

# 1960年代前半の3巨大台風時の大阪湾・紀伊水道における波浪の推定

## Estimating High Wave Conditions in Osaka Bay and Kii Channel during 3 Powerful Typhoons in Early 1960s

畑田佳男<sup>1</sup>・山口正隆<sup>2</sup>・大福 学<sup>3</sup>・野中浩一<sup>4</sup>

Yoshio HATADA, Masataka YAMAGUCHI, Manabu OHFUKU and Hirokazu NONAKA

Shallow water wave hindcastings are conducted in Osaka Bay and Kii Channel for not only the 3 large typhoons in the early 1960s, which caused an enormous amount of damage to Osaka Bay areas, but also the most recent 5 strong typhoons with the sea wind distribution properly evaluated using land-based wind measurement. A good agreement between abundantly-acquired wave measurements and the corresponding hindcasts for the recent typhoons may guarantee to some extent a reasonable accuracy of the wave hindcasts for the 3 typhoons in the 1960s which are performed with the sea wind distribution evaluated by the same method. It is deduced that wave heights generated by the 3 typhoons may change greatly 50-year return wave heights in Osaka Bay estimated using the wave hindcasts for intense storms in the recent 30 years.

### 1. 緒言

わが国の内湾・内海域のうちでもとくに大阪湾の沿岸は、近代以前から活発に開発・利用されてきたことから、これまでに幾度となく暴風とこれに伴う高潮・高波による災害の脅威にさらされてきた。とりわけ、1960年代前半に大阪湾を含む瀬戸内海東部海域に來襲した台風6118号(第2室戸台風)、6420号、6523号などの巨大台風によって、その沿岸部は甚大な海岸災害を蒙っている。

これらの巨大台風時の波浪特性の検討は、1960年代半ば以降の森下(1966)、中野ら(1966)、中野・川鍋(1967)、合田・永井(1969)による有義波法を用いた波浪推算の研究以降ほとんど試みられていない。合田・永井(1969)の結果や最近の研究結果(畑田ら、2008)などを総合的に勘案すると、上記の3台風は大阪湾沿岸に過去70~80年の間で最大級の異常波浪をもたらしたと推測されることから、波浪推算に係わる近年の研究環境の改善にあわせて、その波浪特性を再度検討することは沿岸防災対策上大いに有用であると考えられる。

この場合、最も重要な課題は40年以上前の巨大台風時における海上風の時空間分布を適正に評価することである。これに関してごく最近、山口ら(2009)は対象海域周辺の気象官署で取得されたSDP(地上気象観測時日別)風資料と沿岸部および海上部の風観測資料の相関関係を利用することによって、海上風分布をある程度適正に推定しうる方法を開発している。

そこで本研究では、台風6118号などの3巨大台風時の大阪湾・紀伊水道における波浪特性を明らかにするために、まず最近の5台風を対象としてSDP風資料より得た海上風分布を入力条件とする浅海波浪推算の結果と沿岸部に豊富に得られている観測結果との比較に基づいて波浪推算の妥当性を検証する。ついで、同様の海上風条件のもとに実施した上記3台風時の波浪推算結果と目視・計器波浪観測結果との比較および推算結果の検討を通じて、3台風時の最大波浪の空間特性を調べる。

### 2. 波浪推算の方法

#### (1) 海上風分布資料

波浪推算にあたり2種類の海上風分布資料を用いる。すなわち、外洋を中心にする領域では、NCEP/NCAR(National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research)より提供を受けた空間解像度約1.9°で6時間間隔の10 m高度表面風再解析資料の1時間間隔補間値を北西太平洋に設けた格子間隔80 kmの格子網上に4点双1次補間したのち、楕円型気圧分布を仮定した台風モデル風の1時間間隔値を組み込んで作成した海上風分布資料(畑田ら、2005)を利用する。ここでは、これをNCEP資料と呼ぶ。一方、内海では、SDP風資料と内海の沿岸部および海上部の風観測資料との相関関係を2段階で利用してSDP風資料から沿岸部と海上部の風観測地点における観測相当風を推定したのち、山口ら(2007)の方法に従って格子間隔2 kmで海上風の平面分布を求める。時間間隔は1時間である。

