

SDP風資料を用いた内湾・内海における波浪の長期推算システムの適用性

Applicability of a Long-Term Wave Hindcast System in the Inner Bay Areas and Seto Inland Sea of Japan Using SDP Measurement-Based Winds

山口正隆¹・畑田佳男²・大福 学³・野中浩一⁴・日野幹雄⁵

Masataka YAMAGUCHI, Yoshio HATADA, Manabu OHFUKU, Hirokazu NONAKA and Mikio HINO

A 45-year wave hindcast system on a nested grid with high space resolution is applied to investigate the long-term wave conditions in the inner bay areas and inland sea of Japan from Tokyo Bay to the western Seto Inland Sea. The system is driven station by station by hourly sea wind distributions evaluated using both the typhoon-embedded analysis wind data archive in the open ocean and the land-based measurement(SDP) wind data in the bay areas. Reasonable agreement between the hindcasts and measurements for wave statistics in each bay area shows that the system is sufficient to closely reproduce the long-term wave conditions in the concerned sea areas, but that use of other types of wind data archives with temporal homogeneity may be desirable to more properly evaluate the long-term variation of wave conditions.

1. 緒言

周辺地形の影響を受けて海上風分布が複雑に変化し、しかも外洋から波浪が入射する内湾・内海において、波浪の特性を適切に評価することは容易でない。このため、傾度風モデルとマスコンモデルを組み合わせる方法(岡田・磯崎, 1992)、地域気象モデル(橋本ら, 2002)、観測風資料を空間補間する方法(山口ら, 2007)などによって海上風分布の精度を確保したうえで、多段階格子網による高地形解像度条件のもとでの波浪推算が行われるが、数十年以上にわたる長期波浪の推定は各種の制約によって実施困難である。

山口ら(2009c)は気象官署で得られた45年間の観測風(SDP風)資料を用いて作成した海上風分布(山口ら, 2009b)を入力条件とする内湾・内海における波浪の高地形解像度長期推算システムを構築し、その適用性を東京湾内外5地点の観測資料との比較に基づいて明らかにした。引き続きここでは、東京湾から伊勢湾を経て大阪湾を含む瀬戸内海に検討対象を拡げて計45ヶ所の波浪観測地点で長期の波浪推算を行い、観測資料との比較に基づいて本システムの適用能力を包括的に調べる。

2. 波浪の長期推算システムの概要

(1) 海上風分布

SDP風資料の利用にあたり、直近の5~30年間の期間平均風速と古い時期の数年以上にわたる期間平均風速の

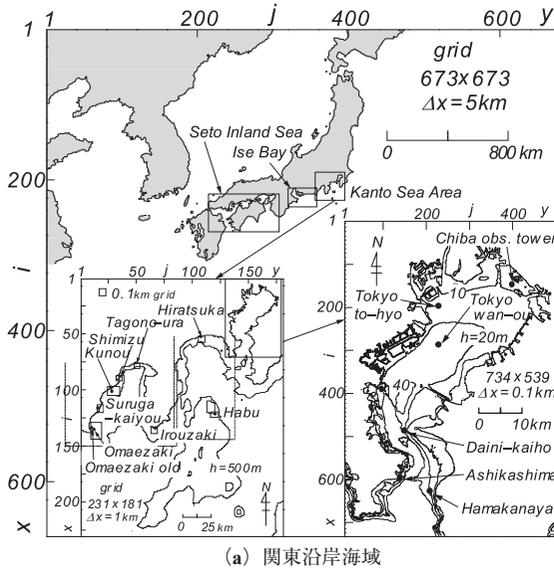
比を後者の特別資料に乗じて、SDP資料の等質化をはかる。海上風分布は、SDP風資料と外洋境界上代表地点における台風モデル風を組み込んだ表面風再解析(NCEP風)資料(畑田ら, 2005)の1時間間隔値から海上・沿岸観測地点の観測相当風を2段階の回帰式(山口ら, 2009b)によって求めたのち、観測風を用いた山口ら(2009a)の海上風分布推定法に従って算出し、そのデータセットを1時間間隔で作成している。対象とする海域は東京湾・相模湾・駿河湾とその沖合海域からなる関東沿岸海域、伊勢湾、大阪湾・紀伊水道から周防灘・伊予灘・豊後水道に至る瀬戸内海の3海域であり、各海域の格子間隔は2kmとする。期間は1961~2005年の45年である。

