

わが国沿岸での長期波浪推算資料に基づく波高の傾向変動の解析

畑 田 佳 男* ・ 山 口 正 隆** ・ 大 福 学***
野 中 浩 一**** ・ 李 敏 杰*****

本研究は、NCEP/NCAR より提供を受けた 51 年間の 10 m 高度表面風再解析値資料を入力条件とする 1 点浅海モデルを用いた波浪の長期波浪推算システムを、わが国沿岸のほぼ全域に配置された波浪観測地点の波浪推算に適用し、波高の傾向変動を検討したものである。そして、観測結果との比較に基づいて、本システムがわが国沿岸における波候のみならずその経年変化をかなり高い精度で再現することや、長期波浪推算資料の解析に基づいて、わが国沿岸では過去 41 年の間に波高統計量の統計的に有意な増加あるいは減少傾向が検出されないことを明らかにした。

1. 緒 言

波高の経年的な増加は海岸・海洋構造物の安全性をおびやかす重大な要因となることから、その解明が急務となっているが、わが国沿岸での数十年間にわたる期間の波高の傾向変動は明らかでない。こうした状況を受けて、山口ら(2000)はアメリカ合衆国の NCEP/NCAR より提供を受けた 51 年間の表面風再解析値資料(NCEP 風資料)を入力条件とする 1 点浅海モデルを用いた波浪の長期推算システムを開発した。しかし、その適用は沖合海域にとどまっている(畑田ら, 2002)。

そこで本研究では、わが国沿岸に展開されているほぼすべての波浪観測地点における 51 年間の波浪推算に本システムを適用し、最近の 20 年以内の期間について推算資料と観測資料より得た波高時系列や波高統計量とその傾向変動に対する比較から本システムの精度を調べたのち、51 年間の波浪推算資料の解析に基づいて、わが国沿岸における波高の傾向変動を検討する。

2. 波浪の長期推算システムと波浪資料の解析法

2.1 NCEP/NCAR 表面風再解析値データセット

NCEP 風資料は、1948 年 1 月 1 日 0 時～1998 年 12 月 31 日 18 時の 51 年間に於いて 6 時間間隔で得られている NCEP/NCAR Global Reanalysis Archive ds090.0 の 10 m 高度表面風再解析値資料から採録した。原資料は全期間にわたり同じ空間解像度約 1.9°で同一の品質管理データ同化システムによって作成されていることから、資料の等質性の条件をほぼ満たしていると考えられる。

2.2 日本海領域における波浪の長期推算システム

日本海における波浪推算で使用する風資料とするため、日本海に設けた NW—SE 方向を x 軸とする格子間

隔 40 km の直交格子網(41×63)上の格子点における風速成分の推定は、緯度・経度座標表示の NCEP 風速成分に対する 2 次元 4 点補間式の適用と、得られた風速成分の反時計方向への 45°回転による。

波浪推算には、1 点浅海モデル(山口ら, 1987)を使用する。計算格子網は図-1 に示すように、NW—SE 方向を x 軸として格子間隔 $\Delta x=5$ km で 185×445 に分割した日本海大領域格子網に、格子間隔 1 km あるいは 0.5 km で分割した波浪推算地点周辺小領域格子網を組み込んだものである。波浪推算は、時間に関する線形補間を通じて 1 時間ごとに格子間隔 40 km の格子点上で算出した風速成分を入力条件として、計算時間間隔 $\Delta t=1$ h で行う。

波浪推算地点は日本海沿岸全域に配置された留萌から玄界灘に至る 19 箇所の沿岸波浪観測地点であり、図-1 にそれらの位置および水深(m 単位)を示す。

2.3 北西太平洋領域における波浪の長期推算システム

北西太平洋・東シナ海では、N—S 方向を x 軸とする格子間隔 80 km の直交格子網(45×45)上格子点位置での風速成分を、緯度・経度座標格子点位置での NCEP 風速成分に対する 2 次元 4 点補間式の適用によって求める。

1 点浅海モデルによる波浪推算領域として、図-2 に示すように、格子間隔 5 km で 673×673 に分割した太平洋大領域格子網と、格子間隔 1 km あるいは 0.5 km で分割した波浪推算地点周辺小領域格子網からなる高地形解像度 2 段階格子網を用いる。また、波浪推算は日本海の場合と同様の風条件(ただし格子間隔は 80 km)のもとに計算時間間隔 $\Delta t=1$ h で行う。

