

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

VERIFICATION OF GFS-WRF-SWAN WAVE PREDICTION SYSTEM BY THREE SEASONS' COMPARISON

間瀬 肇¹・勝井伸悟²・安田誠宏³・Tracey H. Tom⁴・小川和幸⁵

Hajime MASE, Shingo KATSUI, Tomohiro YASUDA, Tracey H. TOM and Kazuhiro OGAWA

¹ 正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

² 京都大学大学院 工学研究科 都市環境工学専攻 (〒611-8501 京都市左京区吉田本町)

³ 正会員 博(工) 京都大学助手 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

⁴ (株) サーフレジェンド システム管理マネージャー (〒251-0047 藤沢市辻堂西海岸 3-1-1)

⁵ (株) サーフレジェンド 気象予報士 (〒251-0047 藤沢市辻堂西海岸 3-1-1)

This study examined the capability of the GFS-WRF-SWAN system by comparison of predictions with observations. Firstly typhoon courses were estimated from GFS and compared with observed courses together with forecasted ones by Japan Meteorological Agency. Secondly estimated wind fields around the Mutsu Bay, by WRF, were compared with the observations. It was found that GFS's and WRF's predictions showed fairly good agreement for both cases. Finally GFS-WRF-SWAN wave predictions were compared with observations. Concerning with the time series, there can be seen good agreements; however, the predicted wave heights were smaller than observations. It was also found that options of INPUT BY WIND in SWAN and a setting of frequency range affect wave predictions.

Key Words: Wave prediction, global forecast system (GFS), weather research forecast (WRF),
simulating waves neashre (SWAN)

1. はじめに

気象予報モデルや波浪予測モデルは、近年目覚ましい発展を遂げている。本研究は、最新のオープンソースソフトを用い、またインターネットによる気象データを取得してそれらを有効利用し、簡単に、早く、できるだけ正確な波浪予測ができるシステムを確立するため、どの程度の精度であるのか、どのように改良していけば良いかを検討するものである。本波浪予測システムは波浪を前もって予測するだけでなく、高潮・高波災害が生じた後の災害解析といった波浪追算システムとしても用いることができる。

既に気象モデルである GFS と WRF、および波浪モデルである SWAN を連携させて波浪推算を行えるようにし、冬季における波浪予測を行って観測値と予測値を比較・検討した¹⁾が、適用性の検証とチューニングには更なる比較・検討が必要である。そこで、本研究では冬季に加え、春季および台風季について波浪の観測値と予測値の比較・検討を行った。

まず、GFS と WRF 自体の予測精度に関連して、台風の推定経路および風の推算結果と観測結果を比較した。波浪予測に関しては、外洋に開いた地点では GFS と SWAN を用いた予測結果と観測結果を比較・検討した。地形が複雑な地点においては、空間メッシュを細かくし、GFS-WRF-SWAN による予測結果と観測結果の関係を調べた。最後に、SWAN のオプション選択や計算条件設定による予測結果への影響を検討した。

2. GFS-WRF-SWAN 波浪予測システムの概要

GFS-WRF-SWAN 波浪予測システムは、Global Forecast System (GFS)²⁾、Weather Research Forecast (WRF)³⁾、Simulating WAves Nearshore (SWAN)⁴⁾からなる。

GFS は、米国環境予測センター (NCEP) によって構築された全球気象予報モデルである。このモデルは、全球において観測された気象値を解析し、緯度方向に 768、経度方向に 384 に区切った格子状において気象予

報計算を行い、その予報値が3時間間隔、経度・緯度方向に1度間隔で、1日4回(00, 06, 12, 18 UTC) 384時間先までweb上にアップロードされる。

WRFは、米国大気研究センター(NCAR)によって開発された局地気象予測モデルである。WRFは、GFSの1度間隔のデータを取り込んで、メソスケールの気象予測計算を行うことができる。

SWANは、デルフト工科大学で開発された第3世代の沿岸波浪推算モデルである。

GFSやWRFが台風のような難しい現象、小規模・複雑な地形の気象場をどの程度正確に再現できるかを知ることが重要である。高波や高潮は気象要素がその駆動力になって起こるので、気象モデルの高精度化は高潮・高波予測にとって重要である。GFS, WRF, SWANがうまく組み合わせられてチューニングされれば、高潮・高波の予報・追算精度が向上して、有用な防災情報が得られる。