(2) 波浪推算の方法

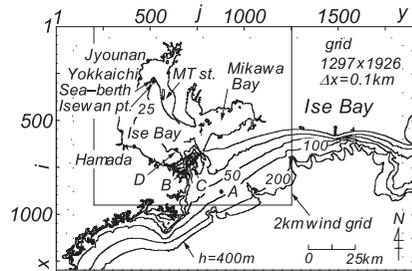
波浪推算は、図-1に示す5km間隔の北西太平洋大領域とこれに組み込んだ1km間隔の関東沿岸海域、さらに関東沿岸海域に組み込んだ0.1km間隔の東京湾や波浪観測地点周辺小領域の3段階格子網、あるいは北西太平洋大領域とこれに組み込んだ0.1km間隔の伊勢湾または0.5km間隔の瀬戸内海の2段階格子網で、上記の海上風分布を入力条件として1点浅海モデル(山口ら, 1987)により地点別に行う。大領域ではNCEP風に台風モデル風を埋め込んだ海上風分布の1時間間隔値(畑田ら, 2005)を用いる。波浪推算地点は7海域に位置し、その数は東京湾で6、相模湾で3、駿河湾で6、伊勢湾外で3、伊勢湾内で7、瀬戸内海の紀伊水道と豊後水道で7、内海域で13の計45になる。観測期間は2~28年と幅広く分布するが、5年以上の地点が70%以上を占める。観測時間間隔は1~3時間である。

計算に用いる周波数成分の数は $f=0.04\sim 1\text{Hz}$ を不等分

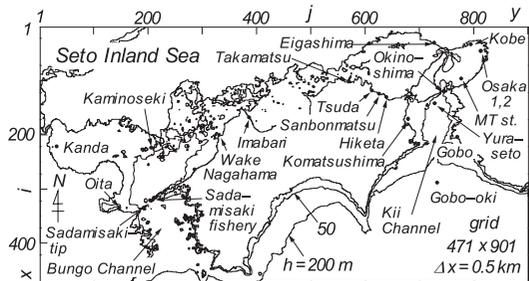
1 正会員 工博 愛媛大学名誉教授
2 正会員 工(博) 愛媛大学講師大学院理工学研究科
3 愛媛大学技術専門職員工学部
4 正会員 工(博) 愛媛大学契約職員工学部
5 正会員 工(博) (株)テクノシステム代表取締役



(a) 関東沿岸海域



(b) 伊勢湾



(c) 瀬戸内海

図-1 波浪推算領域

割した27個を基本とし、状況に応じて若干変える。方向成分の数は0~360°を10°で等分割した37個である。波浪推算地点に到達する各成分波の波向線上の風はそこの各波浪計算点の位置に応じて、上述したNCEP風またはSDP風による海上風分布に対する4点双1次補間式の適用によって計算する。波浪推算の時間間隔は外洋からの波浪の影響が大きい地点で30分、外洋からの波浪の影響が小さい内海・内湾の地点で10分である。

3. 波浪推算結果の考察

(1) 累年波高平均値

図-2は図-1(b)に与えた伊勢湾内の浜田(水深26m)における台風時波高時系列の比較と全観測資料期間における波高の散布図を例示する。推算波高は観測波高にかなり忠実に追従し、全資料期間について推算波高が観測波高と平均的に符合する。波高に対する推算精度は右図中に示すように、誤差指標である相関係数 ρ_H (=0.82)、

