

## 東シナ海における台風時波高の極値の再評価 (補遺)

### Re-Evaluating Extremes of Typhoon-Generated Wave Heights in the East China Sea(Supplement)

山口正隆\*・野中浩一\*\*・畑田佳男\*\*\*

Masataka YAMAGUCHI\*, Hirokazu NONAKA\*\* and Yoshio HATADA\*\*\*

Nonaka et al.(2013) re-evaluated extremes of (significant) wave height such as historical maximum wave height over the past 65 years and 100-year return wave height based on the hindcasting of typhoon- and low pressure-generated waves in the East China Sea connected to the Pacific Ocean. However, typhoon T1102 in 2011 was overlooked in the candidates of the intense typhoons in cases where the wave hindcasting was to be made, in spite of the fact that T1102 might have brought about the highest waves in some areas of the East China Sea. This study shows that T1102 gave rise to a 1.5 m or less increase of the historical maximum wave height and 0.5 m or less increase of the 100-year return wave height in a strip of sea area from southwest of Okinawa Island to Ishigaki Island which are closely situated to the typhoon track. Also, it indicates that the effect of either wave model difference such as YH3 and SWAN or input winds difference such as typhoon model winds and analysis-prediction combined-winds on T1102-generated maximum wave height distribution is not so significant, in cases where the wave height difference is less than 2 m at most. In addition, the possibility of new occurrences of the historical maximum wave height in the East China Sea associated with the most recent typhoon T1408 is preliminarily investigated based on similar wave hindcasting.

*Key Words* ; East China Sea, re-evaluation, extremes of wave heights, Typhoon1102, Typhoon1408, YH3 and SWAN wave models, typhoon model winds, analysis-prediction winds.

## 1. 緒 言

東シナ海では2012年に相次いで通過した強い勢力の台風によって生じた異常波高が従来の波高極値の推定結果に影響を及ぼすのではないかとこの観点から、野中ら<sup>[1]</sup>は2012年までの既往台風や近年の低気圧・季節風に係わる波高資料およびモンテカルロシミュレーションで発生した台風時の波高資料を用いて、東シナ海における100年確率波高を含む波高の極値を再評価した。

波浪推算の対象とした台風は東シナ海のいずれかの小海域で年最大波高を生じたと推定される台風を含

---

\*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

\*\* (前) 愛媛大学工学部環境建設工学科

(former) 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26年10月31日

めて毎年3~4ケース以上を選択した。2011年では4台風、すなわち台風T(20)1105(号), T1109, T1112, T1115を抽出したが、那覇で既往最大観測(有義)波高10.22mを生起したT1102を見落とししていた。したがって、T1102に伴う最大波高は海域によっては期間最大波高や確率波高の推定値を変える可能性がある。

そこで本研究では、まず従来の方法、すなわち台風モデル法による海上風分布を入力条件とした山口ら<sup>[2]</sup>の格子点浅海モデル(YH3)による波浪推算をT1102に対して実施し、南西諸島沿岸各地の観測資料との比較によりその精度を検討するとともに、当該台風時波高を含めた極値解析を再度行い、東シナ海における期間最大波高や確率波高の変化を調べる。

ついで、気象庁解析値と予測値による海上風分布、第2世代の波浪推算モデルYH3<sup>[2]</sup>に加えて、第3世代の波浪推算モデルSWAN<sup>[3]</sup>と、それぞれの高度化をはかったT1102に対する波浪推算を南方と北方に領域拡大した東シナ海を含む北西太平洋領域で実施し、南西諸島沿岸地点における波浪観測資料との比較より推算精度の向上を確認するとともに、T1102に伴う台風時最大波高の空間分布の特性を金城ら<sup>[4]</sup>による結果を含めて考察する。さらに、ごく最近に生起したT1408に対する波浪推算に基づいて同台風時の最大波高の規模を予備的に調べ、その結果を付録で述べる。また、T1216に伴う波浪推算結果を付加する。

## 2. 海上風および波浪推算の方法

### 2.1 台風時海上風分布

#### (1) 台風モデル風

台風内気圧分布を楕円型分布で近似し、台風属性を中心位置 $(x_0, y_0)$ 、中心気圧 $p_c$ 、平均台風半径 $R(=(a+b)/2)$ 、長軸・短軸半径比 $b/a$ 、楕円長軸傾斜角 $\theta$ の6つの変量で代表させる。遠方場気圧 $p_\infty$ は1013 hPaとする。海上風分布は楕円型気圧分布に伴う傾度風と台風の移動に伴う場の風をベクトル合成して求める(台風モデル法<sup>[5]</sup>)。6時間間隔の台風属性を30分ごとに線形補間して入力条件とし、格子間隔 $\Delta x = 40$  kmの格子網(南北(x)方向62×東西(y)方向36)で海上風の計算を行う。海上風への変換係数は0.6とする。このほか、格子間隔10 kmおよび5 kmの格子網で時間間隔をそれぞれ7.5分および3.75分として海上風分布を求める。期間は2011年5月20日3時~5月31日21時である。Fig. 1は格子間隔 $\Delta x = 40$  kmの場合の東シナ海領域を示し、図中にはT1102および後述するT1408の経路を与える。

#### (2) 気象庁資料

気象庁により公表されているメソスケールモデル(MSM)(南北方向N22.4°~N47.6°, 東西方向E120°~E150°の領域、解像度0.05°×0.0625°, 505×481に分割)による3時間間隔解析風に1時間間隔予測風を組入れて1時間間隔のMSM風資料を上記の領域で作成する。ついで、グローバルスペクトルモデル(GSM)(解像度0.5°×0.5°, 720×361に分割)による6時間間隔解析風資料を1時間ごとに線形補間したのち、これを空間に関してMSM資料の間隔で補間する。そして、全体の対象領域をN10°~N50°, E120°~E150°の領域として、MSM風資料がない北側領域(N47.6°~N50°, E120°~E150°)と南側領域(N10°~N22.4°, E120°~E150°)ではGSM風資料を組込んで海上風分布を作成す

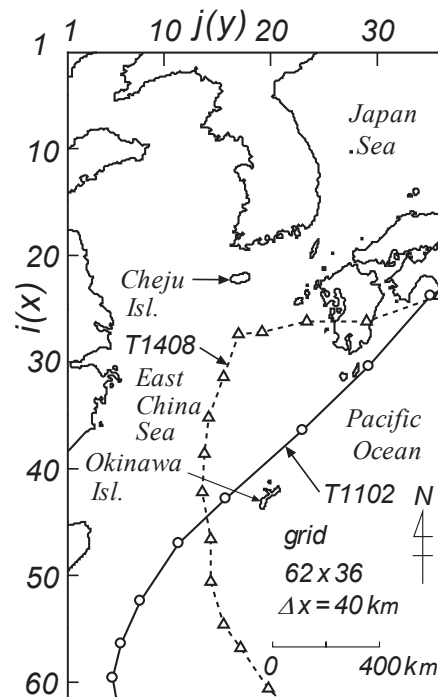


Fig. 1 Wave hindcasting area of the East China Sea and tracks of typhoons such as T1102 and T1408.

る。Fig. 2に示すように、対象領域は日本全体を含み、サハリンからフィリピンに至る広大な領域になっている。

## 2.2 波浪推算モデル

### (1) 格子点浅海モデル (YH3)

これは風波の発生・発達, パラメータ化された非線形相互作用, 平衡周波数スペクトルによる碎波減衰, shoaling, 屈折, 底面摩擦, 浅海性碎波を考慮する第2世代の波浪推算モデル<sup>[2]</sup>である。周波数条件は $f = 0.04 \sim 0.5$  Hzを不等分割した21個, 方向条件は $0 \sim 360^\circ$ を $20^\circ$ で等分割した19個とする。計算時間間隔 $\Delta t$ は $\Delta x = 40$  kmの格子網で30分,  $\Delta x = 10$  kmの格子網で7.5分,  $\Delta x = 5$  kmの格子網で3.75分である。このモデルでは, 外洋境界においてRoss<sup>[6]</sup>の台風モデルに基づく方向スペクトルを各時間ステップで与える。

### (2) SWAN Version40.91ABC

SWAN<sup>[3]</sup>は風波の発生・発達項, HasselmannらのDIA近似に基づく4波共鳴非線形相互作用項, パルスモデルによる深海性碎波減衰項, 流れによる相互干渉(方向スペクトルのかわりにwave actionスペクトルを使用), shoaling, 屈折, 回折, 底面摩擦の各項, 3波共鳴非線形相互作用項, 浅海・極浅海での碎波減衰項などを考慮する第3世代の(深海)・浅海・極浅海用波浪推算モデルであり, 座標系, ソース関数や伝播計算法などに多くの選択肢をもつ。ここでは, これまでの使用経験から, Komenらによる発達項, Wu公式による海面抵抗係数 $C_d$ の上限値を $C_{dmax} = 2.1 \times 10^{-3}$ とする。座標系には球面座標系を用いる。周波数条件は $f = 0.04 \sim 1$  Hzの31個, 方向条件は $\theta = 0 \sim 360^\circ$ を $10^\circ$ で等分割した36個である。波浪推算領域はFig. 2に示す( $N10^\circ \sim N50^\circ$ ,  $E120^\circ \sim E150^\circ$ )の領域を緯度・経度方向に空間解像度 $\Delta \lambda = \Delta \phi = 0.1^\circ$ で $401 \times 301$ に分割しており, 時間間隔として $\Delta t = 10$ 分を用いる。外洋の開境界ではoptionとして与えられたJONSWAPスペクトルと $\cos^2 \theta$ 型方向分布関数の積による方向スペクトルを入力する方式を採用する。YH3モデルの場合には, Fig. 2の領域における間隔を $\Delta x = \Delta y = 11$  kmとする直交座標系表示によるものとして $\Delta t = 10$ 分で計算を行う。

## 2.3 極値統計解析モデル

格子点別の年最大波高資料に対する極値統計解析では, 候補分布をGumbel分布と形状母数 $k$ を27種類とするWeibull分布の計28種類, 位置・尺度母数の推定を最小2乗法(LSM), 確率波高の分散(標準偏差)の推定をjackknife法によるYamaguchi・Hatada<sup>[7]</sup>のモデルを用いる。限られた対象ケース数を考慮して解析に使用する年最大波高資料は, 指定した下限値以下の資料を適宜削除したcensored資料とする。40 km格子網での年最大波高資料は1948~2012年(65年間)の391ケースあるいはT1102を含めて392ケースの台風に対するYH3モデルによる波浪推算から, 10 km格子網での年最大波高資料は同期間の149ケースあるいは150ケースの波浪推算からそれぞれ得ている。ここでは下限値を1 mとする。

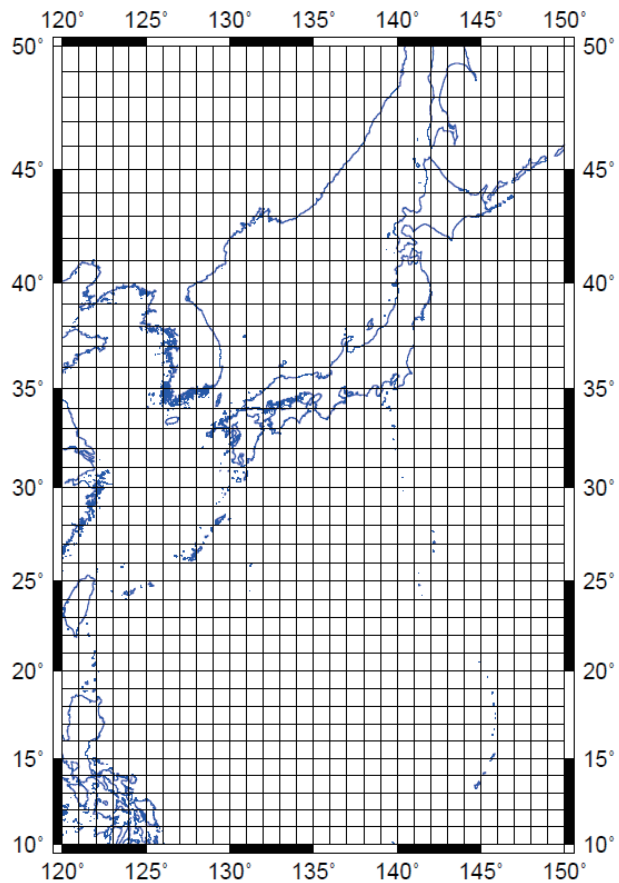


Fig. 2 Area of MSM- and GSM-based sea wind distributions in the Western Pacific Ocean provided by JMA(Japan Meteorological Agency).

### 3. 波高の極値の再検討

#### 3.1 T1102 の特性と最大波高の空間分布

台風 T1102 (号) は 2011 年 5 月 21 日 21 時にヤップ島南の海上で発生, W 方向へ進んで 26 日 15 時にルソン島の東で 920 hPa にまで発達, その後進路を NE 方向に変え, 28 日 9 時には石垣島の南に到達した。このときの中心気圧は 940 hPa である。ついで 29 日 9 時には種子島の東方沖へ, 29 日 15 時には四国沖に進んで, 温帯低気圧に変わった。最大観測風速は那覇で 35 m/s (風向は SSW) と非常に強いが, 鹿児島では 11.1 m/s (WNW) と弱い。最大観測波高は那覇で 10.22 m (水圧式波高計), 平良沖で 7.10 m (水圧式波高計) と既往最大値を更新した。そのほか, 中城 (港) で 8.65 m (水圧式波高計), 石垣沖で 3.72 m (水圧式波高計, ピーク付近欠測), 名瀬で 5.48 m である。これらの地点の位置を後述の Fig. 4 で与える。

Fig. 3 は T1102 時の最大波高の空間分布を (a)  $\Delta x = 40$  km 格子網, (b)  $\Delta x = 10$  km 格子網, (c)  $\Delta x = 5$  km 格子網の場合に示す。(a) 図 ( $\Delta x = 40$  km) では 14 m 波高域が宮古島沖で NE-SW 方向に伸び, より低い値の等波高域も同様の空間変化を与える。10 m 以下の波高域は E 側と S 側の境界に達している。類似した波高の空間分布は (b) 図 ( $\Delta x = 10$  km) や (c) 図 ( $\Delta x = 5$  km) でもみられるが, これらの図ではごく局所的に 15 m 域が出現するとともに, 12 m 域や 14 m 域が (a) 図より NE 方向に伸び NW-SE 方向の幅が縮小する。この傾向は (c) 図 ( $\Delta x = 5$  km) でより著しい。一方, 東シナ海では 4 m 域が (a) 図 ( $\Delta x = 40$  km) より (b) 図 ( $\Delta x = 10$  km) や (c) 図 ( $\Delta x = 5$  km) で NE 側に若干移動しており, 九州西側の海域で (a) 図 ( $\Delta x = 40$  km) より (b) 図 ( $\Delta x = 10$  km) や (c) 図 ( $\Delta x = 5$  km) の場合に波高が大きい特徴がみられる。地形解像度の向上 ( $\Delta x = 40$  km から 10 km および 5 km へ) は最大波高の増大を当然生じるけれども, その程度は全体としては, それほど有意でない。

Fig. 4 は  $\Delta x = 5$  km 格子網における奄美大島から沖縄本島, 宮古島, 石垣島, 西表島に至る海域の島々と等深線および波高観測地点の位置を示す。観測地点は名瀬 (奄美大島東シナ海側), 中城 (沖縄本島太平洋

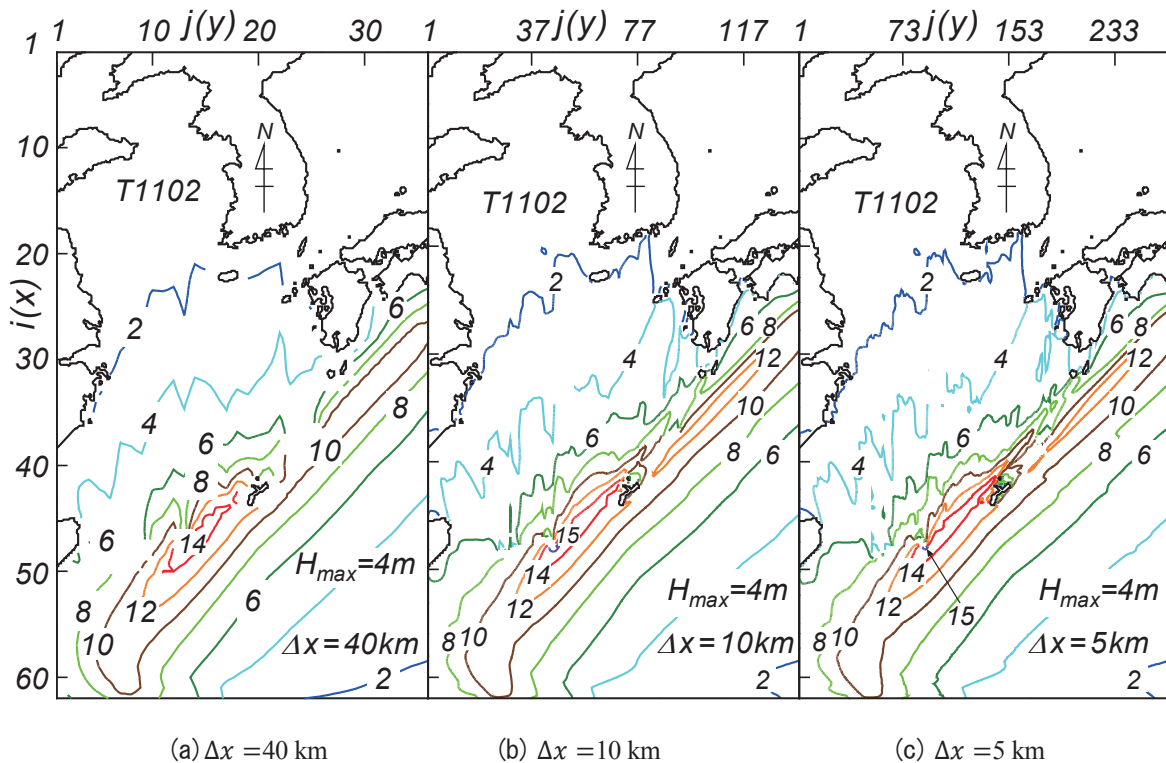


Fig. 3 Spatial distribution of T1102-generated maximum (significant) wave height on hindcasting area with grid distance of any of (a) 40 km, (b) 10 km and (c) 5 km.

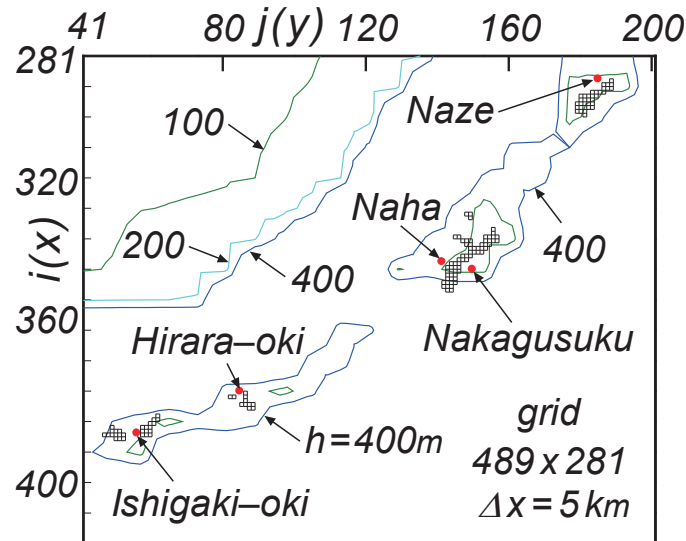


Fig. 4 Contour lines of water depth in the sea areas around Okinawa Islands on 5 km distance grid and locations of 5 measurement stations of coastal waves.

側), 那覇 (沖縄本島東シナ海側), 平良沖 (宮古島東シナ海側), 石垣沖 (石垣島東シナ海側と太平洋側) の5ヶ所である。このうち, 名瀬と中城では半平面以上の入射角度幅をもつので, 解像度 $\Delta x = 5 \text{ km}$ の格子網でも観測地点の波浪を適切に計算する条件をもつとみなされるけれども, 周辺地形が複雑であり, したがって外洋からの波浪の入射角度が制限される那覇や平良沖, 石垣沖では, 解像度 $\Delta x = 5 \text{ km}$ の格子網では地形条件に対応する適切な (地形による遮蔽効果を考慮した) 波浪推算条件となっていないので, 外洋で高精度の波浪推算が行われたとしても, これらの沿岸地点では一般に推算波高は観測波高より大きい値を与えられらる。

Fig. 5は5波浪観測地点における T1102 時の波高と周期の経時変化に対する推算値と観測値の比較を示す。波高に関して, 半平面以上の方向の波浪が入射する名瀬と中城では推算値と観測値はピーク値を含めて比較的良好に対応するが, 中城では推算値の時系列が観測値のそれより太った形状を与える。また, 那覇では推算値と観測値の時系列の変化形状は類似するものの, 推算値が全期間で観測値を上まわる。逆に, 平良沖 (宮古島) では推算値はとくにピーク付近以降で観測値より小さい値を与えて, 再現性が悪いし, 石垣沖 (石垣島) では推算値は観測値のピーク時以前の期間で観測値よりはるかに大きく, 観測値のピーク時以降で, ある程度観測値と対応する。これは波浪推算における地形解像度の不足によるところが大きいと推測される。各地点の地形特性を考慮し, 波高・周期計算において積算する方向スペクトルの方向範囲を人為的に限定すれば, 推算波浪の時系列が観測波浪の時系列より太くなる特徴を解消できるかもしれない。平良沖における過小評価の原因は明らかでないが, 比較地点を島による遮蔽効果の小さい1格子沖合に出してみる必要がある。

ついで, 周期についてみると, ピーク時以前の期間では推算値がうねりに伴う長い周期の観測値を再現できていないが, ピーク近傍時点以降では両者は比較的良好に対応する。しかし, 平良沖や石垣沖では波高のピーク時付近を除いて推算値と観測値の対応は不十分である。

金城ら<sup>44</sup>はごく最近気象庁による6時間あるいは3時間間隔のGPV資料の使用に際してその時間内挿法に工夫を加えて, 気圧や風速・風向の連続的な時間変化の再現を可能にしたうえで, T1102時の沖縄周辺海域における波浪推算を行い, 那覇における気圧, 風速・風向と波高・潮位偏差の時系列や波高・潮位偏差ピーク値の再現性の向上を示している。しかし, この場合でも, 本研究の結果ほどでないにしても推算波高は

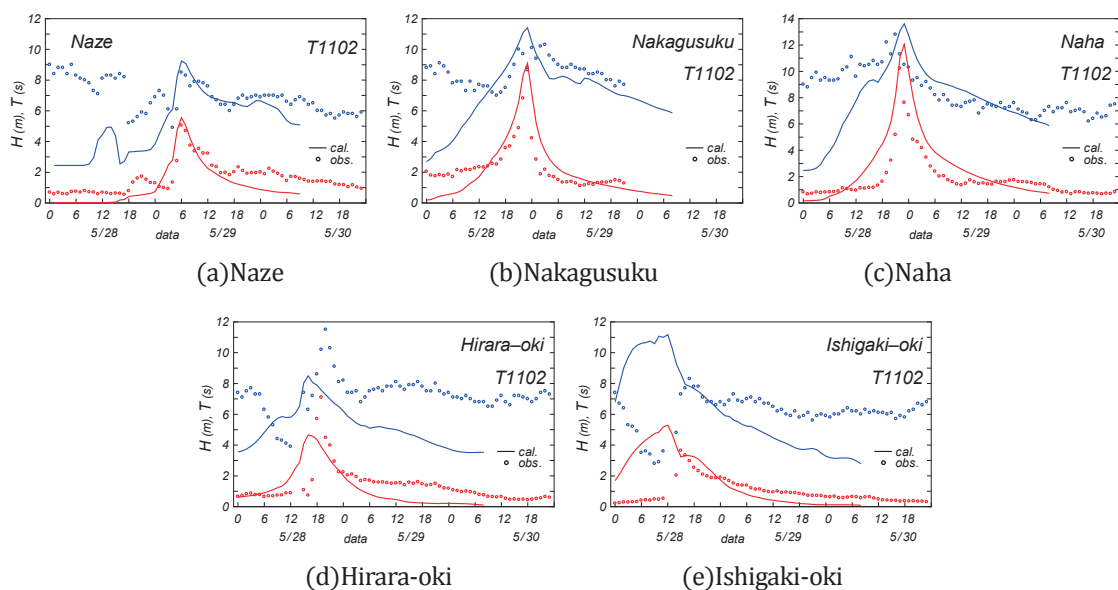


Fig. 5 Comparison between YH3 model-based hindcasts on 5 km grid and measurements for time variations of wave heights and wave periods at 5 coastal stations during T1102.

