

設計波算定を目的とした波浪推算の精度向上に 関する基礎的検討

IMPROVEMENT OF WAVE HINDCAST ACCURACY FOR DESIGN WAVE

川口浩二¹・河合弘泰²・吉田秀樹³・村永 努⁴・惟住智昭⁴

Koji KAWAGUCHI, Hiroyasu KAWAI, Hideki YOSHIDA
Tsutomu MURANAGA and Tomoaki KOREZUMI

¹正会員 博 (工) (独) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

²正会員 修 (工) (独) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 工修 前 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 所長
(〒750-0066 山口県下関市東大和町2-29-1)

⁴国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 調査課
(〒750-0066 山口県下関市東大和町2-29-1)

This study examined hindcast accuracy on numerical models of wind and waves during typhoons. By using meteorological objective analysis data GPV provided from Japan Meteorological Agency (JMA), the mesoscale model MM5 with typhoon bogus and data assimilation and 3rd generation wave model WAM, we estimated the wind and waves with high accuracy as compared to a parametric model such as 2D-typhoon model. Additionally, we obtained similar result by using GPV provided from National Centers for Environmental Prediction (NCEP) with a coarser spatial resolution than JMA's GPV though there were some problems to be solved. So the estimation model of wind and waves in this study is applied to hindcast high waves needed for computation of design wave.

Key Words : MM5, typhoon bogus, data assimilation, GPV, WAM, wave hindcast, design wave

1. はじめに

1999年の台風18号では周防灘において、さらに2004年には台風の上陸が相次ぎ、全国的に高波による被害を受けた。高波による被災を検討する際には、被災時の来襲波浪を把握することが必要不可欠であり、その際、波浪観測データは有益な情報である。しかしながら、必ずしも対象海域に波浪観測点が存在するとは限らず、また、仮に存在していたとしても種々の要因によって波浪データが測得できていない場合がある。このような場合、波浪のシミュレーション(波浪推算)が実施される。波浪推算の精度は与える海上風の精度に大きく依存することはよく知られているが、実務ではその簡便さからパラメトリックな台風モデルをベースに海上風を求めることが多く、海上風の精度的な制約から波浪の推算精度が十分でない場合も少なくなかった。

近年、海岸工学の分野においても、気象庁等から提供される気象の客観解析値(以下では気象GPVと記す)を初期値・境界値とした数値モデル(局地気象モデル)によって気象場そのものを計算することが可能となっており、気象モデルによって推

算される気象場を用いることで精度の高い波浪や高潮の推算が可能になると報告されている¹⁾²⁾。このように今後は港湾構造物の沖波算定などの実務分野においてもパラメトリックな台風モデルでなく、気象モデルで推算される気象場を入力値として波浪推算を実施する日が近い将来来るであろう。

本研究は九州北東部に位置する周防灘において高波を発生させた気象擾乱(台風)を対象に、気象GPVを入力値として気象モデルによる風場の推算を行った。ついで、得られた風場を用いて第三世代波浪推算モデルWAMによる波浪推算を実施し、同海域における波浪の推算精度を検討した。さらに、実務で設計波算定を行う際には過去数十年程度の気象擾乱を対象とする必要があるが、本研究でも使用している気象庁から提供されている気象GPV(以下では気象庁GPVと記す)は近々十年程度しか整備されていないため、過去数十年を対象とした波浪推算は出来ない。そのため、設計波算定を念頭に置き、過去50年程度の長期間のデータが整備されている気象GPV(以下では広域気象GPVと記す)を用いた計算も同様に行い、それら広域気象GPVデータの活用可能性についても検討した。

2. 台風時の風場推算

(1) 対象地域および対象台風

本調査は九州周防灘を対象地域（図-1）とし、風および波浪場の精度検証は同地域内の観測値を用いた。図-1 に示すように同地域には多くの気象・海象の観測点があるが、波浪に関しては荻田港を、気象に関しては波浪推算には海上風が重要であること、AMeDAS 観測地点は周辺の陸上地点の影響を大きく受けている可能性が高いことなどから、沿岸部に近くほぼ海上風とみなせる荻田港および宇部空港の観測値を用いて検討した（表-1）。

