

MM5の推算海上風に基づいた大阪湾における 波浪推算精度向上の検討

STUDY ON ACCURACY IMPROVEMENT OF WAVE HINDCASTING BY
UTILIZING MM5-CALCULATED WINDS IN OSAKA BAY

佐々木暢彦¹・鈴木勝之²・仲井圭二³・峯村浩治⁴

Nobuhiko SASAKI, Katsuyuki SUZUYAMA, Keiji NAKAI and Koji MINEMURA

¹非会員 近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所 (〒651-0082 神戸市中央区小野浜町7-30)

²非会員 工修 株式会社 エコー (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

³正会員 理修 株式会社 エコー (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

⁴非会員 工修 株式会社 エコー (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

Accurate sea-wind data are indispensable for improvement of accuracy of wave hindcasting. However, it is very difficult to obtain accurate sea-wind data around inner bay area for a long term even today. In this paper, we suggest a practical method for estimating accurate sea-winds in inner bay area easily without spending heavy calculation load, i.e., a simple method by using available weather chart data set together with data calculated with meso-scale meteorological model (MM5). For the purpose of examining its applicability and accuracy, we applied it to Osaka bay. The results show the improvement of wave hindcasting accuracy by using the proposed method.

Key Words : MM5, kriging, wave hindcasting, WAM

1. はじめに

例えば設計波の算定を目的とした波浪推算には長期間の高精度な海上風が必要になる。しかしながら、現在でも内湾域での長期間にわたる高精度な海上風を入手することは極めて困難である。ECMWF や NCEP から提供される海上風は、地形近似が $2.5^{\circ} \sim 1.125^{\circ}$ (緯度方向に約 275km~124km) と、内湾域での波浪推算へ適用するには空間的に粗い。また、気象庁から提供されている GPV (10km または 20km 格子) は 2001 年以後からに限り、期間が短いという問題がある。さらに、近年 MM5 等の気象モデルが実務に供され、1km 程度の地形近似で高精度な海上風推算が可能となつてはいるが、長期間のデータセットを得るための膨大な計算負荷が問題になる。そこで本研究は、すでに利用可能なデータセットと気象モデルを併用することで、内湾域において計算負荷が少なく、簡易的に高精度な海上風を得る方法を提案し、内湾域での波浪推算精度の向上に資することを目的とする。

2. 簡易的で高精度な海上風の推算方法

一般的な海上風すなわち海面上 10m 高度の風推算には、天気図と台風モデルを併用し、傾度風から

海上風を推定する方法が用いられてきた (以降、従来風)。外洋を対象にした波浪推算ではこの従来風を用いることが多い。しかし、従来風では陸岸地形の影響を考慮できないことから、大阪湾のように地形の影響を受けた風が吹く海域ではそのまま用いることに問題がある。本研究では従来風を補正することで、簡易的に陸岸地形の影響が考慮された高精度な海上風を得る方法を提案する (以降、簡易方法)。既往研究¹⁾では GPV を用いた従来風の補正方法が提案されているが、本研究では気象モデル (MM5) を用いることで、波浪推算時の地形近似と同程度 (1km 程度) の地形近似精度で海上風を得ることが可能になる。簡易方法では以下に示す 4 段階の手順を経て高精度な海上風が得られる。

第一段階は MM5 を用いた海上風推算である。近年、気象の客観解析値を与条件として気象学的視点から 3 次元的な気象場そのものを解く気象モデルが工学分野にも応用され始めている。この気象モデルを用いることで、1km 程度の地形近似で、大阪湾のような陸岸地形の影響が顕著な海域でも高精度な海上風推算が可能となる (以降、MM5 風)。第二段階は MM5 風の検証である。MM5 によって空間的に高精度な海上風が得られるが、地形近似等の限界から大阪湾全域で適切な海上風推算を行うことは難しい。そこで対象海域における MM5 風の推算精度を観測風により検証する必要がある。第三段階は

第二段階の結果を基に MM5 風を空間的に補正する。観測風に基づいて MM5 風を空間的に補正することで、対象海域の風特性をより再現した観測風相当の海上風が得られる（以降、補正 MM5 風）。第四段階は補正 MM5 風を用いて従来風を補正する。格子点毎に補正 MM5 風と従来風の比較を行うことで、空間的に回帰式を求めることができる。この空間的な回帰式を用いて従来風を補正することで、補正 MM5 風相当の海上風を得ることが可能になる。この補正された従来風（以降、補正従来風）が簡易的方法で作成される高精度な海上風である。