3. GFSおよびWRFの検証

(1) 台風経路

2005年の台風11号, 14号, 17号および20号に対して、実際の移動経路、気象庁発表の予報経路、GFSによる予測経路を比較した。図-1に比較例として台風0511号の結果を示す。実経路を○印、異なる時刻に発表された気象庁の予報経路を◇印と□印、GFSによる予測経路を▽印と△印で示してある。気象庁の予報は、発表時点において実際の台風位置であるため初期の段階では一致が良い。一方、GFSの予測経路はそうした調整がされていないが、図-1に見られるように、24日3時を起点

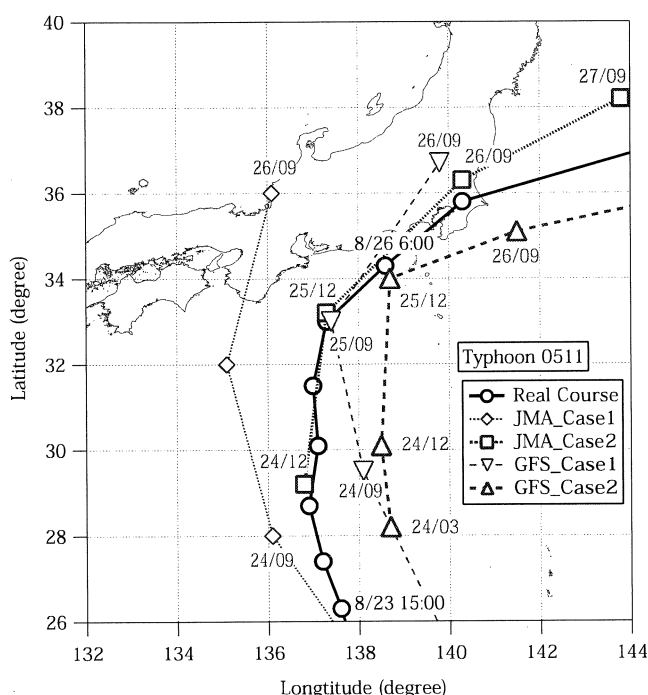


図-1 台風0511号の実経路、気象庁発表予報経路およびGFSによる予測経路の比較

として示した台風経路は、起点の位置を含めて大きく実経路と外れてはならず、他の比較結果からも、およそ台風経路を予測できることがわかった。

(2) 局所風

陸奥湾を対象として、2分メッシュの計算格子を用いた風の推算値とアメダスの観測データを比較する。計算領域は西端140°E、東端141.5°E、南端40.7°N、北端41.8°Nである。ここに示す結果は、青森(140.77°E, 40.82°N)と陸奥(141.21°E, 41.28°N)である。対象期間は春季(2005年5月16日～23日)、夏季(2005年7月23日～30日)、秋季(2004年11月23日～30日)、

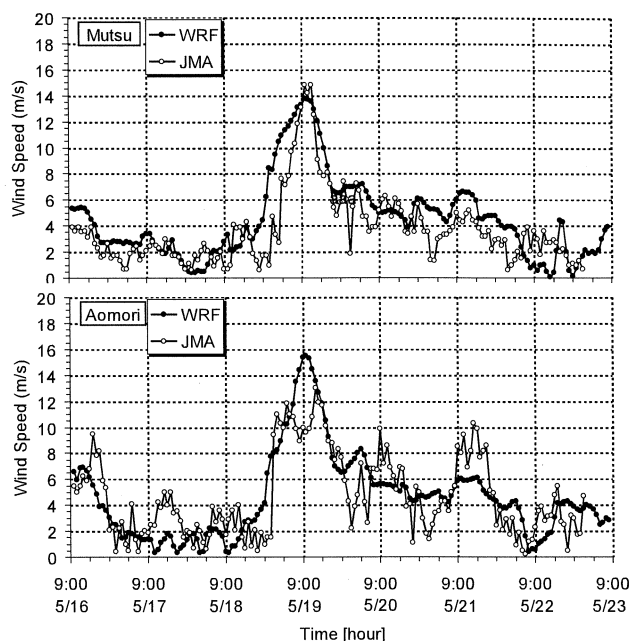


図-2 GFS-WRFによる風速の推算値と観測値の比較(春季)

