豊後水道境界から豊予海峡に延び、10 m 波高域が豊後水道中部から佐田岬半島近くに達する。波向は S から SSE である。内海では 8 m 波高域が豊予海峡から国東半島東側海域に延び、7 m 波高域が対岸の山口県下松付近に近づく。波向は SSE をとる。4 m 波高域は山口県柳井から宇部までの広い海域を覆い、波向も S から SE に変化する。周防灘西部奥は 3~4 m 波高域に入り、波向も E 方向に傾く、伊予灘の中部から東部では 3 m 等波高線が NE 方向に延び、2~4 m の波高場が形成されている。波向は SSW から SW である。斎灘や安芸灘でも 3 m 波高域が現われる。波向はそれぞれ SW および E を与える。別府湾では波高は豊予海峡の 8~9 m から沿岸部で 2 m に急減し、波向も E 方向に変わる。

中部海域では波高は隠灘南部の 1 m から備後灘北部 (福山方面) の 2.5~3 m に増大するが、水島灘では 2 m にとどまる。波向は S から SW を示す。

東部海域では 8 m 等波高線が紀伊水道境界から淡路島南部沖合に達する。波向は S 寄りをとる。大阪湾では湾口 (友ヶ島水道) から 6 m 等波高線が延び、5 m 等波高線は須磨沖に、4 m 等波高線は神戸沖に達する。3 m 波高線は大阪湾の湾奥にまで延び、2 m 波高域が大阪湾のほぼ全域を含む。波向

は湾口部の S から SW に変わる。播磨灘では鳴門海峡付近から 2 m と 3 m の等波高線がラップ状に拡がり、家島付近に 4 m 域がみられる。波向は SE を中心とし、北東側で S 方向に、南西側で E 方向に変化する。

以上に示したように、T0418 号時の各海域における波高の空間分布は絶対値を含めてそれぞれ T9119 号時のものとかかなり似ているが、西部海域の豊後水道から豊予海峡、国東半島沖合を経て山口県下松付近に至る海域では T0418 号時の波高がより大きく、そこ以外の海域では T9119 号時の波高が T0418 号時の波高を上まわる。

(5) T0514 号 (Fig. 25)

1) 台風特性と被災状況

本台風は 2005 年（平成 17 年）8 月 29 日 21 時マリアナ諸島近海で発生、向きを W 方向から次第に WNW 方向、NW 方向さらに NNW 方向に変え、9 月 3 日 9 時に北緯 21° 40'、9 月 5 日 9 時に北緯 27.9°（奄美大島南東海域）に到達した。中心気圧は 935 hPa である。ついで、九州西岸に沿って N 方向に進行を続け、9 月 6 日 13 時頃熊本県天草下島を通過し、14 時過ぎに長崎県諫早付近に中心気圧 960 hPa で上陸後、NNE 方向に福岡、下関付近を通過して日本海に抜け、NE 方向に進んだ。瀬戸内海西部海域近くの最低観測気圧は延岡で 979.1 hPa、宇和島で 983.8 hPa、大分で 974.6 hPa、松山で 982.5 hPa、下関で 973.4 hPa、山口で 976.9 hPa、広島で 981.8 hPa となっている。台風時に九州、中国、四国地方を中心とし、関東地方などを含めて大雨による洪水災害、土砂災害や全国規模での強風災害、瀬戸内海沿岸での高潮災害が生じた。最大高潮偏差は宇和島で 84 cm、松山で 91 cm、宇野で 82 cm、高松で 79 cm、神戸・大阪で 71 cm を記録した。死者・行方不明者は 29 名、家屋被害 7,500 棟、浸水被害 21,700 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

西部海域では 25 m/s 風速域が豊後水道から豊予海峡を経て周防灘中部まで延びる。風向は SSE～SE をとる。20 m/s 域は周防灘西部、伊予灘中部から周防灘東部および伊予灘東部から斎灘であり、安芸灘・広島湾は 15～20 m/s 域に入る、風向は周防灘西部で E 方向、他の海域で SE～ESE をとる。

中部海域は 15～20 m/s 域に入り、北西部で 20 m/s を越える。風向は E～ESE を与える。東部海域は紀伊水道から大阪湾南部や播磨灘に風速 20 m/s 域が拡がり、紀伊水道北西部で 25 m/s を越える、風向は紀伊水道南部の S から播磨灘の SE 方向に傾く。大阪湾中部から播磨灘北西部は 15～20 m/s 域に入り、風向は SSE～SE を与えるが、大阪湾湾奥では 15 m/s 以下となり、風向も E 方向をとる。瀬戸内海全体の風速・風向場は台風が九州を N～NE 方向に進行したときに形成される典型的な空間分布を示す。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では豊後水道境界上の西側で波高は 11 m と大きく、10 m 波高域も佐田岬半島沖合に達する。豊予海峡では波高は 9 m から 8 m をとる。水道内の高波高域は西側に寄っている。波向は SSE である。内海では豊後水道から延びる 6 m 等波高線は国東半島の東側海域に、5 m 波高域も対岸の山口県下松付近の沖合にとどまる。波向は SSE を示す。4 m 波高域も周防灘内でそれほど拡がらず、3 m 波高が周防灘のほぼ全域を占める程度である。波向は周防灘西部奥に向かうほど E 方向に傾く。伊予灘中部と東部では波高は 3 m から 1 m に減ずる。波向は SW から S 方向に傾く。斎灘では波高は 2 m 以下、安芸灘西部で 2 m 程度である。波向は E 寄りをとる。西部海域のうち豊後水道における波高が大きいのに対して、内海部の波高がそれほど大きくないのが本台風時の波高の空間分布の特徴である。

中部海域では波高は隠岐南東部沿岸の 1 m から備後灘北西部あるいは大三島方面の 2.5 m に向けて NW 方向に大きくなる。波向は必ずしも一定しないが、備後灘北西部で S 方向、それ以外の相対的な高波高域で E 方向をとる。

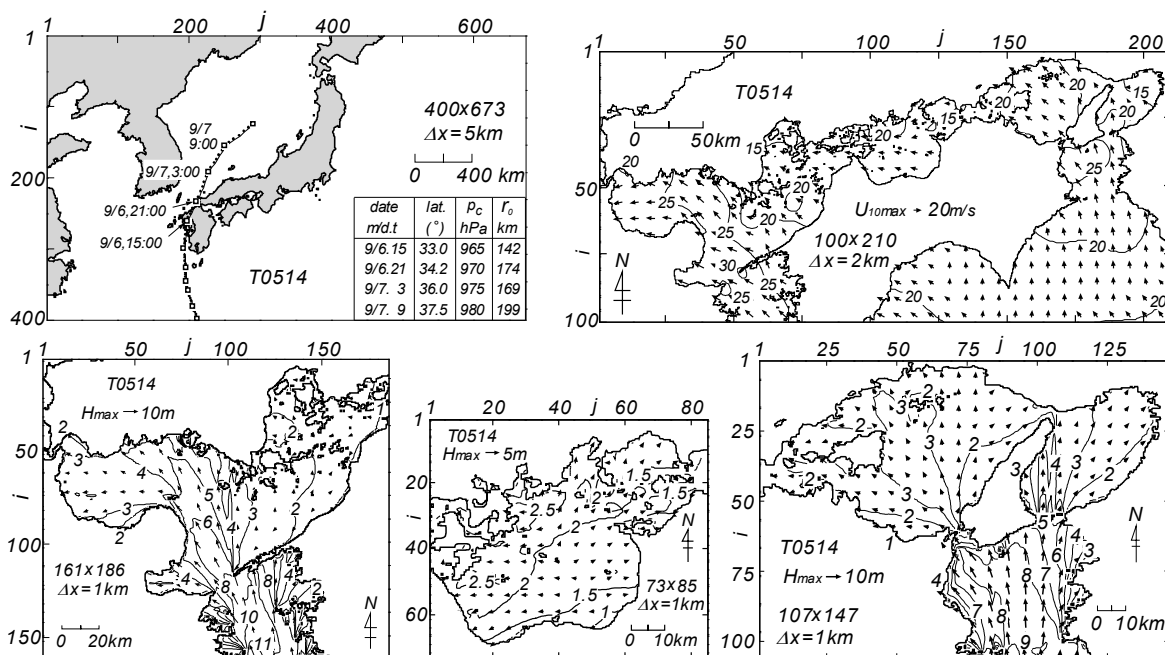


Fig. 25 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in the Seto Inland Sea generated by T0514.

東部海域では紀伊水道の境界で波高は9 mと大きく、8 m波高域が淡路島南部沖合に、7 m波高域が鳴門海峡や友ヶ島水道の近くに迫る。紀伊水道が台風経路からかなり離れているにもかかわらず、そこでの波高は大きい。波向はSからSSEを示す。大阪湾では湾口から淡路島北端に向けて4 m等波高線が延び、3 m等波高線が須磨と神戸の間に達するし、2 m波高域が大阪湾の広い範囲を占める。波向はSからSWに変化する。播磨灘では鳴門海峡付近から2 mの等波高線がラップ状に、3 m等波高線がやや広がりをもつビーム状に分布する。波向はSEを中心に、北東側でS方向に、南西側でE方向に傾く。4 m波高域はみられない。大阪湾、播磨灘のいずれにおいても紀伊水道内の波高に比べてそれほど高波高は生じていない。

(6) T0416号 (Fig. 26)

1) 台風特性と被災状況

2004年(平成16年)8月21日マーシャル諸島付近で発生、W方向、ついでWNW~NW方向に進行し、25日9時に北緯20°付近で24日に続いて中心気圧910 hPaを保持した。台風はその後NW方向に進行を続け、WNW方向、NW方向からN方向をとりながら8月30日10時に鹿児島県串木野付近に上陸した。中心気圧は950 hPaである。台風は九州をNNE方向に進行して大分県日田あたりを通過、周防灘に出て山口県防府付近に再上陸し、NE方向に日本海に抜けた。瀬戸内海周辺の最低観測気圧は延岡で969.8 hPa、宇和島で975.4 hPa、大分で965.8 hPa、松山で972.8 hPa、下関で969.5 hPa、山口で969.5 hPa、広島で972.1 hPa、岡山で978.1 hPa、姫路で982.7 hPa、大阪で988.1 hPaであり、台風経路に近い下関、山口、大分、広島のみならず松山でも比較的低い。台風の接近・通過に伴い、大雨とともに暴風が吹き荒れ、各地に洪水・土砂・強風災害をもたらすと同時に、香川県、岡山県、広島県、兵庫県などの瀬戸内海沿岸で広い範囲にわたり、甚大な高潮災害が生じた。最大高潮偏差は下関で117 cm、松山で140 cm、宇野で137 cm、高松で133 cm、神戸で134 cm、大阪で132 cmとかなり大きい値をとっており、松山、宇野、高松では観測史上の最大値に近い値となっている。本台風

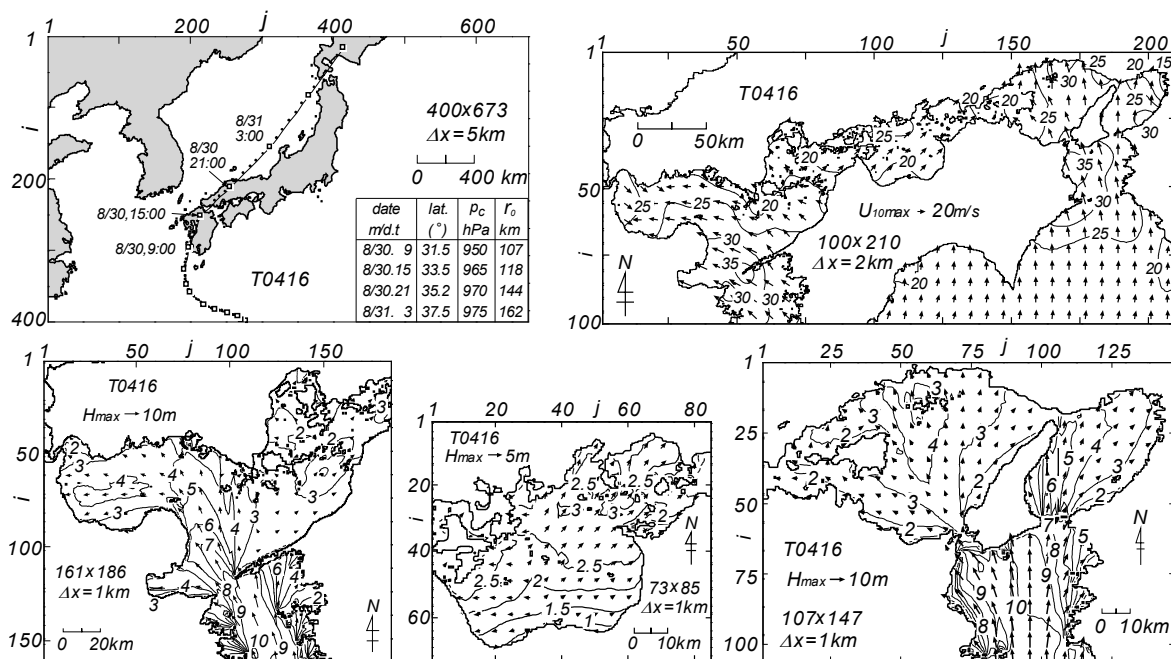


Fig. 26 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in the Seto Inland Sea generated by T0416.

による災害は激甚災害に指定された。死者・行方不明者は17名、住宅被害120棟、浸水被害は45,000棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

西部海域では豊予海峡を中心に豊後水道北西部、別府湾、伊予灘西部で風速は30 m/sを越え、豊予海峡で局所的に35 m/sを上まわる。風向はSEである。そして、30 m/s域を中心にして25 m/s風速域が豊後水道南部、伊予灘中部、周防灘東部と中部の南側、西部奥に、20 m/s域が伊予灘東部から周防灘の全域に広がる。風向はSSE~Eであるが、台風中心の周防灘中部の通過に伴い、周防灘西部奥ではNWをとる。斎灘は20~25 m/s域(風向SW)、安芸灘・広島湾は15~20 m/s域(風向SE)に入る。

中部海域は風速20~30 m/s域に入り、風向はSEをとる。北部で風速が大きい。東部海域では30 m/s風速域が紀伊水道西部に現われ、一部で35 m/sを越える。風向はSSEである。そのほか局所的に大阪湾南部と播磨灘北部に30 m/s域が見出される。より広くみれば、25 m/s域が紀伊水道、播磨灘中部と東部、大阪湾の大部分を覆っており、紀伊水道南部や播磨灘西部、大阪湾北部に20~25 m/s域、さらに大阪湾湾奥に15~20 m/s域がある。風向はおおむねS方向であるが、播磨灘南西部でSE方向を示す。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では豊後水道で境界から豊予海峡近傍まで9 m波高域が広がり、豊予海峡から6 m波高域が内海部の国東半島東側沖合に延びる。4 m波高域は山口県下松付近に達するとともに、周防灘西部にも出現する。波向は豊予海峡のSSEから周防灘西部のE方向に転じる。伊予灘東部では波高が中部の3 m弱から再び3 mに、斎灘でも波高は2 mから3 mに増大する。波向はSWである。安芸灘に波向E寄りをもつ2 m波高域がみられる。別府湾では豊後水道の6~7 mから沿岸部の3~4 mに小さくなる。波向はE寄りに傾く。T0416号時の波高の空間分布のパターンはT9119号時のそれと類似するが、波高は豊後水道で1 m大きく、周防灘で概略1 m小さい。

中部海域では波高は隠灘南部沿岸の1 mから備後灘中部の3 mに向けて増加し、備後灘の北部沿岸

や水島灘では地形の影響を受けて 2.5 m に減少する。波向は低波高海域では多様に変化するが、中部海域の東西方向中央部にあたる 2.5 m 等波高線の北側の高波高域では SW 方向をとる。3 m 波高域は T0418 号時より東側の海域に移動している。

東部海域では紀伊水道の境界から 10 m 波高域が水道内に奥深く入り、9 m 波高域が淡路島南部沿岸に、8 m 波高域が友ヶ島水道に達する。波向は S 方向である。大阪湾では湾口から 6 m 等波高線が淡路島北部の沖合に、5 m 等波高線が須磨近くに迫り、4 m 等波高線が神戸に至る。湾奥には 3 m 等波高線が延びる。大阪湾では波高 3 m 以上の海域が広い範囲を占める。波向は湾口の S から湾奥の SW に変化する。播磨灘では鳴門海峡付近から 2 m および 3 m の等波高線が扇状に拡がり、4 m 等波高線が小豆島の東方海上から家島周辺および対岸の兵庫県沿岸に延びる。波向は SE から S 方向に傾く。東部海域における T0416 号時の波高は T0418 号時より紀伊水道で 1 m、大阪湾と播磨灘で 0.5 m 大きい。

(7) T9313 号 (Fig. 27)

1) 台風特性と被災状況^[13]

本台風は 1993 年（平成 5 年）8 月 30 日北緯 20° 付近に位置する沖ノ鳥島付近で発生、WNW 方向に進行して 31 日から 9 月 2 日にかけて向きを NE 方向に転向し、そのまま進んで 3 日 16 時前に薩摩半島南部に上陸した。上陸時の気圧は 930 hPa と台風は非常に強い勢力を保っていた。台風はその後 NE 方向に進行を続けて、3 日 23 時 30 分頃愛媛県八幡浜付近に再上陸、松山付近を通って広島県福山付近に再び上陸、そのまま日本海に抜けた。最低観測気圧は台風経路に近い観測地点のうち延岡で 954.5 hPa、宇和島で 971.0 hPa、大分で 973.8 hPa、松山で 975.3 hPa、広島で 980.3 hPa、多度津で 977.6 hPa、岡山で 979.2 hPa、姫路で 984.3 hPa、神戸で 988.9 hPa であるから、台風は上陸後非常に強い勢力を急速に減衰させながらも、四国・中国地方で中心気圧 980 hPa 前後の比較的強い勢力を保っていた。本台風時には大雨に伴う洪水災害・土砂災害および暴風に伴う強風災害が九州、四国、中国、近畿地方を中心に生じた。死者・行方不明者は 48 名、家屋被害 1,900 棟、浸水被害 10,400 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風の上陸後の NE 方向への進行、すなわち延岡、松山、福山付近の通過に伴い、西部海域では NE 寄りの風の場合、東部海域では S 寄りの風の場合、中部海域では両者が混在する風の場合となっている。すなわち、西部海域では豊後海峡付近の 30 m/s 風速域を中心に、豊後水道北西部、別府湾、伊予灘西部海域で 25 m/s 域、豊後水道北東部と南部、周防灘の東西方向中心線より南側、伊予灘中部および斎灘と安芸灘で 20 m/s 域となっている。伊予灘東部や安芸灘、斎灘の南部では風速は 20 m/s 以下である。風向は豊後水道南部を中心に、そこより南側では時計回りに N 方向に向けて ENE から NE、NNE、N へと変わる。全体として NE 方向の風が卓越する。

中部海域では風速は北西部と南東部の沿岸で 20 m/s より大きく、それ以外の海域で 20 m/s 以下をとる。風向は海域の西半分が E 寄り、東半分が SW である。風速は全般的に大きくない。東部海域では紀伊水道北西部、大阪湾中部・南部、播磨灘北東部が 25 m/s 域に、領域全体が 20 m/s 域に入る。風向は紀伊水道で南部の S から SSE、大阪湾で南部の S から北部の SSW、播磨灘で SE～S、南西部で SE をとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では豊後水道境界より 5 m 等波高線が水道中部に延び、4 m 波高域が豊後海峡に達する。波向は S から SSE をとる。内海では NE 方向の風の吹送に伴い、波高は伊予灘東部の 1 m から西部および別府湾沿岸にかけて 4 m 以上に増大する。波向は 3 m 以上の高波高域で NE をとる。豊予海峡付近では豊後水道から伝播する S 寄りの波浪と内海で発生した NE 寄りの波浪が拮抗するはずであるが、平均波向は NE をとることから、内海発生波浪の影響が大きい。周防灘で波高は北側の 1 m から南側

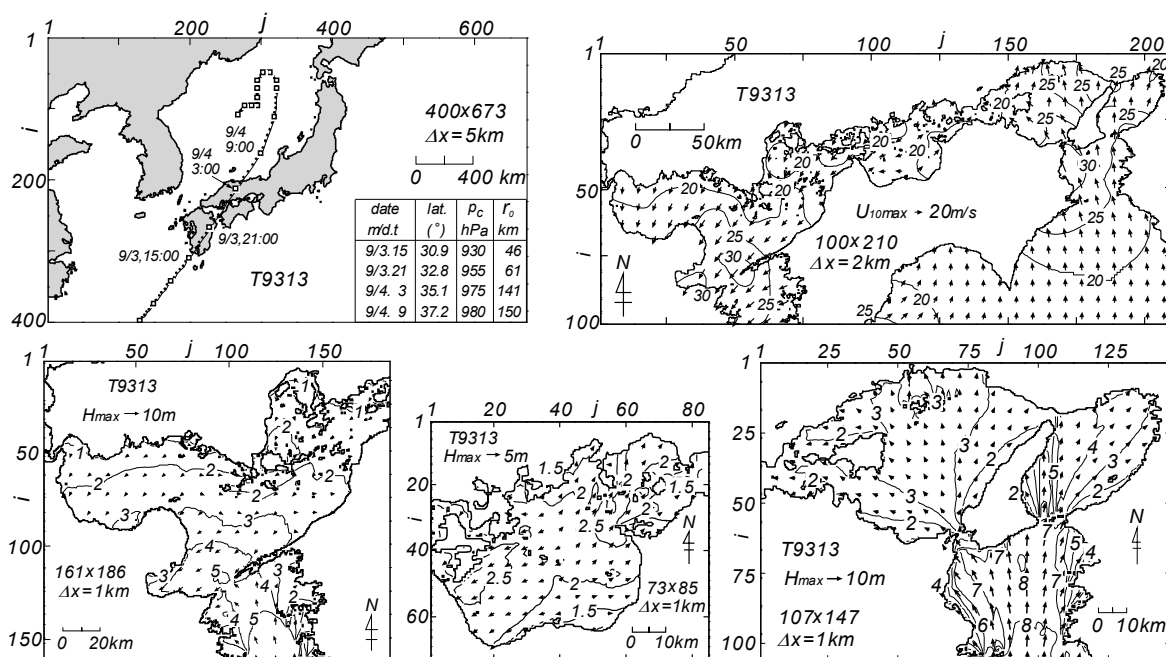


Fig. 27 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in the Seto Inland Sea generated by T9313.

の3 mに増加する。波向は海域の西側でN~NE, 東側でNW寄りである。斎灘や安芸灘では波高は北側で1 m, 南側で2 mをとる。波向はそれぞれNEおよびNを示す。要するに, NE方向の強風の吹送により, 別府湾沿岸の波高が大きい点が注目される。

中部海域では2.5 m波高域が燧灘西部(大三島西岸の海域, 波向はENE)と海域の北東(波向はSW)にみられる。前者は台風接近前のE寄りの風, 後者は台風通過後のSW方向の風による。

東部海域では波高は紀伊水道の境界付近で8 mをとり, 7 m波高域が水道奥の友ヶ島水道や鳴門海峡付近に達する。波向はSを中心とする。大阪湾では5 m等波高線が友ヶ島水道から淡路島北端付近にあり, 4 m等波高線が神戸付近に, 3 m等波高線が湾奥に達する。湾の南東岸沿岸には2 m等波高線が現われる。湾の3/4近くの海域が波高3 m以上をとる。波向はSからSWに変わる。播磨灘では鳴門海峡付近から2 mと3 mの等波高線が放射状に拡がり, 家島付近に4 m波高域がみられる。3 m以上の高波高域の波向はSEからSに傾く。

(8) T7010号 (Fig. 28)

1) 台風特性と被災状況^{[11]-[13]}

本台風は1970年(昭和45年)8月16日北緯20°付近で発生, W方向, WNW方向, ついで18日12時以降NW方向に進み, 20日3時には北緯26°付近で中心気圧910 hPaに達した。その後, 勢力が衰えたものの, そのままNW方向の進行を続け, 21日8時高知県佐賀町付近に上陸, 11時過ぎに松山付近を通過して12時頃呉付近に再び上陸, 日本海に抜けた。最低観測気圧は足摺岬で962.3 hPa, 高知で979.2 hPa, 宇和島で971.4 hPa, 松山で970.9 hPa, 大分で990.7 hPa, 山口で990.0 hPa, 呉で975.2 hPa, 広島で976.2 hPa, 福山で980.1 hPa, 岡山で992.9 hPaであるから, 通過経路にほぼあたる足摺岬, 松山, 呉, 広島で低い。本台風時には四国・中国地方を中心に近畿・中部地方の一部で豪雨による洪水・土砂災害や強風災害が生じた。また高知県一帯, とくに高知市で235 cmもの高潮偏差がほぼ満潮時に重なって発生したため, 市の広範な地域が海水で覆われるという甚大な高潮災害が生起

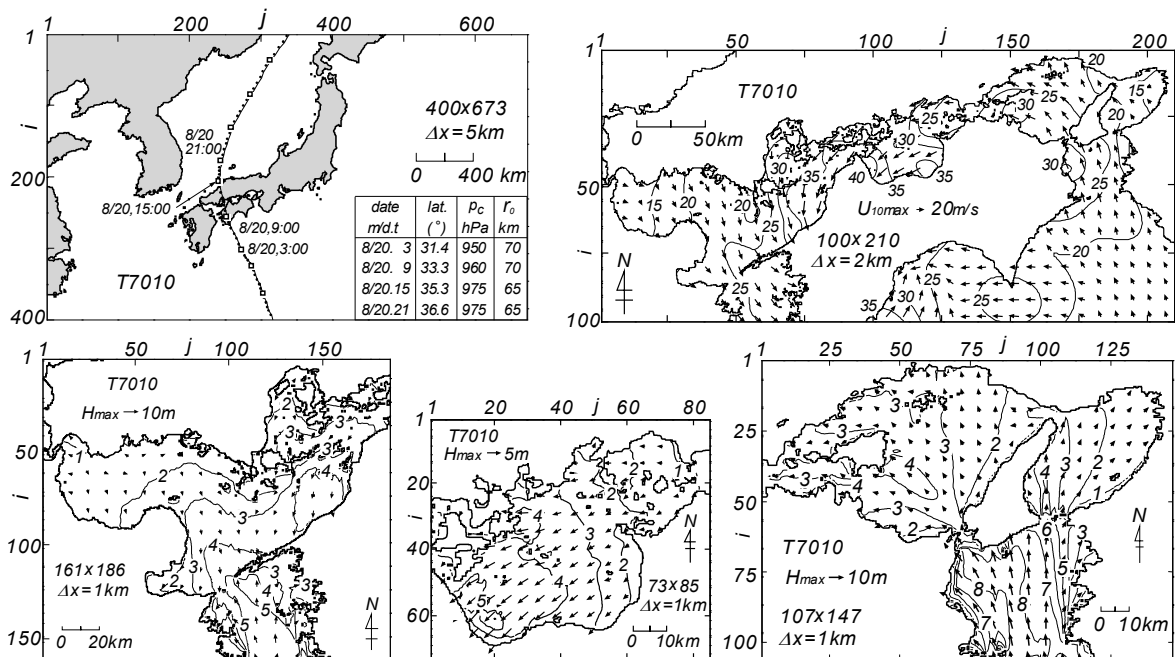


Fig. 28 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in the Seto Inland Sea generated by T7010.

した。死者・行方不明者は 27 名，家屋被害 48,700 棟，浸水被害 60,000 棟，船舶被害 1,721 隻に達する。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風が高知県南部に位置する中村市近くの佐賀町から松山，呉へと通過したことから，西部海域では NE~NW 方向の強風が吹送した。すなわち，今治付近を中心として同心円上に斎灘，安芸灘東部，伊予灘東部は 35 m/s 風速域に入り，ついで安芸灘全域や伊予灘中部，豊後水道の東側が 25 m/s 風速域に入る。周防灘の中部から伊予灘西部，別府湾，豊後水道の西側が 20 m/s 域，周防灘中部と西部が 20 m/s 以下の風域となっている。風向は斎灘・安芸灘の NE から西あるいは南にいくにつれて反時計方向に N を経て NW に変化する。

中部海域では風速は北東部の 25 m/s 弱から南西部の 40 m/s に増大し，NE~ESE 方向の強風が吹送している。30 m/s を越す暴風域が北東部を除く大部分の海域で現われる。東部海域では四国東部を中心に同心円状に風速が小さくなる。すなわち，紀伊水道西部から播磨灘南部（風向 SSE~ESE）が 25 m/s 以上の強風域に入り，局所的に 30 m/s を越える。ついで，紀伊水道南部を除く海域，大阪湾南部，播磨灘が 20 m/s 以上の風域に入り，大阪湾の中部から北部で 15 m/s 弱から 20 m/s 域になる。風向は紀伊水道の SSE 方向から大阪湾・播磨灘の E 方向に反時計まわりに若干変化する。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では 6 m 波高域は豊後水道の境界付近にみられるのみで，5 m 波高域が豊予海峡に到達する。波向は SSW から SE 寄りに変化する。内海では波高が周防灘から豊予海峡に向けて 5 m に大きくなり，5 m に達する。波向は NNW をとるが，豊予海峡にごく近い豊後水道内で外洋から伝播した波浪との重ね合せの影響が現われる結果，波向は NNW（内海発生波浪）と SSE（外洋波浪）の中間の方向である ENE をとる海域も見出される。また，伊予灘東部ではそこでの強風により，波向が NNE から N で波高が 4.5 m に及ぶ高波高場が形成されている。

中部海域では波高は北東部から南西部に向けて SW 方向に増加し，波高の最大値は 5 m を越える。

波向はNEである。これはもちろん 35 m/s から 40 m/s に達する NE 方向の強風の吹送による。T7010 号時には、燧灘南西海域で記録的な高波高が発生したと推測される。

東部海域では紀伊水道から外洋波浪が入射し、大阪湾で友ヶ島水道から N~NW 方向に、播磨灘で鳴門海峡付近から SE 方向に波浪が伝播するという S 寄りの強風が吹送した場合の典型的な波高の空間分布パターンが再現される。紀伊水道で 8 m 波高域が淡路島南岸に達するとともに、7 m 波高域がほとんどを占める。大阪湾で湾口から 4 m 等波高線が伸び、2 m 等波高線が神戸付近に達する。要するに、湾内での波高はあまり大きくない。播磨灘でそれぞれ 2 m と 3 m の等波高線が鳴門海峡付近から放射状に拡がり、小豆島南東側海域に 4 m 波高域が出現する。播磨灘における波高はある程度の大きさをもつが、最大級の値をとらない。しかし、播磨灘の西端海域（高松の沖合）では、その相対的な狭小さにもかかわらず、波高は 3 m とかなり高い値を示す。ただし、計算格子網の地形解像度は 1 km であるので、波高が過大評価の傾向にあるのは否めない。

5. 風速・波高の極値の空間分布

5.1 風速の極値

Fig. 29 は 1961~2005 年の各ストーム(台風と低気圧, 季節風) 時最大風速資料から抽出した 45 年間の期間最大 (10 m 高度) 風速 U_{max}^{61-05} の空間分布を示す。記号における上側の添字は資料期間 (1961~2005 年), 下側の添字は期間最大値を表す。これによると、外洋部では室戸岬周辺に 45 m/s 域が出現する。西部海域では豊後水道で 30 m/s 前後、内海で豊予海峡から伊予灘中部・東部や斎灘、安芸灘・広島湾、周防灘北部で

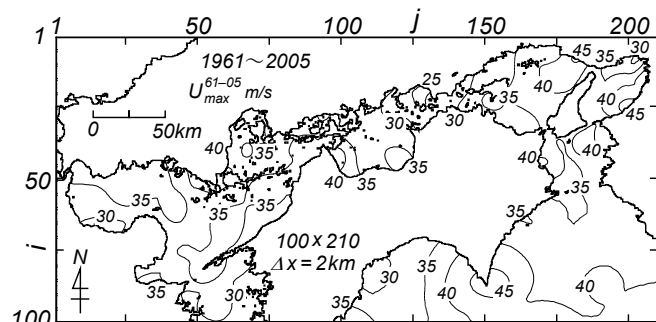


Fig. 29 Largest wind speed U_{max}^{61-05} in the Seto Inland Sea during the period of 1961 - 2005.

35 m/s 域がみられる。それ以外の海域ではおおむね風速は 30~35 m/s の範囲にある。

中部海域では燧灘西側の今治周辺海域に 40 m/s 風速域が、燧灘東側の川之江付近に 35 m/s 域がみられ、他の海域では風速は 30~35 m/s の範囲にある。東部海域では 40 m/s 風速域が紀伊水道南部と友ヶ島水道付近、小松島付近、大阪湾東部、播磨灘北東部にみられ、大阪湾東部では T6118 号 (第 2 室戸台風) 時に生じた 45 m/s 域も見出される。また 35 m/s 域がほぼ全域を覆う。ただし、備讃瀬戸では風速は 30 m/s に達しない。

Fig. 30 は 1961~2005 年 45 年間の年別最大風速資料に対する極値統計解析 ($K=N_T=N=45$, $\nu=1$) から得た 50 年確率風速 $U_{50(i)}^{61-05}$ とその変動係数 $U_{\sigma 50(i)}^{61-05}/U_{50(i)}^{61-05}$ の % 値を瀬戸内海全域について示す。ここに、下側の最初の添字は再現期間、括弧内の数字は資料採択率、 σ は標準偏差を表す。50 年確率風速は西部海域では豊後水道で 30 m/s 前後、内海のうち豊後水道から対岸の山口県沿岸に至る海域で 35 m/s, 佐田岬先端で 40 m/s となっており、その他の海域では 30~35 m/s の範囲に入る。中部海域でも燧灘西部や東部の一部における 35 m/s 域を除いて 30~35 m/s の範囲にあり、備讃瀬戸で 30 m/s 以下をとる。東部海域では 50 年確率風速は室戸岬周辺で 40 m/s, 紀伊水道で 35 m/s, 紀伊水道北部から大阪湾で 35~40 m/s を与えるし、播磨灘北東部も 35 m/s 域に入る。大阪湾東部で 40 m/s を上まわる一方、播磨灘南西側で 30~35 m/s の範囲をとり、局所的に 30 m/s 以下を示す。

変動係数は 4~14 % を与え、50 年確率風速の大きい海域で大きくなる傾向にある。紀伊水道南部、大阪湾北東部、播磨灘北東部、斎灘南部と燧灘西部で、変動係数は 10 % を越える。

Table 4 は推算資料と観測資料より得た年別最大風速資料に対する極値統計解析の結果、すなわち相関係数 ρ_U 、50 年確率風速 U_{50} とその標準偏差 $U_{\sigma 50}$ を解析条件（資料の種類、資料期間、資料年数 K 、採択資料数 N ）とともに示す。資料期間は 1961～2005 年の 45 年間と観測資料期間の 2 種類を与える。観測風速は 1/7 乗則により推算風速と同じ 10 m 高度風速に変換している。これによると、資料期間を観測資料期間に合わせた場合の推算資料に基づく 50 年確率風速（推算値）は苅田、神戸で観測資料に基づく 50 年確率風速（観測値）とよく符合するが、大分と MT 局では推算値が観測値と比べてかなり大きい。これは陸上観測地点の SDP 風速を海上観測地点の観測相当風速に変換した際の過大評価の可能性のほか、観測資料における最強風時風速の欠測や 1～2 時間という観測時間間隔によると推測される。また、2 種類の推算値を比べると、資料期間の伸長に伴い、苅田と大分では推算値および標準偏差がともに小さくなる。これは資料の伸長期間において最上位値級の強風が生じていないことを表す。一方、神戸と MT 局では推算値および標準偏差ともに両者がかなり大きくなる。これは 1960 年代前半の巨大台風（T6118 号（第 2 室戸台風）、T6420 号、T6523 号）による最上位値級の風速の影響を表す。

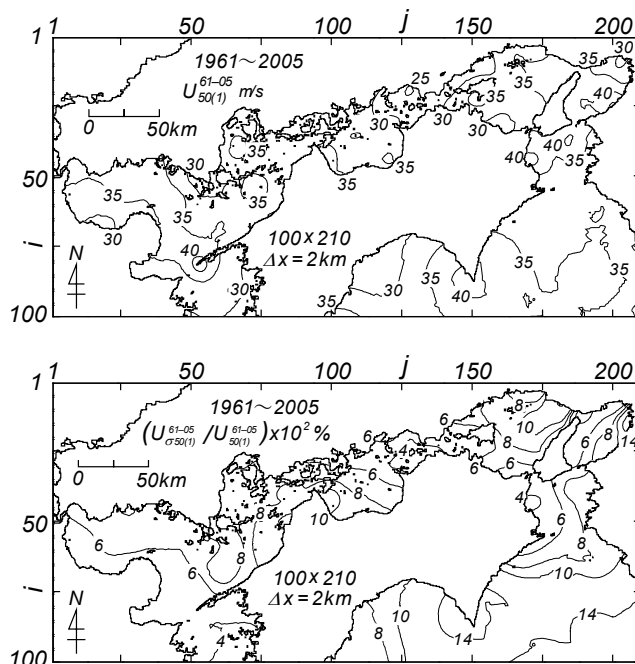


Fig. 30 50-year return wind speed $U_{50(l)}^{61-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $U_{\sigma 50(l)}^{61-05}$ divided by 50-year return wind speed) $(U_{\sigma 50(l)}^{61-05} / U_{50(l)}^{61-05}) \times 10^2$ in the Seto Inland Sea estimated using the annual maximum data during the period of 1961 - 2005.

Table 4 Comparison of 50-year return wind speed U_{50} and its standard deviation $U_{\sigma 50}$ estimated from data samples of annual maximum wind speed based on hindcasts and measurements in the Seto Inland Sea.

location	data	period	K yrs.	N	ρ_U	U_{50} m/s	$U_{\sigma 50}$ m/s
Kanda	cal.	61-05	45	45	0.987	33.6	1.5
	cal.	91-05	25	25	0.983	34.3	2.1
	obs.	91-06	26	25	0.980	33.4	3.3
Oita	cal.	61-05	45	45	0.992	34.6	1.7
	cal.	87-05	19	19	0.985	37.9	2.8
	obs.	87-06	20	20	0.990	31.7	1.9
Kobe	cal.	61-05	45	45	0.982	31.1	1.7
	cal.	82-05	24	24	0.991	25.5	0.8
	obs.	82-05	24	22	0.992	26.0	1.4
MT st.	cal.	61-05	45	45	0.985	43.6	4.1
	cal.	79-05	27	27	0.987	36.2	3.2
	obs.	79-05	27	27	0.993	28.1	1.1

5.2 波高の極値

Fig. 31 は 1961~2005 年 45 年間の期間最大波高 H_{max}^{61-05} の空間分布を瀬戸内海の西部，中部，東部の 3 海域について示す。期間最大波高は西部海域では豊後水道の境界で 11 m をとり，10 m 等波高線が佐田岬沿岸に，9 m 等波高線が豊予海峡に到達する。内海では 8 m 等波高線が豊予海峡から国東半島北東部に延び，7 m 等波高線が山口県下松付近の沖合に，6 m 等波高線が山口県沿岸に達する。周防灘では西側に向けて 4 m 等波高線が延び，3 m 等波高線がほぼ全域を覆う。伊予灘では 4 m 等波高線がほぼ全域に拡がり，4.5 m 等波高線も東部にみられる。斎灘や安芸灘には波高 3 m の等波高線が現われる。別府湾では沿岸部で 4.5 m，湾奥で 4 m をとる。

中部海域では水島灘で 2.5 m 波高域，備後灘の北部で 3 m 波高域，燧灘東部に 3.5~4 m の波高域が，西部に T7010 号時に出現した 5 m の波高域が見出される。東部海域では紀伊水道境界で波高 15 m，水道の奥で 10 m をとり，10 m 波高域が広い範囲を占める。大阪湾では 6 m 波高域が湾口から N 方向に向けて対岸の須磨方面に近づき，5 m 等波高線が神戸より東側に延びて湾の半分を，4 m 波高域がほぼ湾全体に拡がる。播磨灘では鳴門海峡付近から 4 m 等波高線が放射状に家島を越えた海域にまで拡がり，小豆島南側では T6523 号時に伴う 5 m 波高域も見出される。

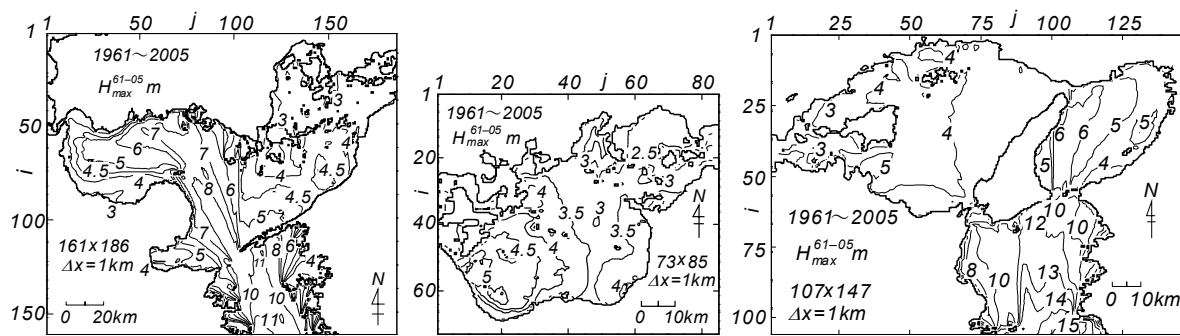


Fig. 31 Largest wave height H_{max}^{61-05} in three areas of the Seto Inland Sea during the period of 1961 - 2005.

