

ERA40 にもとづく日本列島周辺長期波浪データベースの構築

Long-Term Ocean Wave Database around Japanese Islands based on Re-Analysis Meteorological Dataset ERA-40

小林智尚¹・佐々木博一²・吉野 純³・安田孝志⁴

Tomonao KOBAYASHI, Hirokazu SASAKI, Jun YOSHINO and Takashi YASUDA

Ocean wave database around Japanese islands for 45 years is build based on the meteorological dataset ERA-40, ECMWF 40 Years Re-Analysis. Since the ERA-40 is coarse for the wave hindcasting in the target domain, the mesoscale meteorological model MM5 was applied to evaluate the sea-surface wind at higher resolution; and, the wave model SWAN was employed to compute the long-term wave fields. The computed wave fields were successfully improved by applying the wind fields evaluated with MM5. The comparison of the wave database with the field observed data shows good agreement, and leads to the conclusion that the database is highly accurate.

1. はじめに

海岸・沿岸構造物の計画・設計等では波浪統計資料が必要とされる機会が多い。しかし現状では長期に及ぶ波浪データは定点観測が行われている地点にほぼ限られており、また期間も十分でない場合が多い。一方波浪推算手法は近年数値モデルの開発・改良が進み、WAMに代表される第三世代波浪推算モデルが活用できるようになり、精度の高い波浪場の再現が可能となっている。現在波浪推算手法は現地観測データが存在しない地域・期間の波浪を追算するなど、現地観測と並んで利用されるまでに至っている。

このような波浪推算手法を用いて定点観測のみでは不十分であった長期間の波浪の再現解析も進められている。山口ら (1997) は長期浅海波浪推算モデルを構築し、約 10 年間の波浪推算を実施、その推算結果の妥当性を観測結果と比較して示している。また川口ら (2002) は長期間にわたる波浪推算を実施し、その結果を日本沿岸波浪の出現特性として整理している。しかし現在、日本全国を網羅した数十年スケールの長期間データベースの構築は見られない。これは波浪推算が必要となる長期間の海上風データの入手がこれまで困難であったためである。しかし近年では NCEP (National Centers for Environmental Prediction) や ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) などで全球を対象

とした気象解析が行われ、その結果が公開されている。

そこで本研究では ECMWF にて解析された長期間の全球気象再解析データ ERA-40 (ECMWF 40 Year Re-Analysis) を用いて日本列島周辺の長期間波浪場を再現し、データベースを構築した。ただしこの ERA-40 は全球を対象とした再解析データであるため日本列島周辺を対象とした解析では時空間解像度が不十分である。そこでここでは局地気象モデル MM5 を用いて ERA-40 からより高解像度な気象場を再現し、その結果を波浪推算に用いた。

2. 波浪場推定手法

本研究では日本列島周辺域の長期間波浪データベースの構築を再解析気象データ ERA-40 を元に行った。しかしこの ERA-40 は全球を対象とした再解析データであるため、緯度経度空間解像度 2.5 度、時間解像度 6 時間と、日本列島周辺海域の解析には解像度が不十分である。そこで本研究では局地気象モデル MM5 を用いて日本周辺域の高精度な気象場を再現し、さらに第三世代波浪推算モデル SWAN により長期間波浪場を再現した。以下に本研究で用いたデータおよび数値モデルについて記す。

(1) 波浪場推定の流れ

本研究では 45 年間の全球再解析気象データセットである ERA-40 をもとに領域気象モデル MM5 を用いて高精度の海上風場を再現している。そしてこの結果から波浪推算モデル SWAN を用いて日本列島周辺域の長期間波浪データベースを構築している。この一連の流れを図-1 に示す。この図の通り、ERA-40 を用いて日本列島周辺域の気象場を MM5 で高精度に再現する。そして ERA-40 の海上風データを用いた広域の波浪推算を SWAN で実施する。さらにネストダウンして日本列島