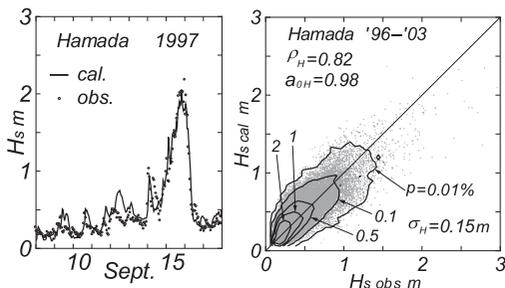


図-2 波高時系列と散布図

原点を通る相関直線の勾配値 a_{0H} (=0.98)、2乗平均平方根波高誤差 σ_H (=0.15m)によって代表される。

図-3は全観測資料期間についての推算資料(NCEP-SDP)と観測資料に基づく波高誤差指標(ρ_H , a_{0H} , σ_H)および各種波高統計量(上位1/10と1/3の資料および全資料の平均値 H_{s10} , H_{s3} , H_{sm} と標準偏差 $H_{s\sigma}$;図の縦軸では $H_{s...}$ と表示)を対象7海域について示す。東京湾内外の5地点における結果はすでに公表済み(山口ら, 2009c)であるが、全体の状況を見るために再掲載している。これは以下でも同じである。図から次のことが言える。

- ①東京湾では、各波高統計量に関して推算結果は湾内の観測地点で観測結果とよく符合するのに対して、外洋からの波浪の影響が大きい湾外のアシカ島と浜金谷で推算結果は過大な値を与える。これは外洋大領域で与えたNCEP風資料の時間解像度(6時間)の不足によるところが多い。アシカ島と浜金谷では誤差指標のうち a_{0H} は1より大きい値をとって、上記の特徴を表す。
- ②相模湾では、推算結果は外洋に直接面する波浮と石廊崎で観測結果とよく符合するのに対して、湾奥の平塚では、観測結果より大きめの値を与える。この挙動は勾配値 a_{0H} にも現われる。
- ③駿河湾沿岸では、各波高統計量に関していずれの推算結果も観測結果とよく符合するし、相関係数 ρ_H は0.78~0.81、勾配値 a_{0H} は0.90~0.99、2乗平均平方根誤差 σ_H は0.22~0.36m(変動係数で0.4前後)を与え、誤差指標も比較的高い推算精度を表す。つまり、波浪推算は外洋の波浪が入射する駿河湾の湾口から湾奥に至る