Fig. 32 は 1961~2005 年 45 年間の年別最大波高資料に対する極値統計解析 ($K=N_T=N=45$, $\nu=1$) から得た 50 年確率波高 $H_{50(l)}^{61-05}$ とその変動係数の $H_{\sigma 50(l)}^{61-05}/H_{50(l)}^{61-05}$ の % 値の空間分布を表す。50 年確率波高は西部海域では豊後水道境界と佐田岬沿岸の沖合で 11 m をとり，10 m 波高域が佐田岬沿岸に，9 m 波高域が豊予海峡に達する。豊予海峡から 8 m 域が国東半島東側の沖合に延び，7 m 波高域が山口県下松沖合に，6 m 波高域が山口県沿岸に達する。周防灘では西部奥に 4 m 域が拡がり，3 m 域がほぼ全域を覆う。伊予灘では 4 m 域が広い範囲に分布し，4.5 m 域も局所的にみられる。斎灘や安芸灘では 3 m 域，広島湾で 2 m 域が出現する。別府湾では沿岸部全体に 4 m 域が拡がり，豊予海峡に近い東側では 4.5 m もみられる。中部海域では水島灘と備後灘北部で 2.5 m 波高域があり，備後灘南部で波高は 3 m を越える。燧灘東部の沿岸に波高 3.5 m を越える海域が，燧灘西部の沖合に 4 m を越える海域が広い範囲にみられ，局所的に 4.5 m に達する。東部海域では波高は紀伊水道境界で 14 m，友ヶ島水道入口付近や鳴門海峡入口付近で 10 m をとり，10 m 域がほぼ紀伊水道全体を占める。大阪湾では 6 m 等波高線が淡路島北側まで，5 m 等波高線が神戸まで延び，4 m 波高域がほぼ湾全体を覆う。播磨灘では 4 m 波高域が鳴門海峡付近から NW 方向に放射状に拡がり，小豆島周辺から家島周辺を越えた広い範囲に及ぶ。小豆島の西側半分の海域は 3 m 域に入る。

変動係数は西部海域で 3~10%，中部海域で 3~14%，東部海域で 4~14% をとり，とくに西部海域では周防灘東部や斎灘，安芸灘，中部海域では燧灘西部，東部海域では紀伊水道，大阪湾，播磨灘の

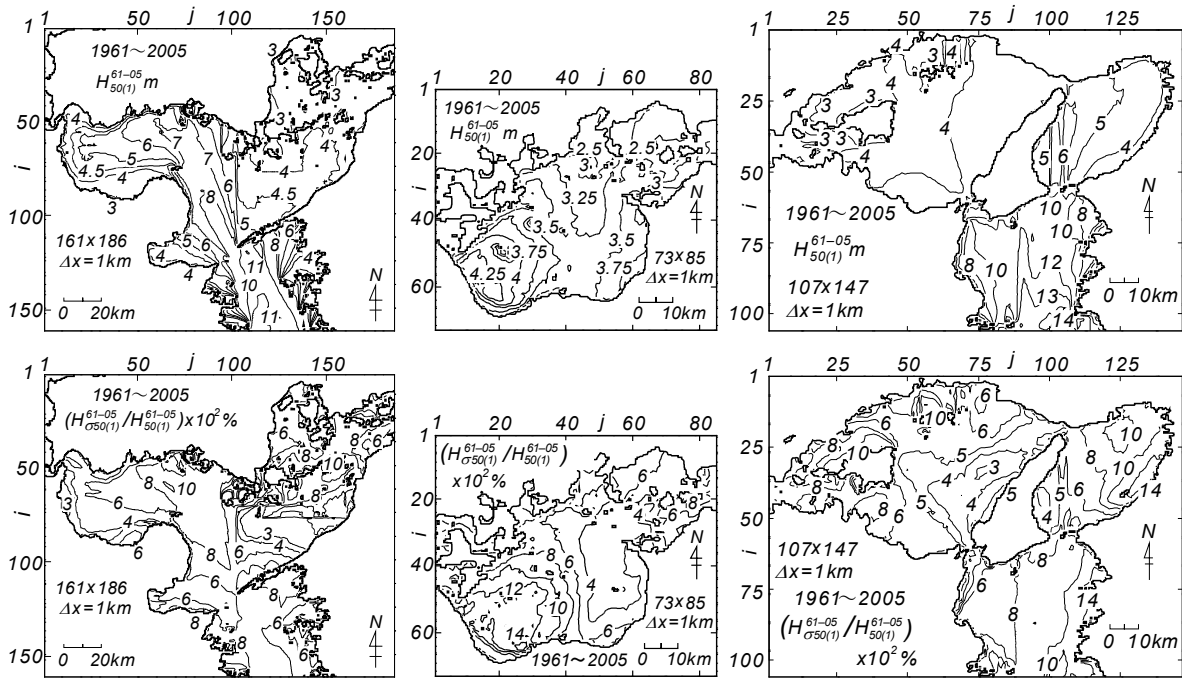


Fig. 32 50-year return wave height $H_{50(1)}^{61-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $H_{\sigma 50(1)}^{61-05}$ divided by 50-year return wave height) $(H_{\sigma 50(1)}^{61-05}/H_{50(1)}^{61-05}) \times 10^2$ in three areas of the Seto Inland Sea estimated using the annual maximum data during the period of 1961 - 2005.

うち小豆島と家島の北西側や南西側・南側で大きい。

Table 5 は推算資料と観測資料より得た年別最大波高資料に対する極値統計解析に基づく 50 年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}$ を相関係数 ρ_H および解析条件とともに示す。推算資料に基づく 50 年確率波高 (推算値) は 45 年間 (1961~2005 年) と観測資料期間の 2 種類の資料について与える。神戸では推算値は観測資料より得た 50 年確率波高 (観測値) とほぼ符合し、大分と MT 局では推算値は観測値と比較的近い値をもつ。しかし、苅田では推算値が観測値よりかなり大きい。これは観測資料期間における最上位値級の波高の欠測によると推測される。また、2 種類の資料期間に対する推算値

Table 5 Comparison of 50-year return wave height H_{50} and its standard deviation $H_{\sigma 50}$ estimated from data samples of annual maximum wave height based on hindcasts and measurements in the Seto Inland Sea.

location	data	period	K yrs.	N	ρ_H	H_{50} m	$H_{\sigma 50}$ m
Kanda	cal.	61-05	45	45	0.994	4.67	0.18
	cal.	80-05	26	26	0.981	4.61	0.20
	obs.	80-06	27	27	0.968	4.04	0.40
Oita	cal.	61-05	45	45	0.997	4.17	0.30
	cal.	87-05	19	19	0.992	4.70	0.52
	obs.	87-06	20	20	0.998	5.18	0.87
Kobe	cal.	61-05	45	45	0.990	4.35	0.41
	cal.	75-05	31	31	0.982	3.79	0.26
	obs.	75-05	31	29	0.987	3.83	0.31
MT st.	cal.	61-05	45	45	0.993	3.83	0.31
	cal.	78-05	28	28	0.985	3.14	0.19
	obs.	78-05	28	28	0.994	3.41	0.22

をみると、苅田では両者にあまり差はない。また、神戸と MT 局では 45 年間資料の推算値が観測期間資料の推算値に比べて有意な程度に増大し、大分では減少する。資料期間の伸長に伴う推算値の増大は、伸長期間において最上位値級とこれに近い値が出現したことによる。この場合には標準偏差も増加する。一方、大分における推算値の減少は伸長期間の間に最上位値級の値が生じていないことによる。この結果は資料期間の伸長に伴う標準偏差の減少に反映される。逆に言えば、大分における観測資料のように、短い資料期間の間に突出した最上位値がいくつか生じると、観測値（50 年確率波高）が大きく評価され、同時に標準偏差も大きくなる。こうした観点でみれば、苅田では資料の伸長期間において最上位値付近に位置する年別最大値は生じていないと考えられる。

6. 結 語

本研究では SDP 風資料より得た 1961～2005 年の 200 ケース前後のストーム時海上風分布の推算資料とこれを入力条件とする瀬戸内海 3 海域の波浪推算資料および海上風・波高観測資料を用いて海上風速・風向および波高の推算精度を詳細に検討するとともに、代表的な台風時における最大風速・最大波高の空間分布、さらに風速と波高の 45 年間の期間最大値および 50 年再現確率値の空間分布の特徴を議論した。得られた結果はつぎのように要約される。

①個々の観測地点における海上風、沿岸風および波高に対する推算値と観測値はそれぞれ多少の乖離を伴うけれども、全般的には比較的良好に対応する。ただし、東部海域の紀伊水道内にある観測地点では波高に対する推算値はやや過大な値を与える傾向にあるのは否めない。

②海上風、沿岸風推算と波浪推算の比較的高い精度は、個々のストーム時の風速・風向および波高時系列に対して導かれた各 3～4 種類の誤差指標の頻度分布が統計的に有意な特性をもつことによつて支持される。また、個々のストーム時の最大風速および最大波高の空間分布も全般的にある程度以上の推定精度をもつと推論される。

③代表的な台風時に得た最大風速および最大波高の空間分布は台風の経路と台風勢力に相応した合理的な挙動を示す。

④風速および波高に関する期間最大値（1961 年以降の 45 年間）および 50 年再現確率値は強い海域依存性を伴うが、それらの海域における最大値は風速に関して外洋部で 45 m/s、内海部で 40 m/s、波高に関して外洋部で 14～15 m、内海部のうち内海発生波浪が卓越する海域で 6 m と推測される。もちろん、外洋波浪が伝播する内海部のうち波高が 6 m より大きい海域もあるのは言うまでもない。

参 考 文 献

- [1] 合田良実・永井康平：大阪湾における台風時波浪の数値計算，第 16 回海岸工学講演会講演集，pp.75-84，1969.
- [2] 国土交通省四国地方整備局高松港湾空港技術調査事務所：確率沖波推算システム，CD-ROM，2005.
- [3] 山口正隆・畑田佳男・野中浩一・大福 学・小出健太郎：瀬戸内海西部海域における高潮・波高の極値の推定，海岸工学論文集，第 49 巻，pp.256-260，2002.
- [4] 山口正隆・野中浩一・畑田佳男・大福 学・増田 真慈：燧灘および播磨灘における台風時波高の極値の推定，海岸工学論文集，第 51 巻，pp.171-175，2004.
- [5] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.B2-65，No.1，pp.186-190，2009.

- [6] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男：SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性，工学ジャーナル（愛媛大学），第9巻，pp.1-13，2010.
- [7] 畑田佳男・山口正隆・野中浩一・大福 学：瀬戸内海における波浪推算に基づく確率波高の推定，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 66, No. 1, pp. 126-130, 2010.
- [8] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における波浪の長期推算システムの適用性，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.66, No.1, pp.151-155, 2010.
- [9] Yamaguchi, M. and Y. Hatada : An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp.932-946, 1997.
- [10] 合田良實：[増補改訂] 港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—，11.極値統計解析，鹿島出版会，pp.267-326，1990.
- [11] （財）日本気象協会：1940～1970 台風経路図 30 年集，日本気象協会，139p., 1973.
- [12] 和達清夫監修：新版気象の事典，気象災害年表，東京堂出版，pp.584-616，1989.
- [13] 力武常次・竹田 厚（監）：日本の自然災害，国会資料編纂会，637p.，1999.

瀬戸内海における風速・波高の再現確率値の再評価

Re-Evaluation for Return Values of Wind Speeds and Wave Heights in the Seto Inland Sea

山口正隆*・畑田佳男**・大福 学***・野中浩一***

Masataka YAMAGUCHI*, Yoshio HATADA**,
Manabu OHFUKU*** and Hirokazu NONAKA***

Applying a method developed by Yamaguchi et al.(2009) to the wind data acquired at land stations located around the Seto Inland Sea, sea wind distributions in the concerned sea area are estimated for each of the 14 strong typhoons in the 1933-1960 year period, and the wave height distributions in 3 areas of the Sea are calculated on the basis of shallow water wave hindcastings for each typhoon driven by the above-mentioned wind conditions. Then, combining these hindcastings with the data samples of wind speed and wave height during the 1918-2005 year period estimated in our previous study, the largest value during the 1918-2005 year period and 100-year return value for any of wind speed and wave height are re-evaluated in the Seto Inland Sea. Main conclusions are that the spatial distributions of winds and waves are well-documented by the typhoon's characteristics such as its course and power and that some of the powerful typhoons during the 1918-1960 year period reinforced by the 14 typhoons in this study may have brought about the largest value of wind speed or wave height during the 1918-2005 year period in most areas of the Sea.

Key Words ; the Seto Inland Sea, wind speed, wave height, strong typhoons, year periods of 1933-1960 and 1918-2005, largest values and return values

1. 緒 言

東京湾や伊勢湾と同様に、人口、資産、産業が集中する瀬戸内海において高潮のみならず風や波浪の極値を適正に評価することは、その沿岸部の防災対策にとって非常に重要な課題である。畑田ら^[1]は瀬戸内海を囲むように位置する気象官署において観測風資料が得られるかぎりの古い時代から現在に至る異常ストーム（主として台風）時の風および波浪を計算し、それらの極値を推定してきた。しかし、膨大な作業の手間を考慮して、1960年以前の台風に対しては過去に重大な災害を引き起こした

*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

**愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

***愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成23年10月5日

台風に限定せざるを得なかった。そのため、風速と波高の極値統計解析において資料採択率を年別最大値資料の上位 1/3 として、上位値に含まれるべき資料が欠落しないように細心の注意を払ったが、1960 年以前の資料において上位 1/3 に入るべき資料を見落している可能性を必ずしも否定できない。

そこで本研究では、瀬戸内海において過去の災害関連記録などを再調査して新たに抽出した 1933～1960 年の 14 ケースの台風に対して風および波浪の推算を行い、すでに畑田ら^[1]の研究で使用済みであるが、個々の結果を提示していない台風 (T) 6118 号 (第 2 室戸台風), T6420 号, T6523 号の 3 ケースの台風と併せた 17 ケースの台風について台風経路、風および波浪の特性を検討する。ついで、1933～1960 年 14 ケースの台風別最大値資料と畑田ら^[1]による 1918～2005 年の年別最大値資料を併せて再作成した 1918～2005 年の年別最大値資料から 1918～2005 年 (88 年間) における風速と波高の期間最大値を求め、それらの特性を調べる。また、1933～2005 年 (73 年間) の年別最大値資料を用いて改めて極値統計解析を行い、風速と波高の再現確率値の特性を再検討する。

2. 台風時の波浪推算と極値統計解析の方法

2.1 海上風分布資料^[1]

波浪推算にあたり外洋と内海でそれぞれ対象台風時の海上風分布資料を用意する。まず、外洋では 1948 年以降の台風に対して、北西太平洋に設けた格子間隔 80 km の格子網における表面風再解析値 (NCEP 風資料) に楕円型気圧分布の仮定に基づく台風モデル風を組み込んだ海上風分布の 1 時間間隔値資料^[2]を用いる。NCEP 風資料を入手しえない 1947 年以前の台風に対しては、円型気圧分布 (Myers 式) の仮定に基づく台風モデル風を使用する。台風モデル風において傾度風速から海上風速への変換に際しては、台風半径相当距離地点で 1 をとり、遠方場で 0.6 に漸減する係数を乗じて台風中心付近の風速の増強をはかる。

ついで内海では、瀬戸内海周辺に位置する気象庁気象官署における SDP 風資料を主体として、そこでの海上風分布を比較的高い精度で推定する山口ら^[3]の方法を用いる。すなわち、Fig. 1 に×印 (佐田岬と土佐沖ノ島の 2 灯台を含む) で示したように、気象官署において取得された SDP 風資料 (10 分単位で表された日最大風速を含む) と外洋境界上 7 地点 (□印) における上述の楕円型気圧分布に基づく台風モデル風を組み込んだ表面風再解析 (NCEP 風) 資料^[2]の 10 分間隔直線補間値に空間補間法を適用して、海上観測地点 (●印) および沿岸観測地点 (○印) における SDP 補間風を推定したのち、これらの地点における SDP 風と観測風の回帰関係を利用して観測相当風に変換する。ついで、海上・沿岸観測地点の観測相当風と外洋境界地点上の台風モデル風を組み込んだ NCEP 風資料に空間補間法を 2 段階で適用して格子間隔 2 km の瀬戸内海における海上風分布を 10 分間隔で推定する。図中の△印は海上の風速を増強して、より適正な海上風分布を得るために設けた中間地点である。NCEP 風資料が存在しない 1947 年以前の台風については、外洋境界地点上の風として円型気圧分布に基づく台風モデル風を用いる。

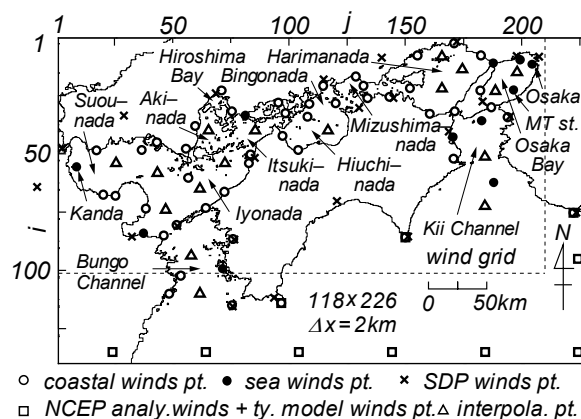


Fig. 1 Location of points where wind data are given in the Seto Inland Sea for estimating sea wind distribution.

2.2 波浪推算の方法^[1]

瀬戸内海における波浪推算は外洋を含めた大領域ならびに瀬戸内海を西部海域，中部海域，東部海域に分けた各海域の2段階で行う。まず，外洋を含む海域における波浪推算では，Fig. 2 に示す格子間隔 5 km の北西太平洋領域に格子間隔 0.5 km の瀬戸内海を組み込んだ高地形解像度 2 段階格子網において西部海域の豊後水道境界上 3 地点 (Fig. 2 の瀬戸内海領域図左下側の*印) および東部海域の紀伊水道境界上 4 地点 (Fig. 2 の瀬戸内海領域図右側中間位置の*印) に 1947 年以前では台風モデル風資料 (外洋) あるいは 1948 年以降では台風モデル風を組み込んだ NCEP 風資料 (外洋) と，SDP 風資料 (内海域) に基づく海上風分布を入力条件として 1 点浅海モデル^[4]により 1 時間ごとに方向スペクトルを計算する。周波数データの個数は 0.047 ~ 1 Hz を不等分割した 20 個，方向データの個数は 0~360° を 20° で等分割した 19 個である。

ついで，瀬戸内海の 3 海域における波浪推算は SDP 風資料より推定した 2.1 の海上風分布を入力条件として，水深の制約に伴う碎波減衰を段波モデルで近似した格子点浅海モデル^[5]により 2~3 日の台風期間について時間間隔 1 分で行う。Fig. 3 は瀬戸内海の 3 海域 (格子間隔 1 km) と灘・湾・水道・海峡の名称や波浪観測地点名 (●印) および沿岸の都市名や地区名 (○印) を示す。格子間隔 2 km の海上風分布の入力時間間隔は 10 分であり，空間に関して 1 km ごとに 4 点双 1 次補間したものを 10 分の間一定として計算を進める。周波数データおよび方向データの個数と値は外洋の場合と同じである。しかし，巨大台風時に S 方向から異常波浪が内海・内湾に伝播するケースでは，方向スペクトルの不連続的伝播 (Garden Sprinkler 効果) を避

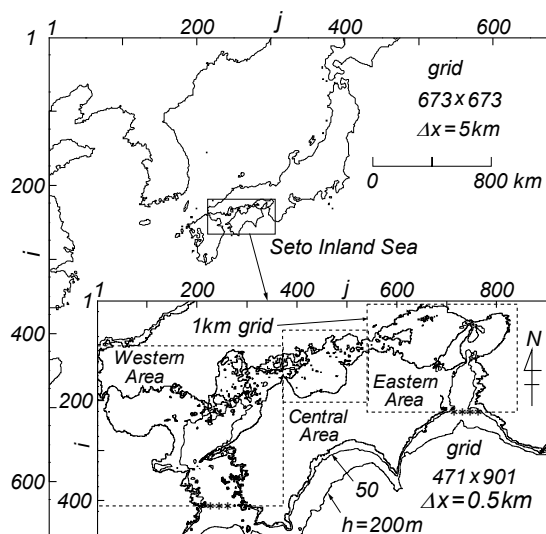


Fig. 2 A nested grid used in wave hindcasting based on backward ray tracing model.

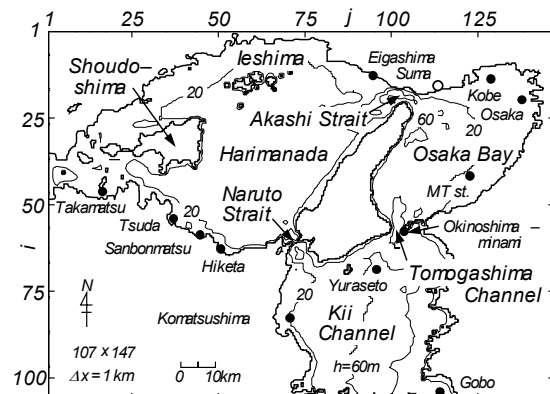
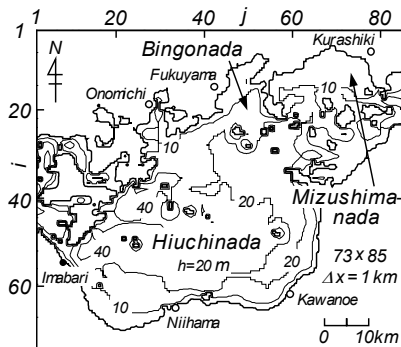
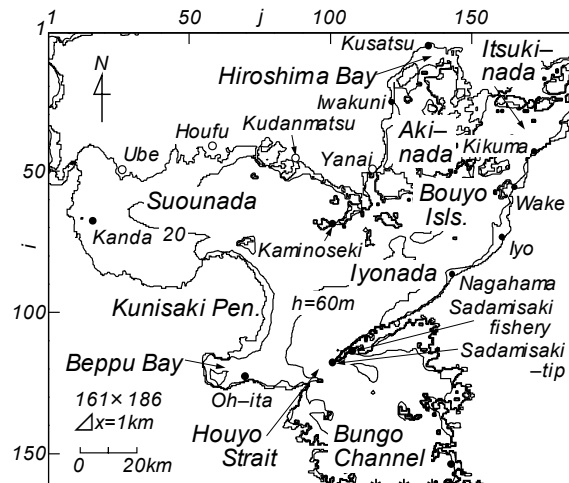


Fig. 3 Grids set on three areas of the Seto Inland Sea used in wave hindcasting and names of small sea area, bay, strait, channel, measurement station and city.

けるために、方向データの個数を増加させ、0~360°を10~20°で不等分割した24個（西部海域）または27個（東部海域）とする。

西部海域と東部海域の波浪推算では、豊後水道境界上3地点と紀伊水道境界上4地点で1点浅海モデル^[4]によって1時間ごとに計算した方向スペクトルの値を時間に関して1分、空間に関して1km間隔で線形補間したものを、さらに方向データが24または27の場合には20°間隔19個の方向スペクトルの値を方向に関して線形補間したものを与える。中部海域は周囲を陸地で囲まれた閉鎖海域と仮定する。

2.3 対象台風の選択

対象とする1960年以前の14ケースの台風は大阪をはじめとする各地の高潮の上位記録、中央気象台および気象庁による異常気象報告書と気象要覧、日本気象協会による台風経路図30年集^[6]、台風・高潮災害に係わる書物^{[7], [8], [9], [10]}、災害記事等を参照して抽出・選択している。

14ケースの台風は年代順にならべると、①T3310号（屋島丸台風）、②T3504号、③T3507号、④T4114号、⑤T4125号、⑥T4222号、⑦T4416号、⑧T4609号、⑨T5313号（テス台風）、⑩T5412号、⑪T5522号、⑫T5609号（バブス台風）、⑬T6011号、⑭T6016号、である。また、1960年代の巨大台風である⑮T6118号（第2室戸台風）、⑯T6420号、⑰T6523号に伴う風および波浪については、これまで個々に説明を加えていないので、今回改めてそれらの結果を与える。3台風に対する結果は10分間隔の風速・風向資料を用いて推定したものである。これらの資料の使用は時間間隔や日最大風速資料の取込みに関して高品質のSDP風資料の利用により、海上風の精度の向上が見込まれることによる。

Table 1は波浪推算を行った畑田ら^[1]による15ケースの台風と今回の17ケースの台風を併せた計

Table 1 List of name of wave-hindcasted typhoon and its day-period.

No. (1)	No. (2)	typhoon name	cal. period (m/d.t)	No. (1)	No. (2)	typhoon name	cal. period (m/d.t)
1		T18-Jul	7/11.18-7/12.18	17		T4902 ⁵⁾	6/20.18-6/21.18
2		T21-Sep	9/25.12-9/26.08	18		T5028 ⁶⁾	9/02.12-9/03.17
3	①	T3310 ¹⁾	10/19.02-10/21.22	19		T5029 ⁷⁾	9/13.14-9/14.10
4		T3412 ²⁾	9/20.14-9/21.12	20		T5115 ⁸⁾	10/14.10-10/15.10
5	②	T3504	7/27.02-7/29.18	21	⑨	T5313 ⁹⁾	9/24.00-9/25.23
6	③	T3507	9/23.15-9/25.15	22	⑩	T5412	9/13.03-9/14.12
7		T3706	9/10.18-9/11.18	23		T5415 ¹⁰⁾	9/25.12-9/26.15
8		T3805	9/05.00-9/05.18	24	⑪	T5522	9/29.00-9/30.21
9	④	T4114	8/14.06-8/16.06	25	⑫	T5609 ¹¹⁾	8/16.03-8/17.21
10	⑤	T4125	9/30.06-10/02.06	26		T5612 ¹²⁾	9/09.12-9/10.12
11		T4216 ³⁾	8/27.06-8/28.03	27		T5915 ¹³⁾	9/26.03-9/27.03
12	⑥	T4222	9/20.12-9/22.10	28	⑬	T6011	8/10.03-8/11.21
13		T4326	9/19.18-9/20.18	29	⑭	T6016	8/28.09-8/30.09
14	⑦	T4416	9/16.06-9/18.06	30	⑮	T6118 ¹⁴⁾	9/15.00-9/16.20
15		T4516 ⁴⁾	9/17.06-9/18.14	31	⑯	T6420	9/24.00-9/25.22
16	⑧	T4609	7/28.12-7/30.12	32	⑰	T6523	9/09.00-9/10.23

¹⁾Yashima-maru, ²⁾Muroto, ³⁾Suou-nada, ⁴⁾Makurazaki, ⁵⁾Della, ⁶⁾Jane, ⁷⁾Kezia.

32 ケースの台風番号と推算期間 (m : 月, d : 日, t : 時刻) の一覧を示す。番号欄は全ケースの通し番号 No.(1)と今回の推算における通し番号 No.(2)よりなる。また欄外には、特別の台風に対して気象庁により付与された名称あるいは英語表記の名前を与える。Fig. 4 は今回の 17 ケースの台風経路を 4 枚の図に分割して示す。

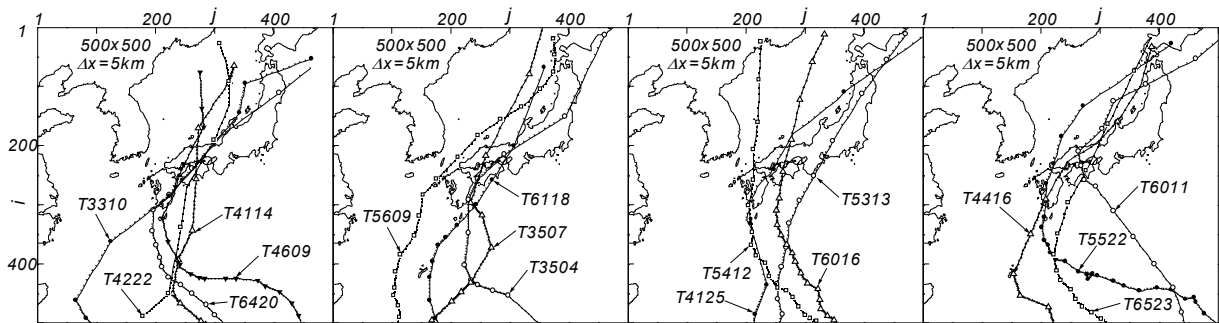


Fig. 4 Tracks of 17 typhoons used in wave hindcasting.

2.4 極値統計解析の方法^[1]

極値統計解析には、Gumbel 分布、Weibull 分布 (形状母数 $k=0.5\sim 10$ の 27 種類)、FT-II 型分布 (形状母数 $k=2.5\sim 40$ の 20 種類) の計 48 種類を候補分布とし、標本資料に対する非超過確率値の割当てを合田^[11]のプロットング公式、尺度母数と位置母数の推定を最小 2 乗法、最適分布の選択を最大相関係数基準、再現確率値の分散 (平方根は標準偏差) の推定を jackknife 法による Yamaguchi・Hatada^[12] のモデルを用いる。本研究では、1960 年以前の対象台風ケース数が少ないことおよび対象台風は巨大台風を中心に選択されていることを考慮して、畑田ら^[1]と同様に資料採択率 γ を年別最大値資料の上位 1/3 に設定する。

3. 個々の台風時の台風経路・風・波浪特性

ここでは、1960 年以前の 14 ケースの台風と 1961~1965 年の 3 ケースの巨大台風 (T6118 号, T6420 号, T6523 号) について台風経路図 (12 時間あるいは 6 時間ごとの台風属性, すなわち日時, 台風中心の緯度 ϕ , 中心気圧 p_c , 台風半径 r_0 の数表を含む), 瀬戸内海全域における台風別最大風速・風向の空間分布図, 瀬戸内海の 3 海域における台風別最大波高・波向の空間分布図を台風の時期順に Fig. 5 ~ Fig. 21 に与える。各台風に関する図の構成は同じであるので, 図の表題の説明を省略する。

(1) T3310 号 (屋島丸台風) (Fig. 5)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [7], [8], [9]}

1933 年 (昭和 8 年) 10 月 11 日ヤップ島の南で発生した熱帯低気圧が台風に発達, NW 方向に進行して, 19 日朝石垣島に接近した。中心気圧は大体 945 hPa である。ついで向きを NE 方向に変えて急速に進み, 20 日 4 時頃九州南端をかすめ, 豊後水道を横切って四国地方を斜めに直進, 12 時頃兵庫県相生市付近に再上陸し, 14 時頃若狭湾に出た。最低観測気圧は宇和島で 980.2 hPa, 松山で 980.6 hPa, 岡山で 982.6 hPa, 洲本で 983.1 hPa, 大阪で 985.6 hPa であり, 上陸後も台風経路に近いそれぞれの地点で比較的低い気圧が記録されていることから, かなりの強風が吹送したと考えられる。この台風により 20 日 13 時 5 分, 神戸市須磨沖で屋島丸が沈没し, 66 名の死者がでた。台風に伴う全国の死者・行方不明者は 88 名, 家屋被害は 1,600 棟, 浸水被害は 3,100 棟, 船舶被害は 517 隻に達する。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は宇和島方面から高松方面に向けて NE 方向に移動したことから、風の場合は時間的に急激に変化し、風向は反時計方向に変わる。最大風速は佐田岬の周辺海域の 25 m/s から四方に向けて 20 m/s あるいは 15 m/s に減少し、周防灘西端では 10 m/s を示す。風向はおおむねは N 方向である。中部海域では 15 m/s 前後の値をとり、南側で 15 m/s より大きく、北東側で 15 m/s より小さい。風向は NW ~ W であり、北東側で E を示す。東部海域のうち播磨灘で 15m/s から 25 m/s 弱を与え、南側で大きい。風向は S ~ SE ~ E を示す。大阪湾では北側の 20 m/s 弱から南側の 30 m/s 弱に向けて増加する。風向は SSW である。紀伊水道では 25 ~ 30 m/s で室戸岬周辺海域や御坊沖、北部海域において局所的に 30 m/s を越える。

3) 最大波高・波向の空間分布

最大波高は西部海域では豊後水道内で入口の 4 m から豊予海峡南側の 3 m である。波向はおおむね S を示す。内海では北側の 1 ~ 2 m から SE 方向に伊予灘の一部の 4 m に向けて大きくなる。波向は NE を与える。全体として波高はあまり大きくない。中部海域では北側の 0.5 ~ 1 m から南側の 2 m に向けて増大する。波向は南東側で W 方向、南西側で E 方向に傾く。東部海域では、紀伊水道で 8 m 波高域が広範に拡がり、波高は東岸と西岸に向けて小さくなる。紀伊水道入口東側では 9 m 域も現われる。波向は SSW である。播磨灘で波高 3 m、波向 SE の海域が小豆島の東側にみられる程度で、波高はあまり大きくない。大阪湾では友ヶ島水道の波高 7 m が淡路島中部沖合で 6 m、対岸の須磨付近で 4 m に減じる。大阪湾湾岸の東半分も 3 m 域に入る。波向は湾口の S から湾奥の SW に変わる。屋島丸が沈没した須磨沖で、風速は 20 ~ 25 m/s、波高は 4 ~ 5 m に達したと推測される。

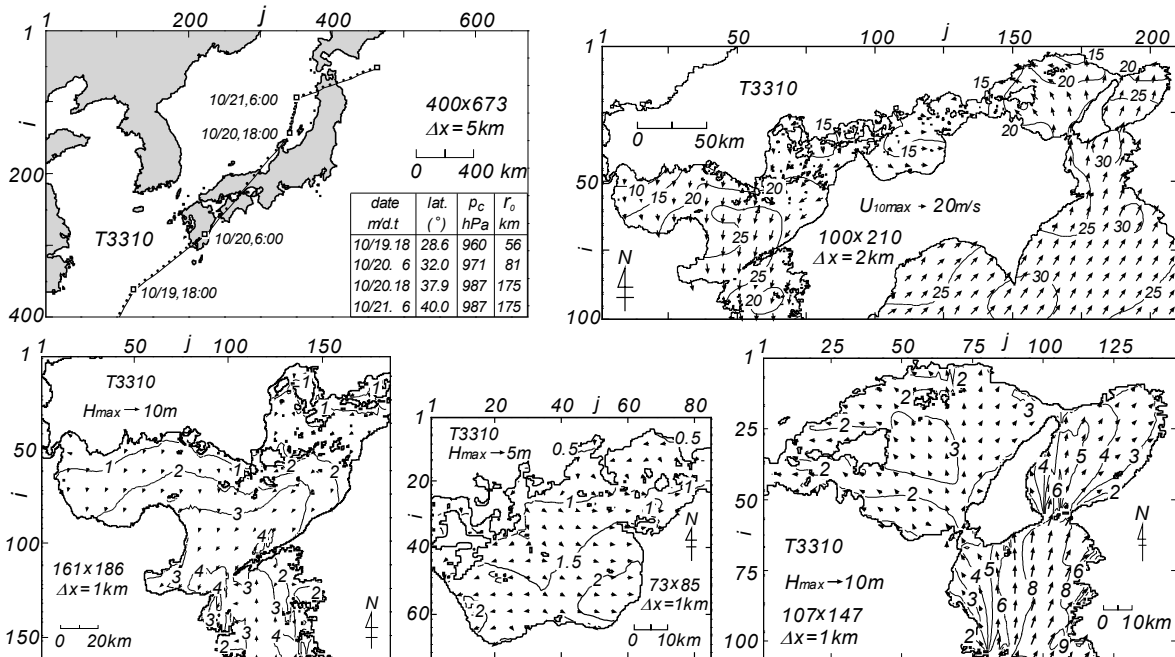


Fig. 5 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 3310.

(2) T3504 号 (Fig. 6)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [8], [9]}

1935 年 (昭和 10 年) 8 月 20 日朝マリアナ諸島の東に現われ、W 方向に進行、22 日夕刻から NW 方向に進路を変えて 25 日朝南大東島の東方海上、27 日朝に同島の北方海上に達した。27 日から進路

を NNW から N 方向をとり、27 日夜半に種子島の東 100 km 付近で中心気圧 957 hPa 程度を与えた。台風はその後 N 方向への進行を続け 28 日 15 時頃足摺岬付近を通過したのち、四国地方を NE 方向に進んで 29 日朝神戸付近に再上陸後、本州中央部を通過した。最低観測気圧は清水で 957.3 hPa、高知で 974.1 hPa、徳島で 980.7 hPa、神戸で 984.4 hPa とかなり低いが、風速そのものは中心気圧のわりに強くない。この台風に伴う豪雨によって高知県など各地で水害が発生し、土砂災害も生じた。全国の死者・行方不明者は 73 名、負傷者 98 名、家屋被害は 1,500 棟、浸水被害は 62,000 棟に達する。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は足摺岬付近に上陸後、比較的遅い速度で NE 方向に進行したことから、反時計まわりの渦状の風分布も同様の挙動を示す。最大風速は西部海域のうち豊後水道で 25 m/s 前後、周防灘で 15~25 m/s、伊予灘から安芸灘・広島湾で 25 m/s から 30 m/s 強である。風向は N 寄りの半平面内にあるものの、空間的な変化が著しい。中部海域では風速は 20 m/s から 25 m/s 強、風向は ENE~NNE をとり、西側で大きい。東部海域では播磨灘で 25 m/s 域が広い範囲を占める。風向は NNE~ESE である。大阪湾では 20 m/s 弱から 25 m/s、風向は E 寄りと W 寄りの混在状態、紀伊水道では 20 m/s から 25 m/s 強、風向は S 寄りである。

3) 最大波高・波向の空間分布

最大波高は、西部海域では豊後水道の境界で 6 m、豊予海峡で 5 m をとり、4 m 波高域が広い範囲を占める。波向は S~SSE である。内海では、周防灘の 2 m が伊予灘の 4 m に向けて増加し、伊予灘の中部沿岸（波向 NW）と豊予海峡（波向 NE）で 5 m に達する。別府湾の大分付近でも一部 5 m の波高域（波向 NE）がみられる。安芸灘・広島湾でも波高は 2 m から 3 m 以上になる。波向は N である。中部海域では北側（水島灘）の 1 m から SW 方向に増加し、燧灘の西側海域で 4 m（波向は NE）に達する。また燧灘の東側海域では、波高 2.5 m、波向 NW を与える。東部海域では紀伊水道の境界から 7 m の波高が入射し、6 m 波高域が北部に達する。波向は SSW から S である。紀伊水道内では波高 5 m 以上の海域がほぼ全域を占める。内海の播磨灘では 3 m 波高域が広い範囲を覆い、小豆島南側

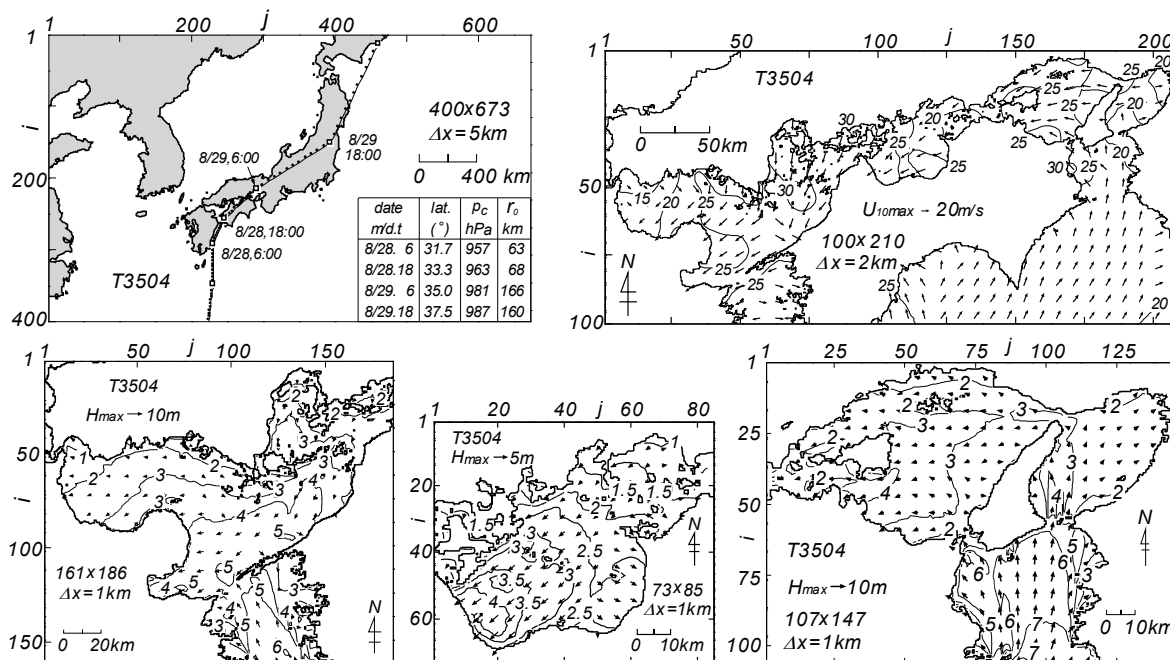


Fig. 6 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 3504.

で4 m域がみられる。波向はSEからNNEである。大阪湾では友ヶ島水道から波高5 mの波が入射し、対岸の須磨に3 mの等波高線が達する。大阪湾の中央から東側でも波高は2 mより大きい。波向がSからSW方向に傾くのは言うまでもない。

(3) T3507号 (Fig. 7)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [8], [9]}

1935年(昭和10年)9月16日サイパン島の北西200 kmの海上に現われた熱帯低気圧が発達しながら台風としてNWあるいはWNW方向に進み、18日沖ノ鳥島付近に達した。その後、21日にNW, NEに進行、22日夜南大東島付近を通過して23日夕刻九州の南南東400 kmの海上を進路NさらにNWに転じて24日12時頃宮崎沖からNNE~NEに進んで愛媛県、岡山県を通過し、25日早朝日本海に抜けた。最低観測気圧は宮崎で968.8 hPa, 大分で987.0 hPa, 松山で985.3 hPa, 徳島で986.4 hPaとかなり低い。この台風およびこれに関連する低気圧に伴う豪雨により、西日本各地のほか関東地方でも大水害が生じた。全国の死者・行方不明者は377名, 負傷者は276名, 家屋被害は3,400棟, 浸水被害は10万棟である。この台風とはほぼ同時期に関東地方から東北地方の沖合を北上した別の台風によって三陸沖で第四艦隊の大損傷事故が生じている。

2) 最大風速・風向の空間分布

最大風速は西部海域では豊後水道の20~25 m/s, 周防灘西側の15~25 m/sを除く広い海域で25 m/sを越え、伊予灘の東側で30 m/sを上まわる。風向はおおむねNWである。中部海域では東側の15 m/s弱(風向W)から西側の25 m/s強(風向NE~E)まで広範に変化する。東部海域では播磨灘西側で15~20 m/s(風向E~SSE), 東側で20~25 m/s(風向NE)とE方向に大きくなる。大阪湾では湾奥の15 m/sから湾口近くおよび明石海峡付近の25 m/sへSW方向およびW方向に増大する。風向は北側でE, 南側でNEをとる。紀伊水道では風速は20 m/sを上まわり、風向はSW~Sをとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

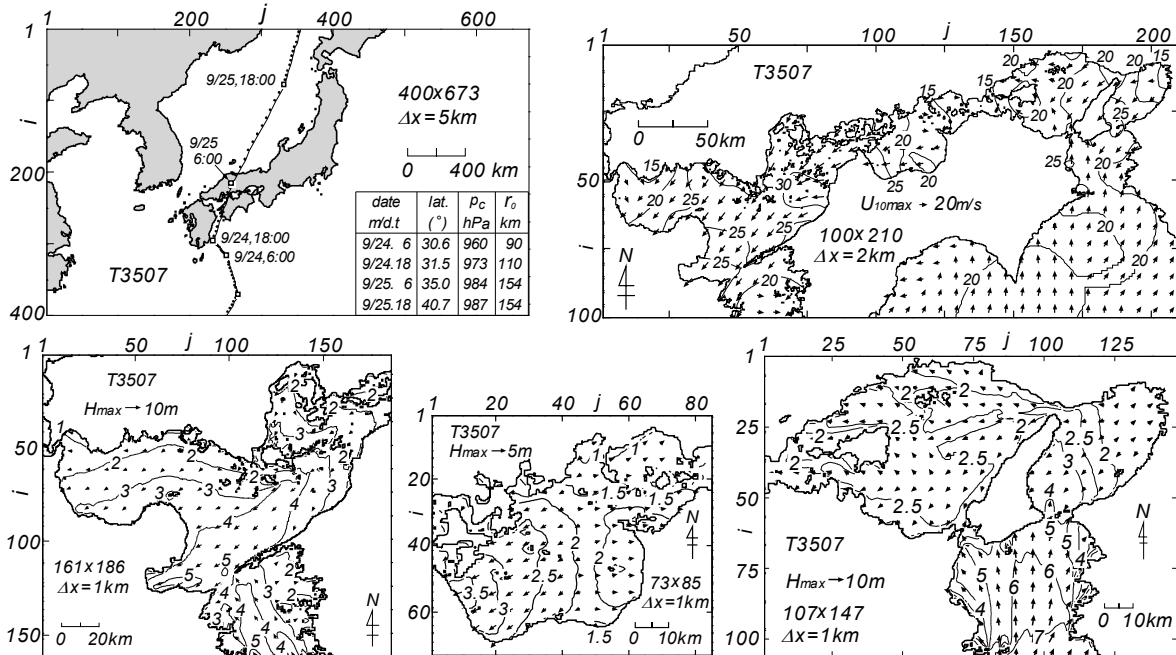


Fig. 7 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 3507.