3. 利用可能なデータベース

一般的に従来風推算時の入力データとなるのが天気図データベースである。天気図データベースは 1 日 4 時刻（3 時、9 時、15 時、21 時）のアジア太平洋天気図中の等圧線を、デジタイザーを用いて読み込み、スプライン補間により平面的な気圧データにしたものである。天気図データベースは様々な波浪推算関連調査時に作成され、1950 年以降に日本周辺で発生した主な気象擾乱について蓄積・整備されている。本研究は、既に整備されている天気図データベースを有効活用し、高精度な海上風を得ることを目的とする。図-1 に天気図データベースの気圧データの一例を示す。

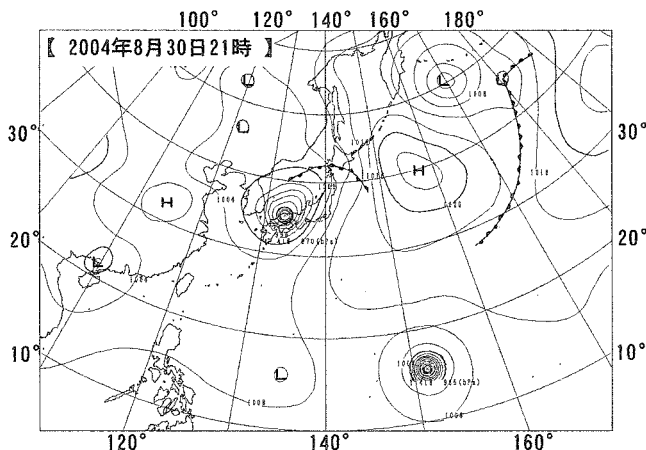


図-1 天気図データベースの一例

4. MM5 による海上風推算

(1) MM5 の計算領域

内湾域の波浪推算は $1/64^\circ$ （緯度方向に約 1.7km）程度の地形近似が望ましい。したがって、海上風推算も同程度の地形近似を有することが求められる。本研究では 1.5km の地形近似で MM5 による海上風推算を行う。図-2 に MM5 の計算領域を示す。MM5 の計算では、ネスティングにより大領域から小領域へと地形の近似精度を上げながら計算を接続した。第 3 領域（格子間隔 1.5km）が大阪湾

領域となる。また、初期・境界条件となるデータセットには GPV（Grid Point Value）から RSM（領域客観解析データ：格子間隔 20km，時間間隔 6 時間）および MSM（メソ客観解析データ：格子間隔 10km，時間間隔 6 時間）と呼ばれるものを用い、台風ポーガスは考慮しない。

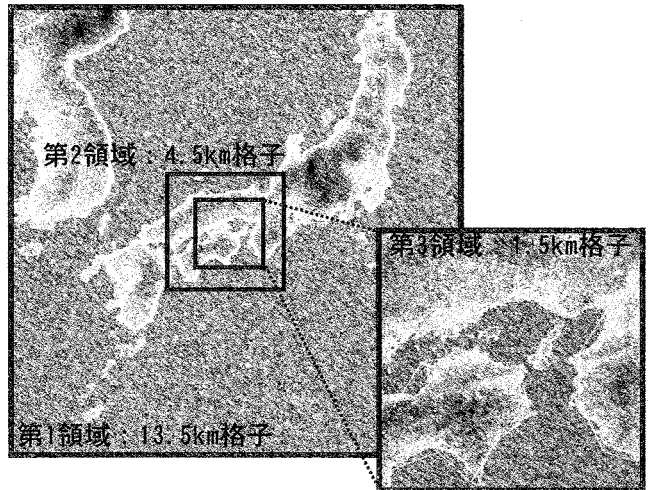


図-2 MM5 の計算領域

(2) MM5 風の検証

初期・境界条件のデータセットである GPV の提供期間が 2001 年以降と短期間であることや、計算負荷が膨大となることから、MM5 による海上風推算を、設計波の算定時のように、過去 50 数年の数百個にのぼる気象擾乱を対象に行うことは現実的に不可能である。そこで本研究では、大阪湾と播磨灘において 2001 年以降に高波をもたらした代表 29 擾乱を対象に MM5 による海上風推算を行う。代表擾乱は、大阪湾と播磨灘で高波が発生する気象要因（台風、移動性低気圧、冬型気圧配置等）を含むよう選定を行った。MM5 により推算された海上風は観測風を用いて精度の検証を行う。図-3 に大阪湾と播磨灘の風観測地点を示す。図中のその他の地点はアメダス等の地点を表す。

