

ECMWF 風 (Operational data, ERA15, ERA40) による長期波浪推算精度の検討

橋本典明*・鈴山勝之**・永井紀彦***

3 種類の ECMWF 風データ (Operational data, ERA15, ERA40) を用いて日本周辺海域を対象とした長期波浪推算を行い, 各種統計解析より, これら風データを波浪推算に用いる場合の波浪推算精度や特徴を比較・検討した。その結果, Operational data を用いた波浪推算精度が最も高く, 最新の気象データである ERA40 が必ずしも波浪推算精度を向上させるデータセットではないことがわかった。すなわち, 同一機関から提供される気象データにおいても精度や特徴は様々であり, それらの性質を把握した上で, 解析目的・使用用途に合わせたデータセットを選択することが, 有用な波浪情報を取得するために必要であることがわかった。

1. はじめに

波浪推算精度は風の推算精度に大きく依存する。我が国の海岸工学の分野ではこれまで, 特定の気象擾乱を対象として特定期間の天気図から気圧情報を読みとり, これを基に計算された風データを波浪推算に用いるのが一般的であった。ところが近年, ECMWF, NCEP, 気象庁などから 10 m 高度の風解析値や再解析値が提供されるようになり, 高精度で高解像度な風データを用いて長期間連続した高精度な波浪推算が実施可能となり, 山口ら (1997), 橋本ら (2002) はこれらの風データを用いた波浪推算が有用な手段であると報告している。

しかし, これらの機関から提供される風データは, それぞれ異なる気象モデルで推算されたものである。したがって, これらの風データを用いて波浪推算を行う場合, それぞれの風データの精度や特徴を把握しておく必要があるが, 日本周辺海域を対象としてそのような検討がなされた例は少ない。

そこで本研究では, 既往の研究でも多く用いられ, その有用性が報告されている ECMWF 風データを第三世代波浪推算法 WAM に適用し, 日本周辺海域を対象とした長期波浪推算を行い, 波浪観測値を用いた精度検証によって, これら風データを波浪推算に用いる場合の波浪推算精度や特徴を比較・検討し, 今後の高精度な長期波浪推算システムの構築に資することを目的とする。

2. ECMWF から提供される気象データ

ECMWF から提供される主な気象データには, 気象予報業務用解析値 (Operational data) とデータ同化を用いた再解析値 (ERA15, ERA40) などの幾つかの種類があり, 表-1 に示すように, これらはそれぞれ提供期間, 空間解像度, データ同化手法などが異なっている。

ECMWF から提供される気象データの内, ERA40 は

2003 年に公開されたばかりのデータセットであり, 1957 年～2002 年までの 46 年間の長期間の気象再解析値であることから, 今後の長期波浪推算システムの構築に大いに期待されるデータである。既往の研究では, Operational data 及び ERA15 を用いた波浪推算の報告は幾つか行われているものの, ERA40 を使用した日本周辺海域における長期波浪推算の報告はまだ行われていない。

3. 計算領域と計算条件

本研究では, これら 3 種類の風データを第三世代波浪推算法 WAM に適用し, 日本周辺海域を対象として長期波浪推算を行った。計算領域は, 図-1 に示すような日本列島を中心とする北緯 15°～63°, 東経 115°～170°の範囲を設定した。図中には波浪推算時の計算条件も示している。

また, 各風データによる波浪推算値の精度検証には, 図-1 中の●印で示す NOWPHAS 及び気象庁の外洋ブイ (ブイ 21002, 21004) で取得された波浪観測データを用いた。これらの精度検証地点は, 水深や地形の影響を受けにくく, 1992 年当時に観測が行われていた地点を選定した。これは, 本研究で実施した波浪推算が, 格子間隔 0.5°の粗い格子間隔で, 深海条件で推算したことから, 各風データのデータ重複期間として, 通年で波浪推算値の比較・検討が可能な期間が 1992 年のみであることを考慮したためである。表-2 に各観測地点の位置, 水深, 観測期間を示す。