SDP風資料を用いた海上風分布資料の作成はつぎの2段階よりなる。①内海を囲む気象庁気象官署の10 m高度変換したSDP風速(1/7乗則による)・風向資料と外洋

1 正会員 博(工) 愛媛大学講師大学院理工学研究科  
2 正会員 工博 愛媛大学教授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 博(工) 愛媛大学契約職員工学部

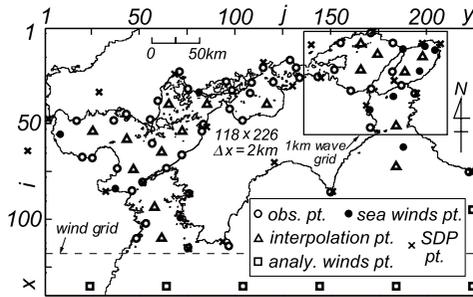


図-1 SDP風地点, 風観測地点およびNCEP風入力地点

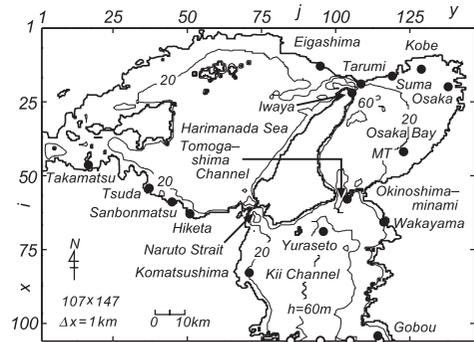


図-2 内海における波浪推算領域

境界上の7地点のNCEP風資料に対する加重1次補間法(塩野ら, 1985)の適用から, 山口ら(2007)が使用した沿岸部と海上部の風観測地点における風速・風向を計算したのち, 計算風速と観測風速の間の相関関係を2段階で利用して観測相当風速に変換する. 計算風向は観測風向と高い相関を与えるので, そのまま観測相当風向とする. ②海上風補正をした風観測地点における風と外洋境界上7地点のNCEP風に対する加重1次補間法の2段階の適用(山口ら, 2007)により, 海上風分布資料を作成する.

図-1はSDP風入力地点(×印, 佐田岬灯台と土佐沖ノ島灯台の2地点を追加), 沿岸部(○印)と海上部(●印)の風観測地点, NCEP風入力地点(□印), 海上風分布の適正な推定をはかるために海上部に人為的に設けた仮想地点(△印), を示す. 内海における海上風分布の推定法の詳細は山口ら(2009)に与える. なお, 図-1の右上にある枠は内海(大阪湾・紀伊水道・播磨灘)における波浪推算領域を表す.

## (2) 波浪推算の条件

波浪推算は外洋と内海の2段階で行う. まず外洋から内海に到達する波浪を考慮するため, 格子間隔5 kmの北西太平洋領域に格子間隔0.5 kmの瀬戸内海領域を組み込んだ2段階高地形解像度格子網において, 1点浅海モデル(山口ら, 1987)により紀伊水道境界上4地点の方向スペクトルを1時間間隔で地点別に求める. 海上風として, 波浪推算地点に到達する各成分波の波向線上の波計算点がSDP風資料の領域外にある場合にはNCEP風資料, 領域内にある場合にはSDP風資料を用い, 4点双1次補間式の適用によって波計算点の風向・風速を計算する. ついで内海における波浪推算は, 図-2に示す格子間隔1 kmの格子網で外洋と接続する内海境界上4地点(○印)の方向スペクトルを境界線上に1 km間隔で, 時間に関して1分ごとに線形補間した値を流入境界条件として与え, 格子点浅海モデル(山口ら, 1984)により実施する. このモデルは水深限定に伴う碎波変形を段波モデルで近似している. 使用する海上風資料はSDP資料に基づく2 km格子網上の1時間間隔値であり, 波浪推算ではこれを時間

に関して20分ごとに線形補間, 空間に関して1 kmごとに4点双1次補間したのち, 20分の間不変とする. 備讃瀬戸に接続する図-2の西側境界は陸地境界としてそこでの方向スペクトルを0とおき, 流入境界条件を与えた内海の外洋に接する境界上格子点では, 流出方向に方向スペクトルの完全流出条件を課す.