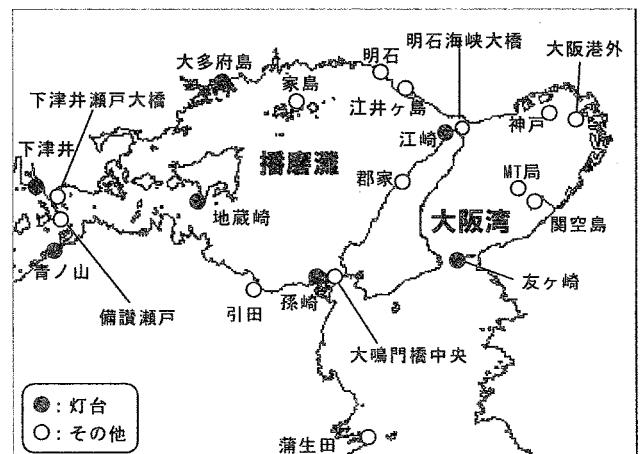


図-3 大阪湾と播磨灘の風観測地点

図-4 は、大阪湾内の MT 局、大阪湾と播磨灘の境に位置する明石海峡大橋と大鳴門橋中央、播磨灘西端の下津井瀬戸大橋における MM5 風速と観測風速の比較例である。観測風速は 1/7 乗則を用いて海上 10m 高度の風速に換算している。図より、MM5 風速は観測風速を概ね良好に再現している。ただし、大鳴門橋中央のように、地点によっては MM5 風速が観測風速を過大もしくは過小に推算する傾向が見られた。海域毎に見ると、大阪湾では MT 局と同様に MM5 風速が過小傾向となり、播磨灘北岸および播磨灘西端では明石海峡大橋および下津井瀬戸大橋と同様に MM5 風速は観測風速を良好に再現する。さらに播磨灘南岸では、大鳴門橋中央と同様に MM5 風速が過大傾向となる。紙面の都合上割愛するが、時系列による比較結果からは、時間変化傾向は一致するものの擾乱によっては特に風速の再現性が低下する場合が見られた。

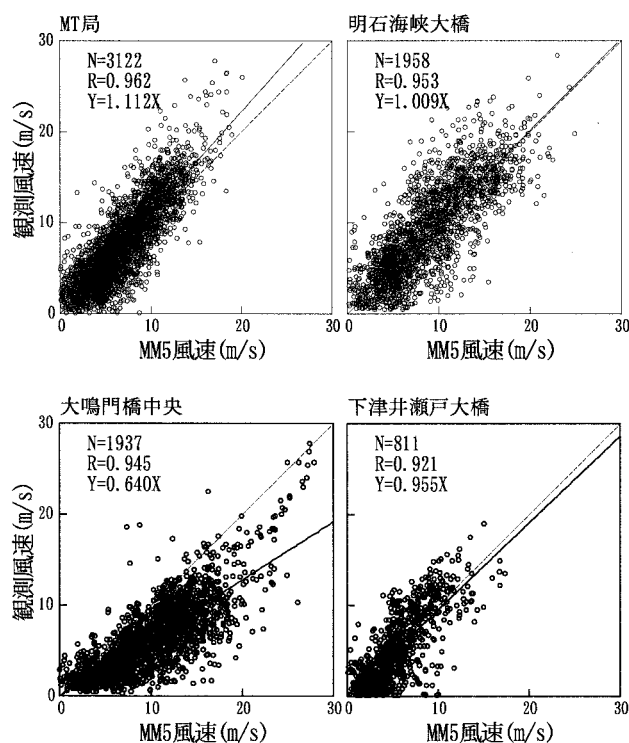


図-4 MM5 風速と観測風速の比較結果の一例

(3) MM5 風の補正

MM5 風の検証結果を用いて MM5 風を観測風に基づき空間補正することで、平面的に観測風相当の海上風を得ることができる。ただし、図-4 で示したように、MM5 風の推算精度は海域毎に異なる。例えば、大鳴門橋中央では MM5 風速に応じて MM5 風と観測風の関係が異なり、MM5 風速が 15m/s 以下では回帰直線と同じ傾向を示すが、15m/s 以上では 1:1 に近づく傾向がある。これは各海域の卓越風向に対する MM5 風の推算精度に原因があると推察される。そこで本研究では、図-5 に示す 4 方向の風系別の解析結果を基に MM5 風を空間補正する方法を採用した。