観測波高より太った時系列を与えるし、周期に関しても推算値と観測値の関係で Fig. 5 と同様の挙動をとる。ただし、波浪推算における地形解像度や推算条件は論文に一切書かれていないので、不明である。

### 3.2 T1102 時最大波高の導入に伴う波高の極値の変化

Fig. 6 は 1948～2012 年の 65 年間で格子間隔 $\Delta x = 40$  km の波浪推算に基づく T1102 時の最大波高の寄与を加味した期間最大波高 $H_{max}^{48-12}$  (a), この寄与を加えない場合の期間最大波高 $H_{max0}^{48-12}$ からの差 $\Delta H_{max}^{48-12}$  (b)および無次元相対差の $\Delta \tilde{H}_{max}^{48-12} (= \Delta H_{max}^{48-12} / H_{max0}^{48-12})$ の%値 (c)に対するそれぞれの空間分布を示す。

期間最大波高は南西諸島の南側にあたる東シナ海の太平洋側では 14～17 m で局所的に 17～18 m を上まわる。東シナ海では 14 m から NW 方向に黄海の 6～10 m に向けて小さくなり、九州西側で 14～16 m をとる。しかし、計算領域と対象台風の制約により、領域南西端付近の波浪は過小評価されている可能性が少なくない。期間最大波高は T1102 時最大波高を含めると、宮古島～石垣島の狭い帯状の海域で最大 1.5 m, 南側境界付近の西側の一部で 1 m 大きくなり、相対的最大波高差比 (%値) で最大 10 %に達する。ただし、後者は対象台風の選択状況に依存するので、すなわち南側境界の南側海域を NW と W 方向に進行する巨大台風に伴う波高を波浪推算結果の解析では考慮していないので、検討対象としない。

また、Fig. 7 は格子間隔 $\Delta x = 10$  km の波浪推算に基づく同様の結果を表す。期間最大波高の空間分布は Fig. 6 (a) 図と比べても基本的にあまり変わらないが、九州南西側海域や太平洋の西側で 16 m 域が出現し、局所的に多少大きくなっている。波高差 (b 図) や相対波高差比の%値 (c 図) も、それぞれ Fig. 6 の (b) 図、(c) 図と類似した挙動を示す。

Fig. 8 は格子間隔 $\Delta x = 40$  km の波浪推算に基づいて得られた (T1102 時最大波高の影響を含む) 100 年確率波高 $H_{100}$  (a), 100 年確率波高差 $\Delta H_{100}$  (b) および T1102 時最大波高の影響を含まない 100 年確率波高で無次元化した相対確率波高差 $\Delta \tilde{H}_{100}$  の%値 (c) の空間分布を示す。100 年確率波高 $H_{100}$  も太平洋側では 14～16 m, 局所的に 17 m 以上, 東シナ海では南～南東側の 14 m から北西部の黄海の北側で 6 m に小さくなり、九州西側では 14 m から 16 m に達する。これは期間最大波高の空間分布とかなり類似する。T1102 時最大波高の影響として、 $H_{100}$  は宮古島～石垣島を含む狭い帯状の海域を中心に、T1102 の経路に沿って最大 0.5 m 大きくなり、相対確率波高差比では最大 5 %にあたる。

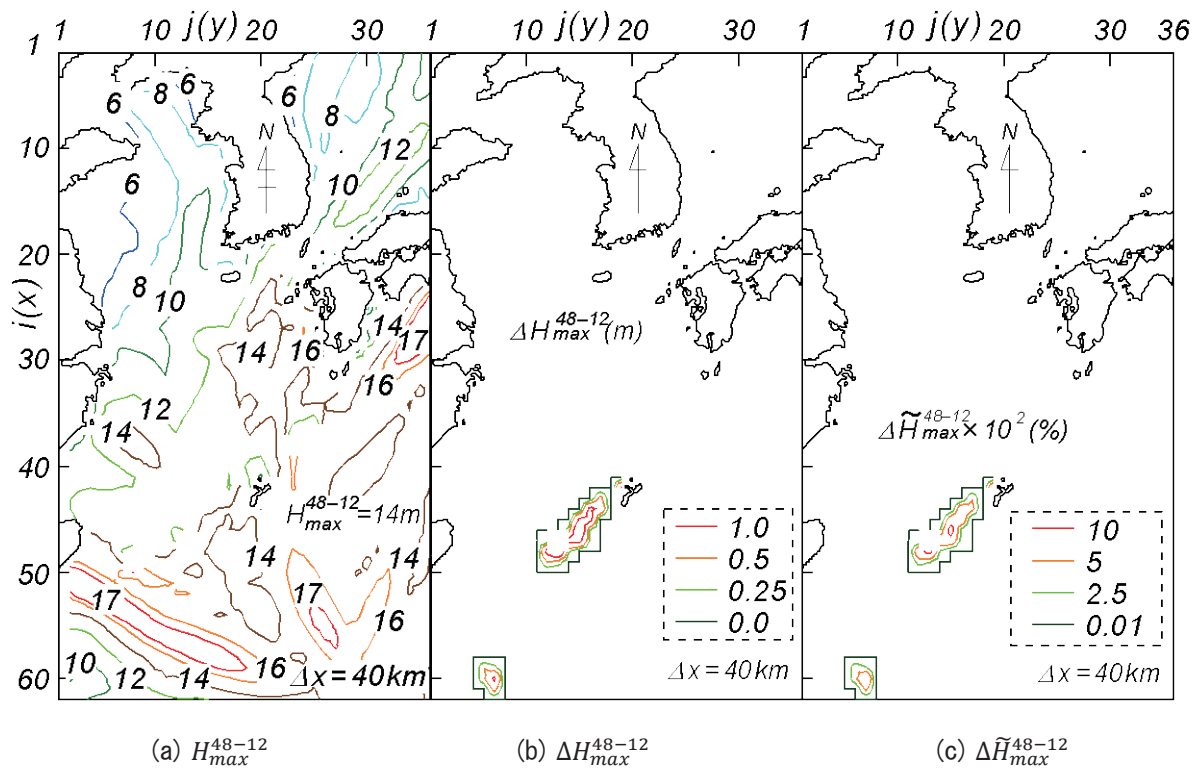


Fig. 6 Spatial distribution of maximum wave height  $H_{max}^{48-12}$  over 65 years from 1948 to 2012 (a) and effect of T1102-generated wave height on the distribution expressed by either (b) difference  $\Delta H_{max}^{48-12}$  or (c) normalized relative difference  $\Delta \tilde{H}_{max}^{48-12}$  (40 km grid).

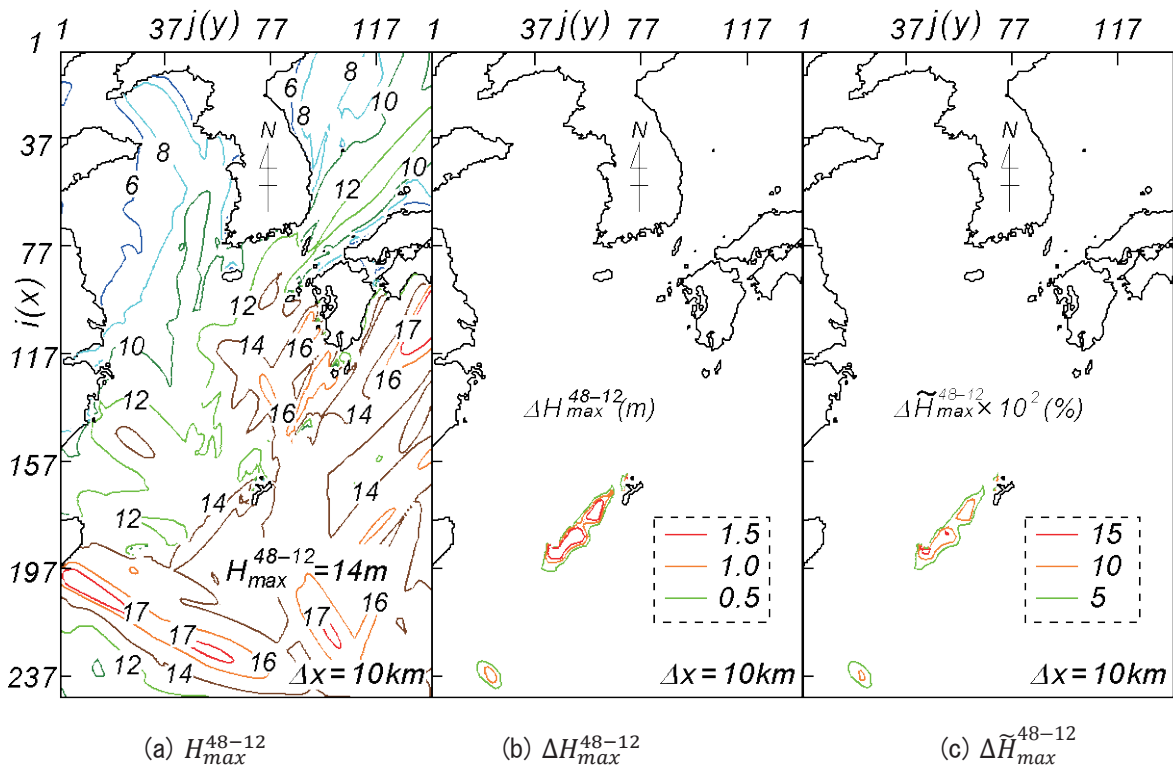


Fig. 7 Spatial distribution of maximum wave height  $H_{max}^{48-12}$  over 65 years from 1948 to 2012 (a) and effect of T1102-generated wave height on the distribution expressed by either (b) difference  $\Delta H_{max}^{48-12}$  or (c) normalized relative difference  $\Delta \tilde{H}_{max}^{48-12}$  (10 km grid).

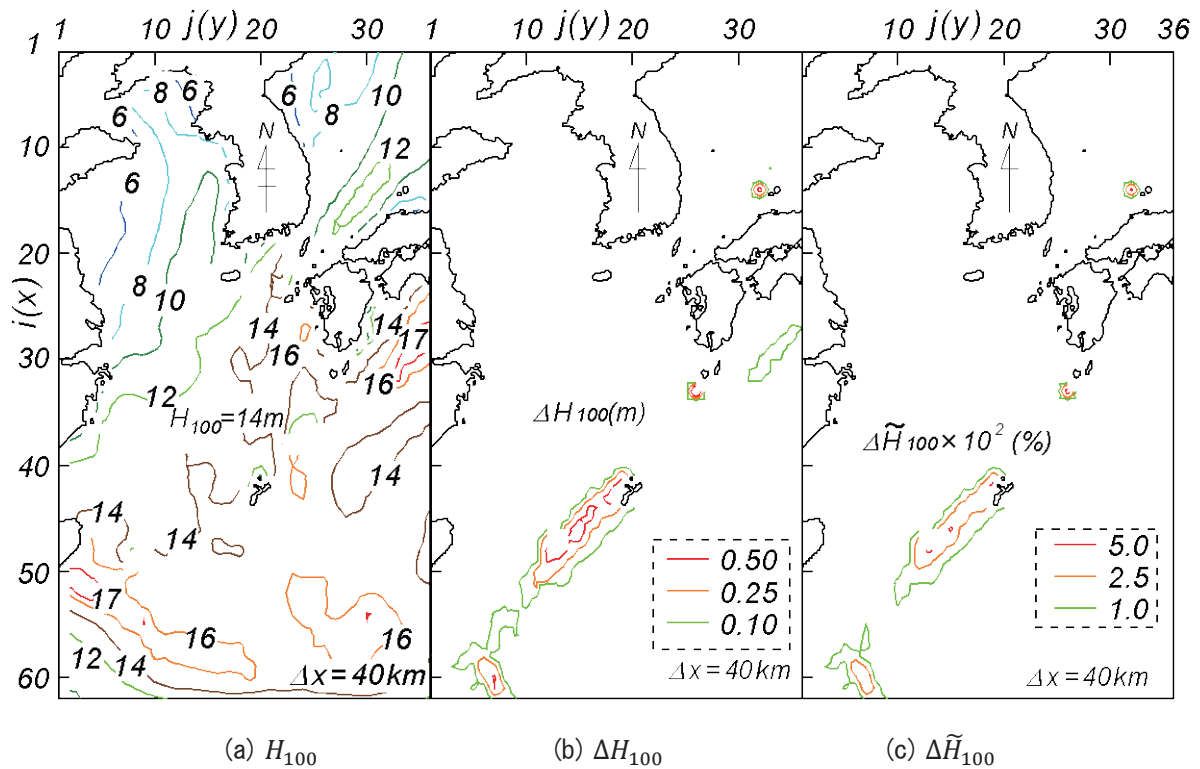


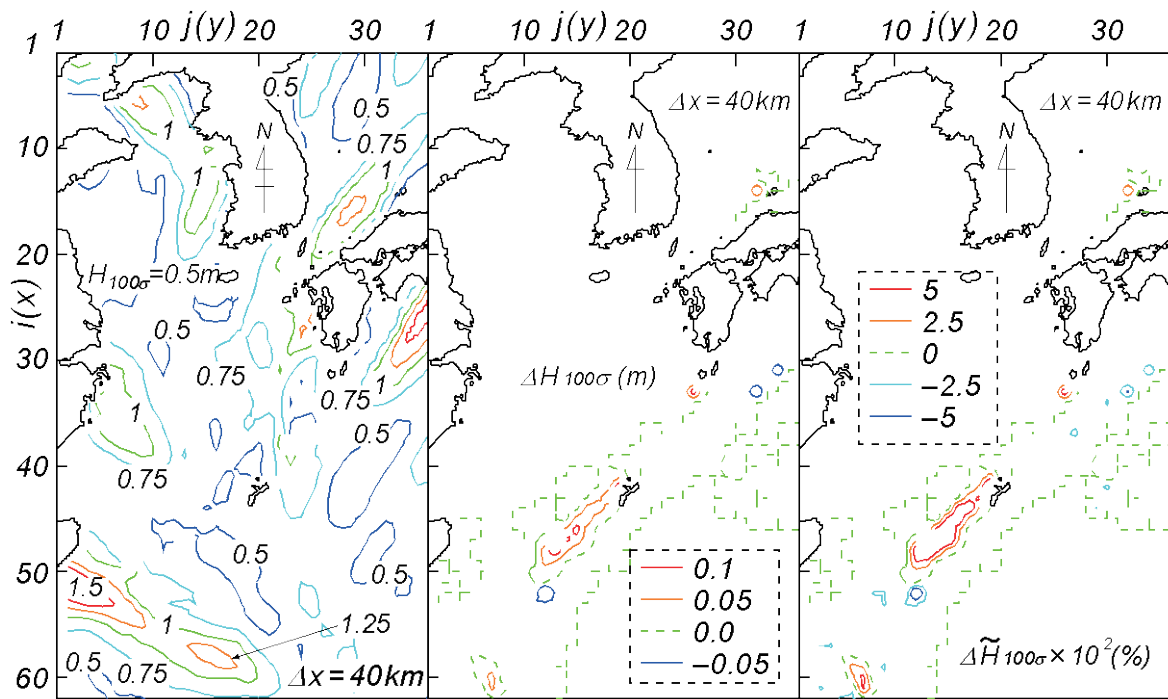
Fig. 8 Spatial distribution of 100-year return wave height  $H_{100}$  (a) and effect of T1102-generated wave height on the distribution of  $H_{100}$  expressed by (b) difference  $\Delta H_{100}$  and (c) normalized relative difference  $\Delta \tilde{H}_{100}$  (40 km grid).

Fig. 9 では 100 年確率波高の標準偏差  $H_{100\sigma}$  (40 km 格子網) についての結果を表す。 $H_{100\sigma}$  は大部分の海域で 1 m 以下であるが、四国沖や台湾沖で局所的に 1.5 m を越える。T1102 時最大波高の影響は T1102 の経路に沿って現れており、宮古島～石垣島の狭い帯状海域で最大 0.1 m、100 年確率波高の標準偏差の 5% 以上になる。

Fig. 10 は格子間隔 10 km の波浪推算結果に基づく 100 年確率波高  $H_{100}$  の空間分布 (a) と波高差  $\Delta H_{100}$  (b) および相対波高差比  $\Delta \tilde{H}_{100}$  の % 値 (c) を表す。格子間隔  $\Delta x = 40$  km の場合と比べると、14 m 域の拡大や新たな 16 m 域の出現など若干の変化がみられるが、空間分布の基本的な特性に差はない。T1102 時最大波高の  $H_{100}$  に及ぼす影響も  $\Delta x = 40$  km のケースと同様に T1102 の経路に沿って現れ、その最大値は宮古島～石垣島の狭い帯状海域で最大 1 m および 5% である。

Fig. 11 は 100 年確率波高の標準偏差  $H_{100\sigma}$  に対する結果 (10 km 格子網) を表す。40 km 格子網の結果と比べて  $H_{100\sigma} 1.5$  m 以上の海域が多少拡大しているが、両者に有意な差はほとんどない。T1102 時最大波高の影響もこれまでと同様に T1102 の経路に沿って出現し、宮古島～石垣島の狭い帯状海域において  $\Delta H_{\sigma 100}$  で最大 0.1 m、 $\Delta \tilde{H}_{100\sigma}$  で 15% を最大値とする。要するに、T1102 に伴う最大波高は宮古島～石垣島の帯状海域で 100 年確率波高およびその標準偏差に有意な影響を及ぼすことが言える。



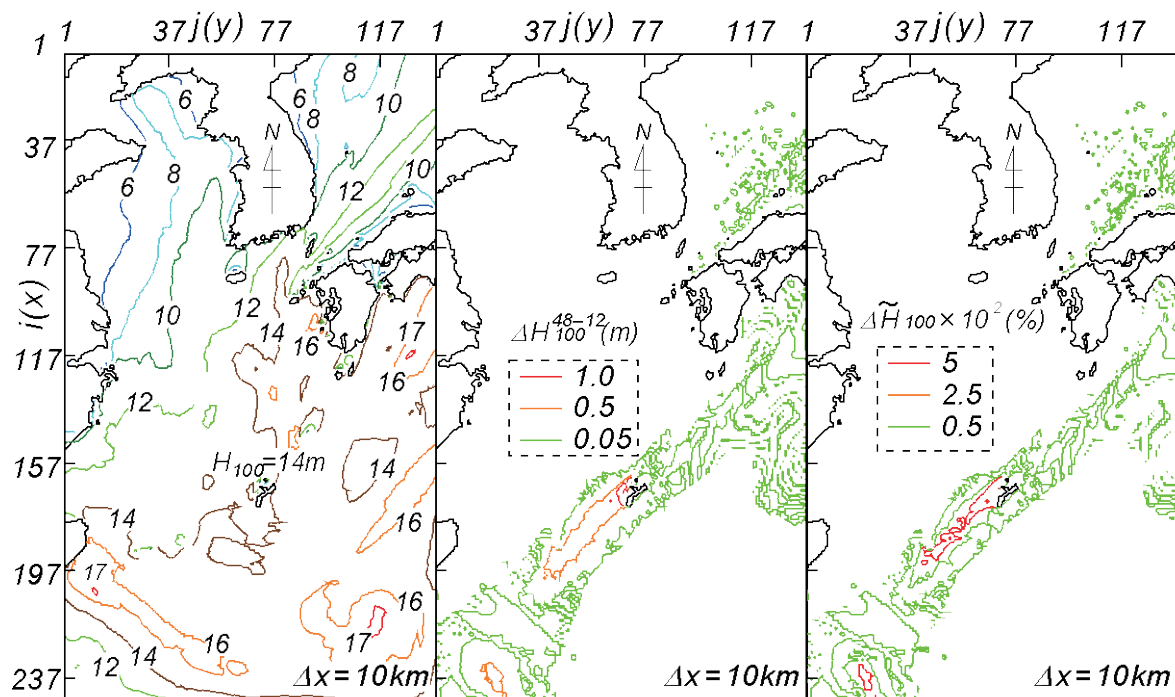


(a)  $H_{100\sigma}$

(b)  $\Delta H_{100\sigma}$

(c)  $\Delta \tilde{H}_{100\sigma}$

Fig. 9 Spatial distribution of standard deviation of 100-year return wave height  $H_{100\sigma}$  (a) and effect of T1102-generated wave height on the distribution of  $H_{100\sigma}$  expressed by either (b) difference  $\Delta H_{100\sigma}$  or (c) normalized relative difference  $\Delta \tilde{H}_{100\sigma}$  (40 km grid).

