航海シミュレーションのための海上風 及び波浪の数値計算

曾田 泰介*・塩谷 茂明**・大澤 輝夫***・牧野 秀成***

Numerical Calculation of Wave and Wind for Simulating Navigation

Taisuke SODA, Shigeaki SHIOTANI, Teruo OSAWA and Hidenari MAKINO

Abstract

For safety coastal navigation, detailed information of wind and wave is very important and needed. In particular wind and wave would be changing dramatically in heavy situation such as a typhoon. In former part of this paper, the computational simulation of Japanese coastal area was explained. The wind of sea was calculated by numerical model of WRF and the ocean wave was calculated by numerical model of SWAN. In latter part of it, the numerical simulation of navigation in Japanese pacific coastal area was carried out.

The effects of wind and wave to navigation by container ship were examined numerically by the simulation.

Keywords : Numerical navigation, SWAN model, WRF model, MMG, RIOS, Weather Routing

キーワード: 数値ナビゲーション、SWAN モデル、WRF モデル、MMG、RIOS、ウェザールーティング

1. はじめに

沿岸域においては地形等の影響により外洋に比べ、より複雑な気象・海象現象が生じると考えられる。このため、沿岸域においてより安全・安心な航行を目指す上で空間的・時間的解像度の高い気象・海象データが必要になることが考えられる。本研究では波浪推算に SWAN を用いて行うことで、詳細な海象場の再現を目指した。

波高を推算する上で重要になるのは波浪の発達の主要因である海上風に関するデータである。現在、米国環境予測センター (NCEP) やヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) 等から予報または解析された気象データを入手することができるが、波浪推算のための空間的・時間的な解像度が十分であるとはいえない。そのため、メソ気象モデル WRF を用いてより十分な解像度を持った気象データを作成し

た。WRF とは米国環境予測センター (NCEP) や米国大気研究センター (NCAR) などにより開発された完全圧縮性・非静力学モデルである。WRF により推算された海上風を波浪推算モデル SWAN と組み合わせることにより、正確な波浪推算を行うことを目指した。SWAN とはオランダのデルフト工科大学で開発された第三世代波浪推算モデルであり、浅海域の波浪推算に特徴がある。

本研究では 2004 年 9 月に日本に接近・上陸した台風 18 号時の風・波の数値シミュレーションを行った。また、それらにより再現された気象・海象場における航海シミュレーションに MMG モデルを用いて行うことで、沿岸域での航行船舶への風及び波の影響を検討した。MMG モデルとは日本造船学会試験水槽委員会第 2 部会によって開発された、操縦性能の数学モデル検討グループであり、船の操縦運動を運

* 学生会員 神戸大学大学院海事科学研究科海事科学専攻 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

105w315w@stu.kobe-u.ac.jp

** 正会員 神戸大学自然科学系先端融合研究環

*** 正会員 神戸大学大学院海事科学研究科

動方程式に基づいて流体力学的に計算するための数学モデルである。

著者らはこれまで大阪湾を対象に風及び波浪の影響による航海シミュレーションを実施した¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。今回は大阪湾のような閉鎖海域でなく、今後内航船を対象とする太平洋沿岸域に拡大して航海シミュレーションを行った。

気象モデル WRF と波浪推算モデル SWAN を組み合わせることで精度のよい気象海象場が再現でき、航海シミュレーションに適用することで風・波の影響が航行に有意に働くことがわかったので、ここに報告する。

2. 海上風・波浪の数値シミュレーション

2.1 計算対象期間

計算対象期間は 2004 年 9 月 3 日 9 時から 2004 年 9 月 15 日 9 時の 12 日間である。Fig.1 に計算対象期間中の気象庁発表の地上天気図を示す。対象期間中に台風 18 号が日本に接近した。台風 18 号は強力な台風であり名護市では最低海面気圧 924.4hPa を記録しており、激甚災害に指定されている。台風 18 号は九州・中国地方を通過し、日本海側へ抜けた後、温帯低気圧へと変化した。

2.2 海上風の数値シミュレーション

本研究において海上風の数値シミュレーションは WRF を用いて行った⁵⁾⁶⁾。WRF とは 1. で記述のと通りの機関で開発され、実用的な気象予報や大気に関する研究に使用できるよう開発された次世代メソ気象モデルである。WRF は NCAR の管理する WRF-ARW モデルと NCEP の管理する WRF-NMM モデルがあるが、以降、WRF は WRF-ARW モデルを指すものとする。

