

わが国周辺海域および沿岸における 2 種類の 長期波浪資料の精度の比較

山口正隆*・畑田佳男**・大福 学***
野中浩一****・平塚敬樹*****

ECMWF 表面風解析資料 (ECMWF 風資料) を入力条件とした, WAM による波浪推算資料に波浪観測資料を同化して得られている 6 時間間隔波浪解析資料 (WAM 資料), これとほぼ同一の ECMWF 風資料を入力条件とした, 高地形解像度格子網のもとでの 1 点浅海モデル (SPM) による波浪推算資料 (SPM 資料) および観測資料の相互比較を 1997~2002 年の 6 年間についてわが国周辺海域および沿岸部の波浪観測地点で行った。その結果, WAM 資料は波高観測資料との高い相関と小さいばらつきを与えるが, 絶対値では必ずしも十分符合しないのに対して, SPM 資料は外洋, 沿岸部によらず波浪観測資料とのよい一致を与えることを見出した。

1. 緒 言

現在, 第 3 世代の波浪推算モデルである WAM は世界各国で実用に供されている。また, ECMWF 表面風解析資料 (ECMWF 風資料) を入力条件とした, WAM による波浪推算資料に衛星などによる波浪観測資料を同化して作成された全球規模の 6 時間間隔波浪解析資料 (以降 WAM 資料と言う) が ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) から 1992 年 7 月以降の期間において有償で提供されていることから, WAM 資料を用いて全球規模の波浪を解析することが可能になっている。しかし, その利用に先立って, WAM 資料の精度や特性をそれ以前の世代のモデルによる波浪推算資料との比較において検討しておく必要があろう。

本研究では, 上記の期間のうち空間解像度 (0.5°) の高い 1997~2002 年の 6 年間の WAM 資料, これとほぼ同一の 10 m 高度 ECMWF 風資料を入力条件とした, 高地形解像度格子網のもとでの 1 点浅海モデル (SPM) による波浪推算資料 (SPM 資料) および観測資料の相互比較を日本周辺海域と沿岸部の波浪観測地点で行い, それぞれの精度や特性を明らかにする。

2. 波浪資料とその解析方法

(1) WAM 資料

空間解像度 0.5° の 6 時間間隔 WAM 資料は 1996 年 12 月 5 日 0 時 (UTC) 以降に作成されている。各種波浪情報のうち, ここでは有義波高, 平均周期, 平均波向の 3 要素資料を 1997~2002 年の 6 年間について抽出する。平均周期はスペクトルの -1 次モーメントと 0 次モーメントの比として計算されている。今回の検討では, 有義波周期は上記の平均周期に等しいとする。

図-1 は日本周辺海域における 0.5° 間隔の波浪格子網

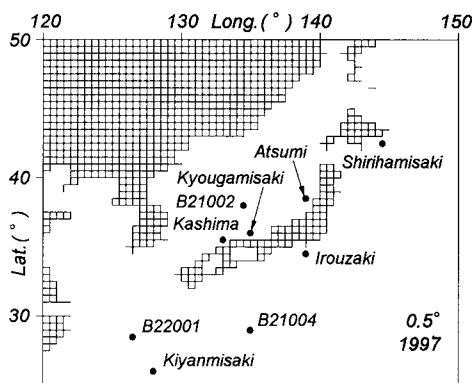


図-1 WAM 資料の格子網と波浪資料抽出地点

と波浪観測地点に相当する WAM 資料抽出格子点を示す。これは地形の細部をある程度再現するけれども, 沖縄本島などの南西諸島を含まず, 沿岸地形の解像度は高いと言えない。WAM 資料の抽出地点は, 日本周辺海域に配置されていた気象庁による 3 基の海洋観測ブイ, すなわち B21004 (四国沖ブイ), B21002 (日本海ブイ), B22001 (東シナ海ブイ) に相当する 3ヶ所と, 太平洋岸および日本海沿岸に配置されている気象庁沿岸波浪計地点に相当する各 3ヶ所である。沿岸観測地点の選択にあたっては, WAM 資料の空間解像度が 0.5°であることを考慮して, 外洋に面した陸上格子点に隣接する海上格子点とする。

(2) SPM 資料

格子間隔 5 km の北西太平洋格子網あるいは日本海格子網と格子間隔 0.5~1 km の波浪推算地点周辺小領域格子網よりなる高地形解像度 2 段階水深格子網のもとで, 格子間隔 80 km (北西太平洋領域) あるいは 40 km (日本海領域) の格子網上に再編集した 6 時間間隔 ECMWF 風資料の 1 時間線形補間値を入力条件として, SPM (山口ら, 1987) による波浪推算を 1996~2002 年の 7 年間行う。