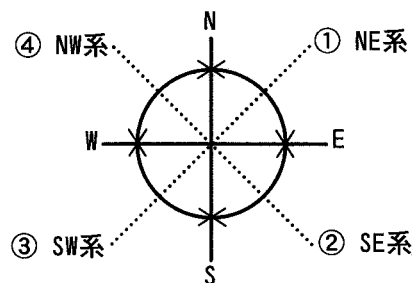


図-5 4 風系の定義

a) 風系別の補正係数の検討

MM5 風の空間補正の基データとなる回帰式は、風観測地点毎に行う MM5 風と観測風の風系別相関解析より得られる。図-6 に MT 局について例示する。MT 局では特に SE 系と SW 系で顕著だが、通常時（白丸に対応）と強風時（黒丸に対応）で観測風速と MM5 風速の関係に変化が見られる。図中左上に通常時の回帰式（細線： $Y=aX$ ），右下に強風時の回帰式（太線： $Y=bX+c$ ）を表す。図中の点線丸枠は強風時（MM5 風速、観測風速いずれも 10m/s 以上）のデータを表すが、強風時のデータの補正に全データまたは通常時から得られる回帰式を適用すると、観測風速に対して MM5 風速を過小補正してしまう。したがって、強風時の傾向が明らかに異なる場合は、観測された強風を適切に再現できる強風時の回帰式を用いて MM5 風の補正を行う。

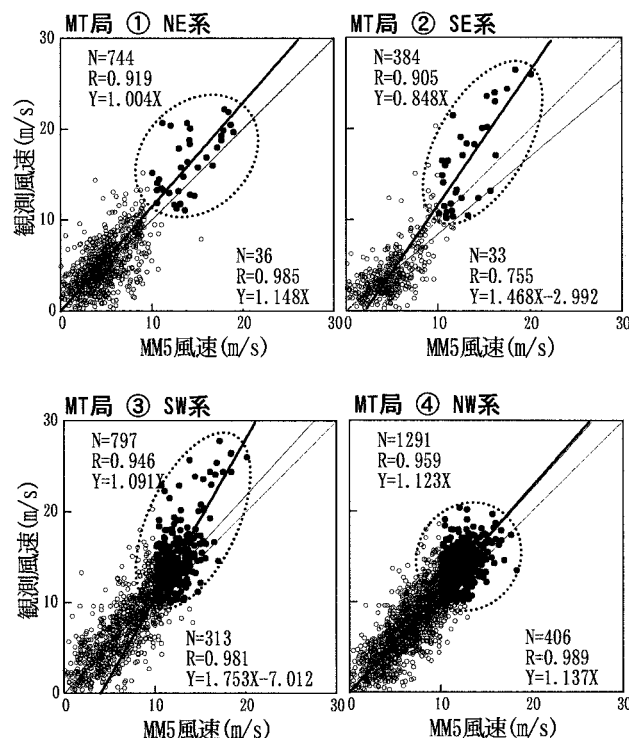


図-6 回帰式の設定方法の一例

b) クリギングによる回帰係数の空間補間

図-6 で示した風系別の相関解析結果は風観測地点毎に点情報として得られる。これを空間的な情報

にするため、風観測地点毎に得られる回帰式を空間内挿し、任意の格子点における回帰式を求める必要がある。本研究では回帰式の空間内挿にクリギングという方法を用いた。クリギングは、離散的な情報から連続的に広がる空間の様子を予測復元する処理方法であり、地質分野や環境科学等で広く応用されている。図-7 に SE 系風向に対する回帰係数の空間分布を例示する。図中の白丸は風観測地点の位置を表す。3 種類の空間分布図は、上段図が通常時の回帰係数（傾き a）、中段および下段図が強風時の回帰係数（傾き b、切片 c）を表す。