本研究では気象庁から提供される気象庁 GPV を用いて気象場の計算を行うため、対象とする台風は気象庁 GPV が提供されている 1996 年以降とせざるを得ない。加えて、気象場（風場）の推算精度の検討という観点から言えば、出来る限り多くの気象観測地点での観測データが必要である。以上を踏まえ、ここでは表-2 に示す 5 つの台風を対象とした。なお、台風 9918 号については、荻田港 2 の風観測データが欠測していたため、荻田港 1 を用いている。

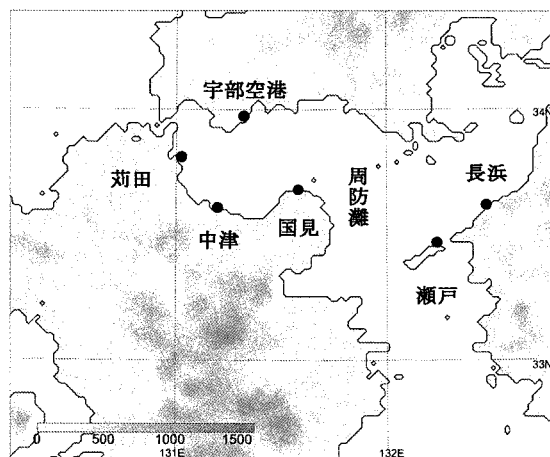


図-1 調査対象地域

表-1 各観測地点の諸元

	緯度	経度	観測要素	高度	提供者
荻田港1	33.815	131.000	風	30m	福岡県
荻田港2	33.797	131.079	風, 波浪	10m	旧運輸省
宇部空港	33.930	131.289	風	10m	宇部空港

表-2 対象台風と解析期間

台風事例	解析期間
台風9905号	1999年7月25日21時～7月27日21時
台風9918号	1999年9月22日03時～9月24日21時
台風0215号	2002年8月29日03時～8月31日21時
台風0416号	2004年8月27日03時～8月31日06時
台風0418号	2004年9月04日03時～9月07日21時

(2) 気象モデルによる台風時の風場推算

気象 GPV を入力値として気象モデルによる気象場の計算を行うが、本研究ではアメリカで開発され世界中に多くのユーザが存在する MM5 (The Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model) を用いた。なお、計算に際しては、台風ボーガスとデータ同化を考慮した。

a) 計算領域および計算条件

気象場の推算計算に用いた各計算領域を図-2 に示す。大領域は台風を含む環境場を覆い、台風の移動を、小領域は台風全体を含む領域を覆い、台風の内部構造を解像することを目的とした。なお、大領域と小領域は 2 Way-nesting を行った。

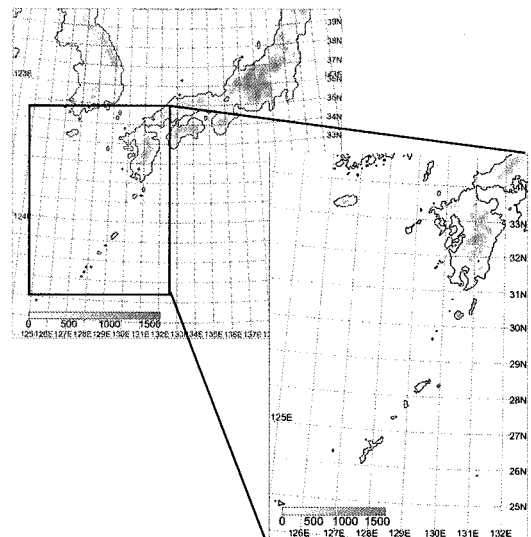


図-2 気象モデルの計算領域（大領域, 小領域）

b) 計算手順

気象場の計算に必要な気象 GPV には気象庁 GPV (RANAL) を用いたが、その時間・空間分解能は移動速度の速い台風を表現するには十分でないため（表-3）、まず初めにオリジナルの気象 GPV から時間・空間解像度を細かくした気象データを作成し、このデータに対して台風ボーガスを投入した。その後、この解析値を初期・境界値あるいは解析値として計算した。以下には気象モデルによる気象の計算手順とともに、そのフローを図-3 に示す。