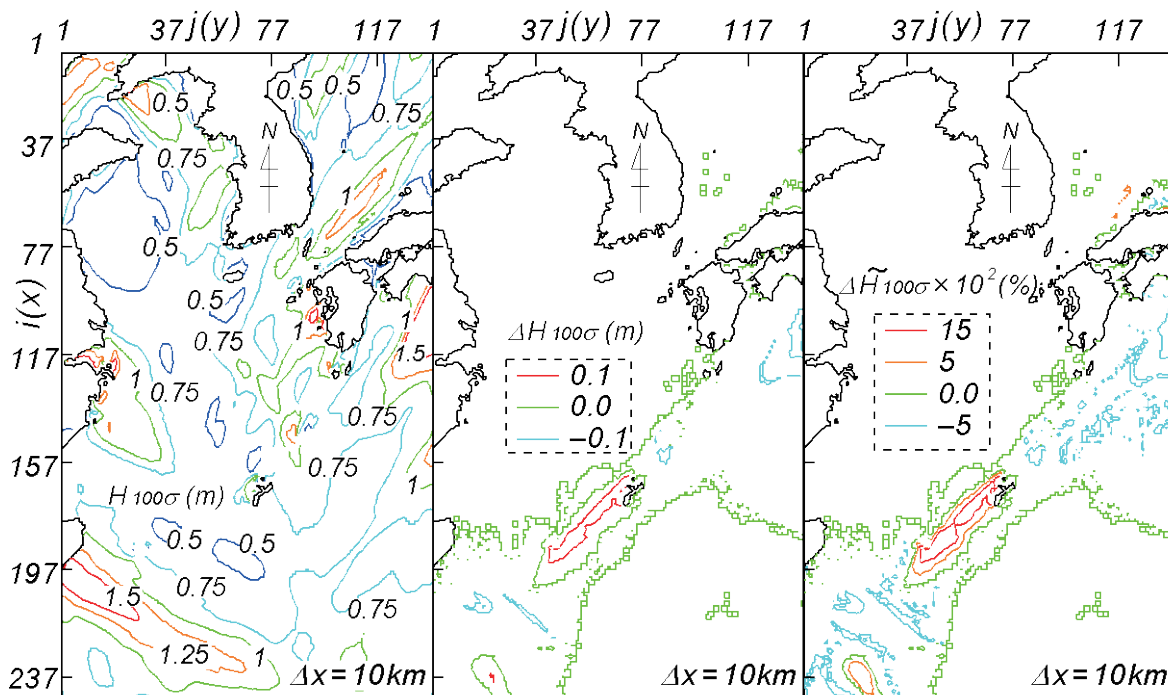


(a)  $H_{100}$

(b)  $\Delta H_{100}$

(c)  $\Delta \tilde{H}_{100}$

Fig. 10 Spatial distribution of 100-year return wave height  $H_{100}$  (a) and effect of T1102-generated wave height on the distribution of  $H_{100}$  expressed by (b) difference  $\Delta H_{100}$  and (c) normalized relative difference  $\Delta \tilde{H}_{100}$  (10 km grid).

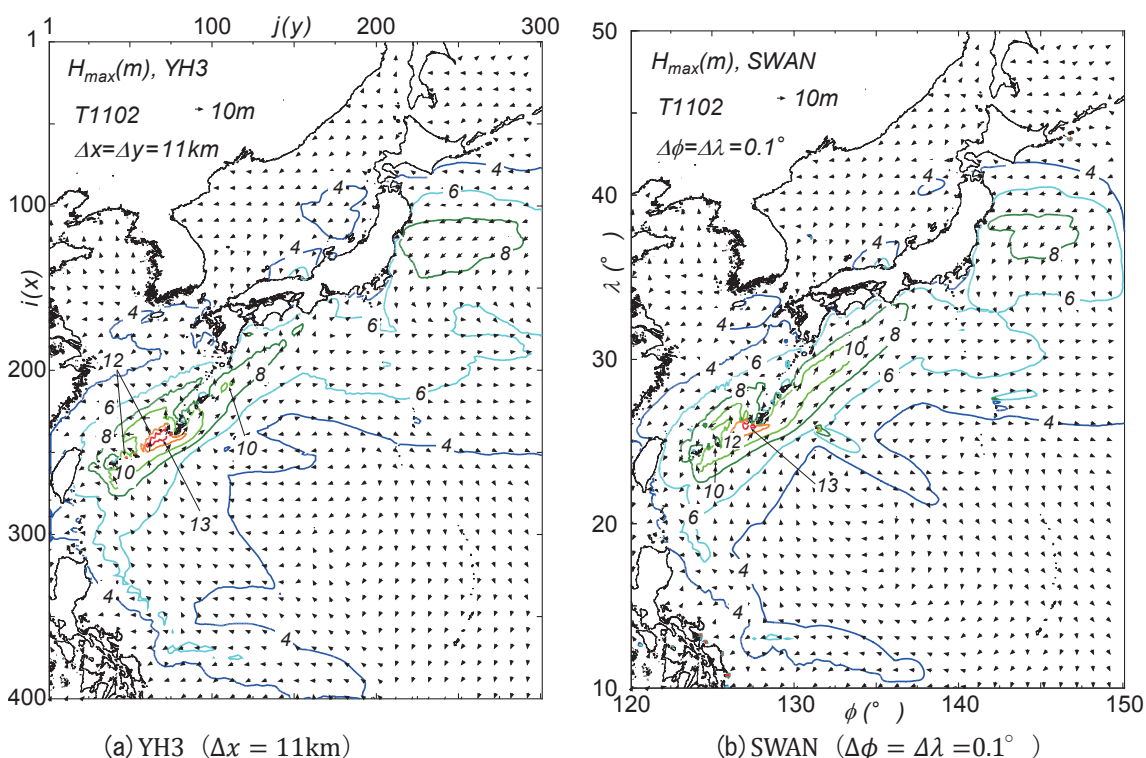


(a)  $H_{100\sigma}$

(b)  $\Delta H_{100\sigma}$

(c)  $\Delta \bar{H}_{100\sigma}$

Fig. 11 Spatial distribution of standard deviation of 100-year return wave height  $H_{100\sigma}$  (a) and effect of T1102-generated wave height on the distribution of  $H_{100\sigma}$  expressed by (b) difference  $\Delta H_{100\sigma}$  and (c) normalized relative difference  $\Delta \bar{H}_{100\sigma}$  (10 km grid).



(a) YH3 ( $\Delta x = 11\text{km}$ )

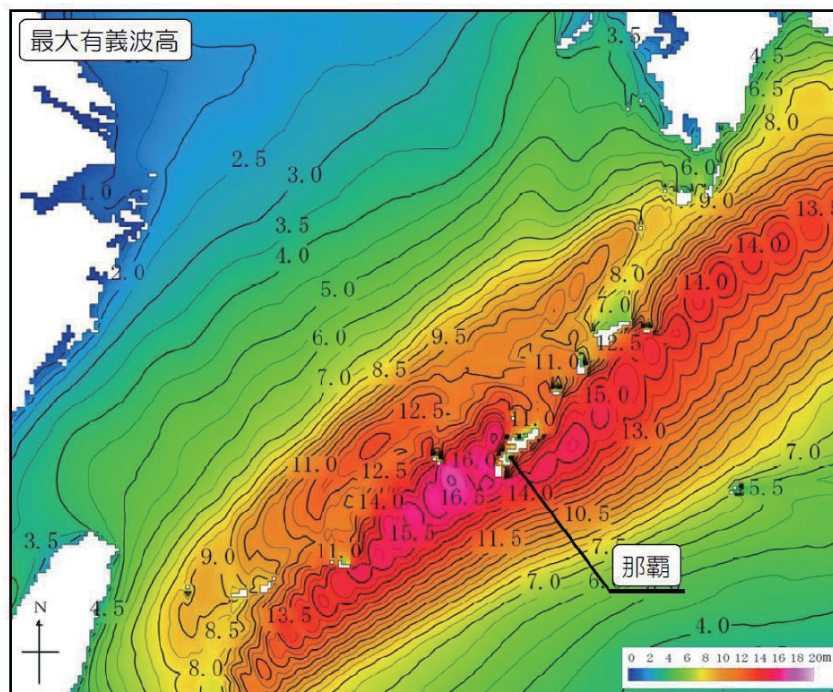
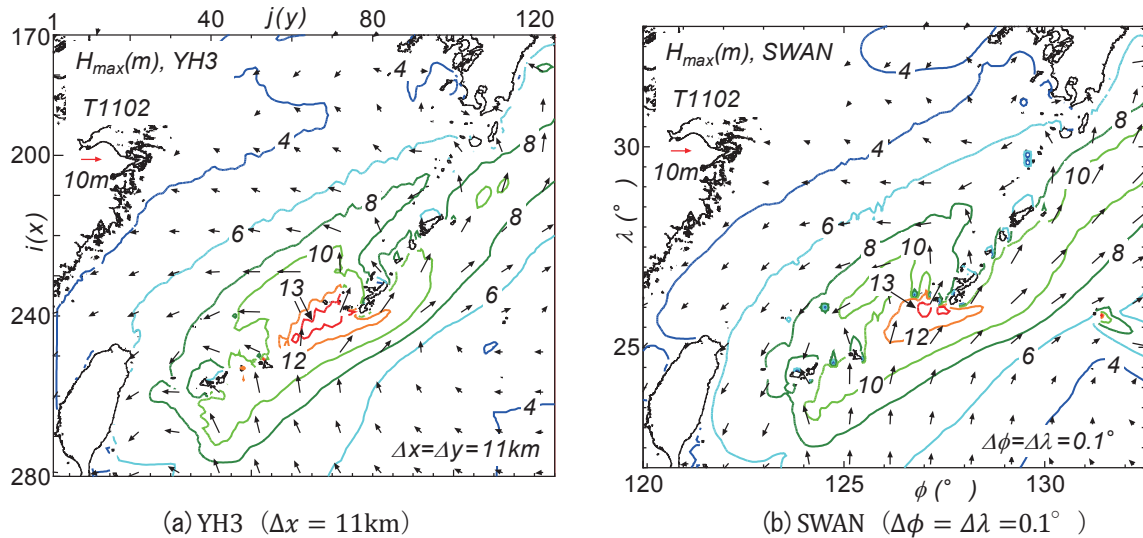
(b) SWAN ( $\Delta\phi = \Delta\lambda = 0.1^\circ$ )

Fig. 12 Spatial distribution of T1102-generated maximum wave height estimated using either YH3 model (a) or SWAN model (b) under the combination of MSM- and GSM-based winds condition.

### 3.3 気象庁海上風分布資料に基づく波浪推算

Fig. 12は気象庁MSMとGSMによる合成海上風分布を入力条件としてYH3(a図)およびSWAN(b図)を用いたT1102時の波浪推算より得た最大波高 $H_{max}$ と波向の空間分布を示す。高波高域がT1102の経路に沿って形成されており、いずれものモデルでも沖縄本島南西側海域で最大13mをとる。しかし、SWANでは8mの等波高線が西表島付近から紀伊半島に至る細い帯状の海域に、10mの等波高線が石垣島東側から四国沖の海域に伸びているのに対して、YH3では8m域が四国沖に伸びるが、10m域は鹿児島島沖で孤立して出現するとともに、より小さめの波高を与える。逆に、石垣島付近ではSWANよりやや大きい値を与え、SWANによる結果で得られていない12m域が孤立して出現している。

こうした特徴を明確にするために、九州から台湾にかけての海域で最大波高 $H_{max}$ の空間分布を示したのがFig. 13の(a)(YH3)と(b)(SWAN)であり、これらには金城ら<sup>[4]</sup>の図(c図)を付加している。(a)図



(c) Kinjo et al.(2014)

Fig. 13 Area-focused spatial distribution of T1102-generated maximum wave height by YH3 wave model (a), SWAN wave model (b) and Kinjo et al.(2014).

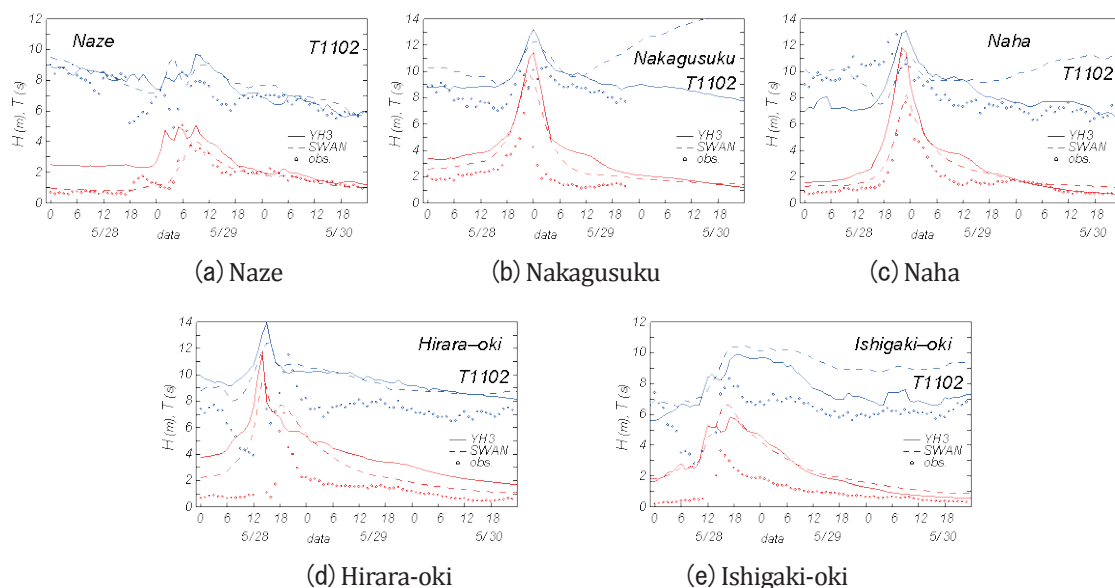


Fig. 14 Comparison between YH3- or SWAN-based hindcasts on either 11 km grid(YH3) or 0.1° grid(SWAN) and measurements for time variations of wave heights and wave periods at 5 coastal stations during T1102, in cases where the combination of MSM- and GSM-based winds condition is used.

と(b)図によれば、最大波高の空間分布に関する上述の特徴（沖縄本島南西側海域での YH3 による SWAN より広い 13 m 域の出現、YH3 の結果ではみられない SWAN における九州・四国沖への 10 m 等波高線の延伸、YH3 における宮古島～石垣島間の 12 m 域の孤立的出現など）がみられる。要するに、沖縄本島南西側海域から宮古島、石垣島周辺の海域にかけては、YH3 が SWAN よりやや大きい値を生じ、鹿児島沖にかけては逆の傾向をとる。一方、金城ら<sup>[4]</sup>の結果（図4 上図）では最大値が沖縄本島南西側海域で 16.5 m に達し、13 m 域も石垣島の南側海域から四国沖にまで延びている。最大波高の空間分布は類似するものの、T1102 の経路に沿う波高が SWAN や YH3 による結果より 3 m 以上大きい。波浪推算で用いられている海上風分布が異なるので、ある程度の相違は予想されるけれども、その差は有意な大きさを示す。しかし、现阶段では金城ら<sup>[4]</sup>による海上風・波浪推算の諸条件が不明であるので、相違の原因を追跡できない。

Fig. 14 は Fig. 5 と同様に 5 沿岸波浪観測地点における波高・周期時系列に対する YH3 と SWAN による推算値と観測値の比較を与える。波浪推算における地形解像度 ( $\Delta x = 11 \text{ km}$ ,  $\Delta \phi = \Delta \lambda = 0.1^\circ$ ) は Fig. 5 の場合 ( $\Delta x = 5 \text{ km}$ ) より低いので、推算波高が観測波高より大きい傾向にある。一方、周期に対しては YH3、SWAN いずれの推算値も観測値にみられる長い周期の到達を再現しており、この点が最盛時付近でしか観測結果との良好な対応を与えなかった Fig. 5 の結果（台風モデル風入力で YH3 モデルを適用）とかなり異なる。YH3 と SWAN による波高・周期の推算時系列をみると、波高に対して YH3 が大きめの値を与える地点が多いが、周期に対しては比較的良好に符合する地点と減衰期に観測値と比べても過大な値を与える地点に分かれる。YH3 ではスペクトルの 2 次積率に基づく平均周期、SWAN では-1 次積率に基づく平均周期を用いて有義波周期に換算（換算係数は YH3 で 1.22, SWAN で 1.0）しているが、減衰期ではこの差が拡大するのかもしれない。いずれにしろ、沿岸部での波浪観測資料の比較を行うには波浪推算の解像度が低すぎると考えられる。

#### 4. 結 語

本研究では野中ら<sup>[1]</sup>で見落とされていた T1102 および付録で記述したごく最近の T1408 や追加的に試み

た T1216 (いずれも気象庁 MSM・GSM 合成風入力) に伴う最大波高が東シナ海における波高極値に及ぼす影響を検討し、つぎの結果を得た。

1) 台風モデル風を入力条件とする YH3 モデルによる波浪推算では、T1102 時に石垣島東側の海域から沖縄本島南西側海域にかけて 14 m 波高域が形成され、格子間隔 10 km や 5 km の高地形解像度計算では宮古島南側海域でごく局所的に 15 m 域もみられる。

2) 気象庁による海上風分布を入力条件とする SWAN や YH3 の各モデルによる波浪推算では波高 13 m の最大域が沖縄本島南西側海域に出現する。その場所は 1) の場合に比べてやや東側に位置し、波高が 1 m 以上小さい。これは台風モデルおよび気象庁モデルにおける海上風分布の相違によるものと推測されるので、その検討が必要である。また、金城ら<sup>4)</sup>の結果では最大波高は 16.5 m に達するが、その出現場所は気象庁海上風分布資料による場合に近い。SWAN や YH3 による最大波高の空間分布は類似するが、奄美大島から四国沖で SWAN がやや大きい波高を与える。

3) 沿岸波浪観測地点における推算波高と周期 (台風モデル風入力, 格子間隔 $\Delta x = 5$  km での YH3 モデル) は、外洋の波浪が入射する方向範囲が広い名瀬や中城では観測値と比較的よく対応するが、中城では推算値の時間変化の幅が観測値のそれより広い傾向を示す。一方、入射方向範囲が狭い地点では推算値と観測値の対応は低下するが、推算値の過大・過小評価の程度は各観測地点の地理的状况によって変わる。推算値と観測値の対応を改善させるためには、地形解像度の向上や海上風分布資料の高精度化のほか、入力方向範囲の限定など的人為的操作が必要と推測される。また、気象庁による海上風分布を入力条件とした波浪推算では地形解像度が低すぎたため (格子間隔 11 km または 0.1°), 沿岸部の波浪観測資料との適切な比較条件が整わず、一貫性のある検証結果が得られなかった。

4) T1102 時最大波高は宮古島から石垣島に至る狭い帯状の海域で期間最大波高を最大で 1.5 m, 100 年確率波高を 0.5~1 m 増大させることから、波高の極値の推定結果に有意な影響をもたらす。

5) T1408 時最大波高も局所的に既往最大波高の更新をもたらすことから、今後のさらなる検討が望ましい。

## 参 考 文 献

- [1] 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・日野幹雄 : 東シナ海における波高の極値の再評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, I\_101-I\_105, 2013.
- [2] 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.
- [3] Booij, N., Ris, R.C. and L.H. Holthuijsen : A third-generation wave model for coastal regions, 1. Model description and validation, Jour. Geophys. Res., 104(C4), pp.7649-7666, 1999.
- [4] 金城 賢・古川哲己・芝木秀之・鈴山勝之 : 沖縄諸島および先島諸島における高精度波浪推算手法に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, pp.I\_181-I\_186, 2014.
- [5] 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.
- [6] Ross, D.B. : A simplified model for forecasting hurricane generated waves, Bull. American Meteorol. Soc., No.113, 1976.
- [7] 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.
- [8] Zijlema, M., van Vledder, G.Ph. and L.H. Holthuijsen : Bottom friction and wind drag for wave models, Coastal Eng., 65, pp.19-26, 2012.
- [9] Van der Westhuysen, A.J., Zijlema, M. and J.A. Battjes : Nonlinear saturation-based whitecapping dissipation in SWAN for deep and shallow water, Coastal Eng., 54, pp.151-170, 2007.