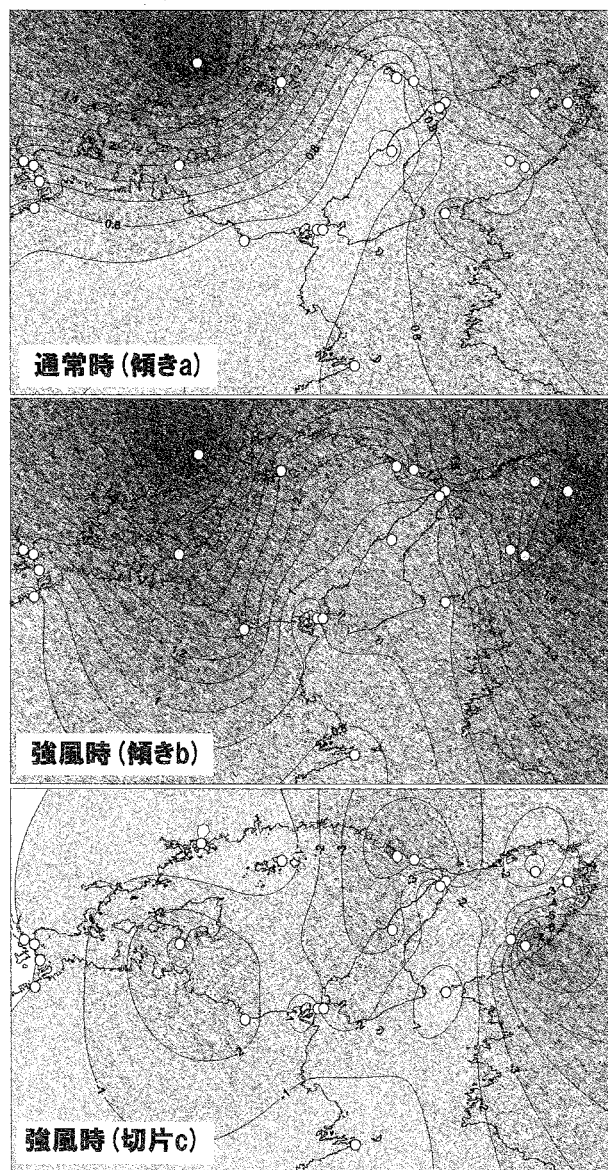


図-7 クリギングによる回帰係数の空間分布の一例

本研究ではクリギングを用いたが、一般的な空間補間法の一つにスプライン補間がある。図-8 は台風擾乱のみを対象として、クリギングとスプラインを用い、回帰係数の空間補間を行った結果の比較例である。2 つの補間結果の全体の傾向は概ね一致するが、紀伊水道の周辺で等値線の形状に相違が見られる。クリギングでは回帰係数 0.5 の舌状の等値線

が現れ、播磨灘西端の境界付近でも滑らかな分布を与える。これに対しスプラインでは、観測地点が希薄な海域で観測点の情報が局所的に反映される傾向が見られる。ただし本研究では、クリギングとスプラインのどちらが適切な空間補間法なのか、客観的な解析までには至っていない。

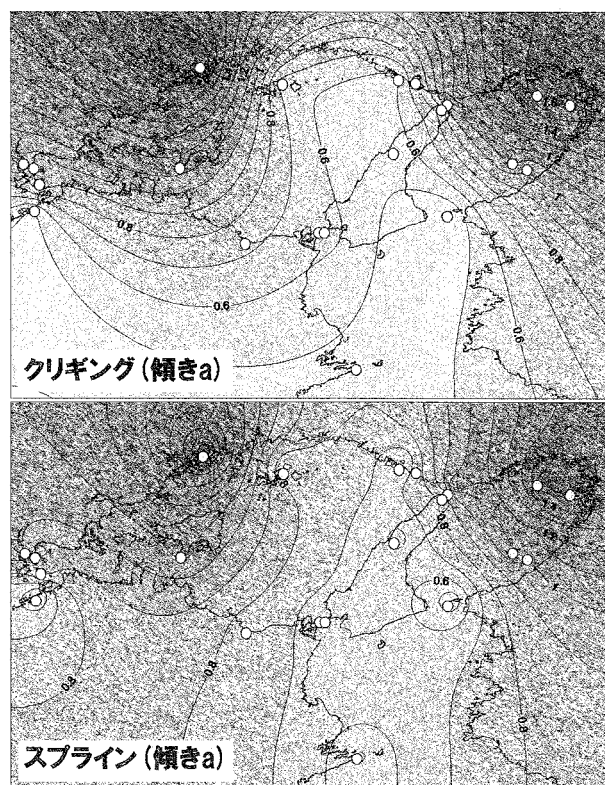


図-8 クリギングとスプライン補間の空間分布の比較

(c) 補正 MM5 風の検証

図-9 は、図-4 で若干再現性の悪かった 2 地点について補正 MM5 風速と観測風速の比較結果を示す。当然ではあるが、補正 MM5 風速は観測風速を精度良く再現する結果となる。これらの結果から、平面的に観測風相当の海上風を得ることができる。

ここまでは MM5 風速の補正について述べてきたが、風向については MM5 風向と観測風向がほぼ一致することが確認できたことから、補正は行わず、MM5 風向をそのまま用いることとした。