ステップ1: オリジナルの気象庁 GPV から、時間解像度 3 時間、空間解像度 13.5km の気象データを作成。

ステップ2: ステップ1で作成した気象データに対して、気象庁発表の台風ベストトラックデータを基に台風ボーガスを投入。

ステップ3: ステップ2で作成した気象データを初期値・境界値として気象モデルによる計算。その際、次の時刻における気象データに近づくようデータ同化を実施。

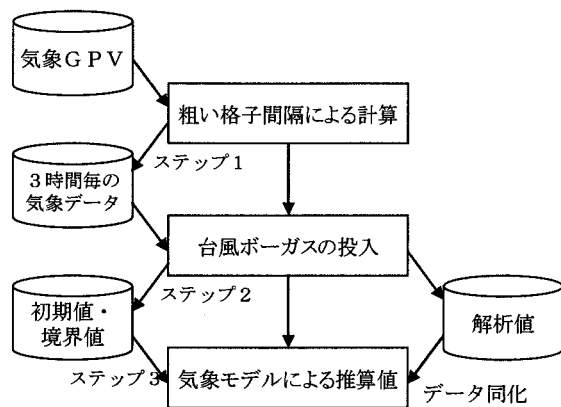


図-3 気象モデルによる計算手順

表-3 気象庁GPVの仕様

項目	内容
対象領域	アジア域
空間解像度	20 km × 20 km
時間解像度	12時間 (1996～2001年) 6時間 (2001年以降)
提供期間	1996年以降 (約10年)

c) 台風ボーガス

台風ボーガスとは、人工的に台風の3次元構造を気象の客観解析値に埋め込む手法であり、台風域を明確に表現することができる。ここでは、図-3のステップ1で作成される3時間毎の気象データに対して気象庁から提供される台風ベストトラックデータに基づいて台風ボーガスを投入した。本研究では気象庁ボーガスに準じたボーガスを投入している³⁾。

図-4 および 5 は、台風ボーガス投入前後の気圧と風速分布の平面分布および台風中心からの距離と風速・気圧の関係の一例を示したものである。これらの図から、風速は最大風速半径（約 80km 付近）で最も強く、台風ボーガス投入前で約 30m/s、投入後で約 40m/s となり、概ね約 10m/s 程度大きくなった。また、台風中心付近の気圧深度は、台風ボーガス投入前は 960hPa 強であったのに対し、投入後の気圧深度はベストトラックデータの気圧深度と同程度の 930hPa となり、投入前と比べて 30hPa 程度高くなった。さらに、投入前はなだらかな気圧分布であったものが、投入後は台風のシャープな構造が表現されていることが分かる。

図-6 は、台風 9918 号を例とした台風中心の気圧深度を示している。比較は、ベストトラックと共に、気象庁 GPV（ただし、ここでは予報値）、台風ボーガスなし・台風ボーガス投入で行った。計算の初期時刻は、周防灘に最も接近した時刻（9 月 24 日 8 時）の 35 時間前である 9 月 22 日 21 時とした。なお、ここでは、台風ボーガスの推算結果に対する影響を評価するため、後述のデータ同化は行わなかった。推算時間は 24 時間とし、台風ボーガスは

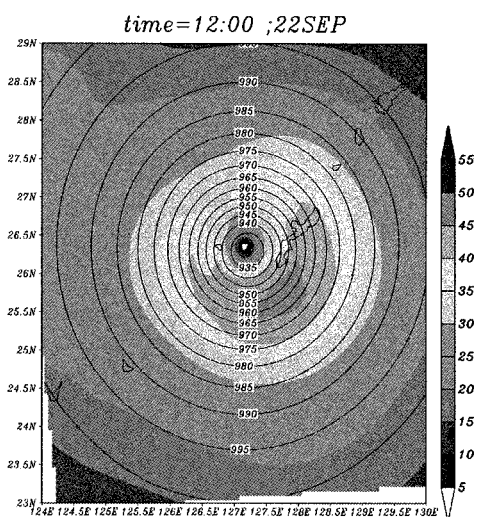
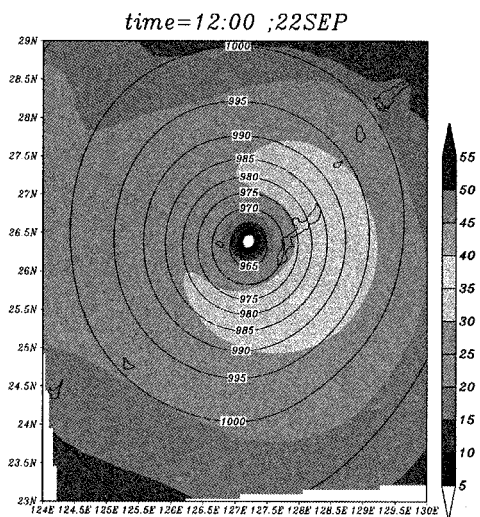