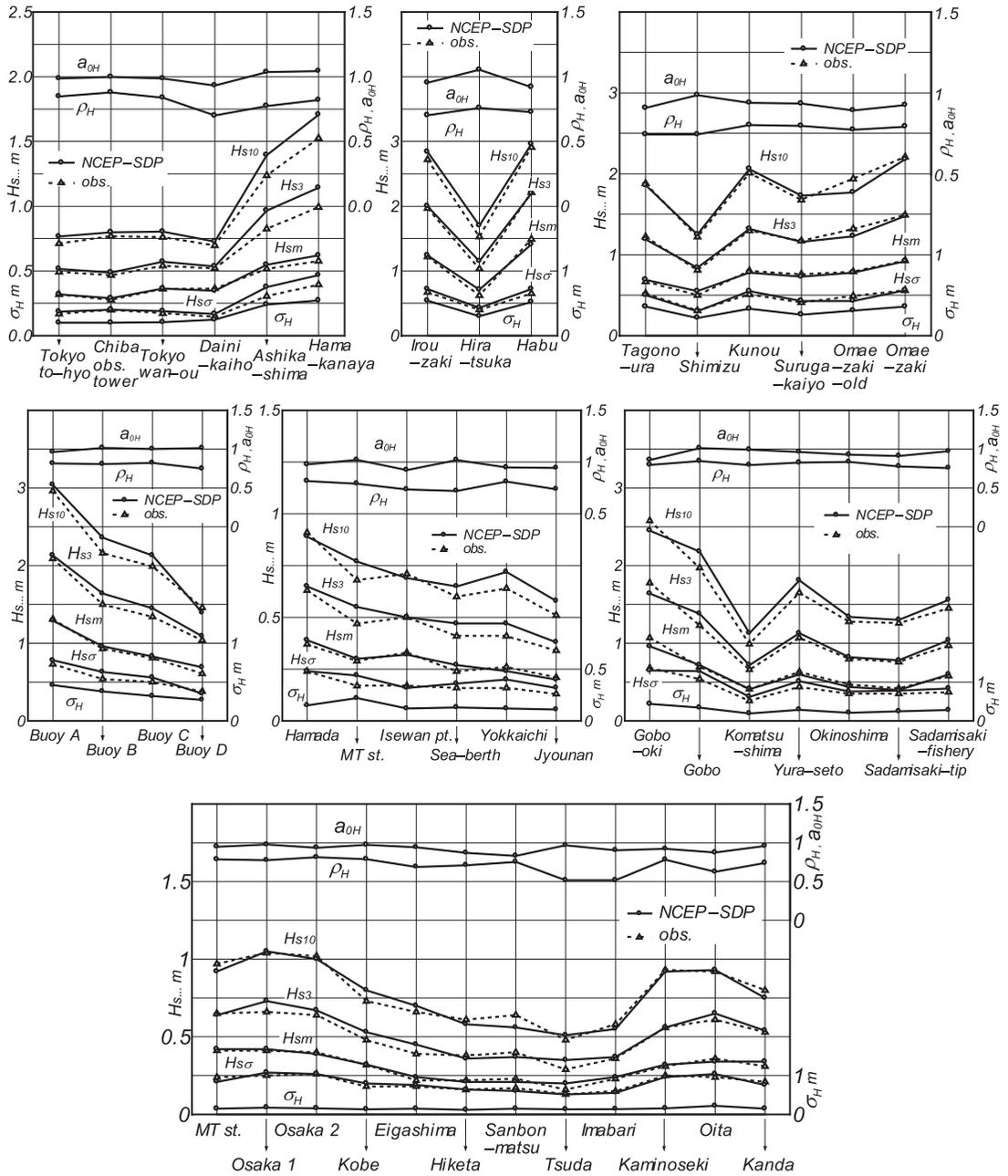


図-3 地点別の累年波高誤差指標と波高統計量

波高統計量の変化をよく再現する。

- ④伊勢湾の湾外3ブイ地点と湾口部内側のブイDでは、各波高統計量に関して推算結果は、ブイBやブイCにおける多少の過大評価傾向を除いて、観測結果とある程度以上の対応を示し、波浪推算は沖合から湾口部およびその内側に向けての波高の減少の特徴を再現する。誤差指標のうち、相関係数は0.8前後、勾配値も約1、2乗平均平方根誤差も沖合から順に減少し、波浪

推算の高い精度を表す。伊勢湾内の6地点では推算結果は湾口部から湾奥部に向けて減少する観測結果の挙動とよく対応するし、誤差指標もおおむねこの特徴を支持する。

- ⑤瀬戸内海のうち外洋からの波浪の影響が大きい紀伊水道と豊後水道では、各種平均波高に関して推算結果は観測結果と比べて御坊、小松島、由良瀬戸で大きめの値を、御坊沖で小さめの値を与えるけれども、全体的

にはおおむね符合すると言える。相関係数は0.7~0.8, 勾配値は1よりやや小さく, 2乗平均平方根誤差は平均波高 H_{sm} の40%程度であるから, 比較的良好な推算精度を表す。外洋からの波浪の影響が少ない内海域でも, 推算結果は全体的に観測結果とよく対応する。これは誤差指標の値によってほぼ支持されるけれども, 勾配値 a_{0H} は1よりやや小さい傾向にある。

(2) 月別波高平均値

波高統計量に関して, より詳細な比較を行うため, 図-4に例示したのが, 浜田における推算資料と観測資料による上位1/3の平均有義波高(1/3最大有義波高) H_{s3} の月別時系列とその散布図である。推算結果と観測結果はともに類似した月変化を与え, よく符合するようにみえるけれども, 散布図において資料点は45°直線のまわりにややばらついてプロットされる。相関係数 $\rho(H_{s3})=0.66$, 原点を通る直線の勾配値 $a_0(H_{s3})=1.02$ であるから, 誤差指標は上記の挙動を反映した値になっている。

図-5は H_{s3} に対する月別誤差指標 $\rho(H_{s3})$, $a_0(H_{s3})$ を対象7海域の波浪観測地点で与える。各海域における推算結果の特徴は次のように述べられる。