4. 各風データによる波浪推算値の傾向

図-2 は, 各風データを用いた波浪推算値の特性を見

表-1 ECMWF から提供される主な気象データ一覧

	Operational data	ERA15	ERA40
提供期間	1991～2003 年	1979～1993 年	1957～2002 年
時間解像度	6 時間	6 時間	6 時間
空間解像度	0.5° (0.5625°)	1.125°	1.125°
データ同化手法	—	最適内挿法	3 次元変分法

* 正会員 工博 (独法) 港湾空港技術研究所 海洋水理研究室

** 工修 (株) エコー 環境水工部

*** 正会員 工博 (独法) 港湾空港技術研究所 気象情報研究室

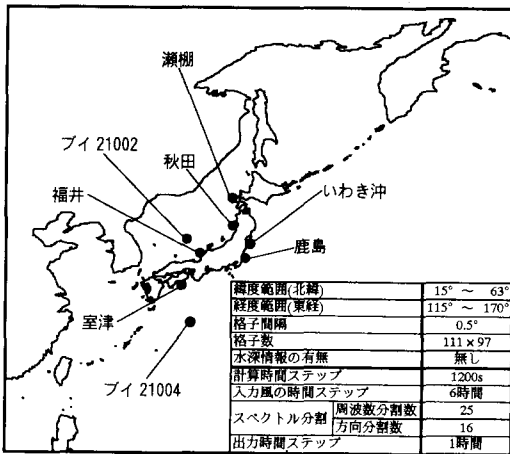


図-1 計算領域と計算条件

表-2 観測地点の諸元

地点名	観測位置		水深	観測期間
	北緯	東経		
日本海側	瀬棚	42°26' 30"	139°49' 16"	52.9 m 1980年～現在
	秋田	39°44' 06"	140°00' 38"	29.5 m 1981年～現在
	ブイ 21002	37°55' 00"	134°33' 00"	2675 m 1981～2000年
	福井	36°12' 39"	136°06' 44"	21.3 m 1980～2000年
太平洋側	いわき沖	37°17' 49"	141°27' 47"	154.5 m 1986～1996年
	鹿島	35°53' 46"	140°45' 32"	24.5 m 1972年～現在
	室津	33°15' 59"	134°08' 52"	30.0 m 1990年～現在
	ブイ 21004	29°00' 00"	135°00' 00"	4850 m 1982～2000年

るために、福島県いわき沖において1992年12月6日～15日かけて南岸低気圧及び冬型気圧配置により発生した有義波高、周期の経時変化図を例示したものである。図中の○印は観測値を、3本の線はそれぞれOperational data, ERA15, ERA40を用いた波浪推算値を表す。

図より、12月8日の波高ピーク時付近では各波浪推算値は観測値よりも過小評価しているものの、その他の期間では、波高、周期ともに概ね観測値を再現できており、この内、Operational dataを用いた推算精度が高く、ERA15, ERA40はこれよりやや低い推算値となっている。また、波浪の経時的な変化傾向を見ると、ERA15とERA40が類似した傾向を示している。これは、表-1に示したように、ERA15とERA40は空間解像度が同じで、ともにデータ同化された風再解析値であるためと推察される。ここでは、太平洋側のいわき沖の例のみを示したが、日本海側の地点でも各波浪推算値の特性は概ね同様な傾向が見られた。

各風データを用いた波浪推算値の時系列的な特性は以上の通りであるが、今後、これらの風データを用い、様々な目的のために波浪推算を行う場合、それらの風データを用いた場合の波浪推算値の統計的な性質を把握してお

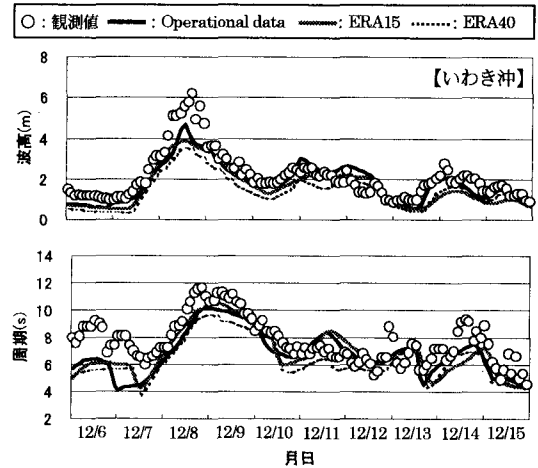


図-2 各風データによる波浪推算結果の比較例

くことは重要である。

そこで、図-1に示した日本周辺海域を対象として全海域で1時間毎に保存した有義波高・周期・波向と日本沿岸周辺のみで保存した方向スペクトルを用いた各種統計解析より、各風データを用いた波浪推算結果の相互比較及び観測値との比較により推算精度の検討を行った。

