

◆ 報 文 ◆

# 高潮情報システムの開発

加藤史訓\* 福濱方哉\*\*

## 1. はじめに

平成16年は10個の台風が日本に上陸し、各地で高潮や高波による被害が頻発した。たとえば、台風16号や18号により、瀬戸内海沿岸を中心に高潮による浸水被害が広範囲で生じた。また、台風23号の接近時には、室戸岬周辺で記録的な高波と高潮が観測され、高知県菜生海岸では海岸堤防の倒壊と越波による人的・物的被害が生じた。

高潮・高波による被害の低減には、堤防等の海岸保全施設やハザードマップの整備とともに、台風接近直前に浸水に関わる予測情報を提供することにより、適切な水防活動や住民の避難行動を促すことが必要である。

各地の気象台が発令している高潮や波浪に関する警報等は、予報区域が比較的広く、各海岸においてうちあがる波が堤防を越えるかどうかを示すものではないため、水門の閉鎖等の水防活動に有効に活用されていない。また、気象庁の数値予報システムでは10km程度の計算格子で波浪の推算が行われているため、沿岸域の地形が十分に考慮されておらず、内湾における波浪推算の精度が高いとはいえない。

そこで、平成16年度より、国土交通省河川局、港湾局、気象庁の連携により、水防警報等の充実を図るため、「高潮情報システム」の開発が進められている。国土技術政策総合研究所では、高潮情報システムの一部である浅海波浪予測モデルと波浪うちあげモデルを開発している。本稿では、高潮に際して住民が必要とする情報に関するアンケート調査の結果とともに、高潮情報システムの概要と浅海波浪予測モデル開発の中間成果を報告する。

## 2. 高潮に関する情報のニーズ

高潮に関する各種情報の必要性およびそれらの

情報を入手したい時点について、住民を対象としたアンケートを実施した。

平成16年8月の台風16号の接近により、高松や宇野などで既往最高の潮位が観測され、香川県、岡山県などの瀬戸内海沿岸では浸水被害が発生した。中でも被害が大きかった高松市（床上浸水3,538戸，床下浸水12,023戸）と倉敷市（床上浸水2,643戸，床下浸水1,693戸）において、高潮で浸水被害を受けた世帯から、調査対象世帯を232軒無作為に抽出し、その世帯主に記入していただいた。調査は、平成17年1～2月に行った。

調査では、以下の4つの情報について、必要性および必要となる時点を尋ねた。

- ・ 近くの海岸での潮位の予報値（例：○時間後の△△海岸の潮位は\*\*m）
- ・ 近くの海岸での波浪の予報値（例：○時間後の△△海岸の波高は\*\*m）
- ・ 近くの海岸で潮位が堤防の高さを越える見込み（例：○時間後に△△海岸では潮位は堤防高を\*\*m越える見込み）
- ・ 住んでいる地区が浸水する見込み（例：○時間後に□□地区は\*\*mの深さで浸水する見込み）

図-1のように、いずれの情報についても多くの人が「特に必要」あるいは「必要」と回答とし

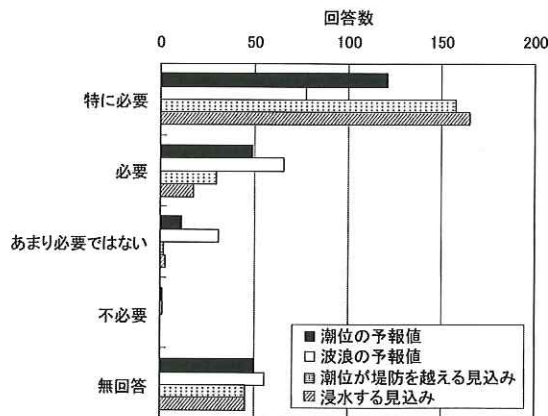


図-1 各種情報の必要性

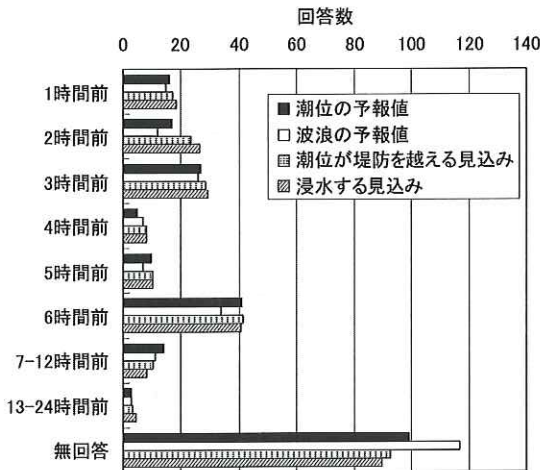


図-2 各種情報を入手したい時点

ているが、潮位や波浪という来襲外力の予報値より、越水や浸水という被害に直接関わる情報の方が、特に必要と回答する人が多かった。海岸の場合、潮位が堤防高を上回らなくても波のうちあげによって浸水が生じることから、潮位や波浪の予報値に留まらず、波のうちあげ高などのより詳細な情報が求められていると判断される。