図-4 台風ボーガス投入前後の気圧・風速の分布（上；投入前，下；投入後）

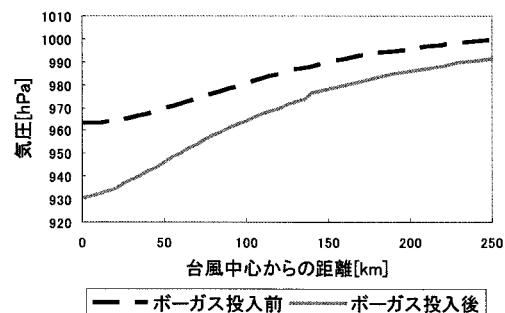
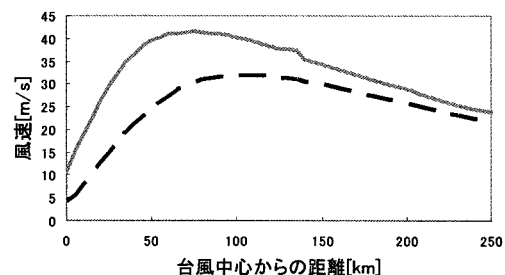


図-5 台風ボーガス投入前後の台風中心からの距離と風速・気圧の関係

推算時間内の解析値すべてに対して投入した。結果は、気象庁 GPV、台風ボーガスなしは、初期時刻において 30hPa 以上気圧深度が浅かったが、台風ボーガスを投入した場合は、初期時刻において気圧深度を再現できており、その直後、一旦減衰するものの推算期間を通してボーガス投入なしと比較してベストトラックに近い精度であった。

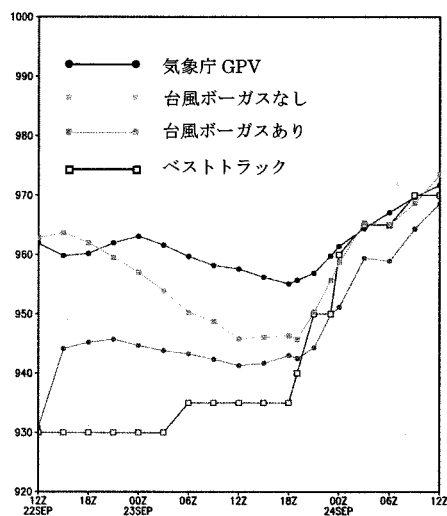


図-6 気圧深度の時系列

d) データ同化 (ナッジング)

データ同化とは、解析値や観測値の情報を数値予報モデルに同化し、より精度の高い推算を行う処理である。ナッジングはタイムステップ毎に解析値や観測値の持つ有効な情報を外力として与え、モデル予報値を修正する手法である。本手法を用いることで、今まで初期値・境界値のみに解析値の情報が反映されていたが、推算期間は外力として解析値の情報を反映させることができる。台風推算においては、解析値やベストトラックの情報を同化することで台風進路の誤差を小さくする効果が期待できる。

図-7 は、台風 9918 号を例にデータ同化を行った場合と行わなかった場合の台風進路を示したものである。なお、初期・境界値には台風ボーガスを投入した。その結果、図に示すようにデータ同化を行わなかった場合、周防灘周辺ではベストトラックから東に大きく外れ、100km 以上の誤差が生じていた。一方、データ同化を行った場合は、進路推算誤差は約 40km とデータ同化を行わなかった場合と比較して精度は向上していた。

e) 検討結果

図-8 は、台風 9918 号における荊田港の風場の時系列を示したものである。図には観測値および気象モデルの結果（台風ボーガスあり、なし）に加えて、気象庁 GPV および従来法（台風モデル+マスコンモデル）による結果も示している。観測値を見ると、台風通過前に最大風速を含むピーク、台風通過後にもピークを持つような 2 重のピークを持つ時系列となっている。また、従来法は台風通過後に大きな