図-2 は北西太平洋領域の水深格子網, 小領域格子網

* 正 会 員 工 博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科
** 正 会 員 博(工) 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科
*** 愛媛大学技術専門職員工学部環境建設工学科
**** 正 会 員 博(工) 愛媛大学契約職員 工学部環境建設工学科
***** 学生会員 愛媛大学大学院理工学研究科博士前期課程

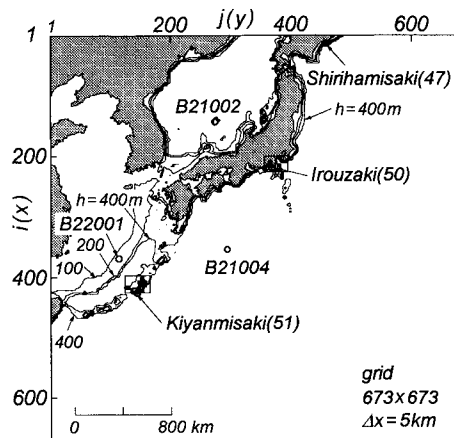


図-2 北西太平洋領域および波浪推算地点と水深

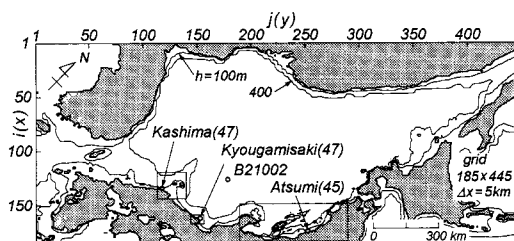


図-3 日本海領域および波浪推算地点と水深

の範囲および波浪推算地点の位置と水深を示す。波浪推算地点は B21002 を除く 2 ブイ地点と、尻羽岬、石廊崎、喜屋武岬の沿岸 3 地点とする。波浪推算では、波向線が到達する外洋開境界で局所風速・風向を用いたパラメトリックな関係式により方向スペクトルを与える。これは WAM 資料が全球モデルを用いて得られている点と大きく異なる。

図-3 は日本海領域の水深格子網等を示す。日本海領域は陸地地形を精度よく表現するため、NW-SE 方向を x 軸とする座標系を用いる。波浪推算地点は B21002 と、温海、経ヶ岬、鹿島の沿岸 3 地点である。

(3) 波浪資料の解析方法

推算資料と観測資料の対応をみるために、観測全期間について、波高に関する累年各種統計量(上位 1/10 と 1/3 の資料の平均値 H_{s10} , H_{s3} , 全資料の平均値 $\bar{H}_s$, 標準偏差 H_{ss} , 高波出現率 p_H)および誤差統計量(相関係数 ρ_H , 相関直線の勾配値 a_H と切片 b_H , 原点を通る相関直線の勾配値 a_{0H} , 2 乗平均誤差 σ_H), さらに月別各種波高統計量とこれらに関する上記と同じ誤差統計量(2 乗平均誤差を除く)を求める。周期資料の場合も波高資料の場合と同様な周期統計量および誤差統計量を算出する。

WAM 資料の空間解像度は 0.5° であるので、陸上部か

ら少なくとも数百 km 離れたブイ地点では、WAM 資料と観測資料をそのまま比較することが可能である。しかし、その空間解像度は海岸より 2~3 km 以内の沿岸で取得された波浪観測資料との比較を行ううえで低すぎるので、ここでは WAM 資料における平均波向が外洋方向をとる時点の資料に限定して観測資料との比較を行う。一方、SPM 資料は高地形解像度条件のもとで得られているので、比較において方向限定を加える必要はないけれども、比較結果の整合性を保つために同じ処理を行う。

