

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

畑田佳男*・山口正隆**・大福 学***

1. 緒 言

わが国沿岸の波候を推定するため, 山口ら (1992, 1995, 1997) は日本海および北西太平洋における多数点の気圧値あるいは European Centre for Medium-range Weather Forecasts 提供の表面風解析値資料 (ECMWF 風資料) を入力条件とする, 山口ら (1987) の第 1 世代モデル (1 点浅海モデル) に基づく長期浅海波浪推算システムを構築した。一方, ECMWF は ECMWF 風資料を入力条件とする第 3 世代モデル WAM Cycle 4 (Günther ら, 1992) に基づく全球規模での長期波浪推算結果 (ECMWF 波資料) を公表している。しかし, 同一風条件のもとでの年単位の長期波浪推算結果に対する各世代のモデルとの比較は, 少なくともわが国周辺海域では試みられていない。

そこで, 本研究では 1995 年および 1997 年の各 1 年間について, 日本周辺に位置する外洋, 沖合および沿岸波浪観測地点で, 同じ ECMWF 風資料を入力条件とする 1 点浅海モデルに基づく波浪推算資料 (1 点モデル波資料) と, ECMWF 波資料および観測資料を比較することにより, それぞれの特性や適合性を検討する。

2. 波浪推算資料

(1) 1 点モデル波資料

10 m 高度での ECMWF 風資料は 1991 年以降, 時間間隔 6 時間, 空間解像度 0.5625° で得られている。波浪推算には, 格子間隔 80 km の北西太平洋格子網および格子間隔 40 km の日本海格子網上に補間した風速成分資料を 1 時間ごとに線形補間した 1995 年および 1997 年の各 1 年間の資料を使用する。日本海格子網は同一の格子間隔で地形解像度をあげるため, 座標軸を N 方向より反時計回りに 45° 回転させているので, 風速成分に対しても同様の操作を行う。

ECMWF 風資料を入力条件とする場合の 1 点浅海モデル (山口ら, 1987) による波浪推算は, 格子間隔 $\Delta x =$

5 km で分割した北西太平洋領域あるいは日本海領域に格子間隔 $\Delta x = 1$ km で分割した波浪推算地点周辺小領域を組み込んだ高地形解像度 2 段階水深格子網において時間間隔 $\Delta t = 1$ hr で実施する。ただし, 日本海格子網は海上風格子網に合わせて, N 方向より反時計回りに 45° 回転した座標系で表される。波浪推算の期間は 1995 年あるいは 1997 年の各 1 年間である。ECMWF 風は陸地地形の影響を過大評価するため, 陸上部や隣接沿岸部で過小な風速を与えることから, 波浪推算では, 発達・減衰項表示式における係数を各波浪推算地点周辺の ECMWF 風の特성에応じて経験的に変更するという調整を行う。

図-1 は北西太平洋領域の水深格子網および波浪推算地点を示す。北西太平洋領域における波浪推算地点は B 21004 (四国沖ブイ) と B 22001 (東シナ海ブイ, ただし水深 $h = 133$ m) の外洋ブイ地点, 東北沿岸 40 km 沖合に位置するいわき沖 ($h = 154$ m, 1995 年のみ) および沖縄本島沿岸部の喜屋武岬 ($h = 51$ m) の 4 地点, 日本海領域における波浪推算地点は B 21002 (日本海ブイ) の外洋ブイ地点と日本海沿岸の松前 ($h = 49$ m) および温海 ($h = 45$ m) の 3 地点である。このほか, 検討結果の説明は省

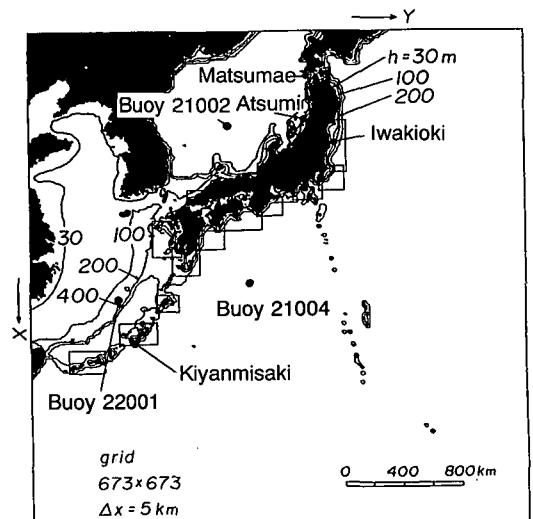


図-1 北西太平洋領域の水深格子網および波浪推算地点

* 正会員 工修 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科
** 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科
*** 愛媛大学技官 工学部環境建設工学科

