

ECMWF 風データと WAM に基づく日本沿岸波浪の 推算精度に関する検討

川口 浩二*・橋本 典明**・永井 紀彦***・久高 将信****

1. はじめに

波浪推算は、これまで主として港湾・海岸構造物の被災原因の究明や欠測データの補完、あるいは既往の気象擾乱を対象として実施する設計波の算定など、限られた目的で実施される場合が多かった。これは波浪推算を実施する場合、気象学等に関する専門的知識が不可欠な上、多額の費用が必要であったためである。しかしながら、近年、コンピュータの計算能力の向上や、ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), NCEP (The National Centers for Environmental Prediction) などといった諸機関から信頼性の高い気象データ解析値が比較的容易に入手可能となるなど、高精度な波浪推算を容易に行える環境が整ってきた。このため、今後は特定の気象擾乱や期間に限って波浪推算を実施するだけでなく、数年に渡る長期間の連続的な波浪推算を行うことで、港内静穏度などの実務的検討、波候統計解析、広域的沿岸漂砂問題、環境問題など、多くの問題に汎用的に利用可能な波浪データが提供可能となりつつあるなど、これまで以上に波浪推算の利用が多くなるものと期待される。

そこで本研究は、このような今後の波浪推算法の汎用的利用に先立ち、現時点の基礎的知見を提供することを目的として、日本沿岸を対象とした ECMWF 風データと WAM を用いた長期間にわたる波浪推算を行い、日本沿岸における波浪推算精度を検討するとともに、その出現特性を検討するものである。

2. 検討方法

第 3 世代波浪推算法 WAM は既に世界各国で導入され、ECMWF 風データ解析値に基づく波浪推算が実施され、各所でその推算精度に関する検討が行われている。我が国においても、山口ら (1997)、畑田ら (1999) が

ECMWF 風データを用いた 1 点浅海モデルによる波浪推算を実施し、外洋に設置された気象庁の波浪観測ブイによって得られた観測値を用いて推算精度の検討を行い、波候統計解析における ECMWF データの有用性を検証している。しかしながら、我が国で上記の世界標準となりつつある WAM を ECMWF 風データに適用し、その特性や精度を検討した例はなく、日本沿岸における ECMWF 風データを用いた WAM の推定精度は明らかでない。

本研究では、1992～1996 年の 5 年間(一部、1997 年も使用)について、ECMWF 風データを入力風とした WAM による日本沿岸を対象とした波浪推算を行い、地点(海域)別、年別・季別等の有義波諸元および波向などの波浪諸元を全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) で観測された沿岸波浪観測データと比較することで、日本沿岸における ECMWF 風データを用いた WAM による波浪推算精度の検討を行った。対象地点の決定に際しては、できる限り大水深かつ波向観測を同時に行っている地点とし、日本沿岸を網羅するよう日本海側 7 地点(留萌・酒田・新潟沖・輪島・鳥取・玄界灘・那覇)、太平洋側 5 地点(いわき沖・鹿島・波浮・室津・宮崎)の合計 12 地点を選出した(表-1 および図-1)。また、推算値は北緯 20～45 度、東経 130～155 度(いずれも 0.5 度間隔)の領域で行い、推算値と現地観測値の比較は波浪観測地点に最も近い計算格子点上の値を用いた。計算は水深の影響を受けない深海条件で行った。さらに、現地観測値は毎偶正時の 2 時間間隔、推算値は毎正時の 1 時間間隔のデータ出力であるが、推算値と観測値を直接対応させる場合は 2 時間間隔、その他の場合については 1 時間間隔の全データを対象として各種計算を行った。

3. 検討内容および結果

図-2 は、対象とした 5 年間について、各地点毎に現地観測値および推算値の有義波諸元および平均波向の散布図を示したものである。なお、図中の直線は回帰直線を示し、R は相関係数を示す。