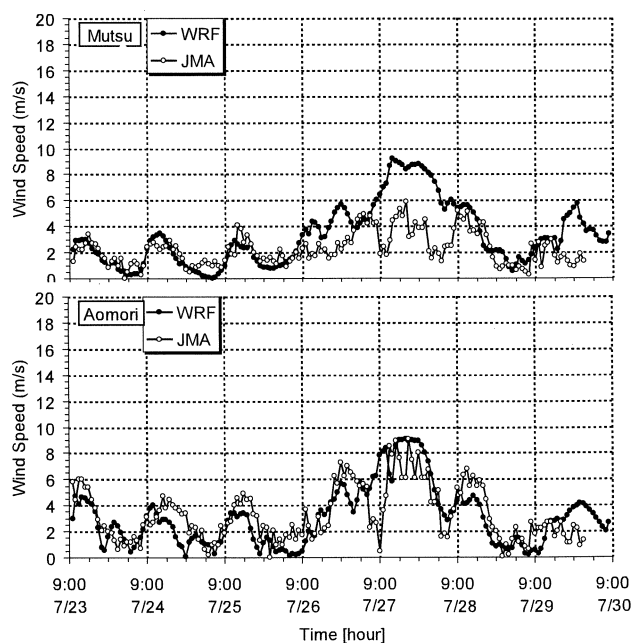


図-3 GFS-WRFによる風速の推算値と観測値の比較(夏季)

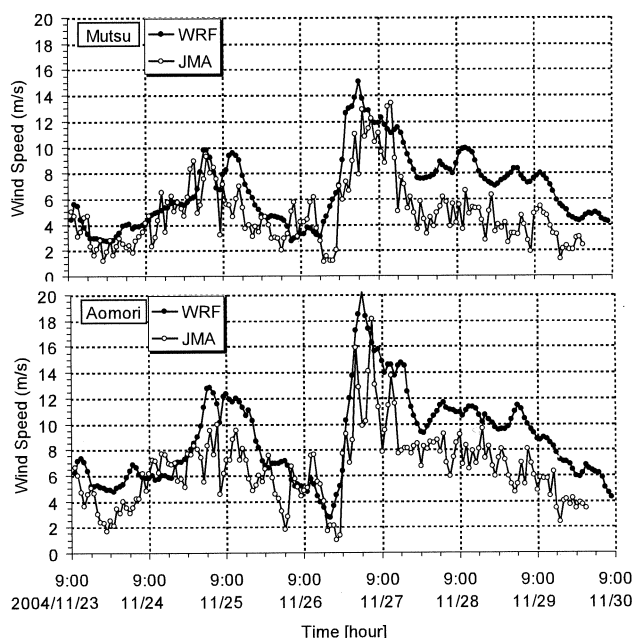


図-4 GFS-WRF による風速の推算値と観測値の比較(秋季)

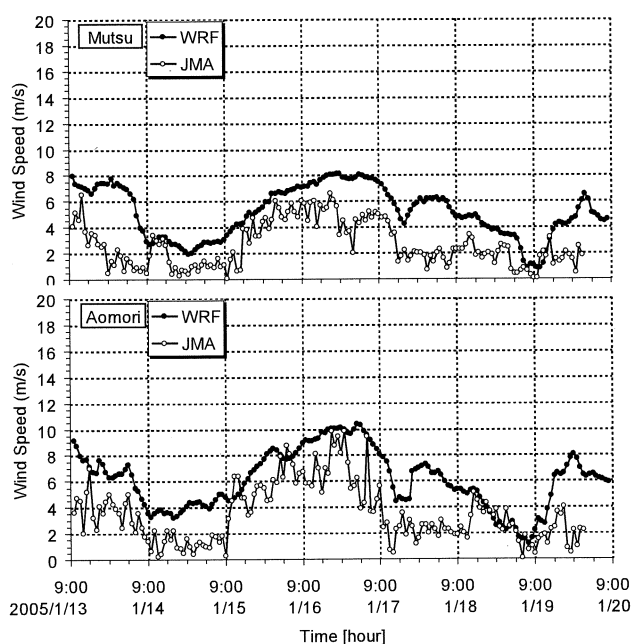


図-5 GFS-WRF による風速の推算値と観測値の比較(冬季)