- | | | | |
|---------|------|---------|--------------------|
| 1 正 会 員 | 博(工) | 岐阜大学教授 | 工学研究科環境エネルギーシステム専攻 |
| 2 | | 岐阜大学大学院 | 工学研究科環境エネルギーシステム専攻 |
| 3 正 会 員 | 博(理) | 岐阜大学助教 | 工学研究科環境エネルギーシステム専攻 |
| 4 フェロー | 工博 | 岐阜大学教授 | 工学研究科環境エネルギーシステム専攻 |

周辺域の波浪推算をMM5の解析結果を用いて実施する。最後に波浪推算結果を日本列島周辺域長期波浪データベースとして保存・整備している。

(2) 再解析気象データ ERA-40

ERA-40 (ECMWF 40 Year Re-Analysis) はUppalaら (2005) によって構築された長期間全球気象再解析データセットである。このデータセットは1957年9月から2002年8月まで45年間の長期間を、緯度・経度解像度2.5度、時間解像度6時間、と高解像度で全球再解析した結果であり、様々な気象要素を網羅している。

またこの再解析では波浪推算モデルによる全球波浪解析も行っている。ただしこの波浪解析結果も空間解像度2.5度、時間解像度6時間であり、日本列島周辺域を対象とした波浪データベースとしては分解能が不十分である。そこで今回は改めて波浪推算モデルSWANを用いて再度解析を行い、高精度の時空間分解能を有する波浪データベースを構築している。

(3) 局地気象モデル MM5

日本列島周辺域での詳細な波浪推算を行うためには、日本列島の沿岸地形を再現しうる程度の解像度を有する海上風場のデータが必要となる。ERA-40の海上風データは日本列島周辺域を対象とした場合には時空間分解能とも粗く、詳細な波浪推算を行うためにはより高解像度のデータを必要とする。そこで本研究では緯度経度2.5度間隔、6時間間隔のERA-40データセットをもとに局地気象モデルMM5 (Dudhia, 1993; Grellら, 1995) を用いて、円錐図法地図上で水平方向空間解像度50kmの解析を行った。そしてこの解析結果から、緯度・経度方向共に解像度0.5度、時間間隔1時間の海上風データを作成した。この解析結果はERA-40に比べてより小規模な気象現象や沿岸地形の影響を再現している。このためこの解析結果を波浪推算に用いることにより、日本列島周辺域ではより詳細な波浪場の推定が可能となった。

(4) 波浪推算モデル SWAN

海洋波浪の推算には第三世代波浪推算モデルSWAN (Booijら, 1999) を用いた。実際に適用したモデルで

表-1 波浪推算計算条件

	大領域	小領域
対象領域 東経 北緯	110° ~ 240° -30° ~ 70°	120° ~ 150° 20° ~ 50°
解析期間	1957年9月 ~ 2002年8月	
空間解像度 (経度 × 緯度)	1.25° × 1.25°	0.25° × 0.25°
時間解像度	1時間	0.5時間
海上風データ (10 m 高度風速)	ERA-40 データセット (2.5° × 2.5°)	MM5 解析データ (0.5° × 0.5°)
境界条件	閉境界	ネストダウン

表-2 日本列島周辺域長期波浪データベースの緒元

期 間	1957年9月 ~ 2002年8月
領 域	東経 120° ~ 150° 北緯 20° ~ 50°
空間解像度	0.5°(経度) × 0.5°(緯度)
時間解像度	1時間
パラメータ	有義波高, 平均周期, 主波向, うねり成分波高, 10 m 高度風速・風向

は、気象庁提供の海上風データを用いた試行計算を通してパラメータを調整している。本研究で用いる気象データはERA-40をもとにしたMM5の解析結果であるが、ここでは気象庁提供海上風データを用いたパラメータ調整の結果をそのまま用いた。

本研究では図-1に示す通り、海上風データにERA-40を用いて北太平洋を中心とした広い領域を対象とした波浪推算を実行した後に、ネストダウンしてMM5の解析結果から得られた海上風データを用いた日本列島周辺域の波浪推算を実施した。推算条件を表-1に示す。また解析結果の一例として、伊勢湾台風が来襲した1959年9月26日18時における海上風速分布および有義波高分布を図-2に示す。図中のベクトルは波向を示している。