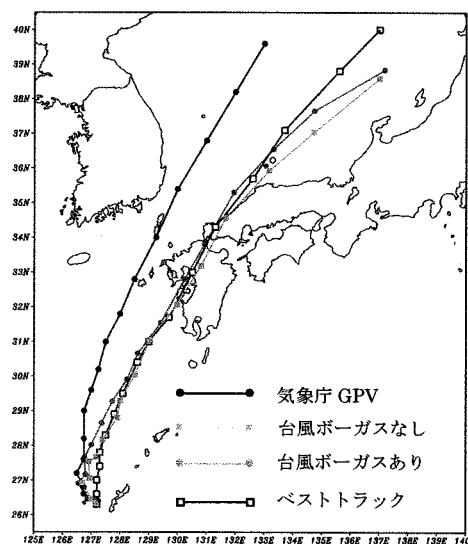


図-7 台風進路図

ピークを推算していたが、気象モデルの結果は観測値に見られるような台風通過前の大きなピークが再現されており、このような時系列変化を推算できたのは気象モデルのみである。また、台風ボーガスの効果については、考慮した方が考慮しない場合に比べ風速が大きくなり、観測値に近づく傾向であった。また、従来法は過小評価の傾向であるが、気象モデルでは風速の最大値がほぼ再現されている。一方、台風ボーガスなしの結果は風速の極大値の出現時刻が観測値と比較して遅かった。これは、気象モデルによる台風時の風場推算では、台風の進路推定誤差が大きいと風場の再現精度が悪くなることを示唆しているものと考えられる。最後に、気象庁 GPV は全体的に風速が小さく、風速の極大値の出現時刻が観測値と差がみられた。これは気象庁 GPV の空間分解能が粗いため、台風の進路推定誤差が大きかったためと考えられる。

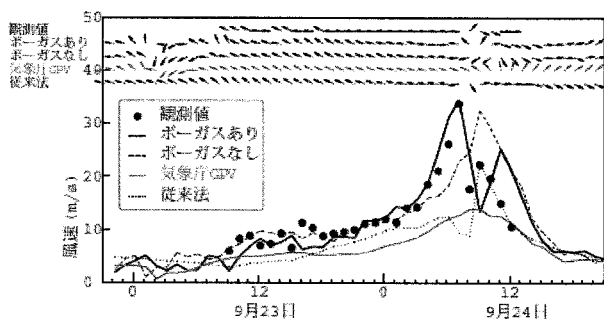


図-8 推算毎の風場時系列

3. 台風時の波浪推算

(1) 計算条件

ここでは前章で得られた風場を用いて波浪推算を行うが、本調査では K.Hasselmann らが中心となった WAMDI グループが開発した第 3 世代波浪推算モデルの WAM を用いた。なお、計算領域は図-9 に示すように設定した。

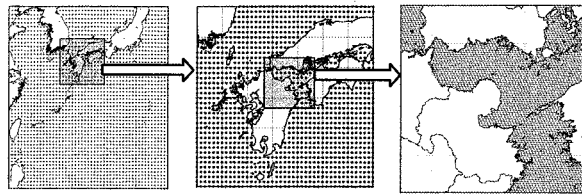
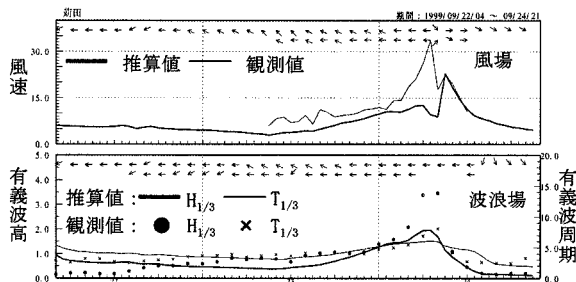


図-9 波浪推算の計算領域（広，中，小領域）

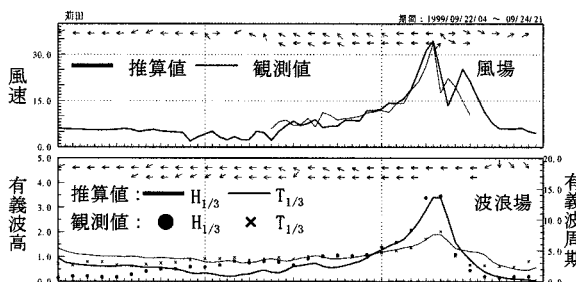
(2) 検討結果

図-10 は、台風 9918 号を対象に従来法および気象モデルで得られる風場による推算値を観測値とともに示したものである。また、表-4 は対象 5 台風について、最大有義波高の推算値と観測値を比較したものである。なお、同表には相関解析結果（回帰係数 a 、相関係数 R ）と推算値のピーク時刻が観測値のピークと 4 時間以上ずれた場合については観測ピーク時における推算値を括弧書きで併記している。