冬季(2005年1月13日～20日)である。実際の計算に当たっては、GFSの1度メッシュの気象データをダウンロードし、それを用いてWRFで2分メッシュの地形データを用いた計算を行った。

図-2～図-5は、風速の推算値●印と観測値○印を比較したものである。青森は海が北に、陸奥は南に開いており、地形の相違があるにもかかわらず、推算値が観測値より若干大きくなっているものの、両者は概ね一致している。観測値が小さいのは、陸上地形や周囲の建物、また、風速観測点高さの影響にもよる。ここには載せていないが、風向については、全季節において、風速が大きい場合、推算値と観測値が良く合っていた。

4. 波浪観測結果と予測結果の比較

(1) GFS-SWAN モデルの検証

周りの地形の影響が少ないと思われる外洋に開いたナウファス4地点における観測値とGFS-SWANによる予測値の比較を行った。対象とした地点は輪島(136°54'08"E, 37°25'51"N)、金沢(136°34'03"E, 36°36'50"N)、鳥取(134°09'41"E, 35°33'16"N)、紋別(143°36'25"E, 44°19'04"N)の4地点であり、対象期間は2004年

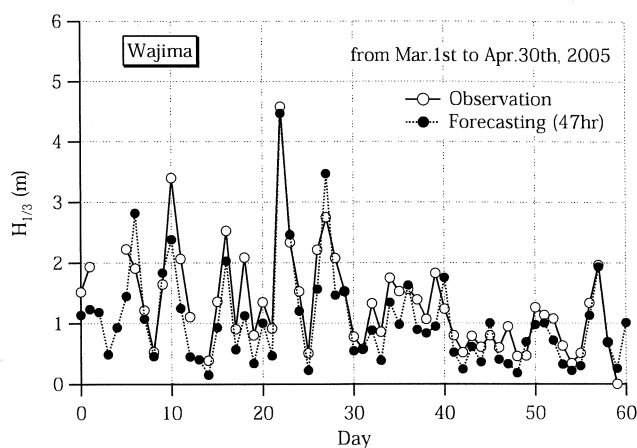


図-6 GFS-SWAN による波高の推算値と観測値の比較(春季)

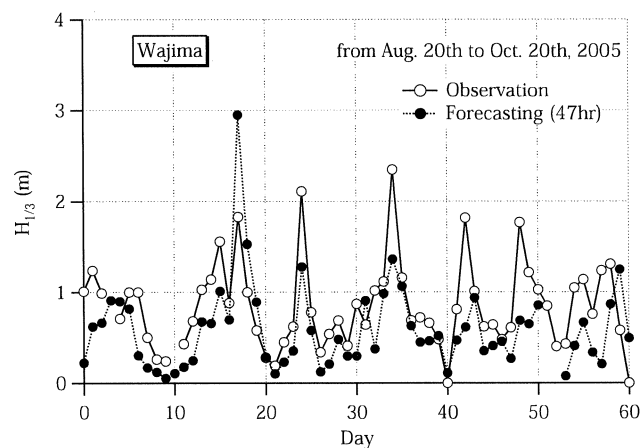


図-7 GFS-SWAN による波高の推算値と観測値の比較(台風季)

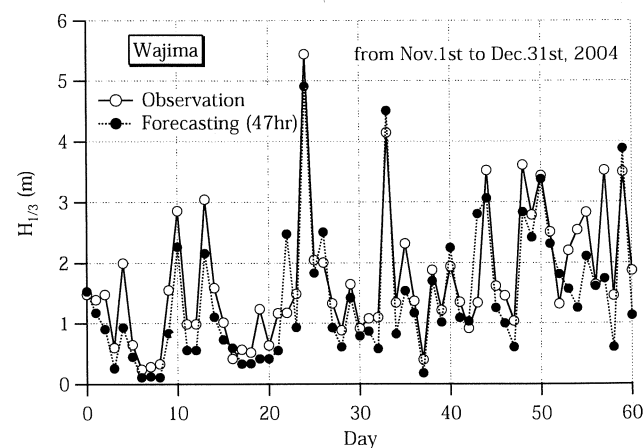


図-8 GFS-SWAN による波高の推算値と観測値の比較(冬季)