この波浪推算により得られる結果のうち、長期波浪データベースとして日本列島周辺域における緯度経度方向0.5度格子上的の各種波浪パラメータを保存・整備した。このデータベースの緒元を表-2に示す。

3. 解析データの検証

本研究では1957年9月から2002年8月までの長期間波浪情報データベースを構築している。ここではこのデータベースの精度について検討する。

(1) 平面波浪場の再現性

再解析気象データセットERA-40を、過去天気図と比較してその再現性を確認する。

図-3に、2001年8月20日9時における、日本列島周辺域での海上風と有義波高の分布を天気図と共に示す。この時期、天気図(図(c))の通り台風T0111が九州南方にあったが、ERA-40を元にしたMM5の解析結果

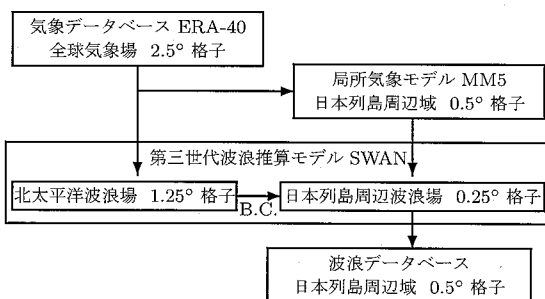


図-1 波浪データベース構築の流れ

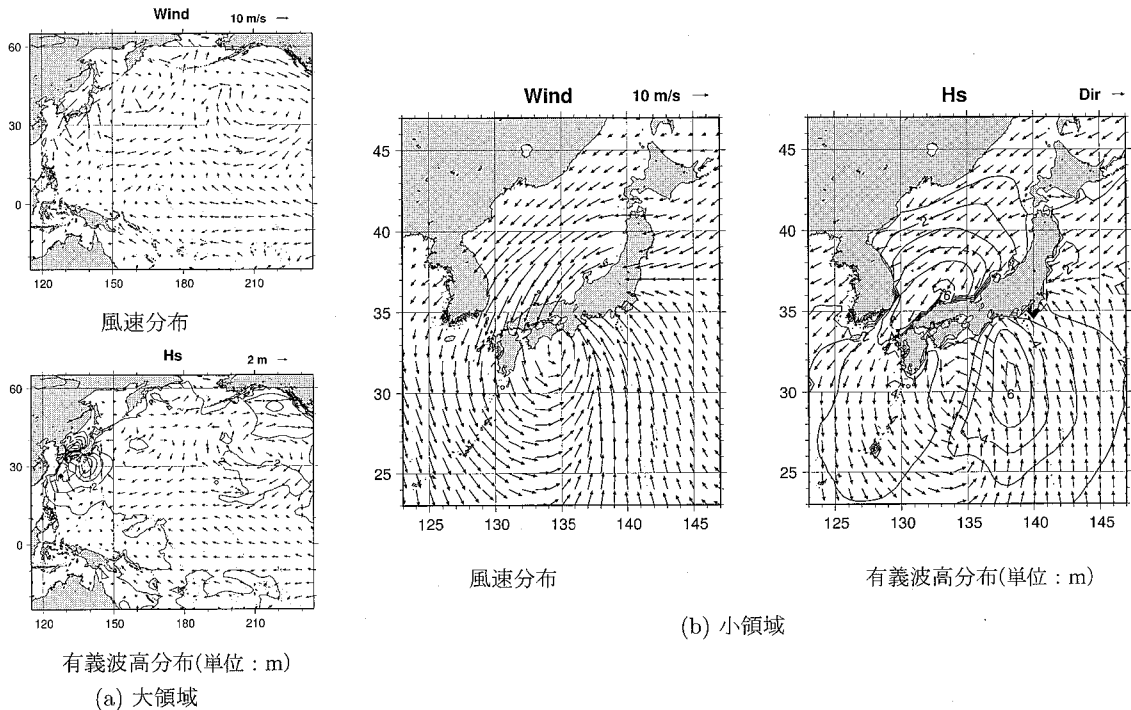


図-2 波浪推算結果 (1959年9月26日18時)