最大波高は、西部海域では豊後水道境界で5mをとり、3m波高域が広範に広がる。波向はSEである。内海においては、伊予灘東部や周防灘の東西方向中央線の3mからSE方向あるいはS方向に大きくなって4mをはるかに越える。豊予海峡および別府湾の沿岸で5m以上に達する。波向はNEである。別府湾沿岸における5m以上の波高は既往最大級の値（T0423号時やT9313号時の値）^[1]を上まわる。これは風速20~25m/s、風向NEの強風が10時間近く吹続したことによる。中部海域では波高は南北方向中央線付近の2mを境に、西側海域で3.5m（波向ENE）にまで大きくなり、東側で2m強（波向W）の値をとる。東部海域では紀伊水道境界で7m、水道内の広い範囲で6mをとり、5m波高域が水道内のほぼ全域を覆う。波向はSを中心とする。内海の播磨灘では波高はせいぜい2.5mに過ぎない。大阪湾では友ヶ島水道から波高5mの波が入射するものの、波高3m以上、波向NEの内海発生波浪と重合する。大阪湾の中央から湾奥で波高は2m以下（波向NE）である。

(4) T4114号 (Fig. 8)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [9]}

1941年（昭和16年）8月3日ヤルート島の西方海上で台風として発現、WNW方向ついでNNW方向に進行したのち、13日頃からN方向に向きを変え、14日以降沖繩の東方海上からNNE方向に進んで15日6時前に室戸岬のすぐ西に上陸した。そこから四国を縦断、広島県と岡山県の間をN方向に進行して日本海に出たのちNE方向に進行した。この間、室戸岬で965.3hPa、多度津で965.8hPa、岡山で971.5hPaの最低気圧を観測している。台風通過中の中心気圧は960hPaから980hPaである。台風に伴う暴風と豪雨によって四国各県と岡山、兵庫、和歌山の各県で相当の被害がでた。死者・行方不明者55名、家屋被害1,300棟、浸水被害15,000棟、船舶被害260隻である。

2) 最大風速・風向の空間分布

四国中央を縦断した本台風時には反時計方向の風場が台風の進行とともにN方向に移動することから、中部海域における風速・風向の変化が著しい。風速は西部海域においては佐田岬付近から広島

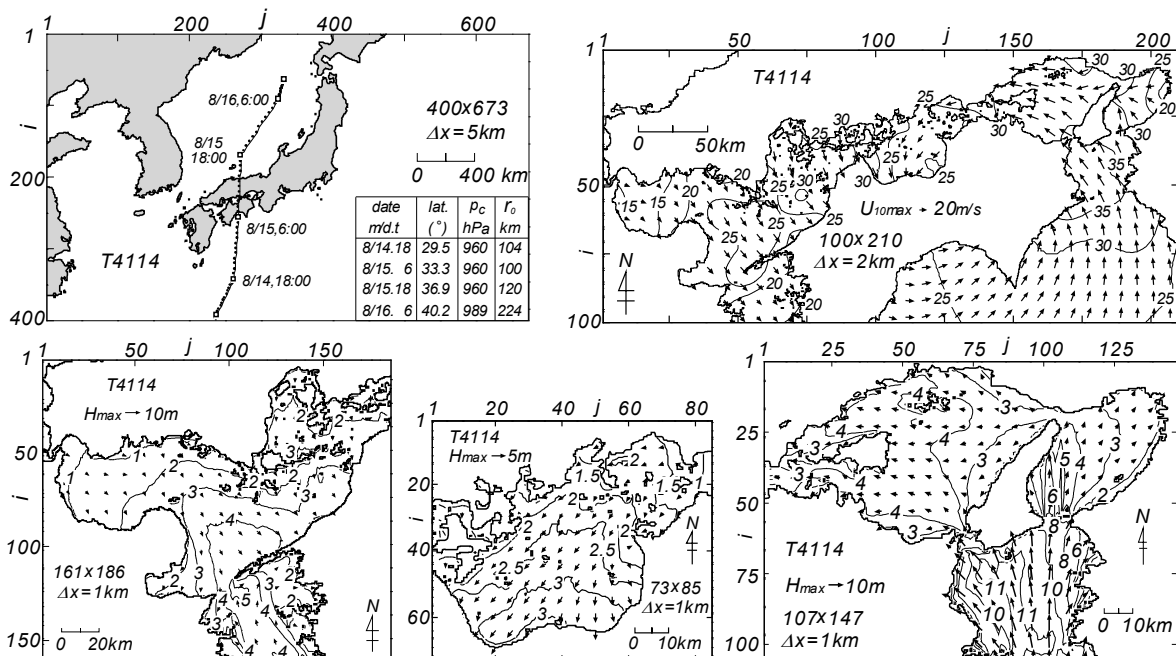


Fig. 8 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 4114.

湾・安芸灘に至る広い海域で 25 m/s を越える。風向は NW を主とし、広島湾で N 寄りをとる。豊後水道では風速 20 m/s 前後、風向 NW、周防灘では風速 15~25 m/s、風向 WNW~NW でやや低い。中部海域では風速は 20~30 m/s を与え、西側の今治方面では 30 m/s を上まわる。風向は N~NW である。東部海域では紀伊水道北西部から播磨灘の広い範囲で 30 m/s を優に越え、紀伊水道北西部では 35 m/s を上まわる。風向も SE から E 方向をとる。大阪湾では風速は 20 m/s から 30 m/s 強で、風向は ENE から SE あるいは SSE と北側から南側にかけて変化する。紀伊水道では南部の風速 25~30 m/s から北部・北西部の 35 m/s 強に向けて大きくなる。風向は SSE~SSW である。T4114 号時には紀伊水道北西部では 35 m/s、播磨灘の中央部にかけては 30 m/s を越える SE~ESE 方向のかなり強い風が吹送している。

3) 最大波高・波向の空間分布

本台風時には西部海域は逆風域に入ることから、豊後水道境界からの入射波高は小さく、内海では N 寄りの風が卓越する。すなわち、最大波高は豊後水道境界で 4 m、豊後水道内の主要部でも 4 m 強となっている。波向は SSE である。ただし、豊予海峡では 5 m 波高域が出現するが、波向からみてこれは内海発生波浪による。内海では波高は北西側から南東側に向けて増加し、海域中央で 3 m、伊予灘西部で 4 m、豊予海峡で 5 m に達する。波向は NW である。中部海域では波高は北側（備後灘）や北東側（水島灘）から増大し、南側の広い範囲で 3 m 以上をとる。波向は NE~NNW である。東部海域では紀伊水道境界から北西部に向けて 11 m 波高域が拡がり、10 m 域は紀伊水道をほとんど覆う。播磨灘では南東側海域から等波高線が放射状に拡がり、4 m の等波高線が広い範囲を占める。波向は主に SE であるが、北側では E 方向をとる。大阪湾では友ヶ島水道で波高は 8 m、淡路島北部沖合で波高は 4~5 m になる。湾中央部で 3 m の等波高線が南北方向に伸び、大阪湾の湾岸は 2 m 波高域に入る。波向は S から SW に変化する。

(5) T4125 号 (Fig. 9)

1) 台風特性と被害状況^{[6]. [8]. [9]}

1941 年（昭和 16 年）9 月 24 日日本のはるか南方のオロール島付近で発生、NW 方向に進行後、しだいに方向を N 方向に変え、9 月 30 日南大東島付近で中心気圧 960 hPa にまで発達した。その後も進路を N 方向にとって 10 月 1 日 11 時過ぎ鹿児島付近に上陸したのち、向きを NE 方向に転じ、宮崎県、大分県、佐田岬付近、広島県東部、鳥取県を通過して、日本海に抜けた。台風の中心気圧は上陸時で 960 hPa、佐田岬付近で 973 hPa、鳥取県通過時で 984 hPa で、最低観測気圧は宮崎で 970.6 hPa、大分で 972.5 hPa、広島で 980.5 hPa であるから、上陸後も強い勢力を保っている。台風経路にあたった大分、宮崎、福岡、広島、山口の各県を中心に豪雨に伴い大きな洪水災害が生じ、瀬戸内海では高波による被害がでた。死者・行方不明者 210 名、負傷者 169 名、家屋被害 6,500 棟、浸水被害 107,000 棟、船舶被害 320 隻となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

西部海域では最大風速は 20~25 m/s であり、大分、佐田岬、松山付近を通過した NE 方向への台風の進行に伴い、豊後水道と伊予灘における風の変化が著しい。風向は台風経路の南側で S 寄り、北側で N 寄りである。中部海域で風速 15~20 m/s、風向 SW~W を与える。東部海域では紀伊水道中央から北側および播磨灘南東側にかけて 30 m/s 域が拡がる。風向は SSE~SE である。大阪湾では風速は 20~25 m/s、風向は S~SSW を示し、紀伊水道では 25 m/s から 30 m/s 強の海域が大部分を占める。風向は S~SSE である。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では豊後水道境界から 9 m 波高域が伸び、6 m 波高域が豊予海峡を含む広い範囲を覆う。内海では豊予海峡での 6 m は短い距離で 4 m に小さくなり、3 m の等波高線が内海中央や東側の一部

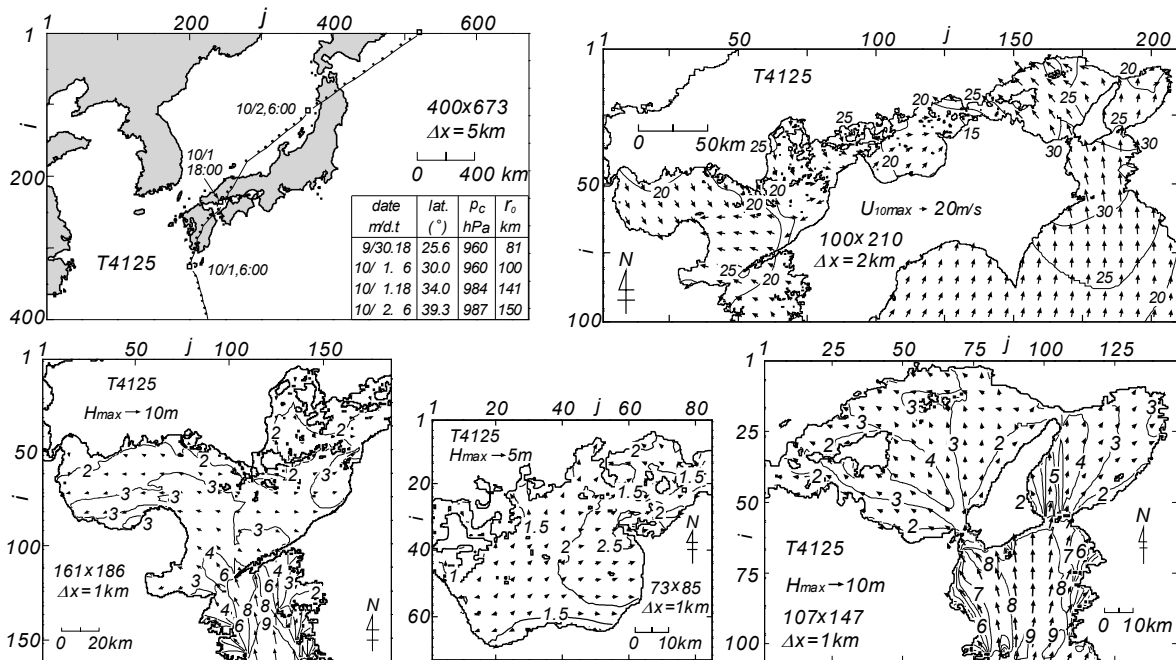


Fig. 9 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 4125.

に伸びる。波向は西に向かうほどE寄りを、東側海域でW寄りをとる。中部海域では西側で波高は1 m程度、東側（香川県観音寺付近）で2.5 mを示し、西から東に向けて大きくなる。波向はW寄りである。東部海域では紀伊水道境界で9 mの波高が入射し、8 m波高域が淡路島南岸に達するし、7 m波高域が紀伊水道全体をほぼ覆う。波向はSSW～SSEである。内海の播磨灘では南東海域（鳴門海峡付近）から3 mの等波高線が放射状に拡がり、小豆島南東海域に4 mの等波高線が現われる。波向は主にSEである。大阪湾では波高は友ヶ島水道で7 m、淡路島北部沖合で4～5 mをとり、湾奥では3 m前後になる。波向はSからSWに傾く。

(6) T4222号 (Fig. 10)

1) 台風特性と被災状況^[6]

本台風は1942年（昭和17年）9月中ばにルソン島の東方海上で発生した熱帯低気圧がW方向に進行し、9月19日正午頃北緯21°、東経128°で台風として発現、その後N方向への進行を続けて徐々に発達した。20日夜半には南大東島付近で中心気圧946 hPa、21日6時には鹿児島島の南方海上で947 hPaに達して四国に向かって進み、21日12時過ぎに土佐清水の東方に上陸した。台風は上陸と同時に急速に衰弱して数個の低気圧に分裂、そのうちの主台風は高知の西方を通過して21日夜半には能登半島より日本海に抜けた。最低観測気圧は足摺岬で959.1 hPa、高知で974.2 hPa、高松で985.7 hPa、神戸で990.7 hPaである。この台風に伴う被害はあまり記載されていないが、気象要覧によれば、とくに高知県では強風に伴う建物の損壊や田畑の流出、農作物被害が目立ったとのことである。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は高知に上陸後分裂して衰えている。最大風速は西部海域では豊後水道で15 m/s、周防灘北西側の10 m/s、周防灘中央で15 m/s、伊予灘で西側の15 m/sから東側の20 m/sおよび安芸灘・広島湾の20 m/sとあまり強くない。風向はN方向である。中部海域でも風速は15～20 m/s、風向はN寄りである。東部海域では、紀伊水道で25 m/s前後、風向S寄りの比較的強い風が出現している。播磨灘

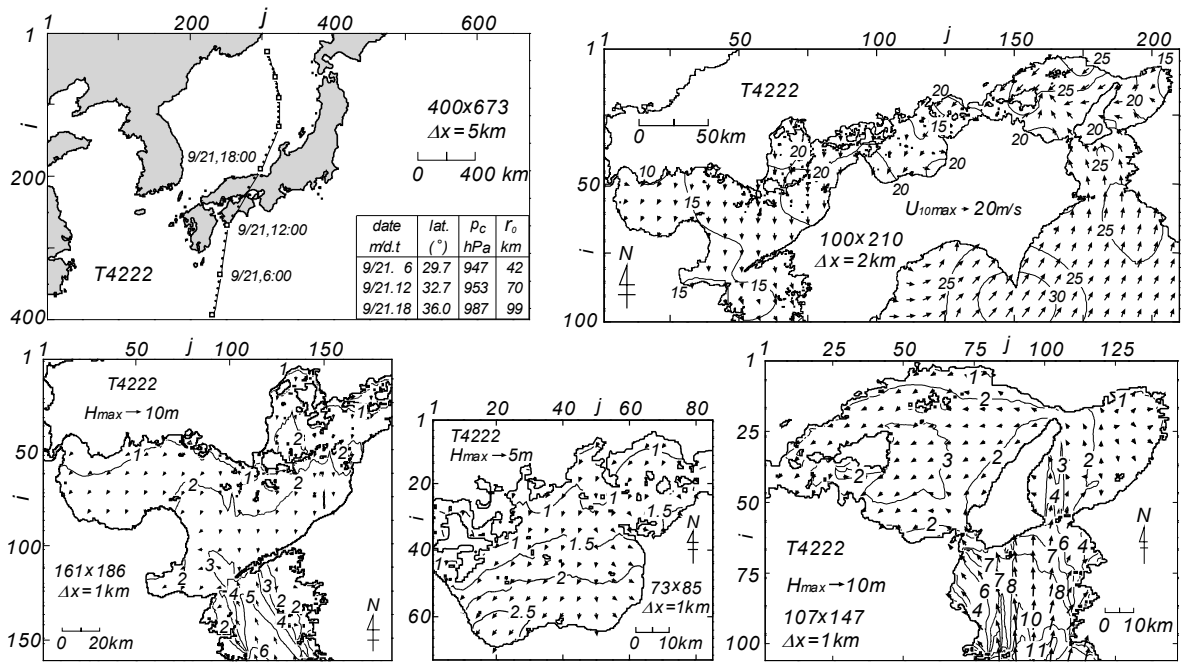


Fig. 10 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 4222.

でも 20 m/s から 25 m/s 強を与える。台風中心の通過に伴い風向は北側で NE 寄り、南側で S 寄りを示す。大阪湾では風速は 15~20 m/s をとり、西側に向けてやや大きくなる。風向は E 寄り、北側で NE、南側で SE をとる。上陸後の台風の衰弱と分裂によって最大風速はあまり大きくない。

3) 最大波高・波向の空間分布

最大波高は西部海域では豊後水道境界で 6 m、豊予海峡で 4 m を与え、4 m 波高域が豊後水道の南北方向軸を中心に 1/2 程度の海域を占める。波向は SE である。内海で波高は周防灘の 1 m から東西方向の中心線上で 2 m、豊予海峡北側で 3 m に達する。波向は N 寄りをとる。豊予海峡北側では外海からの入射波浪に伴い波向 SE をもつが、その影響が弱くなる豊予海峡西側から別府湾では波向は SE 方向から N~NE に傾く。安芸灘・広島湾と斎灘でも波高は北側の 1 m から南側の 2 m に増える。波向は N である。中部海域では、北側（水島灘、備後灘）の 1 m から南西側の 2.5 m に向けて SW 方向に大きくなる。波向は NE である。一方、南東側では波高は 2 m 強、波向は N~NW をとる。東部海域では紀伊水道境界で波高は 11 m をとり、7 m 波高域が淡路島南部に達する。6 m 波高域は紀伊水道のほぼ全体を占める。波向は SSW~SSE である。内海の播磨灘では南東側の鳴門海峡付近および北東側の明石海峡付近から 2 m の等波高線がそれぞれ NW 方向および WSW 方向に放射状に伸びており、小豆島東側で 3 m 波高域が出現する。波向は前者で SE 方向、後方で NE 方向である。大阪湾では友ヶ島水道での波高 5 m が北に向かって急減して 4 m になり、3 m 波高域が淡路島北部沖に達する程度である。大阪湾中央の南北線上で波高は 2 m、湾奥で 1 m であり、あまり大きくない。波向も S 寄り、N 寄り、W 寄りが混在している。

(7) T4416 号 (Fig. 11)

1) 台風特性と被災状況^[6]

1944 年（昭和 19 年）9 月 13 日北緯 20°，東経 134° 付近の海上で発生した熱帯低気圧がしだいに発達しながら NW 方向に進んで、14 日夜に台風になり、15 日夜半沖縄本島に迫った。このときの中

心気圧は 960 hPa 程度である。16 日に台風は進行方向を N 方向、ついで NE 方向に転じ、種子島を経て 16 日夜半に九州南部に上陸、大分、広島を経て丹後半島から日本海に抜け、能登半島を通過した。最低観測気圧は鹿児島県枕崎で 975.7 hPa、大分で 975.8 hPa、広島で 979.1 hPa、岡山で 980.1 hPa、鳥取で 978.2 hPa と上陸後もあまり気圧低下がみられない。台風は暴風・豪雨を伴い各地に多大の被害を与えたとのことであるが、太平洋戦争末期にあたるため、詳細は記載されていない。

2) 最大風速・風向の空間分布

最大風速は西部海域では豊後水道で 20~25 m/s、風向は NW、内海の佐田岬周辺海域や別府湾、伊予灘で 25~30 m/s、風向は NW、周防灘では 20~25 m/s、風向は西端部の NNE を除いて NW、安芸灘・広島湾で 30 m/s から 35 m/s 強、風向は NW、斎灘でも 25~30 m/s、風向は NW~WNW をとる。要するに、内海は周防灘西部を除いて風速 25 m/s を越える強風域になっている。中部海域でも風速 20 m/s から 30 m/s 弱、風向 WNW の海域が大部分を占め、燧灘の南西側と北側の水島灘で 20~25 m/s 域となつて、風速が相対的に小さい。東部海域では紀伊水道で南部の 25 m/s から北部の 35 m/s (風向は S 方向) と大きく、大阪湾でも 25~30 m/s の強風 (風向は南側で SSE、北側で SW) を与える。播磨灘では北東側と南側の 20~25 m/s を除けば 25~30 m/s を示し、小豆島南西側で 30 m/s を越える。風向は S 寄り (SW から ESE と広い範囲) をとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

最大波高は西部海域では豊後水道境界で 6 m 以上をとり、豊後水道内で 4 m に減少する。波向は S 方向であるが、豊予海峡南側では内海発生波浪 (NNW 方向) の影響が強いことから、波向 NNW の地点と S 方向の地点が混在する。内海では波高は周防灘北側の 1 m から SE 方向に増大し、伊予灘中部沿岸で 5 m に達する。波向は NW である。これは後述するように、期間最大波高に相当する。豊予海峡付近では内海発生波浪が豊後水道にまで伝播し、そこでの波高に強い影響を与えることが波向からわかる。別府湾では波高は減少し、波向も N から NE に傾く。広島湾・安芸灘および斎灘では南側で波高は 3 m を与える。波向は安芸灘で NNW、斎灘で W である。中部海域では西側の 1.5 m から東

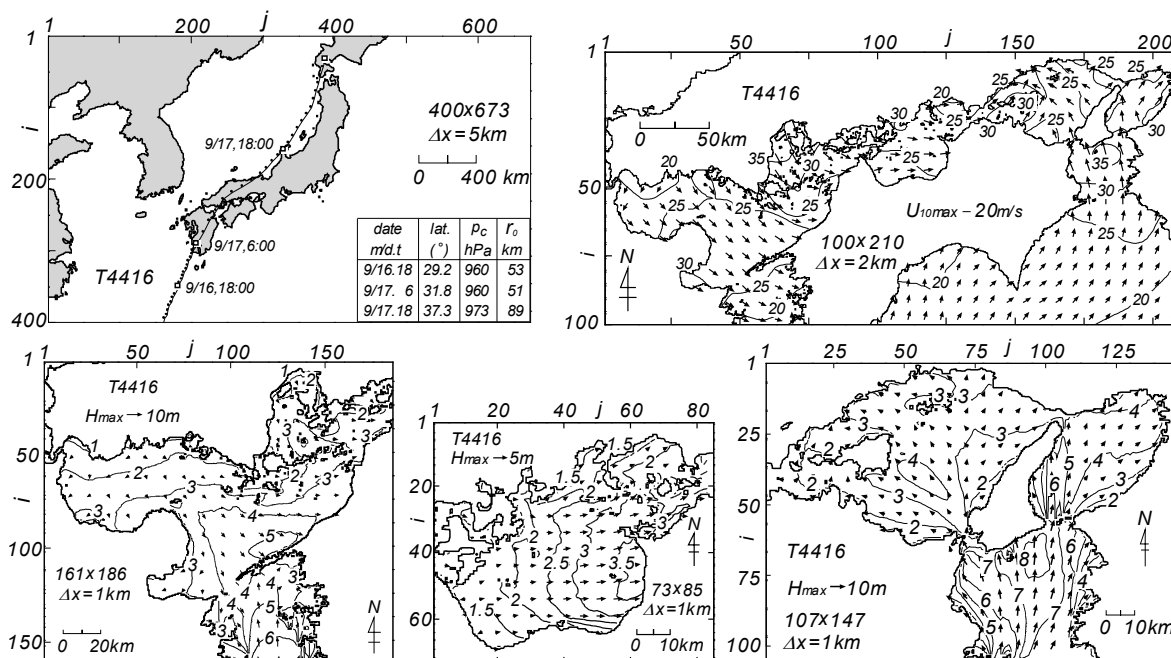


Fig. 11 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 4416.

側（観音寺付近）の3.5 mに向けてE方向に増大する。波向はWである。観音寺付近の波高はかなり大きい。これは台風通過後におけるW方向の25 m/sを越える強風の吹送による。東部海域では紀伊水道で6 m波高域が広い範囲を占め、淡路島南側に8 m波高域も出現する。本台風時には紀伊水道内の強風によって外洋からの波浪がさらに発達している。内海の播磨灘では南東側の鳴門海峡付近から3 m波高域が放射状に大きく拡がり、小豆島南東海域で4 m波高域が出現する。波向は主としてSEである。大阪湾では友ヶ島水道で波高は7 mから北に向けて短い距離で6 mに減少するものの、淡路島北部の沖合でも5 m等波高線が伸びる。大阪湾全体に4 m波高域が拡がるが、大阪府南部の沖合では波高は4 m以下になっている。波向はSからSW方向に傾く。大阪湾内の高波高は台風通過後に吹送したSW方向、風速25~30 m/sの強風による。

(8) T4609号 (Fig. 12)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [9]}

本台風は1946年（昭和21年）7月23日サイパン島の東方海上で発生、NW方向、NNW方向、ついでNW方向からW方向に進行して28日3時南大東島の北東海上に達した。中心気圧は960 hPaである。続いて本台風は進行方向をNWからNに変えて29日3時に九州南端の沖合に到達、6時から豊後水道、伊予灘をN方向またはNNE方向に縦断し、30日3時頃呉付近に上陸して10時過ぎに松江から日本海に抜けた。宮崎沖から呉上陸までの中心気圧は970 hPaから984 hPaであるから、比較的低い中心気圧が保たれている。因みに、台風経路に近い気象官署における最低観測気圧は宮崎県細島で973.4 hPa、宿毛で978.5 hPa、宇和島で975.8 hPa、大分で975.4 hPa、松山で981.7 hPa、広島で984.4 hPa、松江で987.8 hPaである。台風に伴う被害は九州や四国、中国の各県を中心に生じている。とくに宮崎県と高知県の被害が大きい。周防灘では高潮の発生をみている。死者・行方不明者は39名、家屋被害は1,200棟、浸水被害は10,000棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は豊後水道を北上していることから、西部海域では台風の接近・通過に伴い反時計まわりの渦状の風分布が出現し消滅していくが、台風中心の通過前に西部海域、とくに伊予灘でNE方向の風が長時間吹続している。最大風速と風向は西部海域のうち豊後水道で20~25 m/s（E方向）、伊予灘で25~30 m/s（NE方向）、周防灘で15~25 m/s（主にNE方向）、安芸灘・広島湾で20 m/s弱から25 m/s（NE方向）をとる。中部海域では20 m/s弱から25 m/s以下（E方向）である。東部海域では播磨灘で25~30 m/s（ENE~ESE）、大阪湾で15~25 m/s（NE~ENE）、紀伊水道北側で20~30 m/s（SE方向）、南側で15~20 m/s（SE方向）を与える。本台風は瀬戸内海全域に風速20~30 m/sの比較的強い風をもたらしている。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では、豊後水道境界で波高は5.5~6 m、豊予海峡付近で4 mと、あまり大きくない。波向はSSEである。内海の周防灘では北西側で1 m、東側で3~4 mとE方向に大きくなる。波向はE方向である。伊予灘では東側で3 m（波向WSW）、中部で4~4.5 m（波向NE）、西側の別府湾で5 m強（波向NE）をとる。これは風速25 m/s前後、風向NEの強風が8時間以上吹続したことによる。広島湾・安芸灘では波高は1~2 m、波向はNE、斎灘で2~3 m、波向はSWを与える。中部海域では、東側の1 mから南西側の3 mに向けて大きくなる。波向は2 m以上の海域ではEまたはENEを示す。東部海域では、紀伊水道の北東側で3~4 m、それ以外の海域で4~5 mであり、波向はSを主とする。内海の播磨灘では東側で2 m、西側で3 m強、波向はE寄りである。大阪湾では湾奥で1 m、湾中央で2 m、淡路島北端付近や友ヶ島付近で3 mをとる。波向はNEからEであるが、友ヶ島水道付近ではS寄りを示す。T3504号およびT3507号時と同様に、本台風時には西部海域の伊予灘においてNE方向の強風が長時間吹続したことに伴い、別府湾で5 mを上まわる波高が生起した点が注目される。

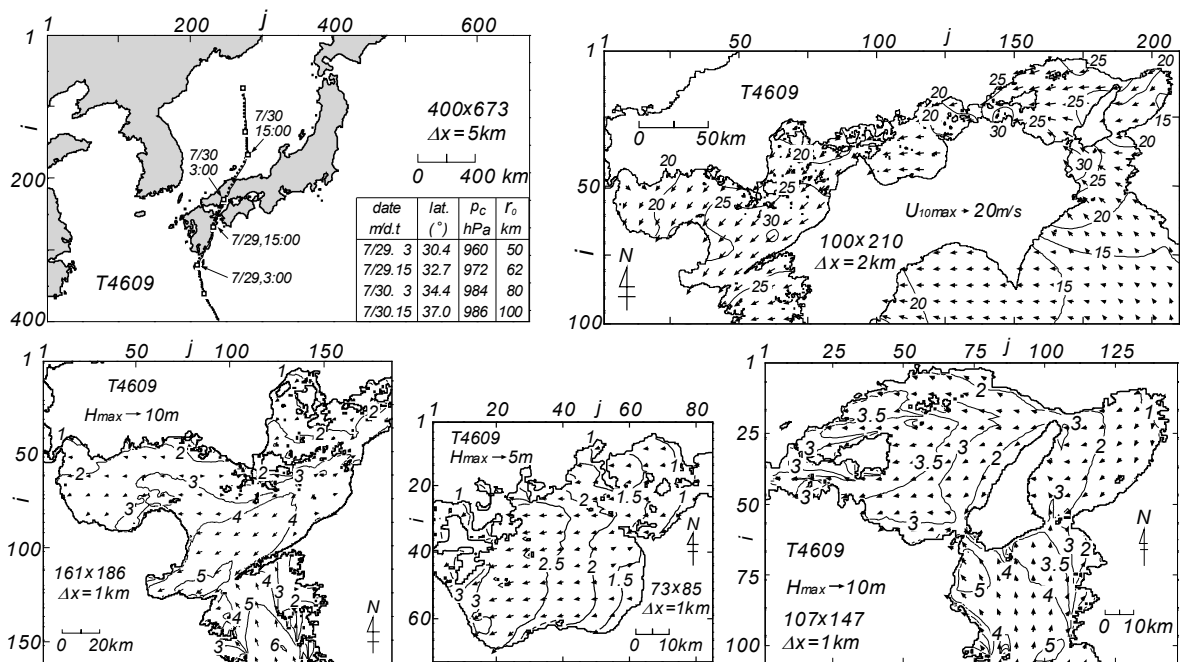


Fig. 12 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 4609.

(9) T5313号 (テス台風) (Fig. 13)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [7], [8], [9]}

本台風は1953年(昭和28年)9月18日にグアム島の南東海上で発生、23日から24日にかけて向きをN方向からNNE方向をとり、25日にNEに転じて四国沖を通過、25日17時頃三重県の志摩半島に上陸、伊勢湾を経て愛知県知多半島南端に再上陸後、中部・関東・東北地方を通過して三陸沖に抜けた。四国、近畿、中部の各地方では暴風雨に伴う甚大な風水害が発生し、伊勢湾に面する三重県、愛知県の沿岸では高潮による大被害が生じた。死者・行方不明者は599名、負傷者は993名、家屋被害は22,000棟、浸水被害は434,000棟、船舶被害は1,581隻となっている^[9]。被害は近畿地方と愛知県、福井県でとくに大きい。大阪湾でもかなりの強風が吹送し、大阪湾の湾奥にある大阪中央突堤で1952～1967年(16年間)の最大風速32.5 m/sが観測された。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は伊勢湾口と湾外に暴風を生起し、伊勢湾の南部に高潮に伴う大災害をもたらした台風であるが、台風の左側半円に入った瀬戸内海のうち大阪湾から播磨灘および紀伊水道にもかなりの強風を出現させている。すなわち、西部海域や中部海域では風速15 m/s前後、風向N寄り風の場になっている。一方、東部海域のうち播磨灘で20～30 m/sで東側ほど強く、大阪湾で30～35 m/s、紀伊水道でも南から北に向けて25～35 m/sをとり、風向はおおむねN方向を与える。とくに大阪湾で著しい強風速が生じている。

3) 最大波高・波向の空間分布

瀬戸内海の西部・中部・東部の3海域とも台風の左側半円(逆風域)に入っている。最大波高は西部海域では豊後水道境界から佐田岬半島南側にかけて5 mをとり、その西側と東側で小さくなる。波向はSSE～SEである。豊予海峡で波高は4 mであるが、外洋からの波浪と内海発生波浪の両者の入射を受けるため、波向は一定しない。内海では山口県沿岸の1 mから伊予灘南西部に向けて波高は3 m

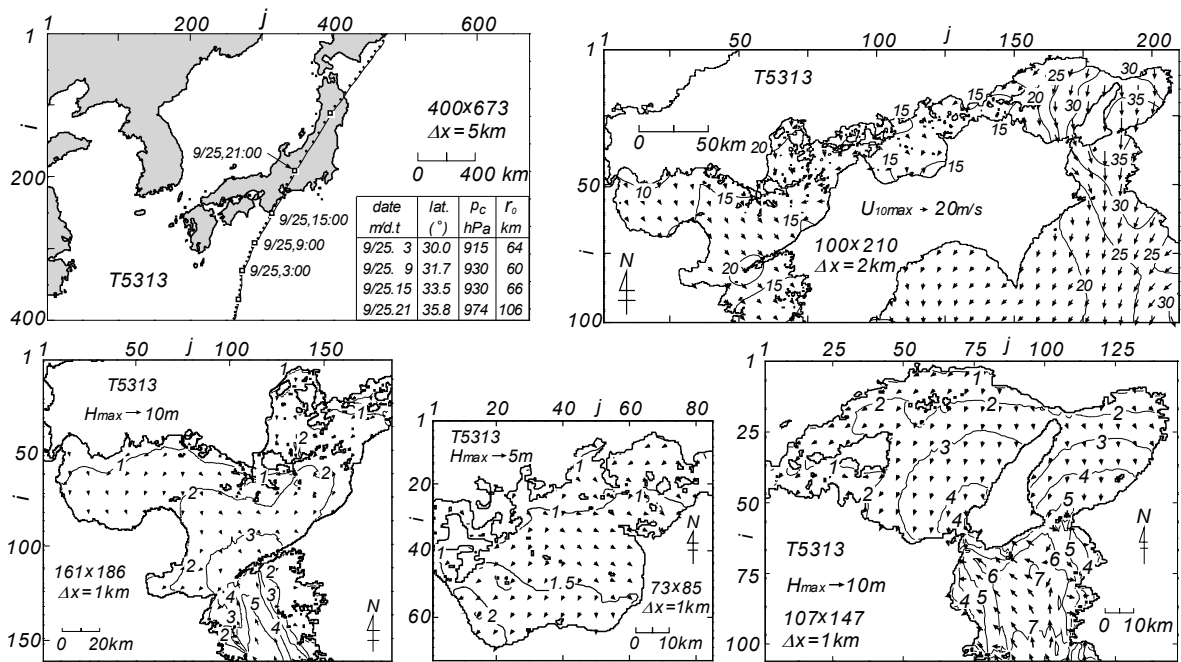


Fig. 13 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 5313.

にまで大きくなる。波向は主に NW をとる。中部海域では、波高は北東側の 1 m から南西側の 2 m に向けて増加する。波向は海域中央より南西側で NE 寄りである。東部海域では、紀伊水道境界で波高は 7 m 以上をとり、6 m 域が紀伊水道の広い範囲に広がる。波向は SSE から SE を示す。播磨灘では北側の 1~2 m から南東側の 4 m に向けて大きくなる。大阪湾でも北側の 2 m から湾口の 5 m に向けて増大する。波向は主に N である。播磨灘と大阪湾における最大波高分布はこれらの海域が台風の左側半円に入った特徴を反映する。

(10) T5412 号 (Fig. 14)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [8], [9]}

1954 年 (昭和 29 年) 9 月 5 日マリアナ諸島の東海上で発生、発達しながら W 方向, NW 方向に進み、11 日に南大東島に接近、13 日には屋久島の西海上を N 方向に進行して 15 時頃鹿児島県枕崎市の東に上陸した。その後、九州を縦断し、14 日 0 時頃下関市付近を通過して日本海に出た。台風上陸時の中心気圧は 955 hPa と推測される。最低観測気圧は枕崎で 959.4 hPa, 鹿児島で 958.9 hPa, 宮崎で 960.7 hPa, 大分で 964.7 hPa, 下関で 963.6 hPa と、かなり低い値になっている。この台風時には西日本で強風が吹き荒れるとともに、九州、四国などで大雨が降り、この結果九州を中心に関東地方に至る広い地域で甚大な風水害や土砂災害が発生した。死者・行方不明者は 144 名、負傷者は 311 名、家屋被害は 6,900 棟、浸水被害は 182,000 棟、船舶被害は 688 隻に及ぶ。この台風は約 2 週間後 (9 月 26 日) に来襲した T5415 号 (洞爺丸台風) の前哨をなす。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風の九州縦断に伴い、風向は SE 方向から時計まわりに変化するが、S 寄りの風が卓越する。最大風速は西部海域では佐田岬付近の 30 m/s を中心に周防灘や豊後水道で 20~25 m/s 域、伊予灘や広島湾・安芸灘で 25~30 m/s 域を形成する。中部海域でも西側で 25~30 m/s, 東側で 20~25 m/s をとる。東部海域でも播磨灘で 25~30 m/s, 大阪湾で 20~25 m/s であるのに対して、紀伊水道では南部の 25 m/s

から北部の 35 m/s に大きくなる。風向は全体として SE をとる。本台風時には瀬戸内海全域で 20~35 m/s の強風域となっているが、台風中心から遠い紀伊水道北部から播磨灘にかけて風速が大きい。

3) 最大波高・波向の空間分布

最大波高に関して西部海域では豊後水道境界から水道内に 11 m 域が入り、豊後水道全体で 8~9 m 域が広がる。波向は SSE である。内海では波高は豊予海峡の 8 m から国東半島東側の 5~6 m を経て対岸の山口県防府方面の 4 m になる。波向は SSE である。周防灘、伊予灘中部、別府湾で波高は 4 m から 3 m、安芸灘・広島湾、斎灘で 3 m である。波向はそれぞれの地形的特性に応じて E 寄りあるいは S 寄りをとる。中部海域では波高は東側の 1~1.5 m から西側の来島海峡付近の 3 m に向けて W 方向に増大する。波向は E である。東部海域では紀伊水道境界付近で 12 m をとり、11 m 波高域が広範に広がり、10 m 域が大部分を占める。波向は S~SSE である。内海の播磨灘では波高は南東側の鳴門海峡付近から北西方向に小豆島南東海域および南側の 4 m に向けて増大する。波向は SE および E である。大阪湾では湾口の友ヶ島水道で 8 m、そこから淡路島北部で 4 m、さらに神戸付近と湾口東側を結ぶ線上で 3 m をとり、大阪湾沿岸の南東側で 2 m を与える。波向は湾口から湾奥に向けて S から SW 方向に傾く。T5412 号時には紀伊水道における高波高が顕著である。これは紀伊水道における強風を反映する。また同様に、豊後水道境界における波高も大きい。

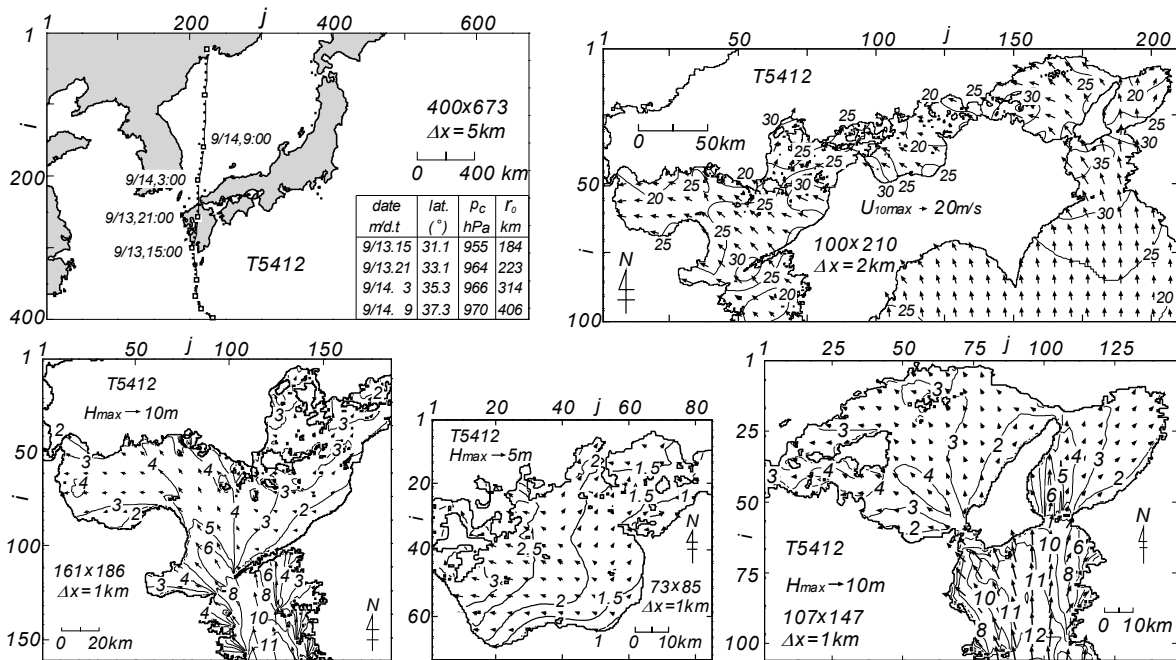


Fig. 14 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 5412.