11月1日～12月31日の61日分, 2005年3月1日～4月30日の61日分, 2005年8月20日～10月20日の62日分である。

波浪予測は, 毎日9時に1度間隔のGFSデータをダウンロードし, 日本近海の広領域を対象とした0.25度メッシュで計算を開始した。ダウンロードするGFSデータは1度間隔の風データであるが, SWANによる計算では0.25度メッシュの地形データを用い, それに対応して風データは0.25度毎に内挿される。

図-6～図-8は, 3シーズンの輪島における計算開始時刻から47時間後の予測値と同時刻の観測値を比較したものである。予測値は観測値より概して小さくなっているが, 時系列特性はよく一致している。

図-9～図-11は, 3シーズンの予測値と観測値の相関係数を, 予測時間の長さに対してプロットしたものである。これらの図を見てまずわかることは, 図-11の冬季における相関係数が4地点とも安定して高いことである。

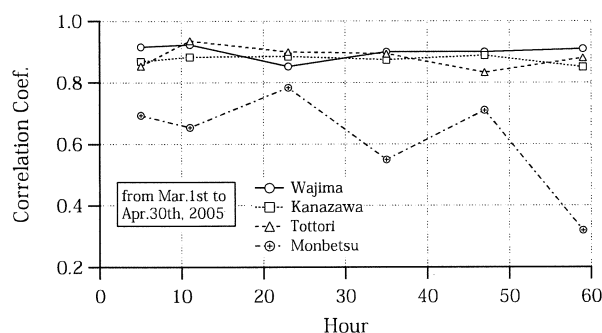


図-9 推算値と観測値の相関係数(春季)

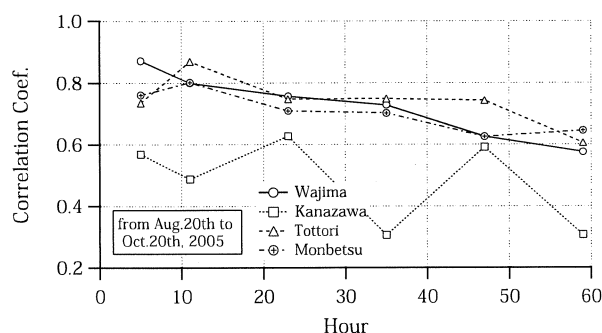


図-10 推算値と観測値の相関係数(台風季)

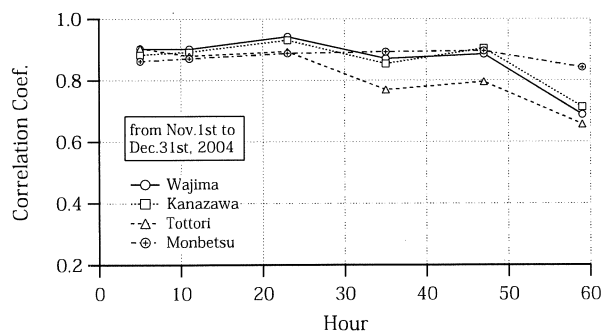


図-11 推算値と観測値の相関係数(冬季)

る。図-9の春季においては, 紋別を除けば, 60時間先の時刻においても相関係数が大きい。図-10の台風季においては, 相関係数がその他2シーズンのものに比して小さくなっており, 金沢においては相関係数が悪くなっている。なぜ, 特定の地点が異なるシーズンにおいて相関係数が悪くなったりするのかは現在のところ明らかではない。

(2) GFS-WRF-SWANモデルの検証

地形が複雑な狭領域を対象とする場合には, GFSデータはメッシュ間隔が粗いため, 風のデータとしてそのまま使うことはできない。そのため, WRFを用いてメソスケールの風の間を推算しなければならない。波浪計算に当たっては, 広領域の計算結果から特定の狭領域外縁の境界条件を与えるとともに, 風のデータはWRFで推算されたものを用いる。海底地形および風データとともに, メッシュ間隔は約5kmとした。

ここでは清水(138°32'05"E, 35°01'16"N)と下田(138°57'11"E, 34°38'48"N)を対象としてGFS-WRF-SWANモデルを適用し, 予測値と観測値を比較した。対象期間は2005年3月1日～4月30日の61日分, 2005年8月20日～10月20日の62日分である。