5. 各種統計解析結果

(1) 波高・周期の空間分布の比較

図-3は、1992年の波浪推算値を用いた年平均有義波高、周期の空間分布図である。図の上段が年平均有義波高、下段が年平均有義波周期の空間分布を表し、左図がOperational data, 中図がERA15, 右図がERA40を用いた推算結果である。

図より、風データの違いにより年平均有義波高、周期に大きな差が生じ、計算領域全域にわたりOperational dataを用いた場合の平均波高・周期が最も大きくなり、ERA40を用いた平均波高・周期が最も小さな値を示すことがわかる。Operational data, ERA15と比較してERA40では、年平均有義波高が50 cm程度、周期が0.5 s程度も低く推算される海域がある。

また、各風データを用いた波高、周期の等値線の空間分布傾向は類似しているが、ERA40に比べてOperational dataとERA15がより類似した分布傾向を示している。ERA40では太平洋全域で等値線がなだらかで、起伏のゆるい分布となっている。このような波浪推算結果の違いは、それぞれの風データの作成に用いられた気象モデルの違いやデータ同化手法の違いによるものと推察される。

(2) 月別平均値の比較

図-4は、1992年の観測値と波浪推算値の月別平均有

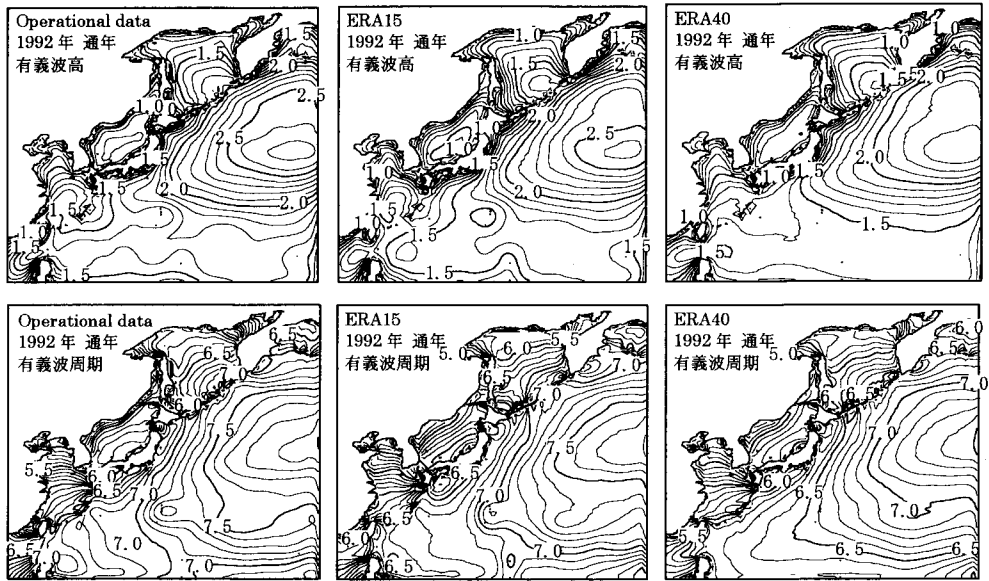


図-3 年平均有義波高・周期の空間分布の比較 (上段：有義波高，下段：有義波周期)

義波高の比較図である。図中の●印が観測値，○印がOperational data，□印がERA15，◇印がERA40による結果を表しており，左図は日本海側4地点(瀬棚，秋田，ブイ21002，福井)，右図は太平洋側4地点(いわき沖，鹿島，室津，ブイ21004)の比較図である。