(11) T5522 号 (Fig. 15)

1) 台風特性と被災状況 [6], [8], [10]

1955 年 (昭和 30 年) 9 月 20 日グアム島の東方海上で発生、25 日 21 時頃硫黄島付近で最盛期 (中心気圧 930 hPa) を迎えた。その後、NW 方向に進行し、沖縄の北東海上から進路を N 方向に転じ 29 日 19 時頃屋久島を通過して 29 日 22 時過ぎ鹿児島県薩摩半島に上陸した。上陸時の中心気圧は 945 hPa と推測される。台風は九州を縦断し日本海に抜けた。台風上陸前から日本海に出る経路は T5412 号のものによく類似する。最低観測気圧は鹿児島で 947.4 hPa、枕崎で 954.8 hPa、熊本で 964.7 hPa、飯塚

で 971.2 hPa, 下関で 973.9 hPa とかなり低い。九州, 中国, 四国の各地方では暴風が吹き荒れ, 大雨にも見舞われた。また, 松山や広島など瀬戸内海西部海域沿岸の一部では高潮が発生した。松山での最大高潮偏差は 1950 年以降の観測記録史上第 7 位にあたる 104 cm (第 1 位は T9119 号時の 145 cm) である。死者・行方不明者は 68 名, 負傷者は 314 名, 家屋被害は 19,000 棟, 浸水被害は 51,000 棟, 船舶被害 1,194 隻に達する。船舶の被害件数が非常に多い。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は九州を縦断して日本海を NE 方向に進行したことから, 通過期間中に風向 SE~SW の強風が吹送している。最大風速は西部海域では佐田岬付近の 35 m/s から伊予灘・周防灘, 広島湾・安芸灘で 25~30 m/s, 豊後水道で 25 m/s 前後を与える。風向は SE である。中部海域では風速は 20~25 m/s, 風向は S であるが, 北部では 20 m/s を下まわり, 風向も SW をとる。東部海域では播磨灘で 20~25 m/s, 大阪湾で 15 m/s から 25 m/s 弱, 紀伊水道で南部の 20 m/s から北部の 30 m/s, 風向は S~SE で, 西部海域に比べて風速が 5 m/s 程度小さい。

3) 最大波高・波向の空間分布

最大波高は, 西部海域では豊後水道境界で 10 m を与え, 水道内で 8 m 域が広範に広がる。波向は SSE~SE である。内海では波高は豊予海峡の 7 m から NW 方向に向けて国東半島東側の 5 m を経て対岸の山口県沿岸の広い範囲で 4 m になる。周防灘では中部・西部で 5 m 波高域がみられ, 4 m 波高域はほぼ全域を覆う。波向は SE~E である。伊予灘東側で波高は 3 m あるいはそれ以下, 安芸灘・広島湾で 3~4 m であり, 波向はいずれも S 寄りを示す。別府湾の沿岸では波高 3 m, 波向 E を与える。中部海域では波高は南側の 1 m から北側の福山方面(備後灘)の 2.5 m に向けて N 方向に増加する。波向は高波高域で SSE を主とする。東部海域では波高は紀伊水道境界で 8 m, 友ヶ島水道に至る海域で 7 m をとり, 6 m 波高域が紀伊水道のほぼ全体に広がる。内海部の播磨灘では南東側から NW 方向に 3 m 波高域が放物線状に拡大するが, 波高はあまり大きくない。波向は SE である。大阪湾では波高は友ヶ島水道付近で 6 m をとり, 4 m 波高域が淡路島北部の沖合海域に, その東側に 3 m 波高域が広が

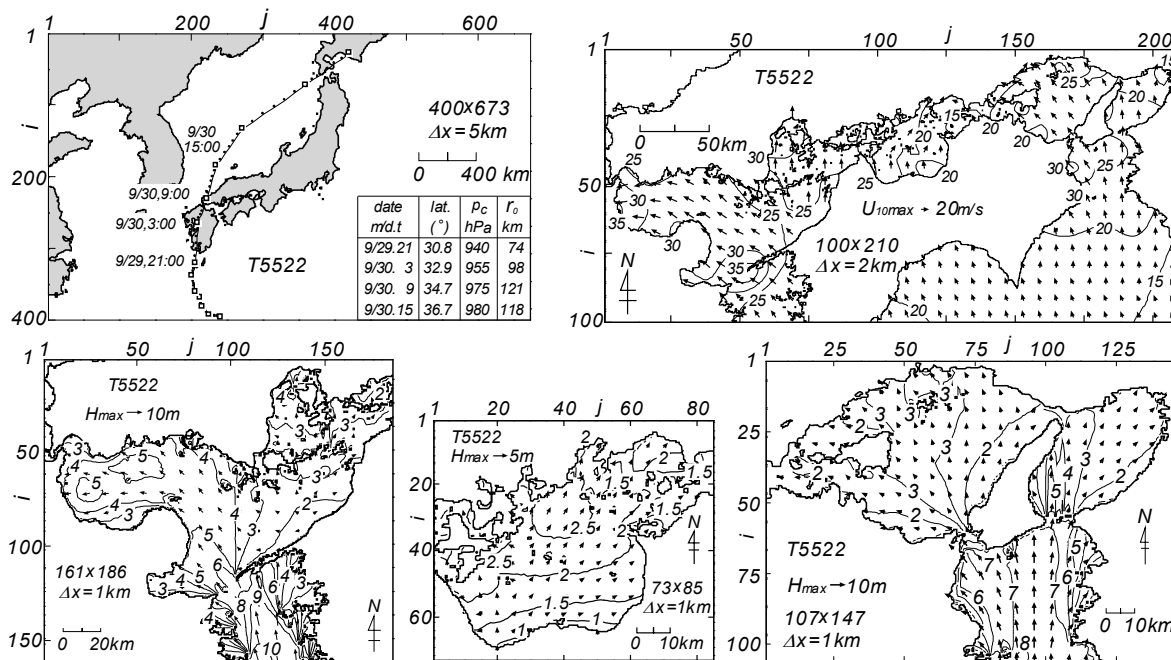


Fig. 15 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 5522.

る。大阪湾の沿岸では 2 m 程度である。波向は湾奥に向かうにつれて S から SW 方向に傾く。

(12) T5609 号 (バブス台風, Fig. 16)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [8], [9], [10]}

1956 年 (昭和 31 年) 8 月 10 日ルソン島の東方海上で発生, 蛇行しながら N 方向に進行を続けて 15 日夜半沖縄の西方海上を通過, 16 日九州の西方海上に達したのち, NE 方向に転向して 17 日日本海に入った。この間の台風の中心気圧は 965 hPa で比較的強い勢力を保ったため, 台風の右側半円に入った九州や四国で強風が吹き高潮が発生した。とくに九州有明海の干拓地では高潮により甚大な被害が生じた。瀬戸内海の観測地点における最大高潮偏差は宇野で観測史上第 12 位にあたる 90 cm (第 1 位は 133 cm), 高松で 77 cm (第 34 位), 松山で 65 cm (第 22 位), 下関で 66 cm (第 19 位), 大阪で 90 cm (第 20 位), 神戸で 73 cm (第 23 位), であり, 中規模程度の高潮が生じている。また, 豪雨により東北地方で水害が生じ, 秋田県大館市で発生した火災が強風にあおられて大火災になった。死者・行方不明者 36 名, 負傷者 213 名, 家屋被害 36,500 棟, 浸水被害 10,400 棟となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風の日本海での NE 方向の進行に伴い, SE 寄りの風の場合 S, W 寄りに変化する。最大風速は西部海域では佐田岬付近の 35 m/s 域を中心に豊後水道で 20~25 m/s, 伊予灘西部と周防灘および伊予灘東部と安芸灘・広島湾で 25~30 m/s, 伊予灘中部で 25 m/s 以下となっている。風向は安芸灘・広島湾における S, それ以外の海域で SSE~SE である。中部海域では風速は 20~25 m/s, 風向は SSW~SW をとる。東部海域では播磨灘, 大阪湾, 紀伊水道の中部と北部で 20~25 m/s, 風向は S 寄りを与える。本台風は日本海を瀬戸内海からしだいに離れる方向に進行したので, 東部海域や中部海域における最大風速は西部海域に比べて 5 m/s 程度小さい。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では豊後水道において 6 m の最大波高域が豊予海峡にまで達している。波向は S から SE

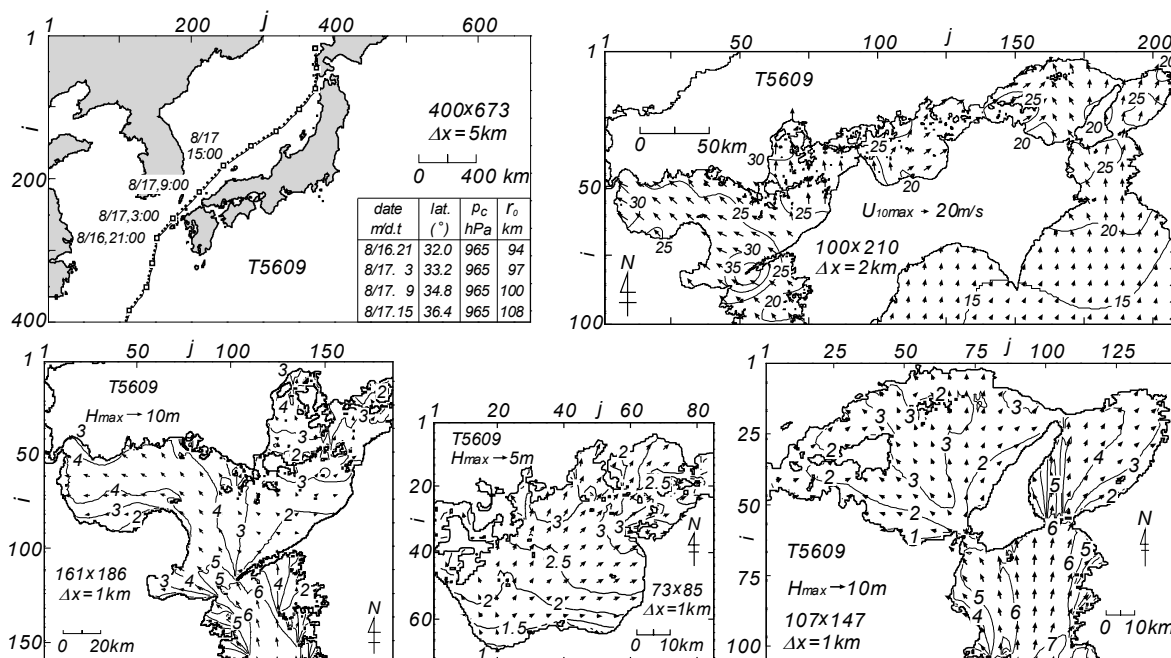


Fig. 16 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 5609.

である。内海では、波高は豊予海峡の5~6 m, すぐ内側の伊予灘南西部でも5 m, 対岸の山口県沿岸と周防灘の広い範囲で4 mを与える。波向は豊予海峡のSEから周防灘のE方向に傾く。伊予灘東部で波高は3 m以上, 安芸灘で3~4 m前後, 広島湾では3 mをとる。後者の海域の波向はS寄りを示す。中部海域では波高は南西側の1~1.5 mから北東側の3 mに向けて増加する。波向はSWである。福山方面(備後灘)から倉敷方面(水島灘)にかけては, 小島の存在により波高が2.5 m程度になる。東部海域では, 波高は紀伊水道境界で6~7 mをとり, 6 m域が友ヶ島水道に達する。波向はS寄りである。内海の播磨灘では鳴門海峡近くの南東海域からNW方向に2 m域が, 小豆島にかけて3 m域が放射状に広がる。大阪湾では5 m波高域が湾口の友ヶ島水道から淡路島北部沖合にかけて延び, 4 m域が大阪湾の西側半分を占める。また大阪湾の東岸で3 m波高域が広がる。

(13) T6011号 (Fig. 17)

1) 台風特性と被災状況^[6]

1960年(昭和35年)8月9日マリアナ諸島北西海域で発生, 進路をNNW方向ついでNW方向にとり, 10日9時小笠原諸島西方海上を通過, 11日3時頃中心気圧980 hPaで室戸岬付近に上陸後, 高松, 鳥取付近を経て日本海に抜けた。この台風はいわゆる豆台風と呼ばれるもので, 室戸岬で47.5 m/sという最大風速が観測されたが, 暴風域は小さかった。最低観測気圧は台風経路に近い室戸岬で980.2 hPa, 多度津で990.3 hPa, 岡山で995.3 hPa, 鳥取で996.1 hPaであり, 台風が上陸後急速に衰えたことを表している。台風による被害状況は四国を中心とする9県に及んでいる。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は四国地方から中国地方の中央をN方向に縦断したことから, 台風の通過に伴い風向・風速場が著しい時空間変化を伴う。最大風速は台風経路の右側にあたる播磨灘の小豆島付近や備讃瀬戸で25~30 m/sをとり, そこから四方に向けて小さくなる。すなわち, 播磨灘で15 m/s強から25 m/s, 燧灘や紀伊水道で15~20 m/s, 大阪湾で15 m/s前後, 西部海域で10~15 m/sを与える。風向は紀伊水道

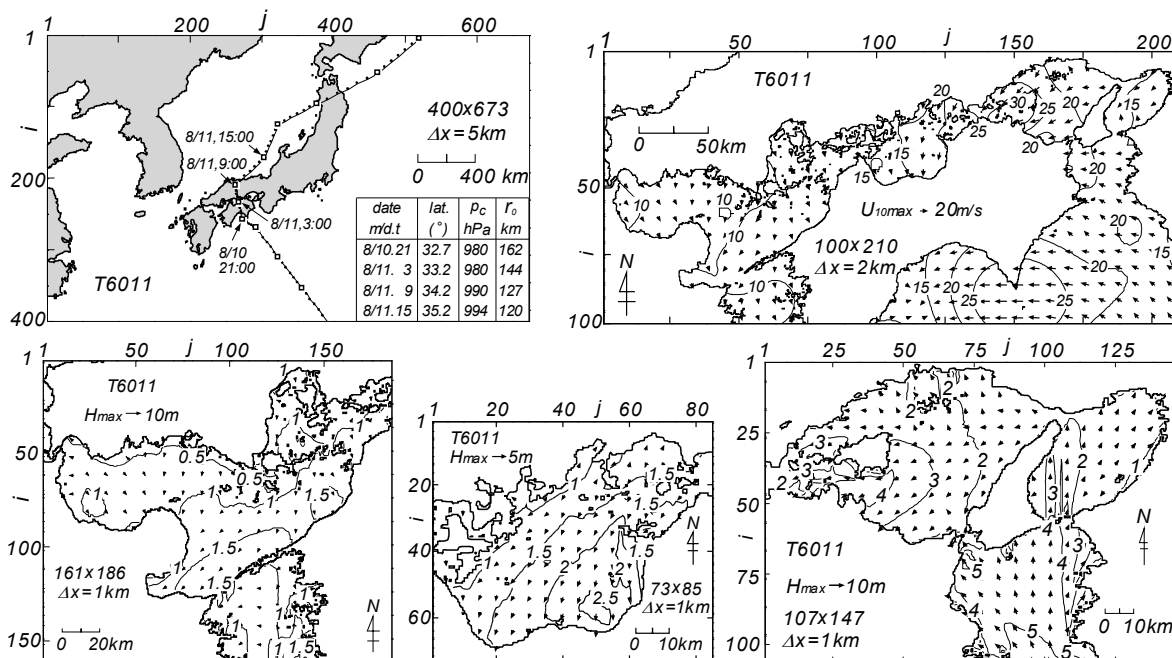


Fig. 17 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 6011.

でE寄り、その他の海域でNEからNWである。いずれにしても、風速はそれほど大きくない。

3) 最大波高・波向の空間分布

最大波高は西部海域では2 m以下と小さい。波向は豊後水道では一定しないが、内海ではN寄りを示す。中部海域では波高は北西側の1 mから南東側の2.5 mに大きくなる。波向はNE～Nである。すなわち、波高の増加方向(NWからSE)と波向(NE～N)が約90°異なる。波高は北東側(水島灘)から南側の燧灘南側・南東側に向けても増加し、波向もNEからNをとるので、波高の増加方向と波向は符合する。一方、北西側から南東側への波高の増大と波向NE～Nの対応は最大波高の分布図だけではうまく説明できない。東部海域では波高は紀伊水道境界で5 mを示し、4 m波高域が紀伊水道全体を覆う。波向はSを中心とする。播磨灘では波高は明石海峡付近からSW方向に増大し、小豆島南側で4 mに達する。波向はNEからENEである。大阪湾では、友ヶ島水道から3 m波高域が淡路島中部沖合にかけて延びる。大阪湾の中央部で波高は2 m弱、大阪湾の湾岸で1 m程度である。波向は湾口のSから湾奥のSW方向に変わる。

(14) T6016号 (Fig. 18)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [8], [9]}

1960年(昭和35年)8月18日グアム島の東方海域で発生、NW方向に進行したのち、25日北緯22°付近で進路をNNW方向、29日早朝北緯31°付近でNNE方向に転じ14時頃高知市付近に上陸した。高知市では最低気圧969.8 hPaを記録している。その後、台風は中国地方中部を経て日本海に抜けた。鳥取での最低観測気圧は980.0 hPaであるから、上陸後も勢力はあまり衰えていない。四国・中国・近畿地方では暴風雨により、土砂崩れや堤防決壊などの土砂災害・洪水災害が生じた。最大高潮偏差は台風の上陸地点にあたる高知で1950年以降の第2位にあたる123 cm(第1位はT7010号時の235 cm)、台風の右側半円に入った小松島で66 cm(第14位)、内海の宇野で95 cm(第10位)、高松で92 cm(第12位)、洲本で74 cm(第16位)、神戸で108 cm(第12位)、大阪で106 cm(第20位)であり、外洋に面した高知ではかなり大きい値を、内海の各地で中規模程度の値を記録している。死者・行方不明者61名、負傷者145名、家屋被害600棟、浸水被害45,000棟、船舶被害54隻となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風もT6011号と同様に、四国地方と中国地方をNNE方向に縦断したことから、台風通過に伴い瀬戸内海における風向・風速場が大きく変化した。最大風速は台風経路の右側に入った東部海域の播磨灘や紀伊水道で25～30 m/s、大阪湾でも20～25 m/s、風向はSEからSSWの強風場となっている。台風経路にあたる中部海域で風速20 m/s、風向E寄り、台風経路の左側にあたる西部海域で風速は15～20 m/s、風向は安芸灘・広島湾の急変場を除いてN～Wとなっている。いずれにしても、風速はそれほど強くない。

3) 最大波高・波向の空間分布

最大波高は、西部海域では豊後水道境界で4 mであり、3 m波高域が豊予海峡近くにまで延びる。波向はSWである。内海では波高は北西側から南東側に向けて増加し、伊予灘西部から東部で2 m、豊予海峡で3 mをとる。波向はNWからNあるいはNNEに変化する。中部海域では波高は南東側の1.5 mから北西側の2.5 mに向けてNW方向に大きくなる。波向はE～NEをとる。北側の備後灘や水島灘で波高は2 m以下、波向はSWである。東部海域では、紀伊水道で8 m波高域が淡路島南岸にまで広範囲に広がる。波向はS～SSEである。播磨灘では南東側の鳴門海峡付近から3 m波高域が放射状に広がり、小豆島周辺や南東側海域で4 m域が出現する。波向はSEをとる。大阪湾では、波高は友ヶ島水道で6 m、淡路島北部沖合で5 m、大阪湾中央の南北線上で4 m、その東側の大阪湾湾岸の沖合で3 mを示す。波向は湾口のSから湾奥に向かうにつれてSW方向に傾く。

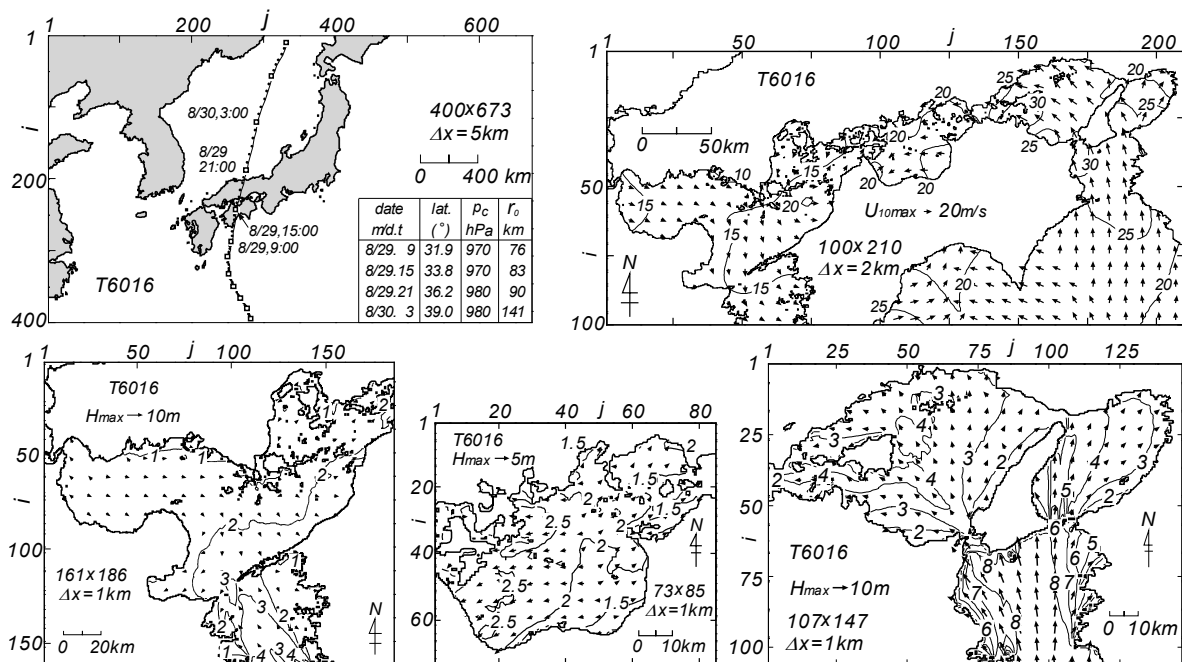


Fig. 18 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 6016.

(15) T6118号 (第2室戸台風) (Fig. 19)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [8], [9], [10]}

1961年(昭和36年)9月8日エニウェック島付近で台風に発達、W方向、ついでWNW方向、NW方向と時計回りに向きを変えて進行し、14日に沖縄の南東海上に達した。この間台風は猛烈に発達して中心気圧890hPaになったのち、少し衰えた14日時点でも900hPaを維持した。その後、向きをN方向からNE方向に変えて15日朝奄美大島を通過し、16日9時過ぎ室戸岬の西方に上陸、徳島・淡路島を経て13時過ぎに兵庫県尼崎市と西宮市の間に再上陸したのち、18時に能登半島東部に達して日本海に出た。上陸時の中心気圧は925hPaである。台風経路に近い地点の最低観測気圧は室戸岬で930.7hPa、洲本で934.7hPa、大阪で937.3hPaであり、非常に低い。この台風時には暴風による被害が四国・近畿地方を中心に全国に及び、また大阪湾のほか紀伊水道や播磨灘の沿岸で大規模な高潮による浸水災害が生じた。因みに、最大高潮偏差は大阪湾では1902年以降で第2位にあたる245cm(第1位はT3412号(室戸台風)時の292cm)、神戸では1942年以降で第1位にあたる187cm、洲本でも1950年以降で第1位にあたる187cmである。死者・行方不明者は202名、負傷者は4,972名、家屋被害は61,000棟、浸水被害は384,000棟、船舶被害は2,540隻に及ぶ。ただし、高潮に伴う死者・行方不明者は皆無である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風の通過に際して台風の左側半円にあたる瀬戸内海の西部海域や中部海域ではNW寄りの風の場となる。一方、台風の右側半円にあたる紀伊水道や大阪湾および左側半円でも台風中心に近い播磨灘では風向は時計回りの経時変化を示す。最大風速は西部海域のうち周防灘で25~30m/s、伊予灘や佐田岬周辺海域で30~35m/s、広島湾・安芸灘や齋灘で30m/sをとる。風向はNW寄りである。中部海域では総灘で30~35m/sとなり、東側の愛媛県川之江付近で35m/sを越える。備後灘で25~30m/s、水島灘で25m/s以下である。風向は全体としてNW方向を示す。東部海域のうち播磨灘では中央の広

い範囲で風速は 30 m/s を越え、北側や南側のごく一部で 25 m/s 以下を示す。風向は主として NW 寄りを与える。大阪湾では風速は 30~45 m/s であり、東岸で大きい。風向は台風の通過特性を反映して W 寄りである。紀伊水道では 30~40 m/s をとり、東側半分で 35 ms/以上の海域となっている。風向は北側で W~SW、中部以南で S 寄りである。T6118 号時には大阪湾から紀伊水道の東半分の海域で風速が 35~40 m/s あるいはそれ以上の強風場、西半分と播磨灘中央・東側で 30~35 m/s の強風場となっている。沿岸の観測風資料に基づいて T6118 号時の東部海域における最大風速の等値線を描いた山元ら^[13]の結果によると、40 m/s 風速域が紀伊水道の中央から大阪湾の東岸にかけて、35 m/s 以下の風速域が大阪湾の西岸や播磨灘の東岸で出現しており、本研究の結果と比較的よく整合する。また船舶資料の解析より推定した矢吹^[14]の結果では、風力 12 の海域が大阪湾と紀伊水道北側から中央に、風力 10 の海域が播磨灘にみられる。これらはごく概略として本研究の結果と符合する。

3) 最大波高と波向の空間分布

西部海域において波高は豊後水道境界の 8 m から豊予海峡の 6 m になる。波向は境界では SE であるが、豊予海峡では NW をとる。つまり、豊予海峡では内海発生波浪の影響が外洋から伝播する波浪以上に強くなる。内海では山口県沿岸の 2 m から豊予海峡の 5~6 m に向けて増加し、波向は NW をとる。内海では内海発生波浪の影響が卓越する。中部海域では、波高は北西側の 1.5 m から南東側の愛媛県川之江市付近の 4.5 m に向けて SE 方向に増大する。波向は NW 寄りである。東部海域では、波高は紀伊水道の境界で 15 m、北側で 10 m をとり、9~10 m の波高が紀伊水道のほぼ全域を占める。波向は S を中心とする。播磨灘では、波高は北側で 2 m、中央で 3 m、南西側で一部 4 m を越える。波向は中央から南西側で NE 方向をとる。大阪湾では友ヶ島水道より北側に 5 m 波高域が多少延びる程度に過ぎない。大部分の海域では 4~5 m の波高域が拡がり、東岸の沖合に一部 5 m 波高域が現われる。波向は SW である。T6118 号時には大阪湾や播磨灘は複雑な風の場の時空間変化を伴う台風半径内に入るので、大阪湾の東側海域を除いて強風のわりに波高が大きくなる。

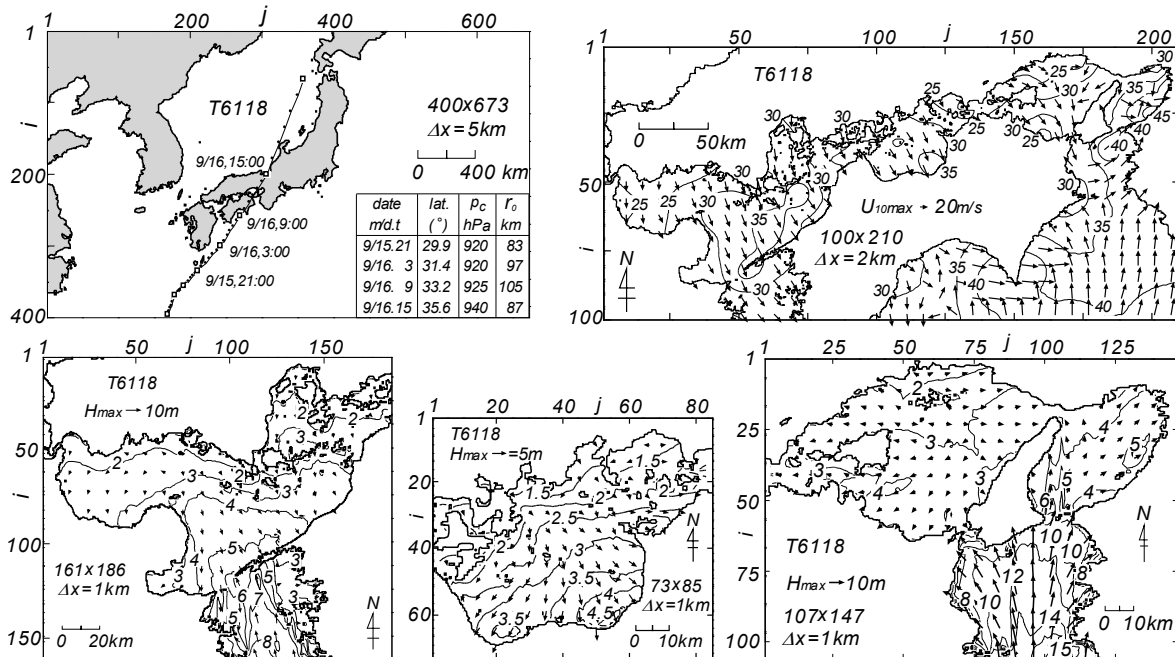


Fig. 19 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 6118.

(16) T6420号 (Fig. 20)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [8], [9]}

1964年(昭和39年)9月17日グアム島の南東海上で発生した低気圧がNW方向に進んで19日15時に台風になったのち、21日沖ノ鳥島の東方海上で中心気圧895 hPaの激しい台風に発達した。ついで沖縄の東方海上をN方向に進み、24日朝九州南方で向きをNE方向に転じて夕刻九州南端の佐多岬に上陸、速い速度で四国、本州を横断して25日午後三陸沖に抜けた。上陸時の中心気圧は945 hPaと推測される。台風経路に近い地点の最低観測気圧は枕崎で957.3 hPa、宮崎で954.2 hPa、宇和島で965.5 hPa、多度津で972.8 hPa、岡山で975.4 hPa、姫路で979.4 hPa、神戸で985.7 hPaとなっており、九州から四国でかなり低い。西日本を中心に関東・東北地方に至る広い地域で豪雨と記録的な烈風による被害が続出した。また、大阪湾で大規模な高潮による被害が生じた。因みに、大阪では1902年以降の観測資料の中で第5位にあたる182 cm(第1位はT3412号時の292 cm)、神戸では1942年以降の第3位にあたる168 cm(第1位はT6118号時の193 cm)を記録している。死者・行方不明者56名、負傷者530名、家屋被害10,000棟、浸水被害35,000棟、船舶被害594隻となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は四国を足摺岬から多度津方面にかけてNE方向に進行したことから、瀬戸内海では風向は時間の経過とともに反時計方向に変化した。最大風速は、西部海域では周防灘と豊後水道および広島湾・安芸灘や斎灘において20~30 m/s、周防灘の東側から伊予灘の広い範囲において30~35 m/sであり、とくに佐田岬の周辺海域で35 m/sを上まわる。風向はおおむねN~NNWである。中部海域では、備後灘や水島灘で20~25 m/s、燧灘で25~30 m/sを示す。この海域では台風中心が通過したことから、風向は場所的に大きく変化する。東部海域のうち播磨灘で風速は25 m/sから30 m/s前後、大阪湾で25~40 m/s、紀伊水道で30~35 m/sであり、風向はいずれの海域でもS寄りである。ただし、紀伊水道の南部から沖合では台風中心から離れるために、風速は若干小さい。このように、T6420号時にはとくに大阪湾で猛烈な風が吹送している。沿岸や陸上における多数地点の観測風資料を用いて山元ら^[15]により推定された瀬戸内海における風速の空間分布図をみると、瀬戸内海の西部海域のうち豊後水道では40 m/s風速域が中央にまで、30 m/s域が豊予海峡にまで入っており、内海では20~25 m/sあるいは佐田岬周辺では30 m/sをとる。中部海域でも20~25 m/s、東部海域のうち播磨灘と大阪湾で25~30 m/s、紀伊水道で30 m/sとなっている。これは今回の結果と比べて、大阪湾で小さく豊後水道で大きい点を除けば、比較的良好に符合する。

3) 最大波高・波向の空間分布

瀬戸内海西部海域のうち、豊後水道では境界からの波高9 mが豊予海峡で6 mになる。波向はSSEをとる。内海部ではN寄りの強風によって波高は周防灘北側の1 mから豊予海峡の5 mに向けて増加する。豊予海峡付近では外海からの波浪と内海からの波浪が混在する波浪場になっていると考えられる。広島湾・安芸灘では波高は2~3 m、斎灘でも2~3 mをとる。波向はいずれもN寄りである。中部海域では台風が通過したことから、3~3.5 mの波高域が西側と東側の海域に出現する。波向は西側の海域でNE、東側の海域でWSWを示す。東部海域では紀伊水道で波高10 m以上の波が入射し、8~9 m波高域が広い範囲を占める。波向はSである。播磨灘では鳴門海峡から3 mの波高域が扇状に拡がり、小豆島の東側で4 m波高域が広い範囲を占める。波向はSEを中心に北側海域でSW方向に、南側海域でE方向に傾く。大阪湾では友ヶ島水道から北側に7 m波高域が若干延びる程度であるが、6 m波高域は対岸の須磨に、5 m波高域は神戸に到達する。大阪で波高は4 mを与え、大阪湾の東岸から南東岸でも3~4 m波高域が広い範囲を占める。波向は湾奥あるいは大阪湾の東岸に向かうほどS方向からSW方向に傾く。T6420号の通過経路から播磨灘を挟んで少し離れた位置にある大阪湾は、台風の最大風速域に入り、しかも湾軸方向に近いS~SWの強風が吹送したことから、湾のほぼ全域で波高4 mを越える波浪が発生している。

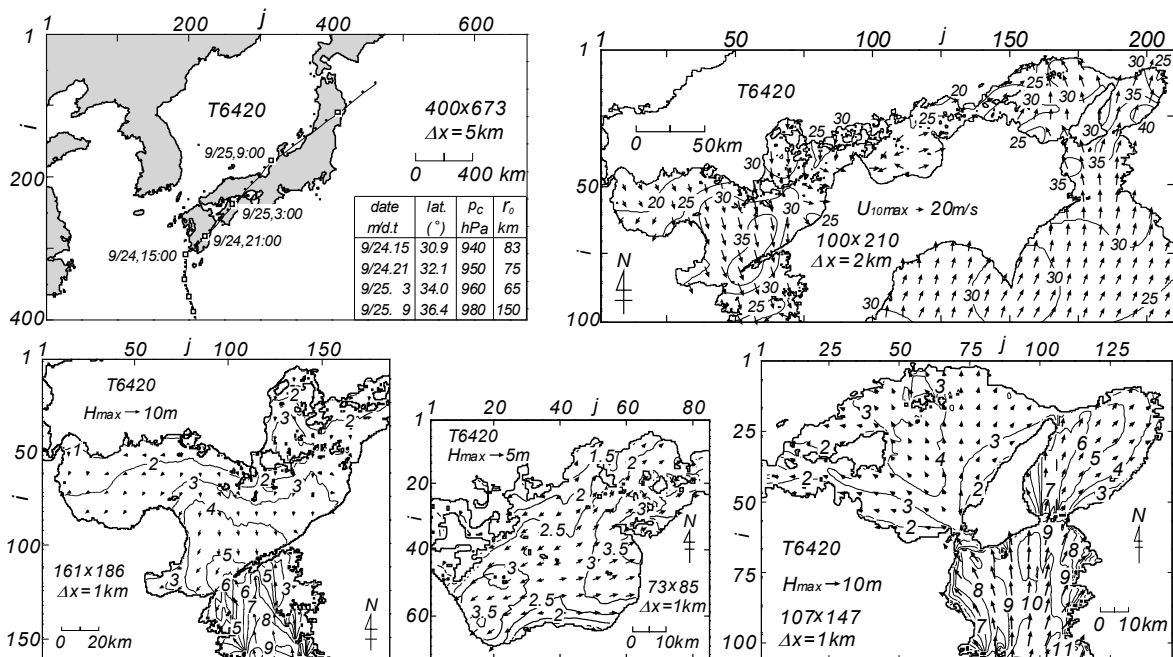


Fig. 20 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 6420.

(17) T6523 号 (Fig. 21)

1) 台風特性と被災状況^{[6], [8], [9], [16]}

1965 年 (昭和 40 年) 9 月 6 日に沖ノ鳥島の東海上に発生、NW 方向に進行してしだいに向きを N 方向に変え、9 日南大東島付近に達した。中心気圧は 940 hPa である。その後、NE 方向に転向して 10 日 8 時過ぎに高知県安芸市付近に上陸、香川県東部の引田付近、播磨灘の中央、兵庫県の加古川市付近を通って午後日本海に抜け、能登半島をかすめて北海道を通過した。安芸市上陸時の台風中心気圧は 940 hPa である。最低観測気圧はそれぞれ台風経路に近い室戸岬で 946.9 hPa、徳島で 952.5 hPa、姫路 952.3 hPa、豊岡で 964.1 hPa、舞鶴で 966.1 hPa となっており、上陸後も低い気圧が維持されている。台風経路にあたる四国東部と近畿地方では暴風雨による風水害が続出し、大阪湾では高潮により大きな被害が生じた。因みに、大阪では 1902 年以降の観測史上第 4 位にあたる最大高潮偏差 216 cm (第 1 位は T3412 号時の 292 cm)、神戸では 1942 年以降で第 2 位にあたる 190 cm (第 1 位は T6118 号時の 193 cm) を記録している。死者・行方不明者 73 名、負傷者 883 名、家屋被害 4,100 棟、浸水被害 50,000 棟、船舶被害 619 隻となっている。

2) 最大風速・風向の空間分布

室戸岬西側から播磨灘中央を経て兵庫県加古川市付近への台風の通過に伴い、瀬戸内海の西部海域では NW 寄りの風、中部海域では N から NW を経て W 寄りの風、東部海域では E から SE を経て SW 寄りの風に経時変化している。最大風速は西部海域および中部海域で 20~25 m/s、風向は NW 寄りを取り、それほど大きくない。東部海域のうち播磨灘では 30~40 m/s をとり、兵庫県の加古川、明石方面で 40 m/s を越える。風向は西側の NE~E から東側の SE と時計回りに変化する。大阪湾では風速は 25~40 m/s、風向は S~SSE、紀伊水道でも 30~40 m/s、風向 SSW~SSE を与える。このように、T6523 号時には東部海域で風速 30~40 m/s の猛烈な風が吹送している。

3) 最大波高・波向の空間分布

西部海域では、豊後水道の境界から 6 m 波高域が豊予海峡近くまで延びており、豊予海峡でも波高は 5 m を与える。波向は SSE である。内海では波高は山口県沿岸の 1 m から SE 方向に向けて豊予海峡の 4 m へとしだいに大きくなる。波向は NW であるから、これは内海発生波浪による。中部海域では、波高は北西側の 1.5 m から南東側の愛媛県川之江付近の 3.5~4 m に向けて大きくなる。波向はおおむね N 寄りである。東部海域では、紀伊水道境界での 13~14 m から北側の 10 m になる。10 m 波高域は広範囲に拡がり、8 m 波高域が紀伊水道のほぼ全体を占める。播磨灘では鳴門海峡から 3 m 波高域が放射状に拡がり、4 m 波高域も小豆島や家島付近まで広い範囲を覆う。小豆島の南側では 5 m 波高域も出現する。波向は空間的に大きく変化するけれども、E 寄りが卓越する。大阪湾では友ヶ島水道より N 方向に延びる 6 m 波高域は淡路島北部沖合にとどまり、対岸の須磨には 5 m 波高域が、神戸には 4 m 波高域が達する。大阪湾の東岸では 3 m 波高域が全域を占める。波向は友ヶ島付近の S から湾奥に向かうほど SW 方向に傾く。T6523 号時の波高は T6420 号時の波高と比べて紀伊水道および播磨灘で大きいものに対して、大阪湾で逆に小さい。これは大阪湾における両台風時の風速に全体としてそれほどの差はないが、T6523 号時と比べて T6420 号時に台風経路からより離れた大阪湾で波の発達に寄与する S~SW の風がより長い時間吹いたためと考えられる。なお、今回の結果は T6523 号は T6420 号以上の暴風と高波を大阪湾にもたらしたという報告^[16]と必ずしも整合しない。

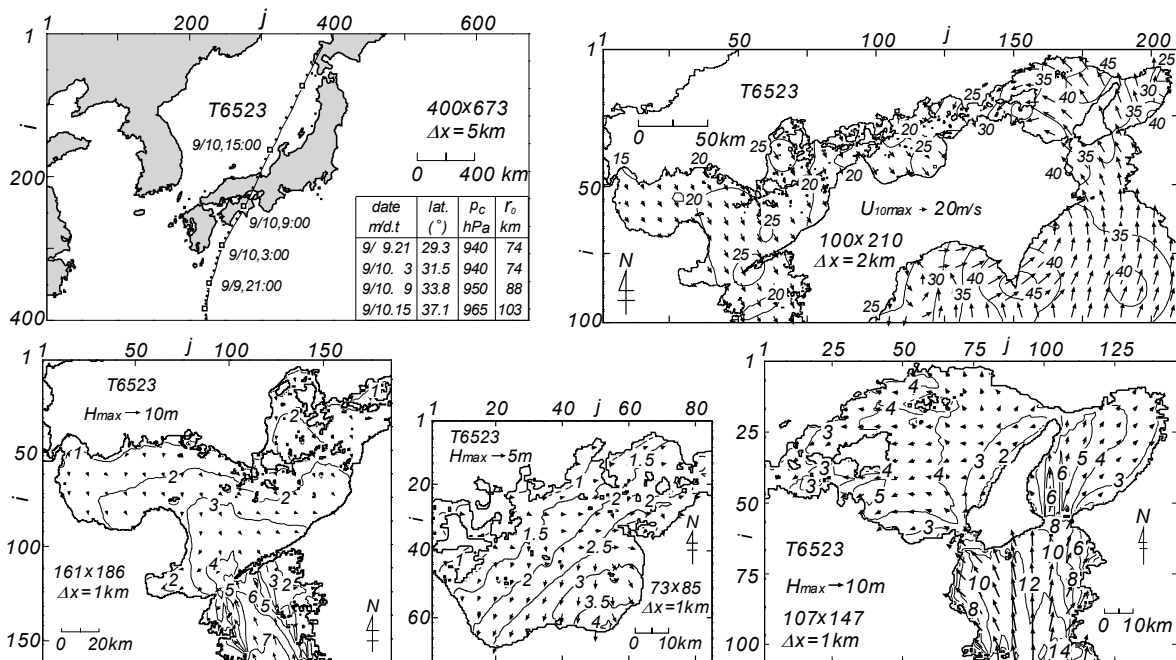


Fig. 21 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height induced by Typhoon 6523.

4. 風速・波高の極値の空間分布

4.1 風速の極値

Fig. 22 は 1918~1960 年 (43 年間) 29 ケースの台風別最大風速資料と 1961~2005 年 (45 年間) の年別最大風速資料を併せて得た 1918~2005 年 (88 年間) の期間最大風速 U_{max}^{18-05} とその風向の空間分布

を表す。1918～1960年において台風時最大風速資料がない年には異常風速が生じていないことが天気図や災害記録、気象要覧などから推察されるので、これらの空白期間の風資料が上記の期間最大風速を越えることはない。図によると、風速 50 m/s 域が紀伊水道沖合と佐田岬周辺でみられる。前者は T3412 号時に、後者は T5115 号時に生じた結果を反映する。ただし、紀伊水道中部以南の海域や土佐湾とその沖合海域では、

海上風分布の推定に用いる SDP 風観測地点の数や海上・沿岸観測地点の数が少ないことから、海上風分布の推定精度はあまり高いとは言えない。ついで、45 m/s 域が上述の海域周辺の海域に加えて大阪湾内と播磨灘北東部に現われる。これは T3412 号のほか T5028 号（大阪湾）および T6523 号（播磨灘）による。40 m/s 域は瀬戸内海全域でみられるが、豊後水道中部、周防灘、伊予灘中部と東部、安芸灘、斎灘、燧灘、備後灘・水島灘はむしろ 35 m/s 域に入っている。期間最大風速を発生した主な台風は、土佐湾、紀伊水道、大阪湾、播磨灘の中部と東部、燧灘、斎灘で T3412 号、備後灘・水島灘と播磨灘西部で T3706 号、広島湾・安芸灘で T4516 号、T4216 号、周防灘南部と東部で T4516 号、伊予灘西部と豊後水道で T5115 号、周防灘西部で T4216 号という 1959 年以前の台風であり、1961 年以降の台風については中部海域の燧灘西部、伊予灘東部で T7010 号、周防灘北部で T9119 号、播磨灘東部で T6523 号があげられるにすぎない。小さな海域では T6118 号、T5028 号、T6420 号、T18-Jul 台風などの寄与もみられる。なお、風向は多くの海域で SE～S であるが、伊予灘では NW 寄り、広島湾・安芸灘から燧灘では N 寄りをとる。これらは期間最大風速をもたらしたそれぞれの台風の特徴を反映するのは言うまでもない。

つぎに、極値統計解析は 1933～1960 年の台風別最大風速資料をそれぞれ該当する年の年最大風速資料とみなすことにより、1933～2005 年（73 年間）および 1961～2005 年（45 年間）の年別最大風速資料に対してそれぞれ資料採択率を 1/3 と設定して行った。資料期間の短縮は 1918～1932 年においては対象台風が 2 ケースのみで資料数が少なすぎることに、および小さい資料採択率の採用は 1933～1960 年（28 年間）においても 27 ケースの台風別最大風速資料（1935 年で T3504 号と T3507 号、1941 年で T4114 号と T4125 号、1942 年で T4222 号と T4216

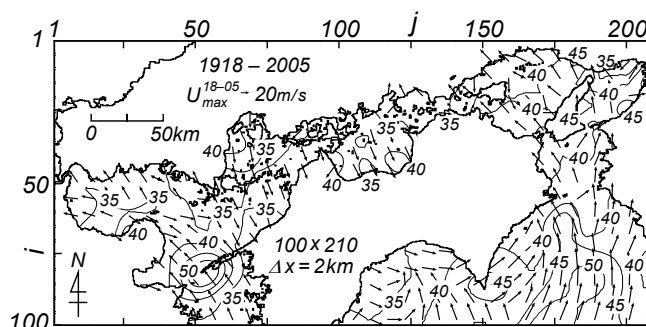


Fig. 22 Largest wind speed U_{max}^{18-05} and its wind direction in the Seto Inland Sea during the period of 1918 - 2005.