WRF は完全圧縮性・非静力学モデルである。WRF は雲物理モデル、放射モデル、乱流モデル、地表面モデルを組み合わせたものであり、最新の物理モデル、データ同化システム、ネスティングが装備されており、計算スキームとしては 3 次精度のルンゲ・クッタスキームや 5 次精度の風上差分など高精度な計算スキームを採用しており、局地的な気象に対して精度の高い計算が期待できる。

WRF の基礎方程式は運動方程式・連続の式・熱力学の式・混合比の保存式からなる。

WRF により気象の再現をするにあたって初期条件と境界条件が必要になる。本研究では米国環境予測センター(NCEP)より GFS-FNL データを用いた。GFS (Global Forecast System) とは米国環境予測センターにより開発された全球気象予報モデルであり、

GFS-FNL データは 6 時間間隔、1000hpa から 10hpa までの鉛直 25 層、緯度経度ともに一度間隔のデータであり、気温・地表温度・湿度・海面温度・地表気圧・地表風・風シアーなど 25 の変数が含まれている。

Fig.1 Atmospheric chart of numerical simulation

本研究において WRF を実行するにあたり、より精度の高い計算を目指すため、Fig.2 に示す大領域(d01)と小領域(d02)の 2 層の領域に分けた。地形データは d01 においては 10 分間隔、d02 においては 30 秒間隔のデータを用いネスティングにより計算を行った。d01、d02 における各種計算条件を Table.1 に示す。

Table.1 Condition of calculation by WRF

	d01	d02
Dimension	176x149x20	235x135x20
Mesh size	10(km)	2(km)
Time step	60(s)	12(s)
Start Time	2004-09-03-09:00:00	
End Time	2004-09-15-09:00:00

Fig.2 Two calculated areas

神津島、神戸、高知における WRF により求められた風速・風向と気象庁観測点の観測値との比較を Fig.3 に示す。横軸は時間、縦軸は風速を示す。破線は観測結果、太い実線は数値計算結果を示す。なお、観測値については、観測地の高度で観測された風速に対数則を用い地上 10m の推測値とした。

神戸においては定性的にはよくあっているが台風接近時付近の風速を過大に評価している。神戸の風速は他の観測点と比べ短時間の間に発達し、減衰していることがわかる。本研究では初期・境界条件として経度緯度方向に 1 度間隔、6 時間間隔のデータを用いており、短期間に大きく変動する台風の気象場を表現するには時間的・空間的に粗すぎ、さらに、神戸は他の海域と異なって湾内で閉鎖海域であるため、周辺の陸地の影響を受け、計算と観測値に差が生じたものと思われる。このような要因が重なり、神戸での風速の過大評価につながっている可能性がある。

神津島・高知では風速・風向のいずれも両者はよく一致している。風向に関しては風向 0°と 360°を図の上下辺に分離して表示しているため、一致しないように見える。全般に、台風の接近時に両者はよく一致しているが、それ以外の時間では観測した風向は大きく変動しているため、両者に多少の差がみられる。

各観測点での風速の観測値と推算値の誤差の平均 2 乗偏差は、神津島で 3.5m/s、神戸で 3.0m/s、高知

で 2.3m/s、相関係数は、神津島で 0.79、神戸で 0.76、高知で 0.89 であった。これら三地点の結果から、本数値計算で概ね正確な風の分布が再現できているものと考えられる。

Fig.3 Comparison of calculated and observed wind velocity and direction

2.3 波浪の数値シミュレーション

本研究では波浪の数値シミュレーションに SWAN を用いた。SWAN では深海域においては WAM モデルを用い、浅海域における浅水砕波によるエネルギー散逸、極浅海域で顕著となる 3 波共鳴非線形相互作用による成分波間でのエネルギー輸送など、浅水域での波浪伝搬が考慮されている。

SWAN ではエネルギースペクトルを相対角周波数で割った作用量平衡方程式を解くことで流れの向きを考慮した波浪推算が可能である。作用量平衡方程式は次式で表わされる。

・平面座標の場合

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(C_x N) + \frac{\partial}{\partial y}(C_y N) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(C_\sigma N) + \frac{\partial}{\partial \theta}(C_\theta N) = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