また、情報を入手したい時点は、図-2のように、浸水開始の6時間前という回答が比較的多かった。台風接近時には強い風雨により避難行動が危険になりがちであることを考慮すると、この時点が情報提供の一つの目安となると考えられる。

市町村長が行う避難勧告についても、知らせてほしい時点を尋ねたところ、図-3のように浸水が始まる2~3時間前に欲しいという回答が最も多かった。また、伝達手段の希望を第3位まで選択していただいたところ、表-1のように、テレ

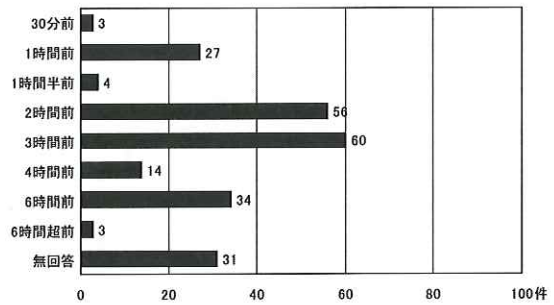


図-3 避難勧告を知らせてほしい時点

ビ、広報車、防災スピーカーの順に希望が多かった。回答者が世帯主ということもあり、携帯電話、インターネットは、希望者が比較的少なかった。

なお、同時に実施した浸水被害の実態調査については別途報告<sup>1)</sup>しているのので、そちらを参照されたい。

### 3. 高潮情報システムの概要

図-4は高潮情報システムの全体像を示している。気象庁の数値予報システムでは、台風接近時には台風予報が3時間間隔で更新されている。台風予報は、12時間後、24時間後、48時間後について、中心気圧とともに、中心の位置を予報円として示すものである。これに基づいて、波浪は台風予報円の中心を通る1コースについて、潮位は台風予報円の中心に加えて予報円の周囲を通る4コースについて推算されている。波浪および高潮の予報値は地方気象台に転送され、高潮警報等の発令に活用されている。

数値予報システムでは、計算格子間隔は、現在のところ波浪モデルで約10km、高潮モデルで約

表-1 避難勧告を知らせる伝達手段の希望

1位		2位		3位	
テレビ	87	広報車	54	広報車	50
広報車	40	テレビ	35	テレビ	42
防災スピーカー	33	防災スピーカー	34	町内会役員からの電話	36
町内会役員からの電話	23	ラジオ	29	ラジオ	19
町内会役員から口伝	13	町内会役員からの電話	24	防災スピーカー	17
役場職員の直接訪問	8	町内会役員から口伝	21	町内会役員から口伝	16
ラジオ	6	携帯電話	6	携帯電話	9
携帯電話	3	役場職員の直接訪問	5	役場職員の直接訪問	6
インターネット	0	インターネット	1	インターネット	4
その他	1	その他	1	その他	2
無回答	18	無回答	22	無回答	31



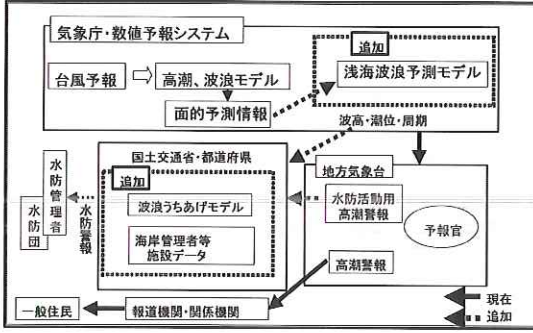


図-4 高潮情報システムの全体図

1.8kmであるが、平成17年度末のスーパーコンピュータの更新によりそれぞれ約5km、約1kmと細くなる予定である。

しかし、波浪モデルの解像度は、高潮が特に問題となる内湾における波浪の推算には依然として粗すぎる。そこで、内湾を対象に、より解像度が高いモデルを「浅海波浪予測モデル」として開発し、数値予報システムに組み込むことを検討している。