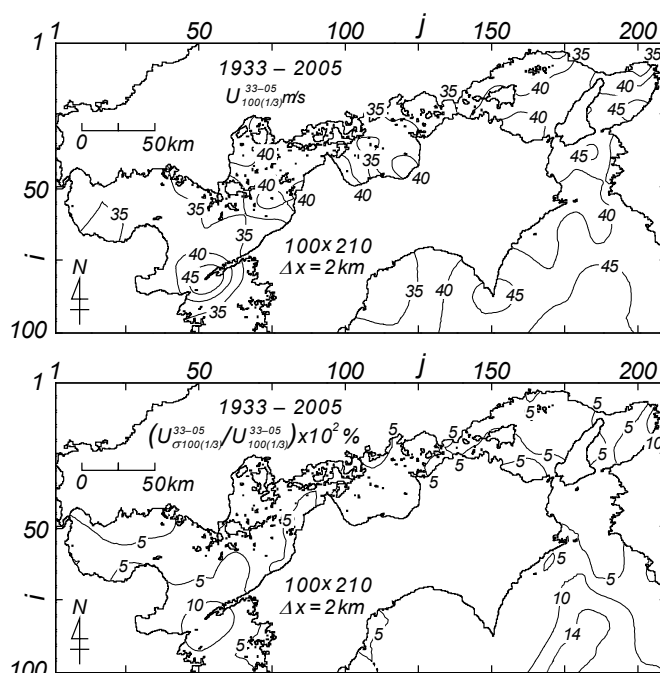


Fig. 23 100-year return wind speed $U_{100(1/3)}^{33-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $U_{\sigma_{100(1/3)}^{33-05}}$ divided by 100-year return wind speed) $(U_{\sigma_{100(1/3)}^{33-05}} / U_{100(1/3)}^{33-05}) \times 10^2$ in the Seto Inland Sea estimated using the annual maximum data during the period of 1933 - 2005.

号, 1950 年で T5028 号と T5029 号, 1954 年で T5412 号と T5415 号, 1956 年で T5609 号と T5612 号, 1960 年で T6011 号と T6016 号の各年 2 ケースの資料) によって 20 年相当分の年別最大風速資料を得ているにすぎず, したがって中規模以下の値をもつと推定される年別最大風速資料(1936, 1939, 1940, 1947, 1948, 1952, 1957, 1958 の 8 年相当分) が除外されている可能性が高いこと, をそれぞれ考慮したためである。後者では, 28 年間 27 ケースの台風別最大風速資料と 1961~2005 年の年別最大風速資料によって, 1933~2005 年の 73 年間で最上位近くに分類される年別最大風速資料が瀬戸内海全域においてできるだけ漏れなく採択されることを期待している。

Fig. 23 は 1933~2005 年の年別最大風速資料のうち上位 1/3 の資料を用いて推定した 100 年確率風速 $U_{100(1/3)}^{33-05}$ とその変動係数 (100 年確率風速の標準偏差 $U_{\sigma 100(1/3)}^{33-05}$ を $U_{100(1/3)}^{33-05}$ で除した値) の % 値の空間分布を表す。100 年確率風速は佐田岬周辺海域, 広島湾・安芸灘, 斎灘から燧灘の西部と南東部の一部, 播磨灘から大阪湾, 紀伊水道とその沖合海域で 40~45 m/s を与え, とくに佐田岬周辺海域, 大阪湾の一部, 室戸岬周辺海域や紀伊水道沖合海域で 45 m/s を越える。これ以外の海域では, 35 m/s 以下を示す豊後水道, 周防灘南部や北東部, 伊予灘中部, 燧灘中央の一部, 水島灘を除き, 35~40 m/s をとる。変動係数は内海では佐田岬周辺海域や大阪湾の湾奥を除いて 10% より小さく, 比較的広い範囲で 5% 以下をとる。また前述の海域に加えて紀伊水道の沖合海域や室戸岬の周辺海域で 10% を越える。

Fig. 24 は資料期間の延長 (45 年間から 73 年間へ) に伴う 100 年確率風速の変化量の空間分布を示す。変化量は $(U_{100(1/3)}^{33-05}/U_{100(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ で定義される % 値で表す。ここに, $U_{100(1/3)}^{61-05}$ は 1961~2005 年 45 年間の年別最大風速資料のうち上位 1/3 の資料に対する解析より得た 100 年確率風速である。資料期間の延長に伴い, 最上位クラスの高風速資料が含まれる機会が増えることから, 確率風速の推定値は大きくなるが, その割合は瀬戸内海の多くの海域で 10% 以下であり, 山口県沿岸から伊予灘中部にかけてはむしろ確率風速の推定値が若干減少する。同様の傾向は大阪湾の南東岸の一部, 足摺岬や室戸岬の周辺のみみられる。一方, 佐田岬周辺海域, 周防灘南部のごく一部, 広島湾, 水島灘, 播磨灘北西岸部では確率風速の推定値が 20% 以上増加する。これは 1959 年以前の巨大台風 (T5115 号, T4516 号, T4326 号, T3706 号など) に伴う最上位クラスの風速資料の影響を表す。紀伊水道の沖合でも T3412 号に伴う異常風速の影響が現われて, 10% 以上の値をとる。

Fig. 25 は 1918~2005 年 (88 年間) の間の期間最大風速と 1933~2005 年の年別最大風資料に基づく 100 年確率風速 $U_{100(1/3)}^{33-05}$ の大小関係を相対差の % 値 $(U_{max}^{18-05}/U_{100(1/3)}^{33-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として示したものである。資料期間は 88 年, 再現期間は 100 年とそれほど離れていないこと

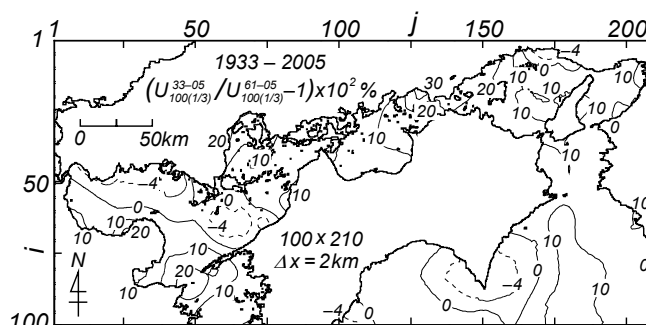


Fig. 24 Change of 100-year return wind speed $(U_{100(1/3)}^{33-05}/U_{100(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ in the Seto Inland Sea associated with extension of the data period from 45 years to 73 years.

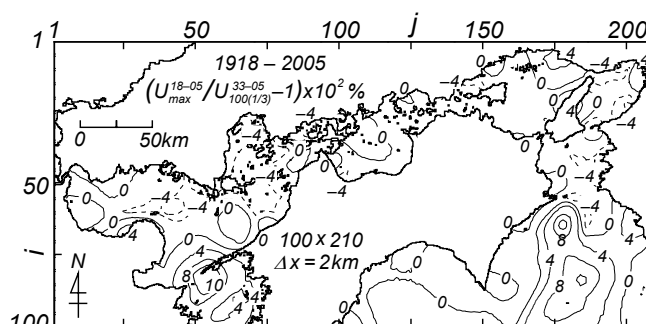


Fig. 25 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wind speed during the period of 1918 - 2005 to 100-year return wind speed $(U_{max}^{18-05}/U_{100(1/3)}^{33-05} - 1) \times 10^2$ in the Seto Inland Sea.

から、期間最大風速と 100 年確率風速は同程度の値をとると期待される。相対差は瀬戸内海の大部分の海域で 0 よりやや小さい負の値か、やや大きい正の値をとることから、大略として期間最大風速が 100 年確率風速と同程度の値となっている。しかし、T5115 号により最強風速が生じた佐田岬周辺海域や外洋に接続する海域のうち T3412 号により最強風速が生じた紀伊水道の南部では、期間最大風速が 100 年確率風速より 8 %以上大きい。

4.2 波高の極値

Fig. 26 は 1918～1960 年 (43 年間) 29 ケースの台風別最大波高の格子点別値資料から抽出した 1918～1960 年の期間最大波高 H_{max}^{18-60} の空間分布を示す。まず西部海域についてみると、豊後水道では南部で 11 m、北部で 9 m の波高域が広がり、波向は SSE をとる。期間最大波高発生台風は南部で T5412 号、北部で T4516 号と T5115 号である。豊予海峡から対岸の山口県沿岸にかけて波高は 8～9 m から 6 m に減じ、波向は SSE をとる。主な発生台風は豊予海峡で T5115 号、そこから北西側で T5612 号と T4216 号である。周防灘では波高は東部の 6 m から西部の 4 m に減じ、波向は E を中心に SE～ENE、発生台風は T4216 号である。伊予灘では波高は西部西側の 7～8 m から東側で 5 m、波向は SE、中部で波高 5 m、波向 W、東部で波高 5 m、波向 W～SW を与える。伊予灘の中部から東部における発生台風は主に T4516 号、中部の北側と南側の一部で T4416 号などである。安芸灘では波高は北部で 4 m 以上、波向は SSE、発生台風は T4216 号、南部で 3～4 m、波向は NNW、発生台風は T4326 号、広島湾では波高は 3 m、波向は SSE、発生台風は T4216 号と T5609 号、斎灘では波高は 3～4 m、波向は S～SSW、発生台風は T5115 号と T4516 号である。別府湾では大分側で 5 m 波高域がみられる。波向は NE である。これは T3507 号と T4609 号時における NE 方向の強風の長時間の吹送による。ついで中部海域についてみると、波高分布の特徴は 3 つの小海域別に記述される。すなわち、燧灘西部では波向 NE の 4 m 波高域が、燧灘東部では波向 NNW の 4.5 m 波高域がみられる。前者は T3507 号と T3706 号時、後者は T3412 号時に生起している。燧灘中央から北東部では波向 WSW～SW の 4 m 波高域が広範囲に広がり、備後灘や水島灘でも 3～3.5 m 波高域が出現している。これらは T3706 号と T4516 号による。さらに東部海域についてみると、紀伊水道では境界付近で波高は 14～15 m、波向は S～SSW、水道内で波向 S 寄りの 10～12 m 波高域が大部分を占める。大阪湾では友ヶ島水道付近の 8～9 m の波高は湾奥に向けて 4 m に減少する。波向は S 方向から SW 方向に傾く。播磨灘では波高は広い範囲で 4～5 m をとり、小豆島沖のごく一部で 6 m に達する。小豆島沖で波向は SE である。期間最大波高発生台風は、紀伊水道では T3412 号、大阪湾でも主として T3412 号であるが、播磨灘では小豆島沖での T3706 号や北東部海域での T4516 号など小海域別に異なる。

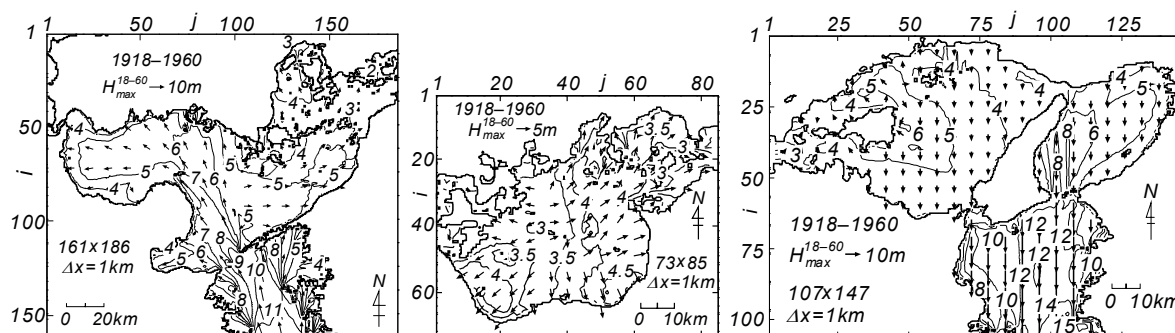


Fig. 26 Largest wave height H_{max}^{18-60} and its wave direction in the Seto Inland Sea during the period of 1918 – 1960.

Fig. 27 は 1918～1960 年 29 ケースの台風別最大波高資料と 1961～2005 年 (45 年間) 256 (西部海域), 174 (中部海域), 181 (東部海域) ケースの台風別・低気圧別最大波高資料^[1]から得た 1918～2005 年 (88 年間) の期間最大波高 H_{max}^{18-05} と波向の空間分布を示す。災害記録, 気象要覧, 天気図などの資料から, 1918～1960 年の間で波高資料がない年には, 瀬戸内海において巨大台風による異常波高は発生していないと推測されるので, これらの年の最大波高が少なくとも上記の期間最大波高を上まわることはないといなされる。西部海域においては, 豊後水道で 10～11 m 波高域が拡がり, 豊予海峡で波高は 9 m, そこから対岸の山口県沿岸に 7 m 域が延び, 周防灘中部の 6 m 域も西側に寄る。これらの海域における期間最大波高発生台風は豊後水道の広い海域で T8013 号, T0514 号, T0418 号など, 伊予灘西部から周防灘東部で T0418 号, 山口県沿岸で T9119 号, T7119 号, 斎灘の半分で T7010 号, T9119 号など 1961 年以降の台風置き換わる。一方, 豊予海峡周辺海域, 別府湾, 伊予灘中部から東部, 安芸灘や広島湾における最大波高発生台風は 1960 年以前の台風である。斎灘では最大波高発生台風として 1960 年以前の台風と 1961 年以降の台風が混在するが, 波高の値にあまり差をもたない。中部海域においては, 燧灘の南北方向中央線より西側の海域で波高がより大きくなっており, 燧灘の南西部で 5 m 波高域が出現する。これは T7010 号による。要するに, 燧灘の南北方向中央線より東側および西側の海域における期間最大波高はそれぞれ 1960 年以前の台風時と 1961 年以降の台風時に生じている。東部海域においては, 紀伊水道と播磨灘で波高の等値線は Fig. 26 とよく似た形状を示す。ただし, 紀伊水道境界近くの 14～15 m 波高域は T6118 号時に生じているが, これ以外の海域で T18-Jul 台風および T3412 号時と同程度の波高を与えることから, 上記の挙動が得られる。大阪湾では T6118 号時に生じた北東～東側海域の最大波高や T6420 号時に生じた北側海域の最大波高によって 5 m 波高域が N～NE～E 側に拡大している。各海域の波向の特性は Fig. 26 とほとんど変わらない。

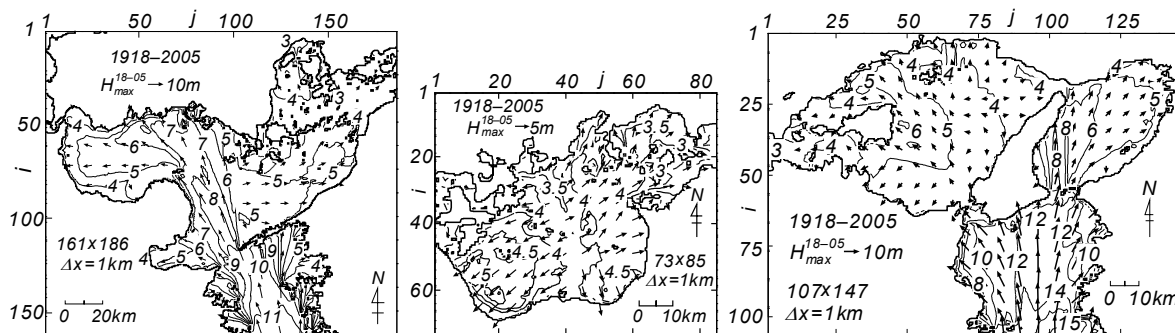


Fig. 27 Largest wave height H_{max}^{18-05} and its wave direction in the Seto Inland Sea during the period of 1918 - 2005.

Fig. 28 は 1918～2005 年の間の期間最大 (第 1 位) 波高 H_{max}^{18-05} と第 2 位波高 H_{max2}^{18-05} の比を用いた第 1 位波高の突出率の%値 $(H_{max}^{18-05} / H_{max2}^{18-05} - 1) \times 10^2$ を表す。西部海域においては, 突出率は大部分の海域で 10%以下であるが, 伊予灘の中部北側や東部および国東半島西側の周防灘南東部と周防灘中部で局所的に 20%を上まわる。安芸灘北西部でも 20%を越える。前者は T4516 号時に, 後者は T4216 号時に生じた異常波高による。中部海域においては, 突出率は燧灘の西側および備後灘東部と水島灘西部で高く, 広い範囲で 30%を越え, 局所的に 40%を上まわる。他の海域では 20%以下である。さらに東部海域においては, 突出率が 20%以上をとる海域が大阪湾内の淡路島沿岸と南部の一部や播磨灘の淡路島西側, 香川県沿岸の一部でそれぞれみられるが, 10%以下の海域が大部分であり, 中部海域に

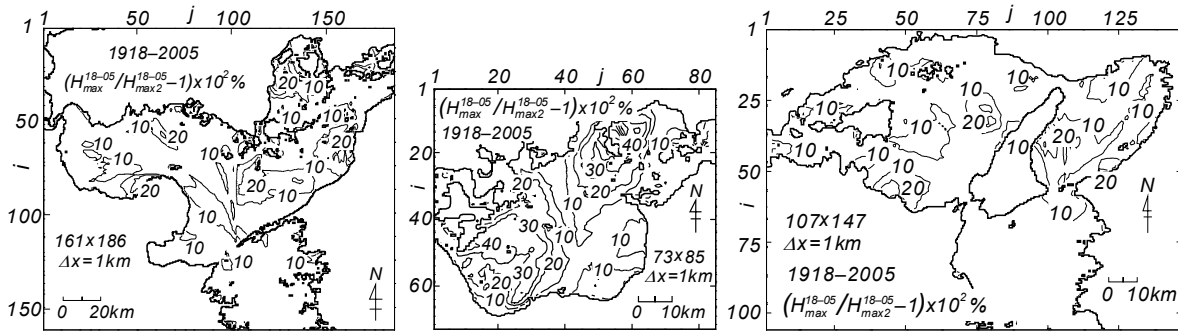


Fig. 28 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wave height to second largest wave height $(H_{max}^{18-05}/H_{max2}^{18-05} - 1) \times 10^2$ in the Seto Inland Sea during the period of 1918 - 2005.

おける突出率に比べてあまり大きくない。つまり、東部海域では第2位波高をはるかに上まる第1位波高（期間最大波高）はほとんど生じていないことがわかる。

Fig. 29 は資料採択率を 1/3 とした 1933~2005 年（73 年間）の年別最大波高資料に対する極値統計解析から求めた 100 年確率波高 $H_{100(1/3)}^{33-05}$ とその変動係数（100 年確率波高の標準偏差 $H_{\sigma 100(1/3)}^{33-05}$ を $H_{100(1/3)}^{33-05}$ で除した値）の % 値の空間分布を 3 海域について示す。まず西部海域においては、100 年確率波高は豊後水道では 10~12 m、すなわち南部から北部にかけての中心線とその周辺で 11 m 以上をとり、東西の沿岸部に向けて減少する。内海では波高は豊予海峡の 9 m から対岸の山口県沿岸の 7 m に向けて減少する。周防灘では東部の 7 m から西部の 4 m に向けて小さくなる。別府湾では湾口付近の 6 m から大分市沿岸に向けて 5 m に、湾奥に向けて 4 m になる。伊予灘では西部で東に向けて 8 m から 6 m に

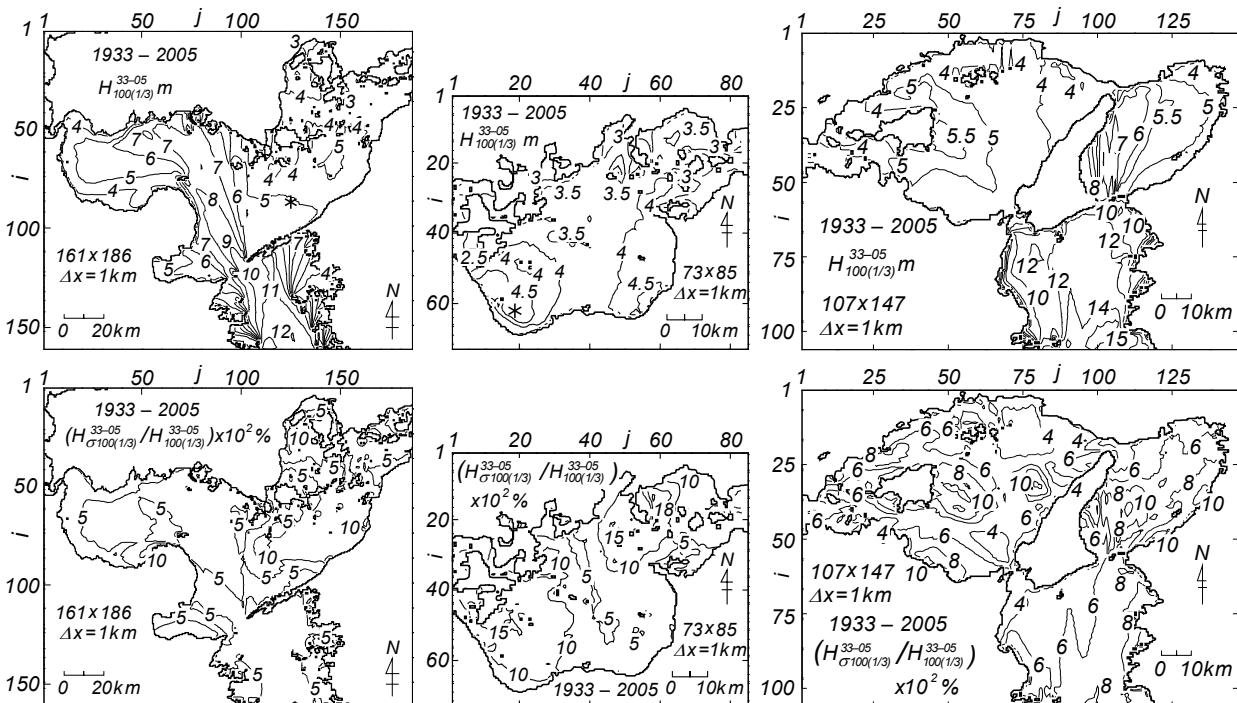


Fig. 29 100-year return wave height $H_{100(1/3)}^{33-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $H_{\sigma 100(1/3)}^{33-05}$ divided by 100-year return wave height) $(H_{\sigma 100(1/3)}^{33-05}/H_{100(1/3)}^{33-05}) \times 10^2$ in the Seto Inland Sea estimated using the annual maximum data during the period of 1933 - 2005.

急減し、中部で6 mから5 m、東部で4~5 mの値をとる。安芸灘では3~4 m、広島湾で3 mを与え、齋灘では3 mを上まわる。中部海域においては、100年確率波高は燧灘西部および東部で4~4.5 m、中央部の広い海域で3.5~4 mをとる。備後灘と水島灘では3~3.5 mである。東部海域においては、紀伊水道の南部で14~15 m、ほぼ全域で10~11 m以上となっている。大阪湾では友ヶ島水道で9~10 m、湾岸で4 mとなる。ここでは、5 m以上の海域が大部分を占める。播磨灘では波高は東部を除いて4 m以上の値をとり、小豆島沖合で5 mを越えるが、6 mには達しない。概略で言えば、資料数の増加により、別府湾で $H_{100(1/3)}^{33-05}$ 、 $H_{\sigma 100(1/3)}^{33-05}$ はともに増加、ほかの海域で $H_{100(1/3)}^{33-05}$ は変わらず、 $H_{\sigma 100(1/3)}^{33-05}$ はやや小さくなる。

変動係数は3海域ともに Fig. 28 に与えた期間最大波高 H_{max}^{18-05} の突出率の空間分布と類似した空間分布を与える。すなわち西部海域においては、変動係数は伊予灘の中部北側と東部、安芸灘北西部、周防灘南東部などで10%を越える。中部海域においても、変動係数は南西部と北東部の広い海域で8~10%を越え、それぞれ局所的に15%を上まわる。東部海域においては、大阪湾の中央部で西岸から東岸までの広い範囲、播磨灘の淡路島西側、小豆島の周辺、香川県沿岸で変動係数が8~10%をとる海域が存在するが、中部海域に比べて突出した値を示さない。こうした海域を除けば、瀬戸内海の西部海域、中部海域、東部海域のいずれにおいても変動係数が6%、あるいは8%より小さい値をとる海域が多い。

Fig. 30 は Fig. 29 の西部海域および中部海域の図中に*印でそれぞれ位置を示した格子点番号(87, 125)地点と(62, 19)地点における1933~2005年73年間の年別最大波高資料 H_{AM} のうち、上位1/3の資料に対する最適分布のあてはめ結果およびQ-Qプロット図を表す。ここに、 F は非超過確率を表す。最適分布は形状母数 $k=1.6$ のWeibull分布および形状母数 $k=0.8$ のWeibull分布である。第1位波高が相対的に突出した値を与える中部海域の(62, 19)地点では、正側にやや長く裾を引く形状をとる。相関係数 ρ はそれぞれ0.984および0.990である。最適分布の資料に対する適合性は良好であるが、資料の変動幅が censoring (上位1/3資料)によって狭められるため、相関係数は必ずしも1に近い値をとらない。

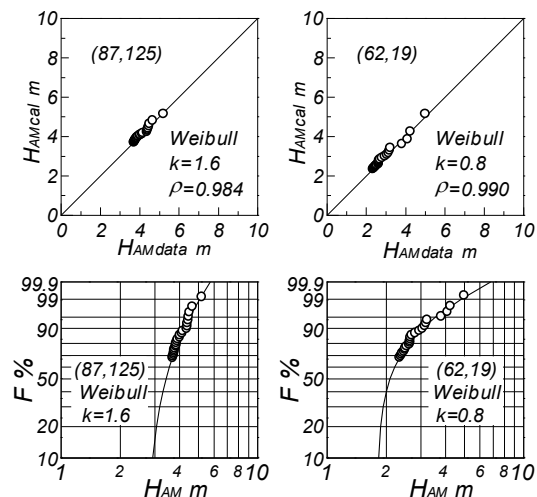


Fig. 30 Two examples for fitting of optimum distribution to annual maximum wave height data and its quantile-quantile plot at a selected point in the Seto Inland Sea.

Fig. 31 は1961~2005年45年間の年別最大波高資料^[1]において資料採択率を1/3とした解析に基づく100年確率波高 $H_{100(1/3)}^{61-05}$ と上記の $H_{100(1/3)}^{33-05}$ の比を用いることにより、資料期間の延長に伴う100年確率波高の増加率の%値 $(H_{100(1/3)}^{33-05}/H_{100(1/3)}^{61-05}-1)\times 10^2$ を空間分布図として与える。西部海域においては、100年確率波高の増加率は豊後水道の西側海域から豊予海峡を経て山口県沿岸に至る広い海域、さらに齋灘の中央部や東部で負の値をとり、資料期間45年から73年への延長に伴い確率波高は小さくなる。これは1960年以前の年別最大波高の規模が1961年以降のものを上まわらない特徴を反映する。一方、豊後水道の東側半分の海域、豊予海峡の西側と別府湾の沿岸、周防灘南部、伊予灘の中部北側と東部、安芸灘、広島湾、齋灘では増加率は正の値をとり、資料期間の増加に伴って確率波高の推定値が大き

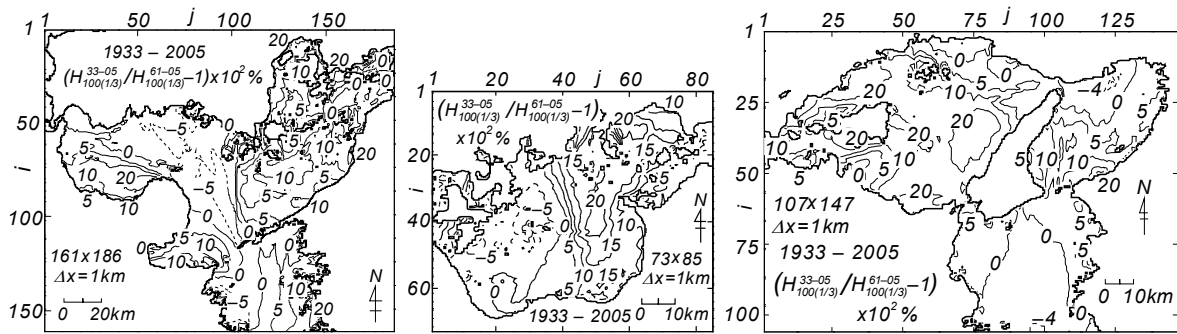


Fig. 31 Change of 100-year return wave height $(H_{100(1/3)}^{33-05}/H_{100(1/3)}^{61-05}-1)\times 10^2$ in the Seto Inland Sea associated with extension of the data period from 45 years to 73 years.

くなる。この傾向は伊予灘の中部北側と東部、周防灘南東部および安芸灘北西部と広島湾で著しい。これは、T4516号、T5412号、T5115号、T4216号などによって生じた異常波高の影響が現われた結果と考えられる。中部海域においては、燧灘中央部より西側の海域で増加率は負の値をとる。これは1933～1960年の間に1961年以降の期間最大（第1位）波高や第2位波高などを上まわる年別最大波高が得られていない特徴を反映する。逆に、燧灘中央部より東側の海域で増加率は最大20%を越える。これは、この海域における1933～1960年の間の年別最大波高が1961～2005年の第1位波高を上まわるためである。東部海域においては、増加率は紀伊水道、大阪湾の北西部にあたる須磨～神戸の沖合、播磨灘の北部沿岸で負の値をとるが、その大きさはおおよそ-5%以内であり、あまり有意でない。北西部を除く大阪湾では、増加率は正の値を示し、とくに淡路島中部の沖合で10%を越える。播磨灘では全体として増加率は5%を上まわり、中央部の広い範囲で10%以上をとり、20%を越える海域も少なからず現われる。これは1933～1960年の年別最大波高が1961年以降の第1位波高を大きく上まわるためである。

Fig. 32は1918～2005年の期間最大波高 H_{max}^{18-05} と1933～2005年の年別最大波高資料に基づく100年確率波高 $H_{100(1/3)}^{33-05}$ の比を用いて定義した H_{max}^{18-05} の $H_{100(1/3)}^{33-05}$ に対する相対差の%値 $(H_{max}^{18-05}/H_{100(1/3)}^{33-05}-1)\times 10^2$ の空間分布を示す。前者の資料期間88年と再現期間100年の差はあまり大きくないことから、 H_{max}^{18-05} と $H_{100(1/3)}^{33-05}$ は同程度の値をとると期待されるので、この値によって期間最大波高 H_{max}^{18-05} の突出度が表されよう。まず西部海域においては、期間最大波高は100年確率波高に比べて、豊後水道の南北方向中

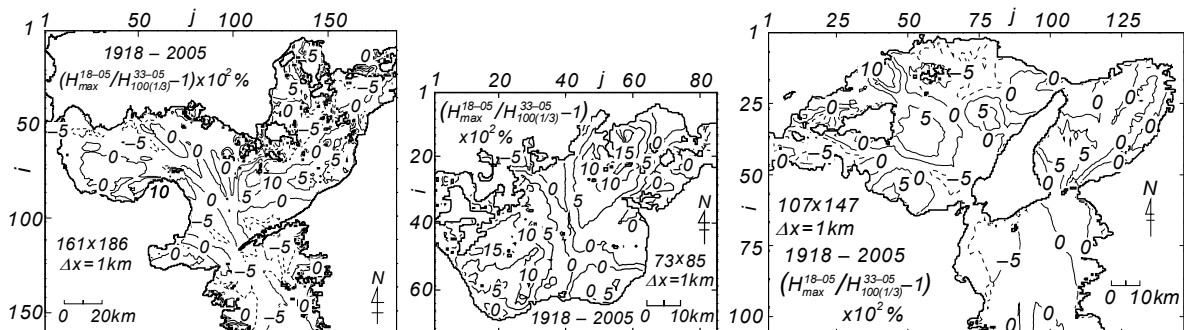


Fig. 32 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wave height during the period of 1918 - 2005 to 100-year return wave height $(H_{max}^{18-05}/H_{100(1/3)}^{33-05}-1)\times 10^2$ in the Seto Inland Sea.

央線より西側と東側から伊予灘西部，別府湾，周防灘，安芸灘南部，斎灘で0～5 %の範囲で小さく，豊後水道の中央線周辺海域や安芸灘南部・伊予灘東部北側など一部の海域で5 %以上小さい。一方，残りの海域では期間最大波高が100年確率波高を上まわる。その程度は，国東半島北西部の周防灘南東岸，伊予灘の中部北側と中部沿岸，伊予灘東部の沿岸，安芸灘北部，広島湾のそれぞれ狭い範囲では5 %以上大きく，とくに伊予灘中部北側では10 %を上まわる。中部海域においては，期間最大波高は100年確率波高と比べて海域南西部（燧灘西部）と北東部（備後灘）で10 %以上大きい，それ以外の海域であまり相違しない。これは燧灘西部ではT7010号，備後灘ではT3706号による期間最大波高が突出した値をとるためである。東部海域においては，期間最大波高は紀伊水道で100年確率波高と同程度の値をとり，大阪湾と播磨灘の大部分の海域でも両者の差が±5 %以内にある。大阪湾では淡路島の東側，播磨灘では淡路島の西側，小豆島の東側で5 %を越え，小豆島北側の狭い海域で10 %を上まわる。また，播磨灘の北部で5 %を下回る海域も見出される。しかし全体的に，東部海域では期間最大波高が突出した値をとらないことから，資料期間と再現期間の差が小さい場合の期間最大波高と100年確率波高はそれほど相違しない。

なお，T6118号，T6420号，T6523号を含む18ケースの台風時の最大風速分布はすでに山口ら^[17]によって公表されているが，その後の研究の進展に合わせた再検討により，上記3台風に対する今回の推定結果は前回のものと多少異なる。

5. 結 語

本研究では，SDP風観測資料と気象資料を入手し得た1933～1960年の14ケースの台風および1961～1965年の3ケースの巨大台風（T6118号，T6420号，T6523号）を対象として瀬戸内海における個々の台風時の海上風分布と波高分布を，その最大値に注目して考察するとともに，畑田ら^[1]による結果と合わせて，風速・波高の期間最大値や再現確率値を再評価した。得られた知見はつぎのように要約される。

(1)畑田ら^[1]の結果と同様に，瀬戸内海における海上風分布や波高分布が個々の台風の経路や勢力に応じて変化する特性が再現される。

(2)1918～2005年の88年間では畑田ら^[1]が以前に選択した1959年以前の巨大台風によって瀬戸内海の多くの小海域で期間最大風速あるいは期間最大波高が生じている。すなわち，ほぼ同じ資料期間において新たに台風ケースを追加しても，風速と波高の極値の推定結果はほとんど変化しない。これは風速と波高の100年確率値についても言える。ただし，別府湾においてはT4609号およびT3507号時の最大波高のため，期間最大波高，100年確率波高ともに0.5～1 m大きくなる。

(3)1918～2005年の88年間において期間最大風速あるいは期間最大波高を生起した1960年以前の主な台風は，西部海域ではT4516号，T5115号，T4216号，T4326号，T4609号，T3507号，中部海域ではT4326号，T3706号，T3412号，東部海域ではT3706号，T3412号，T18-July台風である。一方，期間最大風速あるいは期間最大波高をもたらした1961年以降の主な台風は，西部海域のうち周防灘の北側海域でT9119号，T7119号，豊後水道から豊予海峡を経て山口県東部沿岸に至る海域でT0418号，中部海域のうち燧灘西部でT7010号，東部海域のうち大阪湾でT6118号，T6523号，T6420号である。

(4)100年確率風速は豊後水道で35 m/s弱から40 m/s，伊予灘と周防灘で35～40 m/s，安芸灘・広島湾で40 m/s以上，燧灘・備後灘で30～40 m/s，播磨灘で35～40 m/s，大阪湾で35～45 m/s，紀伊水道で40～45 m/sを与え，とくに佐田岬周辺，大阪湾の一部，紀伊水道の一部では45 m/s以上をとる。

(5)100年確率波高は外洋波浪が入射する豊後水道では境界付近で11 m，その北部の豊予海峡で9 m，

紀伊水道では境界付近で 14~15 m, その北部の友ヶ島水道で 9 m に達する。内湾・内海のうち外洋波浪の影響を受ける豊予海峡から対岸の山口県沿岸で 9 m から 7 m, 友ヶ島水道から対岸の須磨方面で 9 m から 6 m をとる。内湾・内海発生波浪が卓越する海域（別府湾, 周防灘中部から西部, 伊予灘, 安芸灘・広島湾, 斎灘, 燧灘, 備後灘, 播磨灘, 大阪湾の中央部より東側）では 6 m を上限とし, 周辺地形の状況に応じて 3~6 m の間で変化する。期間最大風速や期間最大波高も 100 年確率風速・波高と同程度の値をとり, 地域分布特性も類似する。

最後に, 本研究で利用した佐田岬・土佐沖ノ島灯台における風資料を閲覧させて戴いた気象庁や貴重な関係資料を提供戴いた関係各機関に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- [1] 畑田佳男・山口正隆・野中浩一・大福 学：瀬戸内海における 1918~2005 年の海上風・波浪推算資料を用いた風速と波高の極値の推定, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第 10 巻, pp.26-55, 2011.
- [2] 畑田佳男・山口正隆・大福 学・高橋秀典：表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システムの適用性の向上, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.141-145, 2005.
- [3] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.186-190, 2009.
- [4] 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博：一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性, 土木学会論文集, 第 381 号/II-7, pp.151-160, 1987.
- [5] 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄：エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp.123-127, 1984.
- [6] (財) 日本気象協会：1940~1970 台風経路図 30 年集, 日本気象協会, 139p., 1973.
- [7] 黒田静夫, 石綿知治：防災工学—台風に対する海岸と港湾の防災, 山海堂, 453p., 1960.
- [8] 力武常次・竹田 厚 (監)：日本の自然災害, 国会資料編纂会, 637p., 1999.
- [9] 和達清夫監修：新版気象の事典, 付録 気象災害年表, 東京堂出版, pp.584-616, 1989.
- [10] 宮崎正衛：高潮の研究 その実例とメカニズム, 成山堂書店, 134p., 2003.
- [11] 合田良實：[増補改訂] 港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—, 11.極値統計解析, 鹿島出版会, pp.267-326, 1990.
- [12] Yamaguchi, M. and Y. Hatada : An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp.932-946, 1997.
- [13] 山元龍三郎・光田 寧・宮田賢二：第二室戸台風通過時の強風の分布について, 京大防災研究所年報, 第 6 号, pp.113-127, 1963.
- [14] 矢吹文太郎：第二室戸台風時の海上気象 (船舶資料による), 神戸海洋気象台彙報, Vol.170, pp.58-75, 1963.
- [15] 山元龍三郎・光田 寧・宮田賢二・田平 誠：台風 20 号にともなった暴風について, 京大防災研究所年報, 第 8 号, pp.595-604, 1965.
- [16] 気象庁：1965 年第 23, 24, 25 号台風調査報告, 気象庁技術報告, 第 53 号, pp.37, 1966.
- [17] 山口正隆・大福 学・野中浩一・日野幹雄・畑田佳男：1918~1965 年の 18 巨大台風時の瀬戸内海における海上風分布の再現, 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp.441-446, 2010.

屋久杉の樹脂斑点幅記録より推定された超強風速の出現可能性の検討

Investigating Occurrence Possibility of Super-Strong Wind Speed Estimated Using Width Records of Resin Freckle Left along Annual Rings of 'Yakusugi'

山口正隆*・野中浩一**・畑田佳男***

Masataka YAMAGUCHI*, Hirokazu NONAKA** and Yoshio HATADA***

Yakushima, located around 60 km south of Kyushu Island is famous for their long-lived (several thousand years old) cedars known as 'Yakusugi'. Manabe(1968) suggested an occurrence of typhoon-generated super-strong wind speeds reaching 93.5 m/s at Yakushima from the analysis of resin freckles left along annual rings on a stump of the Yakusugi(Yakushima Cedar) with a tree age of more than 1,500 years. This paper gives a re-estimate of 70 m/s wind speed at a height of 10 m from the ground through reanalysis of the relationship between annual width of freckles in the recent years on the stump and annual maximum wind speed measured at Yakushima. An extreme value analysis for a sample of annual maximum wind speed consisting of measurements in recent years and data converted from around 1,500 year-long freckle records using the above-mentioned relationship indicates that the return period of wind speed may be more than 2,000 years. A simple approximation form of gradient wind model with either of two types of pressure distribution in a typhoon is applied to evaluate a limiting wind speed under the supposable severest condition of central pressure. Also, a Monte-Carlo simulation of typhoon-generated winds over a 1000-year period on the Northwestern Pacific Ocean is carried out to estimate the return wind speeds on the area. Both investigations imply that the super-strong wind speed event may occur in a period of around 5,000 years.

Key Words ; Super-strong wind speed, typhoon, stump of 'Yakusugi' (Yakushima Cedar), resin freckle, annual ring, extreme value analysis, return wind speed

1. 緒 言

2011年3月11日東日本を襲った超巨大地震とこれに伴う超巨大津波の事例にみるまでもなく、想像を越える異常事象の存在が示唆されている場合には、その生起可能性について科学的・工学的検討

*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

**愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

***愛媛大学大学院理工学研究科(工学系)生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

原稿受理 平成23年10月5日

を加えておくことが今後の災害対策にとって重要になる。その1例が鹿児島県屋久島で伐採された屋久杉の樹脂斑点幅記録から真鍋・川勝^[1]と真鍋^[2]によって推定された過去約1,500年における超強風速95 m/sの存在である。

本研究では、屋久島を含む沖縄から九州の気象官署において観測された過去100年前後の年最大風速資料や、屋久島における74年間の観測資料を含む約1,500年間の推定年最大風速資料に対する極値統計解析に基づいて、再現期間が1,000年規模の確率風速を推定するとともに、傾度風モデルの極限形を用いて推定した限界風速や確率的台風モデルを用いたモンテカルロシミュレーションの結果に基づいて推定した確率風速との比較を通じて、数千年の時間スケールにおける超強風速の生起可能性を議論する。

2. 屋久島における風速資料の解析

2.1 風速資料

Fig. 1は屋久島、鹿児島など南西日本における5地点の気象官署の位置を示す。真鍋・川勝^[1]および真鍋^[2]は約1,500年前から伐採時点に至る屋久杉の樹脂斑点幅記録のうち、近年のものと同屋久島および鹿児島における年最大観測風速を用いて両者の直線回帰式を作成したのち、古い時代の樹脂斑点幅に対する当該回帰式の適用により4~39年の年数幅で(西暦)451~484年の期間(34年間)から1943~1951年の期間(9年間)に至る41ケースの推定風速値を得た。

本研究では、このうち4ケースを除く451~484年(34年間)の資料から1922~1931年(10年間)の資料に至る34ケースとこれ以降の3ケースの資料を用いる。これらは1935~1942年(8年間)、1940~1950年(11年間)、1943~1951年(9年間)における資料であり、観測風速資料との対比・相関をとるために、それぞれ1943年、1946年、1948年に年最大観測風速をもたらした台風により生じた斑点幅と考える。

屋久島では1937年から2010年までの74年間にわたる風観測資料が得られており、年最大風速・風向と年平均風速を気象100年誌やインターネット上に公開された資料などから収集することができる。周知のように、風速・風向、とくに風速の観測値は風速計の種類や高度、評価時間、周囲の状況など測風環境の変化によって経年変動を伴い、等質性を欠くのが通例である。ここでは山口ら^[3]にならって、古い時期の観測風速をごく最近の測風環境における観測風速とするために、屋久島では一方向的な経年変化をほとんど伴わない1975~2001年の27年間における年平均風速3.9 m/sと、それ以外であまり一方向的な経年変化を伴わないいくつかの区間の年平均風速が一致するように両者の比率を乗じて年最大風速の補正を行う。この結果、屋久島の海拔47 m地点における1975~2001年基準の補正年最大風速資料が1937~2010年の74年間相当分得られたとみなす。なお、屋久島の風向・風速計は2002年4月以降にそれ以前の位置より1 km移動されているため、2002年以降の年平均風速が移動以前に比べてかなり大きい。

Fig. 2は屋久島の1937~2010年74年間における年平均観測風速(○印)、補正年平均観測風速(*

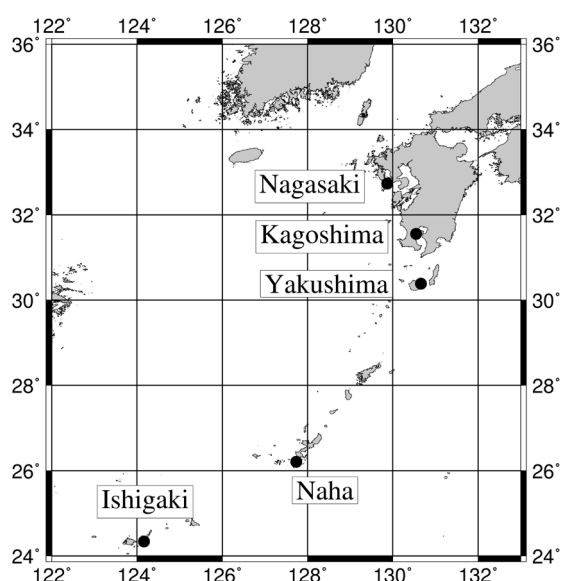


Fig. 1 Location of 5 meteorological stations in Southwestern Japan.