図-10 に示すように気象モデルで得られる風場を用いた推算結果の方が観測値との対応が良く、最大有義波高の再現性が高いことが分かる。



(a) 従来法



(b) 気象モデル

図-10 風および波浪場の推算結果（台風9918号）

また、対象全台風について見ると（表-4）、大きく過大評価するケース（台風 0416 号）が見られるものの、対象台風全てにおいて気象モデルによる風場を用いた推算値の方が観測値との整合が良く、従来法に比べて精度の高い推算結果となっていることがわかる。また、相関解析結果を見ても気象モデルの結果の方が回帰係数・相関係数共に 1 に近づくようになり、従来法に比べ精度が高いことがわかる。さらに、港湾構造物の設計の際に重要となる最大有義波高を見ても気象モデルによる推算値の方が従来法と比べて観測値との差が小さいことが分かる。しかし、その起時の差については気象モデルの方が

表-4 推算値と観測値の比較（荻田港）

(a) 従来法

	最大有義波高 (m) 及び起時		a/R
	観測値	推算値	
台風 9905 号	2.19 7/27 6h	0.73 7/27 4h	0.42 0.28
台風 9918 号	3.46 9/24 8h	1.97 9/24 7h	0.66 0.84
台風 0215 号	2.20 8/31 2h	1.25 8/30 6h (0.85 8/31 2h)	0.60 -0.29
台風 0416 号	2.92 8/30 14h	1.67 8/30 13h	0.76 0.52
台風 0418 号	3.36 9/7 12h	1.90 9/7 11h	0.73 0.74

(b) 気象モデル

	最大有義波高 (m) 及び起時		a/R
	観測値	推算値	
台風 9905 号	2.19 7/27 6h	1.83 7/27 10h (1.67 7/27 6h)	1.01 0.65
台風 9918 号	3.46 9/24 8h	3.41 09/24 7h	0.90 0.90
台風 0215 号	2.20 8/31 2h	2.62 8/31 14h (1.94 8/31 2h)	1.25 0.83
台風 0416 号	2.92 8/30 14h	3.98 8/30 12h	1.20 0.76
台風 0418 号	3.36 9/7 12h	3.82 9/7 10h	1.16 0.80

大きいケースも見られる。これは、従来法の台風経路はベストトラックデータと完全に一致するが、気象モデルの場合はデータ同化を行うものの、基本的には気象モデル自身によって決定されるために生じる台風経路誤差によって最大有義波高の起時時刻の精度に影響が出たものと考えられる。

4. 広域気象データを用いた検討

ここまでは気象庁から提供されている気象 GPV を基に検討したが、そのデータ提供期間は高々 10 年程度であり、設計波のような過去数十年の擾乱を対象とする場合は不十分である。ここでは設計波算定を念頭に置き、アメリカ気象局 (NCEP) から長期間のデータが提供されている広域気象データを用いて同様の検討を行った。表-5 に使用した広域気象データの仕様を示すが、データ提供期間は約 60 年と気象庁 GPV の 10 年と比べて長期間であるが、空間解像度が 250km と気象庁 GPV の 20km と比べると 10 倍以上も粗い。

表-5 広域気象データの仕様

項目	内容
対象領域	全球
空間解像度	2.5度×2.5度 (約250km)
時間解像度	6時間
提供期間	1948年以降(約60年)

(1) 気象場の推算

図-11 は、広域気象データを用いた場合の台風 9918 号の台風経路を気象庁 GPV の結果およびベストトラックデータと共に示したものである。広域気象データを用いた結果、沖縄西海上から奄美大島西海上にかけては、ベストトラックによる台風位置とよく合っていたが、奄美大島西海上から北側においては、次第に差がみられるようになり、実際の台風が有明海を通過する頃には、北に約 200km 程度離れた対馬海峡付近を推算するなど大きな差がみられた。これはオリジナルデータの空間解像度が粗いため生じた誤差であると言える。