図-2(a) より、有義波高の回帰直線の傾きは地点によって異なるものの、留萌・室津を除き概ね 0.9～1、相

* 正会員	工修	(独)港湾空港技術研究所
		海洋・水工部 海洋水理研究室
** 正会員	工博	(独)港湾空港技術研究所
		海洋・水工部 海洋水理研究室長
*** 正会員	工博	(独)港湾空港技術研究所
		海洋・水工部 海洋情報研究室長
**** 正会員		(株)エコー 環境水理部 波浪情報部

表-1 対象地点の観測諸元

		波高計			観測機器*1 (波高計/波向計)
		北緯	東経	水深(m)	
日本海側	留萌	43°51'50"	141°28'20"	50.0	海象計
	酒田	39°00'21"	139°46'55"	45.1	USW/傾斜計**
	新潟沖	38°00'07"	139°07'46"	35.0	USW/CWD
	輪島	37°25'40"	136°54'19"	50.0	海象計
	鳥取	35°33'05"	134°09'51"	30.0	海象計
	玄界灘	33°55'50"	130°28'13"	41.0	海象計
	那覇	26°15'14"	127°38'58"	51.0	USW/CWD
太平洋側	いわき沖**	37°17'49"	141°27'47"	154.0	SRW/CWD
	鹿島	35°53'46"	140°45'32"	24.5	USW/CWD
	波浮	34°40'23"	139°27'18"	49.0	USW/CWD
	室津	33°15'59"	134°08'52"	30.0	USW/CWD
	宮崎	31°49'08"	131°35'07"	29.0	USW/CWD

*1 USW: 超音波式波高計, CWD: 超音波式流速計型波向計

SRW: ステップ式波高計

** 高波浪時 ($H_{1/3} > 2\text{ m}$, $T_{1/3} > 7\text{ s}$) に限って波向算定.

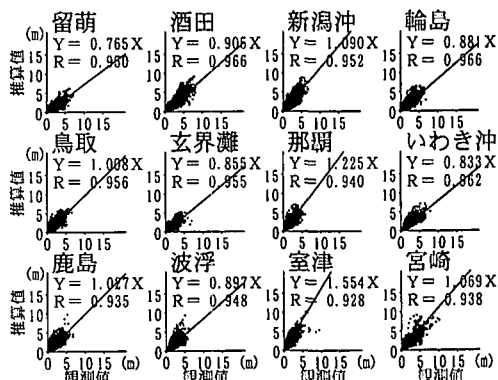
** 1996年3月末で観測終了.



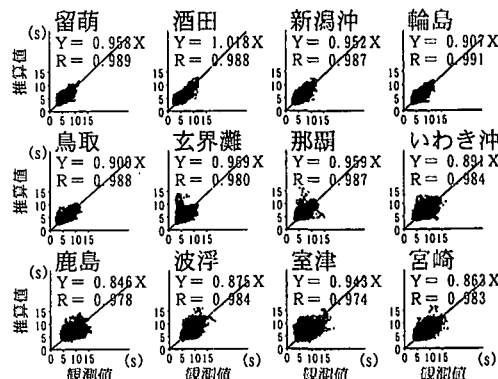
図-1 対象地点

関係数は0.93~0.97程度と高いことがわかる。さらに太平洋側と日本海側を比較すると日本海側の相関係数の方が高いことがわかる。一方、図-2(b)の有義波周期は殆どの地点で推算値が過小評価であるが、日本海側における回帰直線の傾きは太平洋側と比べると1に近い値をとる。また、有義波周期の相関係数は有義波高の相関係数よりも高く、有義波高と同様に太平洋側に比べて日本海側の方が高い。さらに、その分布形状を見ると日本海側は回帰直線を長軸とする楕円形に分布するのに対し、太平洋側は円に近い形で分布するのも特徴的である。このように太平洋側に比べて日本海側の推算精度が高い理由の1つとして、周囲を陸地に囲まれた日本海側では、波浪推算モデルによって評価が困難とされるうねり性の波浪成分が少ないということが挙げられる。