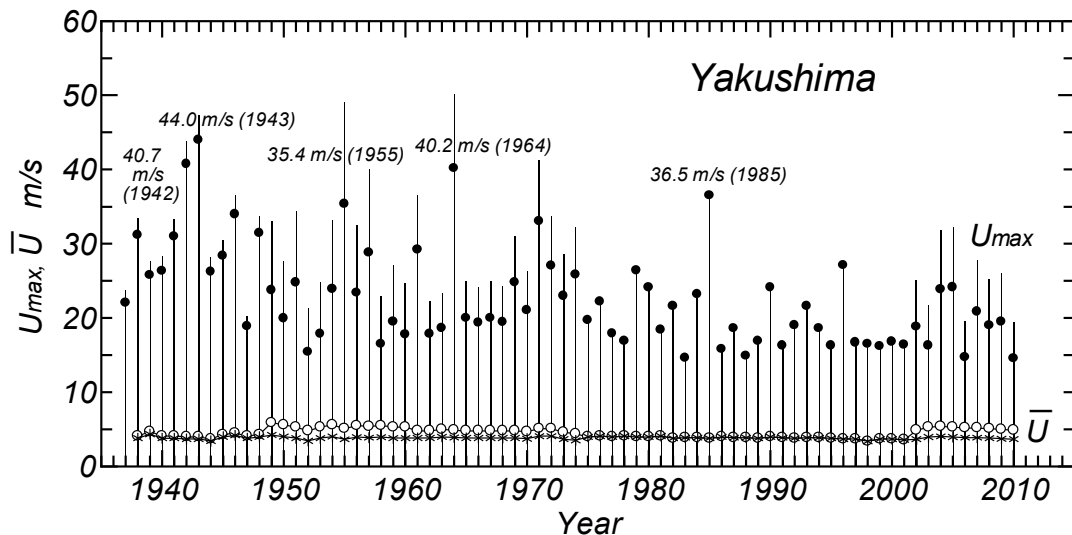


Fig. 2 Yearly variation of measurement-based annual maximum and mean wind speeds at Yakushima.

印, いずれも \bar{U} で表記), 年最大観測風速 (縦棒), 補正年最大観測風速 (●印, いずれも U_{max} で表記) の年系列を与える。等質化の手続きによって 1974 年以前および 2002 年以降の補正年平均観測風速は年に関して平準化がはかられ, 補正年最大観測風速は等質化前に比べて有意な程度に小さくなっている。

同様の手順によって, 沖縄と九州の気象官署 (石垣, 那覇, 鹿児島, 長崎) における年最大風速の補正を行う。このうち, 鹿児島の観測資料の期間は 1885~2010 年の 126 年間あるいは年平均風速が大きな落差を伴う 1897 年以前のデータを除いた 1898~2010 年の 113 年間である。また, あまり一方向的な経年変化を伴わない 1994~2010 年の年平均風速は 3.4 m/s (高度 49 m) を与える。

Fig. 3 は屋久島 (高度 47 m) と鹿児島 (高度 49 m) における補正年最大風速の関係を表す。各プロット点はかなりのばらつきを伴うけれども, 相関係数 $\rho = 0.60$, 原点を通る相関直線の勾配値 $a_0 = 1.04$ であるから, ごく粗い近似で両地点における補正年最大風速はほぼ同じとみなせよう。

つぎに, Fig. 4 は樹脂斑点幅と屋久島における補正年最大風速および鹿児島における補正年最大風速を加えた場合の両者の関係をそれぞれ示す。まず屋久島における年最大風速のみを用いる場合の斑点幅と補正年最大風速の資料値は 1935~1942 年 (該当年は 1943 年) の (6.6 mm, 44.0 m/s), 1940~1950 年 (1946 年) の (5.5 mm, 34.0 m/s), 1943~1951 年 (1948 年) の (3.1 mm, 34.4 m/s) の 3 組である。両者の関係は斑点幅を δ mm, 補正年最大風速を U_{Yaku} (m/s) として

$$U_{Yaku} = 3.19\delta + 20.30 \quad (1)$$

により近似される。また鹿児島における年最大風速に関して 1911 年の資料とみなした (6.3 mm, 37.5 m/s), 1924 年の資料とみなした (4.6 mm, 27.9 m/s) を加えた 5 組の資料に対する回帰直線のあてはめ結果は

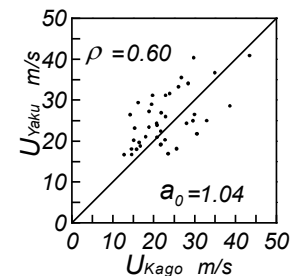


Fig. 3 Relationship between annual maximum wind speed at Yakushima and that at Kagoshima.

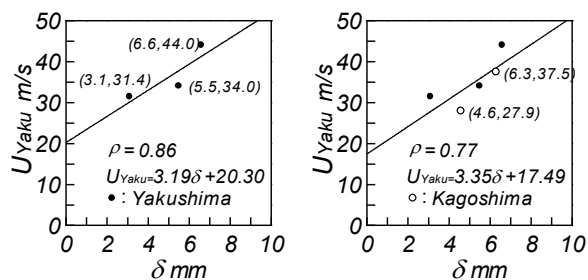


Fig. 4 Relationship between annual maximum wind speed at Yakushima and width of resin freckle on stump of 'Yakusugi'.

$$U_{Yaku}=3.35\delta+17.49 \quad (2)$$

で表される。これらの式によれば、 $\delta=20$ mm に対して U_{Yaku} はそれぞれ 84.1 m/s と 84.5 m/s、 $\delta=15$ mm に対して 68.2 m/s と 67.7 m/s、 $\delta=10$ mm に対して 52.2 m/s と 51.0 m/s、 $\delta=5$ mm に対して 36.3 m/s と 34.2 m/s であるから、高風速部ほど両者の差が小さい。ここでは、屋久島における 3 組の資料から導いた式(1)の推定式を採用する。なお、鹿児島における 1,890 年、1,899 年、1,905 年に相当する 3 ケースの資料を追加すると、適切な関係が得られないので、この場合の資料を回帰式の導出に際して採用していない。なお、真鍋・川勝^[1]および真鍋^[2]に与えられた斑点幅と推定年最大風速より逆算して得た回帰式は

$$U_{Yaku}=3.88\delta+12.53 \quad (3)$$

である。

Fig. 5 は 473~2010 年 1,538 年間における 108 個の推定・補正年最大風速の年系列を示す。全資料における 473 年 (451~484 年) ~1927 年 (1922~1931 年) の 1,455 年間 34 個の斑点幅から推定した年最大風速と、1937~2010 年の 74 年間 74 個の補正年最大観測風速の各資料よりなる。各斑点幅の生起年代は相当する期間の平均値や真鍋・川勝^[1]と真鍋^[2]に与えられた表に記載された古文書の記録などを参照して決めた。Table 1 に示すように、全年最大風速資料のうち、第 1 位値は 545 年 (537~552 年) の 87.0 m/s、補正を行っていない年最大風速資料に対する回帰式を用いた真鍋^[2]では 93.5 m/s、第 2 位値は 473 年 (451~484 年) の 75.2 m/s、真鍋^[2]では 79.0 m/s、第 3 位値は 1828 年 (1819~1830 年) の 73.9 m/s、真鍋^[2]では 77.5 m/s、第 4 位値は 1130 年 (1118~1156 年) の 70.1 m/s、真鍋^[2]では 73.0 m/s

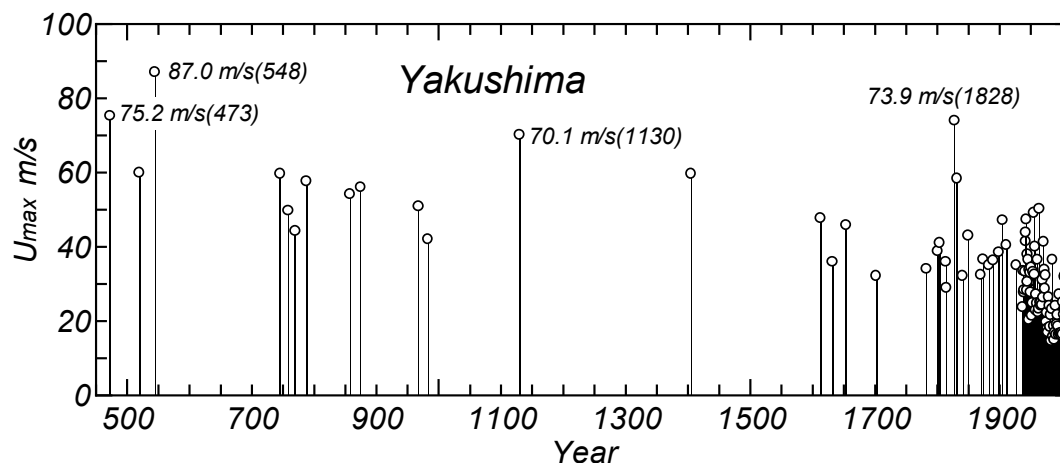


Fig. 5 Yearly variation of freckle-based and measurement-based annual maximum wind speeds over a period of more than 1,500 years at Yakushima.

であり、後者は式(3)によるものとほぼ一致する。Table 1 List of 4 largest annual maximum wind speeds in a year period from 473 to 2010 estimated by this study and those by Manabe(1968).

等質性を担保するための補正を行った今回の結果は第 1 位値でみて真鍋^[2]によるものより 6.5 m/s 小さい。第 2 位値は熊野年代記にある大風 (473 年) に該当する可能性についての希望的観測が饒村^[4]に述べられている。第 3 位値は根本^[5]、高橋^[6]、根本^[7]に取り上げられた過去 300 年の間の超 A 級台風と目される 1828 年 9 月 17 日のシーボルト台風と考えて、発生年を特定した。

order	year period	year	U_{max}^* (m/s)	U_{max}^{**} (m/s)
1	537-552	545	87.0	93.5
2	451-484	473	75.2	79.0
3	1819-1830	1828	73.9	77.5
4	1118-1156	1130	70.1	73.0

* : this study, ** : Manabe(1968)

また、1669年以降に屋久島に隣接する種子島に影響を与えた台風が種子島家譜を用いて吉田^[8]により調べられているが、1828年のほか、1806年、1815年を除いて、異常風速の発生年がほとんど対応しないことから、屋久島の推定年最大風速の生起年に曖昧さが残るのはやむを得ない。推定年最大風速が70 m/s以上の資料はTable 1の4例のみであり、第5位値は59.6 m/sと60 m/sを下まわる。風速が50 m/s代の資料は8ケースあり、1832年の58.3 m/sを最後とする。補正年最大観測風速の最大値は1943年の44.0 m/sであり、風速は斑点幅に基づく推定結果よりかなり低い。

要するに、Fig. 2から明らかなように、50 m/sを越える巨大風速は観測期間に生じていないし、中程度の強風速の生起も観測開始初期年代に集中している。

2.2 日本における既往最大観測風速との比較

平地にある気象官署で観測された最大瞬間風速の第1位値は宮古島（海拔50 m）における85.3 m/s（台風6618号、第2宮古台風、1966年9月5日）、第2位値は室戸岬（海拔227 m）における84.5 m/s以上（台風6118号、第2室戸台風、1961年9月16日）であり、非公式記録では鹿児島県下甕島における88 m/s（台風9119号、1991年9月27日）や同じく下甕島における83.9 m/s（台風9918号、1999年9月24日）がある。地形の影響を受ける室戸岬を除いても、最大瞬間風速は85 m/sを越える。一方、平地にある気象官署で観測された10分間平均風速の第1位値は室戸岬における69.8 m/s（台風6523号、1965年9月10日）、第2位値は室戸岬における66.7 m/s（台風6118号、第2室戸台風、1961年9月16日）、第3位値は宮古島における60.8 m/s（台風6618号、第2宮古島台風、1966年9月5日）、非公式記録では宮崎県細島灯台（海拔106 m）における74.1 m/s（台風5115号ルース台風、1951年10月14日）、ついで愛媛県佐田岬灯台（海拔40.6 m）における67.1 m/s（台風5115号、ルース台風、1951年10月14日）である。後者に関しては68.9 m/sという報告（小林^[9]）もある。第3位値は宮崎県都井岬灯台（海拔271 m）における65.0 m/s（台風5413号、1954年9月7日）である。風速計の海拔高度は佐田岬灯台で上記のように40.6 mであり、47 mを与える屋久島の風観測地点の海拔高度とそれほど差はない。局所地形の影響を強く受ける室戸岬の風観測記録を除いても、65 m/sを越える強い風速が観測されている。ただし、最近の年代における風速に補正すれば、観測値は小さくなる可能性がある。いずれにしても、少なくとも60 m/sを越える10分間平均風速が日本の南西部でこれまでに台風時に観測されたと考えてよいであろう。こうした観測結果を考慮すると、Table 1に示した屋久島（海拔47 m）における推定風速の第1位値87.0 m/s、第2位値の75.2 m/s、第3位値の73.9 m/s、第4位値の70.1 m/sはあながち荒唐無稽な値でなく、第5位値の59.9 m/sに至っては十分生起可能な値と考えられる。

2.3 確率風速の推定

屋久島のほか鹿児島、那覇、石垣、長崎における10 m 高度換算の年最大観測風速資料に対する極値統計解析をYamaguchi・Hatada^[10]のモデルによって行った。このモデルはGumbel分布、Weibull分布（形状母数 $k=0.5\sim 10$ の27種類）、FT-II型分布（形状母数 $k=2.5\sim 40$ の20種類）の48種類を候補分布とし、順序統計量の非超過確率の評価を合田^[11]のプロットング公式、尺度母数と位置母数の推定を最小2乗法、最適分布の選択を最大相関係数基準、確率風速の分散（平方根は標準偏差）の推定をjackknife法による。ここではこれをLSMモデルと称する。候補分布の増加とjackknife法の導入が合田^[11]のLSMモデルと異なる。解析における資料採択率 ν は観測資料に対して1、1,538年間の推算・観測資料に対して0.05以下である。結果をTable 2に示す。表には、風速計の高度（ z m）、資料期間と年数 K （年）、最適分布の形状母数（ W はWeibull分布、 F はFT-II型分布）、相関係数 ρ 、再現期間 $R=100$ 年、200年、1,000年に対する確率風速とその標準偏差 $\tilde{U}_R = U_R + U_{\sigma R}$ 、第1位年最大風速 U_{max}

Table 2 List of return wind speeds estimated using measurement samples at 5 stations.

location	z m	period	K yrs.	k	ρ	\tilde{U}_{100} m/s	\tilde{U}_{200} m/s	\tilde{U}_{1000} m/s	$U_{max}(\text{year})$
Yakushima	47.0	1937-2010	74	W1.3	0.9969	35.5±2.3	38.2±2.6	44.4±3.3	35.3(1943)
Kagoshima	49.0	1937-2010	74	W1.5	0.9983	33.7±2.0	36.1±2.3	41.2±2.8	34.8(1942)
		1898-2010	113	F12.5	0.9978	35.9±2.4	39.8±2.9	49.9±4.0	40.3(1899)
Naha	75.8	1911-2010	100	W2.6	0.9958	35.1±1.0	36.6±1.1	39.6±1.3	33.7(1949)
Ishigaki	35.4	1900-2010	111	W1.6	0.9960	46.1±2.1	49.3±2.3	56.2±2.8	45.8(1933)
Nagasaki	45.3	1895-2010	116	W1.6	0.9888	32.5±1.7	34.8±1.9	39.7±2.4	35.9(1914)

$$\tilde{U}_R = U_R \pm U_{or} \quad (R=100, 200, 1,000 \text{ yrs.}), \quad \text{Unit of } U_{max} : \text{m/s}$$

との生起年（括弧内）を与える。10 m 高度風速への変換は 1/7 乗則の適用による。変換係数は屋久島で $0.80165 \approx 0.80$ ，鹿児島で $0.79689 \approx 0.80$ ，石垣で $0.83478 \approx 0.83$ ，那覇で $0.74874 \approx 0.75$ ，長崎で $0.80588 \approx 0.81$ であり，那覇の 0.75 を除く 4 地点で 0.80~0.83 とあまり異ならない。鹿児島，那覇，長崎の 3 地点では観測開始初期の年代の年平均風速と最近の年代の年平均風速の比が大きいことから，換算のために両者の比を乗じると前者の年最大風速が著しく増大するので，初期年代の資料を鹿児島で 13 年相当分，那覇で 20 年相当分，長崎で 16 年相当分削除した。この場合でも各観測資料の期間は 100 年を越える。

Fig. 6 は横軸を観測値 U_{obs} ，縦軸を計算値 U_{cal} とする Q-Q プロット図を屋久島（74 年間資料）と鹿児島（113 年間資料および 74 年間資料）について示す。この事例および各地点で得られた相関係数 ρ の値が示唆するように，最適分布の補正年最大風速資料に対する

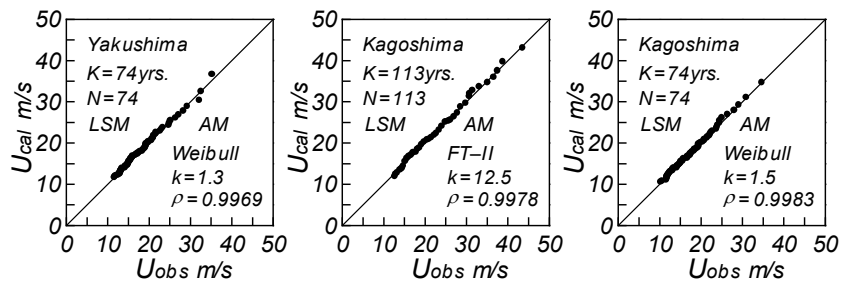


Fig. 6 Quantile-quantile plot of sample of measurement-based annual maximum wind speed at Yakushima and that at Kagoshima.

適合度はいずれの地点でも良好である。また，屋久島の近くに位置する鹿児島では，有効とした全観測資料（113 年間）のみならず屋久島の観測資料期間（1937~2010 年の 74 年間）に合わせた資料に対する解析も行っている。屋久島および鹿児島（74 年間資料）における確率風速と標準偏差は再現期間 100 年に対してそれぞれ 35.5 ± 2.3 (m/s) と 33.7 ± 2.0 (m/s)，再現期間 1,000 年に対しても 44.4 ± 3.3 (m/s) と 41.2 ± 2.8 (m/s) であるから，両者は比較的近い確率風速値を与える。鹿児島では資料期間 74 年から 113 年への延長に伴い，100 年確率風速で 2.2 m/s，200 年確率風速で 3.7 m/s 増加しており，確率風速の推定値に及ぼす期間延長の影響は無視し得ない。ついで，対象とした 5 地点のうち 200 年確率風速は石垣における 49.3 m/s を除いて，長崎における 34.8 m/s から鹿児島における 39.8 m/s の範囲にあり，確率風速値の差が 5 m/s の範囲に納まる。

10 m 高度風速に変換した屋久島の 1937~2010 年 1,538 年間の推定・補正年最大風速資料のうち，斑点幅から推定した 1927~1947 年 1,455 年間の年最大風速資料は 25.7~69.7 m/s（47 m 高度相当で 32.1~87.0 m/s）の範囲にある。一方，1937~2010 年 74 年間の観測資料では補正年最大風速資料は 11.7~35.3 m/s（47 m 高度で 14.6~44.0 m/s）の範囲をとる。真鍋^[2]によれば，斑点幅から推定可能な最低風速は 25.5~35.0 m/s 内外（10 m 高度風速で大体 20~30 m/s 内外）と言われている。そこで，1,538 年間の推定・補正年最大風速資料に対して下限 censoring 値（限界風速） U_c を 20 m/s から 5 m/s ごとに

Table 3 List of return wind speeds estimated using sample of freckle-based and measurement-based annual maximum wind speeds at Yakushima.

U_c (m/s)	K yrs.	N	k	ρ	\tilde{U}_{200} m/s	\tilde{U}_{1000} m/s	\tilde{U}_{2000} m/s	\tilde{U}_{5000} m/s	R_{max} yrs.	R_{max2} yrs.
35*	1,538	18	W10	0.9889	46.1±2.1	62.8±5.1	69.0±6.4	76.4±7.9	2,282	817
30*	1,538	26	W10	0.9931	46.1±2.5	62.8±5.2	68.9±6.2	76.2±7.5	2,266	817
25*	1,538	41	W2.8	0.9952	45.7±2.7	62.2±5.1	68.6±6.0	76.5±7.1	2,207	769
20*	1,538	54	W3.0	0.9965	45.7±2.9	62.2±5.0	68.5±5.8	76.3±6.8	2,172	763
35**	1,538	18	F7.0	0.9961	43.8±3.2	57.6±4.9	64.6±5.7	74.9±6.9	3,191	1,316
35***	1,538	18	F7.0	0.9801	43.3±1.4	55.9±2.0	62.2±2.4	71.7±2.8	4,176	1,632

$$\tilde{U}_R = U_R \pm U_{\sigma R}, \quad U_{max}(\text{year})=69.7 \text{ m/s (545)}, \quad U_{max2}(\text{year})=60.3 \text{ m/s (473)}$$

* : LSM, ** : PPWM, *** : MLM

35 m/s まで変えて LSM モデルによる解析を行った。Table 3 は結果の一覧を示す。この中で R_{max} は第 1 位値 69.7 m/s に対する再現期間 (年数), R_{max2} は第 2 位値 60.3 m/s に対する再現期間 (年数) である。資料年数 $K=1,538$ 年に対して資料数は 18~54 と非常に少なく, したがって資料採択率も $\nu=0.012 \sim 0.035$ と小さい。この結果によると, 相関係数 ρ はかなり 1 に近く, 下限 censoring 値に伴う確率風速および標準偏差の変化も小さい。また 74 年間の観測資料に基づく 200 年確率風速の推定値 38.2 m/s と比べて, 1,538 年間の資料に基づく値 46 m/s は 20 %大きい。これはもちろん斑点幅から年最大風速を推定した観測開始以前の年代 (歴史時代)

における最大 69.7 m/s に達する超強風速の出現による。このほか, 1,538 年間の第 1 位値 69.7 m/s (47 m 高度相当で 87.0 m/s) は 2,000 年確率風速より 1 m/s 大きい程度でその再現期間は 2,200 年, 第 2 位値 60.3 m/s (47 m 高度相当で 75.2 m/s) は 1,000 年確率風速 62.2 ~ 62.8 m/s より 1.9~2.5 m/s 小さい程度で, その再現期間は 800 年前後を与える。資料期間を考慮すると, 風速の第 1 位値および第 2 位値とそれぞれの再現期間の対応関係は合理的である。

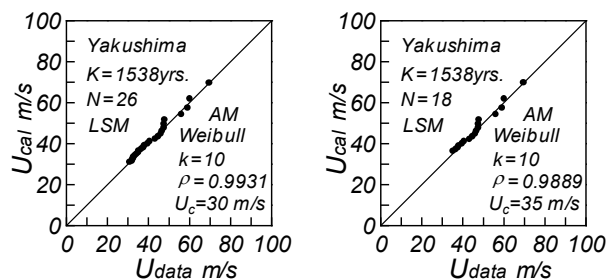


Fig. 7 Quantile-quantile plot of sample of freckle-based and measurement-based annual maximum wind speeds at Yakushima.

Fig. 7 は下限 censoring 値を $U_c=30$ m/s および 35 m/s とした場合の Q-Q プロット図を与える。計算値 U_{cal} と資料値 U_{data} の対応はよい。同様の解析を PPWM 法モデル (宇都宮ら^[12]) および MLM モデル (山口ら^[13]) によって行ったが, 下限 censoring 値 U_c の変化に対して必ずしも安定した推定値が得られないので, $U_c=35$ m/s に対する結果のみを Table 3 の下 2 段に与える。PPWM 法モデルを用いた確率風速は各再現期間に対して LSM モデルを用いた値よりやや小さいが, MLM モデルを用いた値は一層小さい。これは最上位値付近の資料の多くが資料期間の前半年代に生起しているという当該年最大風速資料の特性に起因すると推測される。すなわち, PPWM 法モデルや MLM モデルでは前半年代 (歴史時代) と後半年代 (観測時代) のいずれに最上位値近くの値が生起するかが定式化に際して考慮されるのに対して, LSM モデルではその生起年代が問題にならないことから, 下限 censoring 値の変化に対して安定した確率風速の推定値が得られると考えられる。ここでは, LSM モデルを用いた場合の下限 censoring 値 $U_c=30$ m/s に対する結果を最適な推定値とする。

3. 傾度風モデルに基づく最大風速

3.1 Holland 式に基づく検討

屋久島で推定された 87.0 m/s (10 m 高度換算で 69.7 m/s) もの超強風速がはたして出現しうるか否かを傾度風モデル (岡田^[14]) に基づいて概略検討する。まず Holland^[15]による台風内気圧分布 p のモデルは次式で表される。

$$p = p_c + \Delta p \exp\left\{-\frac{A}{r^n}\right\} = p_c + \Delta p \exp\left\{-\left(\frac{R_w}{r}\right)^n\right\} \quad (4)$$

$$\Delta p = p_\infty - p_c, \quad R_w = A^{1/n} \quad \text{or} \quad A = R_w^n \quad (5)$$

ここに、 p_c : 中心気圧、 p_∞ : 遠方場気圧、 Δp : 気圧差、 r : 台風中心からの距離、 R_w : 最大旋衡風速半径あるいは、ほぼ最大風速半径、を表す。藤井・光田^[16]によれば、式(1)は Schloemer^[17]により提案された 10 種類の台風内気圧分布式のうちの 1 つとのことである。式(4)において $n=1$ の場合がいわゆる Schloemer 式あるいは Myers 式である。また、 n に対する経験式が Hubert et al.^[18]によってつぎのように提案されている。

$$n = 1.5 + (980 - p_c)/120 \quad (6)$$

n の範囲として 1~2.5 が Holland^[15]により推奨されている。しかし、 $n=1$ に対して $p_c=1,040$ hPa、 $n=2.5$ に対して $p_c=860$ hPa であるから、遠方場気圧 p_∞ を 1,013 hPa または 1,010 hPa とする通常の台風の場合には、それぞれ $n=1.225$ および $n=1.25$ をとり、Myers 式に相当する $n=1$ にならない。いずれにしろ、中心気圧 p_c の低下とともに n は増大し、半径方向の気圧の空間分布が急になる。

式(1)に基づく傾度風速 V_g は次式で表される。

$$V_g = \left[n \left(\frac{R_w}{r} \right)^n \left(\frac{\Delta p}{\rho} \right) \exp\left\{-\left(\frac{R_w}{r}\right)^n\right\} + \left(\frac{r f}{2} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{r f}{2} \quad (7)$$

ここに、 ρ : 空気の密度、 $f (= 2\omega \sin\phi)$: Coriolis 項、 ω : 地球の回転角速度、 ϕ : 緯度、である。式(7)は $r = R_w$ で

$$V_{gmax} = \left\{ n \left(\frac{\Delta p}{\rho} \right) \exp(-1) + \left(\frac{R_w f}{2} \right)^2 \right\}^{1/2} - \frac{R_w f}{2} \quad (8)$$

になる。しかし、上式の $\{ \}$ 内で第 1 項 \gg 第 2 項であることから、式(8)は次式で近似できる。

$$V_{gmax} = \left\{ n \left(\frac{\Delta p}{\rho} \right) \exp(-1) \right\}^{1/2} = n^{1/2} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho e}} \quad (9)$$

ここに、 e は自然対数の底 2.7182813 である。高橋^[19]は $n=1$ とした上式により可能最大風速の推定を行っている。

式(9)によれば、Table 4 に示すように $p_\infty=1,013$ hPa、 $\rho=1.2$ kg/m³ とし、① $p_c=860$ hPa に対して $n=2.5$ 、 $V_{gmax}=108.3$ m/s、② $p_c=880$ hPa に対して $n=2.33$ (7/3)、 $V_{gmax}=97.5$ m/s、③ $p_c=900$ hPa に対して $n=2.17$ (13/6)、 $V_{gmax}=86.6$ m/s、になる。一方、 $n=1$ とした Myers 式では $p_\infty=1,013$ hPa、 $\rho=1.2$ kg/m³ とし、① $p_c=860$ hPa に対して $V_{gmax}=68.5$ m/s、② $p_c=880$ hPa に対して $V_{gmax}=63.9$ m/s、③ $p_c=900$ hPa に対して $V_{gmax}=58.9$ m/s、である。九州沿岸を通過した最大級の超巨大台風である 1828 年のシーボルト台風の中心気圧は根本^[5]、^[7]によって 900 hPa (位置はおそらく九州西方海域) と推測されており、また台風 7709 号 (沖永良部台風) 時には沖縄本島と奄美大島の間に位置する沖永良部島で 907.3 hPa

が観測されていることから、中心気圧 900 hPa あるいはさらに中心気圧 880 hPa の台風が屋久島付近を通過する事態はあり得ないことであると推測される。

以上の V_{gmax} は静止台風に伴う最大傾度風速の第 1 次近似値である。台風内の風速には移動に伴う風の影響が加わり、台風の移動に伴う風速 v_0 は台風の移動速度を C として次式のいずれかでモデル化されることが多い。

$$v_0 = \frac{K}{1+K}C, \quad K = \frac{V_g}{rf} \quad (10)$$

$$v_0 = \frac{V_g}{V_{gmax}}C \quad (11)$$

式(10)は最大旋衡風速半径 R_w でほぼ C を、式(11)は C をとり、台風の移動速度 C が台風の移動に伴う場の風の最大風速 v_{0max} として最大傾度風速 V_{gmax} にそのまま加算される。移動速度 C を 36 km/h とすれば風速 10 m/s が、54 km/h とすれば 15 m/s が、72 km/h とすれば 20 m/s が線形的に加えられる。さらに、台風の風速は表面の摩擦の影響を受けて減少することから、10 m 高度の風速とするために減衰係数を 2/3 とする。Table 4 に示すように、 $p_c=900$ hPa の場合 Holland 式で 10 m 高度の最大風速は $V_{max}=67.7$ m/s, Myers 式で $V_{max}=49.3$ m/s, $p_c=880$ hPa の場合 Holland 式で $V_{max}=75$ m/s, Myers 式で $V_{max}=52.6$ m/s, と見積もられる。したがって、Holland 式で $p_c=900$ hPa, 移動速度 $C=54$ km/h ($v_{0max}=15$ m/s), 10 m 高度表面風速への変換係数を 2/3 とすると、最大風速は $V_{max}=67.7$ m/s であるから、屋久島における 10 m 高度推定年最大風速の第 1 位値 69.7 m/s は出現しえない値でないと推測される。

しかし、藤井・光田^[16]は台風内の気圧分布が $n=1$ に相当する Schloemer (Myers) 式でほぼ適切に表現されることを示しているので、 n を中心気圧の減少に応じて増加させる Holland 式の妥当性はあまり明確でない。一方、的場ら^[20]は n を変化させた Holland 式による台風場の風特性を検討しているが、 n の選択に関して明確な結論を得るに至っていない。

3.2 Super Gradient Wind (SGW) モデルに基づく検討

藤井・光田^[21]は表面風速 V と傾度風速 V_g の比が空間的に一定でなく、台風中心付近で 1 を越える特性を表現するために、 $x=r/r_0$ (r : 台風中心からの距離, r_0 : Myers 式による最大旋衡風速半径) とし、つぎの増幅係数 $G(x)$ を提案した。

$$G(x) = G(\infty) + \{G(x_0) - G(\infty)\} \left(\frac{x}{x_0}\right)^{k-1} \exp \left[\left(1 - \frac{1}{k}\right) \left\{1 - \left(\frac{x}{x_0}\right)^k\right\} \right] \quad (12)$$

ここに、 $k=2.5$, $x_0=0.5$, $G(x_0)=1.2$ である。 $G(\infty)$ は遠方場における表面風速への変換係数であり、ここでは藤井・光田^[21]による $G(\infty)=2/3$ とする。 $G(x)$ は $x=0$ での $G(\infty)=2/3$ から増大して $x=x_0$ で $G(x_0)=1.2$ の最大値をとったのち、 $x \rightarrow \infty$ で $G(\infty)=2/3$ に漸近する。表面 (10 m 高度) 風速 V' は Myers 式による傾度風速 V_g を用いて次式で得られる。

$$V' = G(x) \cdot V_g \quad (13)$$

Table 4 List of maximum gradient wind speed (V_{gmax}) and surface wind speed associated with moving typhoon (V_{max}).

p_c (hPa)	Holland			Myers			
	n	V_{gmax}	$V_{gmax}+v_{0max}$	V_{max}	V_{gmax}	$V_{gmax}+v_{0max}$	V_{max}
860	2.5	108.3	123.3	82.2	68.5	83.5	55.7
880	2.33	97.5	112.5	75.0	63.9	78.9	52.6
900	2.17	86.6	101.6	67.7	58.9	73.9	49.3

$V_{gmax}, v_{0max}, V_{max}$: m/s, $p_\infty=1013$ hPa, $\rho=1.2$ kg/m³

$C=54$ km/h ($v_{0max}=15$ m/s), $V_{max}=(2/3)(V_{gmax}+v_{0max})$

藤井・光田^[21]は Blaton の公式を通じて台風の移動速度 C を考慮した傾度風速 V_g を用いているが、ここでは台風の移動速度 C の影響を別途考慮する。また、光田・藤井^[22]は Δp に依存する $G(x_0)/G(\infty)$ の式を提案している。

$$G(x_0) = G(\infty) \left\{ 1 + 10^{(0.02314p-1.96)} \right\} \quad (14)$$

上式において $p_\infty = 1,013 \text{ hPa}$ とすると、 $G(\infty) = 2/3$ の場合 $p_c = 941 \text{ hPa}$ ($\Delta p = 72 \text{ hPa}$) で $G(x_0) = 1$ をとり、 $p_c = 941 \text{ hPa}$ 以下で SGW が実現されるが、 $p_c = 928 \text{ hPa}$ ($\Delta p = 85 \text{ hPa}$) の場合 1.34、 $p_c = 903 \text{ hPa}$ ($\Delta p = 110 \text{ hPa}$) の場合 $G(x_0) = 3.21$ となるから、増幅係数 $G(x_0)$ が異常に大きくなる。したがって、藤井・光田^[21]におけるように、 $G(x_0) = 1.2$ あるいは、せいぜい $G(x_0) = 1.4$ とすることが望ましいと考えられる。Mitsuta・Fujii^[23]の事例によれば、 $G(x_0) = 1.4$ もとりうる値である。

そこで、上記と同様に $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ 、 $G(x_0) = 1.2$ とし、気圧分布に Myers 式を用いれば、台風の移動の影響を含まない 10 m 高度での表面風速 V'_{max} は $p_c = 900 \text{ hPa}$ の場合 $V_{max} = 58.9 \text{ m/s}$ であるから、 $V'_{max} = 58.9 \times 1.2 = 70.7 \text{ m/s}$ と評価される。これに台風の移動の影響として、たとえば $C = 54 \text{ km/h}$ (15 m/s) に対する $15 \text{ m/s} \times 2/3 = 10 \text{ m/s}$ を加えれば、 $V_{max} = 80.7 \text{ m/s}$ となる。 $G(x_0) = 1.3$ とし、10 m 高度における移動速度の寄与を $15 \text{ m/s} \times 2/3 = 10 \text{ m/s}$ とすれば、 $p_c = 900 \text{ hPa}$ の場合 $V_{max} = 58.9 \times 1.3 = 86.6 \text{ m/s}$ と表される。屋久島における 10 m 高度推定年最大風速の第 1 位値 69.7 m/s は上記の値をかなり下まわることから、その出現可能性はないとは言えない。

4. 確率的台風モデルによるシミュレーション

4.1 Holland 式に基づく検討

ここでは野中ら^[24]の楕円型気圧分布に基づく季節別確率的台風モデルを用いて 1,000 年間の台風時風速のモンテカルロシミュレーションを実施し、極値統計解析を通じて得た確率風速の特徴を考察する。シミュレーションは Holland 式による気圧分布と楕円型気圧分布 (SGW モデルを付加) の 2 つの場合について行う。

まず、Holland 式による気圧分布の場合には $p_c = 860 \text{ hPa}$ で $R_w = 20 \text{ km}$ と仮定して $n = 2.5$ および $A = 1788.8543$ を得たのち、 $A = 1788.8543$ と固定してシミュレーションで得られる任意の台風中心気圧 p_c に対して、式(6)より n を、式(5)より最大旋衡風速半径 R_w を求める。つまり、楕円型気圧分布の長軸方向半径 a と短軸方向半径 b を等値とした円形気圧分布を対象とするシミュレーションにおいて、領域内の p_c はランダムな変動を含んだ値として求められるが、 R_w は p_c によって一意的に決定される。また、台風の移動速度 C の最大値を 100 km/h と制限し、台風の移動速度の表面風速への寄与分を式(11)によって求める。移動を含む 10 m 高度風速への変換係数は $2/3$ とする。

Fig. 8 は格子間隔 80 km の北西太平洋格子網上で得た 100 年確率風速 U_{100} と 1,000 年確率風速 U_{1000} の空間分布を示す。極値統計解析は資料採択率を $\nu = 1/2$ とした LSM モデルによる。これは以下のシミュレーション結果の解析でも同じである。100 年確率風速 U_{100} は南方境界付近で 55 m/s 、沖縄本島を通る東西方向で 50 m/s 、南九州を通る東西方向で 45 m/s 、朝鮮半島南部から日本海を経て秋田・岩手県にかけて 40 m/s である。屋久島、鹿児島、那覇、長崎における観測資料の解析に基づく 100 年確率風速は 35 m/s 前後であるから、シミュレーション資料に基づく値が那覇で 15 m/s 、他の地点で 10 m/s 大きい。また、石垣では観測資料で 46 m/s 、シミュレーション資料で 50 m/s 以上と後者が $4 \sim 5 \text{ m/s}$ 大きい。シミュレーション資料は周辺地形の影響を含まないので、両者の結果に矛盾はない。

一方、齊藤ら^[25]の中で与えられた各基準・指針における再現期間期待値 (100 年確率) 風速と比べると、 $5 \sim 10 \text{ m/s}$ 小さい。ただし、上記の算出根拠が明らかでない。また、藤井・光田^[21]によるモンテカルロシミュレーション資料から導かれた明石海峡における 100 年確率風速は 47 m/s であり、今回

の結果より 4~5 m/s 大きい。1,000 年確率風速は 100 年確率風速に比べて 5 m/s 程度大きい。しかし、屋久島付近での 1,000 年確率風速は 52 m/s 程度であって、屋久島における 10 m 高度換算の推定年最大風速の第 1 位値 69.7 m/s と比べると、15 m/s 以上小さい。再現期間を 10,000 年としてもこれに及ばない。

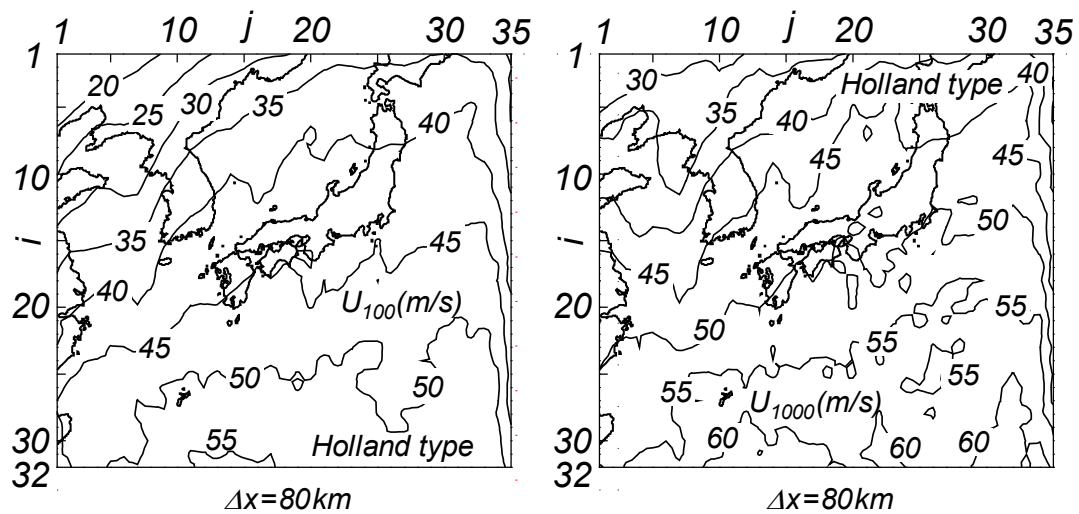


Fig. 8 Spatial distribution of return wind speed on the Northwestern Pacific Ocean estimated using Monte-Carlo simulation technique(Holland type).