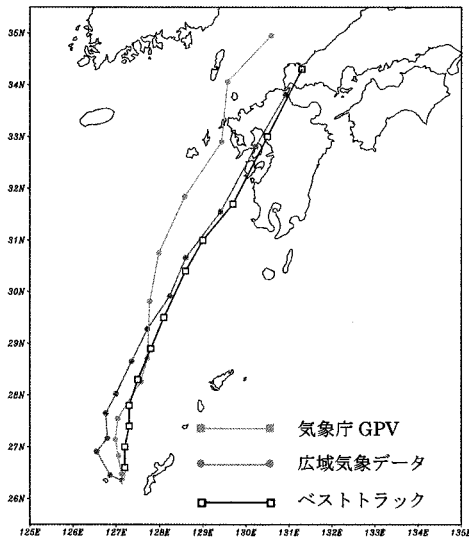


図-11 広域気象データを用いた台風経路

(2) 波浪場の推算

図-12 は、図-10 と同様に広域気象データを入力値として気象モデルで得られた風場による波浪推算結果を示したものである。その結果、従来法（図-10(a)）と比べて風速や波高のピーク値の再現性は高いものの、気象庁 GPV（図-10(b)）と比べると風速および波高のピーク値は小さく、その発生時刻も観測のピーク時刻とずれていることがわかる。これは広域気象データの空間解像度が粗いために台風位置がずれていることに原因があると考えられる。

このように空間解像度の粗い広域気象データを用いた場合、現時点では、空間解像度の粗さから生じる誤差や検討すべき課題は残されているものの、従来法との比較においては観測値との再現性も高いこ

とから、これらの広域気象データの活用可能性も十分あると考えられる。

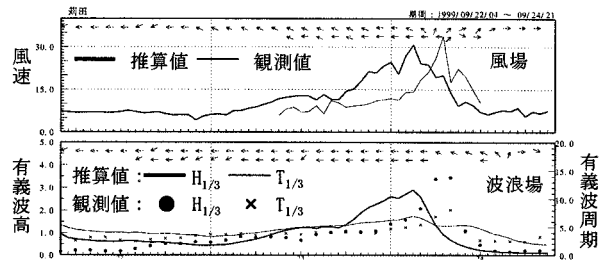


図-12 広域気象データによる風場および波浪場の推算結果（台風9918号，苅田港）

5. おわりに

本研究では、設計波算定に資するため、九州周防灘に高波を発生させた気象擾乱（台風）を対象に、数値モデルを用いた風および波浪場の推算を行った。その結果、以下の事が明らかとなった。

- ①気象 GPV を入力値とした気象モデルで得られる風場は従来法で得られる風場と比較して精度が高い。
- ②気象モデルで得られる風場を入力値とした波浪推算結果が従来法による風場を用いた場合よりも精度が高い。
- ③設計波算定を念頭に置き、解像度は粗いが長期間のデータ提供が可能な広域気象データを用いても、気象庁 GPV と比べればピーク値の再現性はやや低く、その発生時刻も観測とずれるという課題はあるものの、従来法と比べれば再現性は高いことから、広域気象データを用いた波浪推算も十分に活用できる。

今後は、広域気象データを用いた場合の風場や台風進路誤差の改善が必要であると考えられる。

謝辞：本研究の実施に際しては、（財）日本気象協会にご協力を頂きました。ここに謝辞を表します。

参考文献

- 1) 河合弘泰, 中野俊夫, 川口浩二, 松浦邦明: IAU データ同化手法のメソ気象モデルの導入と台風 9918 号の海上風・波浪・高潮の追算, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 381-385, 2006.
- 2) 吉野純, 村上智一, 林雅典, 安田孝志: 高潮計算精度に及ぼす入力台風気象場の再現性の影響, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 1276-1280, 2006.
- 3) Ohsawa, T., T. Nakano, K. Matsuura and K. Hayashi: Introduction of a JMA-type typhoon bogus scheme into MM5 to improve hindcasting of coastal sea surface winds, The Forth International Symposium on Computational Wind Engineering, Journal of Wind Engineering, Vol.31, No.3, pp.193-196.,2006.