## 付 録 A : T1408 時の最大波高の空間分布

### 1. 台風の概況

ここでは 2014 年の 7 月に沖縄地方を N 方向に縦断したのち九州南部から四国沖に東進した T1408 時の波浪推算結果をみる。Fig. 1 に経路の概略を示したように、T1408 は 2014 年 7 月 4 日 9 時にマリアナ諸島付近で発生、NW 方向に進行して 4 日 21 時に中心気圧 975 hPa、7 日 3 時にフィリピンの東で中心気圧 930 hPa にまで発達した。その後も強い勢力を維持したまま 8 日 9 時に宮古島の東北東 80 km を N 方向に、9 日 0 時には中心気圧 950 hPa と勢力をやや弱めたのち、北緯 32°付近で進路を E 方向に転じ、鹿児島県南部に上陸後、四国沖を進行した。T1408 は非常な強風を伴い、那覇で最大風速 33.1 m/s が観測された。気象庁波浪情報によれば、この暴風に伴い沖縄本島南西側の海域で波高は 14 m に達するとされた。T1102 時には沖縄本島付近で最大 11 m 強と解析されているから、T1408 に伴う最大波高の規模は T1102 時より大きいと推測される。なお、沿岸の波浪観測記録は最盛時で欠測になるとともに、不安定な値をとるため、最盛時付近では必ずしも信頼性のある結果と言えない。

### 2. 台風モデル風に基づく波浪推算

Fig. A1 は台風モデル風による海上風分布を入力条件とした場合の YH3 による最大波高  $H_{max}$  の空間分布を (a)  $\Delta x = 40$  km, (b)  $\Delta x = 10$  km, (c)  $\Delta x = 5$  km の各格子網での計算結果に基づいて与える。最大波高は (a) 図で 13 m (細かくは 13.83 m), (b) 図でも 13 m (同 13.63 m), (c) 図でも 13 m (同 13.45 m) であり、解像度の低い (a) 図の場合にむしろやや大きいが、空間分布の特徴はかなり類似する。すなわち、最大域は台風勢力が最強を示した宮古島と沖縄本島の間から南側の太平洋側で生じる。これは、後述するように、最大風速が太平洋側の最大 32 m/s から東シナ海での台風勢力の減衰に対応して 28 m/s 以下になる台風モデル風の特徴を反映した結果である。

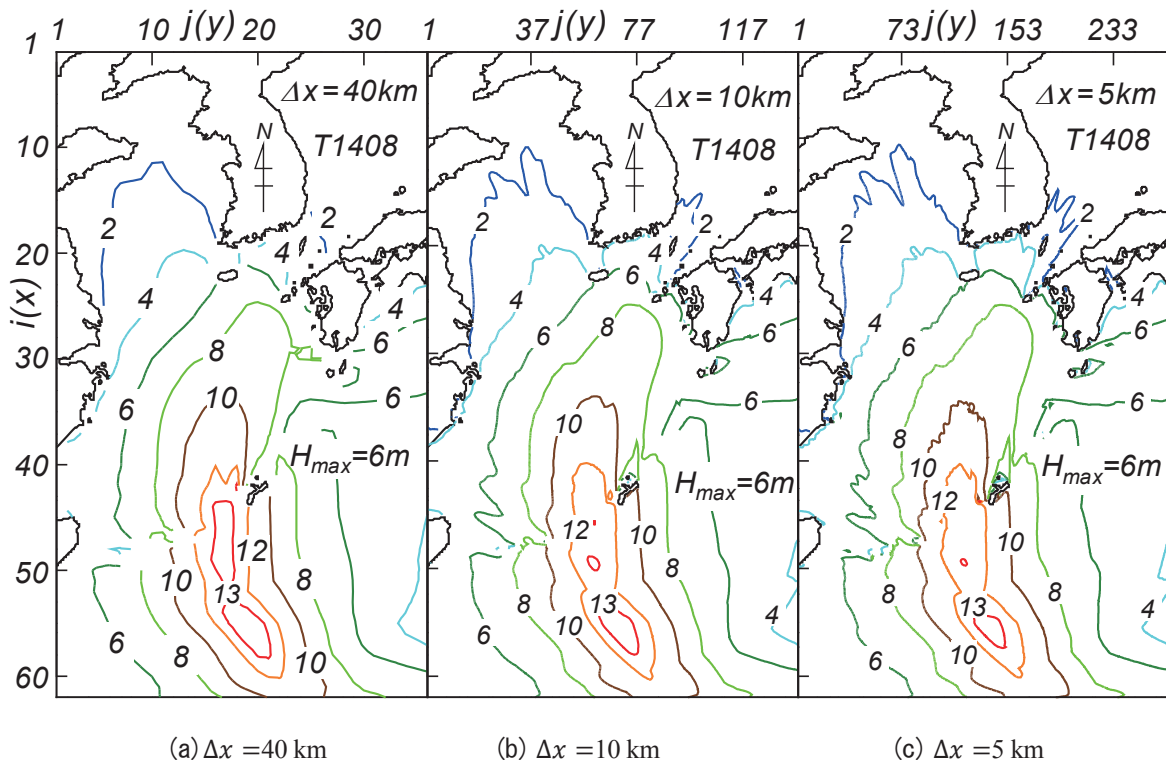


Fig. A1 Spatial distribution of T1408-generated maximum wave height on hindcasting area with grid distance of any of (a) 40 km, (b) 10 km and (c) 5 km.

ついで、Fig. A2 は本文の Fig. 6 ( $\Delta x = 40$  km) および Fig. 7 ( $\Delta x = 10$  km) に与えた 1948~2012 年の T1102 時最大波高を含む台風時最大波高の空間分布と同様に、T1408 時の最大波高を考慮して得た 1948~2014 年 (67 年間) の (a) 台風時最大波高  $H_{max}^{48-14}$ , (b) T1408 時最大波高の寄与分  $\Delta H_{max}^{48-14} (= H_{max}^{48-14} - H_{max}^{48-12})$ , (c)  $H_{max}^{48-12}$  に対する相対比率  $\Delta \tilde{H}_{max}^{48-14} (= \Delta H_{max}^{48-14} / H_{max}^{48-12})$  の % 値の空間分布を  $\Delta x = 40$  km の場合に示す。1948~2014 年の台風時最大波高  $H_{max}^{48-14}$  には 2013 年の台風時最大波高の影響が含まれていないが、気象庁波浪解析値資料によれば、東シナ海に異常波浪を生起した可能性のある T1324 時においても最大波高は 10 m を越えないことから、 $H_{max}^{48-14}$  に寄与しないと考えられる。同様に、Fig. A3 は  $\Delta x = 10$  km の場合の結果を示す。Fig. A2 の場合 ( $\Delta x = 40$  km) でごく局所的にせいぜい 0.2 m, 2% の増加を、Fig. A3 の場合 ( $\Delta x = 10$  km) で 0.6 m, 4% の増加を生じるにすぎない。

Fig. A4 は沖縄周辺の 5 沿岸波浪観測地点において波高・周期の時系列に対する推算値と観測値の比較を示す。巨大台風の通過に伴い外洋部では 10 m をはるかに越える波高が計算されているにもかかわらず、沿岸部では最大波高は 8 m を越える中域を除いて 5 m 以下を与える。両者の時系列特性は定性的に符合し、定量的にもある程度対応するが、時系列に対する一致度は必ずしも十分でない。

### 3. 気象庁海上風資料に基づく波浪推算

Fig. A5 は気象庁による MSM と GSM の合成に基づく海上風分布を入力条件とした場合の YH3 ( $\Delta x = 11$  km) および SWAN ( $\Delta \phi = \Delta \lambda = 0.1^\circ$ ) による T1408 時最大波高の空間分布をそれぞれ (a) 図 (YH3) と (b) 図 (SWAN) に示す。入力条件や波浪推算条件は T1102 に対するものと同じである。両図における波高の空間分布はかなり類似している。波高の最大値はいずれも沖縄本島とその南西海域で 16 m をとり、14 m 域も東シナ海においても広くみられることから、これらの海域でかなりの異常波高の生起をうかがわせる。つまり、YH3 と SWAN は同一の風条件に対して類似した波高分布を与える。

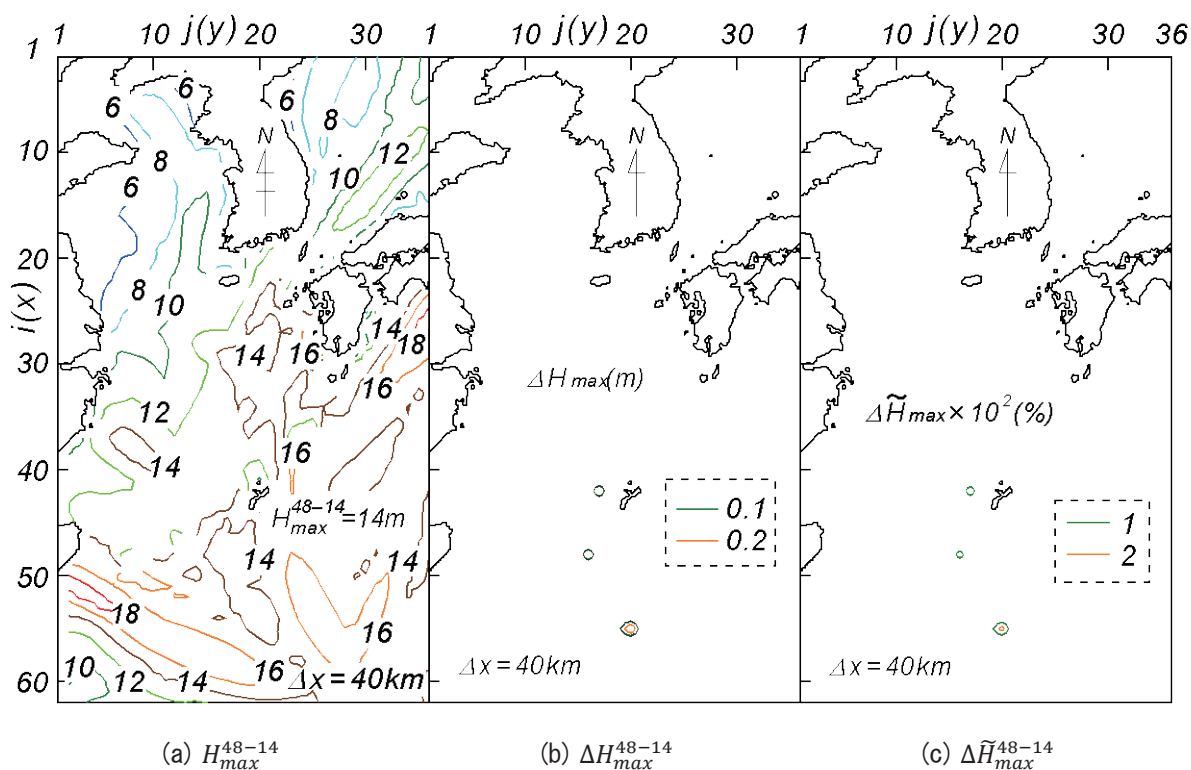
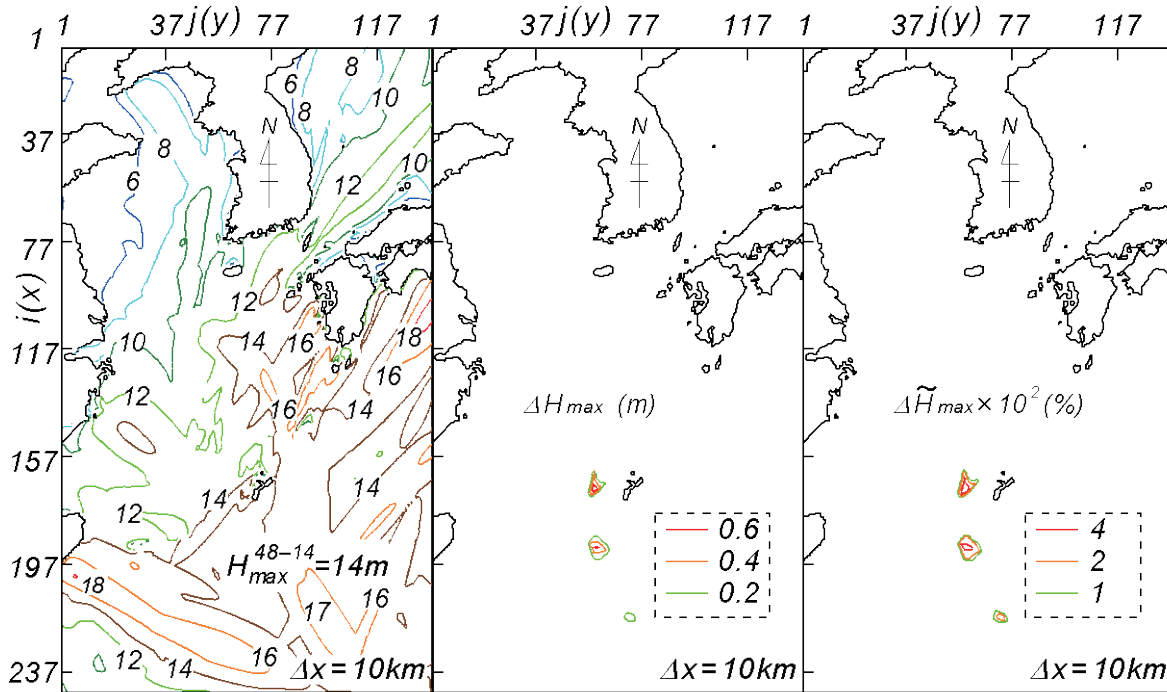


Fig. A2 Spatial distribution of maximum wave height  $H_{max}^{48-14}$  over 67 years from 1948 to 2014 (a) and effect of T1408-generated wave height on the distribution expressed by either (b) difference  $\Delta H_{max}^{48-14}$  or (c) normalized relative difference  $\Delta \tilde{H}_{max}^{48-14}$  (40 km grid).

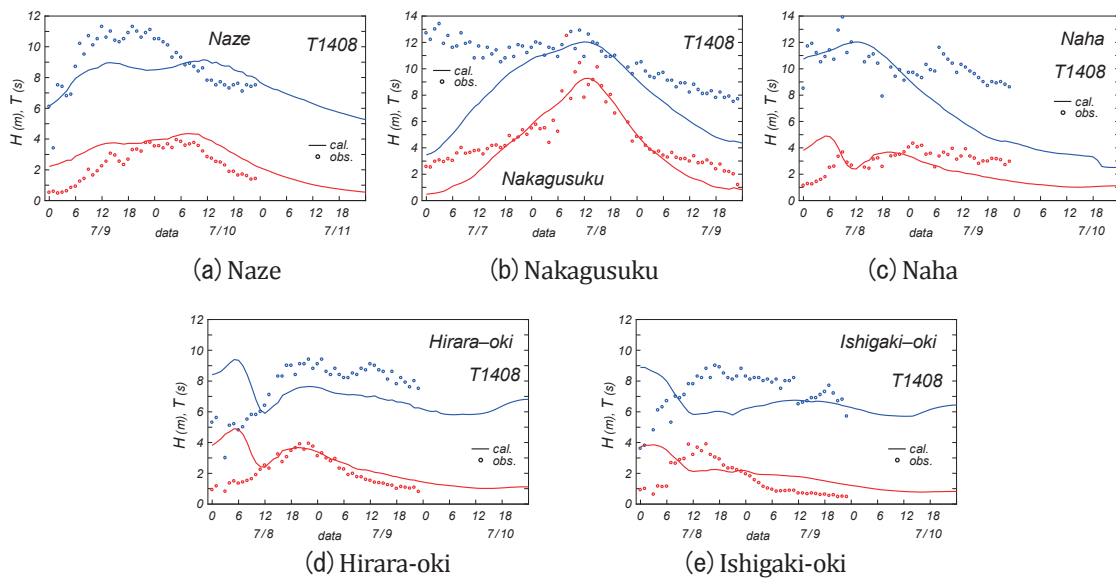


(a)  $H_{max}^{48-14}$

(b)  $\Delta H_{max}^{48-14}$

(c)  $\Delta \tilde{H}_{max}^{48-14}$

Fig. A3 Spatial distribution of maximum wave height  $H_{max}^{48-14}$  over 67 years from 1948 to 2014 (a) and effect of T1408-generated wave height on the distribution expressed by either (b) difference  $\Delta H_{max}^{48-14}$  or (c) normalized relative difference  $\Delta \tilde{H}_{max}^{48-14}$  (10 km grid).



(a) Naze

(b) Nakagusuku

(c) Naha

(d) Hirara-oki

(e) Ishigaki-oki

Fig. A4 Comparison between YH3 model-based hindcasts on 5 km grid and measurements for time variations of wave heights and wave periods at 5 coastal stations during T1408.



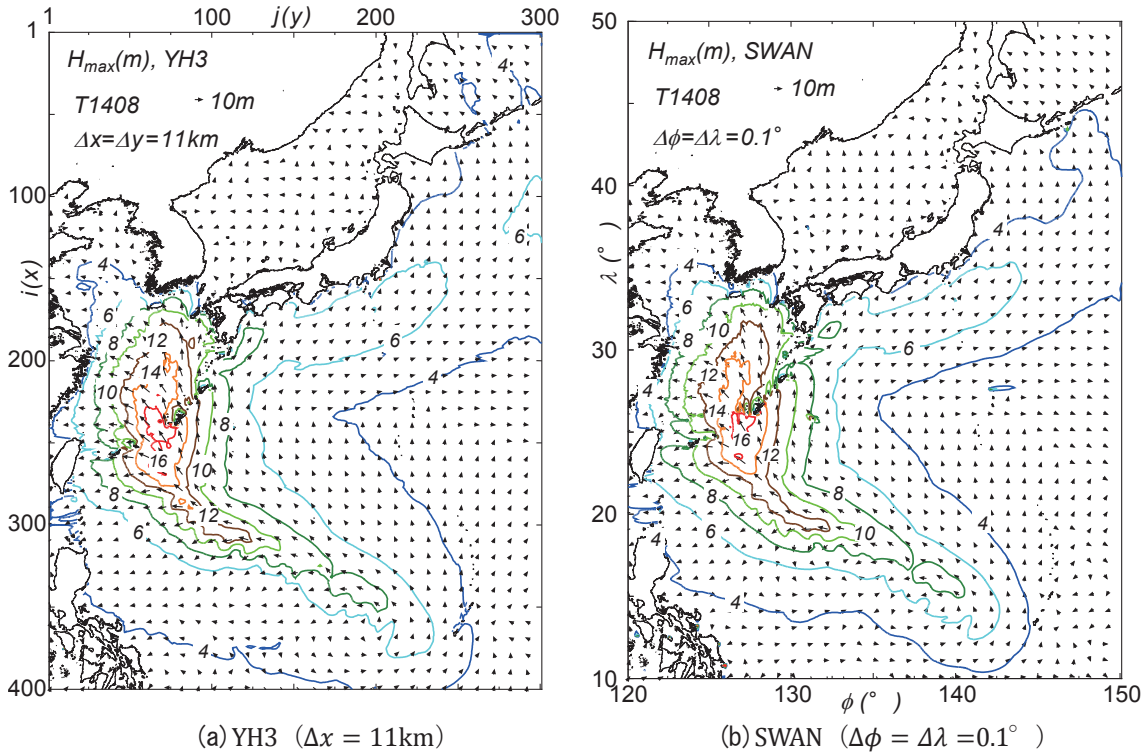


Fig. A5 Spatial distribution of T1408-generated maximum wave height estimated using either YH3 model (a) or SWAN model (b) under the combination of MSM- and GSM-based winds condition.

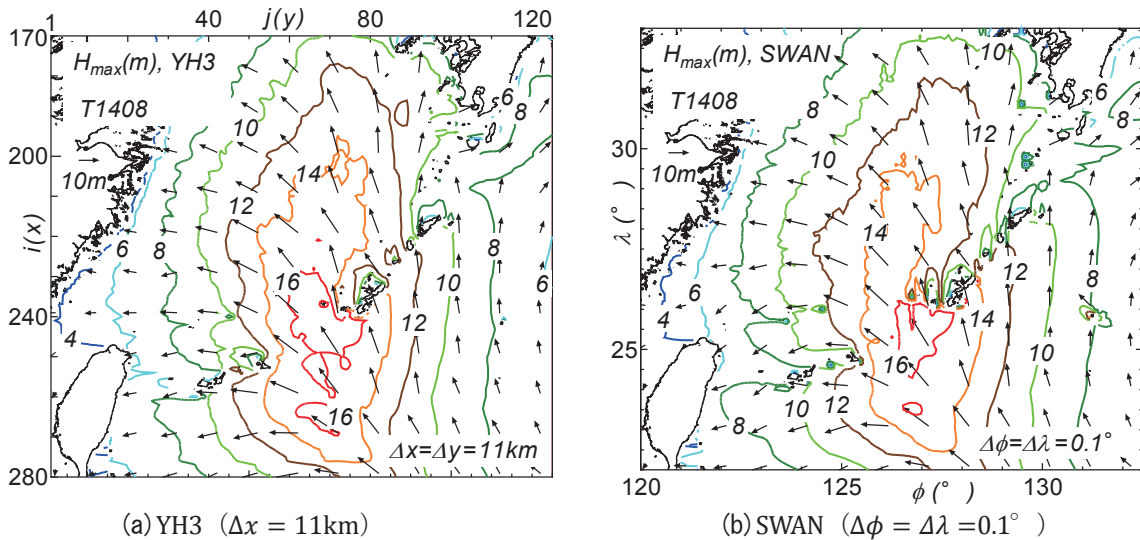


Fig. A6 Area-focused spatial distribution of T1408-generated maximum wave height by either YH3 model (a) or SWAN model (b).

Fig. A6 は南西諸島海域における Fig. A5 (a) 図 (YH3) と (b) 図 (SWAN) のクローズアップ図であり、この海域での最大波高の分布状況がよくわかる。すなわち、いずれの図でも 16 m 波高域が沖縄本島南部の周辺海域から南側の太平洋に延び、北側の東シナ海側にも広がる。14 m 域は太平洋側と東シナ海側に同程度の広さで延びている。これは後述する Fig. A9 に示す T1408 時最大風速  $U_{max}$  の空間分布において  $U_{10} = 32 \sim 36$  m/s の領域に対応する。両モデルの間では (a) 図の YH3 が (b) 図の SWAN よりやや大きい値を与える。

Fig. A7 は 5 沿岸波浪観測地点における波高・周期時系列に対する推算値 (YH3, SWAN) と観測値の比較を示す。これによると、中城における高波高の出現や他の 4 地点における 5 m 以下の波高の出現と波高・周期の時間変化に対して両推算値とも観測値と比較的よく符合しているようにみえるが、地形解像度 ( $\Delta x = 11 \text{ km}$ ;  $0.1^\circ$ ) の制約によって両者の隔たりがみられる点も否めない。

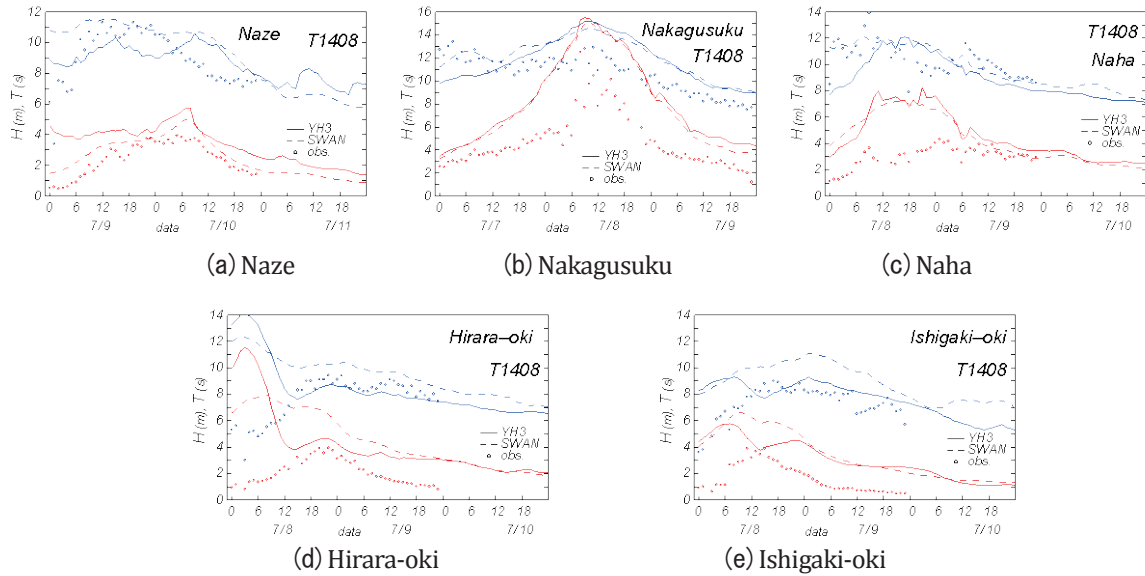


Figure A7 Comparison between YH3- or SWAN-based hindcasts on either 11 km grid (YH3) or  $0.1^\circ$  grid (SWAN) and measurements for time variations of wave heights and wave periods at 5 coastal stations during T1408, in cases where the combination of MSM- and GSM-based winds condition is used.