・球面座標系の場合

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi}(C_\phi \cos \phi N) + \frac{\partial}{\partial \lambda}(C_\lambda N) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(C_\sigma N) + \frac{\partial}{\partial \theta}(C_\theta N) = \frac{S}{\sigma} \quad (2)$$

ここに(1)式の左辺第 1 項は局所的な時間変化、第 2 項および第 3 項はそれぞれが x 及び y 方向の空間変化(移流項)を表し、 C_x および C_y は伝播速度である。第 4 項は特性速度 C_σ による相対角周波数に対する変化、第 5 項は特性速度 C_θ による伝播方向への変化を表す。(2)式の ϕ 、 λ および θ はそれぞれ緯度、経度及び波向である。

本研究では沿岸域での波浪の精度検証を行うため、波の屈折・回折についても考慮する。

また、右辺のエネルギーの出入りを表すエネルギーソース項 S は以下のように表せる。

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{bf} + S_{br} + S_{nl4} + S_{nl3} \quad (3)$$

ここに、 S_{in} は風から波へのエネルギー輸送項、 S_{in} は白波によるエネルギー散逸項、 S_{bf} は底面摩擦によるエネルギー散逸項、 S_{br} は砕波によるエネルギー散逸項、 S_{nl4} は 4 波共鳴による非線形相互作用、 S_{nl3} は 3 波共鳴による非線形相互作用を表す。

本研究では SWAN による波浪推算において、波浪の発達海流等の流れの影響は考慮しておらず、すべて風によるものとした。波浪推算の計算フローチャートを Fig.4 に示す。

SWAN により推算された有義波高をナウファスによる観測値と比較した。ナウファス(全国港湾海洋波浪情報網: NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave

information network for Ports and HarbourS)とは、国土交通省港湾局、各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局、国土技術政策総合研究所および独立行政法人港湾空港技術研究所の相互協力のもとに構築・運営されている我が国沿岸の波浪情報網である。港湾空港技術研究所は、1970 年以降継続して、ナウファス波浪観測データの集中処理・解析を担務しており、2009 年 11 月現在において、69 観測地点(波高・周期 69 地点、波向 58 地点)で観測された全国沿岸の波浪情報は、リアルタイムで港湾空港技術研究所に収集されている。

Fig.4 Flow chart for calculation of wave by SWAN

SWAN による計算において、より精度の向上を目指すためにネスティングを用いた。計算領域は Fig2 の WRF で示した大領域(d01)と小領域(d02)と同じものである。格子間隔は d01 で 2km、d02 で 1km とした。d01、d02 ともに方向分割数は 36、計算対象周波数は 0.04Hz~1.0Hz までとし、周波数分割数は 30 とした。計算時間間隔は d01 で 15 分、d02 で 10 分とし、30 分毎の有義波高を出力した。

Table.2 にそれぞれの計算領域における計算条件を示す。

Table.2 Condition of calculation by SWAN

	d01	d02
Dimension	352x298	470x270
Mesh size	2(km)	1(km)
Time step	15(m)	10(m)
Start Time	2004-09-03-09:00:00	
End Time	2004-09-15-09:00:00	
number of frequencies	30(0.04Hz-1Hz)	30(0.04Hz-1Hz)
number of meshes in θ	36	36

Fig.5 Comparison of calculated and observed significant wave height

Fig.5 に御前崎、神戸、高知、志布志の有義波高の推算値と観測値の時系列の比較を示す。横軸は時間、縦軸は有義波高を示す。

高知では台風襲来時の波高のピークが過大に推算されているようである。本研究において最大の波浪の計算領域は d01 であり、d01 より外側の気象・海象の影響については考慮されていない。Fig.3 より高知における推算された風速について過大であるとは言えないことから、計算領域外の南方からの波浪の

影響があることが考えられる。

神戸については推算された風速について過大であったものの、神戸は内湾であり吹送距離が短く、風向の変化も大きかったため、台風接近時の波浪のピーク値に大きな差は見られなかったと考えられる。

いずれの地点においても観測値と推算値はよく一致し、概ね精度のよい波高の推算ができていると考えられる。

3. 航海シミュレーション

航海シミュレーションは、操縦運動数学モデル MMG を適用した⁷⁾⁸⁾。沿岸航海の場合は、地形等の影響により時間的・空間的に細かな気象・海象データが必要になると考えられるため、30 分毎に気象・海象のデータを更新し、航海シミュレーションを行った。