(図(a))でもこの台風による渦上の風域が明瞭に再現されており、ERA-40の解析結果は過去の気象を十分再現していることがわかる。

次に御前崎における2001年8月の有義波高の時系列変化を図-4に示す。図中、実線が小領域における波浪推算結果を示しており、全国海洋波浪情報網(ナウファス、永井・小川、2003; 港湾技術研究所)によって得られた波浪観測結果は丸印で示している。また、破線は大領域における波浪推算結果であり、これについては後節で議論する。この図では台風T0111による高波浪が8月22日に観測されているが、推算結果においてはこの観測結果を高い精度で再現している。この結果はERA-40からMM5およびSWANを用いて解析した結果ではあるが、この有義波高の再現性から基礎データであるERA-40が十分な精度を有していることが間接的に確認できた。

(2) 時系列波浪場の再現性

ここでは波浪データベースとしての精度について検討を行う。この検討では全国海洋波浪情報網によって得られた波浪観測結果とデータベースの推算結果とを比較した。比較対象点は太平洋岸の御前崎と日本海側の輪島の2点とした。

夏季(2001年8月)の輪島における推算結果を図-5に、また冬季(2001年1月)の御前崎、輪島の結果を

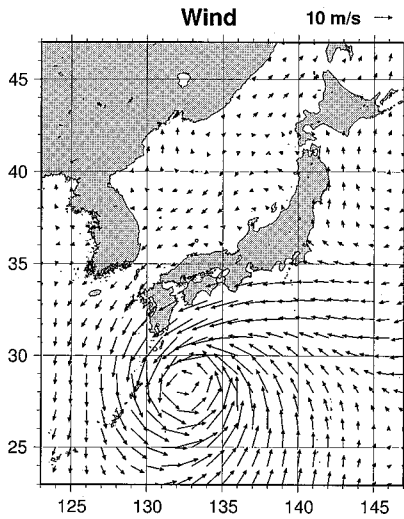
図-6に示す。図中、実線が小領域における波浪推算結果を示しており、観測結果は丸印で示している。また破線は大領域における波浪推算結果であり、これについては次節で議論する。図-4を加えたこれらの図から波浪推算結果は高い精度で観測結果を再現していることがわかる。しかし図-6(a)の様に推算結果の再現性が低い場合も見られた。他の期間での検討も通して日本海側の輪島での再現性が高い傾向が見られた。

次に2001年通年での波浪推算結果を観測値との相関で検討した。図-7に御前崎および輪島における有義波高の相関を示す。この図から御前崎では比較的低波浪時に有義波高を過大に評価する傾向が見られる。一方、輪島では高波浪時に有義波高を過大に評価する傾向があるものの、全体を通してその再現性は御前崎より高い。これは日本海のほぼ全域が解析対象の小領域に含まれるため、海域全体の海上風がMM5によって高解像度に再現でき、波浪推算ではこの海上風を用いて解析できたため、特に日本海での解析では再現性が高かったと考えられる。

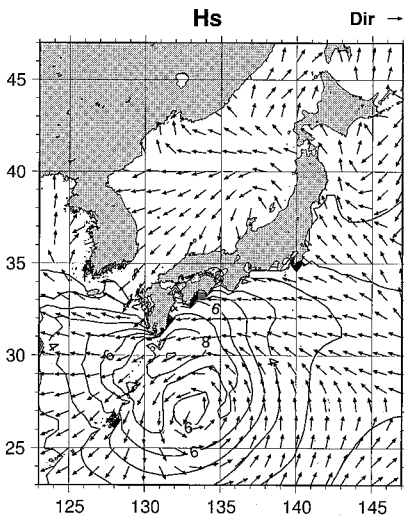
図-4から図-7までの結果を含めた解析結果全体から、本研究で構築した波浪データベースは日本列島沿岸域の波浪場を高い精度で再現していることが確認できた。