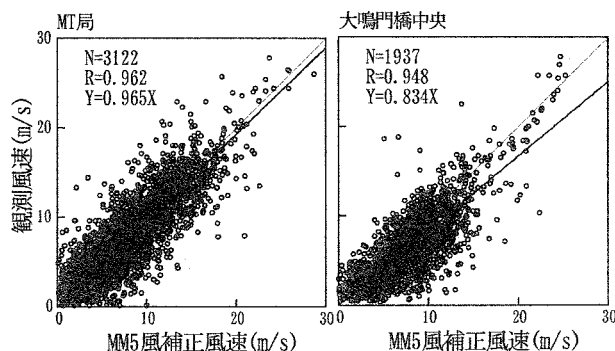


図-9 補正 MM5 風速と観測風速の比較結果の一例

5. 従来風の補正（補正従来風の作成）

(1) 補正 MM5 風と従来風の比較

図-10 は、従来風の風系別に補正 MM5 風速と従来風速を比較した例である。MT 局に対応する格子点では従来風速は補正 MM5 風速より 4 風系全てで大きい傾向となる。これは、従来風が陸岸の影響を考慮できない海上風であることが原因と推察される。他の格子点でも図と概ね同様な傾向が確認できた。したがって本研究では、格子点毎に、従来風と補正 MM5 風の間係を 1 次回帰式で近似し、この結果を用いて従来風速を風系別に空間的に補正する。

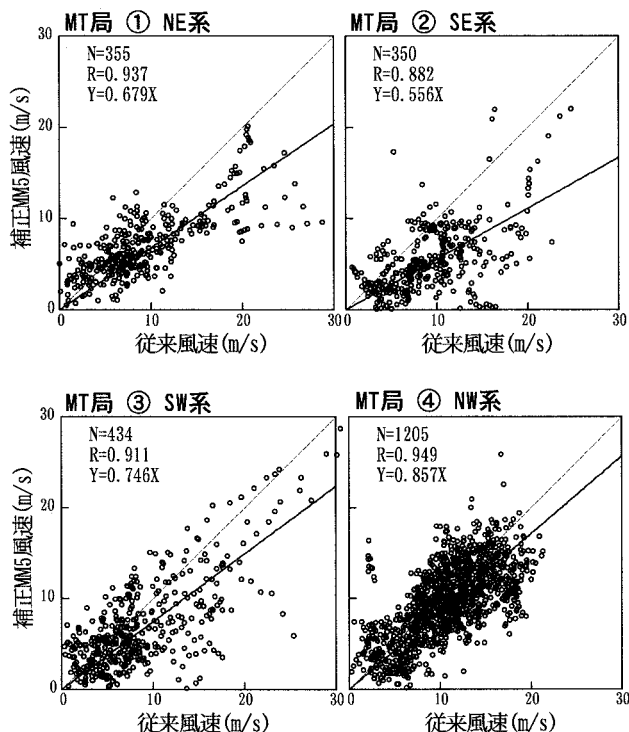


図-10 補正 MM5 風速と従来風速の比較結果の一例

(2) 風向の比較

図-11 は、観測風向に対する従来風と MM5 風の風向差の比較例である。風向表現は 32 方位、すなわち 1 方位を 11.25° で表す。MT 局に対応する格子点では従来風の風向は観測風向より平均的に時計

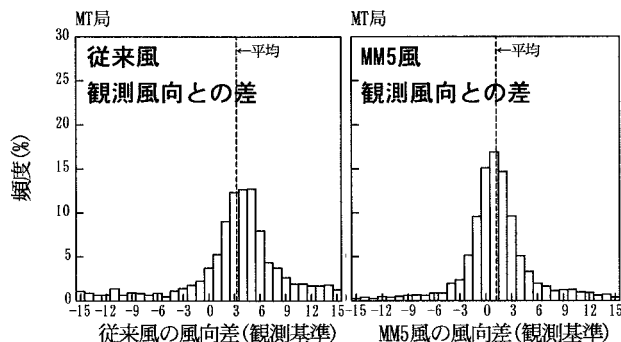


図-11 観測風向に対する従来風と MM5 風の風向差の比較結果の一例

回りに 3 方位程度ずれている。これに対し MM5 風向はほぼ観測風向と一致している。他の格子点でも図と概ね同様な傾向が確認できた。従来風では陸岸地形の影響が考慮できないため、風向についても観測風向とのずれが大きい。そこで格子点毎に求まる MM5 風向と従来風向の風向差を用いて従来風向を空間的に補正する。