航海シミュレーションは、海上風の影響のみ、波浪の影響のみ、海上風と波浪の影響を考慮する場合、海上風と波浪の影響を受けない場合の 4 ケースに分け、それぞれの航跡を比較した。

Fig.6 に本研究で用いた MMG の空間固定座標と船体固定座標の関係を示す。

Fig.6 Coordinate system of ship maneuvering simulation

空間固定座標系を船体固定座標系に変換後の船体運動方程式は次式であらわされる

$$\begin{aligned}(m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr &= X \\ (m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur &= Y \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} &= N\end{aligned}\quad (3)$$

ここに m は船体の質量、 m_x は x 軸方向の付加質量、 m_y は y 軸方向の付加質量、 I_{zz} は z 軸回りの慣性モーメント、 J_{zz} は z 軸回りの付加慣性モーメント、 u 、 v 、 r はそれぞれ船速の x 方向成分・ y 方向成分・回頭

角速度、 X 、 Y 、 N は x 軸、 y 軸方向の力、重心回りの回頭モーメントである。

本研究のMMGでは船全体に働く流体力を、船体、プロペラ、舵、風、波などのそれぞれ単体に働く成分に分離して次式で表す。

$$\begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R + X_A + X_W \\ Y &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_A + Y_W \\ N &= N_H + N_P + N_R + N_A + N_W \end{aligned} \quad (4)$$

添え字の H 、 P 、 R 、 A 、 W はそれぞれ船体(Hull)、プロペラ(Propeller)、舵(Rudder)、風(Air)、波(Wave)を示している。

風による力 X_A 、 Y_A 、 N_A は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} X_A &= \frac{\rho_A}{2} V_A^2 A_T C_{XA}(\theta_A) \\ Y_A &= \frac{\rho_A}{2} V_A^2 A_L C_{YA}(\theta_A) \\ N_A &= \frac{\rho_A}{2} V_A^2 L A_L C_{NA}(\theta_A) \end{aligned} \quad (5)$$

ここに ρ_A は空気の密度、 θ は相対風向、 V_A は相対風速、 A_T は船体水線上正面投影面積、 A_L は船体水線上側面投影面積、 C_{XA} 、 C_{YA} 、 C_{NA} は風圧力係数である。本研究では対象船舶の風圧力係数の推定に藤原の式を用いた⁹⁾。

波浪による力 X_W 、 Y_W 、 N_W は次式のように表わされる。

$$\begin{aligned} X_W &= \rho g h^2 B^2 / \overline{LC_{XW}}(U_0, T_v, \chi - \psi_0) \\ Y_W &= \rho g h^2 B^2 / \overline{LC_{YW}}(\omega_0, \chi - \psi_0) \\ N_W &= \rho g h^2 B^2 / \overline{LC_{NW}}(\omega_0, \chi - \psi_0) \end{aligned} \quad (6)$$

ここに ρ は海水の密度、 g は重力加速度、 h は入射波の振幅、 $\overline{C_{XW}}$ 、 $\overline{C_{YW}}$ 、 $\overline{C_{NW}}$ は規則波中における波漂流係数を用いた短期予測の平均値、 T_v は平均波周期、 $\chi - \psi_0$ は相対的な波向きである。

波浪中の船体にかかる定常力 X_W 、 Y_W 、 N_W の推計はRIOSによる短期応答を用いて行った¹⁰⁾。RIOSとは実海域船舶性能研究イニシアティブ(The Research Initiative on Oceangoing Ships)の略称であり、大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻船舶海洋工学コースに設置された実海域での船舶性能の向上と、船舶性能の評価手法に関する研究開発拠点である。

MMGを用いた航海シミュレーションを行った対象船舶はSR108であり、主要目をTable.3に、線図をFig.7に示す。 L_{PP} は垂線間長、 L_{WL} は水線長、 B は幅、 d は喫水、 x_G は浮心位置座標、 C_b は方形係数、