4.2 Super Gradient Wind (SGW) モデルに基づく検討

楕円型気圧分布(長軸方向半径 a , 短軸方向半径 b)を用いたモンテカルロシミュレーションにおいて計算される傾度風速に式(12)を乗じて Super Gradient Wind の効果 ($G(x_0)=1.2$, $G(\infty)=2/3$) を考慮するとともに、台風の移動速度の影響を表す式(11)による v_0 に $2/3$ を乗じて台風の場の風への寄与を考慮する。シミュレーションでは円形気圧分布から楕円型気圧分布へのひずみに伴う過大な最大風速の増加を避けるため、 b/a の範囲を 0.85~1.10 と制限する。また、台風の移動速度 C の最大値を 100 km/h とする。

Fig. 9 は 100 年確率風速 U_{100} と 1,000 年確率風速 U_{1000} の空間分布を与える。100 年確率風速は南方境界付近で 60 m/s, 沖縄と九州の間で東西方向に 55 m/s, 九州, 瀬戸内海, 紀伊半島, 伊勢湾, 関東沖合の東西方向に 50 m/s, 朝鮮半島南部から日本海を経て山形県, 宮城県にかけて 45 m/s, 朝鮮半島中部から日本海を経て北海道函館付近にかけて 40 m/s となっており, Fig. 8 の Holland 式に基づく場合より 5 m/s 大きい。これらの値は斉藤ら^[25]の中で与えられた各基準・指針における 100 年確率風速と概略符合する。また, 明石海峡付近の 100 年確率風速も藤井・光田^[21]の結果より若干大きい程度で, 概略対応する。1,000 年確率風速は 100 年確率風速と比べて 5~7 m/s 大きい。屋久島付近では 1,000 年確率風速は 58 m/s 程度であるから, 屋久島における過去約 1,500 年の間の推定年最大風速の第 1 位値 69.7 m/s と比べて 10 m/s 以上小さい。10,000 年確率風速は 63 m/s であるから, 依然として第 1 位値より小さい。第 1 位値 69.7 m/s は第 2 位値 60.3 m/s, 第 3 位値 59.2 m/s と比べて約 10 m/s 大きい突出した値をとり, その再現期間は 10,000 年を優に越えることになる。一方, 第 2 位値 60.3 m/s に対する再現期間は 1,150 年であり, 約 1,500 年の資料期間を考えると, 合理的である。

ついで, Fig. 10 は $G(x_0)=1.3$ のもとに他の条件を Fig. 9 と同じにした場合の 100 年確率風速 U_{100} と 1,000 年確率風速 U_{1000} の空間分布を与える。Fig. 9 に与えた $G(x_0)=1.2$ の場合と比べて, 確率風速は 5 m/s 増加する。したがって, 斉藤ら^[25]や藤井・光田^[21]の結果を上まわることになる。一方, 1,000 年

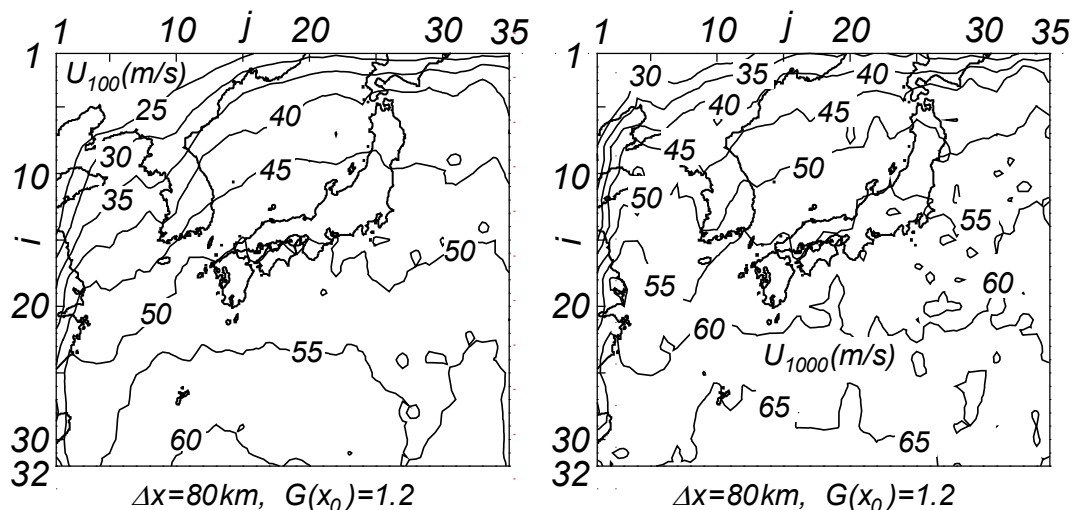


Fig. 9 Spatial distribution of return wind speed on the Northwestern Pacific Ocean estimated using Monte-Carlo simulation technique ($G(x_0)=1.2$ case).

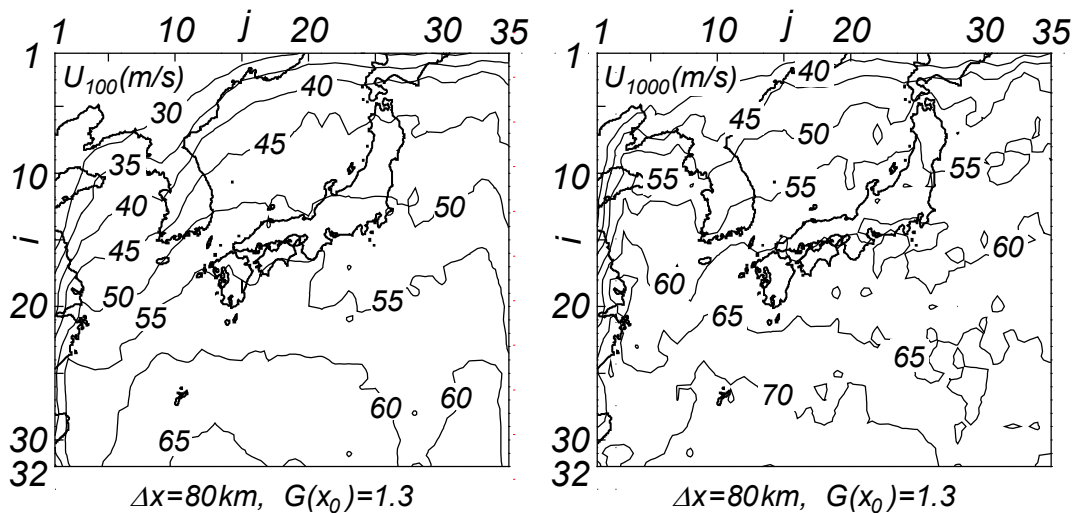


Fig. 10 Spatial distribution of return wind speed on the Northwestern Pacific Ocean estimated using Monte-Carlo simulation technique ($G(x_0)=1.3$ case).

確率風速は屋久島で 64 m/s であるし、屋久島における第 1 位値 69.7 m/s に対する再現期間は約 7,000 年と評価される。 $G(x_0)=1.35$ とすれば、再現期間は 2,000 年と見積もられる。したがって、屋久島における約 1,500 年の間の 10 m 高度換算年最大風速の第 1 位値 69.7 m/s の出現は、5,000 年程度のタイムスケールで見れば、あり得ない事象でないと推測される。

5. 結 語

本研究では、屋久杉の樹脂斑点幅記録から推測された過去約 1,500 年の間における 80 m/s 以上の超強風速（高度 47 m）が統計的にみて実現するか否かの可能性を検討した。得られた知見の要点はつぎのようである。

①屋久杉の樹脂斑点幅記録から推測された過去約 1,500 年の間の第 1 位風速は 1975～2000 年時点の基

準風速でみれば、高度を 47 m として 87.0 m/s と評価される。これは真鍋^[2]による推定値 93.5 m/s よりやや小さい。

②屋久島における第 1 位風速 87.0 m/s は、風速計高度の影響を無視すれば、わが国で観測された最大瞬間風速の最大値と同程度であるが、10 分間平均風速の最大値より 15 m/s 程度大きい。

③屋久島、鹿児島、那覇、長崎における 100 年前後の観測資料に基づく 10 m 高度換算の 100 年確率風速は 33~36 m/s、200 年確率風速は 35~40 m/s、石垣で 46 m/s および 49 m/s と評価される。

④屋久島における観測資料を含む 1,538 年間の 10 m 高度換算（換算係数 0.8）推定年最大風速資料に基づく 200 年確率風速は 46 m/s、1,000 年確率風速は 63 m/s、2,000 年確率風速は 69 m/s と評価される。再現期間を 200 年でみれば、観測資料のみに基づく確率風速より 8 m/s 大きい。10 m 高度換算の第 1 位風速 69.7 m/s の再現期間は約 2,200 年に相当する。

⑤Holland による気圧分布式に基づく、台風の移動速度（ $C=54$ km/h）を考慮した 10 m 高度風速の最大値は台風の中心気圧を 900 hPa と想定すれば 67.7 m/s であり、屋久島での 10 m 高度換算の第 1 位値 69.7 m/s に近い値を与える。

⑥Myers による気圧分布式に基づく傾度風速に対して Super Gradient Wind（SGW）としての風速増強を行えば、台風の移動（ $C=54$ km/h）を考慮した 10 m 高度風速の最大値は 900 hPa の台風中心気圧に対して 80.7 m/s であり、屋久島での 10 m 高度換算第 1 位値 69.7 m/s より 11 m/s 大きい。

⑦確率的台風モデルによる 1,000 年間のシミュレーション結果によれば、Holland による気圧分布式を用いる場合、再現期間を 10,000 年としても確率風速は屋久島での第 1 位値より 10 m/s 以上小さい。一方、Myers による気圧分布式を一般化した楕円型気圧分布式を用い、かつ Super Gradient Wind の影響を加味する場合には 5,000 年確率風速は屋久島における第 1 位風速値と同程度の値を与える。もちろん、この結果は想定する増幅係数の最大値に依存するのは言うまでもない。

⑧要するに、対象期間を概略 5,000 年とすれば、屋久島における推定年最大風速の第 1 位値 87.0 m/s（10 m 高度で 69.7 m/s）に相当する超強風速の出現はありえない事象でない。

参 考 文 献

- [1] 真鍋大覚・川勝紀美子：屋久杉の年輪から解析された古代気象の永年変化と大風の変遷，九州大学農学部附属演習林集報，第 22 号，pp.127-169，1968.
- [2] 真鍋 大覚：台風と屋久杉，天気，Vo.15，No.3，pp.11-17，1968.
- [3] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.B2-65，No.1，pp.186-190，2009.
- [4] 饒村 曜：台風物語 記録の側面から，（財）日本気象協会，250p.，1986.
- [5] 根本 順吉：シーボルト台風，自然，Vol.16，No.10，p.47，1961.
- [6] 高橋 浩一郎：過去 300 年間の A 級暴風雨，天気，Vol.9，No.9，pp.1-5，1962.
- [7] 根本 順吉：過去 300 年間の A 級暴風雨 付記 シーボルト台風について，天気，Vol.9，No.9，pp.6-7，1962.
- [8] 吉田 一男：種子島家，家譜による台風，天気，Vol.10，No.5，pp.21-23，1963.
- [9] 小林清一：ルース台風報告，附録 佐田岬の風速 69m/s の実地調査報告，中央気象台彙報，第 37 冊，第 3-4 号，pp.468-470，1952.
- [10] Yamaguchi, M. and Y. Hatada : An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp. 932-946, 1997.

- [11] 合田良實：港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—，鹿島出版会，333p.，1990.
- [12] 宇都宮好博・山口正隆・野中浩一・真鍋 晶・畑田佳男：歴史資料を含む年最大値資料に対する極値統計解析における PPWM 法の適用性，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.156-160，2005.
- [13] 山口正隆・野中浩一・宇都宮好博：歴史情報を含む年最大値資料に対する極値統計解析における最尤法モデルの適用性，水工学論文集，第 51 巻，pp.307-312，2007.
- [14] 岡田弘三：高潮を起こす気象の場とそのモデル化，月刊海洋，Vol.32，No.11，pp.735-742，2000.
- [15] Holland, G. J. : An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes, *Moth. Weather Rev.*, Vol.108, pp.1212-1218, 1980.
- [16] 藤井 健・光田 寧：台風の気圧分布形について，京大防災研年報，第 38 巻 B-1，pp.101-116，1995.
- [17] Schloemer, R.W. : Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okeechobee, Florida, *Hydrometeorological Rept.*, USWB, No.31, pp.49, 1954.
- [18] Hubert, G.D., G.J. Holland, L.M. Leslie and M.J. Manton : A real-time system for forecasting tropical cyclone storm surges, *Weather Forecast*, Vol.6, pp.86-97, 1991.
- [19] 高橋浩一郎：災害に関するオペレーションズ・リサーチ (II) —とくに日本の風害と関連して—，研究時報，13 巻 7 号，pp.499-525，1961.
- [20] 的場萌実・村上和男・柴木秀之：Super Gradient Wind (SGW) を考慮した台風の風の推算と高潮数値計算，海岸工学論文集，第 53 巻，pp.206-210，2006.
- [21] 藤井 健・光田 寧：台風の確率モデルによる強風のシミュレーション，日本風工学会誌，第 28 号，pp.1-12，1986.
- [22] 光田 寧・藤井 健：台風時における気圧場から計算した風速と実測された風速との関係，京大防災研年報，第 40 号 B-1，pp.165-172，1997.
- [23] Mitsuta, Y. and T. Fujii : An analytical synthesis of typhoon wind over Japan, *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, Vol.37, Part 4, No.329, pp.169-185, 1987.
- [24] 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・伊藤吉孝：拡張型確率的台風モデルを用いた波高の極値推定システム，海岸工学論文集，第 47 巻，pp. 271-275，2000.
- [25] 斉藤康高・納富周平・西條 修・岡本強一：日本沿岸域における風向別再現期待値風速，第 16 回風工学シンポジウム論文集，pp.77-82，2000.

主辞駆動句構造文法のための同期文法の実現に向けて

Towards Synchronous Head-driven Phrase Structure Grammars

二宮 崇*

Takashi NINOMIYA*

Abstract: This study proposes a model of synchronous Head-driven Phrase Structure Grammar for machine translation. Statistical machine translation currently receives much attention in the field of machine translation because of ability to learn its model from parallel corpora automatically. However, statistical machine translation suffers from difficulty in translating between language pairs which are structurally different, due to lack of grammatical hypothesis or models. Synchronous grammars provide grammatical relations of two languages, which enable machine translation to incorporate grammatical structures into the translation model. We developed an experimental synchronous HPSG grammar, and its performance was evaluated on English-Japanese machine translation as preliminary experiments.

Key words: Head-driven Phrase Structure Grammar, HPSG, Machine Translation, Synchronous Grammar, Parsing, Natural Language Processing, Computational Linguistics

1. 緒言

本論文は、同期文法に基づく英日自動翻訳の実現に向けて、言語学的に精緻に規定される主辞駆動句構造文法(Head-driven Phrase Structure Grammar, HPSG)^[1]のための同期文法(Synchronous Grammar)^[2]を提案する。近年、パラレルコーパスからの自動的な学習が可能な統計機械翻訳^{[3]-[5]}が注目を浴びているが、統計機械翻訳は語順の入れ替えや語の置き換えを基本的な翻訳モデルとしているため、統語構造が異なる言語間での翻訳は難しい。同期文法は二言語の文法規則対や辞書項目対からなる文法であり、同期文法を用いて解析することにより、二言語間の統語構造や翻訳が得られる。同期文法を機械翻訳のモデルとすることで、大きく異なる統語構造を持つ言語間においても品質の高い翻訳が実現されることが期待される^{[6]-[8]}。本研究では、英日間の HPSG 同期文法を設計し、その同期文法による機械翻訳の性能評価を行う。

近年、計算機の性能が大きく向上し、また、機械翻訳のための言語的資源の質的量的な増大、および高性能な機械学習の技術が利用可能になったことにより、より洗練された機械翻訳手法を用いることが可能となった。機械翻訳の研究は過去数十年にわたって行われてきたが、90年代半ば以前は、パラメータを人手により調整するルールによる手法、構文構造を変換する手法、用例に基づく手法および言語学的な文法を用いた意味表現を介する機械翻訳手法を中心に研究がなされてきた。しかし、これらの手法では、ルール作成やパラメータ調整を人手により行うため、ルール間の相互作用による副作用を考慮しながらルールを追加・削除し、パラメータを調整することが難しく、その結果、大規模なシステムを構築することや、性能を向上するための改良が非常に困難であった。言語学的な文法を用いた意味表現を介する機械翻訳はドイツの DFKI の VERB

* 松山市文京町3 愛媛大学 工学部 情報工学科

Department of Computer Science, Ehime University, Matsuyama, Japan.

原稿受理 平成23年10月29日



Fig.1 A lexical entry pair of nouns in a Synchronous HPSG

MOBIL プロジェクトで過去行われてきたが、実用的なレベルにまでは達していない。これは、実テキストを広く解析できる大規模文法の開発が困難であったこと、および過度に一般化された意味表現を介して言語間のマッピング規則を構築することが困難であったためと考えられる。90年代にはいって、統計機械翻訳と呼ばれる統計モデルに基づく機械翻訳が IBM の Brown らにより提案され^[3]、機械翻訳の領域で注目されている。これは、音声認識や形態素解析でよく用いられている統計的モデルを機械翻訳に応用した機械翻訳方式であり、教師あり・なし機械学習によるルール・パラメータの自動学習が行えるため人手の介入が少なくすみ、上述の副作用を伴わない特長をもつ。しかしこの手法は、単語の翻訳・移動・マッピングを単位とした翻訳手法であり、言語学的制約や句構造を単位とした機械翻訳手法ではないため、日英翻訳のように構文構造が大きく異なる言語間では高精度化が非常に難しい。

ここ数年、統計機械翻訳に句構造をとりこんだ手法^[4]や、逆に構文構造を変換する手法や用例に基づく手法に統計モデルを導入する手法^{[9][10]}が研究されており、この一般化として、統計的同期文法^{[6][8]}が注目を浴び、研究され始めている。同期文法は、二つの言語を記述する句構造文法間に対応を与えた文法であり、形式的によく定義されたモデルとなっているため統計モデルと相性が良く、文法的な制約により自然な翻訳がなされることが期待されている。同期文法は1960年代 Aho と Ullman により提案されており^[2]古くから存在するが、この数年で注目を浴びている理由としては、高速で精度の高い構文解析器が一般に利用可能になったこと、文単位で対応がつけられた 2 言語間の翻訳テキストが利用可能になったこと、および自然言語処理で統計モデルの研究が大きく発展したことが大きな理由と考えられる。しかしながら、LTAG と呼ばれる文法のための同期文法^[11]を除く既存の同期文法は、CFG のための同期文法がほとんどであり、言語学的に厳密に定義された文法のための同期文法はまだ提案されていない。言語学的に厳密に定義された文法を用いることで、より文法的な句構造間に対応付けや、より文法的な文の生成が可能になることが期待される。

本研究は、言語学的に精緻に定義された主辞駆動句構造文法(HPSG)のための同期文法をモデル化し、実際に開発することにより、より洗練された機械翻訳を実現することを目的とする。HPSG は言語学的に厳密に定義された語彙化文法であり、そのため、HPSG のための同期文法は、CFG のための同期文法よりも、より文法的な句構造間に対応付けや、より文法的な文の生成が可能となることが期待される。本研究では、同期 HPSG による機械翻訳の実現のため、同期 HPSG の理論化、文法開発、また、BLEU 等のスコアによる評価を行う。

2. HPSG 同期文法

本節では本研究において提案する HPSG 同期文法(以下、同期 HPSG)について説明する。同期 HPSG は、基本的に二言語の HPSG 文法から成る。具体的には、二言語間に対応付けが与えられた辞書項目の対の集合と、二言語間に対応付けが与えられた文法規則の対の集合から構成される。辞書項目の対に文法規則を適用することにより句構造の対が得られ、これを繰り返すことにより同期 HPSG の構文木が得られる。同期 HPSG の構文木は、辞書項目の対や文法規則の対と同様に二言語の構文木の対により表現され、言語間の句構造には対応付けが与えられる。

同期 HPSG の辞書項目は二言語の辞書項目対とそれらの対応からなる。Fig.1 と Fig.2 は日英間における同期 HPSG の辞書項目の例を表している。Fig.1 は“Jack”と“ジャック”の名詞に対する辞書項目の対を表しており、Fig.2 は“eats”と“食べる”の動詞に対する辞書項目の対を表している。PHON:や CAT:は辞書項目の属性を表しており、その右側に書かれている値が各属性の値となる。四角で囲まれた数字は構造共有タグを表しており、

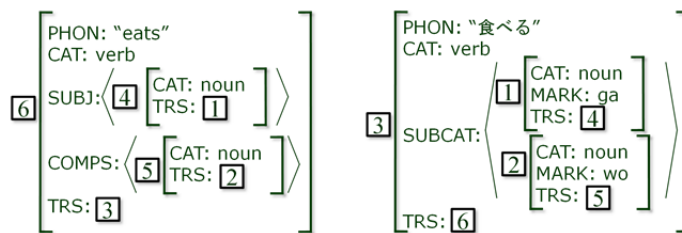


Fig.2 A lexical entry pair of verbs in a synchronous HPSG

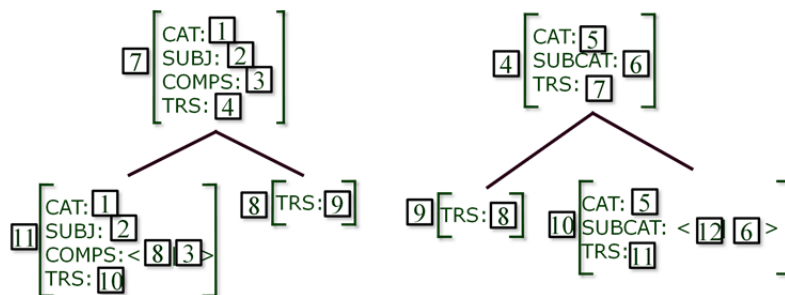


Fig.3 A grammar rule pair for complements in a synchronous HPSG

タグを値として持つ属性を辿ることによりタグに対応する構造を得ることができる。例えば、“Jack”の辞書項目において、TRS:という属性を辿ることにより、対応する“ジャック”の辞書項目が得られる。このように対訳関係にある辞書項目が対となって、同期文法の辞書項目となる。HPSG は語彙化文法と呼ばれ、どのような目的語やどのような主語をとるか、という統語構造を大きく支配する情報は辞書項目に記述される。Fig.2 は動詞に対応する辞書項目であるが、SUBJ:の値はその動詞がとるべき主語を記述し、COMPS:にはその動詞がとるべき目的語のリストを与えている。

同期HPSGの文法規則は、二言語の文法規則対として定義され、文法規則の対応と、二言語間の句や語の線形順序を定義する。Fig.3は同期HPSGの補語(目的語)をとるための文法規則の例を表している。7,8,11でタグ付けされた左側の分岐が英語文法における親子関係を表しており、4,9,10でタグ付けされた右側の分岐は日本語文法における親子関係を表している。それぞれ、7と4が親の構造を表し、11,9が左の子の構造を表し、8,10が右の子の構造を表す。それぞれの言語において、部分木と文法規則の子に対応する構造を単一化することにより、親の構造が得られる。Fig.4は同期HPSGによる構文解析の例を示している。図の左側は“Jack eats bananas”に対する英語の構文木であり、右側はその対訳である“ジャックがバナナを食べる”に対する日本語の構文木を表している。構文解析は、まず、対応する辞書項目の対に対し、文法規則の対を適用し、対の部分構文木(句構造)を得る。図では単語や句構造の対応を点線で表している。同様に得られた部分構文木の対に対し文法規則の対を適用することを繰り返すことにより、全体の構文木の対が得られる。二言語の文の対を構文解析することにより、句構造や単語の対応付けを得ることができる。どちらかの言語の文を解析し、残った言語の文を生成することにより、機械翻訳を実現することができる。

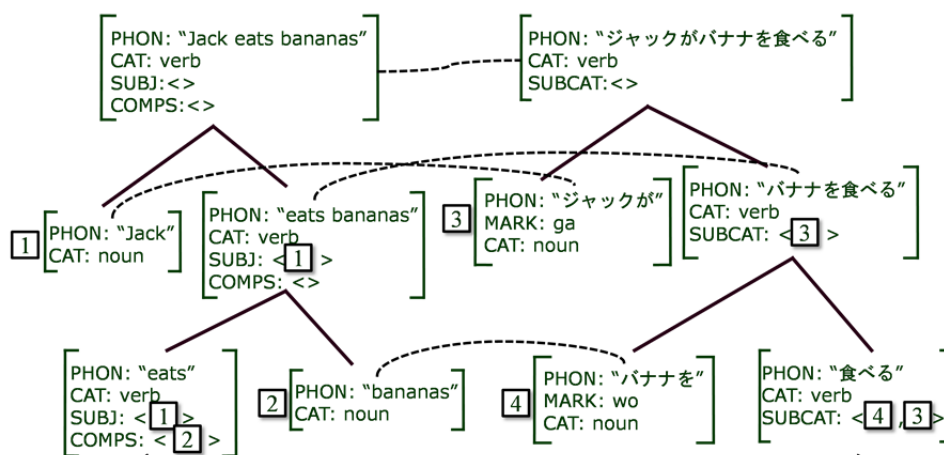


Fig.4 A parse tree pair of a synchronous HPSG

表 1: Moses による性能評価

	NIST	BLEU ^[13]
wmt08	7.1037	0.2523
wsj	4.2729	0.1193

3. 実験

同期 HPSG を用いて、機械翻訳における性能評価を行う。ただし、本研究においては、同期文法による構文木の構造的対応の性能について評価を行い、単語に対する対訳辞書や単語の翻訳に関する評価は将来の課題とする。同期 HPSG を得るために、日本語、英語の 2 言語の文法が必要となるが、現在、現実世界のテキストを十分に解析できる英語 HPSG 文法^[12]は存在するが、日本語 HPSG 文法は存在しない。これはコンピュータで解析可能な日本語の述語項構造の定義が難しく、既存の木構造付テキストを利用することが難しいことが原因であると考えられる。本研究では、英語文法と独立に日本語文法を作成するのではなく、すでに存在する英語 HPSG^[12] を拡張することにより同期 HPSG を実現する。具体的には英語 HPSG の文法規則を拡張し、得られた英語構文木から日本語構文木を自動的に作成する。HPSG は極端に文法規則が少ない語彙化文法であり、十程度の数の文法規則しかもたないため、文法規則の対を記述するのは比較的容易である。同期 HPSG の文法規則には対応する日本語の句構造が記述されているため、英語構文木に対してこの文法規則を適用することにより、対応する日本語の構文木が自動的に得られる。ただし、この手法では単語訳が得られないため、単語アライメント(単語対応付け)のツールとして著名な GIZA++を用いて、対訳文から単語訳を直接得ることとした。

実験では、Penn Treebank の Wall Street Journal に対する 30,117 文の英日対訳テキストを用いた。まず、この英日対訳テキストに対し、統計機械翻訳のツールとしても有名な Moses を用いて、翻訳精度を測定した。25,946 文を学習用コーパス、2182 文をパラメータ調整用コーパス、1989 文をテストコーパスとして実験を行った。日本語の単語分割は MeCab を用いた。表 1 は仏英 WMT08 News Commentary (wmt08, 約 55,000 文)による Moses の性能と、Wall Street Journal (wsj) に対する性能を評価した実験の結果を示す。wsj はスコアが低い傾向にあるが、仏英よりも英日の方が難しい、学習コーパスが小さい、日本語の単語分割が適切でない、wsj の翻訳の質が悪い、などの原因が考えられる。

続いて、同期 HPSG による翻訳性能の評価を行った。ここでは同期 HPSG の句構造対応性能を評価するた

表 2: 同期 HPSG 文法の性能評価

	NIST	BLEU
wsj	6.921	0.2145

め、単語対に関してはテストコーパスから GIZA++によって与えられることとする。表 2 は実験結果を示す。実験結果をみると、得られたスコアが高いことから構造的対応がとれていることがわかる。表 1 の wsj に対する Moses のスコアと比較すると、Moses よりも高いスコアを得ていることがわかるが、これはテストコーパスから単語対を得ているためと考えられる。実際の機械翻訳では、単語訳を自動的に出力する必要があるため、単語訳のモデルを必要とするが、これについては将来の課題とする。また、解析結果を調べると、GIZA++による単語アライメントが失敗している場合が多く、また、構文木の出力に失敗している場合も少なからずあった。これらの問題の解決により、スコアがさらに改善されることが期待される。

4. まとめ

本論文は主辞駆動句構造文法(HPSG)のための同期文法(同期 HPSG)を提案した。同期 HPSG は、辞書項目の対の集合と、文法規則の対の集合からなり、部分構文木も言語間の対として表現される。構文解析は、与えられた部分構文木の対に対し、対の文法規則を繰り返し適用することにより実現される。また、同期 HPSG を用いて、原言語の文に対し構文解析を行い、翻訳先言語の構文木を生成することにより、機械翻訳を実現することができる。

実験的な同期 HPSG を開発し、Wall Street Journal の対訳に対し、機械翻訳の実験を行った。開発した同期 HPSG には単語翻訳のモデルが無いいため、単語アライメントツールである GIZA++を用いて、テストコーパスから単語訳を得た。実験結果より、比較的高い翻訳精度が得られたため、同期 HPSG によって良い句構造対応が得られていることがわかった。

同期文法の応用として同期構文解析によるパラレルコーパスの解析が期待されるが、交差などの難しい条件があるためこれについては将来の課題とする。

5. 参考文献

- [1] C. Pollard and I. A. Sag: Head-Driven Phrase Structure Grammar, University of Chicago Press, 1994.
- [2] A. V. Aho and J. D. Ullman: Syntax directed translations and the pushdown assembler. Journal of Computer and System Sciences, 3:37–56, 1969.
- [3] P. E. Brown, V. J. D. Pietra, S. A. D. Pietra and R. L. Mercer: The Mathematics of Statistical Machine Translation: Parameter Estimation, Computational Linguistics, 19:263—311, 1993.
- [4] P. Koehn, F. J. Och and D. Marcu: Statistical Phrase-Based Translation, In Proc. of HLT-NAACL-2003, pp. 48—54, 2003.
- [5] F. J. Och: Minimum Error Rate Training in Statistical Machine Translation, In Proc. of ACL-2003, pp. 160—167, 2003.
- [6] David Chiang. A hierarchical phrase-based model for statistical machine translation. In Proc. of ACL-2005, pp. 263–270, 2005.
- [7] Dekai Wu. Stochastic inversion transduction grammars and bilingual parsing of parallel corpora. Computational Linguistics, 23:377–404, 1997.
- [8] Kenji Yamada and Kevin Knight. A syntax-based statistical translation model. In Proc. of ACL-2001, pp.

523–530, 2001.

[9] 今村 賢治, 大熊 英男, 隅田 英一郎: 句に基づく構文トランスファ方式統計翻訳, 情報処理学会論文誌 48(4), 1809–1819, 2007.

[10] K. Imamura, H. Okuma, T. Watanabe and E. Sumita: Example-based Machine Translation Based on Syntactic Transfer with Statistical Models, In Proc. of COLING-2004, pp. 99–105, 2004.

[11] S. M. Shieber and Y. Schabes: Synchronous Tree-Adjoining Grammars, In Proc. of COLING'90, pp. 253–258, 1990.

[12] Y. Miyao, T. Ninomiya and J. Tsujii: Corpus-oriented Grammar Development for Acquiring a Head-driven Phrase Structure Grammar from the Penn Treebank. In Natural Language Processing - IJCNLP 2004, LNAI3248, pp. 684-693, Springer-Verlag, 2005.

[13] K. Papineni, S. Roukos, T. Ward, and W.-J. Zhu: BLEU: a method for automatic evaluation of machine translation. In Proc. of ACL-2002, pages 311–318, 2002.

橋梁点検のためのセンサ内蔵支承の開発

Development of Sensored Rubber Bearing and its Application for Bridge Health Monitoring

全 邦 釘*

Pang-jo Chun*

Structural bearings are designed to transfer loads and simultaneously facilitate movements. They require careful design and precise fabrication; therefore they are excellent candidates for instrumentation to construct smart structures. This paper presents a research and development effort to that end. A sensored structural bearing prototype was developed, fabricated, and tested in this research. Numerical modeling of the prototype was performed using finite element method. Its application to bridge engineering was explored for sensing and monitoring. One bridge in Michigan is selected to receive these bearings to monitor it. Numerical simulation results show that the bearing reactions are sensitive to the interested behavior and performance. They are considered suitable for monitoring damage in the bridge.

Key words: Rubber bearing, Damage diagnosis, Health monitoring, Bridge engineering

1. 緒 言

近年、免震やその変形性能の利用を目的として、橋梁の支承にゴム支承を用いるケースが増えていく。ゴム支承は、加硫ゴムと鋼板などからなる単純な支承構造であり、その機能は支承の平面積と厚さで発現され、動作不良が鋼製支承と比較して生じにくいことが知られている^[1]。また、兵庫県南部地震による損傷についても、鋼製支承と比較して圧倒的に少なかったことが報告されている。本研究では、ゴム支承内部に複数の光ファイバセンサを埋め込むことで、その計測値から支承に作用する荷重などを計測することのできる、ロードセルとしての機能を持つセンサ内蔵ゴム支承を開発した。

橋梁の支承に作用する荷重を計測しようとした初期の研究として文献[2],[3]がある。これらの研究ではセンサは支承の外周部に設置されており、それゆえに外部環境の影響によるセンサの劣化が無視出来ず、長期的計測には向いていないという問題があった。Caussignacらはセンサを鋼板に設置し、それを支承と構造物の間に挟み込むことでセンサの劣化に伴う問題を解決しようとした^[4]。しかし、支承の外部にこの鋼板を付属させることで支承寸法が変化し、それゆえに支承の力学的挙動が変わってしまう。さらに、部品数が増えることで現場での作業が複雑化するという問題がある。本研究では、光ファイバセンサをゴム支承内部の鋼板に貼り付けているので、ゴム支承の寸法も変わらない。よって力学的挙動も変化せず、更に現場での追加の労力もかからない。また、光ファイバセンサは温度、振動などの影響を受けず、高精度の計測が期待でき、しかも内部に埋め込んであるので、メンテナンスフリーであるという利点も備えている。

*愛媛大学工学部 環境建設工学科 助教 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

Dept. of Civil and Environmental Engineering, Ehime Univ. (3 Bunkyo-cho, Matsuyama, Ehime)

原稿受理 平成 23 年 10 月 31 日

本研究で開発するセンサ内蔵ゴム支承は、例えば以下のような短期的および長期的モニタリングに活用できると考えられる。

- 1) 従来計測するのが容易ではなかった、梁やダイヤフラムなどによる死荷重の計測
- 2) 死荷重および活荷重作用時のそれぞれの梁への荷重分配係数
- 3) 車両重量の計測 (Bridge Weigh-in-Motion)
- 4) 橋梁仮設時の施工管理
- 5) 例えばオゾンの影響などによる、支承の劣化の把握
- 6) 温度応力の影響
- 7) 床版や梁など、橋梁上部構造の劣化診断

本研究では特に 7)を視野に入れて研究を進めており、現在米国ミシガン州フランケンムース市において建設中の橋梁にこのゴム支承は用いられる予定である。床版や梁などが劣化し弾性率が低下すると、橋梁が外力を受けた際に支承に作用する荷重・モーメントが変化する。その変化を検知することで、それら橋梁上部構造の劣化をモニタリングすることが出来ると考えられる。

また、本研究の手法の適用範囲は橋梁で用いられているゴム支承に限らない。例えば、タンクやビルなどでは免震を目的として多数の積層ゴムが用いられており、それらにセンサを埋め込むことで構造物の重心の偏りや変形の計測が可能となると考えている。

2 センサ埋め込みゴム支承の材料定数の同定

2.1 光ファイバセンサ

本節でははじめに本研究で用いる光ファイバセンサについて述べる。本研究では Table 1 に示す性能を持つ、ファブリー・ペロー干渉計型光ファイバセンサ (Extrinsic Fabry-Perot Interferomet, FISO 社) を用いた。このセンサは、半透鏡で反射された光と、端面から出た残りの光の光路差により生じる干渉縞の縞の数あるいは位相からひずみを測定することができる。ファブリー・ペロー干渉計型光ファイバひずみセンサは、センサに垂直な方向の変形の影響を受けにくく、センサ軸方向のひずみを正確に評価することが期待できる。またセンサの出力は、センサ軸方向とせん断ひずみを同時に受けても、せん断ひずみの影響を受けにくいことが知られている。

Table 1 ファブリー・ペロー干渉計型光ファイバセンサ

製品名	FOS-N
レンジ	$\pm 1000\mu\epsilon$
分解能	$0.2\mu\epsilon$
動作温度範囲	$-40^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$

2.2 試験による材料定数の同定

本節では、加硫ゴムの材料定数を把握するために、Fig.1 に示すセンサ埋め込みゴム支承を用いて、Fig.2 のように圧縮試験およびせん断試験を行った。ゴム支承の寸法は Fig.3 に示すように $20.3\text{cm}\times 20.3\text{cm}\times 3.8\text{cm}$ であり、中央に厚さ 0.5cm の光ファイバセンサが貼り付けられた鋼板を挟んでいる。これらの光ファイバセンサは Fig.1 から確認できるように支承側面からケーブルで繋がれている。

実験と並行して、商用有限要素パッケージ ABAQUS/Standard 3D による解析によりこれらの試験を

再現し、実験結果と比較することで材料定数の同定を目指した。Fig. 1 (右) に有限要素モデルが圧縮力を受ける場合の変形の様子を示す。ゴムについてはハイブリッド型三次元八節点要素(C3D8H)、鋼板については三次元八節点要素(C3D8)を用いた。それぞれの要素数は、C3D8Hについては 104976、C3D8については 19683、そして総節点数は 161376 である。

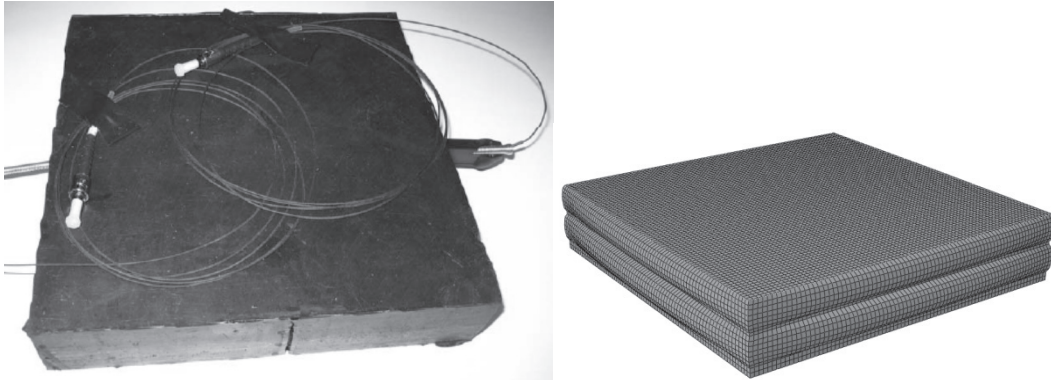


Fig. 1 センサ埋め込みゴム支承（左）と、圧縮力を受け変形するゴム支承の有限要素モデル（右）

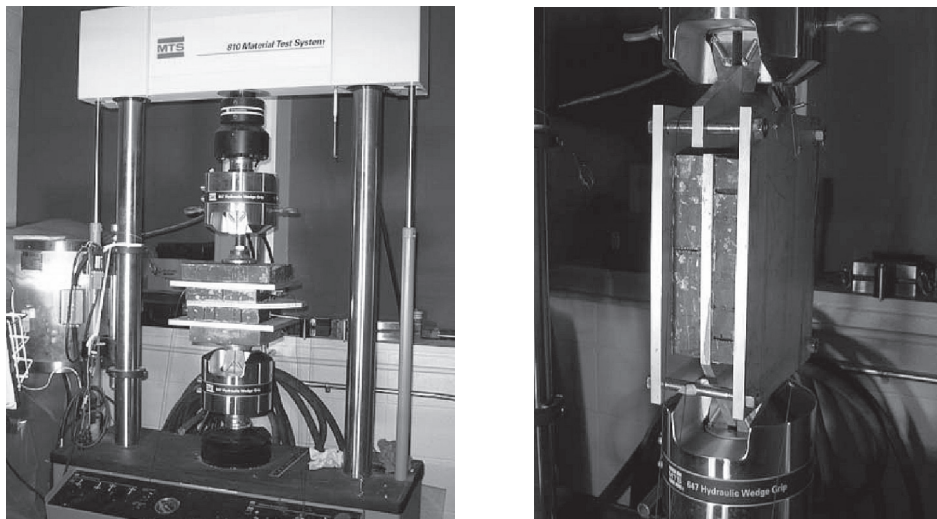


Fig. 2 センサ埋め込みゴム支承の圧縮試験（左写真）およびせん断試験（右写真）の様子

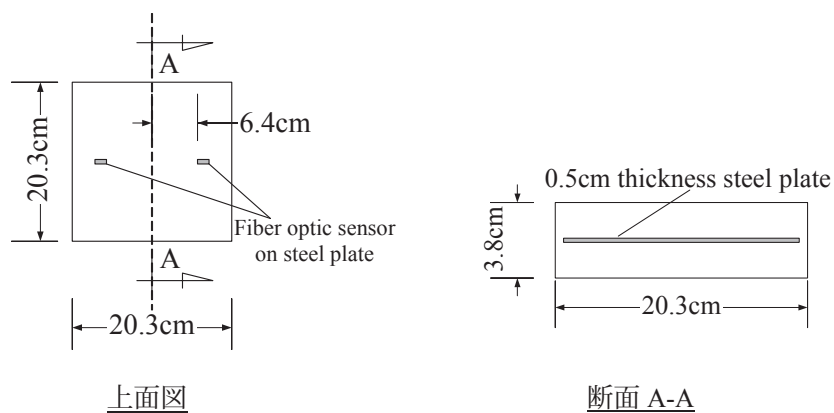


Fig.3 センサ埋め込みゴム支承の寸法および 光ファイバセンサ貼り付け位置

有限要素解析において、鋼板についてはヤング率 200GPa、ポアソン比 0.3 の等方弾性体を仮定した。ゴムについては、よく高分子材料の解析において用いられる Mooney-Rivlin モデル^[5]を採用した。Mooney-Rivlin モデルの構成式を以下の式(1)に示す。

$$U = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) \quad (1)$$

U はひずみエネルギー関数、 C_{10} 、 C_{01} は Mooney-Rivlin 定数、 I_1 および I_2 は Cauchy-Green のひずみテンソルの不変量であり、 I_1 は軸ひずみによるエネルギーを、 I_2 はせん断ひずみによるエネルギーを表している。解析においては Mooney-Rivlin 定数 C_{10} 、 C_{01} を決定する必要があるが、本研究では ABAQUS/Standard 3D を用いて実験結果から $C_{10}=0.208\text{MPa}$ 、 $C_{01}=0.057\text{MPa}$ のように同定した。Fig.4 および Fig.5 に圧縮試験およびせん断試験におけるセンサ 1 (Fig.3 上面図中の右側のセンサ) の計測結果および対応する有限要素解析結果を示す。この図より両者がよく一致していることがわかる。以後の解析ではこの係数を用いて行う。

また、この Mooney-Rivlin 定数を用いた有限要素解析により、計測されたひずみからゴム支承に作用する荷重を逆に求めることが出来る。例えば、圧縮応力のみが作用するようなケースを考えると、Fig.4 からわかるように、ひずみの計測値から圧縮荷重を求めることが出来る。せん断力や曲げモーメントが作用するような場合でも、計測点の数を増やすことで求めることが出来る^[6]。計測点の数をどの程度にするのかについては、要求性能と費用の観点から決定される。

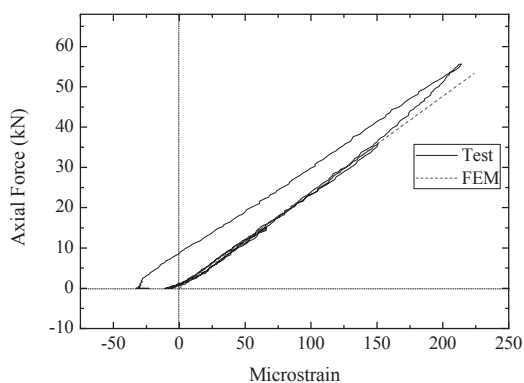


Fig. 4 ゴム支承が圧縮力を受けた場合の、鋼板上の光ファイバセンサのひずみ計測値と有限要素解の比較

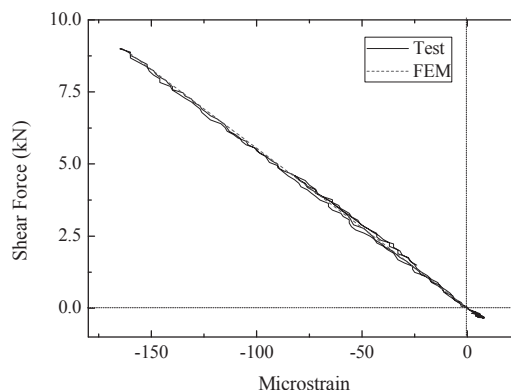


Fig. 5 ゴム支承がせん断力を受けた場合の、鋼板上の光ファイバセンサのひずみ計測値と有限要素解の比較

3 橋梁上部構造の劣化シナリオ

本章では、ミシガン州フランケンムース市において改修予定の橋梁（橋梁名：B01 of 73131）を例に本研究の有効性を示す。改修にあたって、本研究で開発したセンサ内蔵ゴム支承を供用する計画となっており、そしてキャリブレーションについては軸重がわかっているトラックを用いて行う予定である。対象とした橋梁は橋長 20.1m、幅員 14.4m、斜角 30 度、桁間距離 1.3m、桁数 11、床版厚 0.23m の I 型 PC 橋であり、見取り図を Fig.6 に、断面図を Fig.7 に示す。また、Fig.6 右下部に座標系を示しており、以下の議論ではこの座標系を用いることとする。さらに、以降の解析で HS-20 仕様のトラック^[7]を橋梁に載荷するが、中央に載荷する場合の位置および鈍角部に載荷する場合の位置についても Fig.6 に示してある。数値解析にあたっては、コンクリート床版および PC 桁の弾性率はそれぞれ 24.9GPa および 27.8GPa、ポアソン比は 0.2 とした。また、ゴム支承の材料および寸法は 2.2 において作成したプロト