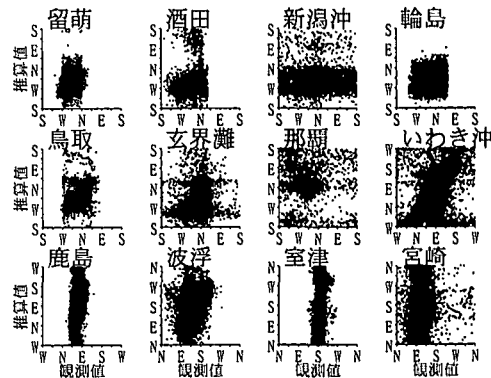
図-2(c)は平均波向に関する散布図であるが、通常、NOWPHAS 波浪観測網では、CWD (超音波式流速計型波向計) を用いた波向推定は、その推定手法 (流向・流速を用いた共分散法) 自体に問題があることなどから、



(a) 有義波高



(b) 有義波周期



(c) 平均波向 (足切り波高 0.25 m)

図-2 有義波諸元および波向の散布図 (全年)

低波浪時 (通常、有義波高で0.25 m以下) については波向を定義していない。そのため、本研究でもそれに習い、0.25 m以下の観測値は表示していない。

この場合、図-2(c)に見られるように、ばらつきはあるものの、いわき沖、鳥取、玄界灘の3地点については、観測値と推算値の間に原点を通る直線で近似できるような相関が見られるが、それ以外の地点に関しては必ずし

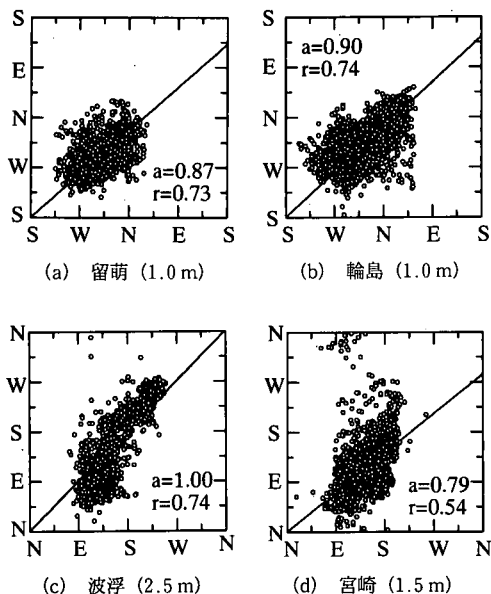


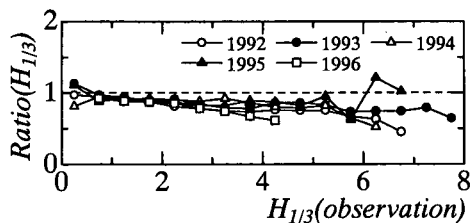
図-3 足切り波高を変えた場合の平均波向の相関
(括弧内は足切り波高)

も相関があるとは言えない。このため足切り波高を上げて行き、高波高に限定して波向の再検討を行った。その一例を示したものが図-3である。足切り波高を上げた結果、有義波諸元には劣るものの、原点を通る直線で近似できそうな相関が現地観測値と推算値との間に見られるようになった。このように地点毎に足切り波高を適切に設定してやれば、分布のばらつきが緩和され、現地観測値と推算値の波向の間に相関が見いだされる。

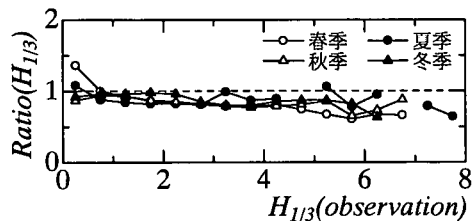
以上のように、有義波諸元については、地点によって回帰直線の傾きが異なり過大・過小評価まちまちであるが、相関係数でみる限り現地観測値と推算値の間には高い相関があることが明らかとなった。一方、波向に関しては、適当な足切り波高を設けることで、現地観測値と推算値との間に相関があることが確認できた。波向については、周辺地形や水深が大きく影響していると考えられ、この点を考慮した再整理が必要と考えられる。