図-12および図-13には, それぞれ下田と清水における予測値と観測値の時系列および両者の対応を示した。同時に, WRFを用いず, GFS-SWANから得られた予測結果も示してある。ここで, 注意しなければならないの

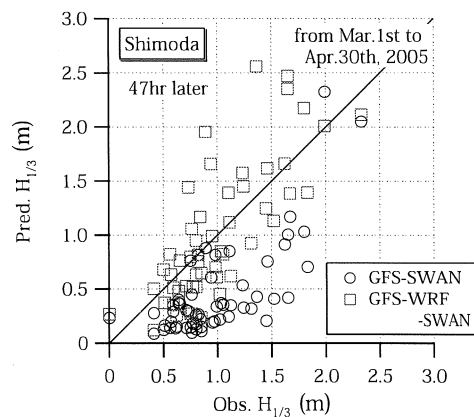
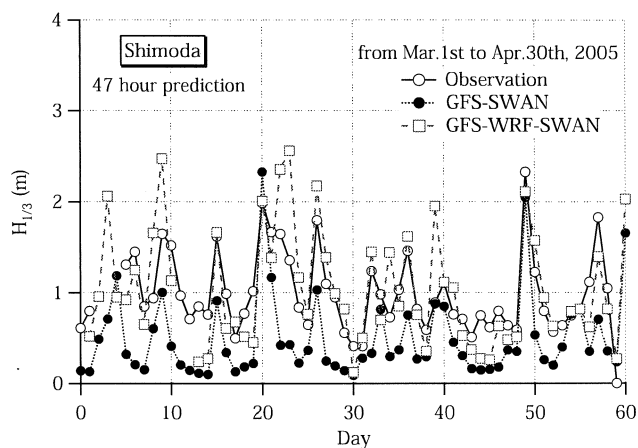


図-12 波高の推算値と観測値の比較(下田)

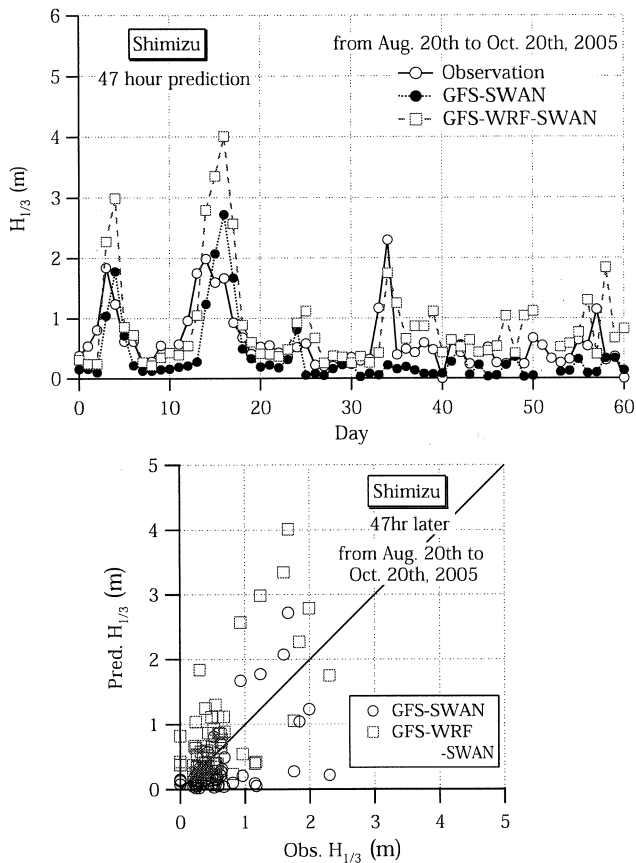


図-13 波高の推算値と観測値の比較（清水）

は、観測点の位置と GFS-SWAN, GFS-WRF-SWAN の出力点の位置が必ずしも一致しておらず、計算メッシュサイズによって位置が異なることである。

図-12（上段）において GFS-WRF-SWAN の結果（□印）は、観測値（○印）の時系列の変動傾向や値の一致の程度は良い。一方、GFS-SWAN の予測値（●印）は観測値と比べて、波高の大きい場合を除いて、一般に小さくなっている。これは、約 25km メッシュを用いる GFS-SWAN では地形の影響をうまく考慮できないためである。少なくとも 5km メッシュを用いる GFS-WRF-SWAN が必要である。