波浪推算地点は太平洋岸から東シナ海沿岸に配置された 26 箇所の沿岸波浪観測地点であり、図-2 にそれらの位置および水深を与える。

2.4 波浪資料の解析法

波候解析は、累年単位および各年単位で実施する。取りあげる波候統計量は、平均波高 $\overline{H_s}$ と標準偏差 H_{ss} 、波高 2 m 以上の高波出現率 p_H のほか、高波高部の特性を検討するために使用する、波高資料の上位 1/3 および 1/

* 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
**** 学生会員 工 修 愛媛大学大学院理工学研究科生産工学専攻
***** 工 修 元愛媛大学外客員研究員

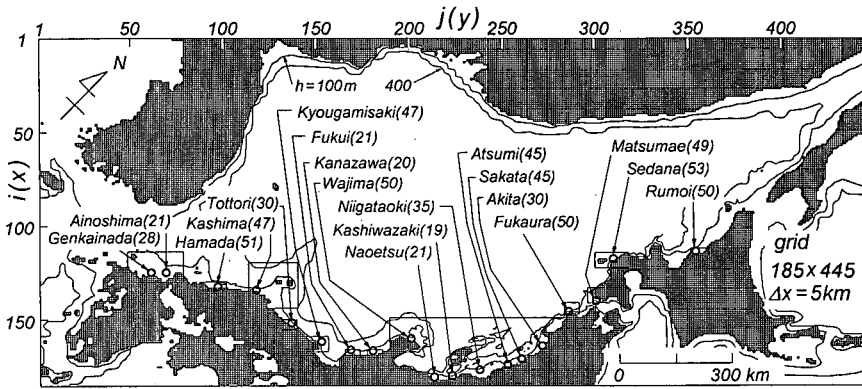


図-1 日本海領域および波浪推算地点

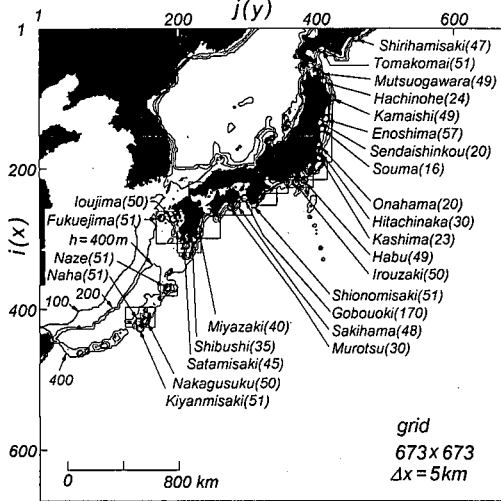


図-2 北西太平洋領域および波浪推算地点

示したものである。推算資料と観測資料は全体的にかなりよく符合するが、高波高部を代表する $1/10$ 最大波高 H_{s10} の場合には両者の隔たりがみられる。波高誤差統計量でみると、相関係数 ρ_H は波浪の遮蔽域にあたる松前 (0.798) および藍島 (0.842) や、玄界灘 (0.831) を除いて、0.876~0.907 の範囲にあり、地点によらずかなり大きい。2 乗平均波高誤差 σ_H は藍島 (0.34 m) を除いて、0.40~0.50 m の範囲にあり、北部地点ほど増加する。勾配値 a_{0H} は 1 より若干小さい値をとり、その傾向がとくに北陸沿岸地点でみられる。つまり、相関係数 ρ_H でみれば、地域による推算精度の差は顕在化しない。一方、2 乗平均波高誤差 σ_H や勾配値 a_{0H} でみれば、西部地点に比べて北陸沿岸地点から北部地点にかけて推算精度がやや低いという地域間の差が現れる。

なお、太平洋岸の波浪観測地点における精度は、北西太平洋の複雑な気象条件や開境界を仮定する波浪推算条

10 の平均値 ($1/3$ 最大波高 H_{s3} , $1/10$ 最大波高 H_{s10}) とする。誤差統計量は、推算・観測波高資料間の相関係数 ρ_H 、両資料の相関図において原点を通る直線の勾配値 a_{0H} 、および両資料間の差の 2 乗平均平方根値 σ_H 、である。