(3) 補正 MM5 風を用いた従来風の補正

補正 MM5 風の風速と風向に基づいた従来風の補正結果を示す。図-12 は、観測風相当の海上風である補正 MM5 風と従来風および補正従来風の風速と風向の比較例である。上段右図より、補正従来風速は補正 MM5 風速を概ね良好に再現している。また、下段図の風向差の比較結果から、従来風向と MM5 風向は 30° 程度ずれているものの、補正従来風向はほぼ MM5 風向に補正されている。他の格子点でも図と概ね同様な補正結果が得られた。以上の結果から、従来風から補正 MM5 風相当の海上風（補正従来風）を得ることができる。

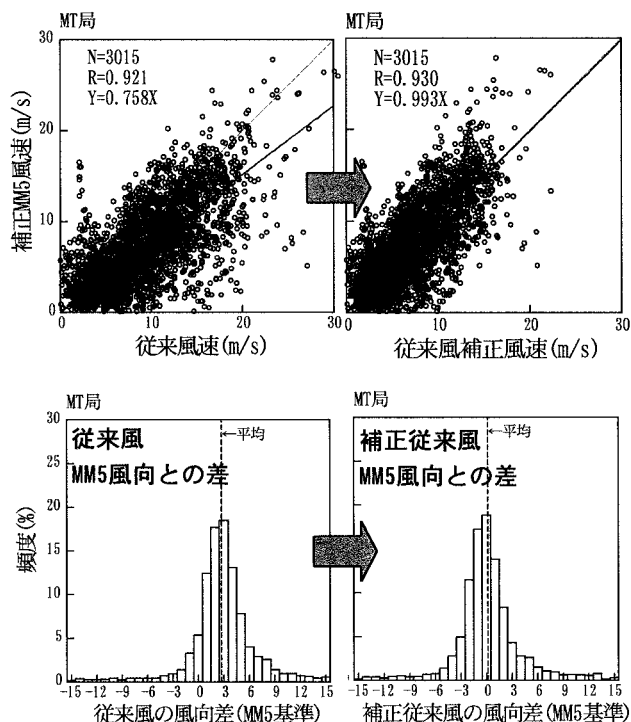


図-12 補正 MM5 風の風速と風向に対する従来風と補正従来風の風速と風向の比較結果の一例

6. 波浪推算

(1) 計算領域と計算条件

波浪推算ではネスグリッドにより大領域から小領域へと地形の近似精度を上げながら計算を接続する。本研究では図-13 に示すように日本列島を中心とする北緯 $15^\circ \sim 55^\circ$ 、東経 $115^\circ \sim 152^\circ$ の範囲を大領域とし、中領域（西日本）、小領域（近畿）およ

び大阪湾領域を設定した。大阪湾領域では緯度方向に約 1.7km ($1/64^\circ$) 格子を使用することで精度良い推算を実施した。ただし、各領域とも水深は考慮していない。なお本研究では、風から波へのエネルギー輸送量の計算には WAM Cycle3 で採用された Wu の式を、また単位時間当たりのエネルギーの増分に上限を設けるリミターと呼ばれるパラメータには、Hersbach and Janssen²⁾により提案されたりミターを用いた。波浪推算時の外力条件としては、大領域から小領域では従来風を、大阪湾領域では補正従来風を用いた。

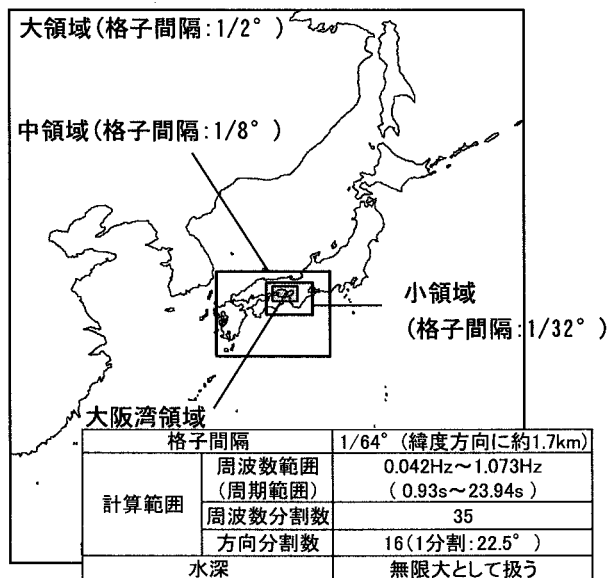


図-13 WAM の計算領域

(2) 波浪推算精度の検証

図-14 は、代表 2 擾乱を対象にした観測風と補正従来風、観測波浪と波浪推算値の比較例である。図より、風、波ともに推算値は観測値を概ね良好に再現している。ただし点線丸枠で示すように、台風擾乱時の波高ピーク時刻付近で推算値が観測値を過小評価する傾向が見られる。他の地点でも幾つかの台風で同様な傾向が見られた。この風速ピーク時の推算精度の問題は、本研究の MM5 に台風ボーガス considering していないことが原因と推察される。