Δ は排水量、 S は浸水面積、 D_p はプロペラ直径、 p はプロペラピッチ比、 H_R は舵スパン長、 B_R は舵コード長、 A_R は舵面積を表す。

Table.3 Principal properties of SR108

Symbol	ship
$L_{PP} (m)$	175.00
$L_{WL} (m)$	178.21
$B (m)$	25.40
$d (m)$	9.50
$x_G (m)$	-2.545
C_b	0.572
$\Delta (ton)$	24,801
$S (m^2)$	5,499
$D_p (m)$	6.507
p	0.7348
$H_R (m)$	7.70
$B_R (m)$	4.215
$A_R (m^2)$	32.46

Fig.7 Body lines of SR108

本船はコンテナ船であり、平水中での速力を24.3 kt ($F_n=0.3$)とした。計画航路はFig.8に示す神津島から鹿児島西沖までを直線で結んだものとし、その東航、西航の航海シミュレーションを行った。また、Fig.8の図中に風及び波浪の数値計算及び観測結果の比較を行った位置を記した。いずれも出発時刻はFig.1の中央の図に示す通り、台風が九州西岸に接近した9月7日午前0時とし、航海時間18時間の航海シミュレーションを行った。

なお、オートパイロットとして次式に示す一次遅れの制御を行った。

$$\delta^* = \delta + T_e \frac{d\delta}{dt} \quad (7)$$

δ^* は指令舵角、 δ は舵角、 T_e は操舵機の時定数を表す。

指令舵角 δ^* は次式に表される。

$$\delta^* = C_1 \psi - C_2 r \quad (8)$$

ψ は指令針路と実針路の針路偏差、 r は旋回角速度である。本研究において、 T_E は 2.5、 C_1 は 1.5、 C_2 は 8.0 と設定した。

Fig.9 に航海シミュレーション開始 11 時間後の有義波高及び風向の分布を示す。波高は色の濃淡で表わし、黒い部分が高波高域である。矢印は風向を表す。Fig.10 に同時刻の波向の分布を示す。図中の色の濃淡は Fig.9 と同様に波高分布を示し、矢印が波向である。台風域内に高波高域があり、また台風周辺の海上風は反時計回りの流れが、また航路上には南の強風が連吹していて、波浪および風が十分シミュレーションされている。同時に風の分布に従って波高も同様の分布を示している。

Fig.8 Course line of navigational simulation

Fig.9 Distribution of calculated wind

Fig.10 Distribution of calculated wave

航海シミュレーションにおいて東向き航路における船位を Fig.11、西向き航路における船位を Fig.12 に示す。

Fig.11 Comparison of wind and wave effect (East course)

Fig.12 Comparison of wind and wave effect (West course)

出発地点を原点とした x-y 座標を取り、航跡をメートルで表した。上図は全航跡を、下図は風及び波浪の影響の比較が容易にできるように上図の四角枠

内の拡大した航跡を示す。横軸及び縦軸は船舶の横流れ量が長さ単位で比較可能なように距離(m)で表示した。図中、実線(no)は風及び波浪の影響のない場合、点線(wind)は風のみ、一点鎖線(wave)は波浪のみ、破線(wind-wave)は風及び波浪の両方の影響による航跡を示す。

本航路では、航海中に相対方位で船体の横方向に風及び波浪が影響しているので、風下側に横流れが生じている。風及び波浪の影響を比較すると風よりも波浪のほうが船舶に与える影響が大きい。従って航海距離に関して、風と波浪の両者の影響による航程は風よりも波浪の影響のほうが顕著であるため、波浪のみの影響と同程度の航海距離となっている。

東航が西航と比べ、後方からの波向きであるにもかかわらず、東航の航行距離が西航に比べ短いのは、東航は航海の初期段階において、台風による高波高域を通過しており、西航に比べて波高の高い海域をより長く航行しているためと考えられる。

航路を東航及び西航するいずれの場合においても、風及び波の影響が十分にシミュレーションできている。

4. まとめ

航行船舶への気象・海象の影響について航海シミュレーションを用いて調査した。航海シミュレーションは日本の太平洋側沿岸で行った。航海シミュレーションは風のみ、波浪のみ、および風と波浪の組み合わせの影響について調査した結果、以下の通りの主要な結論を得た。