波高統計量の傾向変動の解析は、各種年別波高資料にあてはめた 1 次回帰式 $H = at + b$ (t : 年数) の勾配値 a に対する t -片側検定結果を表す指標 L およびトレンド示数 I_T (鈴木, 1975) による。有意水準は 5% とする。たとえば、 $1/3$ 最大波高 H_{s3} について、統計的に有意な増加傾向がある場合は $L(H_{s3}) = 1$, $I_T(H_{s3}) > 1.65$, 減少傾向がある場合は $L(H_{s3}) = -1$, $I_T(H_{s3}) < -1.65$, ない場合は $L(H_{s3}) = 0$, $|I_T(H_{s3})| < 1.65$ で表す。

3. 長期推算システムの精度の検討

3.1 累年波高統計量

図-3 は日本海沿岸の波浪観測地点における波浪推算資料と観測資料に基づく累年波高統計量と誤差統計量を

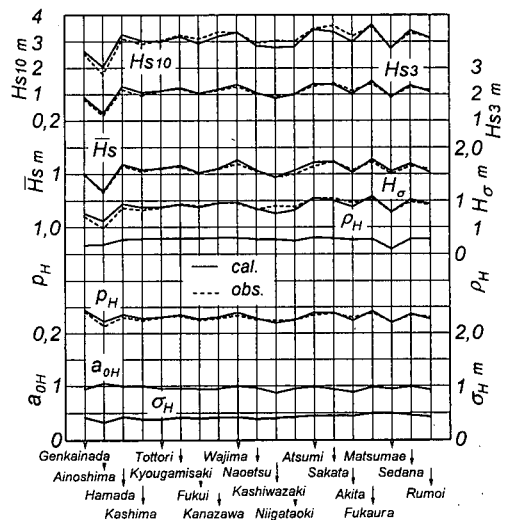


図-3 日本海沿岸における累年波高統計量の比較

件のために、日本海沿岸の場合に比べてやや低いが、許容しうる程度のものである。また、東シナ海沿岸波浪観測地点における精度は日本海沿岸地点と同様に高い。

3.2 年別波高統計量

図-4は推算資料と観測資料より得た年別平均波高 $\bar{H}_s$ 、1/3 最大波高 H_{s3} 、1/10 最大波高 H_{s10} および測得率 r_H の経年変化を日本海沿岸の経ヶ岬について示す。測得率 r_H はいずれの年でもかなり高く、観測年数 $K=20$ 年のうち、年測得率 75% 以上の有効観測年数は $K_e=20$ 年に達する。平均波高 $\bar{H}_s$ および 1/3 最大波高 H_{s3} について推算資料は 1979~1982 年で観測資料よりやや大きく、1983 年以降でよく一致する。1/10 最大波高 H_{s10} については推算資料と観測資料の間で隔たりを生じる年が多くなるが、全般的対応は悪くない。因みに、推算資料および観測資料にあてはめた 1 次式の勾配値 $a(H_s)$ 、 $a(H_{s3})$ 、 $a(H_{s10})$ はそれぞれ $(-0.31, -0.48, 0.0)$ cm/year および $(0.26, 0.24, 0.42)$ cm/year、棄却検定指標 $L(\bar{H}_s)$ 、 $L(H_{s3})$ 、 $L(H_{s10})$ はいずれも 0、トレンド示数 $I_T(\bar{H}_s)$ 、 $I_T(H_{s3})$ 、 $I_T(H_{s10})$ はそれぞれ $(-1.17, -0.65, -0.32)$ および $(0.71, 0.06, 0.78)$ であるから、推算資料は経年的に弱い減少傾向、観測資料は弱い増加傾向を示す。しかし、その統計的有意性は認められないという意味で、両資料に基づく波高統計量の傾向変動の判別結果は一致する。図-4の結果を考慮して、以下では平均波高 $\bar{H}_s$ および 1/3 最大波高 H_{s3} のうち、とくに 1/3 最大波高 H_{s3} に対する傾向変動の解析結果を考察する。

図-5は日本海沿岸における推算資料および観測資料より得た年別 1/3 最大波高資料にあてはめた 1 次式の勾配値 $a(H_{s3})$ と棄却検定指標 $L(H_{s3})$ およびトレンド示数 $I_T(H_{s3})$ 、さらに 1 次式の切片 $b(H_{s3})$ を示す。図には観測年数 K および有効観測年数 K_e も与えている。