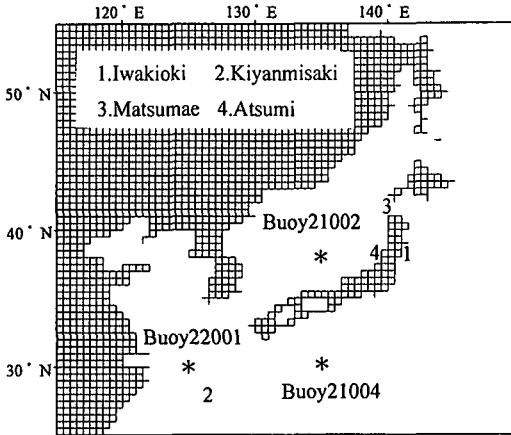


図-2 ECMWF 波資料における緯度・経度座標格子網

略するが、太平洋岸および日本海沿岸各4地点を別の波浪推算地点とした。

(2) ECMWF 波資料

これは全球 WAM により 1995 年では地形解像度 1.5°, 1997 年では 0.5° で得られており、有義波高 $H_{1/3}$, 平均周期 T_{m01} (周波数スペクトルの 1 次モーメントで定義) および平均波向 $\bar{\theta}$ など 13 種の波浪情報が 6 時間ごとにデータセット化されている。比較に際し、有義波周期 $T_{1/3}$ は平均周期 T_{m01} に日本沿岸での波浪観測結果の平均値 1.13 を乗じて求める。

図-2 は ECMWF 波資料が与えられる日本付近における 0.5° 間隔波浪格子網を示す。1.5° 間隔格子網 (1995 年) が日本列島を約 25 点で表現しているのに比べて、0.5° 間隔格子網 (1997 年) は日本列島をより忠実に再現するが、南西諸島を含まない。外洋地点の波資料はその近傍格子点の資料、沿岸地点の資料は陸上格子点より 1 格子 (1.5° または 0.5°) 離れた海上格子点における資料とする。

3. 波浪推算資料の比較および考察

(1) 外洋波浪

波資料の比較は時系列を含む個々の波資料と月および年単位の波候の両面から行う。

図-3 は B21004 における 1997 年 7 月の波高時系列図および 1997 年 1 年間の推算波高資料と観測波高資料の散乱図であり、図中の ρ_H は相関係数を表す。1 点モデル波資料 (SPM) は、20 日間以上にわたる静穏状態のうち、台風 9709 号の接近・通過に伴って急激な波高の増加・減少を示す観測資料 (obs) とよく符合する。ECMWF 波資料 (WAM) も同様の挙動をとるが、観測資料に比べて静穏期で大きく、最盛期でやや小さい。散乱図によれば、1 点モデル波資料 (3 時間間隔) は平均的に観測資