1点浅海モデルおよび格子点浅海モデルによる波浪推算で使用する周波数成分は0.047~1 Hzを不等分割した20個, 方向成分は0~360°の全方向のうち180°を中心に10°間隔(120~240°), ついで20°間隔で分割した25個である. 波向180°を中心とする10°間隔の方向分割幅の使用は紀伊水道から大阪湾に伝播する波浪について, いわゆるGarden Sprinkler効果を低減するためである.

波浪推算の対象気象擾乱は比較用の波浪観測資料が比較的豊富に得られる1991年以降の5巨大台風と上記の3台風である. 近年の5台風に対して, 外洋ではECMWF風資料, 内海では観測風による海上風分布を入力条件として得た波浪推算結果(畑田ら, 2007, 2008)も考察の対象に加える.

## 3. 波浪推算の妥当性の検証

本研究の波浪推算方式の検証対象とする台風は台風9119号, 9313号, 0416号, 0418号, 0423号の5巨大台風である. これらの台風はいずれも日本付近でNE方向に進行しているが, 室戸岬から大阪湾を通過した台風0423号を除いて, 大阪湾より西側の瀬戸内海西部海域あるいは九州北部を通過している.

図-3は台風9313号時の風(風速 $U$ , 風向 $\theta_w$ )および有義波(有義波高 $H_s$ , 有義波周期 $T_s$ )の時系列に対する推算結果と観測結果の比較事例を神戸について示す. 図中には, SDP風を入力条件とする結果(NCEP-SDP)のみならず観測風を入力条件とする結果(ECMWF-obs)も与える. 図にみるように, 風, 波浪ともにいずれの推算結果も台風の接近・通過に伴う急激な変化に関して観測結果とおおむねよく符合する.

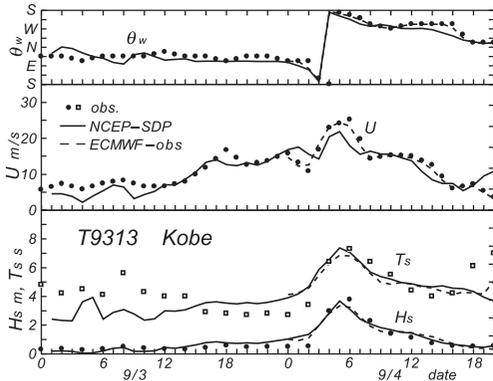


図-3 風・波浪時系列の比較事例(台風9313号)

ついで、同様の対応関係が他の台風や地点でも得られる状況を明示するために、図-4は観測地点における台風時最大波高 $H_{s,max}$ に対する推算値と観測値の比較を4台風別と全対象台風について示す。また、観測風資料による海上風分布を入力条件とする台風別の結果と全対象台風の結果(畑田ら, 2007)もそれぞれ与える。波浪観測地点(●印で表示)の名前と位置は図-2に記載する。台風0418号時には、両者の推算結果、とくにSDP風資料を用いる場合の結果が観測結果より過大な値を与える傾向にある点を除けば、各台風ごとにSDP風資料を用いる場合の推算結果は観測風資料を用いる場合と同程度に観測結果とよく符合することから、その特性が全対象台風に対する散布図にも現われている。したがって、SDP風資料から同じ方法によって海上風分布を得た1960年代前半の3台風に対しても近年の5台風時に対する波浪推算の精度に見劣りしない程度の精度が期待できよう。

4. 1960年代前半の3巨大台風時の波浪特性

(1) 台風経路

図-5は台風6118号, 6420号, 6523号の経路を示す。各台風とも中心気圧が低く勢力の強い巨大台風であり、大阪湾・紀伊水道や播磨灘に異常な強風や高潮、高波をもたらしている。大阪湾近傍における台風勢力の強さは台風6118号, 6523号, 6420号の順になっている。経路からみると、台風6420号が大阪湾から西側に最も離れた備讃瀬戸付近を、また台風6523号が播磨灘を、台風6118号が淡路島南部から大阪湾を、それぞれNE~NNE方向に通過している。台風の中心気圧と移動速度および経路を考慮すると、台風6118号時の風が最も強く、台風6523号時がこれに次ぐ。また台風6420号時には、SW方向の強風の継続時間が長いと推測される。