#### 4. 台風モデル風および気象庁海上風資料に基づく波浪推算結果の比較

Fig. A8 は台風モデル風および気象庁 MSM-GSM の各資料に基づく T1408 時最大風速  $U_{max}$  の空間分布を示す。(a) 図の台風モデル風によれば、台風経路 (右側) に沿って強風域が形成されており、沖縄本島南西側から南側の太平洋で  $28 \text{ m/s}$  域が帯状に形成され、南端近くに  $32 \text{ m/s}$  域も局所的にみられる。一方、(b) 図の MSM-GSM 図では同様の海域でしかもより広い範囲に  $32 \text{ m/s}$  域が延び、 $36 \text{ m/s}$  域も広範に分布し、南側ではごく局所的に  $40 \text{ m/s}$  も出現する。要するに、MSM-GSM 風の風速は台風モデル風のそれより 25~30% 大きいことから、この差が最大波高  $14 \text{ m}$  弱の台風モデル風による最大波高分布図 (Fig. A1) と最大波高  $16 \text{ m}$  強の MSM-GSM 風による最大波高分布図 (Fig. A5) に現れている。なお、(b) 図において台湾南部の東西方向の線より北側と南側で不連続的变化がみられるが、これは MSM と GSM における時空間解像度の相違により生じた結果であり、当然のことながら南側領域の GSM による風速が小さい。この図は最大風速  $U_{max}$  を表しているため、両者の差が際立つことになる。

Fig. A9 は風速・風向の時系列に対する比較を沖縄本島周辺の 5 アメダス観測地点で示す。観測地点は (a) 名瀬 (奄美大島)、(b) 糸数 (中城)、(c) 安次嶺 (那覇空港) と那覇、(d) 鏡原 (平良沖)、(e) 盛山 (石垣沖) であり、各波浪観測地点に相当する位置としている。観測風速は風向・風速計の設置高度を考慮して  $1/7$  乗則により  $10 \text{ m}$  高度風速  $U_{10}$  に換算した。推算値は台風モデル風と MSM 風による。これによると、MSM 風は台風モデル風より大きい風速を与えるが、いずれも観測値と類似した時間変化を表すものの、観測値との定量的な対応は不十分である。風向については両モデルとも観測値に近い時間変化を与えており、とく

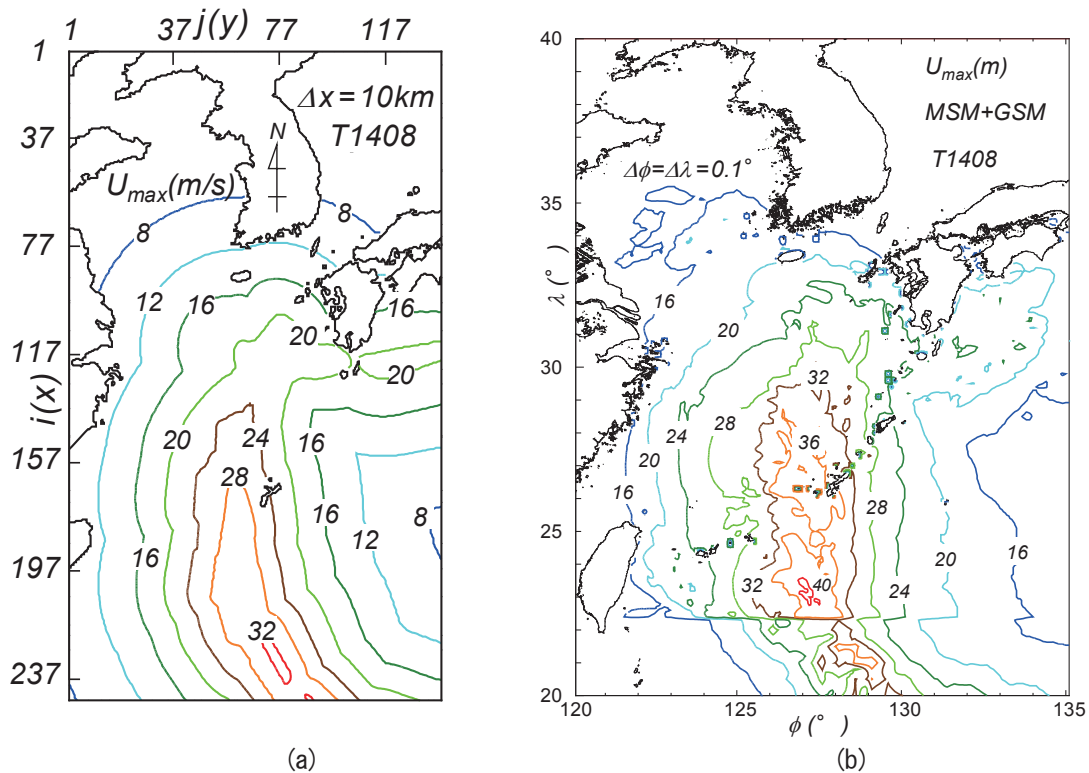


Figure A8 Spatial distribution of maximum wind speed during T1408 based on (a) typhoon model winds and (b) MSM-GSM-combined winds.

に MSM 風はいずれの地点の観測値とも定量的によく符合する。そもそも、アメダス地点の観測風は陸地地形の影響を受けた陸上風であり、MSM 風においても含まれない小地形や建物の影響を受けている可能性が高いことから、各モデル風との比較資料としては最適のものではないのはやむを得ない。

Fig. A10 は台風モデル風を入力条件とする YH3 に基づく波高の空間分布 (a)、MSM+GSM 風を入力条件とする YH3 に基づく波高の空間分布 (b)、MSM+GSM 風を入力条件とする SWAN に基づく波高の空間分布 (c) を 2014 年 7 月 7 日 21 時、8 日 12 時、9 日 0 時について与える。いずれの図でも台風の進行に伴い最大波高域が南側海域から東シナ海に向けて NE 方向に移動するが、台風モデル風の風速は MSM+GSM 風の風速より低いことから、台風モデル風を入力条件とする波高は相対的に低くなっている。一方、MSM+GSM 風では台風中心が東シナ海に進行してもその風速があまり減少しないため、14 m を越える波高域が 12 時間以上にわたり維持されている。台風の勢力そのものは台風が東シナ海に進行したのちにはやや減衰しつつあり、したがって台風モデル風では風速の減少を生じた結果、波高も小さくなりつつあるが、MSM 風の場合には風速の減少をそれほど示さないため、高波高がかなり長い時間維持されたと考えられる。ここで用いた MSM 風は 3 時間ごとの解析値と 1 時間ごとの予報値を合成して作成しているが、3 時間ごとの解析値のみを線形補間して使用した場合にもほぼ同様の波高分布の変化状況が得られることから、予報値の利用は波高分布の推算結果に影響しないと言える。要するに、台風モデル風と MSM 風の風速の違いに加えて、MSM 風による強風の持続期間が台風モデル風のそれより長い特性が東シナ海における波高分布の相違に現れている。

Fig. A11 は台風モデル風において海上風への変換係数  $\alpha$  を 0.6 から 0.7 および 0.75 に増した場合の YH3 による最大波高の空間分布 (a)、(b) および MSM+GSM 風を入力条件として SWAN における発達・減衰項を (c) Komen の式<sup>2)</sup>でかつ 2 次式による海面抵抗係数  $C_d$  式<sup>3)</sup>、(d) Westhuysen 式<sup>4)</sup>でかつ 2 次式による  $C_d$  式<sup>5)</sup>

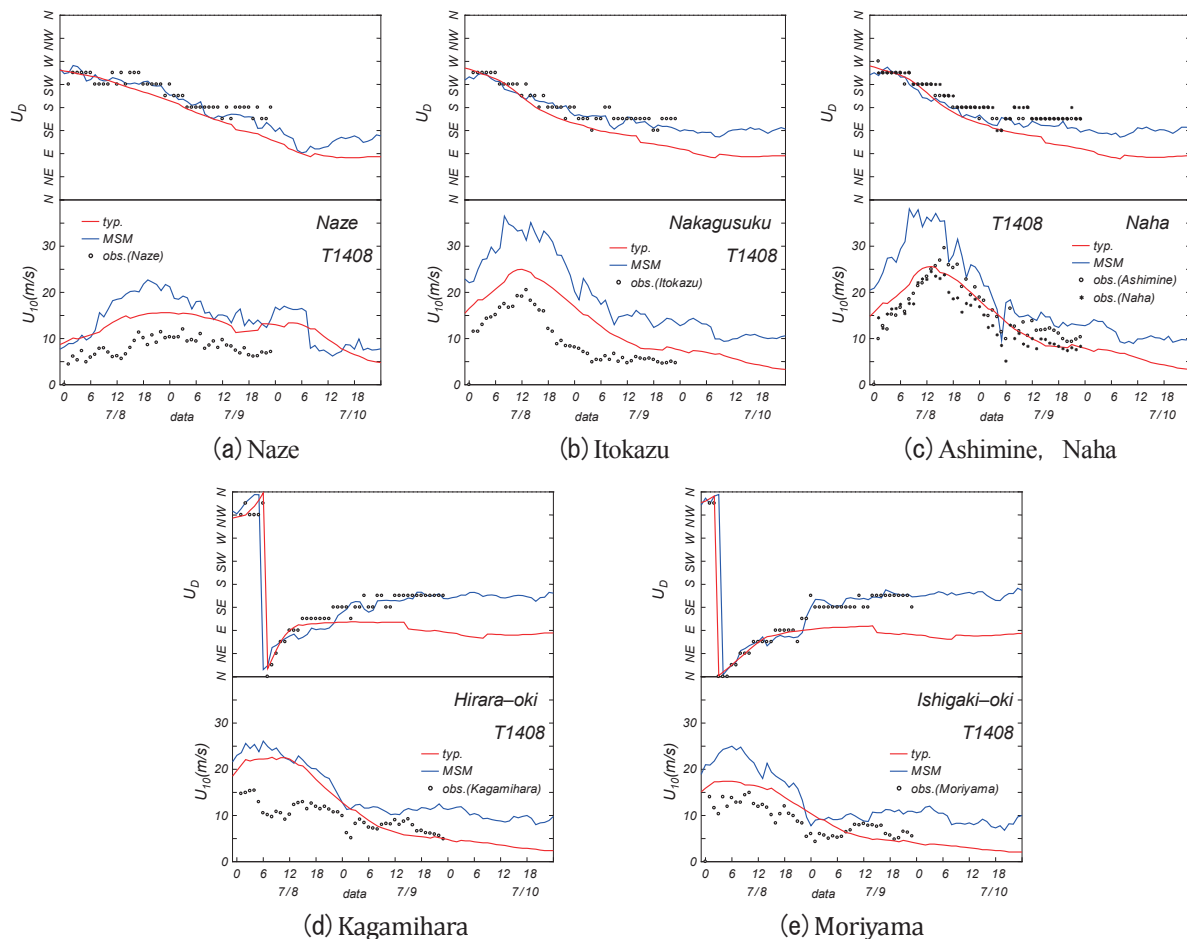


Figure A9 Comparison between typhoon model-based or MSM.GSM-based wind data and measurements for time variations of wind speed and wind direction at 5 coastal stations during T1408.

とする場合の最大波高の空間分布を与える。台風モデル風の風速を上げた図(a)と図(b)では波高の空間分布の状況はあまり変わらずに最大波高はそれぞれ最大で 2.5 m および 4 m 増大しているが、最大値の出現海域は沖縄本島南西端よりかなり南方に位置するので、これが沖縄本島南西端付近にある MSM+GSM 風入力の SWAN による結果とは様子を異にする。ついで、SWAN の結果のうち図(c)では 2 次式表示の  $C_d$  式<sup>10)</sup>の使用に伴う同一風速  $U_{10}$  に対する摩擦速度  $u_*$  の低下によって最大波高が Fig. A6 (b) より最大 0.7 m 低くなっているが、空間分布の状況は変わらない。図(d)では、発達・減衰項に対する Westhuysen 式<sup>10)</sup>の使用により、最大波高は図(c)よりさらに低い値となっている。ただし、空間分布の状況はそれほど変わらない。この結果、図(d)に示す 2 次式表示の  $C_d$  式<sup>10)</sup>使用の Westhuysen 式<sup>10)</sup>を用いた SWAN を適用して得られた最大波高の空間分布は、換算係数 0.6 の台風モデル風を用いた YH3 に基づく最大波高の空間分布 (Fig. A1) に多少近づくが、前述のように最大値の発生海域が異なる。いずれにしても、風および波浪に関して外洋部における観測資料が皆無であるので、いずれの結果がより適切な推定値かは明らかでない。

現在 Internet を通じて入手可能な海上風分布資料には、本研究で用いている気象庁 MSM・GSM 風資料のほか、①NOAA の National Climate Data Center による Blended winds product (空間解像度  $0.25^\circ$  , 6 時間間隔), ②ECMWF による表面風解析資料(空間解像度  $0.75^\circ$  , 6 時間間隔), ③NCEP による GFS (Global Forecast System) 中の解析風資料 (空間解像度  $0.5^\circ$  , 6 時間間隔) などがある。このうち①の Blended winds product は複数の衛星観測値を合成して相対的に高い地形解像度 ( $0.25^\circ$ ) で得られているが、軌道が限定されるため、欠損が存在し、波浪推算にすぐには使用できない。そこで、ここでは②の ECMWF 風資料と③の NCEP

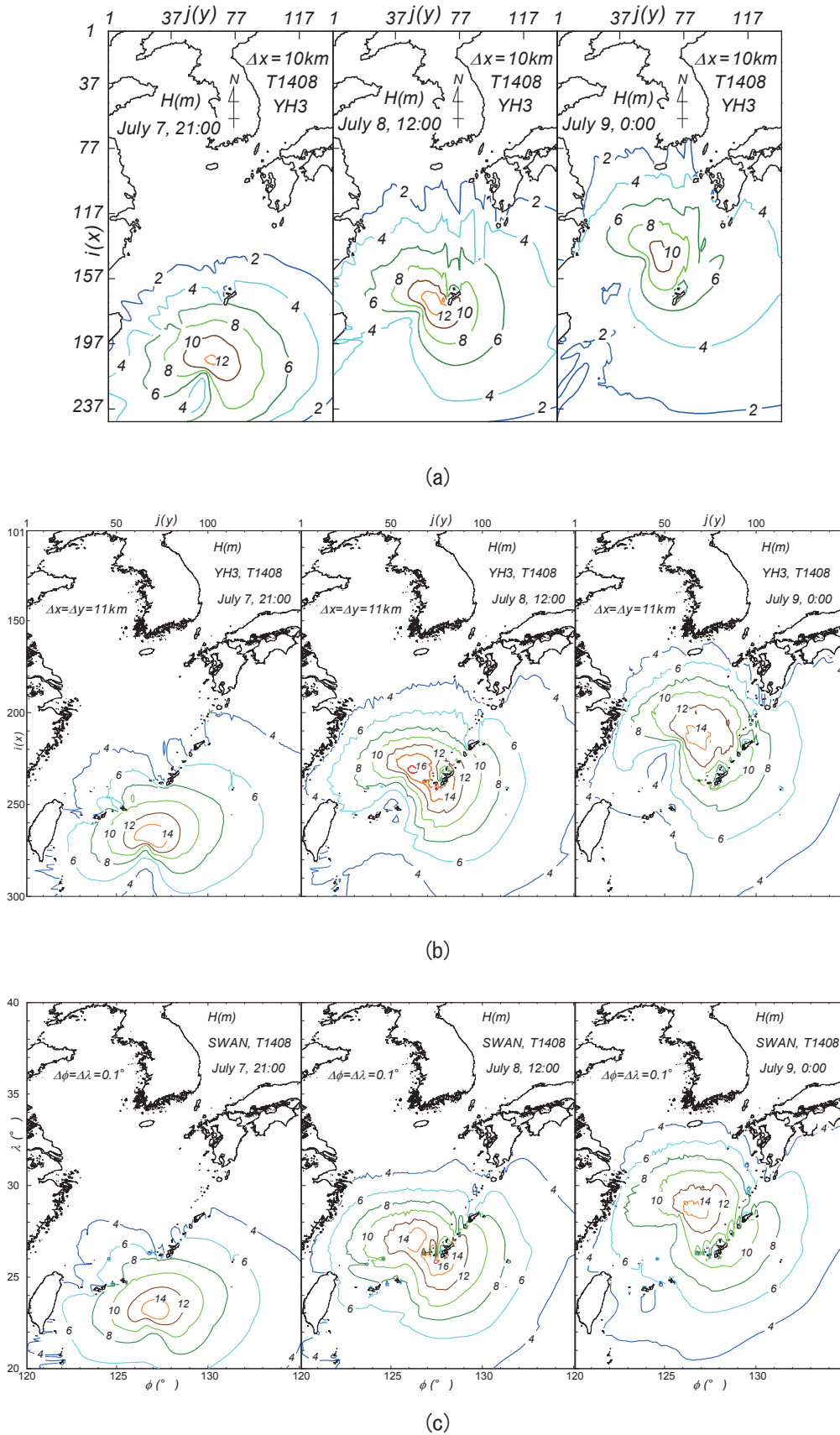
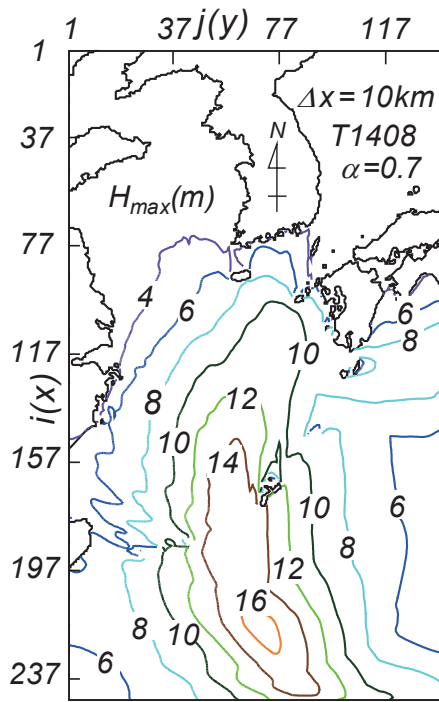
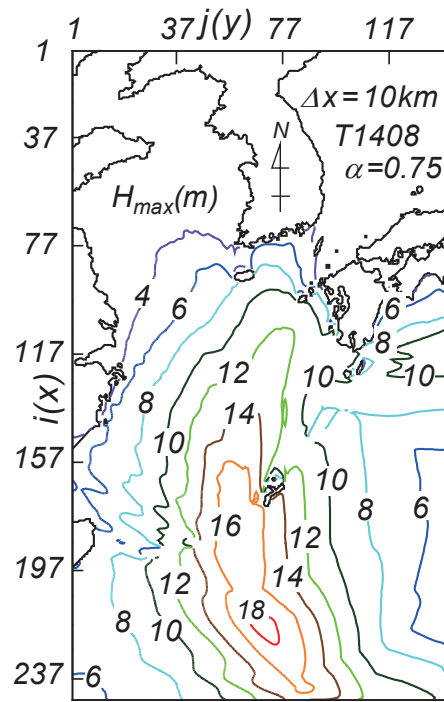


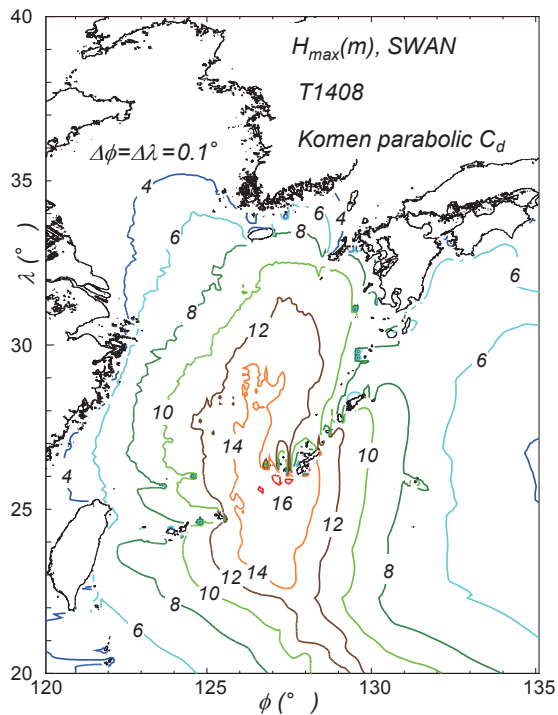
Figure A10 Time-space variations of T1408-generated wave heights estimated using any of (a) YH3 wave model under typhoon-model winds, (b) YH3 wave model with MSM-GSM-based winds and (c) SWAN with MSM-GSM-based winds at (1) July 7, 21:00, (2) July 8, 12:00 and (3) July 9, 0:00 in 2014.



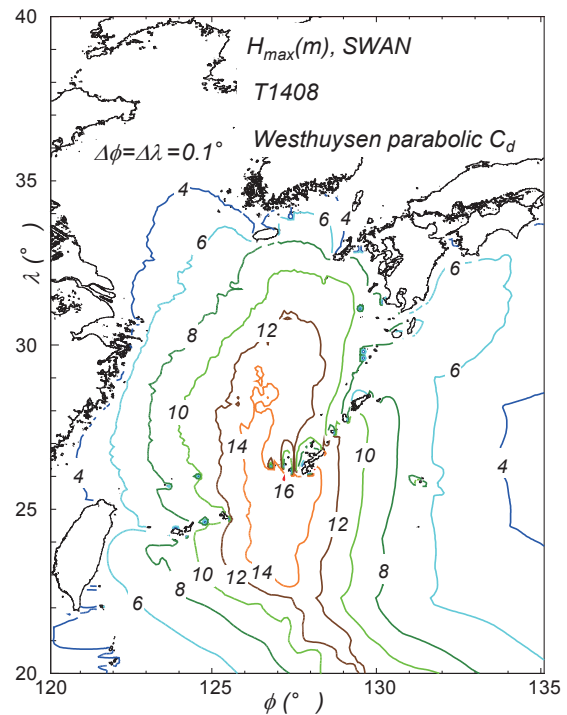
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure A11 Spatial distribution of T1408-generated maximum wave height estimated using any of (a) YH3 wave model with sea wind coefficient of 0.7 in typhoon model winds, (b) YH3 wave model with sea wind coefficient of 0.75 in typhoon model winds, (c) SWAN wave model with Komen formulation and parabolic-type  $C_d$  formula under MSM-GSM-based winds condition and (d) SWAN wave model with Westhuysen formulation and parabolic-type  $C_d$  formula under MSM-GSM-based winds condition.