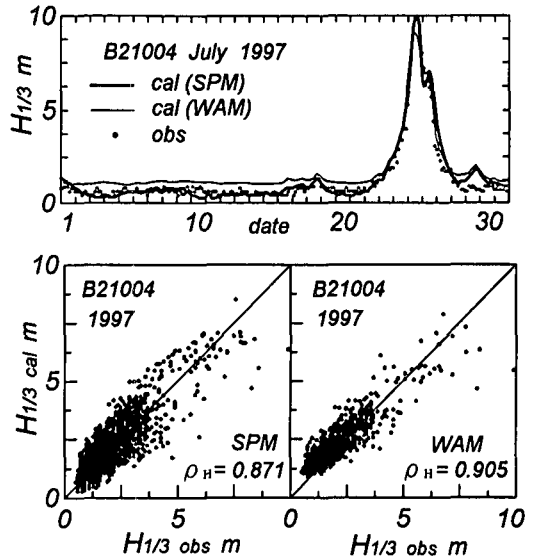


図-3 波高の時系列図および散乱図

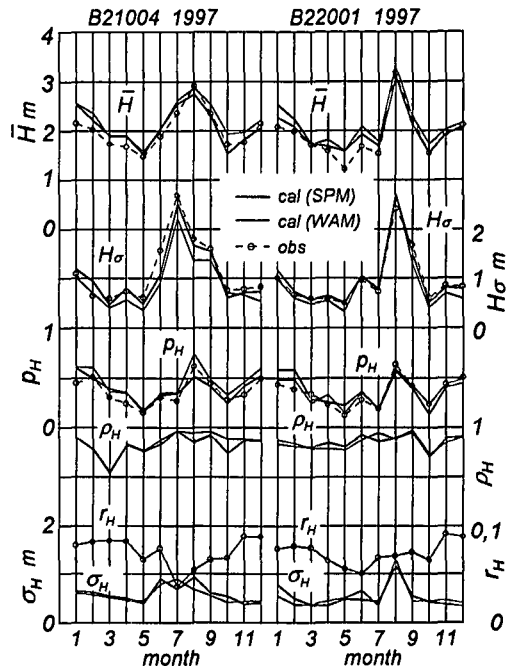


図-4 ブイ地点における月別波候統計量の比較

料と一致するのに対して、ECMWF 波資料 (6 時間間隔) は低波高時に観測資料より大きい傾向にある。ただし、散乱図における個々の資料のばらつきは ECMWF 波資料より 1 点モデル波資料の場合にやや大きい。

図-4 は 1 点モデル波資料、ECMWF 波資料および観測波資料から得た B21004 および B22001 における 1997 年の月別波候統計量を示したものである。これらは波高の平均値と標準偏差 (\bar{H} , H_σ), 2 m 以上の高波の出

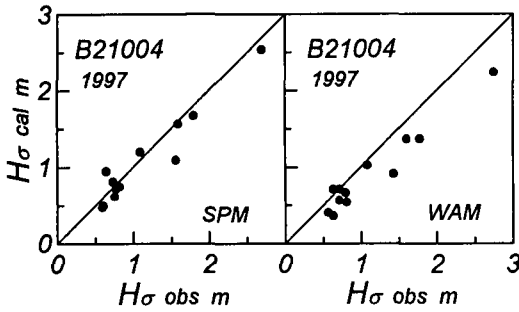


図-5 プイ地点における月別波高标准偏差の比較

表-1 プイ地点における月別波候統計量の一覧

		\bar{H} (m)	$H\sigma$ (m)	σ_H (m)	a_{0H}	ρ_H
B 21002	WAM	1.97	1.17	0.66	0.83	.912
	1995 SPM	2.20	1.19	0.57	0.91	.912
	obs.	2.32	1.34			
1997	WAM	1.51	0.89	0.49	0.89	.894
	SPM	1.73	0.99	0.48	0.99	.897
	obs.	1.64	1.06			
B 21004	WAM	1.85	0.77	0.55	0.89	.827
	1995 SPM	1.98	0.92	0.55	0.97	.832
	obs.	1.94	0.98			
1997	WAM	2.17	0.99	0.56	1.00	.905
	SPM	2.07	1.14	0.61	0.98	.871
	obs.	1.98	1.22			
B 22001	WAM	1.65	0.67	0.48	0.88	.832
	1995 SPM	1.75	0.75	0.48	0.93	.828
	obs.	1.78	0.84			
1997	WAM	2.08	1.15	0.57	1.02	.889
	SPM	2.03	1.21	0.57	1.01	.891
	obs.	1.93	1.18			

現率 p_H 、波高に対する相関係数 ρ_H 、波高の測得率 r_H 、波高に対する推算資料と観測資料の差の2乗平均平方根誤差 σ_H からなる。いずれの波資料も巨大台風の来襲に伴う異常波浪の出現によって急激な経月変化を示す観測資料とかなりよく対応する。しかし、より詳細にみれば、波高の標準偏差 $H\sigma$ に対する推算資料と観測資料の相関を表す図-5 が例示するように、1点モデル波資料は個々の月別波候統計量に関してECMWF波資料より観測資料によく符合する。