(2) 観測資料との比較

3台風時には多くの船舶が大阪湾の東部に避難していたことから、そこで得られた風力階級表示や波浪階級表

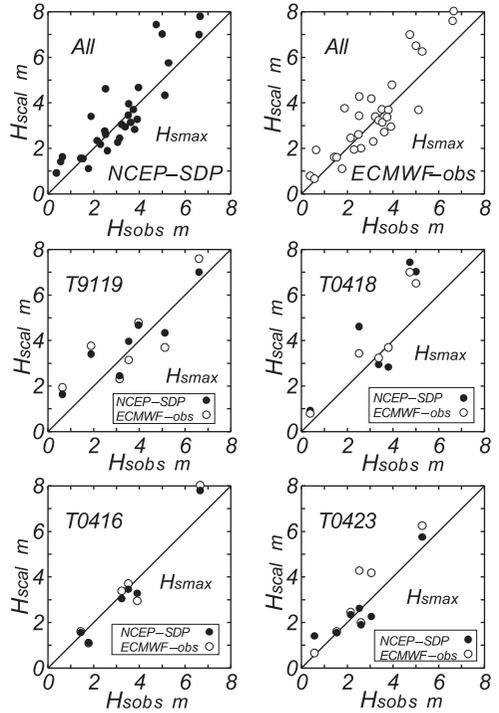


図-4 台風時最大波高の比較

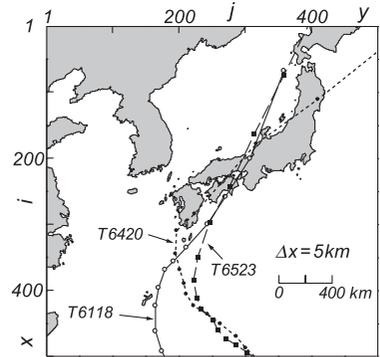


図-5 台風6118号, 6420号, 6523号の経路

示の観測資料を用いてそれぞれ海上風分布や波高分布が時間を追って推測されている。このうち、図-6は台風6420号時(1964年9月25日6時)における波高の空間分布に対して推算結果( $H_{s,cal}$ )と目視観測結果(森下, 1966; 中野ら, 1966)の比較事例を示す。この場合の目視波高は1/10最大波高相当と推測されているので、与えられた数値に1/1.27を乗じて有義波高相当波高( $H_{s,3}$ )に換算している。両者は大阪湾の中央部の巨大波高部からENE~E方向に向けて波高が減少する挙動に関して定性的に符合するものの、定量的には目視観測波高が推算波高より最大1~1.5m大きい傾向にある。

ついで波浪の計器観測資料に関して、台風6118号時に

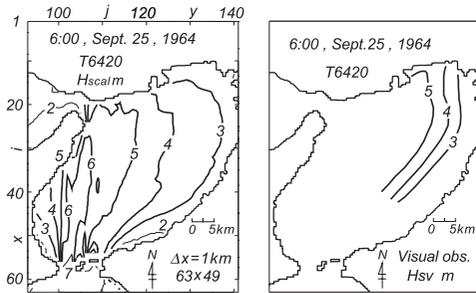


図-6 波高分布の比較事例 (台風6420号)

は記録が取得されていないが、台風6420号と6523号時に須磨など2~3の地点で水圧式波高計による記録が得られている。最近の観測記録と比べて、これらは有意な信頼性をもつとみなされなければ、貴重な記録であることに変わりはない。図-7は発達から減衰までの波浪を記録している台風6420号時の須磨 (水深8.5 m) とピーク時付近までの発達を捕捉している台風6523号時の須磨および岩屋 (水深10 m) における波浪時系列について推算値と観測値 (森下, 1966; 中野ら, 1966; 中野・川鍋, 1967) の比較を表す。図-2に示すように、須磨は神戸の西側、岩屋は淡路島の北東端に位置する。周期と比べて信頼性があると考えられる波高に限定すると、須磨では両台風時に推算波高は台風の接近に伴う急激な増加について多少の時間のずれを除き観測波高と比較的よく対応するが、台風6420号時には推算波高は観測波高ほど急激に減少しない。また台風6523号時の岩屋では、推算波高はやや低めの値となっている。この原因として、明石海峡付近の局所風の増強が海上風分布の推定結果で適正に再現されていない可能性があげられるかもしれない。