風資料を試行的に用いて SWAN ( $C_d \leq 2.1 \times 10^{-3}$  とする Wu の  $C_d$  公式, Komen による発達項と減衰項の定式化) による波浪推算を行う。

Fig. A12 は ECMWF 風資料 (空間解像度  $0.75^\circ$ , 6 時間間隔) を入力条件として  $N20 \sim 50^\circ$ ,  $E120 \sim 150^\circ$  の領域 (空間解像度  $0.1^\circ$ ) で SWAN により時間間隔  $\Delta t = 5 \text{ min}$  で得た波浪推算の結果に基づく最大波高  $H_{max}$  とこれを生起した時点の風速  $U_{max}^*$  (最大風速  $U_{max}$  にほぼ相当) の空間分布を与える。この場合の風速の最大値は約  $30 \text{ m/s}$  で台湾東方海域に出現する。最大波高は  $13 \text{ m}$  以下で台湾北東海域にみられる。なお, ECMWF による波浪計算では最大波高の最大値は  $12 \text{ m}$  に達しない。東シナ海では  $10 \text{ m}$  波高域が九州西側の広範な海域に広がる。MSM・GSM 合成風の場合と比べると, それぞれの空間分布は類似するが, 最大風速の最大値は約  $10 \text{ m/s}$  小さく, 最大波高の最大値も約  $3 \text{ m}$ , 東シナ海での最大波高も約  $2 \text{ m}$  小さい。この差は当然, ECMWF 風と MSM・GSM 風の時空間解像度の相違によるところがかなり大きい。

同じく, Fig. A13 は NCEP 風を入力条件とした SWAN (計算条件は Fig. A12 と同じ) による最大波高  $H_{max}$  およびこれを生起した風速  $U_{max}^*$  (准最大風速) の空間分布を示す。風速  $U_{max}^*$  の最大値は  $40 \text{ m/s}$  を上まわり, 台湾の南東海域に出現し, 最大波高の最大値も台湾の東方海域で  $18 \text{ m}$  を上まわる。 $U_{max}^*$  は ECMWF 風は言うまでもなく MSM・GSM 合成風の場合を上まわることから, 最大波高の最大値は  $2 \text{ m}$  近く大きくなる。空間解像度  $0.5^\circ$ , 時間解像度 6 時間の NCEP 風の風速が空間解像度  $0.05^\circ$ , 時間解像度 1 時間の MSM・GSM 合成風の風速を上まわる原因は明らかでないが, 風速の大きさが最大波高に反映されている。空間解像度と可能であれば時間解像度がより高い ECMWF 風資料や NCEP 風資料を用いた検討および空間的・時間的欠損部を補填した①の Blended winds product を用いた検討が今後必要であろう。

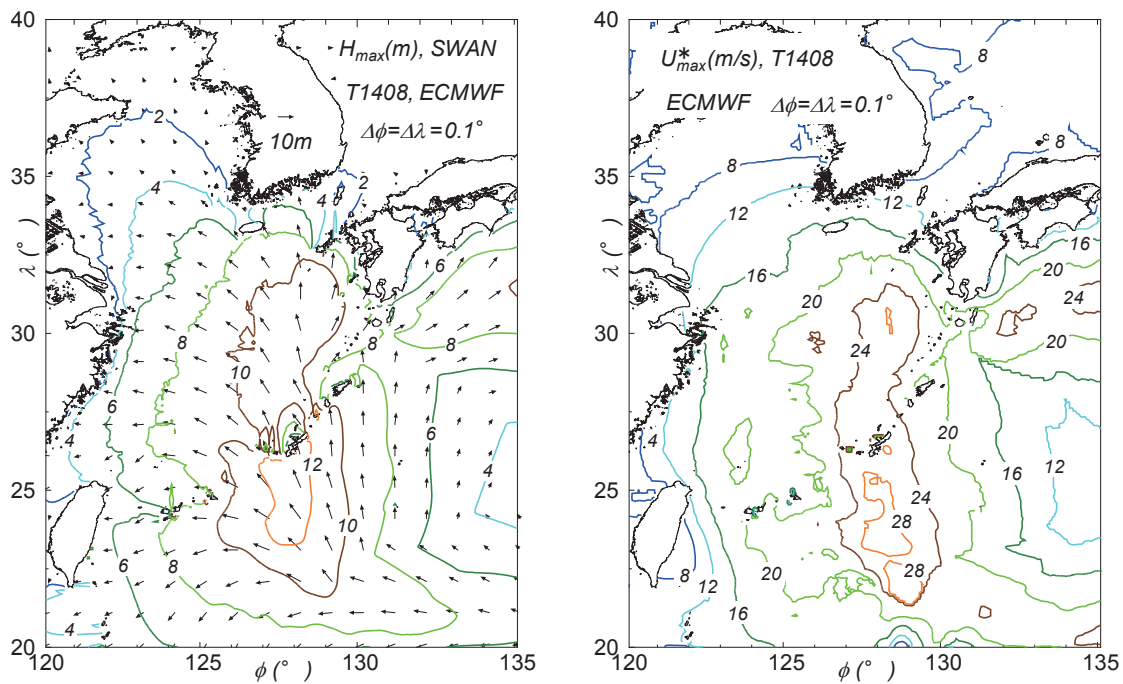


Fig. A12 Spatial distribution of T1408-generated maximum wave heights estimated using SWAN wave model associated with ECMWF winds and that of maximum wave heights-generated(quasi-maximum) winds.

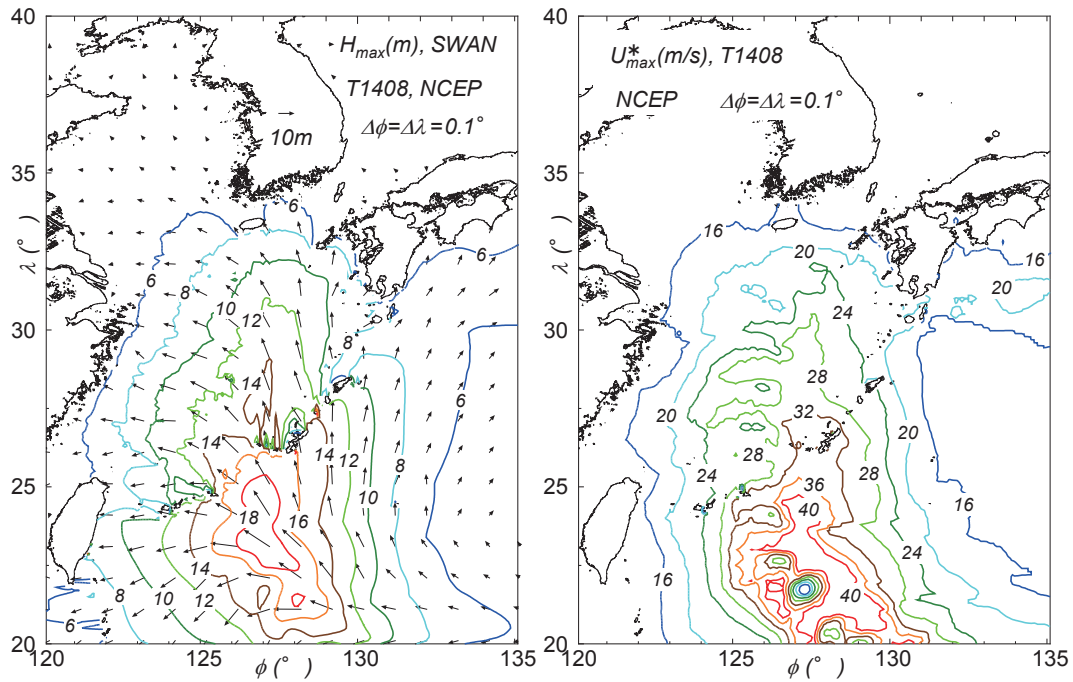


Fig. A13 Spatial distribution of T1408-generated maximum wave heights estimated using SWAN wave model associated with NCEP winds and that of maximum wave heights-generated(quasi-maximum) winds.

## 付 録 B : T1216 時の最大波高の空間分布

野中ら<sup>4)</sup>は T1216 に伴う東シナ海での最大波高は過去 67 年でみれば必ずしも最大級のものでないが、14 m にも及ぶ高波高となっていたと推定した。しかし、これは過去 67 年間の(台風時)年最大波高資料に対する極値統計解析を行うために、台風モデル風を入力条件とする山口ら<sup>4)</sup>の第 2 世代波浪推算モデル YH3 に基づく推算結果によっていた。ここでは、より詳細な検討を行うために、T1408 時と同様に気象庁 MSM 風資料と GSM 風資料から得た高地形解像度海上風分布を入力条件とする YH3 と SWAN による波浪推算を行い、T1216 時の最大波高の空間分布を調べる。海上風分布および波浪推算の内容は本文および付録 A で述べたものと同じであるが、台風時波高の空間分布の細部をみるために、空間解像度 0.05°および 0.5'とした 2 段階高地形解像度計算(空間解像度 0.1°の外部領域を含めて 3 段階)も行う。

T1216 は 2012 年 9 月 11 日にパラオ諸島北側海域で発生し、9 月 16 日から 17 日にかけて東シナ海中央線よりやや東側の海域を北上し、韓国南部に上陸した。Fig. B1 は T1216 時の東シナ海とその南側海域における 3 時間ごとの中心気圧と中心位置を示す。これから明らかなように、東シナ海における台風の中心気圧は 935~940 hPa と低く、T1216 はこの海域としては非常に強い勢力を保有している。

Fig. B2 は台風モデル風を入力条件とした YH3 (格子間隔 40 km) による T1216 時の最大波高  $H_{max}$  の空間分布を野中ら<sup>4)</sup>から再録したものである。12~14 m の高波高域は台風経路(右側)に沿って南から北へ伸びており、最大値は南方領域のみならず五島列島付近で 14 m に達する。

ついで、Fig. B3 は北緯 N10~40°、東経 E120~150°の領域において MSM 風資料と GSM 風資料より得た 1 時間ごとの海上風分布を与えた場合の YH3 (11 km 間隔) および SWAN (0.1°間隔) による時間間隔 5 分とした波浪推算に基づく最大波高  $H_{max}$  の空間分布を全領域および東シナ海とその周辺海域について与える。



これらによると、台風モデル風入力の Fig. B2 に対応した最大波高域が形成されているが、YH3 ではその最大値は 17 m 以上、SWAN では 16 m 以上に達する。この値は Fig. B2 の場合よりそれぞれ 3 m および 2 m 以上大きい。因みに、最大波高の最大値  $H_{maxM}$  と相当する周期  $T_{maxM}$  およびその出現位置は YH3 では 18.09 m, 16.0 s, (195, 84) および SWAN では 16.68 m, 14.5 s, (191, 84) であり、SWAN の場合に若干北側に位置する。また、沖縄本島のすぐ東側の海域にもそれぞれ 16~17 m 域 (YH3) や 14~16 m (SWAN) がみられる。台風モデル風を入力条件とする Fig. B2 ではこの波高域は形成されていないが、南方海域の境界近くで最大値 (14 m) が出現している。

Fig. B4 は最大波高の最大値がみられた五島列島周辺の海域における最大波高の空間分布の拡大図である。椏島を含む五島列島の南側では、いずれも最大波高 12~14 m とかなり大きく、波向は SSE をとる。

Fig. B5 は台風モデル風および MSM・GSM 合成風による最大風速  $U_{max}$  の空間分布を示す。両者において空間分布の状況は似ているが、後者の場合に全体として風速が 6 m/s 以上大きい。最大風速の最大値  $U_{maxM}$  とその出現位置は台風モデル風では 36.2 m/s, (275, 97) と (280, 95) および MSM・GSM 合成風では 43.9 m/s, (203, 85) であるから、後者が 7.7 m/s 大きい。この結果がより大きい波高として Fig. B3 の (a) と (c) や Fig. B4 の (a) に現れている。また、本文の T1102 時や T1408 時の最大波高の空間分布図でみたように、これまでの経験では同じ海上風分布条件において YH3 と SWAN による最大波高の最大値に有意な差はみられなかったが、T1216 時には YH3 が 1.41 m 大きい値を生じる。これは、10 m 高度風  $U_{10}$  表示の波の発達式を用いる YH3 では  $U_{10} > 35 \sim 40$  m/s の超強風時にも風速の増大が波の発達計算にそのまま反映されるため、波高が単調に増大するのに対して、 $C_d$  に上限値を設定した Wu 公式による SWAN では  $U_{10}$  の増加に伴う  $u_*$  の線形的増加に制限 ( $U_{10} \geq 20$  m/s に対して  $C_d = 2.1 \times 10^{-3}$ , 摩擦速度  $u_* = 0.0458U_{10}$ ) が加わるので、超強風時ほど波高の発達が抑制されることによると推察される。

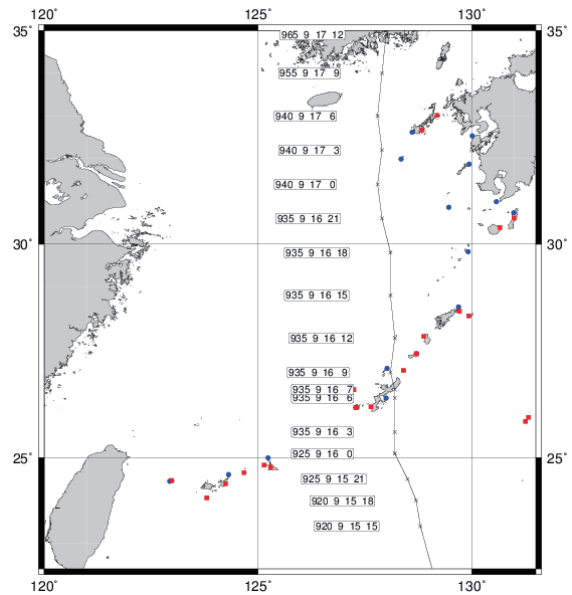


Fig. B1 Three hourly track and central pressure of T1216 in the East China Sea.

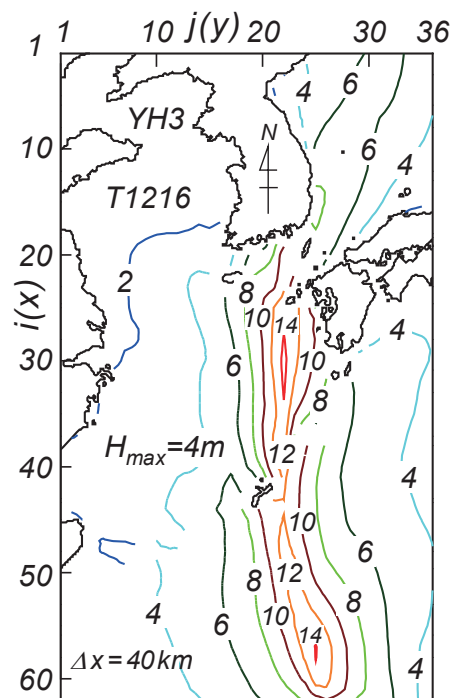


Fig. B2 Spatial distribution of T1216-generated maximum wave height on hindcasting area with grid distance of 40 km (after Nonaka et al<sup>[1]</sup>).

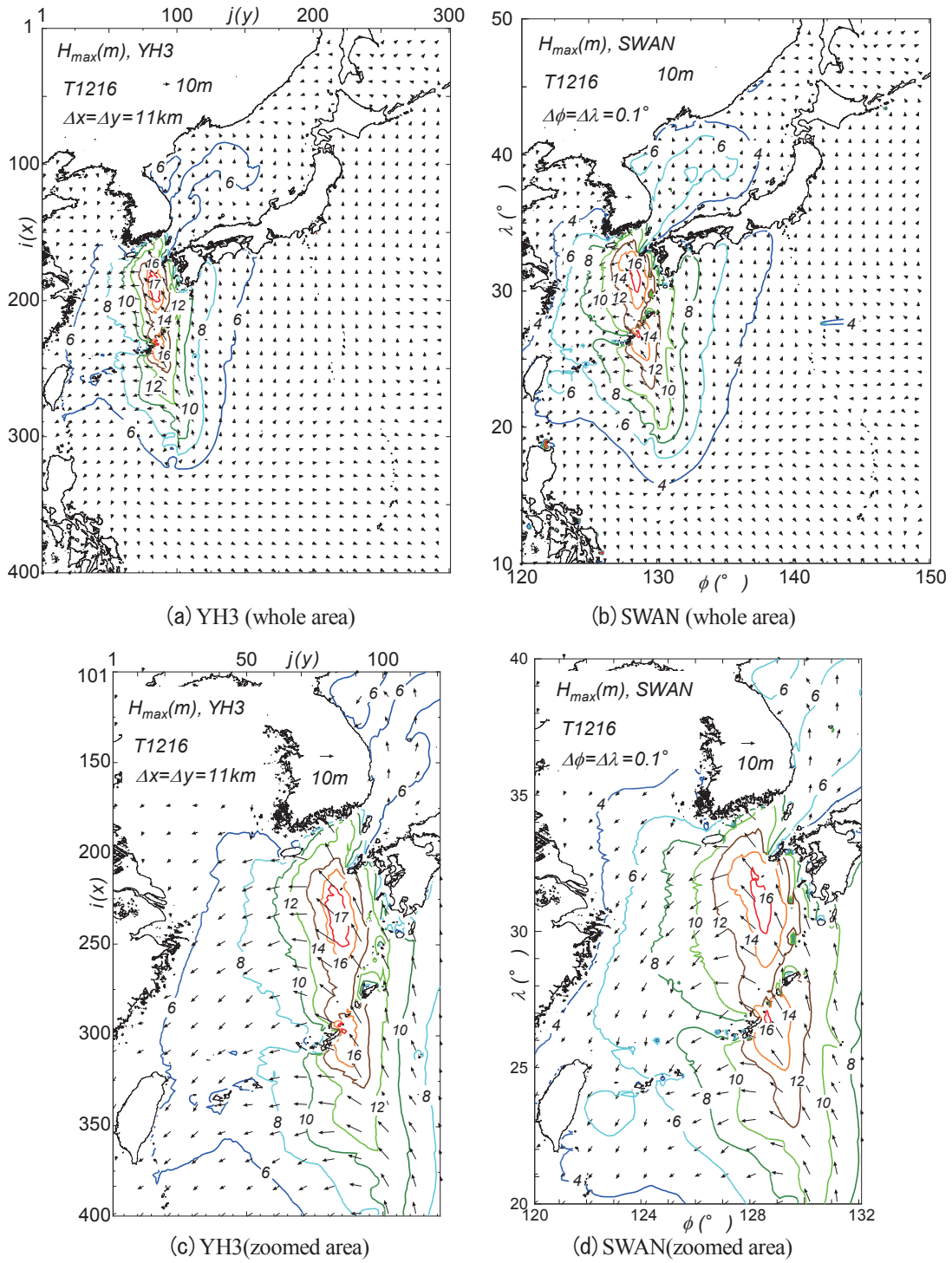
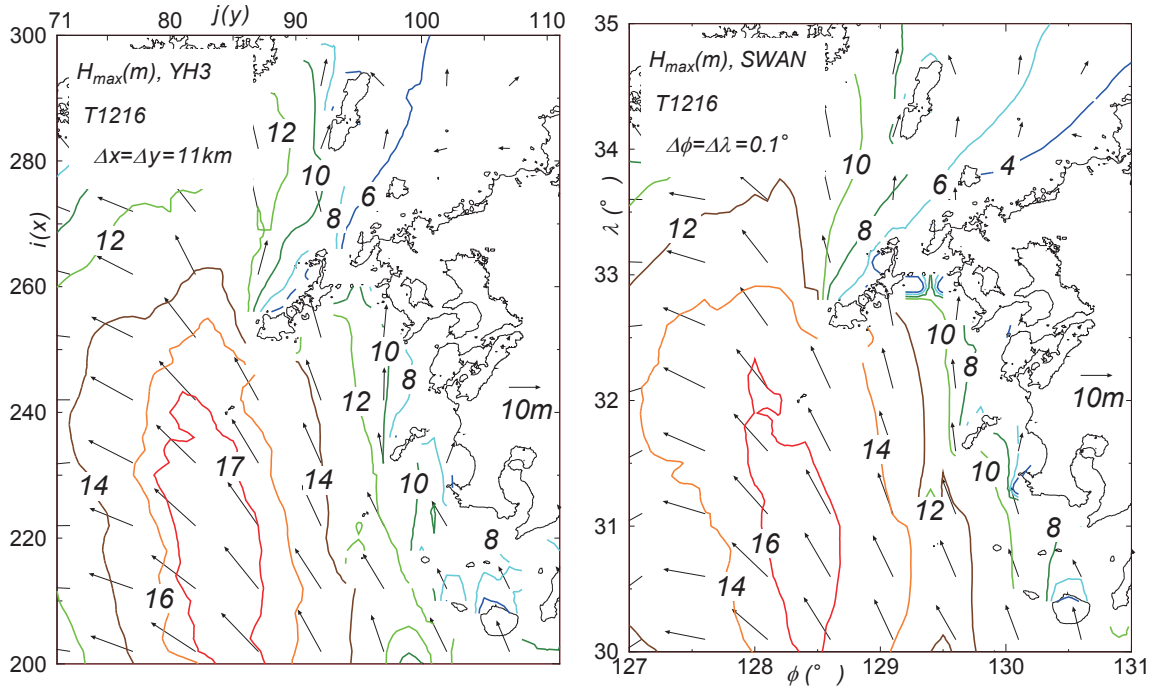


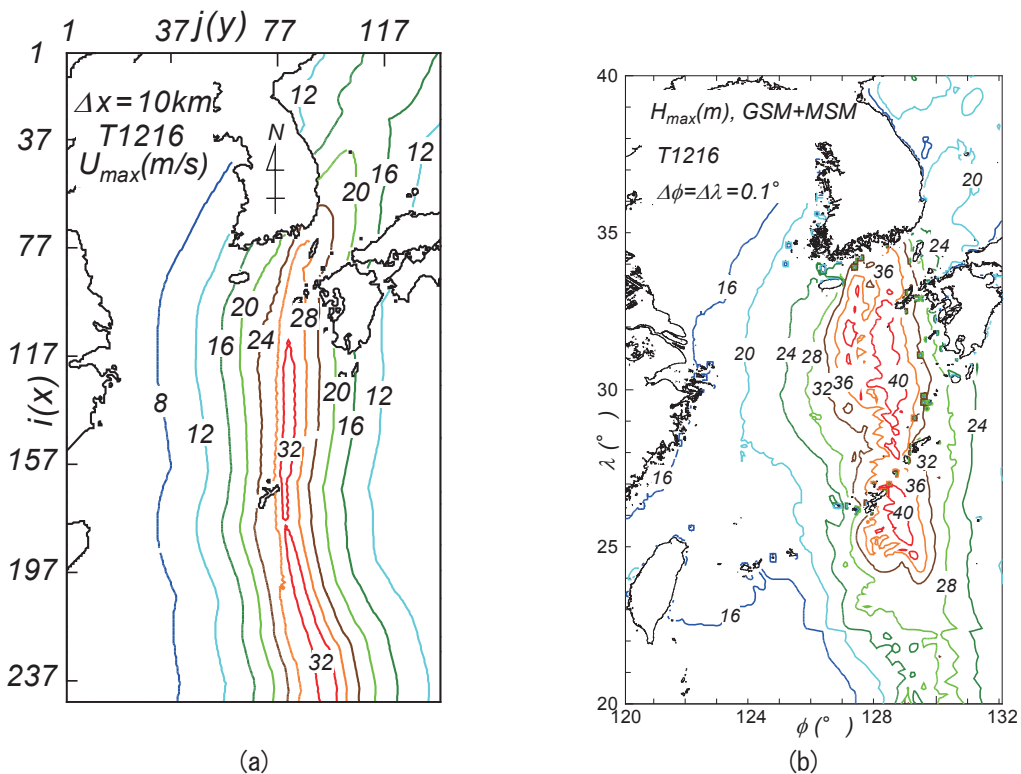
Fig. B3 Spatial distribution of T1216-generated maximum wave height on whole and zoomed areas estimated using either YH3 model or SWAN model under the combination of MSM- and GSM-based winds condition.