表-1 は3基のブイ位置における年別波候統計量の比較を示す。B 21002 における1995年の観測資料は10~12月の3ヶ月のみ得られている。また、ブイによる観測周期は適切な値を与えないので、削除している。表中の a_{0H} は個々の推算資料と観測資料の相関図にあてはめた、原点を通る直線の勾配であり、 $a_{0H} > 1$ であれば、平均的に推算資料が観測資料より大きく、 $a_{0H} = 1$ であれば、平均的に両者は一致することを表す。この表からつぎの特徴

が指摘される。

① 波高の平均値 \bar{H} や標準偏差 $H\sigma$ でみれば、1点モデル波資料はECMWF波資料に比べて観測資料に近い値をとる。一方、ECMWF波資料はとくに波高の標準偏差に関して観測資料より小さい値を与える。

② ECMWF波資料では、1995年より1997年において相関係数 ρ_H および勾配 a_{0H} が1に近く、したがって推算精度が高い。この結果は、同一地形解像度計算に基づく1点モデル波資料でも見出されることから、ECMWF波資料における地形解像度の向上というよりむしろ、海上風の推算精度の向上に起因すると推測される。

③ 波高の2乗平均誤差 σ_H が小さく、勾配 a_{0H} および相関係数 ρ_H が1に近い値をとるという意味で、1点モデル波資料は、1997年のB 21004を除いて、ECMWF波資料より高い精度を有する。

以上のように、ECMWF波資料は最新の波浪推算モデルを使用し、しかも衛星・船舶などの波浪観測資料の同化を行って得られているにもかかわらず、日本近海の外洋波浪に対して低波高時および高波高時にそれぞれ過大および過小な値を与える傾向にあることから、1点モデル波資料に比べて高い精度をもつとはいえない。

(2) 沖合波浪

東北地方太平洋岸の沖合40 kmに位置するいわき沖において1995年の推算資料と観測資料の比較を行う。いわき沖に対するECMWF波資料は陸上格子点から1格子(1.5°)離れた海上格子点で得られていることから、冬季季節風時のように、N寄りの強風によって短周期風浪が発達する場合には、低い地形解像度のため過大な値を与える可能性がある。そこで、ECMWF波資料および1点モデル波資料のいずれについても、全方向の場合および外洋方向からの波向($\bar{\theta} = 170 \sim 340^\circ$)に限定した場合を検討する。使用する波向は風向との相関がより高い1点モデル波資料による。

図-6 は月別波候統計量の経月変化図である。1点モデル波資料は高地形解像度計算に基づいていることから、1年を通じて観測資料と比較的よく符合するが、観測資料との若干の隔たりを生じる月も見られる。一方、ECMWF波資料は陸方向から吹送する季節風時の1~2月および11~12月に、観測資料より過大な波高の平均値 \bar{H} と標準偏差 $H\sigma$ および高波出現率 p_H を与え、相関係数 ρ_H や2乗平均誤差 σ_H からみても大きな誤差を示すが、外洋方向からの波浪が卓越する3~10月では、観測資料に近い値をとり、良好な再現性をもつ。したがって、波向を外洋方向に限定する場合には、ECMWF波資料は全月を通じて観測資料とかなりよく符合するようになり、1点モデル波資料よりむしろ高い精度を与える。