### (3) 台風時最大波高分布

図-8は台風6118号時、6420号時および6523号時の最大波高 $H_{smax}$ の空間分布と50年確率波高 $H_{s50}$ の空間分布 (畑田ら, 2008) を与える。50年確率波高は1978年以降の異常気象擾乱に対して観測風を入力条件とした浅海波浪推算モデルに基づく結果を用いて推定している。3台風のうち勢力が最も強い台風6118号時には、紀伊水道の波高は南側の11 mから友ヶ島で10 m、大阪湾内では友ヶ島からN方向に向けて8 mをとり、そこから大阪湾沿岸の4~5 mに減少しており、5 m以上の波高域が大阪湾の大部分、あるいは6 m以上の波高域が大阪湾の2/3を占める。湾岸では神戸付近で4 m、大阪府沿岸で4~5 mとなって、大阪府沿岸の方が大きい。台風の左半円に入る播磨灘では、波高は南部で4 m、北部で3 mであり、大阪湾に比べて小さい。

台風6420号時には、波高は紀伊水道で南部の7 mから北部の8 mに増大し、友ヶ島水道からN方向に7 mを与え、

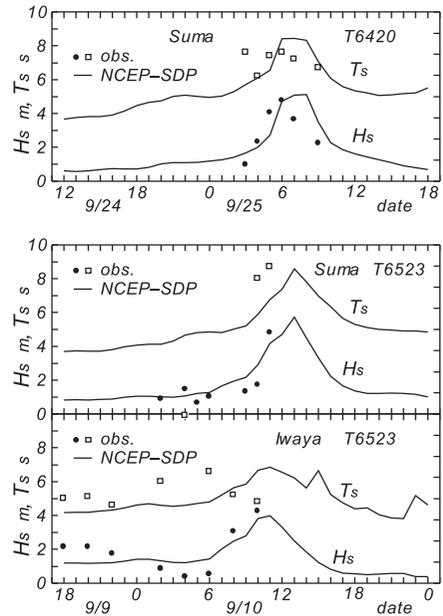


図-7 波浪時系列の比較 (台風6420号, 6523号)

垂水沿岸でも6 mに達する。そして、6 mの波高は大阪湾の東部沿岸に向けて4 mに減少する。沿岸部では、波高は垂水の6 mから神戸の5 mを経て大阪で4 mに、大阪府沿岸で北側の4 mから南側の3 mへと小さくなる。播磨灘では、波高は鳴門海峡付近の4 mから放射状に3 mに減少する。ついで台風6523号時には、波高は紀伊水道で南部の7 mから北西部の9~10 mに増加し、その最大域も鳴門海峡付近に出現する。友ヶ島水道付近では波高は8 mから大阪湾内に入ってN方向に7 m、さらに淡路島北部沖合で6 mになり、大阪湾の北部沿岸では明石から神戸にかけての5 m、そこから大阪西部の4 mに減少するし、大阪府沿岸では北から南にかけて3 mをとる。また播磨灘では、鳴門海峡付近の5 mから放射状に3 mに減少する。台風6420号の勢力は台風6523号よりやや弱いけれども、台風6523号より西側の経路をとっていることから、大阪湾内でSW方向の強風の継続時間が長くなり、その結果大阪湾内で波浪が発達するため、両台風時の大阪湾における波高にそれほどの差を生じない。

3台風時の波高を比べると、最も強い勢力をもち淡路島から大阪湾を通過した台風6118号が大阪湾の北部海域や播磨灘の中部から北部海域を除いて最も大きい波高を生起しているが、明石から神戸を経て大阪の西隣に位置する尼崎や西ノ宮に至る沿岸部や沖合では、台風6523号時や台風6420号時に台風6118号時より大きい波高が生起している。最大波高は台風6118号時には北西部海域を除く大阪湾、紀伊水道の北部海域、播磨灘の南東部海域のうちでもとくに大阪湾の南東部海域で50年確率波高 $H_{s50}$ よ