(3) 気象場の高解像度解析による効果

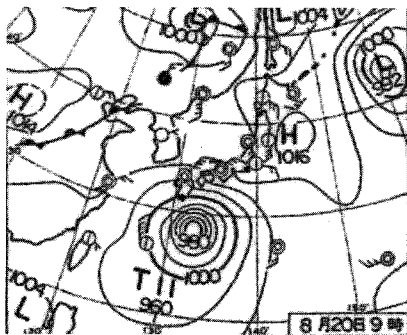
本研究では日本列島周辺域の海上風を再解析気象データセットERA-40からさらに局所気象モデルMM5を



(a) 海上風分布 (MM5 解析結果)



(b) 有義波高・波向分布 (SWAN 解析結果, m)



(c) 天気図 (日本気象協会, 2001)

図-3 ERA-40 を元にした解析結果と天気図 (2001 年 8 月 20 日 9 時)

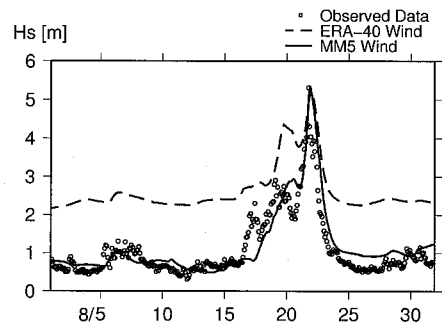


図-4 御前崎での有義波高変化 (2001 年 8 月)

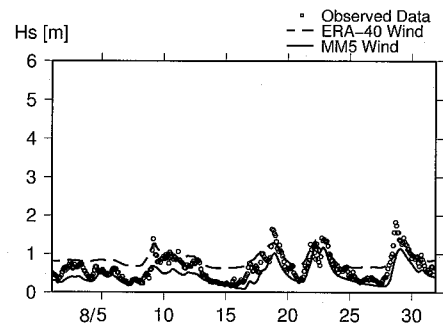
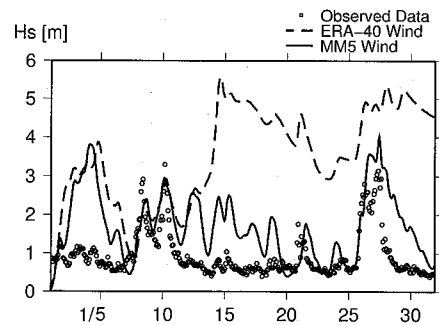
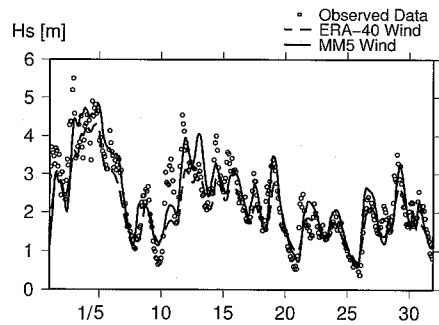


図-5 輪島での有義波高変化 (2001 年 8 月)



(a) 御前崎での有義波高変化 (2001 年 1 月)



(b) 輪島での有義波高変化 (2001 年 1 月)

図-6 推算結果と観測値との比較

用いて高解像度に解析している。ここではこの MM5 による海上風の高解像度化が波浪推算結果に及ぼす影響について検討する。

図-4 から図-6 には、ERA-40 の海上風データを用いた波浪推算結果を破線で、MM5 による海上風解析結果を用いた推算結果（実線）および観測結果（丸印）と合わせて示している。これらの図から ERA-40 を用いて推算された有義波高は MM5 の解析結果を用いた場合や観測結果に比べて大きな値を示していることがわかる。これは ERA-40 の空間解像度が緯度経度方向とも 2.5 度と、日本列島を再現するには粗いため、特に沿岸域では海岸線や周辺陸地の地形が十分には再現されず、海上風が比較的強く評価されているためと考えられる。これらの図の結果から日本列島沿岸域での波浪推算を実施するには ERA-40 の海上風データでは不十分であり、局地気象モデル MM5 などによる高解像度の海上風デー