(a) YH3 ( $\Delta x = 11\text{km}$ )

(b) SWAN ( $\Delta\phi = \Delta\lambda = 0.1^\circ$ )

Fig. B4 Area-focused spatial distribution of T1216-generated maximum wave height by either (a) YH3 model or (b) SWAN model under the combination of MSM- and GSM-winds condition.



(a)

(b)

Fig. B5 Spatial distribution of maximum wind speed during T1216 based on (a) typhoon model winds and (b) MSM-based winds.

そこで、 $U_{10} \geq 30$  m/s の場合に  $a_d = 1.24 - 0.008U_{10}$  を  $U_{10}$  に乗ずることによって高風速時ほど風速の減少をはかり、YH3 モデルにおいて波の発達を抑制する。因みに、 $U_{10} = 30$  m/s, 40 m/s, 50 m/s では  $a_d$  はそれぞれ 1.0, 0.92, 0.84 である。Fig. B6 は最大波高の空間分布を示す。その分布特性は Fig. B3 (a), (c) や Fig. 4(a) とあまり変わらないが、最大波高の最大値  $H_{maxM}$  と相当する周期  $T_{maxM}$  およびその出現位置は 16.60 m, 15.6 s, (191, 83) である。Fig. B3 (a) の結果と比べて、出現場所は SWAN による位置とほぼ一致し、

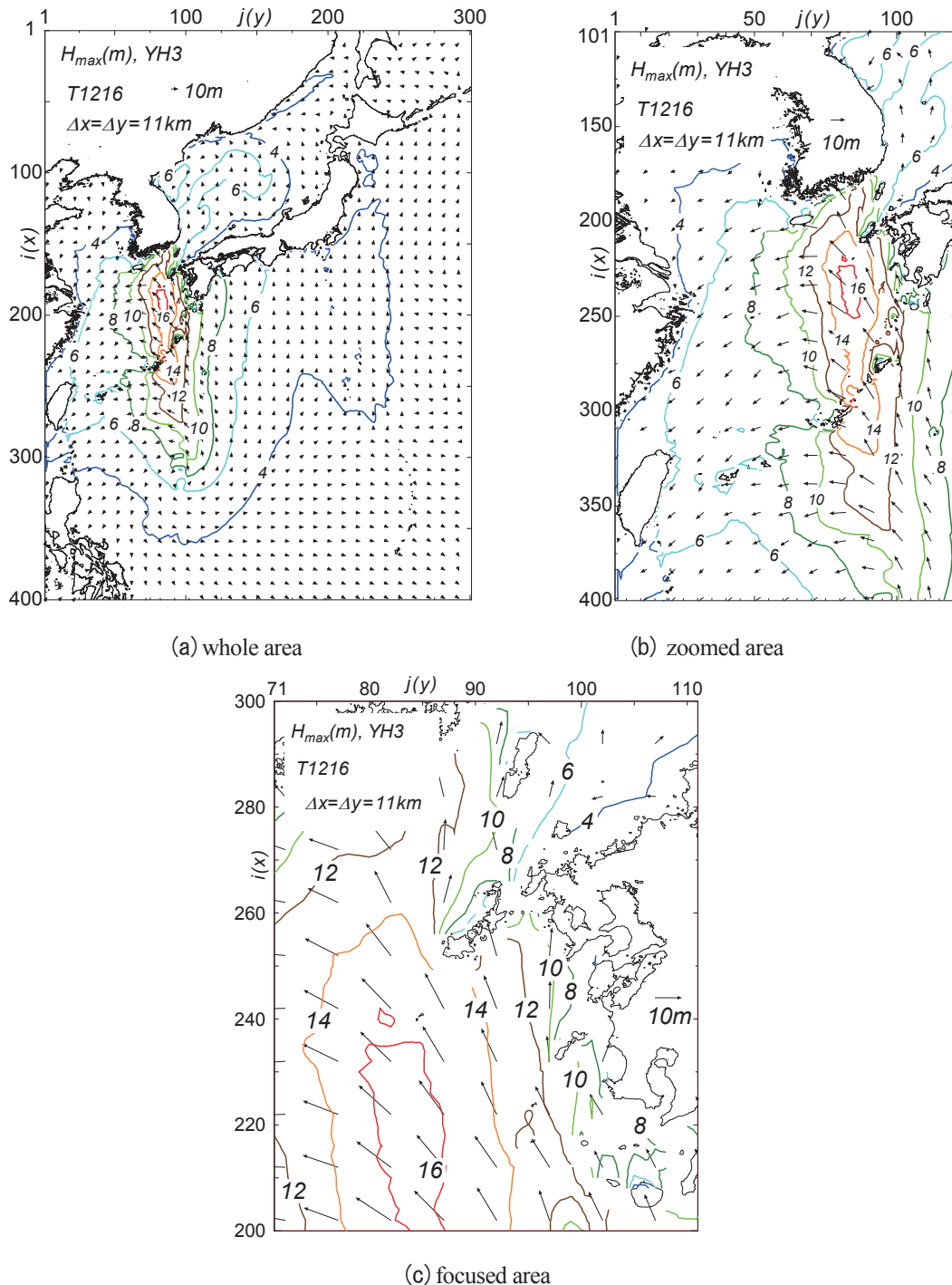


Fig. B6 Spatial distribution of T1216-generated maximum wave height on any of (a) whole area, (b) zoomed area and (c) focused area estimated using YH3 wave model with reduced higher wind speeds under the combination of MSM- and GSM-based winds condition.

$H_{maxM}$ が 1.49 m 小さくなり, Fig. B3 (b), (d)やFig. 4 (b)に示した SWAN による結果に近づく。

Fig. B7 は SWAN において風速の 2 次式に基づく Zijlema ら<sup>10)</sup>の $C_d$ 式および Westhuysen ら<sup>11)</sup>の波の発達式と減衰式を用いた場合の MSM・GSM 合成風条件による T1216 時の最大波高 $H_{max}$ の空間分布を (a) 全領域, (b) 東シナ海とその周辺領域, (c) 五島列島を含む九州西方海域において示す。Zijlema ら<sup>10)</sup>の $C_d$ 式および Westhuysen ら<sup>11)</sup>の式を使用する場合には, いずれも波高は低めに評価される。したがって, 最大波高の空

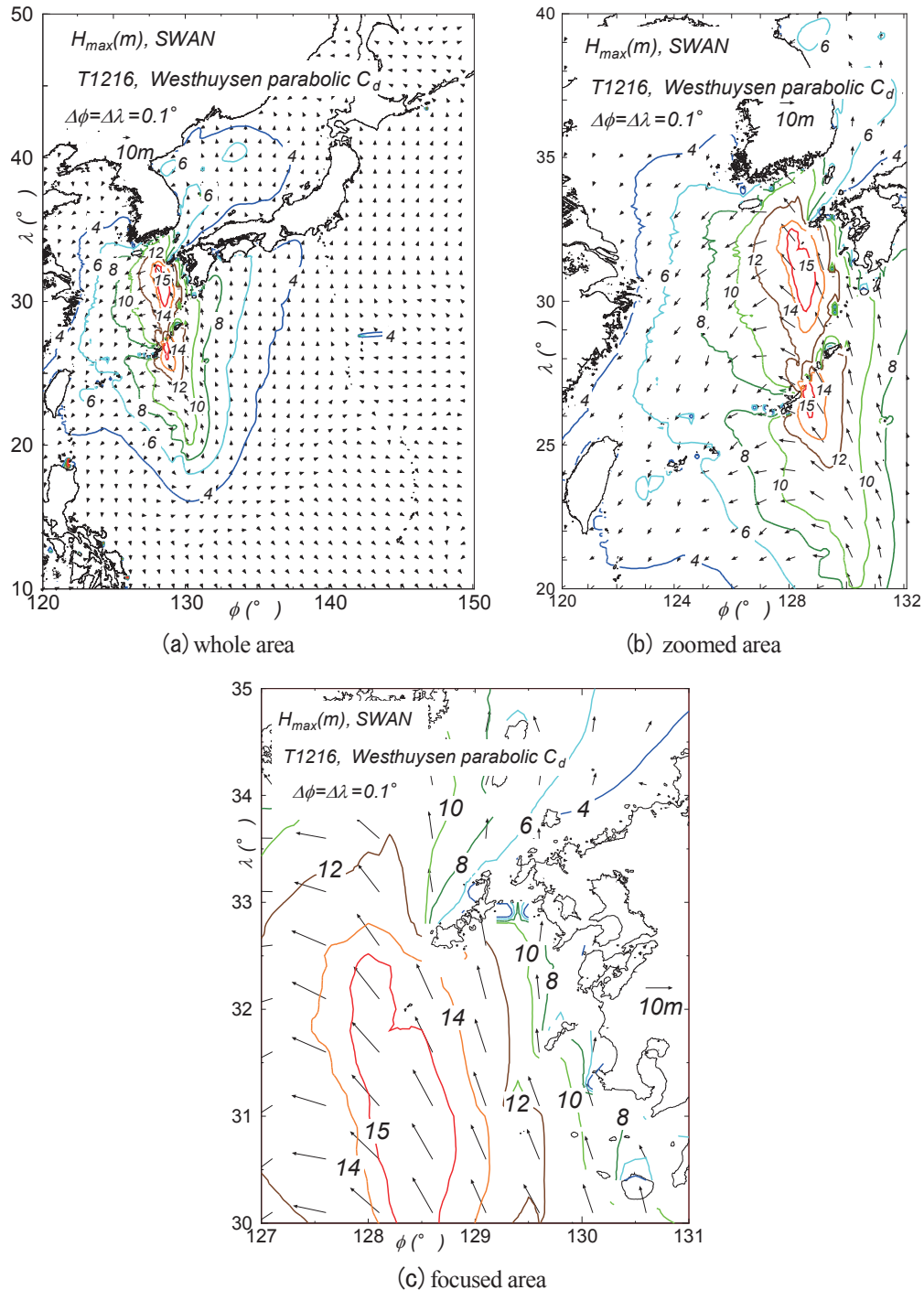


Fig. B7 Spatial distribution of T1216-generated maximum wave height on any of (a) whole area, (b) zoomed area and (c) focused area estimated using SWAN model with parabolic  $C_d$  formula and the Westhuysen et al. formulation under the combination of MSM- and GSM-based winds condition.

間分布は Fig. B3 や Fig. B4 における SWAN に基づく結果と類似するものの、その値は 1 m 近く低下する。因みに、最大波高の最大値  $H_{maxM}$  とその相当する周期  $T_{maxM}$  およびその出現位置は 15.86 m, 14.2 s, (191, 84) であるから、出現位置は変わらず最大値は 0.82 m 小さくなっている。その結果、YH3 に基づく最大値との差が 2.23 m と一層拡大する。

つぎに、最大波高の空間分布の詳細をみるために、空間解像度を  $0.05^\circ$  ( $3' = 180''$ ) とした  $N22 \sim 45^\circ$ ,  $E120 \sim 145^\circ$  の領域 (中領域) および空間解像度を  $0.5'$  ( $30''$ ) とした  $N30 \sim 35^\circ$ ,  $E127 \sim 132^\circ$  の領域 (小領域) において MSM 風を入力条件とする SWAN による波浪推算 (計算時間間隔はこの順に 10 分と 1 分) を行った。中領域の波浪推算では領域の南方開境界および東方開境界に空間解像度  $0.1^\circ$  とした GSM 風を入力条件とする波浪推算 (SWAN) から得た方向スペクトルを与えた。同様に、小領域の波浪推算では、その開境界に中領域の波浪推算による方向スペクトルを与えた。Fig. B8 は中領域および小領域で得た最大波高の空間分布を示す。上記の図と同様に、最大波高は 16 m を越える。因みに、小領域における最大波高の最大値  $H_{maxM}$  と相当する周期  $T_{maxM}$  および  $0.1^\circ$  格子網単位での概略の出現位置は 16.69 m, 14.5 s, (189, 83) である。この値は空間解像度  $0.1^\circ$  とした計算と一致し、空間分布も類似する。

最大値付近の拡大図 (b) によると、平均波向を含む最大値は 16 m 以上で周辺の波向は S 方向など、最大波高の空間分布の状況がより明確になる。五島列島樫島付近では最大波高 12~14 m が得られる。

最後に、波浪推算の入力条件とした MSM 風資料の観測資料に対する再現性を検討する。しかし、わが国の沿岸海域では東シナ海を含めて海上風がほとんど観測されていないことから、MSM 風の精度検証には灯台や沿岸の空港における沿岸風記録を用いざるを得ない。また、空間解像度  $0.25^\circ$  の Blended winds product は衛星観測データに基づいて作成された海上風分布資料であるが、時間間隔は 6 時間であるので、1 時間ごとの MSM 風資料のチェックには十分でない。ここでは、灯台および空港における観測風資料を用いて MSM 風資料の特性 (精度) を調べる。ただし、当該観測資料は MSM 風資料には考慮されない局所地形の影響を含むので、比較資料としては必ずしも最適のものでないの言うまでもない。

Fig. B9 は東シナ海に面する先島諸島から沖縄諸島、奄美群島を経て鹿児島に至る島嶼部および九州北西

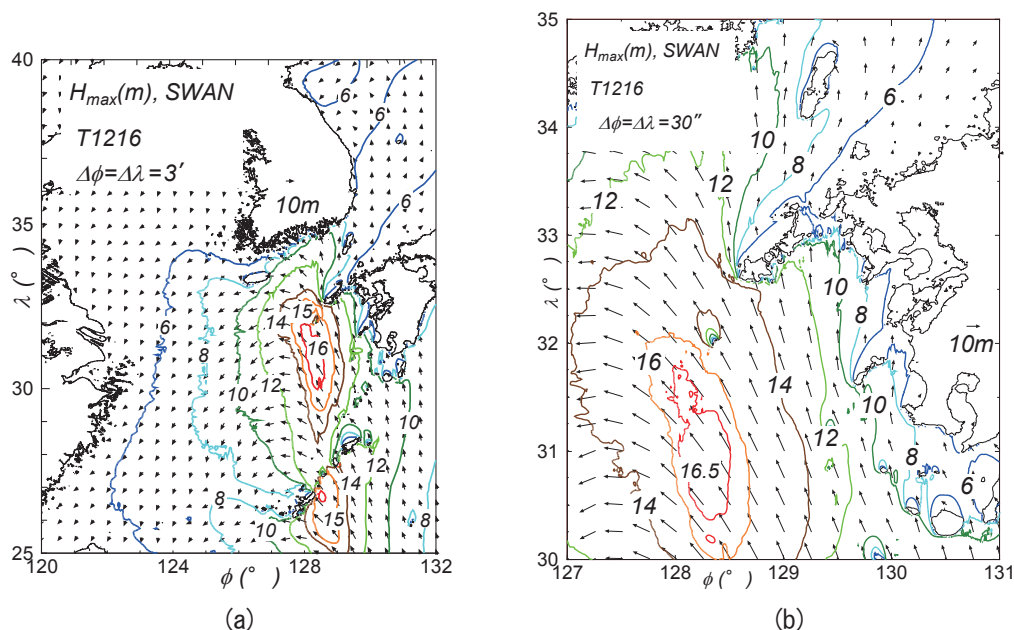


Fig. B8 Spatial distribution of T1216-generated maximum wave height on either (a) zoomed area ( $3'$  grid) or (b) focused area ( $0.5'$  grid) estimated using SWAM wave model with the Wu  $C_d$  formula and the Komen formulation under MSM-based winds condition, in cases where directional spectra estimated using SWAN on larger domain are given on the outer open boundary of smaller domain.

岸にかけて設置された灯台のうち、風資料の比較に使用する 15 箇所の灯台の位置を示し、これらは広い範囲に分布することがわかる。

Fig. B10 は灯台における観測風資料と MSM 風資料に基づく風速・風向時系列を国頭岬灯台（風速計海拔高度  $h=64$  m, 沖永良部島）と射手埼灯台（ $h=84$  m, 鹿児島県上甕島）の 2 地点について示す。Fig. B11 は MSM 風速が  $U_{10}^{cal} \geq 10$  m/s の時点における Fig. B10 の結果をそれぞれ散布図として表したものである。観測風速は  $1/7$  乗則によって 10 m 高度風速  $U_{10}$  に変換している。国頭岬灯台では推算風は 35 m/s に達する観測風と時系列的にかなりよく符合するが、鹿児島県西方海域にある上甕島の射手埼灯台では時系列は似ているものの、推算風は観測風より太った変化を示す。すなわち、MSM 風速は発達期および減衰期ともに観測風速より過大な値を与える。一方、風向に関しては、両地点とも、MSM 風向は観測風向と平均的によく対応する。この挙動は散布図において明確に現れており、MSM 風速は国頭岬灯台で若干大きい値を、

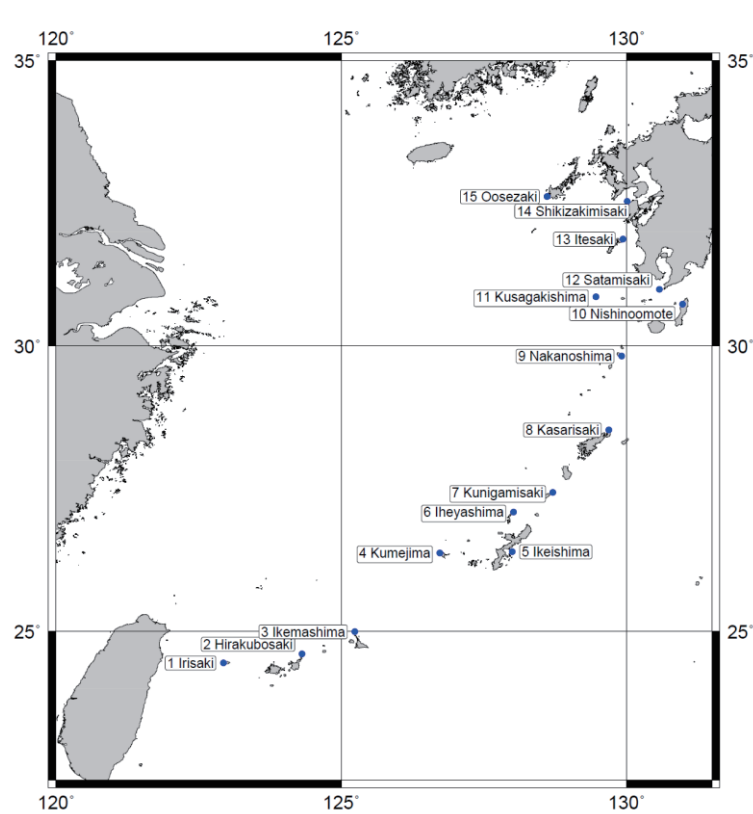


Fig. B9 Location of wind measurement stations set at light houses on islands facing the East China Sea.

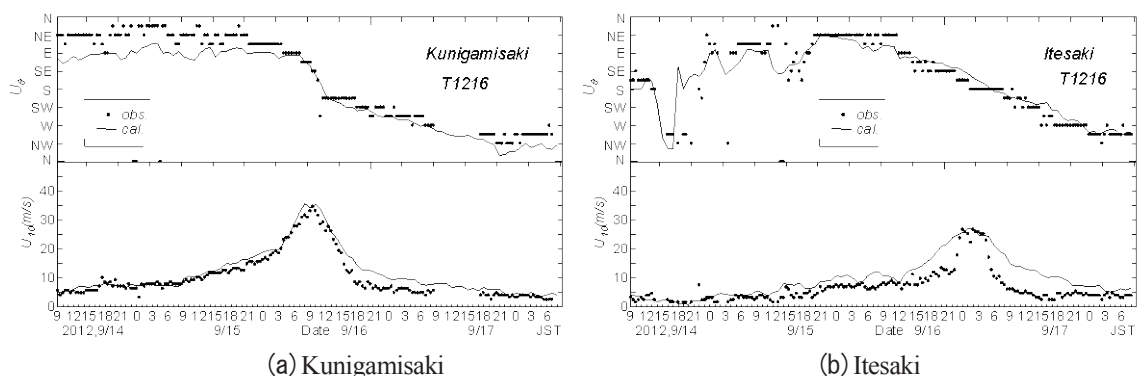


Fig. B10 Comparison between MSM winds data and measurement data for time variations of wind speed and wind direction at light house.