図-4および5は、図-2で比較的高かったいわき沖(太平洋側)と輪島(日本海側)の2地点について、有義波諸元の階級別の推算精度を示したものである。横軸には観測有義波諸元を、縦軸には現地観測値で推算値を無次元化した比率をとり、それぞれ地点毎に年別・季別の値を示した。ここで比率が1より小さい場合は現地観測値に比べて推算値が過小評価していることを示している。また、季別の区分は春季(3~6月)、夏季(7~9月)、秋季(10~11月)および冬季(12~2月)とした。

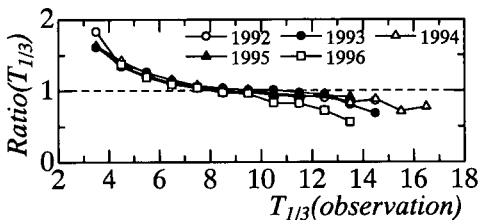
初めに、いわき沖の有義波高(図-4(a)および(b))についてみると、低波高時は比率が1程度と推算精度が



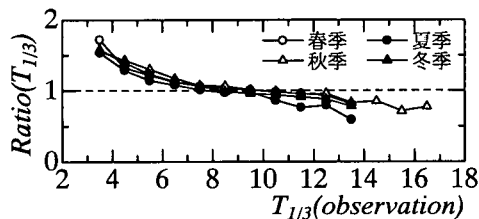
(a) 有義波高(年別)



(b) 有義波高(季別)



(c) 有義波周期(年別)

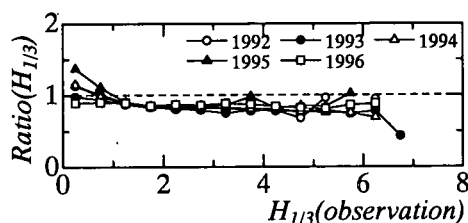


(d) 有義波周期(季別)

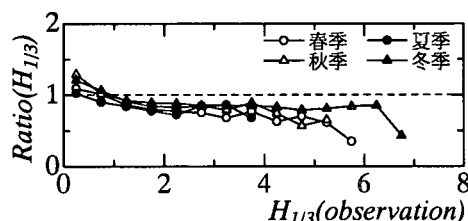
図-4 階級別の推算精度(いわき沖)

高いものの、全体的には過小評価の傾向がある。また、波高の増加に伴って年や季節の違いによる推算精度の変動が大きくなり、次第に過小評価の傾向が強くなってゆく。特に5mを越える高波高時においては、季節による推算精度の違いが大きい。つぎに有義波周期(図-4(c)および(d))についてみると、周期3~6秒辺りの短い周期帯では比率が1より大きく過大評価となっていることがわかる。しかしながら、周期の増加とともに比率は1に近づき、推算精度が向上するものの、周期9秒前後を境に、今度は徐々に比率が1よりも小さくなって過小評価となる。なお、この傾向は夏季に強く見られる。

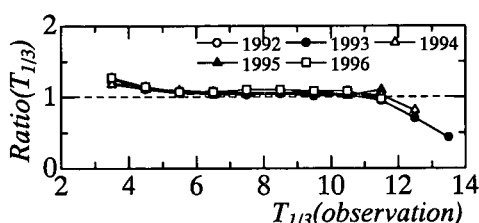
つぎに、輪島の場合、有義波高(図-5(a)および(b))をみると、いわき沖と同様に全体的に過小評価の傾向が



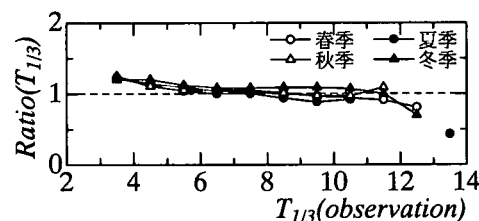
(a) 有義波高 (年別)



(b) 有義波高 (季別)



(c) 有義波周期 (年別)