まず、切片 $b(H_{s3})$ については推算資料と観測資料はほ

ぼ一致する。勾配値 $a(H_{s3})$ については、推算資料と観測資料は浜田、輪島、温海~深浦でやや隔たりを生じるが、全般的によく符合し、両資料に基づく棄却検定指標 $L(H_{s3})$ は浜田を除いて一致する。また、トレンド示数 $I_T(H_{s3})$ は正負の値をとるので、両資料に基づくトレンド示数 $I_T(H_{s3})$ の値に差を生じるけれども、 $|I_T(H_{s3})|=1.65$ を限界値とする傾向変動の判別結果は両資料で同じである。

図-6は太平洋岸・東シナ海沿岸における 1/3 最大波高資料に対する結果である。勾配値 $a(H_{s3})$ について両資料は喜屋武岬、宮崎、尻羽岬でみられる若干の隔たりを除いて、相互に近い値を与える。両資料に基づく棄却検定指標 $L(H_{s3})$ は福江島、佐喜浜、御坊を除いて一致し、両資料に基づくトレンド示数が $|I_T(H_{s3})|=1.65$ を境として異なる地点は上記の 3 地点のほか鹿島、八戸の 2 地点である。このほか、トレンド示数 $I_T(H_{s3})$ によれば那覇で減少傾向が検出されるが、棄却検定指標 $L(H_{s3})$ では傾向変動が有意とされないという両指標による不一致がみられる。これは、欠測を伴いしかもデータ数が少ない資料を用いてトレンド示数を算出していることによると推測される。また、切片 $b(H_{s3})$ について両資料はほぼ一致する。

4. わが国沿岸における波高の傾向変動の検討

ここでは、1948~1998 年の 51 年間の波浪推算資料を用いて波高統計量の傾向変動を調べる。図-7は年別の平均波高 $\bar{H}_s$ 、1/3 最大波高 H_{s3} の 51 年間にわたる経年変化を日本海沿岸の経ヶ岬について示す。波高統計量は