一方、海岸保全施設の管理者が台風接近前に水門の閉鎖等を確実にを行うため、潮位や波浪の予報値だけでなく、波浪のうちあげ高の予報値も必要である。そこで、海岸管理者等が気象庁の数値予報システムから各海岸の波高、周期、潮位の予報値を入手し、堤防や海底断面の形状を考慮して波のうちあげ高を算出する「波浪うちあげモデル」を開発することとした。

#### 4. 浅海波浪予測モデル

##### 4.1 評価するモデルの概要

浅海波浪予測モデルは、気象庁の数値予報システムにおいて、波浪の面的予測情報を境界条件として、沿岸域の波浪を詳細に推算するものである。浅海域に適用できる代表的な波浪推算手法として、WAM (Wave Analysis Model) や SWAN (Simulating Waves Nearshore) が知られている。これらは、外力として風を与えて波浪を推算するものであり、特に沿岸域において重要な現象である浅水変形や屈折も考慮されている。WAMは外洋での波浪推算に実績があり、浅海域への適用についても近年検討されている<sup>2)</sup>。SWANは、浅海域での波浪推算のためWAMを改良したものであり、地形性砕波も考慮されている。

一方、海岸保全施設の設計においては、施設近傍での波浪の諸元を求めるため、外力を与えないで入射波の屈折や砕波等を計算する波浪変形モデルが多用されてきた。波浪変形モデルは、風による波の発達等を考慮していないが、それ故に計算所要時間が短いという利点を持っている。

本研究では、対象海域全体を中領域、対象海域中の対象海岸近傍を狭領域として、表-2のように領域毎にWAM、SWAN、波浪変形モデルを設定し、この5つのモデルについて計算精度および計算所要時間を比較した。モデル1~4では、広領域(東経120~155°、北緯15~50°)の波浪推算をWAM(計算格子間隔約5km)で行い、その結果を境界条件として中領域の波浪を計算格子間隔約1.7kmで推算し、さらにその結果を境界条件として狭領域での計算を行っている。モデル5では、中領域の計算を行わず、広領域の計算結果を境界条件として、狭領域での計算を行った。なお、狭領域での計算格子間隔については、WAMとSWANは約0.4kmとし、波浪変形モデルは計算量が少ないので50mとした。

表-2 モデルの設定

モデル	中領域	狭領域
1	WAM	WAM
2	WAM	SWAN
3	WAM	波浪変形モデル
4	SWAN	SWAN
5	-	波浪変形モデル

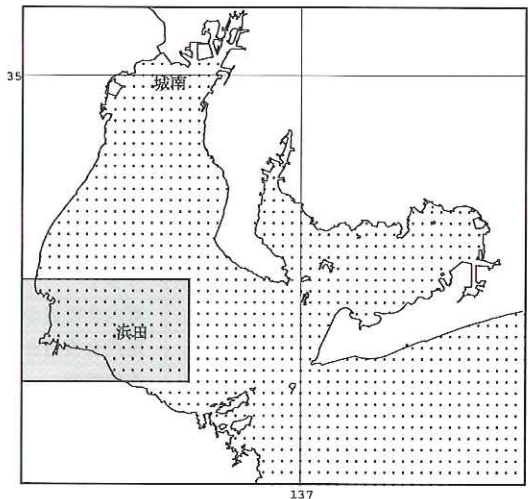


図-5 各海域の中領域(伊勢湾)

4.2 評価対象の海域

図-5～7に示された伊勢湾、播磨灘、有明海を対象海域として、モデルの検証を実施した。各図においてハッチされている部分は狭領域であり、それぞれ伊勢湾西南海岸、東播海岸、有明海岸の近傍である。また、図中の点は中領域の計算格子の交点である。

4.3 モデルの評価

各海域に影響を及ぼした最近10年間の主な台風について、各モデルにより波高および周期を算出して実測値と比較した。波浪の実測値は、伊勢湾西南海岸（浜田）、東播海岸（江井ヶ島）、有明海岸（有明タワー）で得られている。波浪推算には、実測値との相関が高い風の推算値を使用した。また、湾外の波浪は、気象庁のスーパーコンピュータの更新後における波浪モデルと同一の計算格子間隔（約5km）で、WAMを用いて独自に推算した。なお、計算は、Pentium IV（周波数3.6GHz）を積んだパソコンで行った。