①東京湾では, 湾外地点に向うほど相関係数は小さく,

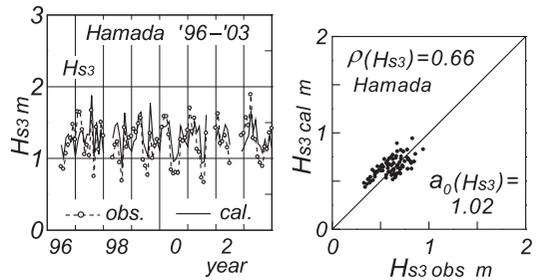


図-4 月別1/3最大有義波高の時系列と散布図

勾配値は1より大きくなる。これは推算結果と観測結果の一致の度合いが湾外地点でやや低く, 湾内地点で高い図-3の特徴とも整合する。

②相模湾では, 石廊崎における相関係数は完全相関直線まわりのやや大きいばらつきを表すが, 他の2地点では相関係数は0.7より大きく, 勾配値は3地点で1に近い値をとることから, 3地点における推算結果と観測結果の対応は比較的良好。

③駿河湾沿岸では, 相関係数は湾奥の田子浦の0.74を除いて0.8を越え, 勾配値も1前後の値をとることから,

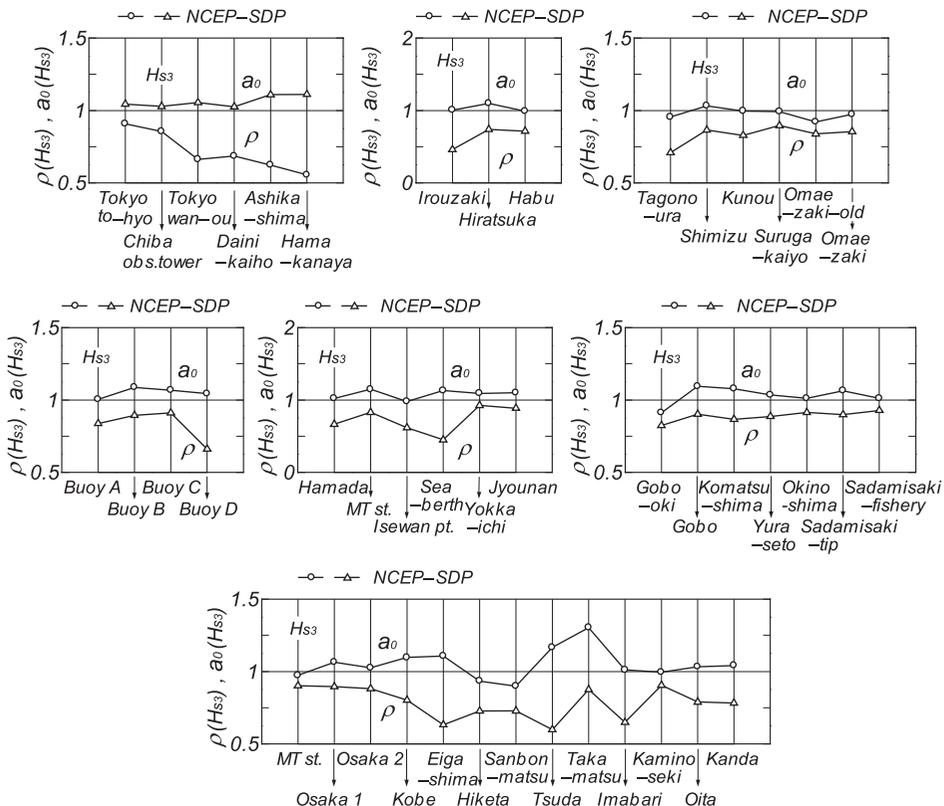


図-5 地点別の月別1/3最大有義波高に対する誤差指標

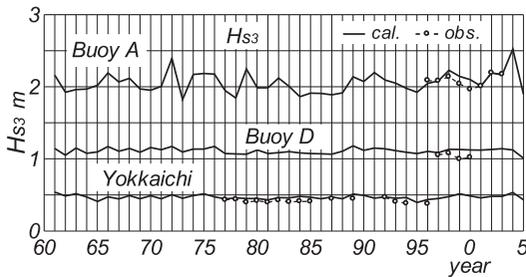


図-6 年別1/3最大有義波高の比較（伊勢湾）

推算結果と観測結果の整合性は高い。

- ④伊勢湾では、外洋から伝播する波浪の影響を受けるブイDや、波高が0.1m単位で記録されるなど観測資料の質に問題があるシーバースで相関係数が相対的に小さく、相関直線まわりの資料値のばらつきがやや目立つことを表すが、その他の地点の相関係数や全地点の勾配値は全体として推算結果と観測結果のよい対応を表す。
- ⑤瀬戸内海のうち紀伊水道と豊後水道では、相関係数はおおむね0.8を越え、勾配値も1前後の値をとることから、推算結果と観測結果の対応はかなりよい。内海域では、相関係数は大阪湾の4地点と周防灘の2地点で大きく、播磨灘の4地点と燧灘の1地点で小さい。勾配値も1前後の値をとるが、後半の5地点で1のまわりにやや大きく変動する。播磨灘と燧灘の5地点では、波浪観測資料の質に問題があることが両者の乖離の一因である。

(3) 波高の長期変動

図-6は年別1/3最大有義波高 H_{s3} に関する比較を1例（伊勢湾内外の3地点）のみ与える。推算結果は観測結果とよい対応を示す。しかし、入力条件とするSDP風資料の等質性が必ずしも担保されていると言えないので、波高の傾向変動などに関しては別途検討する必要がある。

4. 結語

本研究の成果は次のように概括される。

- ①本システムは外洋から入射する波浪の影響が大きい相模湾、駿河湾、伊勢湾外、紀伊水道、豊後水道における波浪の長期特性（波候）を適正に評価する。しかし、東京湾外では再現性をやや低下させる。
- ②本システムは内湾・内海発生波浪が卓越する東京湾、伊勢湾、大阪湾、周防灘における波候をよく再現する。

しかし、播磨灘と燧灘では再現性をやや低下させる。

- ③本システムは外洋波浪が入射する駿河湾の湾口から湾奥にかけての波候の変化をよく再現する。
- ④45年間の波浪推算資料は波高の傾向変動の検討を可能にするけれども、SDP風資料の等質性に問題を残すことから、別途検討が必要である。

なお、内湾・内海における周期の観測精度に問題があると考えるので、周期に関する検討結果は掲載していない。本研究のより詳細な説明は山口ら（2010a, 2010b, 2010c, 2010d）に与えている。

参考文献

- 岡田弘三・磯崎一郎（1992）：内湾の波浪推算に関する諸問題、沿岸海洋研究ノート、第23巻、pp.138-149。