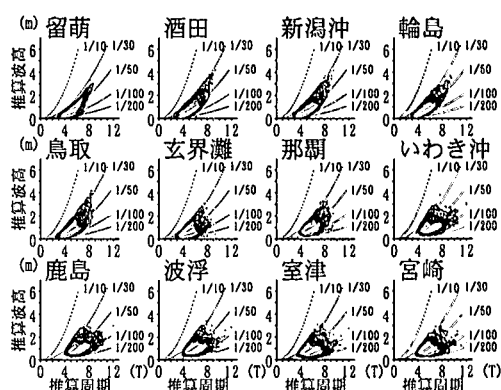


(d) 有義波周期 (季別)

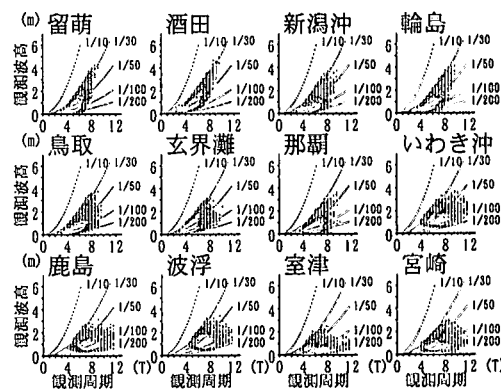
図-5 階級別の推算精度 (輪島)

あるものの、波高の増加に伴う推算精度の変動は小さく、過小評価の傾向はいわき沖と比べて緩やかであることがわかる。特に冬季に関しては波高階級によらず、ほぼ一定の値を取ることがわかる。つぎに、有義波周期 (図-5(c) および (d)) をみると、いわき沖と同様に、周期3～6秒辺りで若干過大評価しているものの、いわき沖と比較すれば推算精度は高い。また、いわき沖のような周期の増加に伴う過小評価の傾向は見られず、輪島では周期12秒程度までは、比率が1を若干越える程度と推算精度がかなり高いことがわかる。

このように、統計的に見ると波高の推算精度は全体的に過小評価の傾向があり、波高の増加と共に推算精度が落ちる傾向があることが明らかとなった。これは高波高



(a) 推算値



(b) 現地観測値

図-6 有義波高と有義波周期の結合分布 (全年)

をもたらす気象擾乱の風速が格子間隔の粗い ECMWF 風データでは十分に表現されておらず、そのため高波高の発達が十分でないことによるものと考えられる。一方、周期に関しては、波高に比べると推算精度は高く、特に日本海側においては、周期帯によらず推算精度が高いことがわかった。

図-6 は、推算値による有義波高と有義波周期の結合分布を示したものである。図中の数字は波形勾配を示している。図より、太平洋側・日本海側共に有義波は波形勾配 1/200～1/30 の範囲に分布していることがわかる。また、日本海側・太平洋側で比較すると、日本海側の方が同じ波高に対して波形勾配の大きい波が存在し、この傾向は北に行けば行くほど、また冬季に顕著であることがわかる。この傾向は、図-6(b) で示すように現地観測値においても同様の傾向が見られる。また、那覇、鹿島、室津および宮崎からわかるように、観測結果では波形勾配 1/200 以下の波は存在するが、推算結果では存在していない。