日本海側について見ると，推算波高は観測波高の月別変化傾向をよく表している。Operational dataによる推算波高は観測波高と最もよく一致しているものの，冬季(12月，1月，2月)においては推算波高が観測波高より50 cm程度過小評価している地点がある。また，ERA15及びERA40による推算波高は，Operational dataと比較して，数cm～数十cm低く推算されているが，月別変化傾向は概してよく一致している。

太平洋側について見ると，推算波高は観測波高の月別変化傾向をよく表しているものの，外洋に位置するいわき沖とブイ21004において推算波高が観測波高に比べて過小評価される傾向が見られる。WAMではうねり性の波浪を過小評価する傾向があり(橋本ら，2002)，太平洋側の外洋に位置するこれらの地点では，その影響が現れやすいためと推察される。沿岸域に位置する鹿島，室津では推算波高と観測波高は概してよく一致している。なお，鹿島の4，5月の観測値を図示していないが，これはこの期間の鹿島の観測データの測得率が0.3%，29.3%と非常に低かったためである。

日本海側と太平洋側を比較すると，日本海側では小さかったERA15とERA40の波高値の差が太平洋側では大きくなっていることが特徴的である。

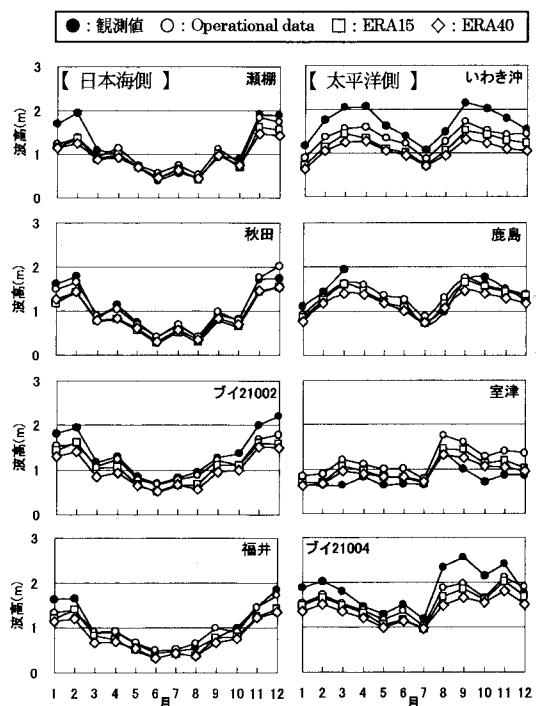


図-4 月別平均有義波高の比較 (1992年)

(3) 方向スペクトルの月別平均値の比較

ここでは方向スペクトルの月別平均値を用いた比較を行う。図-5は，いわき沖で観測された方向スペクトルとOperational data, ERA15, ERA40を用いて推算した方向スペクトル(周波数分割数25，方向分割数16)の月別

平均値の比較例であり、方向スペクトルの等値線図とともに、縦軸に周波数別エネルギー分布、横軸に方向別エネルギー分布を棒グラフで示している。図の上段が1月、下段が7月の比較図であり、左端から観測値、Operational data, ERA15, ERA40 の順に月平均方向スペクトルを並べて示している。

1月の月平均方向スペクトルを見ると、観測値にはN方向に周期5s程度の卓越した風波成分エネルギー、S方向に周期10s程度のうねり成分エネルギーが見られる。また、NNE方向には周期5s～10sの風波～うねり成分エネルギーが見られる。一方、Operational dataでは、NNW方向で周期5s程度の風波成分エネルギーが卓越し、NNE及びS方向で周期10s程度のエネルギー成分が卓越しており、概して観測値に近い分布傾向を示している。ERA15の周波数別エネルギー分布を見ると、Operational dataと比較して、より観測値に近い分布を示しているものの、方向別エネルギー分布では、NNW, S, NE方向に卓越したエネルギー分布が見られ、観測値、Operational dataと比較してS方向のエネルギーの割合が大きくなっている。また、ERA40の周波数、方向別エネルギー分布の傾向は、ERA15に類似した結果となっている。