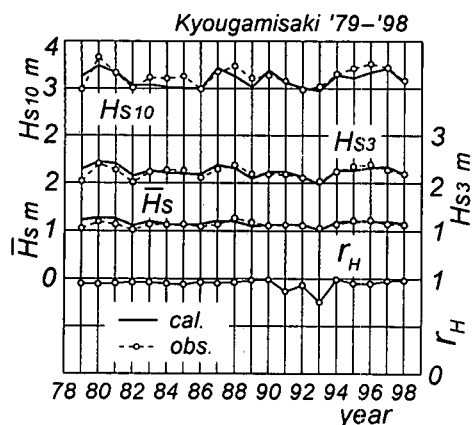


図-4 経ヶ岬における年別波高統計量の経年変化の比較

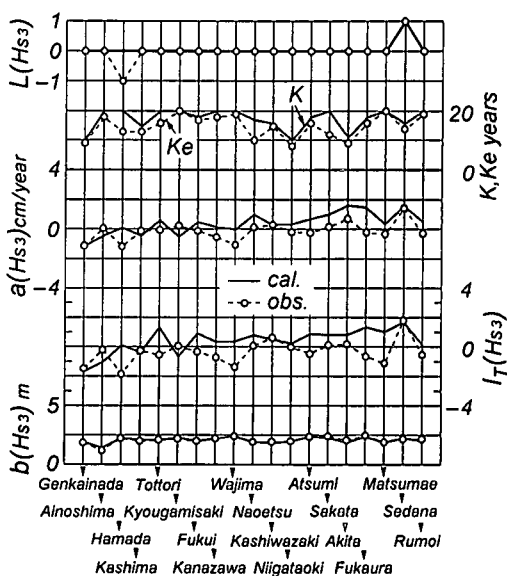


図-5 日本海沿岸における波高統計量の傾向変動の比較

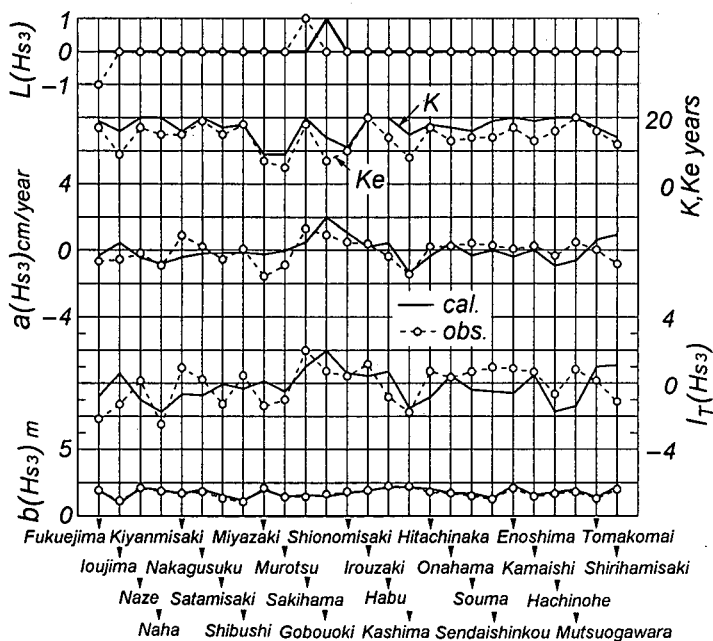


図-6 太平洋岸・東シナ海沿岸における波高統計量の傾向変動の比較

いずれも 1948～1957 年の 10 年間で増加傾向をとったのち、ほぼ一定値のまわりを変動する傾向を与える。同様の特徴は他の地点においても見出されることから、最初の 10 年間における増加傾向は「気候ジャンプ」などに相当する自然現象というよりも、観測方法や観測時間の変更などを要因とする NCEP 風資料の精度の不足を反映すると推測される。そこで、波高統計量の傾向変動の解析には 1948～1998 年の 51 年間の資料のみならず、1958～1998 年の 41 年間の資料を用いる。

図-8 は日本海沿岸における 1/3 最大波高 H_{s3} の傾向変動の解析結果を 51 年間資料および 41 年間資料別に表示。51 年間資料では、勾配値 $a(H_{s3})$ は $0.3 \sim 0.7$ cm/year をとり、日本海沿岸西部地点より北部地点で大きい。棄却検定指標 $L(H_{s3})$ は 1 をとり、1/3 最大波高の統計的に

有意な増加傾向を示唆する。トレンド示数 $I_T(H_{s3})$ も、鳥取、経ヶ岬でそれぞれ 1.08, 1.57 をとる以外、有意水準 5% に対する限界値 1.65 より大きい値を与えるので、1/3 最大波高の増加傾向を支持する。これは、棄却検定指標 $L(H_{s3})$ による判別結果と符合するが、鳥取、経ヶ岬での傾向変動の判別結果は異なる。一方、41 年間資料では勾配値 $a(H_{s3})$ は $-0.16 \sim 0.23$ cm/year の範囲にあり、北部の地点でより大きい値をとる傾向にある。ただし、その絶対値は 51 年間資料の場合に比べてはるかに小さく、0 に近い。したがって、棄却検定指標 $L(H_{s3})$ は 0 をとり、