これまでは推算結果全体を統計的に見てきたが、ここでは時系列で比較する。図-7 は、いわき沖 (1995 年) に

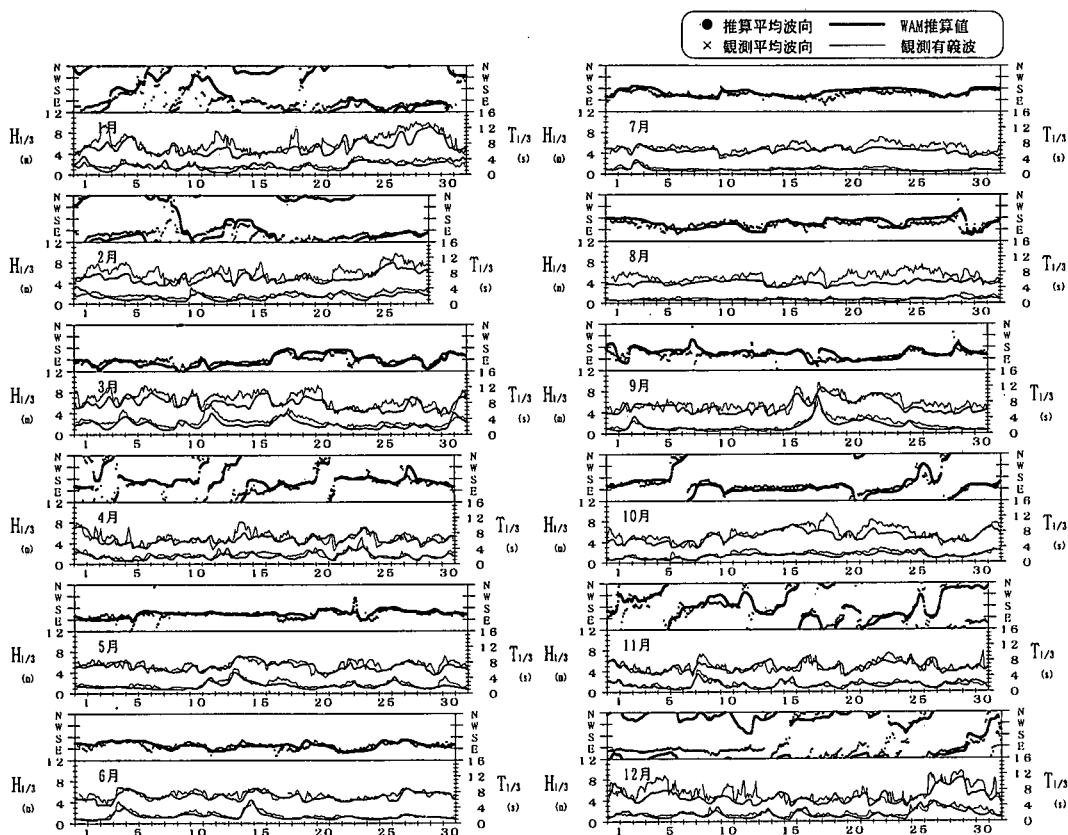


図-7 有義波諸元と波向の時系列変化の比較 (いわき沖 (1995 年) の例)

おける現地観測値と推算値の有義波諸元及び平均波向を時系列で比較した一例である。図中の太線および細線は、それぞれ WAM による推算値および現地観測値の有義波諸元を示し、●および×印は、それぞれ推算値および現地観測値の平均波向を示している。

図より推算値の有義波諸元は有義波周期にみられるような値の細かな変動は捉えられないものの、全体としてのトレンドは十分評価できている。とりわけ、8月の有義波周期を除く、春季終わり(5月)から秋季初め(9月)にかけての精度が高い。また波向については、冬季(12~2月)に若干精度が落ちるものの、その他の季節においては、有義波高の値や変動が小さく、波向の変動も小さい夏季(7・8月)や、台風の接近・通過に伴って有義波高が大きく変動するような秋季(9・10月)においても十分評価できていることがわかる。さらに他地点においても、季節による推算精度の違いはあるものの、いわき沖と同様に全体的なトレンドは十分に捉えている。以上のことから、WAMの推算結果は、統計的な性質ばかりでなく、時系列上の比較でも有効であると考え

られる。

4. おわりに

1992~1996年の5年間を対象とし、ECMWF風データを入力風としたWAMによる波浪推算を実施し、現地観測値と推算値を比較した。その結果、波浪推算によって有義波諸元や波向などの出現特性や時空間変動を捉えることが十分可能であることを確認できた。そのため、本研究で得られた地点(地域)別・季節別の特性や傾向を考慮して推算値を評価すれば、冒頭で述べた多くの問題に対して実用レベルで波浪推算結果を適用できると期待される。

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.
- 畑田佳男・山口正隆・大福 学(1999): 1点浅海モデルおよびWAMによる長期波浪推算結果の相互比較, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 271-275.