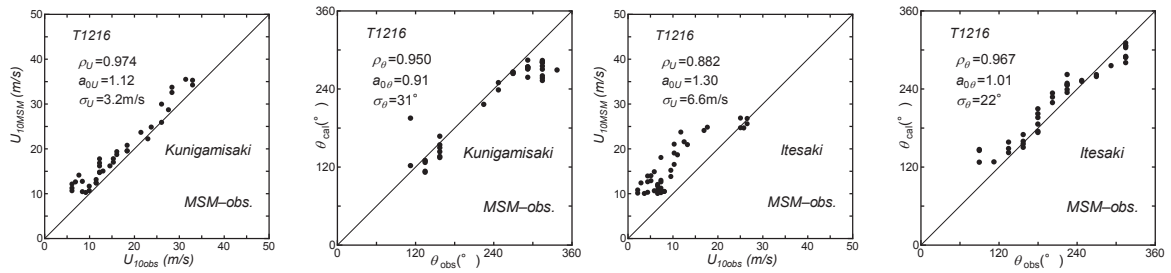


Fig. B11 Scatter plot of MSM winds data and measurement data for hourly wind speed and wind direction at light house.

射手埼灯台で過大な値を与え、MSM 風向は両地点でよく対応することがわかる。

Table B1 は MSM 風速が  $U_{10}^{cal} \geq 10$  m/s の時点について灯台での観測風資料と MSM 風資料より求めた 10 m 高度風速および風向に関する誤差指標の地点別一覧を地点番号 (No.1~No.15), 地点名, 風向・風速計の海拔高度 ( $h$  m) とともに与える。誤差指標は相関係数  $\rho$ , 相関図において原点を通る直線の勾配値  $a_0$  および 2 乗平均平方根誤差  $\sigma$  であり, 風速・風向に対してそれぞれ添字 ' $U$ ' と ' $\theta$ ' を付加する。風速に関しては, このほか MSM 風資料および観測資料に対する最大風速  $U_{max}^{cal}$ ,  $U_{max}^{obs}$  と両者の比  $U_{max}^{cal}/U_{max}^{obs}$  も与える。上記のように, 観測風速は 1/7 乗則の適用により 10 m 高度風速  $U_{10}$  に変換している。また, Fig. B12 は各誤差指標の地点 (灯台) 別プロットを与える。風速に関して⑭四季埼岬の  $\rho_U$  が小さいのは観測風速が MSM 風速より遅れた位相を伴うためであり, この遅れを補正すれば相関は大いに向上するはずである。近接する野母崎 (AMeDAS 地点) では, 両者の位相がほぼ一致することから, ⑭四季埼岬における観測風速の時刻に疑問

Table B1 A list of error statistics on winds (light house).

No.	light house	$h$	$U$						$\theta$		
			$\rho_U$	$a_{0U}$	$\sigma_U$	$U_{max}^{cal}$	$U_{max}^{obs}$	$U_{max}^{cal}/U_{max}^{obs}$	$\rho_\theta$	$a_{0\theta}$	$\sigma_\theta$
1	Irisaki	82	0.920	1.03	1.2	18.0	17.8	1.01	0.998	1.01	10
2	Hirakubosaki	75	0.829	1.14	2.2	18.0	16.5	1.09	0.996	1.06	17
3	Ikemashima	34	0.797	1.14	2.6	18.7	16.0	1.17	0.997	1.02	13
4	Kumeshima	54	0.917	1.28	4.3	24.5	22.0	1.11	0.998	1.04	17
5	Ikejima	53	0.871	1.37	6.9	32.9	29.9	1.10	0.992	1.01	13
6	Iheyajima	117	0.858	1.21	6.6	37.8	40.1	0.94	0.931	1.00	26
7	Kunigamisaki	64	0.974	1.12	3.2	35.5	33.0	1.07	0.950	0.91	31
8	Kasarisaki	60	0.794	1.20	6.2	30.2	26.8	1.12	0.972	1.00	11
9	Nakanoshima	65	0.865	1.06	3.2	20.0	21.5	0.93	0.959	1.20	46
10	Nishinoomote	15	0.865	1.26	3.6	20.0	16.0	1.25	0.962	1.00	8
11	Kusagakishima	141	0.743	1.46	7.6	33.0	24.0	1.38	0.977	1.05	20
12	Satamisaki	67	0.678	1.35	5.6	24.8	17.5	1.42	0.952	0.98	18
13	Itesaki	84	0.882	1.30	6.6	26.8	26.6	1.01	0.967	1.01	22
14	Shikisakimisaki	57	0.351	1.11	5.4	19.4	18.7	1.04	0.970	1.01	10
15	Oosezaki	251	0.729	2.63	14.5	39.8	20.2	1.97	0.958	1.07	34

$h$  : m,  $\sigma_U$  : m/s,  $U_{max}^{cal}$ ,  $U_{max}^{obs}$  : m/s,  $\sigma_\theta$  : °



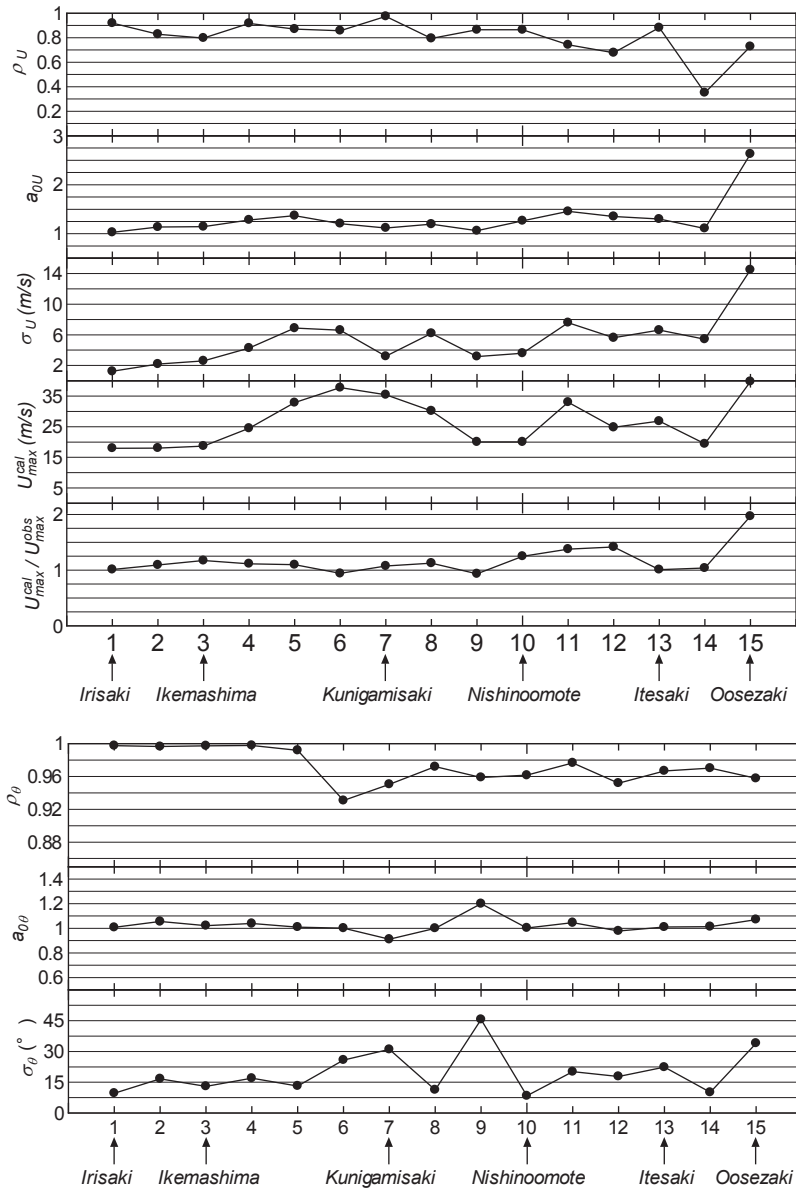


Fig. B12 Location-separated plot of error statistics on winds (light house).

が残るが、現時点ではこの差の原因を特定できない。また、⑮大瀬崎では最大風速からも明らかなように、観測風速が MSM 風速に比べて 1/2 程度と小さいので、2 乗平均平方根誤差  $\sigma_U$  は突出して大きい値をとる。これらを除くと、MSM 風速と観測風速の対応は最大風速を含めて良好であることや各誤差指標にみるように、九州沿岸を北上するほど MSM 風速が観測風速より大きい傾向にあることがわかる。また、風向に関しては⑨中之島、⑮大瀬崎、⑫国頭岬では MSM 風向と観測風向の位相にずれがあるため、2 乗平均平方根誤差  $\sigma_\theta$  が 46°、34° および 31° と大きくなり、同様の傾向が、程度は弱い ( $\sigma_\theta$  がより小さい) もの、他の地点でもみられるが、全体としては MSM 風向が観測風向とかなりよく符合すると言える。この結果は気象庁による MSM 風資料の作成過程において灯台の観測風資料がデータ同化されているかもしれない疑問を提示する。

Fig. B13 は東シナ海に面する島嶼部にある 20 箇所の空港における AMeDAS 観測風地点の位置を示す。これらは灯台と同様に東シナ海に面して広い範囲に分布する。Table B2 は AMeDAS 地点における風速・風向

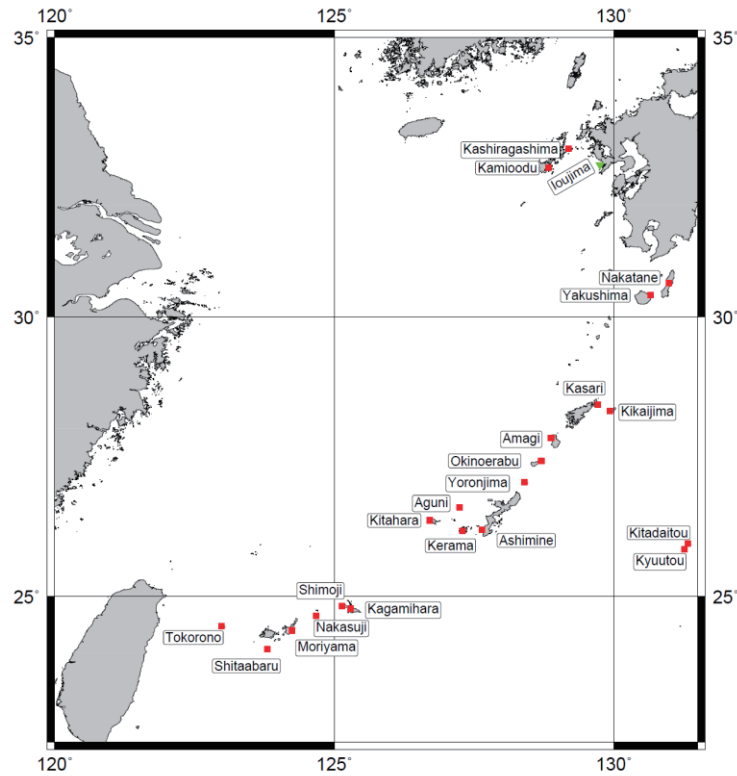


Fig. B13 Location of wind measurement stations set at AMeDAS points on islands facing the East China Sea.

資料に対する誤差指標と最大風速やその比の各一覧を与える。Fig. B14 は各誤差指標の地点 (AMeDAS) 別プロットを示す。風向に関しては、誤差指標 ( $\rho_\theta$ ,  $a_{0\theta}$ ,  $\sigma_\theta$ ) はいずれの地点でも MSM 風の精度がかなり高いことを示唆する。風速に関しては⑤北原, ⑪下地, ⑭天城, ⑯笠利, ⑰屋久島の 5 地点では若干の過大評価傾向を示すものの、 $\rho_U$ ,  $a_{0U}$ ,  $\sigma_U$ ,  $U_{max}^{cal}/U_{max}^{obs}$  のいずれの誤差指標も MSM 風がかなり高い精度をもつことを示唆するが、他の地点ではとくに  $a_{0U}$  と  $U_{max}^{cal}/U_{max}^{obs}$  は MSM 風のかんりの過大評価を示唆する。

要するに、20 地点中 15 地点では観測風速は MSM 風速もよりかなり小さい値を与える。MSM 風には空港周辺の局所地形の影響が十分には含まれていないことが主因と考えられる。

さらに、観測波浪をみると、東シナ海で巨大波浪の発生が計算されるのに対して、沿岸部の観測波高はかなり小さい。すなわち、最大観測波高は石垣沖で 2.70 m, 平良で 3.47 m, Naha で 5.73 m (ただし、ピーク時に欠測), 名瀬で 5.03 m, 伊王島で 5.00 m である。Fig. B15 は波高・周期時系列に対する推算値と観測値の比較を長崎半島沖の伊王島 (位置は Fig. B13 に記載) について示す。推算結果は MSM+GSM 合成風を入力条件とする 0.1°格子網での SWAN と 11 km 格子網での YH3 に加えて、3 段階計算による 0.05' (30") 格子網での SWAN に基づく。0.1°あるいは 11 km 格子網では伊王島 (地点) に対する地形解像度が不足することから、SWAN, YH3 のいずれも過大な波高を与えるのに対して、地形解像度が高い 0.05' (30") 格子網の SWAN では波高は全期間について、周期はピーク時以降で観測値とよく符合する。

以上の結果をまとめると、つぎのようである。

1) 台風モデル風を入力条件とする YH3 モデルに基づく最大波高の最大値  $H_{maxM}$  は約 14 m であるのに対して、MSM・GSM 合成風を入力条件とする YH3 では  $H_{maxM}$  は 18 m, SWAN では 17 m 以下であり、後者の場合に 3~4 m 大きい。これは MSM・GSM 合成風、とくに MSM 風の風速が台風モデル風の風速を 6 m/s 以上上まわるためである。

2) 空間解像度を 0.1°, 0.05° (3') および 0.5' とした 3 段階の nested grid を使用した MSM・GSM 合成風入力条件下での SWAN による計算によっても、 $H_{maxM}$  はほとんど変わらない。

Table B2 A list of error statistics on winds (AMeDAS point on airport).

No.	AMeDAS	$h$	$U$						$\theta$		
			$\rho_U$	$a_{0U}$	$\sigma_U$	$U_{max}^{cal}$	$U_{max}^{obs}$	$U_{max}^{cal}/U_{max}^{obs}$	$\rho_\theta$	$a_{0\theta}$	$\sigma_\theta$
1	Kyuutou	55	0.514	2.22	10.1	22.7	11.0	2.07	0.965	1.01	10
2	Kitadaitou	29	0.958	1.57	6.3	22.3	14.9	1.49	0.977	0.99	7
3	Ashimine	10	0.909	1.33	5.3	31.4	24.0	1.31	0.994	1.03	15
4	Kerama	55	0.836	2.11	9.5	25.6	15.6	1.64	0.995	1.02	15
5	Kitahara	14	0.925	1.19	3.3	24.5	21.9	1.12	0.997	0.98	11
6	Aguni	19	0.850	1.93	9.0	29.9	14.8	2.02	0.997	0.97	13
7	Shitaabaru	23	0.738	1.60	5.4	17.5	10.7	1.63	0.997	0.98	11
8	Tokorono	23	0.920	1.42	4.5	18.0	13.1	1.37	0.996	1.00	13
9	Nakasuji	20	0.710	1.62	5.9	17.4	11.7	1.49	0.996	0.97	12
10	Kagamihara	53	0.764	2.01	7.0	17.1	8.5	2.01	0.998	0.98	10
11	Shimoji	18	0.832	1.11	1.9	17.8	16.1	1.11	0.997	1.01	11
12	Yoronjima	22	0.889	1.49	8.8	39.4	34.5	1.14	0.985	0.96	17
13	Okinoerabu	37	0.901	1.42	7.1	35.5	25.0	1.42	0.976	0.97	16
14	Amagi	8	0.896	1.17	3.8	30.0	27.7	1.08	0.988	0.97	13
15	Kikaijima	15	0.928	1.97	9.6	29.8	15.8	1.89	0.989	0.97	11
16	Kasari	14	0.908	1.16	3.4	27.7	23.2	1.19	0.989	0.99	8
17	Yakushima	44	0.665	1.12	1.7	14.2	12.5	1.14	0.909	0.98	9
18	Nakatane	24	0.821	2.01	7.4	18.9	9.3	2.02	0.964	0.96	12
19	Kashiragashima	87	0.932	1.98	9.9	32.4	19.8	1.64	0.991	0.97	16
20	Kamioodu	85	0.865	1.47	6.4	25.6	17.7	1.45	0.983	0.95	17

$h$  : m,  $\sigma_U$  : m/s,  $U_{max}^{cal}$ ,  $U_{max}^{obs}$  : m/s,  $\sigma_\theta$  : °

3)MSM・GSM 合成風条件のもとに2次式形式の $C_d$ 式および Westhuysen らによる波の発達・減衰式を用いる SWAN によれば、 $H_{maxM}$ は16 m弱となり、上記の SWAN ( $C_d \leq 2.1 \times 10^{-3}$ とする Wu の $C_d$ 式と Komen による波の発達・減衰式)の結果より0.8 m小さくなる。

4)超強風時において風速の抑制をはかった MSM・GSM 合成風条件での YH3 による $H_{maxM}$ は16.6 mをとり、SWAN による値に近い値を与える。これは、SWAN のように摩擦速度表示の波の発達式を使用するとともに海面の抵抗係数 $C_d$ に上限値を設定することに相当すると考えられる。

5)T1216 時には、MSM 風は先島諸島から沖縄諸島、奄美諸島にかけて位置する灯台での観測風とかなりよく符合することから、その精度はかなり高いと言える。しかし、九州南西部から北西部の沖合島嶼部に位置する灯台では MSM 風速は観測風速をかなり上まわる傾向にある。ただし、灯台観測風は局所地形の影響を受けた沿岸風を代表するので、海上風である MSM 風の精度を必ずしも検証したことにはならない。

6)T1216 時には、MSM 風は東シナ海に面した AMeDAS 観測 20 地点 (空港に限定) のうち4~5 地点でしか観測風と符合せず、他の地点では過大な評価となっている点で、灯台における観測風の場合と大いに異なる。これは MSM 風資料には観測風資料に含まれる局所地形の影響が十分に反映されていないことによると推測される。

7)沿岸の観測地点における波浪を再現するためには、高地形解像度格子網での波浪推算が必要である。

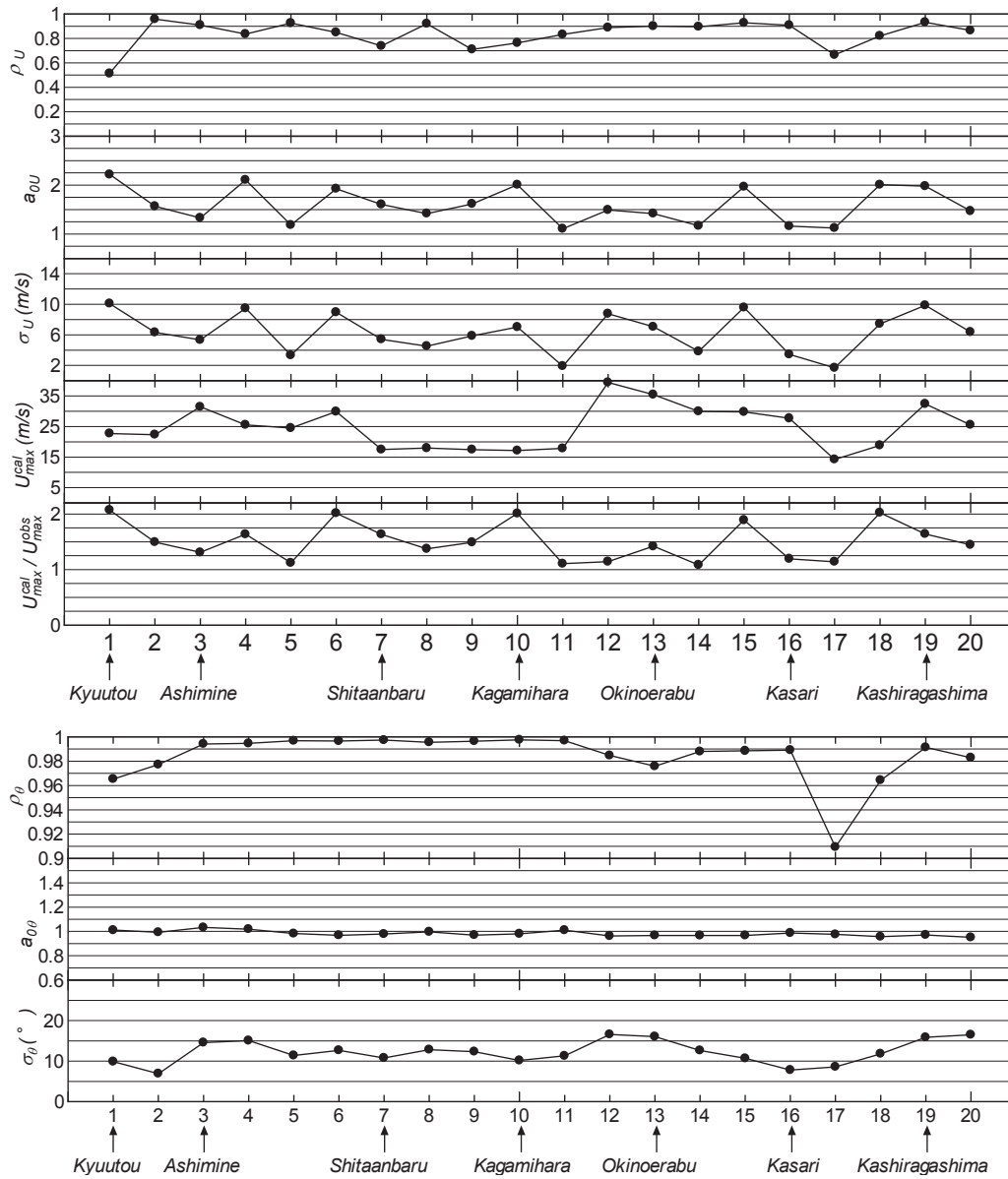


Fig. B14 Location-separated plot of error statistics on winds (AMeDAS point on airport).

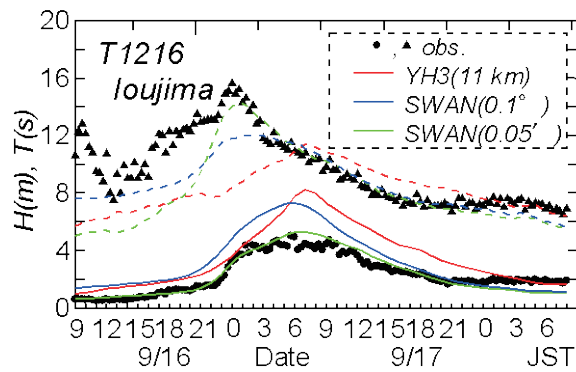


Fig. B15 Comparison between hindcasts and measurements for time variations of wave height and wave period at Ioujima station.