図-13 の清水においても同様な傾向がみられ、GFS-SWAN の予測値は観測値より小さく、GFS-WRF-SWAN ではばらつきが大きくなっているが、予測値の値は観測値に近づく。

これらの検討結果から、当然ではあるが、波浪予測においては計算メッシュはできるだけ細かい方がよいことが確かめられた。

5. SWAN のパラメータ設定の予測結果への影響

以上の予測計算においては、SWAN のデフォルトの設定を用いてきた。特に、風から波へのエネルギー移流に関して Komen et al. のモデル⁵⁾を用いてきた。また、波浪計算を行うときの周波数設定を 0.01 ~ 1.0Hz

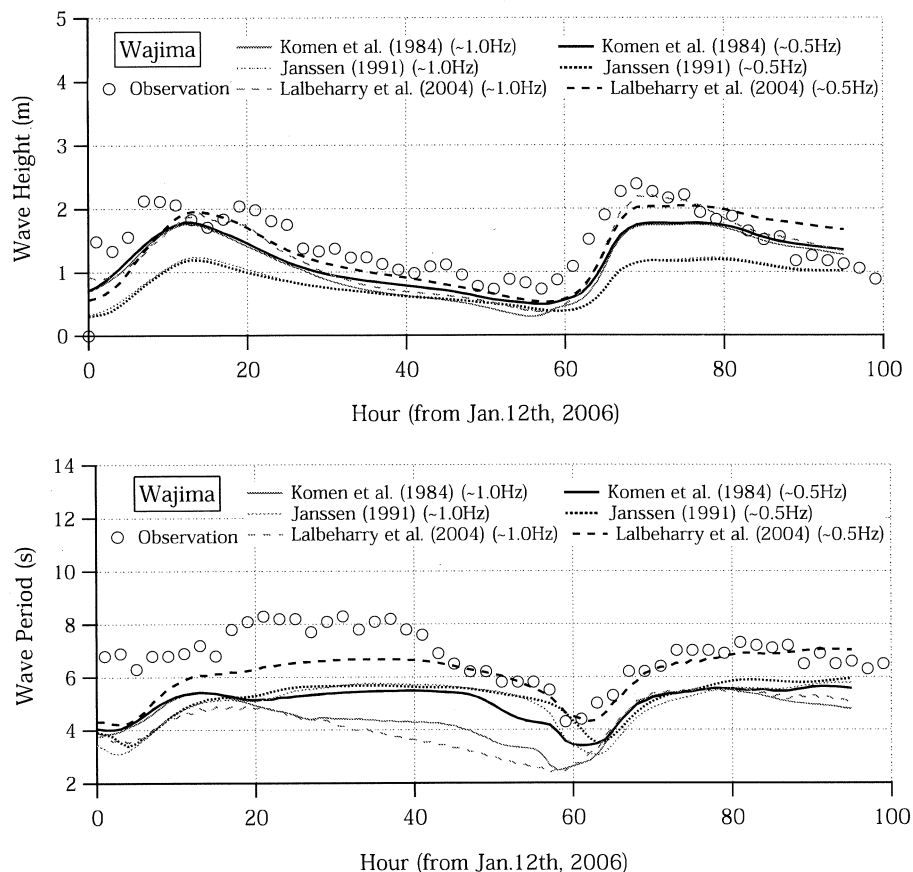


図-14 異なる計算条件を用いた SWAN の予測結果と観測結果の比較（輪島）

としてきた。しかし、3シーズンの波浪予測を終了後、SWAN のオプションを変えることによって、予測結果がかなり異なることがわかったので、ここで詳しく検討した。

図-14 は、GFS-SWAN を用い、計算対象周波数領域を 0.01~1.0Hz (図中では (~1.0Hz) として示してある) と 0.01~0.5Hz (図中 (~0.5Hz))、風から波へのエネルギー移流モデルとして Komen et al. のモデル⁵⁾、波と風との相互干渉を考慮した Janssen のモデル⁶⁾、および Janssen モデルを改良した Lalbeharry et al. のモデル⁷⁾を用いた結果を示したものである。