3. 波浪資料の精度の検討

(1) 外洋ブイ地点における比較

3 基の気象庁海洋観測ブイは 2000 年 10 月に廃棄されており、また、ブイによる観測周期は応答特性のため、必ずしも適切な値を与えないので、1997 年 1 月から 2000 年 10 月の期間の波高について両資料と観測資料の比較を行う。図-4 は B21004 (四国沖ブイ) における 6 時間間隔波高資料と観測資料の比較を WAM 資料と SPM 資料について別々に示す。WAM 資料は完全相関を表す 45° 直線のまわりに扁平な楕円状等値線を形成するように図示されるが、その長軸が 45° より低い傾きをもち、観測資料に比べて低波高部で過大な値を、高波高部で過小な値を与える。一方、SPM 資料は、WAM 資料に比べてやや幅広い楕円状等値線を与えるけれども、その長軸が 45° 直線とほぼ符合することから明らかなように、全波高部で観測資料との平均的に良好な対応を示す。図中の波高誤差統計量でみれば、WAM 資料が SPM 資料に比べて、1 に近い相関係数 ρ_H と原点を通る相関直線の勾配値 a_{0H} , より小さい 2 乗平均誤差 σ_H をもつことから、WAM 資料の精度が平均的に SPM 資料より高いことを示唆する。しかし、相関直線の勾配値 a_H と切片値 b_H は WAM 資料が観測資料に比べて平均的に低波高部で過大な値を、高波高部で過小な値を与える傾向を SPM 資料より強くもつことを示す。

表-1 は 3 基のブイ地点における累年波高統計量および誤差統計量の一覧であり、太字は両資料のうち、より

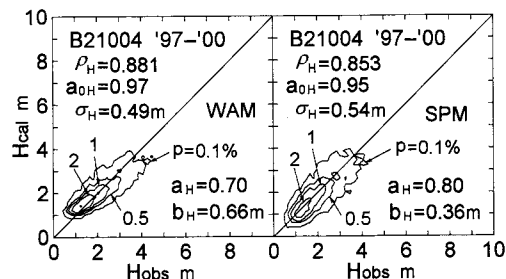


図-4 時別波高資料の比較 (B21004)

表-1 プイ地点における波高統計量と誤差統計量

buoy	data	$H_{s10}(m)$	$H_{s5}(m)$	$\bar{H}_s(m)$	$H_{s0}(m)$	ρ_H	ρ_H	$\sigma_H(m)$	a_{0H}	a_H	$b_H(m)$	r
B21004	WAM	3.75	2.84	1.99	0.80	.380	.881	0.49	0.97	0.70	0.66	.690
	SPM	3.92	2.91	1.88	0.95	.356	.853	0.54	0.95	0.80	0.36	
	obs.	4.11	2.99	1.91	1.01	.381						
B22001	WAM	3.65	2.68	1.85	0.84	.304	.879	0.53	0.92	0.67	0.60	.781
	SPM	3.85	2.83	1.82	0.96	.329	.875	0.53	0.93	0.77	0.41	
	obs.	4.26	2.99	1.84	1.09	.352						
B21002	WAM	3.46	2.59	1.66	0.83	.277	.890	0.50	0.87	0.72	0.36	.565
	SPM	3.76	2.87	1.84	0.91	.366	.889	0.47	0.96	0.79	0.41	
	obs.	4.03	2.96	1.81	1.02	.387						

高い精度を示唆する指標を示す。表中の r は測得率である。これによると、WAM 資料の相関係数 ρ_H が SPM 資料に比べてやや大きく、とくに B21004 では勾配値 a_{0H} と 2 乗平均誤差 σ_H も WAM 資料の精度がより高いことを表すけれども、それ以外の波高誤差統計量や波高統計量は SPM 資料の観測資料に対する再現性が WAM 資料より優れていることを示す。また、相関直線の勾配値 a_H と切片値 b_H から、WAM 資料は 3 プイ地点でほぼ共通して低波高部で過大な値を、高波高部で過小な値を与える傾向をみてとれる。

図-5 は B21004 における月別波高統計量 (H_{s3} , $\bar{H}_s$) に関する相関を WAM 資料と SPM 資料について示す。WAM 資料は観測資料と比べて低波高部で過大な値を、高波高部で過小な値を与えるのに対して、SPM 資料は平均的に符合する。一方、相関係数 $\rho(H_{s3})$, $\rho(\bar{H}_s)$ は WAM 資料と観測資料との強い直線性を、原点を通る直線の勾配値 $a_0(H_{s3})$, $a_0(\bar{H}_s)$ や相関直線の勾配値 $a(H_{s3})$, $a(\bar{H}_s)$ と切片値 $b(H_{s3})$, $b(\bar{H}_s)$ は低波高部で過大、高波高部で過小という WAM 資料の特徴を示唆する。