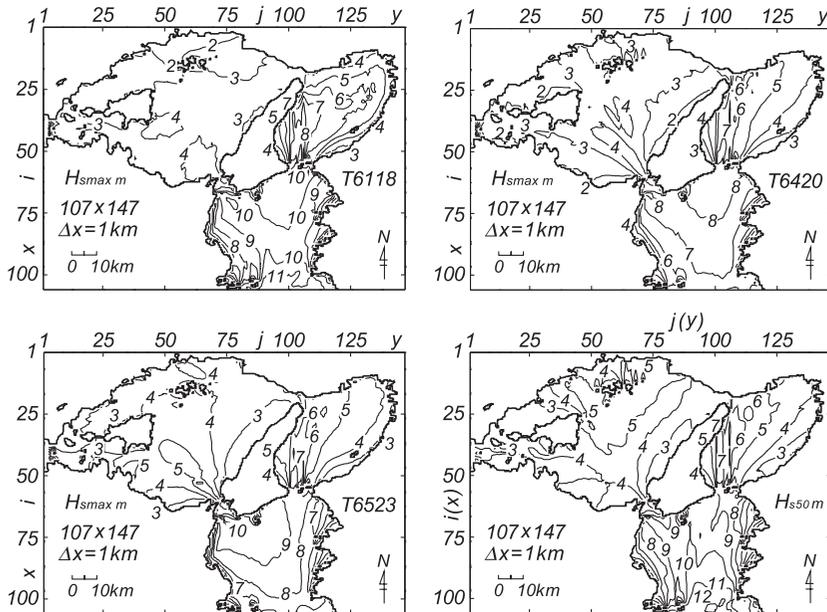


図-8 台風6118号、6420号、6523号時の最大波高および50年確率波高の空間分布

り2 m以上（相対的割合で50 %以上）大きい。台風6420号時には大阪湾の広範な海域で、台風6523号時には大阪湾や紀伊水道北西部から播磨灘南部の広い海域で $H_{s50}$ を上まわる。その量は大阪湾の北部海域のうちでもとくに神戸付近で1m（相対的割合で20%）に達する。

## 5. 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) 対象海域の沿岸部と海上部の風観測資料を介在して気象官署のSDP風資料より推定した海上風分布を入力条件とする浅海波浪推算は最近の5台風時の大阪湾・紀伊水道における波浪観測資料の挙動を比較的良好に再現する。また、台風6420号時と6523号時の限られた波高観測資料に対する推算結果の適合度も良好である。
- 2) 台風6118号時や6523号時の最大波高は1978年以降の異常気象擾乱に対する波浪推算に基づいて推定した50年確率波高を局所的には2 m以上上まわることから、これらを含めた50年確率波高の再評価が必要になる。

## 参考文献

合田良実・永井康平（1969）：大阪湾における台風時波浪の数値計算，第16回海岸工学講演会講演集，pp. 75-84。  
 塩野清治・弘海原 清・升本真二（1985）：パソコンで不規則に分布するデータを格子点データに変換してコンターマップを作成する方法（1）-加重一次補間法，情報地質（10），pp. 65-78。

中野猿人・川鍋安次・森下敏之・金谷光三（1966）：大阪湾の波について（第1報），神戸海洋気象台彙報，第176号，神戸海洋気象台，pp. 1-13。  
 中野猿人・川鍋安次（1967）：大阪湾の波について（第2報），気象庁研究時報，19巻3号，気象庁，pp. 1-15。  
 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。  
 畑田佳男・山口正隆・大福 学・野中浩一・山田耕大（2007）：瀬戸内海における過去16年間の台風時最大波高の推定，海岸工学論文集，第54巻，pp. 116-120。  
 畑田佳男・山口正隆・大福 学・野中浩一・森 正憲（2008）：瀬戸内海における確率波高の推定，海岸工学論文集，第55巻，pp. 131-135。  
 森下敏之（1966）：大阪湾における波浪の推定法に関する研究，第3章台風6420号および6523号に伴う大阪湾の波浪について，財団法人関西気象協会，pp. 21-34。  
 矢吹文太郎（1963）：第二室戸台風時の海上気象（船舶資料による），神戸海洋気象台彙報，第173号，神戸海洋気象台，pp. 58-75。  
 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄（1984）：エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 123-127。  
 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・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄（2009）：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，海岸工学論文集，第56巻（印刷中）。