各海岸での波高および周期の相関係数（R）、誤算の2乗平均（E）、一次回帰式（A：回帰係数、y：推算値、x：観測値）、東播海岸を対象とした計算の所要時間を表-3にまとめた。この表のように、相関係数は、いずれのモデルでも周期と比べて波高の方が高く、モデル間で大差は見られなかった。また、誤差の2乗平均については、い

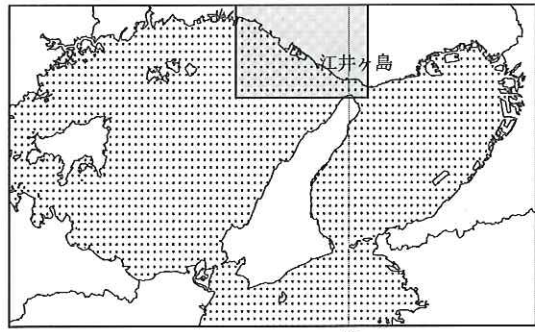


図-6 各海域の中領域（播磨灘）

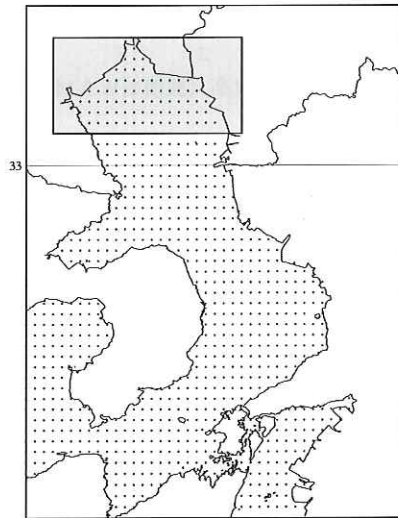


図-7 各海域の中領域（有明海）

表-3 各モデルの計算精度および東播海岸を対象とした計算所要時間

	伊勢湾西南海岸 (浜田)		東播海岸 (江井ヶ島)		有明海岸 (有明タワー)		24時間の計算所要時間		
	波高	周期	波高	周期	波高	周期	広領域	中領域	狭領域
モデル1 (WAM-WAM)	R=0.81	R=0.55	R=0.91	R=0.73	R=0.86	R=0.42	約1.5分	約14分	約53分
	E=0.58m	E=1.49s	E=0.34m	E=1.07s	E=0.43m	E=1.26s			
	y=1.26x	y=1.09x	y=1.08x	y=1.05x	y=1.42x	y=0.99x			
モデル2 (WAM-SWAN)	R=0.81	R=0.40	R=0.85	R=0.64	R=0.85	R=0.40		約14分	約232分
	E=0.51m	E=2.58s	E=0.40m	E=1.83s	E=0.34m	E=1.82s			
	y=1.21x	y=0.48x	y=0.96x	y=0.54x	y=1.19x	y=0.50x			
モデル3 (WAM-波浪変形モデル)	R=0.74	R=0.56	R=0.92	R=0.86	R=0.88	R=0.56	約1.5分	約14分	約92分
	E=0.55m	E=1.23s	E=0.31m	E=0.96s	E=0.48m	E=0.96s			
	y=1.11x	y=1.02x	y=0.98x	y=0.86x	y=1.48x	y=0.90x			
モデル4 (SWAN-SWAN)	R=0.81	R=0.48	R=0.97	R=0.91	R=0.95	R=0.85	約113分	約232分	
	E=0.43m	E=2.83s	E=0.40m	E=2.21s	E=0.32m	E=1.61s			
	y=1.04x	y=0.44x	y=0.84x	y=0.53x	y=0.80x	y=0.52x			
モデル5 (波浪変形モデルのみ)	R=0.73	R=0.57	R=0.92	R=0.80	R=0.87	R=0.56	なし	約92分	
	E=0.55m	E=1.34s	E=0.32m	E=0.92s	E=0.44m	E=0.96s			
	y=1.08x	y=1.06x	y=1.02x	y=0.88x	y=1.39x	y=0.88x			