図-6 は B21002 (日本海プイ) および B22001 (東シナ

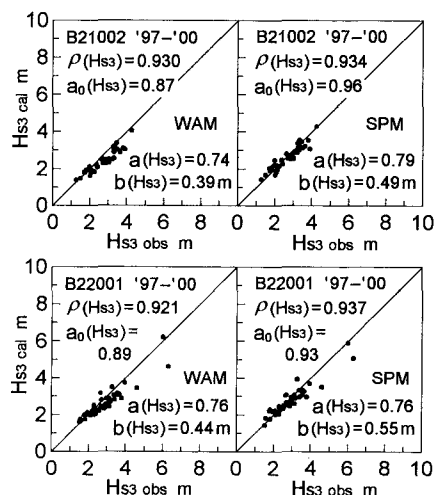


図-6 プイ地点における月別波高統計量の比較

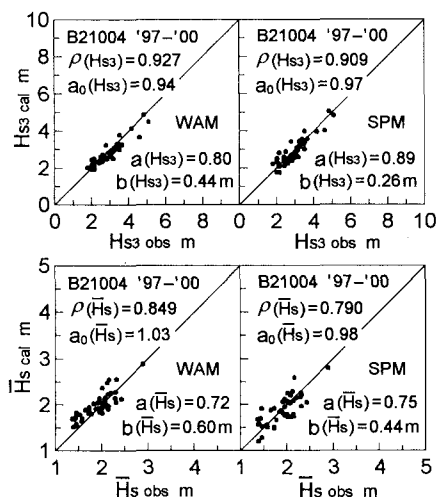


図-5 月別波高統計量の比較 (B21004)

海プイ) における月別波高統計量 H_{s3} に関する相関を表す。WAM 資料は観測資料に比べて高波高部ほど低い値を与えるのに対して、SPM 資料は B22001 でやや低めの値をとる傾向にあるものの、観測資料と全般的によく符合する。図中に示す月別波高誤差統計量のうち、相関係数 $\rho(H_{s3})$ と原点を通る直線の勾配値 $a_0(H_{s3})$ は SPM 資料の WAM 資料に対する優位性を示唆するが、相関直線の勾配値 $a(H_{s3})$ と切片値 $b(H_{s3})$ のうち、切片値は SPM 資料の値がより大きいことから、必ずしも上記の結果を支持しない。図から明らかなように、これは月別波高統計量の最下位値が 1 m を越えるために、切片値 $b(H_{s3})$ が外挿値として得られることから生じた見掛けの結果によると考えられる。

(2) 太平洋岸地点における比較

図-7 は沖縄本島南端の太平洋岸に位置する喜屋武岬における 6 時間間隔の波高・周期資料と観測資料の相関を WAM 資料および SPM 資料について示す。比較資料を外洋に開いた方向に平均波向をもつ波浪資料に限定したにもかかわらず、波高に関して WAM 資料は観測資料よりかなり過大な値を与えるのに対して、高地形解像度

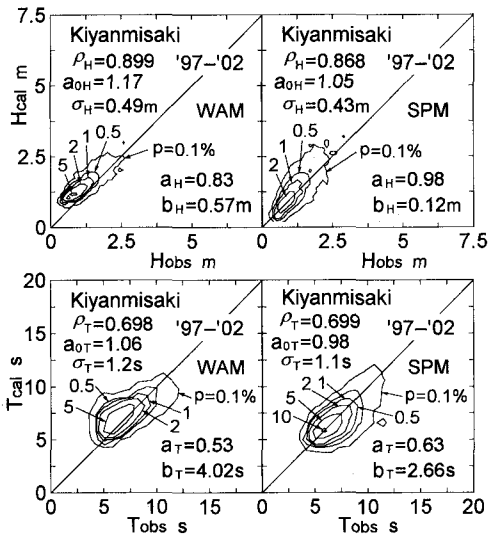


図-7 特別波高・周期資料の比較 (太平洋岸地点)

格子網を使用して得た SPM 資料は平均的に観測資料とよく符合する。一方、周期に関して WAM 資料は若干大きめの値を与えるものの、45°直線のまわりにプロットされており、観測資料と比較的よく対応する。SPM 資料も WAM 資料と同様に観測資料との比較的高い相関を示し、しかも楕円状等値線の長軸が 45°直線とほぼ一致する。波高誤差統計量のうち相関係数 ρ_H は WAM 資料の場合に大きい、原点を通る直線の勾配値 a_{0H} や相関直線の勾配値 a_H と切片値 b_H および 2 乗平均誤差 σ_H は WAM 資料の過大評価と SPM 資料の WAM 資料に対

する優位性を示唆する。一方、周期誤差統計量について、相関係数 ρ_T は両資料で同程度の値をとるが、他の統計量は SPM 資料が WAM 資料よりやや高い精度をもつことを表す。