- (1) 台風襲来時の荒天時においてメソ気象モデル WRF を用いた正確な海上風の数値シミュレーションが可能となった。
- (2) WRF で数値計算された海上風を用いた波浪の数値シミュレーションが可能となった。第 3 世代波浪推算モデル SWAN を用いた正確な波浪の推算が可能となった。
- (3) 再現した気象・海象場に MMG による航海シミュレーションを組み合わせることで、風・波を考慮した船位の推定が可能となった。
- (4) 本シミュレーション結果では、航行船舶に対して風よりも波浪の影響のほうが顕著である。
- (5) 本研究で太平洋沿岸のような沿岸域での航海シミュレーションを実施することが可能となったので、内航船舶の航海に適用することが可能となった。

本研究の今後の発展として海流の数値シミュレ

ーションも加え、実船実験による風、波浪及び海流の影響について調査し、本航海シミュレーションとの定量的比較を予定している。

本研究は平成 20 年に文部科学省で採択された運営費交付金特別教育研究推進「輸送の三原則を考慮した国際海上輸送システム創出の研究」の一環として実施されたことを付記する。

参考文献

- (1) 夏海波, 塩谷茂明, 万田敦昌, 小林英一, 若林伸和: 潮流シミュレーションを用いた航海への潮流の影響の調査について, 日本航海学会論文集, 第 116 号, pp.61-67, 2007
- (2) 夏海波, 塩谷茂明, 大澤輝夫, 小林英一: 海上風の数値予測と風圧影響下の航海シミュレーション, 日本航海学会論文集, 第 117 号, pp.151-158, 2007
- (3) 塩谷茂明, 小林英一, 大澤輝夫, 牧野秀成: 波浪の数値シミュレーションを考慮した数値ナビゲーションについて, 日本航海学会論文集, 第 122 号, pp.243-251, 2010
- (4) 塩谷茂明, 陳瀚, 大澤輝夫, 小林英一: 海上風と潮流の数値予測を考慮した航海シミュレーション, 日本航海学会論文集, 第 123 号, pp.53-60, 2010
- (5) 間瀬肇, 勝井伸悟, 安田誠宏, Tracey H. Tom, 小川和幸: GFS-WRF-SWAN システムによる 3 シーズンの波浪予測とシステムの検証, 海洋開発論文集第 22 巻, pp.109-114, 2006
- (6) 新谷哲也: 気象モデル WRF を用いた湖上風の再現と波浪推算, 水工学論文集, 第 52 巻, pp.1237-1242, 2008
- (7) 小瀬邦治, 湯室彰擬規, 吉村康男: 操縦運動の数学モデルの具体化, 第 3 回操縦性シンポジウム, pp.28-81, 1981
- (8) 小川陽弘: 操縦運動の数学的モデルの基礎, 3 回操縦性シンポジウム, pp.9-26, 1981
- (9) 藤原敏文, 上野道雄, 二村正: 船体に働く風圧力の推定, 日本造船学会論文集 813 号, pp.77-90, 1998
- (10) 実海域船舶性能研究イニシアティブ RIOS ホームページ, <http://133.1.7.5/>

質疑応答

石田廣史 (神戸大学):

- (1) 風速シミュレーション値と実測風速を比較す

る際の基準高度はいくらですか。

- (2) 実測高度の不足を基準高度の風速に修正する
際、風速プロファイルモデルは何を用いましたか。

曾田泰介（神戸大学）：

御質問ありがとうございます。

- (1) 基準高度は地上 10m としました。
(2) 基準高度への風速の修正は対数則を用いました。

河合雅司（富山高等専門学校）：

波浪推算結果で、神戸では推算値と観測値がよく一致しているが、高知では少しずれていたとのことですが、その原因についてコメントさせていただきます。神戸は瀬戸内海にあり、うねりの影響は少ないですが、高知は外洋に面しておりうねりの影響を大きく受けます。うねりは海流の影響を受けてその波向きが偏向しますが、この海流によるうねりの伝播方向の変化を考慮していないために高知で推算値と計算値がずれているのではないかと思います。

曾田泰介（神戸大学）：

貴重なコメントありがとうございます。

本研究では海流の影響を考慮しておらず、御指摘の通りうねり・海流間の作用は考慮すべき問題であると考えます。また、海流の向きと風向の関係で波浪の発達状況は異なってくることからも外洋に面した海域での波浪推算に海流の影響は重要であると考えます。この点については、今後の発展問題としてとらえ、海流の影響を考慮したいと考えています。