- 橋本典明・杉本 彰・川口浩二・宇都宮好博（2002）：局地気象モデルと第三世代波浪推算モデルの内湾波浪推算への適用、海岸工学論文集、第49巻、pp.201-205。
- 畑田佳男・山口正隆・大福 学・高橋秀典（2005）：表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システムの適用性の向上、海岸工学論文集、第52巻、pp.141-145。
- 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・日野幹雄・大福 学・畑田佳男・野中浩一（2007）：内湾・内海における波浪の長期推算システムの構築—瀬戸内海の場合—、海岸工学論文集、第54巻、pp.106-110。
- 山口正隆・大福 学・日野幹雄・野中浩一・畑田佳男（2009a）：内海・内湾における風候と確率風速の評価、水工学論文集、第53巻、pp.1477-1482。
- 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄（2009b）：SDP風資料を用いた内湾・内海における45年間の海上風分布データセットの作成、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.B2-65、No.1、pp.186-190。
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一・日野幹雄（2009c）：SDP風資料を用いた内湾・内海における45年間の波浪推算システム—東京湾の場合—、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.B2-65、No.1、pp.191-195。
- 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男（2010a）：SDP風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性、工学ジャーナル（愛媛大学）、第9巻、pp.1-13。
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一（2010b）：SDP風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた45年間の波浪推算システム—関東沿岸海域の場合—、工学ジャーナル（愛媛大学）、第9巻、pp.14-26。
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一（2010c）：SDP風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた45年間の波浪推算システム—伊勢湾の場合—、工学ジャーナル（愛媛大学）、第9巻、pp.27-39。
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一（2010d）：SDP風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた45年間の波浪推算システム—瀬戸内海の場合—、工学ジャーナル（愛媛大学）、第9巻、pp.40-55。