波高に関しては、以下のことがわかる。Lalbeharry et al. のモデルによる予測値が最も波高が大きくなり、続いて Komen et al. のモデルによる予測値、最も小さくなるのが Janssen のモデルの結果である。しかし、計算対象周波数の影響はほとんどない。波高そのものの値に関しては、最も大きくなる Lalbeharry et al. のモデルであっても、若干予測値が小さい。Janssen のモデルの結果が Komen et al. の結果より小さくなることは以前にも確かめられている⁸⁾。

周期に関しては、以下のことがわかる。SWAN ではエネルギースペクトルの積分値を用いて周期を算定しているため、積分の上限値をどこまで取るかによって周期の値が変わるものと思われる。したがって、同じエネルギー移流モデルを用いても、計算対象周波数の設定の相違により、その値が変わる。最も周期の値が異なるのは、Lalbeharry et al. のモデルを用いたときである。最も周期が変わらないのは、Komen et al. のモデルを用いたときである。

6. あとがき

本研究では、GFS-WRF-SWAN 波浪予測モデルの開発の一環として、気象モデルである GFS と WRF の予測精度に関して、台風の推定経路および風の推算結果と観測結果を比較・検討するとともに、波浪予測に関して、GFS-SWAN モデル、GFS-WRF-SWAN モデルの適用性を観測結果との比較を通して検討した。その結果、以下のことがまとめられる。

- 1) GFS でおおよそ台風経路を予測できることがわかった。
- 2) 青森と陸奥のアメダスの観測データと WRF による風の推算結果を比較し、両者は概ね一致することを確認した。
- 3) GFS-SWAN モデルの予測値は、時系列はうまく再現できるが、値そのものは観測値より小さくなること、冬季において予測値と観測値の相関係数が良いこと、

シーズンによってはある地点において予測精度が悪くなることがわかった。

- 4) 地形が複雑な狭領域を対象とする場合には、風のデータとして GFS をそのまま使うことはできず、WRF を用いてメソスケールの風の間を推算し、地形データも細かいメッシュのそれを用いなければならないことを清水と下田を例に挙げて示した。
- 5) 風から波へのエネルギー移流モデルとして Komen et al. のモデル、Janssen のモデルおよび Lalbeharry et al. のモデルを用いた結果、波高に関しては、Lalbeharry et al. のモデルによる予測値が最も波高が大きくなることがわかった。また、計算対象周波数領域の相違により、周期の予測値もかなり異なることがわかった。

参考文献

- 1) 間瀬 肇, 木村雄一郎, Tracey H. Tom, 小川和幸: GFS-WRF-SWAN 援用波浪推算システムの構築と検証, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.181-185, 2005.
- 2) GFS (Global forecasting System): A medium range synoptic forecasting system developed and processed, NCEP (the National Centers for Environmental Prediction), <http://www.emc.ncep.noaa.gov/modelinfo>.
- 3) SWAN (Simulating Waves Nearshore): A numerical wave model for obtaining realistic estimates of wave parameters in coastal areas, lakes and estuaries from given wind-, bottom-, and current conditions, Delft University of Technology, <http://fluidmechanics.tudelft.nl/swan/default.htm>.
- 4) WRF (Weather Research and Forecasting): A mesoscale numerical weather prediction model, NCAR (the National Center for Atmospheric Research), <http://wrf-model.org/>.
- 5) Komen, G.J., Hasselmann, K. and Hasselmann, S.: On the existence of a fully developed wind-sea spectrum, Jopur. Phys. Oceanography, Vol.14, pp.1271-1285, 1984.
- 6) Jansse, P.A.E.M.: Wave induced stress and the drag of air flow over sea waves, Jour. Phys. Oceanography, Vol.19, pp.745-754, 1989.
- 7) Lalbeharry, R., Behrens, A., Guenther, H. and Wilson, L.: An evaluation of wave model performances with linear and nonlinear dissipation source terms in Lake Erie, Proc. 8th Int. Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Hawaii, USA, 2004.
- 8) 間瀬 肇, 平尾博樹, 国富将嗣, 高山知司: SWAN を用いた日本沿岸波浪推算システム構築と適用性の検証, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.236-240, 2001.