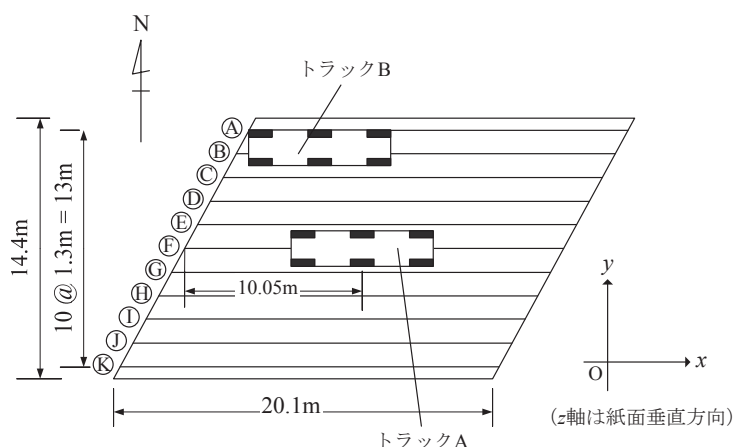


Fig. 6 支間長 20.1m, 桁幅 1.3m, 斜角 30° の斜橋の見取り図。トラック A は中央にトラックを載荷する場合の位置を, トラック B は鈍角部にトラックを載荷する場合の位置を示している。

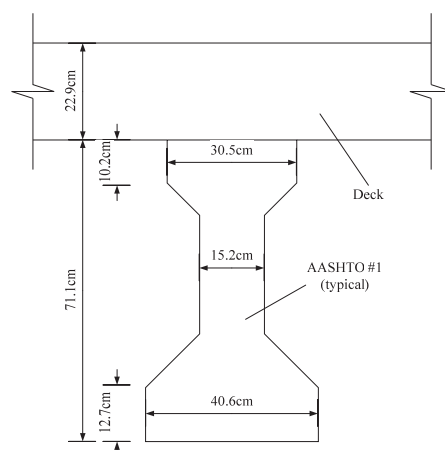


Fig. 7 Fig.6 に示す斜橋の断面図

タイプと同様である。ゴム支承の寸法はセンサを埋め込まない通常のもので変わらないので、施工手順や橋梁の力学的挙動に影響を及ぼさず、それゆえ追加の設計計算や現場作業が不要である。

本研究では様々な劣化パターンについて検討しているが、本稿では、特に①コンクリート床版の損傷、②鈍角部支承近くにおける外桁の損傷の二通りの、橋梁によく見られる劣化シナリオについて考慮し、その際にどのように支承に作用する荷重が変化するかを追跡する。なお本研究では、最大 50% まで弾性率を減少させることで、想定外の外力によるひび割れやアルカリ骨材反応に代表される損傷を表現するという簡易なモデルを採用してある。なお、例えば文献[8]によればアルカリ骨材反応により膨張量 2500 μ で約 50%, 10000 μ で約 35%程度低下するとされている。また、文献[9]においては、アルカリ骨材反応によって約 70%, 凍結融解による劣化進行によって約 50%の弾性率の低下が確認されている。

3.1 コンクリート床版が損傷する場合

コンクリート床版が劣化した場合に、死荷重および活荷重下において支承に作用する荷重がどのように変化するかについて有限要素解析により検討を行った。その結果、特に①死荷重下における鈍角部支承 (Fig.7 に示す梁 A 西側および梁 K 東側)、②橋梁中央に HS-20 仕様のトラックを載荷した場合 (トラック A) における梁 C 東側および梁 I 西側部支承において顕著な変化が見られた。それぞれの結果を Fig.8 および Fig.9 に示す。図の F_x, F_y, F_z はそれぞれ x, y, z 軸方向の反力を、 M_x, M_y, M_z は反モーメントをあらわしている。縦軸(Bearing Force Ratio)は、コンクリート床版が劣化していった場合の反力の値を、健全な時の反力の値で割った値を意味している。

Fig.8 よりわかるように、死荷重下では鈍角部支承において M_y が大きく増加している。これは、床版が劣化しその剛性が低下することで、端部での y 軸周りの回転角が大きくなるのが原因である。また、 M_x については大きく減少している様子が見てとれる。これは、床版の弾性率が下がることで梁 A についての荷重分配係数が低下し、それゆえに死荷重による x 軸周り正方向への回転角が小さくなったことが原因と考えられる。

また、Fig.9 に示すように、トラックを中央に載荷した場合には x 軸周りのモーメントが大きく変化

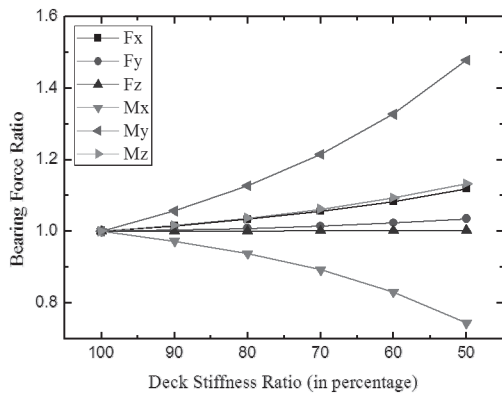


Fig. 8 コンクリート床版が劣化していった場合における死荷重下での鈍角部支承の反力変化率

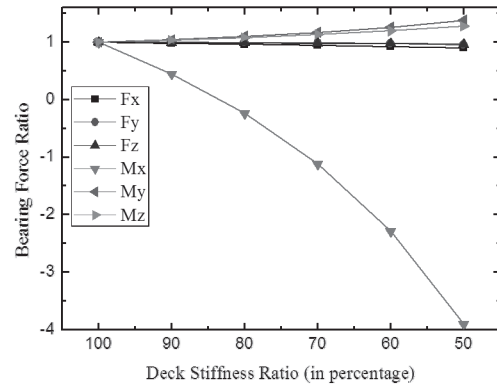


Fig. 9 コンクリート床版が劣化していった場合における活荷重下（トラック A）での梁 C 東側部支承の反力変化率。なお，対称性より，梁 I 西側部支承においても極めて似通った結果が得られている。

している。特に，床版の弾性率が 80%以下では回転の方向が変化している。すなわち，非常に敏感に床版の劣化に応答する値であり，劣化診断に大きく役立つことを意味している。

3.2 鈍角部支承近くにおける外桁が損傷する場合

ここでは，温度差や塩化物の影響をもっとも受けやすい外桁（梁 A）が，支承近くにおいて損傷した場合にどのように挙動が変化するかを調べる。本研究では，梁の端部から支間長の 1/10 の長さまでを支承近くとし，その部分の弾性率を変化させることで劣化を表現した。有限要素解析の結果，Fig.6 中のトラック B の位置に HS-20 トラックを載荷した際に，劣化部分の近くの梁 A 西側の鈍角部支承において顕著な変化が見られた。その結果を Fig.10 に示す。図よりわかるように，x 軸周りのモーメントが上昇している。斜橋においてはねじれが卓越することがよく知られているが[10]，鈍角部支承近くの部材が劣化することでねじれに対しての剛性が低下したことが原因であると考えられる。また，Fz についても低下しており，これらの値を追跡することで外桁端部の劣化を検知出来るようになると考えている。

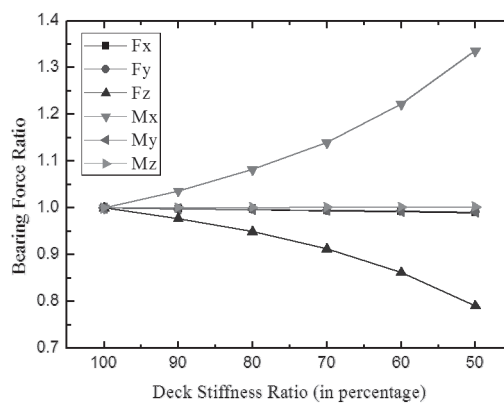


Fig. 10 外桁端部が劣化していった場合における活荷重下（トラック B）での梁 A 西側部支承（鈍角部支承）の反力変化率

4. まとめ

本研究では、ゴム支承内部に複数の光ファイバセンサを埋め込むことで、その計測値から支承に作用する荷重などを計測することのできるセンサ内蔵ゴム支承を開発した。この支承は、光ファイバセンサを内部の鋼板に貼り付けているために、ゴム支承の寸法が変わらず現場での追加の労力がかからないという利点を備えている。さらに、有限要素解析により、この支承を用いることで床版などの橋梁部材の劣化を検知することができることを示した。

また、1章において述べたように、劣化診断だけでなく様々な用途にこのゴム支承を適用することを計画している。具体的には、例えば文献[11],[12]などにおいて議論されている、斜橋の鈍角部支承における支点反力の荷重分配係数を実橋梁において実際に求めることが可能となると考えている。

5. 謝辞

本研究は US Federal Highway Administration の助成を受けて行われました。ここに記して謝意を表します。

6. 参考文献

- [1] (社)日本道路協会：道路橋支承便覧, 丸善, 2004.
- [2] Subramaniam, K. V.: Feasibility of Using Instrumented Elastomeric Bearings for Bridge Monitoring and Condition Assessment, M.S. Thesis, University of Toledo, 1995.
- [3] Nims, D. K.: Instrumented Elastomeric Bridge Bearings, ODOT Project No. 14647(0), Final Report, University of Toledo, 2000.
- [4] Caussignac, J. M., Barbachi, M., and Chabert, A.: Bridge Bearings Equipped with Optical Sensor for Monitoring Vertical Load through the Support, Proceedings of the SPIE, Vol.2719, pp. 220-228, 1996.
- [5] Ogden, R. W.: Non-Linear Elastic Deformations, Dover Publications, 1997.
- [6] Zhuang, Y., Fu, G., Chun, P., and Feng, J: Sensored Elastomeric Bridge Bearing and its Application, Advances in Structures, Vol.163, pp.2887-2890, 2011.
- [7] AASHTO: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 4th edition, 2007.
- [8] (社)土木学会：コンクリートライブラリー124 アルカリ骨材反応対策小委員会報告書－鉄筋破断と新たなる対応－, 2005.
- [9] 高柴保明, 堺孝司, 熊谷守晃：凍害およびアルカリ骨材反応を受けたコンクリートの力学特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No. 1, pp.221-226, 1998.
- [10] 全邦釘, Fu, G. : 厚肉補剛斜板の曲げ解析解の導出と斜橋解析への適用, 応用力学論文集, Vol.13, pp.9-18, 2010.
- [11] Ebeido, T. and Kennedy, J. B.: Shear and Reaction Distributions in Continuous Skew Composite Bridges, Journal of Bridge Engineering, Vol.1, No.4, pp.155-165, 1996.
- [12] Chun, P. and Fu, G.: Analytical Solution for Skewed Bridges, Advances in Civil Engineering and Architecture, Vol. 243, pp.1518-1523, 2011.

下水道管渠流出モデル（スロットモデル）の圧力波伝播速度算定式

Evaluation Equation of Pressure Wave Speed in SLOT Model of Urban Storm Sewer Runoff Model

魚谷 牧夫*・渡辺 政広**・右近 雄大***・友近 榮治****

Makio UOTANI*, Masahiro WATANABE**, Takehiro UKON***, Eiji TOMOCHIKA****

InfoWorks, MOUSE, and SWMM models have been used widely in urban storm water runoff analyses. However, the pressure wave speed in these models, which is one of essential runoff parameters to determine the accuracy of simulation results, has not been made clear. In this paper, considering the storage of runoff water in a lateral pipe, the elastic deformation of a pipe wall, and the compressibility of runoff water, the continuity and momentum equations of a pressurized flow in storm sewer pipe systems are derived, and then the evaluation equation of the speed is derived.

Key words: Pressure wave speed, Lateral pipe, Surcharged flow, SLOT model, Urban drainage runoff model

1. 緒 言

近年、都市の下水道流域では、いわゆるゲリラ豪雨などにより、浸水氾濫災害が頻繁に発生している。これを軽減・防止する対策を立案するためには、この浸水氾濫現象を精度高くシミュレートできる流出解析モデル^{[1][4]}が必要であり、そのようなモデルとして、従前^[5]より、InfoWorks モデル、Mouse モデル、XP-SWMM モデルなどが広く用いられてきている。

このモデルを適用する場合の問題点は、スロット幅あるいは圧力波伝播速度が明確に定義されないままになっている点にある。すなわち、スロット幅（圧力波伝播速度）の違いによって、浸水氾濫解析結果に大きい違いが現れる。しかしながら、それらの定義式・評価式は明らかにされておらず、解析の経済性や容易さなどから、適当な値のスロット幅（圧力波伝播速度）が用いられているのが実情である。

本論文では、実情の下水道管渠システムに多数存在している取付管を考慮し、下水道管渠における非定常圧力流れ（満管流れ）に対する流れの基礎式を導出し、これをもとにスロット幅（圧力波伝播速度）の評価式を導き出した。

* ジャイカインドネシア事務所産業公害管理シニア海外ボランティア
Senior Volunteer, Industrial Pollution Control, JICA Indonesia Office

** 愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻教授
Professor, Department of Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

*** 日本興業株式会社開発部主任
Chief Engineer, Department of Production and Development, Nihon Kogyo Co., Ltd.

**** 愛媛大学大学院理工学研究科博士後期課程生産環境工学専攻
Doctoral Course Student, Department of Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

原稿受理 平成23年10月31日

2. 下水道管渠における圧力流れ（満管流れ）の流れの基礎式

水の圧縮性、管壁の弾性変形、取付管での流出水貯留を考慮して、プリズマチックな下水道管渠における非定常圧力流れ（満管流れ）の運動方程式および連続の式を導出する。

2.1 連続の式

Fig. 1 に示すような、取付管が接続する下水道管渠の微小区間 Δx の非定常圧力流れに、質量保存則を適用すると、次式を得る。

$$\rho AV \Delta t - \left\{ \rho AV + \frac{\partial(\rho AV)}{\partial x} \Delta x \right\} \Delta t = \frac{\partial(\rho A \Delta x)}{\partial t} \Delta t + \rho \frac{A_L}{\sin \theta} \frac{\partial y}{\partial t} \Delta t \cdot N \Delta x \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 A ：管渠の断面積、 V ：断面平均流速、 ρ ：水の密度、 A_L ：取付管の断面積、 θ ：取付管の取付角度、 y ：水深、 N ：取付管の管渠単位長さあたりの設置本数、 Δx ：微小区間の長さ、 Δt ：微小時間間隔、 x ：距離、 t ：時間。

上式を、展開・変形・整理すると、次式を得る。

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{A_L}{\sin \theta} \frac{\partial y}{\partial t} N = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$; \quad \frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + V \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad \frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + V \frac{\partial A}{\partial x}, \quad \frac{dy}{dt} = \frac{\partial y}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (3)$$

上式左辺の第1項および第2項は、水が圧縮性であり、管壁が弾性変形するので、それぞれ、次のように書き表すことができる。

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = \frac{1}{K} \frac{dp}{dt} = \frac{1}{K} \frac{\rho g}{1 - \frac{\rho g}{K} y} \frac{dy}{dt} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{1}{A} \frac{dA}{dt} = \frac{D}{\delta E} \rho g \frac{dy}{dt} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 p ：水圧、 K ：水の体積弾性係数、 D ：管径、 δ ：管壁の厚み、 E ：管材のヤング係数、 g ：重力加速度。

式(4)、(5)を式(2)に代入し、式(3)の関係を考慮すると、次の連続の式を得る。

$$\frac{\partial y}{\partial t} + V \left(1 - \frac{a^2}{g} \frac{N}{A} \frac{A_L}{\sin \theta} \right) \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$; \quad a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{\frac{1}{1 - \frac{\rho g}{K} y} + \frac{KD}{\delta E} + \frac{K}{\rho g} \frac{N}{A} \frac{A_L}{\sin \theta}}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

連続の式(6)における a (式(7)) は、後述するように、下水道管渠の圧力流れにおける微小擾乱の伝播速度、すなわち圧力波伝播速度を表している。

さて、ここで、

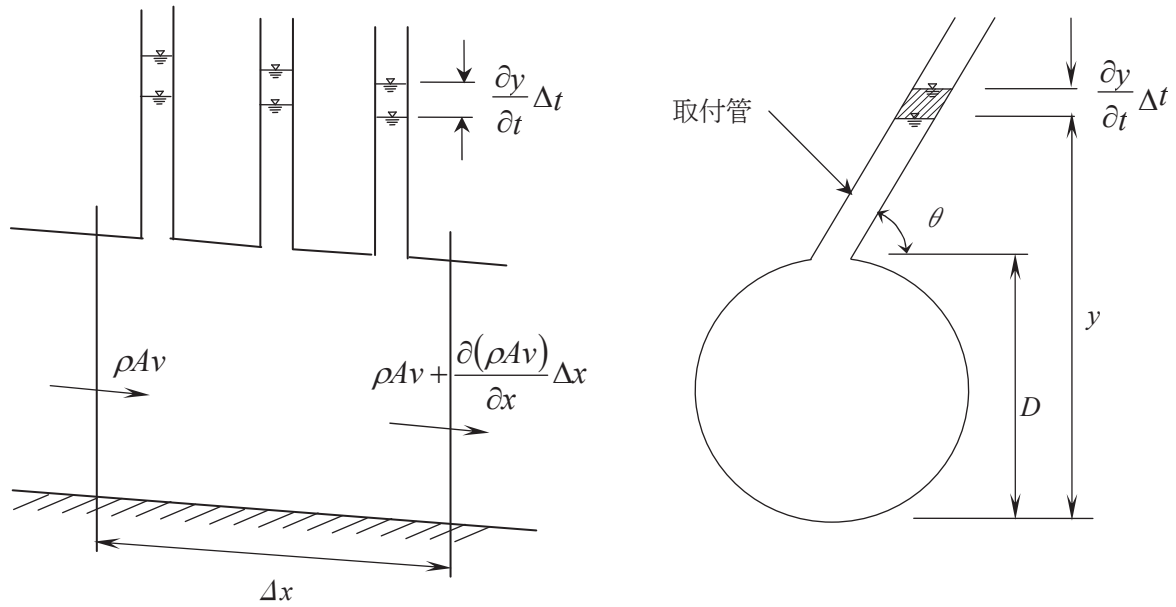


Fig. 1 A sewer pipe reach for the derivation of continuity equation.

$$a_0 = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 - \frac{\rho g}{K} y}} \quad (\text{水の圧縮性に起因する圧力波伝播速度}) \dots\dots\dots (8)$$

$$a_r = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{\frac{KD}{\delta E}}} = \sqrt{\frac{\delta E}{\rho D}} \quad (\text{管壁の弾性変形に起因する圧力波伝播速度}) \dots\dots\dots (9)$$

$$a_L = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{\frac{K N A_L}{\rho g A \sin \theta}}} = \sqrt{\frac{g A \sin \theta}{N A_L}} \quad (\text{取付管での水の貯留に起因する圧力波伝播速度}) \dots\dots (10)$$

と表すこととすると、式(7)は、

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{\frac{1}{1 - \frac{\rho}{K} g y} + \frac{\rho}{\delta E} + \frac{K N A_L}{\rho g A \sin \theta}}} = \frac{a_0}{\sqrt{1 - \frac{g y}{a_0^2} + \frac{a_0^2}{a_r^2} + \frac{a_0^2}{a_L^2}}} \dots\dots\dots (11)$$

と表され、連続の式は、次式のように表されることとなる。

$$\frac{\partial y}{\partial t} + V \left(1 - \frac{a^2}{a_L^2} \right) \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (12)$$

2.2 運動方程式

Fig. 2 に示すような、取付管が接続するプリズマチックな下水道管渠の微小区間 Δx の非定常圧力流れに、運動量の定理を適用すると、まずは、次式が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho A V^2) \Delta x + \frac{\partial}{\partial t} (\rho A V) \cdot \Delta x = - \frac{\partial P}{\partial x} \Delta x + \rho g A S_0 \Delta x - \tau_0 S \Delta x \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$; \quad \tau_0 = \rho g R S_f, \quad S_f = \frac{n |V| V}{R^{4/3}}, \quad \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \rho g \left(y - \frac{D}{2} \right) A \right\} \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここに、 P : 全水圧、 S_f : 摩擦勾配、 S_0 : 管渠勾配、 S : 潤辺、 τ_0 : 壁面剪断応力、 n : マニングの粗度係数、 R : 径深。

水の圧縮性、管壁の弾性変形が運動量の流れに及ぼす影響は無視し得る程度であるので、式(13)を変形・展開・整理してゆくと、次の運動方程式が得られる。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \quad \dots\dots\dots (15)$$

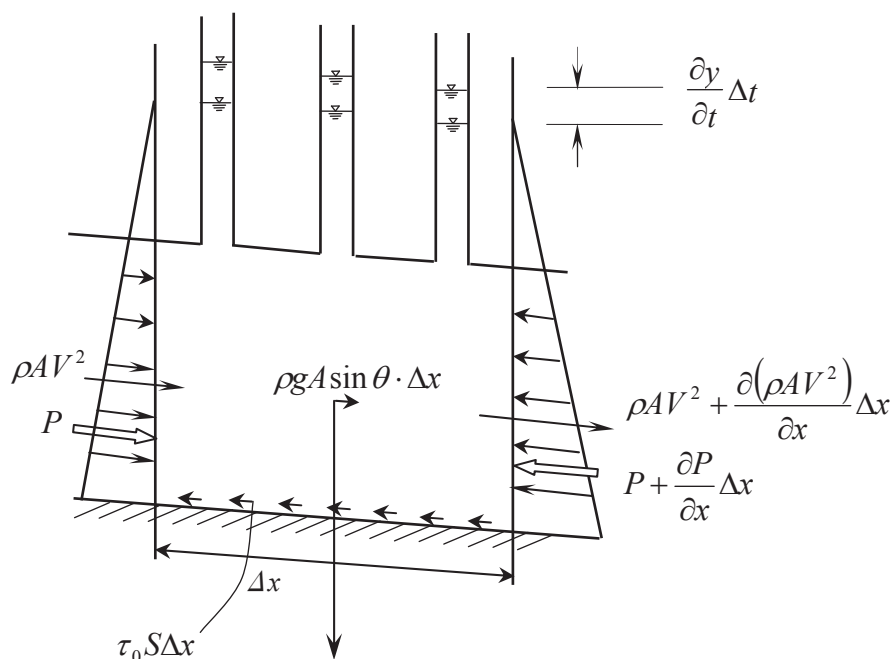


Fig. 2 A sewer pipe reach for the derivation of momentum equation.

2.3 圧力波伝播速度（微小擾乱の伝播速度）

水平に近い下水道管渠において、緩やかな流れである非定常圧力流れが流れているとする。水理量の定常成分に下添字 0 を、微小な非定常成分に上添字 ' を付すこととすると、

$$V = V_0 + V', \quad y = y_0 + y', \quad R = R_0 + R' \quad \dots\dots\dots (16)$$

と表され、これらを式(12)および式(15)に代入すると、次式を得る。

$$\frac{\partial(y_0 + y')}{\partial t} + (V_0 + V') \left(1 - \frac{a^2}{a_L^2} \right) \frac{\partial(y_0 + y')}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial(V_0 + V')}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial(V_0 + V')}{\partial t} + \frac{(V_0 + V')}{g} \frac{\partial(V_0 + V')}{\partial x} + \frac{\partial(y_0 + y')}{\partial x} - S_0 + \frac{n^2(V_0 + V')^2}{(R_0 + R')^{4/3}} = 0 \quad \dots\dots\dots (18)$$

上式を展開・変形・整理してゆくにあたり、次の各項

$$V' \frac{\partial V'}{\partial x}, \quad V' \frac{\partial y'}{\partial x}, \quad V_0 \frac{\partial y'}{\partial x}, \quad V_0 \frac{\partial V'}{\partial x}, \quad V' \frac{\partial V_0}{\partial x}, \quad V' \frac{\partial y_0}{\partial x} \dots\dots\dots$$

が微小であり、定常流れに対しては次の各式

$$V_0 \left(1 - \frac{a^2}{a_L^2} \right) \frac{\partial y_0}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V_0}{\partial x} = 0, \quad \frac{V_0}{g} \frac{\partial V_0}{\partial x} + \frac{\partial y_0}{\partial x} - S_0 + \frac{n^2 V_0}{R_0^{4/3}} = 0, \quad \frac{\partial y_0}{\partial t} = \frac{\partial V_0}{\partial t} = 0$$

が成立することを考慮すると、次式が得られる。

$$\frac{\partial y'}{\partial t} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V'}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V'}{\partial t} + \frac{\partial y'}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (20)$$

式(20)を t で偏微分し、式(19)を x で偏微分して、両式を加え合わせると、次式が得られる。

$$\frac{\partial^2 y'}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 y'}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (21)$$

上式は、1次元波動方程式を表しており、 a が微小擾乱の伝播速度、すなわち圧力波伝播速度を表していることがわかる。

2.4 下水道管渠における非定常圧力流れの基礎式

ここで、2.1 で導出した連続の式 (12) における a 、 a_0 、 a_r 、 a_L について、これらが実流域の下水道管渠網においてどのような値をとるかについて検討する。

松山市街地流域において調査した結果を、Table 1 に示す。

これより、 $a \approx a_L$ であり、従って、 $V \left(1 - \frac{a^2}{a_L^2} \right) \frac{\partial y}{\partial x}$ は微小項として削除することができ、よって、実流

域の下水道管渠網における非定常圧力流れの基礎式は、次のように表されることとなる。

Table 1 Values of pressure wave speeds: a , a_0 , a_r , and a_L in the combined sewer pipe system of Matsuyama city

Pipes						Evaluated Values of a_0, a_r, a_L, a			
Sewer Pipe			Lateral Pipe			a_0 (m/s)	a_r (m/s)	a_L (m/s)	a (m/s)
D (m)	δ (m)	E (N/m ²)	d (m)	N (pipes/m)	θ (degree)				
0.25	0.028	28,000	0.15	1/14	25	1,446	1,771	13	13
0.5	0.042			1/17			1,534	28	28
1.0	0.082			1/20			1,515	61	61
2.0	0.145			1/24			1,425	133	132

注) その他共通条件:

- 水の密度: $\rho = 1,000 \text{ kg/m}^3$
- 水の体積弾性係数 (10°C): $K = 2.09 \times 10^9 \text{ (N/m}^2)$
- 水深: $y = 2 \text{ m}$
- 管渠の弾性係数: $E = 2.8 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (鉄筋コンクリート管)

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$; a = \frac{a_0}{\sqrt{1 - \frac{gy}{a_0^2} + \frac{a_0^2}{a_r^2} + \frac{a_0^2}{a_L^2}}} \approx \sqrt{\frac{gA \sin \theta}{NA_L}} \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \quad \dots\dots\dots (24)$$

なお、上の下水道管渠における非定常圧力流れの基礎式は、渡辺ら^[6]が既に提案している、スロット・モデルの流れの基礎式と同一である。

3. 結 論

本論文では、はじめに、これまで明らかにされてこなかった、下水道管渠網における非定常圧力流れに対する流れの基礎式（運動方程式および連続の式）を、水の圧縮性、管壁の弾性変形、取付管における流出水貯留を考慮して、導出した。これより、これまで明らかにされてこなかった、下水道管渠網における非定常圧力流れの圧力波伝播速度の算定式（評価式）が、明確に示された。

次に、実流域の下水道管渠網における下水道管渠、取付管の諸量・諸元を調査した結果より、圧力波伝

播速度を算定した結果、おおむね 15～150 m/s の値をとるであろうことが分かった。

参 考 文 献

- [1] 川池健司・井上和也・戸田圭一：非構造格子の都市氾濫解析への適用，水工学論文集，第 44 卷，pp. 461-466，2000.
- [2] 井上和也：洪水氾濫解析モデル，京都大学防災研究所年報，第 48 号 A，pp. 1-13，2005.
- [3] 内田龍彦・川原能久：任意の境界条件を有する二次元浅水流の高精度解析手法の開発，水工学論文集，第 50 卷，pp. 799-804，2006.
- [4] 関根正人・中村 淳・中村康朋：河川からの越水を伴う都市域の内水・外水氾濫過程に関する数値解析，水工学論文集，第 52 卷，pp. 865-870，2008.
- [5] (財)下水道新技術推進機構：流出解析モデル利活用マニュアル -雨水対策における流出解析モデルの運用手引き-，(財)下水道新技術推進機構，2003.
- [6] Pandit Saroji KUMAR・重田尚秀・岡 佳宏・渡辺政広・川崎 達：スロット・モデルの適用性の向上に関する検討，水工学論文集，第 52 卷，pp. 877-882，2008.

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程

平成19年4月1日
広報委員会決定

1. 愛媛大学工学部工学ジャーナルの刊行目的

愛媛大学工学部工学ジャーナルは、愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）教員・工学部職員（以下「工学系教員」という。）及び外部投稿者による、工学関係の独創的で、かつ、優れた学術研究の成果を広く公表することを目的として刊行するものとする。

2. 愛媛大学工学部工学ジャーナルの編集

愛媛大学工学部工学ジャーナルの編集は、愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）広報委員会（以下「広報委員会」という。）がこれに当たる。

編集に当たる広報委員会は、論文の受理、採否の決定、校閲等を行う。

3. 論文

論文は、指定投稿論文及び一般投稿論文とする。

指定投稿論文は、次のとおりとする。

- (1) 工学系教員が学協会による学会賞等を受賞した研究業績をまとめたもの
- (2) 工学系教員が学協会の機関誌に記述した、先端的研究に関する解説、総説等の内容を再編集したもの（ただし、著作権に関しては、執筆者が事前に学協会の承認を得ること。）
- (3) 学生が学協会の学会賞等を受賞した業績を指導教員がまとめたもの
- (4) 各コースが推薦する論文
- (5) 当該年度末の定年退職予定教員による学術研究に関する論文
- (6) その他、広報委員会で認めたもの

(1)～(3)にいう学協会は、日本学術会議の登録学術研究団体に限る。

(4)の各コース推薦論文は、各コース3編以内とし、学協会の機関誌に発表した内容のレビュー的論文で、各コースが誇るものとする。

一般投稿論文は、独創的でアイデアに富む未発表のもの、国際会議の招待講演、国内学会での基調講演、学術交流協定に基づく国際シンポジウムでの講演等をまとめたものとする。

4. 論文執筆及び論文ページ制限

論文は、「愛媛大学工学部工学ジャーナル執筆規程」に基づき作成する。

指定投稿論文中、(5) 当該年度末の定年退職予定教員による学術研究に関する論文では15ページを、その他の論文では10ページを超えないことを原則とする。ただし、広報委員会が必要と認めた場合はこの限りでない。

5. 著作権

- (1) 投稿された論文の著作権は、広報委員会に帰属する。ただし、著者自身が自著の記事を複製、翻訳、翻案等の形で利用することは差し支えない。
- (2) 代表著者は、投稿に際し、著作権委譲書（別紙1）を広報委員会へ提出する。

6. 愛媛大学工学部工学ジャーナルの作成

工学ジャーナルは、冊子体を作成しないで、全ての論文を1枚のCD-ROM等をもって作成する。

7. 投稿料等経費

(1) 投稿料は、投稿者に別途定める投稿料を負担させることができるものとする。

ただし、本規程第3の「指定投稿論文」に関しては、投稿料の負担を免除する。

(2) 投稿者はCD-ROM等の必要枚数を広報委員会に申請する。なお、CD-ROM等の必要枚数が10枚を超えるものについては、投稿者が別途定める経費を負担する。

8. 提出原稿

提出原稿は、オリジナルファイル（Word等）及びPDFファイルとする。

9. 原稿の締切

(1) 申込締切 毎年 8月31日（所定の申込書により申し込む。）

(2) 原稿提出締切 毎年10月31日

(3) 原稿の申込み及び提出先
広報委員会

10. 受理年月日

受理年月日は、広報委員会が原稿を受理した日とする。

論文の掲載の可否については、広報委員長名で通知する。

11. その他の注意事項

原稿受理後、論文内容の変更はできないので、特に留意すること。

（最新改正： 平成18年12月20日 広報委員会決定）

工学ジャーナル論文申込書

コース等名
申込者氏名

整理番号	コース名	著者氏名	題目	指定投稿 一般投稿 の別	指定投稿 の種類	既発表学協会誌 又は 講演会名(年月)	原稿の総 ページ数	CD-ROM 等の必要枚 数	(原稿申込日)	(原稿受理日)
1									月 日	月 日
2									月 日	月 日
									月 日	月 日
									月 日	月 日

(別紙1)

著作権委譲書

愛媛大学工学部工学ジャーナルに投稿する私の以下の論文の著作権は、愛媛大学理工学研究科（工学系）広報委員会に委譲いたします。

論文題目 _____

平成 _____ 年 _____ 月 _____ 日

代表著者氏名 _____

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程第7に定める投稿料等経費について

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程第7に定める投稿料等経費については、下記のとおりとする。

記

1. 第7の(1)に定める投稿料

一般投稿論文に係る投稿料は、次のとおりとする。

1 ページ当たりの投稿料の額	900 円
----------------	-------

なお、愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）教員・工学部職員が代表著者となる一般投稿論文に係る投稿料は、当分の間、負担させないものとする。

2. 第7の(2)に定めるCD-ROM等の必要枚数が10枚を超えるものに係る経費

指定投稿論文及び一般投稿論文のCD-ROM等の配付枚数は10部とし、これを超える部数を必要とする場合は、投稿者負担とし、負担額は次のとおりとする。

超過1部数当たりの投稿者負担：200円

(最新改正： 平成18年12月20日、広報委員会決定 平成19年4月1日施行)

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文執筆規程

1. 一般的な留意事項

- (1) 指定投稿論文，一般投稿論文とも，原則として和文または英文論文とする。
- (2) 原稿はそのままCD-ROM等化されるので，原稿はオリジナルファイル（Word等）及びPDFファイルで提出すること。
- (3) 指定投稿論文中，当該年度末の定年退職予定教員による学術研究に関する論文では，図表を含め15ページを，その他の論文では，10ページを超えないことを原則とする。ただし，広報委員会が必要と認めた場合は，この限りでない。
- (4) 原稿はA-4を用い，マージンは和文，英文ともに上20mm，下30mm，左右25mmとする。
- (5) 和文ではMS明朝またはそれに相当する文字種を，英文ではTimes New Romanまたはそれに相当する文字種とする。
- (6) 文字サイズは，題目は14ポイント（ゴシック体），副題は12ポイント（ゴシック体），著者氏名は12ポイントとし，いずれも中央揃えとする。緒言，結果と考察等の見出し（中央揃え），内容展開に必要な見出し（左端揃え）は12ポイント（ゴシック体）とする。要約，キーワード，本論，謝辞，引用論文，付録はいずれも10ポイントとする。
- (7) 要約，キーワード，本論，謝辞，引用論文，付録はいずれも1段組で，行間隔は16ポイントとする。

2. 体裁とその書き方

- (1) 題目，著者氏名，要約，キーワード，本論，謝辞，引用論文，付録の順とする。
- (2) 原稿の第1ページに題目，著者氏名を中央揃えで記す。勤務先及び部課（科），連絡先は脚注に記すこと。英文も併記すること。
- (3) 題目は簡潔（20字程度以内）で，その内容をよく示すものとする。英文題目における大文字，小文字の使い方については，例を参照のこと。
- (4) 著者氏名の前に，「by,」また要約に，「ABSTRACT」の見出しを付けないこと。
- (5) 指定投稿論文では，その論文が指定投稿論文であることを明確に示すため，出典となった学術論文を1ページの脚注として明記すること。
- (6) 要約
英文で研究の目的，結果，結論を150語程度にまとめること。
- (7) 本論
 - 1) 本論は，緒言，実験，結果と考察，まとめ，謝辞，参考文献，付録の順とする。これら見出しは，ゴシック体とし，文のセンターに位置づけること。必要に応じ小見出しをつけること。小見出しもゴシック体とし，文頭に位置づけること。
 - 2) 和文では専門用語以外は当用漢字を用い，ひらがなまじり口語文，かなは新かなづかいとすること。
 - 3) 不必要に長い表現は避け，重複した内容にならないようにすること。又，同性質の図または表を多く掲げることは避けること。数式は，主題の論旨の展開に必要な程度にとどめること。写真及び図表の説明は，論文の和文，英文を問わず，単に Fig.1, Table 1 などと記するだけでなく，英文で説明（文）をつけること。文中では，Fig.1, Table 1 などと記すること。
 - 4) 和文の場合，句読点は，「，」及び「。」とし，それぞれ1画を用いること。

- 5) 本文中に使用する記号には、必ず説明を付けること。
- 6) 単位は周知の記号を用いること。
- 7) 後述例を参考にする事。
- (8) 謝辞の記述
研究費等の補助などを受けた場合には、本文の最後に記すること。
- (9) 引用文献
 - 1) 研究内容に直接関係のある重要な文献を記載すること。これらの文献は、本文中文字の右肩に番号 [1] , [1] - [3] を付し、それらを本文の最後にまとめること。
 - 2) 引用文献の書式として雑誌の場合は、著者名, 標題, 雑誌名, 巻, 号 (または発行月, あるいは号及び発行月), 開始ページ~終了ページ, 年を, また単行本の場合は、著者名, 書名, ページ, 発行所, 発行年を記すこと。
- (10) 付録
数式の誘導, 実験装置などの詳細な説明が必要な場合には、付録とする。
- (11) その他

(最新改正： 平成18年12月20日, 広報委員会決定 平成19年4月1日施行)

工学ジャーナル投稿原稿の見本*

<1行分あける。>

A Sample of Manuscript of Submitted Paper to Journal of Engineering

<2行分あける。>

愛媛工学**

<1行分あける。>

Kougaku EHIME**

<1行分あける。>

Abstract: All manuscripts must be produced clearly on good quality plain white A4-size(297mm×210mm) sheets, and accurately within the dimensions as shown on these pages. Manuscripts should be submitted in camera-ready style for the screening and publication. The manuscript is accepted for publication after the format check of the editorial board. Thus, the authors are asked to read these instructions carefully for quicker acceptance of your manuscript. The printer should be a laser/jet, but dot -printers are unacceptable.

<1行分あける。>

Key words: Original paper, Guideline for manuscript

<2行分あける。>

1. 緒言

<1行分あける。>

工学ジャーナルは、工学部教職員及び外部投稿者による、工学関係の独創的で、かつ優れた学術研究の成果を広く公表することを目的として刊行される。具体的には、従来の工学部紀要を改革し、2に記す論文を中心に編集する。

<1行分あける。>

2. 投稿論文

論文は、指定投稿論文及び一般投稿論文とする。

2.1 指定投稿論文

指定投稿論文は、原則として次のいずれかでなければならない。

- (1) 工学部教官が学協会による学会賞等を受賞した研究業績をまとめたもの
- (2) 工学部教官が学協会の季刊誌に記述した、先端的研究に関する解説、総説等の内容を強化したもの(ただし、著作権に関しては、執筆者が事前に学協会の承認を得ていること)
- (3) 学生等が学生対象の学協会の学会賞等を受賞した業績を指導教員がまとめたもの
- (4) 各学科が推薦する論文
- (5) 前年度の退職教員による学術研究に関する論文
- (6) その他、編集委員会で認めたもの

2.2 一般投稿論文

一般投稿論文は、独創的でアイデアに富む未発表のもの、国際会議の招待講演、国内学会の基調

* ○△学会会誌 第○○巻 第○○号 (2000)pp.△△-○○ 工学ジャーナル投稿原稿より引用

** 松山市文京町3愛媛大学工学部 ○○学科

** Department of Mechanical Engineering, Ehime University, Matsuyama, Japan. E-mail

原稿受理 平成 年 月 日

講演, 学術交流協定に基づく国際シンポジウムでの講演等をまとめたものとする。

3. 原稿の執筆上の注意

原稿の書き方は, 投稿規程および原稿執筆上の規約に従う。第1ページおよび図などは本ページに示す見本を参照する。ページは左右に25mm, 上20mm, 下30mmの margins をとり, 1段組とする。論文および資料の場合, 次の事項を番号順に必ず記載する。

- (1) 和文題名 (14 ポイント)
- (2) 英文題名 (14 ポイント)
- (3) 和文著者名 (12 ポイント)
- (4) 英文著者名 (12 ポイント)
- (5) 英文要旨 (10 ポイント)
- (6) 英文キーワード (10 ポイント)

指定投稿論文で既に掲載された学協会名等を示す必要がある場合, 前ページ例を参照すること。

本文 (10 ポイント) は, 見本のように上記(1)~(6)を記述した後に, 1行空けて書き始める。

図, 表および写真は, 見本のように用紙にそのまま貼り込み, 本文中の説明と離れない位置に貼り付ける。図・表どうし, あるいは図, 表と本文は1行以上間隔をあけるようにする。カラー写真掲載の場合は, 編集委員会でその必要性が認められた場合に限り掲載することができるが, それに係わる経費は著者負担である。

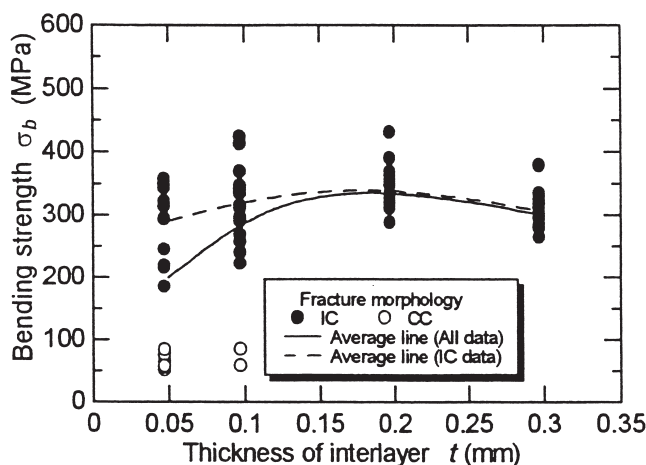


Fig.1. Relationship between interlayer thickness and bending strength.

4. 引用文献

[1] 「雑誌」

著者名, 標題, 雑誌名, 巻, 号, pp. 開始ページ~終了ページ, 年.

「単行本」

著者名, 書名, ページ, 発行所, 発行年.

[2] 参考例

[1] 浦島太郎: 広帯域増幅器, 通信学会誌, 40, 2, pp. 120-125, 1955.

[2] R. P. Feynman: Slow Electrons in a Polar Crystal, Phys. Rev., 97, 3, pp. 660-665, 1955.

または

[3] R. P. Feynman: Slow Electrons in a Polar Crystal, Phys. Rev., 97, pp. 660-665, Mar., 1955.

[4] 田中一郎: 磁性工学, pp.123-135, オーム社, 1966.

[5] J. A. Smith: in "Electricity and Magnetism" pp.300-305, Cambridge University Press, London, 1950.