タを用意する必要があることがわかる。

4. おわりに

本研究では長期間の再解析気象データセット ERA-40 (ECMWF 40 Year Re-Analysis) を用いて約 45 年間におよぶ日本列島周辺域の長期波浪データベースを構築した。ただし ERA-40 の空間解像度は緯度・経度方向に 2.5 度と日本列島周辺域を対象とするには粗いため、本研究では局所気象モデル MM5 を用いてより高解像度の海上風を解析し、その結果を用いて第三世代波浪推算モデル SWAN により波浪推算を行った。構築した波浪データベースを観測結果と比較したところ、台風来襲時を含めこのデータベースは観測結果をほぼ再現していることが確認できた。これらにより本研究では十分な精度を有する波浪データベースを構築することができた。

謝辞：本研究では ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) の全球再解析データ ERA-40 (ECMWF 40 Year Re-Analysis) および全国海洋波浪情報網（ナウファス）のデータを使用しました。この ERA-40 のデータは東京大学先端科学技術研究センター梶野瑞王氏に提供して頂きました。ここに謝意を表します。本研究は科学研究費 (B) 一般 18360236, (C) 一般 18560496 による成果です。

参考文献

- 川口浩二・橋本典明・鈴山勝之 (2002)：波浪推算値に基づく日本沿岸波浪の出現特性について，海岸工学論文集，第 49 巻，pp. 216-220.
- (独法) 港湾空港技術研究所：全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）波浪観測データ，<http://www.pari.go.jp/bsh/ky-skb/kaisho/>，参照 2007-05-18.
- 永井紀彦・小川英明 (2003)：全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS2001)，港湾空港技術研究所資料，No. 1041.
- (財) 日本気象協会 編 (2001)：月刊「気象」，日本気象協会.
- 山口正隆・畑田佳男・松木太郎 (1997)：ECMWF 風を用いた長期波浪推算システムの適用性の検討，海岸工学論文集，第 44 巻，pp. 241-245.
- Booij, N.R., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen (1999)：A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, No. C4, pp. 7649-7666.
- Dudhia, J. (1993)：A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR Mesoscale Model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 121, pp. 1493-1513.
- Grell, G.A., J. Dudhia and D.R. Stauffer (1995)：A description of the fifth-generation Penn State / NCAR Mesoscale Model (MM5), Tech. Note TN-398+IA, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 125p.
- Uppala, S.M. *et al.* (2005)：The ERA-40 re-analysis, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961-3012.

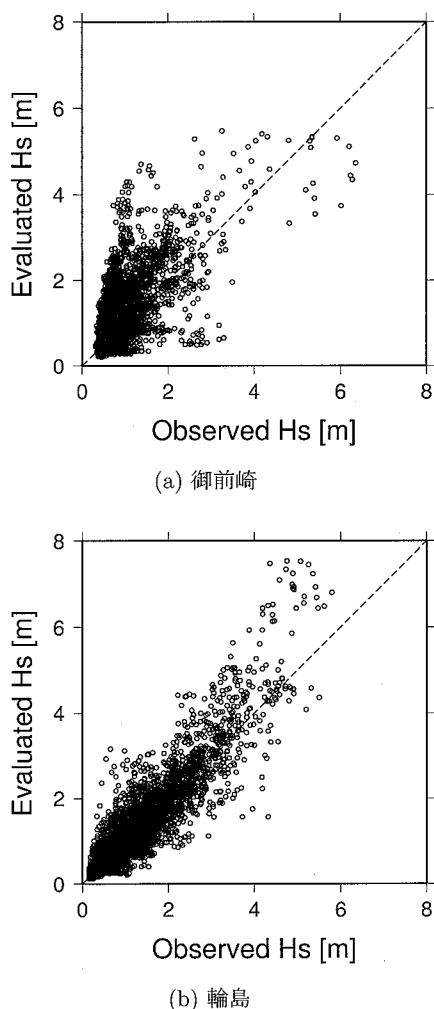


図-7 推算結果と観測値との比較(有義波高, 2001年通年)