図-7 は波高2 m以上の波向別高波出現率の比較を表

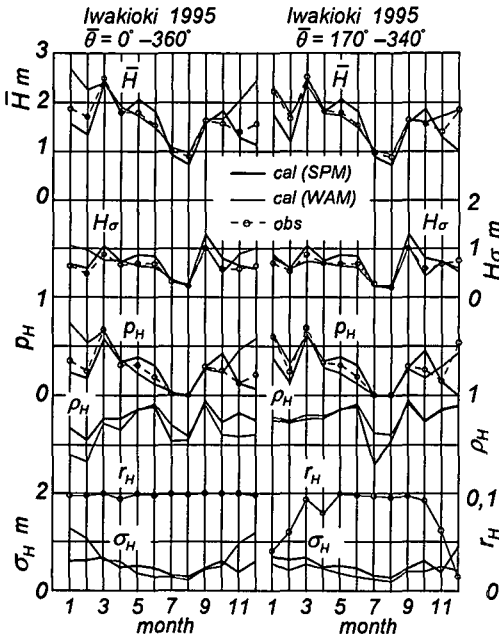


図-6 いわき沖における月別波候統計量の比較

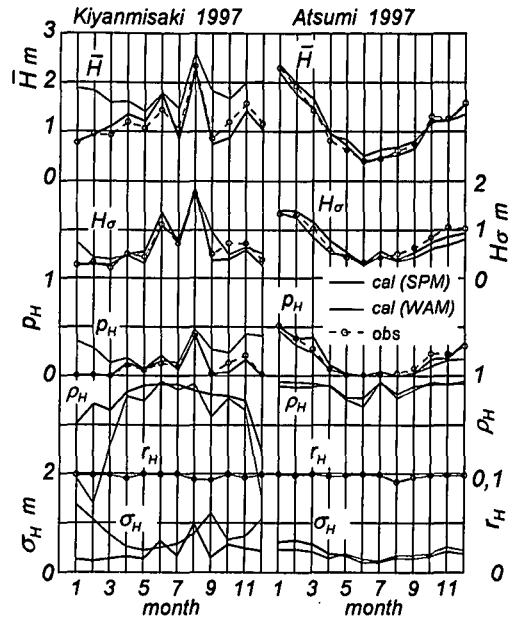


図-8 沿岸地点における月別波候統計量の比較

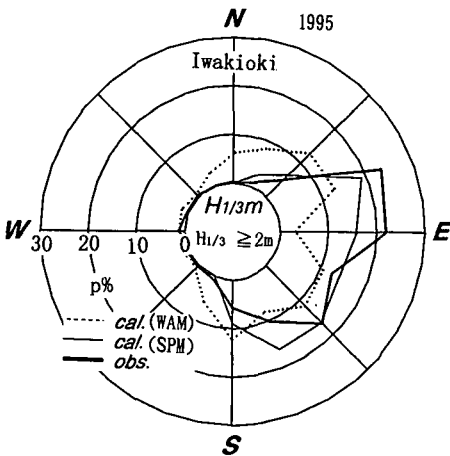


図-7 いわき沖における波向別高波出現率の比較

す。図はECMWF波資料の地形解像度を考慮して、外洋方向から伝播する波浪資料のみを用いて作成されている。1点モデル波資料はNE~S方向に高い出現率を示す観測資料とよく対応する。一方、ECMWF波資料はN~NE方向の過大な出現率とENE~SEとSSW~S方向の過小な出現率を与える。この傾向は波浪資料を限定するためにECMWF波資料に基づく波向(̄θ=170~340°)を用いた場合にも同様である。

以上のように、外洋方向に波向を限定する場合には、ECMWF波資料は1点モデル波資料よりさらに高い精度をもつが、波向を含めればこの結果は必ずしも是認さ

れない。

(3) 沿岸波浪

図-8は沖縄本島太平洋岸の喜屋武岬および日本海東北沿岸の温海における月別波候統計量を全方向資料の場合に比較したものである。喜屋武岬では、高地形解像度計算に基づく1点モデル波資料は、夏季で大きく冬季で小さい波高を示す観測資料とよく符合するが、相対的に低い地形解像度計算に基づくECMWF波資料は、とくに波高の平均値 \bar{H} や高波出現率 ρ_H に関して台風期以外の月で観測資料より過大な値を与える。この傾向は資料を外洋方向からの波向に限った比較図においても同様である。0.5°という地形解像度では、沖縄諸島は表現されないで、実質的に深海波浪推算が行われる結果、海底の影響を受ける沿岸波浪が適切に評価されないと考えられる。

温海では、1点モデル波資料のみならずECMWF波資料も観測資料とかなりよく一致する。海上風の精度が確保される場合、風波が卓越する日本海の沿岸波浪に対して、高地形解像度計算に基づく1点モデル波資料が良好な精度を有することはある意味では当然といえる。しかし、低地形解像度計算に基づくECMWF波資料が、地形解像度(1995年の1.5°, 1997年の0.5°)によらず、陸地の遮蔽効果を受ける松前を除く日本海沿岸の複数の波浪観測地点(図は省略)で、観測資料とよく符合するのは予想外であり、理解しがたい。