図-15 は 166 擾乱を対象にした波浪推算を行い、擾乱期間中の最大有義波高と最大有義波周期を用いて推算値と観測値を比較した結果である。点線丸枠で示すように、20 程度の擾乱で推算波高が観測波高を過大および過小評価する傾向が見られる。推算波高の過小評価の主な原因は上述した台風ボーガスの影響によるものと推察できる。しかし、過大評価の 7 擾乱については波浪推算時に波高の急激な発達が見られた。この 7 擾乱については補正従来風速の時系列を確認したところ、最大風速発生時付近で観測風速を若干過大評価するものの概ね良好な再現が得られていた。したがって、現段階ではこの波高の急激な発達原因については不明であり、今後検討を行っていく必要がある。

7. 結論

①クリギングを用いた空間的な補正方法を提案した。②補正従来風による波浪推算結果は、大阪湾内の波浪観測結果を概ね良好に再現できることを確認した。③補正従来風を用いた波浪推算では、台風擾乱時の波高ピーク時刻付近で推算値が観測値を過小評価する傾向が見られた。これは本研究の MM5 では台風ボーガスを考慮していないため、風速ピークの推算精度に問題があるためと推察される。今後このような問題を解決することで、より高精度な海上風の作成が可能になると考えられる。

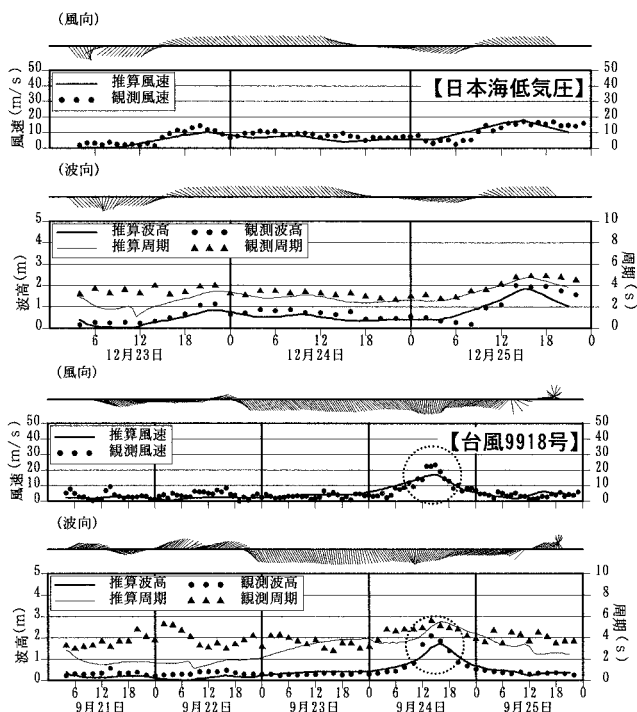


図-14 補正従来風による波浪推算結果の一例 (MT 局)

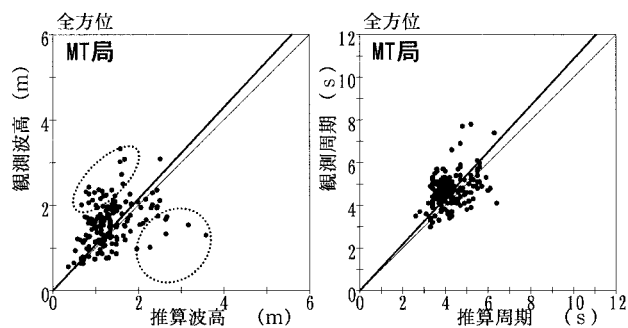


図-15 波浪推算値と観測値の比較 (MT 局)

参考文献

- 1) 仲井圭二, 鈴山勝之, 吉野真史, 大石剛史: 海上風観測値と気象庁 GPV を用いた有明海における波浪推算精度向上の検討, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp.219-224, 2007.
- 2) Hersbach, H. and P. A. E. M. Janssen (1999): Improvement of the short fetch behavior in the WAM model, J. Atmospheric and Oceanic Technology, 16, pp.884-892.