7月の月平均方向スペクトルを見ると、観測値には周期10s程度のうねり成分エネルギーがSW～E～N方向にかけて広い範囲に分布している。一方、Operational dataでは、観測値よりも範囲は狭いものの、うねり成分エネルギーはSW～E～NE方向に分布しており、概して観測値と類似した分布傾向を示している。また、ERA15もOperational dataとほぼ同様な分布傾向を示している。しかし、ERA40は周期10s程度のエネルギー成分が

SW～E～NE方向にかけて分布しているが、SSE～E～NE方向のエネルギーの割合はOperational data, ERA15よりも小さく、S方向のエネルギーが卓越している。

このように、方向スペクトルの月別平均値においても、Operational dataを用いた場合の波浪推算精度が最も高く、ERA15を用いた場合にはOperational dataとERA40を用いた場合の中間的な特性を示すことがわかる。

(4) 有義波高の標準偏差の空間分布の比較

図-6は、1992年の秋季(9～11月)の有義波高の標準偏差の空間分布図である。標準偏差が大きい海域は、その海域の波高の変動が大きいことを示しており、図より、太平洋の外洋、オホーツク海、日本海、東シナ海で変動が大きい傾向がある。

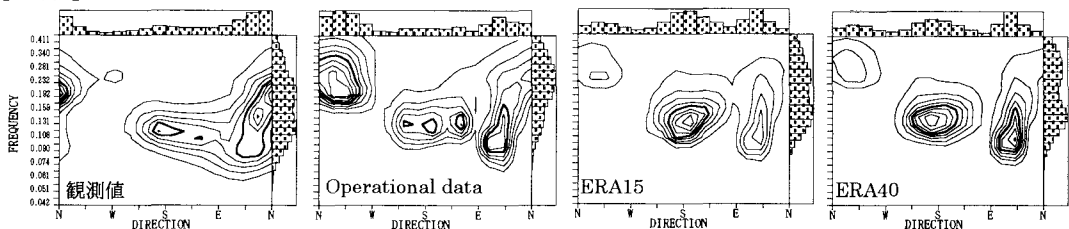
また、等値線の空間分布を見ると、Operational dataとERA15は類似しているものの、ERA40は等値線がなだらかで、起伏のゆるい分布になっている。特に、日本の南方海域においてこの傾向は著しい。日本の南方海域における代表的な気象擾乱としては台風があるが、ERA40ではこれが適切に再現されていない可能性がある。

(5) 経年的な変化傾向の比較

図-7は、1972年～2002年の観測値と各波浪推算値の年平均有義波高の経年変化の比較図である。図中の●印が観測値、○印がOperational data、□印がERA15、◇印がERA40による推算結果を表しており、上図は日本海側の代表地点として福井を、下図は太平洋側の代表地点として鹿島の結果を示している。