表-2は沿岸3地点における年別波候統計量の一覧であり、周期に関する統計量も与えられる。この表からつ

表-2 沿岸地点における月別波候統計量の一覧

		\bar{H} (m)	H_{σ} (m)	σ_H (m)	a_{0H}	ρ_H	\bar{T} (s)	T_{σ} (s)	σ_T (s)	a_{0T}	ρ_T
Kiyamisaki	WAM	1.43	0.52	0.72	1.15	.358	7.67	1.00	1.34	1.09	.539
	1995 SPM	1.05	0.55	0.43	0.94	.698	7.35	1.24	1.31	1.05	.511
	obs.	1.04	0.55				6.90	1.24			
	WAM	1.81	0.88	0.87	1.26	.737	8.93	1.29	1.90	1.15	.695
	1997 SPM	1.20	0.89	0.48	0.95	.849	7.71	1.66	1.28	1.01	.727
	obs.	1.21	0.86				7.51	1.74			
Matsumae	WAM	1.36	0.97	0.65	1.23	.837	6.22	1.26	0.97	1.07	.765
	1995 SPM	1.02	0.75	0.37	0.95	.890	5.88	1.25	0.69	1.02	.850
	obs.	0.99	0.80				5.75	1.21			
	WAM	1.40	0.77	0.60	1.15	.798	7.69	1.12	2.28	1.27	.277
	1997 SPM	0.97	0.73	0.35	0.95	.893	5.77	1.24	0.73	1.00	.818
	obs.	0.98	0.75				5.72	1.17			
Atsumi	WAM	1.34	1.00	0.44	1.00	.917	6.51	1.35	0.97	1.06	.800
	1995 SPM	1.28	1.13	0.43	1.03	.925	6.28	1.44	0.86	1.02	.828
	obs.	1.23	1.04				6.08	1.41			
	WAM	1.15	0.90	0.39	0.91	.930	6.91	1.36	1.18	1.11	.786
	1997 SPM	1.16	1.08	0.43	0.99	.920	6.13	1.46	0.74	1.00	.867
	obs.	1.13	1.05				6.12	1.40			

ぎの特徴が見出される。

① 1点モデル波資料は波高および周期のいずれについても地点および対象年によらず観測資料とよく対応する。

② ECMWF 波資料は喜屋武岬や松前で年によらず観測資料より過大な値を与える。松前では卓越風向の方向に陸地が存在することから、低地形解像度計算では観測波浪を再現できない。しかし外海に向けて開いた温海では、年によらず、波高に関して高い精度を示す。

③ 地形解像度に伴う ECMWF 波資料の精度の向上は太平洋岸の喜屋武岬で見られるが、日本海沿岸の松前および温海では明確でない。

④ ECMWF 波資料は観測資料に比べて過大な周期を与える。この傾向は1997年にとくに著しいことから、1997年の平均周期資料には、何らかの誤りがあるように思われる。

4. 結 語

本研究で得られた知見はつぎのように要約される。

① ECMWF 風を入力条件とする高地形解像度計算に基づく1点モデル波資料は、モデルが波浪の発達・減衰に対する経験的な定式化に依っているにもかかわらず、わが国周辺の外洋、沖合および沿岸地点での長期間の波浪に対して高い精度を有する。

② ECMWF 波資料は、衛星や船舶などの波浪観測資

料を同化した、最新の波浪推算モデル WAM による計算に基づいているにもかかわらず、地形解像度の制約や WAM 固有の特性のために、沿岸波浪はもちろん外洋波浪に対しても1点モデル波資料以上に高い精度をもつとはいえない。とくに、岸から数 km 以内の太平洋岸や日本海沿岸のうち周辺地形が複雑な地点では、観測資料より過大な値を与える。

③ 波浪推算精度は波浪推算モデルの質というよりむしろ海上風の精度や、沿岸波浪に対しては計算格子網の地形解像度に強く依存すると考えられる。

最後に、表面風および波浪解析値資料を提供戴いた ECMWF 当局に謝意を表する。

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.
- 山口正隆・畑田佳男・旭置武志 (1992): 日本海沿岸での波候推定に対する長期浅海波浪推算システムの適用性の検討, 自然災害科学 J. JSNDS, 11-3, pp. 157-174.
- 山口正隆・畑田佳男・大迫誠吾 (1995): 長期浅海波浪推算システムの適用性の検討, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 331-335.
- 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.
- Günther, H. et al. (1992): The Wamodel Cycle 4 (revised version), Deutsches Klima Rechen Zentrum, Technical Report No. 4, 101 p.