表-2 は太平洋岸 3 地点における波候統計量および誤差統計量の一覧を示す。まず、波高に関して、WAM 資料の相関係数 ρ_H が SPM 資料に比べて大きい、他の統計量は SPM 資料の精度が石廊崎を除いて WAM 資料よりやや高いことや、相関直線の勾配値 a_H と切片値 b_H は WAM 資料が沿岸波浪に対しても低波高部で過大な値を、高波高部で過小な値を与える特徴を表している。一方、周期に関して、誤差統計量は SPM 資料の精度が WAM 資料より高いことを示す。これは周期統計量についてもほぼ言える。

(3) 日本海沿岸地点における比較

図-8 は日本海沿岸の中央部近くに位置する経ヶ岬における 6 時間間隔 WAM 資料あるいは SPM 資料と観測資料の比較を示す。波高に関して、いずれの資料もかなり扁平な楕円状等値線を与え、各資料のばらつきが小さいことを表す。しかし、WAM 資料は上記の例と同様に低波高部で過大な値を、高波高部で過小な値を与えるのに対して、SPM 資料は観測資料と非常によく符合する。誤差統計量も、両資料の精度がかなり高いが、SPM 資料の精度が WAM 資料を上まわることを示す。一方、周期に関して、WAM 資料は短周期部で大きめの値を、長周期部で低めの値を与え、楕円状等値線はやや扁平さを欠く。これに対して、SPM 資料はより扁平な楕円状等値線を取り、その長軸は 45°直線とほぼ符合すること

表-2 太平洋岸 3 地点における波候統計量と誤差統計量

loca.	data	$H_{s10}(m)$	$H_{s3}(m)$	$\bar{H}_s(m)$	$H_{s\sigma}(m)$	ρ_H	ρ_H	$\sigma_H(m)$	a_{0H}	a_H	$b_H(m)$	r
Shiraha-misaki	WAM	2.98	2.19	1.51	0.64	.161	.866	0.45	1.15	0.82	0.52	.480
	SPM	3.05	2.08	1.20	0.81	.135	.837	0.44	1.00	1.01	-0.03	
	obs.	2.76	1.92	1.21	0.67	.106						
Irouzaki	WAM	3.02	2.20	1.53	0.65	.155	.799	0.58	1.21	0.78	0.65	.736
	SPM	3.33	2.32	1.39	0.87	.180	.778	0.60	1.17	1.02	0.24	
	obs.	2.66	1.82	1.13	0.66	.090						
Kiyan-misaki	WAM	3.07	2.18	1.55	0.69	.143	.899	0.49	1.17	0.83	0.57	.573
	SPM	3.14	2.11	1.27	0.84	.128	.868	0.43	1.05	0.98	0.12	
	obs.	2.88	1.91	1.18	0.75	.096						

loca.	data	$T_{s10}(s)$	$T_{s3}(s)$	$\bar{T}_s(s)$	$T_{s\sigma}(s)$	ρ_T	$\sigma_T(s)$	a_{0T}	a_T	$b_T(s)$	r
Shiraha-misaki	WAM	11.0	9.9	8.4	1.4	.554	1.7	1.09	0.46	4.96	.480
	SPM	10.9	9.3	7.3	1.7	.587	1.6	0.96	0.61	2.73	
	obs.	10.8	9.4	7.5	1.7						
Irouzaki	WAM	10.9	9.7	8.2	1.4	.552	1.9	1.14	0.45	5.04	.736
	SPM	9.9	8.6	7.0	1.5	.632	1.4	0.98	0.58	3.08	
	obs.	10.6	8.8	7.0	1.7						
Kiyan-misaki	WAM	9.9	9.0	7.8	1.1	.698	1.2	1.06	0.53	4.02	.573
	SPM	10.0	8.6	7.2	1.3	.699	1.1	0.98	0.63	2.66	
	obs.	10.3	8.8	7.2	1.4						