福井について見ると、1995年以降のOperational dataを用いた推算波高は、年平均値と経年変化傾向ともに観

【1月】



【7月】

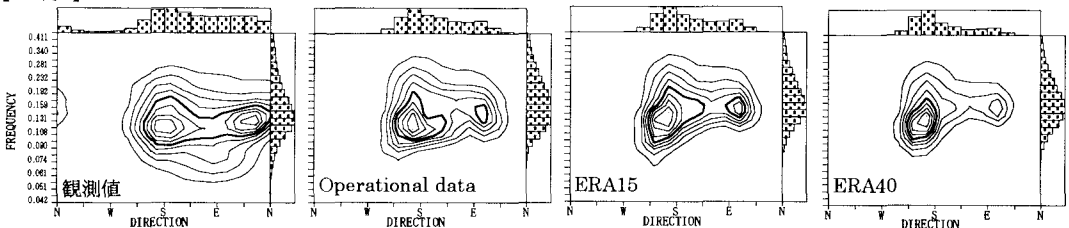
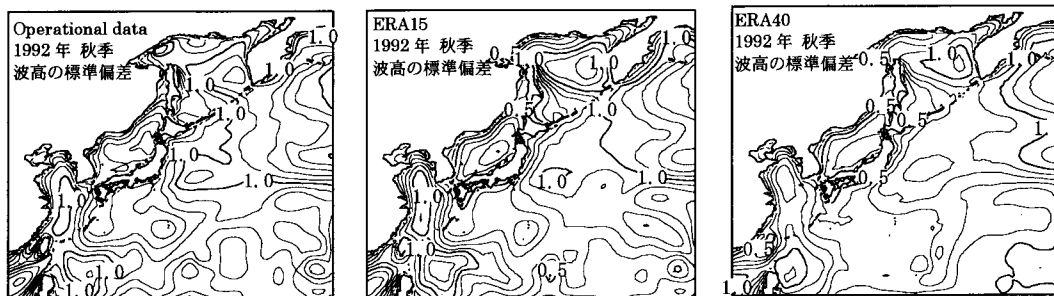
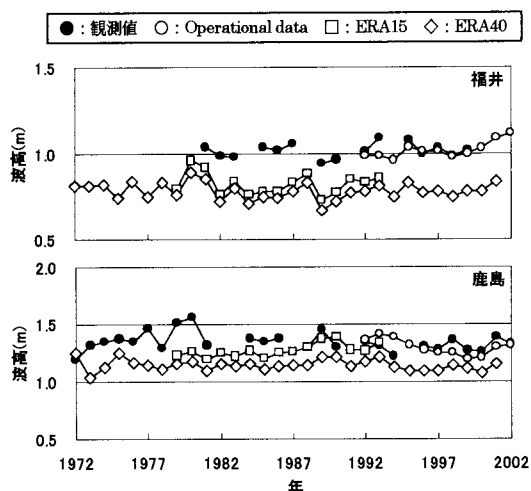


図-5 方向スペクトルの比較 (いわき沖 上段: 1月 下段: 7月)



図—6 平均有義波高の標準偏差の空間分布の比較 (1992 年 秋季)



図—7 年平均有義波高の経年変化傾向の比較

測値とよく一致している。また、ERA15 と ERA40 を用いた推算波高値は、観測波高よりも過小評価されているものの、経年変化傾向は概してよく一致している。

鹿島について見ると、1996 年以降の Operational data 及び 1989 年～1993 年の ERA15 を用いた推算波高は、年平均値と経年変化傾向とも概して観測値とよく一致している。また、ERA40 を用いた推算波高値は、観測波高よりも過小評価されているものの、1984 年以降の経年変化傾向については概して再現されているように見える。

以上より、Operational data, ERA15 と比較して ERA40 を用いた波浪推算精度は低いものの、波浪の経年的な変化傾向については概して再現されており、この様な検討に用いる場合には、適用可能であろうと思われる。

6. おわりに

本研究では、現在入手可能な 3 種類の ECMWF 風

データを第三世代波浪推算法 WAM に適用し、日本周辺海域を対象として長期波浪推算を行い、各種統計解析より、これら風データを波浪推算に用いる場合の波浪推算精度や特徴を比較・検討した。以下に主要な結果を示す。

- ① Operational data, ERA15 及び ERA40 を用いた波浪推算では、用いる風データに依存して推算精度に大きな差がある。
- ② Operational data を用いた推算波高値は観測波高値と最もよい一致を示す。一方、ERA40 を用いた波高値は観測波高よりも低く推算される傾向があり、最新の気象データである ERA40 が必ずしも波浪推算精度を向上させるデータセットではないことがわかった。しかし、月別変化傾向や経年変化傾向などの統計的な変化傾向を把握するためには有用であり、使用用途によっては実用に耐えうるデータであることがわかった。

謝辞：本研究では、波浪推算の実施に際し、ECMWF から提供された海上風の客観解析データを使用した。また、波浪推算結果検証のため、気象庁からブイロボットによる現地観測データを提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 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.
- 川口浩二・橋本典明・鈴山勝之 (2002): 波浪推算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.
- 永井紀彦・橋本典明・浅井 正・菅原邦彦・久高将信 (1992): いわき沖で観測された方向スペクトルの出現特性, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 166-170.