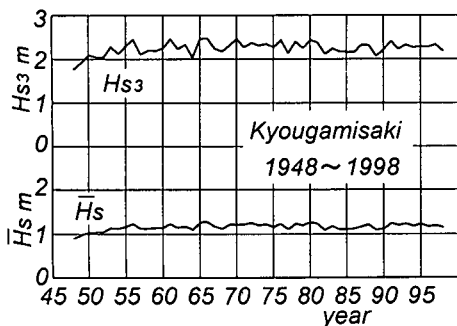


図-7 経ヶ岬における年別波高統計量の経年変化

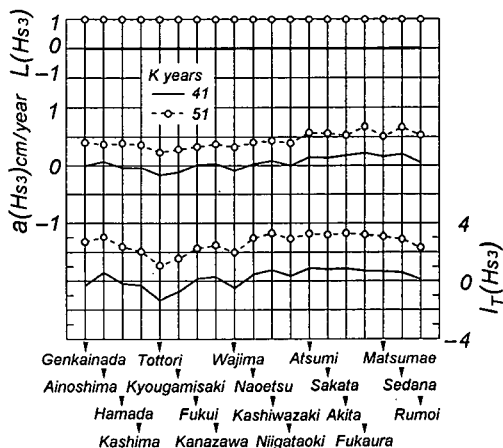


図-8 日本海沿岸における波高統計量の傾向変動

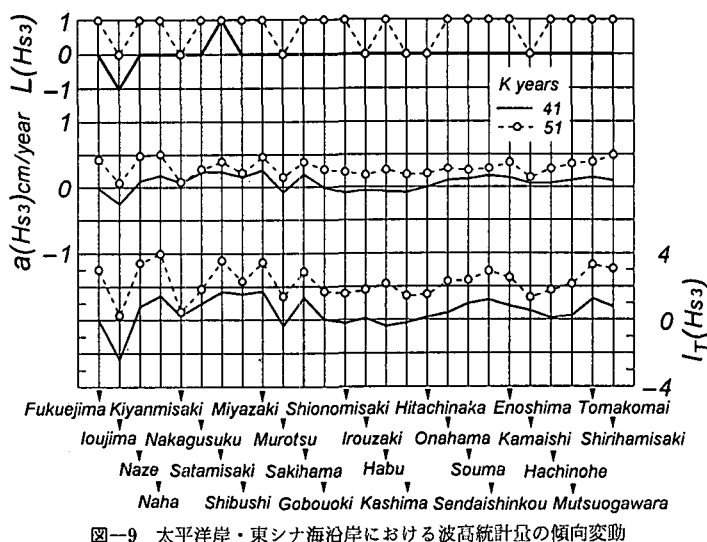


図-9 太平洋岸・東シナ海沿岸における波高統計量の傾向変動

1/3 最大波高の傾向変動を与えない。トレンド示数 $I_T(H_{s3})$ も $-1.33 \sim 0.90$ であるから、傾向変動を示さない。すなわち、41 年間資料によれば、日本海沿岸地点では両指標に基づく傾向変動の判別結果は一致し、1/3 最大波高の統計的に有意な傾向変動は検出されない。

つぎに、太平洋岸・東シナ海沿岸における 1/3 最大波高 H_{s3} の傾向変動の解析結果を示したのが図-9 である。51 年間資料では勾配値 $a(H_{s3})$ は $0.07 \sim 0.51$ cm/year である。棄却検定指標 $L(H_{s3})$ は多くの地点で 1 をとり、正の傾向変動を示唆する。一方、棄却検定指標 $L(H_{s3})$ が 0 となり、傾向変動を示さない地点の数も 6～7 箇所に達する。トレンド示数 $I_T(H_{s3})$ でみても、 $|I_T| < 1.65$ をとる地点は 7 地点になる。ただし、両指標による判別結果が一致しない地点は、潮岬、石廊崎の 2 地点にすぎない。つまり、傾向変動が弱い場合でも、ほとんどの地点で両基準による判別結果は一致する。結局、51 年間資料によれば太平洋岸・東シナ海沿岸における 1/3 最大波高 H_{s3} は増加傾向にあるが、統計的有意性を示さない地点も少なくないと云える。41 年間資料では、勾配値 $a(H_{s3})$ は $-0.25 \sim 0.26$ cm/year の範囲にある。棄却検定指標 $L(H_{s3})$ はほとんどの地点で 0 をとり、傾向変動を与えない。また、トレンド示数 $I_T(H_{s3})$ の値も同様の結果を示唆

する。すなわち、41 年間資料によれば、太平洋岸・東シナ海沿岸では 1/3 最大波高 H_{s3} の統計的に有意な傾向変動はほとんど認められない。

5. 結 語

本研究の検討から、NCEP 風資料を入力条件とする 1 点浅海モデルに基づく波浪の長期推算システムは、わが国沿岸のほぼ全域における波候のみならず波候の経年変化を比較的高い精度で再現することや、わが国沿岸では過去 41 年の間に波高統計量の統計的に有意な増加あるいは減少傾向は検出されないことを明らかにした。

参 考 文 献

- 鈴木栄一 (1975): 気象統計学 (第 5 版), 地人書館, 314 p.
- 畑田佳男・山口正隆・大福 学・李 敏杰・野中浩一 (2002): 51 年波浪推算に基づく北西太平洋における波高の傾向変動の解析, 自然災害科学 J. JSNDS, 20-4, pp. 435-448.
- 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・大福 学・李 敏杰・野中浩一・野間 敬 (2000): わが国沿岸海域任意地点における波浪の 51 年推算システム, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 276-280.