表-3 日本海沿岸3地点における波候統計量と誤差統計量

loca.	data	H_{s10} (m)	H_{ss} (m)	$\bar{H}_s$ (m)	$H_{s\sigma}$ (m)	ρ_H	σ_H (m)	a_{0H}	a_H	b_H (m)	r
Atsumi	WAM	3.07	2.13	1.18	0.84	.150	.939	0.41	0.87	0.73	.899
	SPM	3.42	2.40	1.21	1.02	.205	.937	0.38	0.95	0.88	
	obs.	3.67	2.45	1.20	1.09	.198					
Kyouga-misaki	WAM	3.23	2.28	1.29	0.87	.181	.933	0.37	0.92	0.81	.853
	SPM	3.38	2.46	1.33	0.96	.225	.948	0.32	0.98	0.91	
	obs.	3.50	2.48	1.30	1.00	.219					
Kashima	WAM	2.75	1.98	1.15	0.72	.127	.936	0.31	0.94	0.79	.707
	SPM	3.13	2.20	1.20	0.86	.170	.942	0.30	1.03	0.96	
	obs.	3.04	2.09	1.12	0.85	.146					

loca.	data	T_{s10} (s)	T_{ss} (s)	$\bar{T}_s$ (s)	$T_{s\sigma}$ (s)	ρ_T	σ_T (s)	a_{0T}	a_T	b_T (s)	r
Atsumi	WAM	8.7	7.7	6.3	1.2	.717	1.0	0.99	0.61	2.53	.899
	SPM	8.9	7.8	6.3	1.4	.870	0.7	1.00	0.82	1.16	
	obs.	9.0	7.9	6.2	1.4						
Kyouga-misaki	WAM	8.7	7.7	6.4	1.2	.696	1.1	0.96	0.56	2.77	.853
	SPM	8.9	8.0	6.5	1.3	.857	0.8	0.99	0.73	1.78	
	obs.	9.3	8.2	6.5	1.5						
Kashima	WAM	8.6	7.7	6.4	1.2	.682	1.0	0.99	0.59	2.71	.707
	SPM	8.5	7.6	6.3	1.2	.772	0.9	0.98	0.64	2.22	
	obs.	8.8	7.9	6.3	1.4						

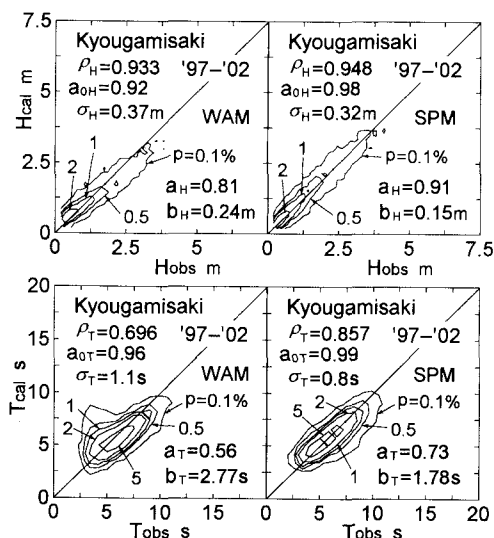


図-8 特別波高・周期資料の比較 (日本海沿岸地点)

から、WAM 資料より高い精度をもつことがわかる。これは各誤差統計量に対する相互比較からも明らかである。

表-3 は日本海沿岸3地点における波候統計量と誤差統計量の一覧である。准閉鎖海域である日本海では領域外から伝播する波浪がほぼ存在しないので、波浪は海上風の変化に応答して増減する。そのため、WAM 資料と SPM 資料の精度は太平洋岸のケースに比べてかなり高い。すなわち、波高に関して両資料における相関係数 ρ_H はほぼ 0.9 以上、2 乗平均誤差 σ_H もおおむね 0.4 m 以

下をとる。また、両資料の比較ではいずれの統計量も SPM 資料の WAM 資料に対する優位性を示唆する。同様に周期についても、両資料は高い精度をもつが、SPM 資料は WAM 資料に比べて観測資料とのよりよい対応を与える。

4. 結 語

本研究の結果はつぎのように要約される。すなわち、観測資料を同化した WAM 資料は外洋ブイ地点のみならず太平洋岸および日本海沿岸の地点における波高観測資料との比較において、高い相関と小さいばらつきを与えるが、絶対値でみれば観測資料に比べて低波高部で過大な値を、高波高部で過小な値をとり、必ずしも観測資料との十分な対応を示さない。また、周期に関してはその傾向を一層強くなる。一方、高地形解像度計算に基づく SPM 資料は外洋、沿岸部によらず観測資料とよく符合する。SPM 資料の精度は WAM 資料と同程度かそれ以上であり、准閉鎖海域である日本海やその沿岸部では WAM 資料よりかなり高い。

最後に、ECMWF 表面風解析資料を提供戴いた ECMWF ならびに海洋観測ブイにおける波浪観測資料を供与戴いた気象庁海洋課に謝意を表する。

参 考 文 献

山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博 (1987): 一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性, 土木学会論文集, 第 381 号/II-7, pp. 151-160.