R：相関係数、E：誤差の2乗平均、y=Ax：一次回帰式



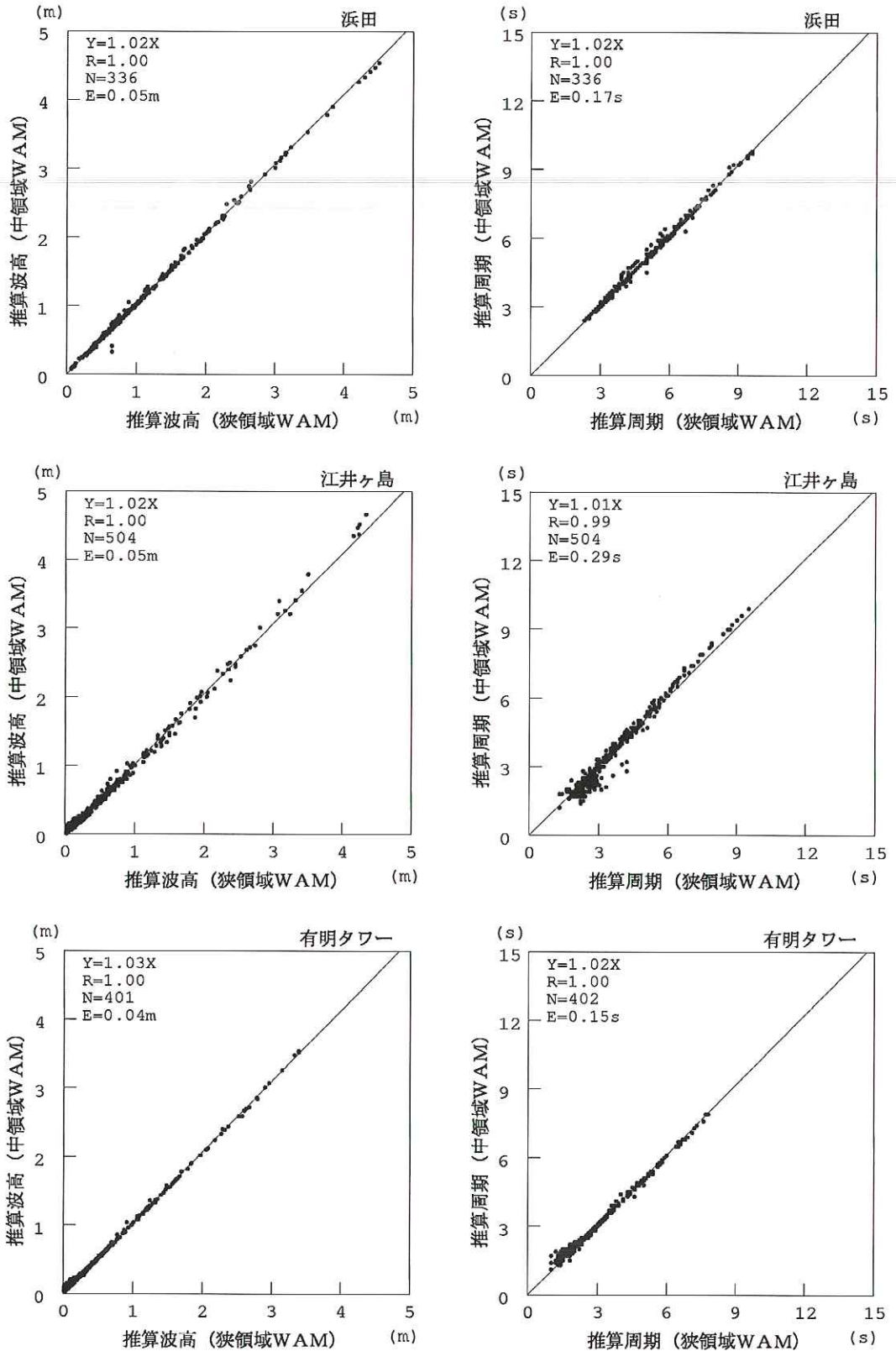


図-8 WAMにおける中領域 (1.7kmメッシュ) と狭領域 (0.4kmメッシュ) の推算結果の比較

れのモデルでも波高は0.6m未満と比較的よいが、周期はSWANを用いたモデル2や4で大きかった。一方、計算所要時間については、中領域、狭領域ともWAMを用いたモデル1が最も短く、中領域約14分、狭領域53分であった。モデル1では、周期の回帰係数は1程度であり、波高の回帰係数は1を上回っており、平均的には危険側の推算値が得られている。

また、もっとも計算所要時間が短かったモデル1について、中領域と狭領域の計算結果を比較したところ、図-8のようにほとんど差が見られなかった。一方、中領域の計算結果は計算格子間隔約5kmのWAMとは大きく異なっていた。このことは、計算の格子間隔は5kmでは粗すぎるものの、1.7kmより細かくしても計算結果は大きく変わらないことを示している。

気象庁のスーパーコンピューターでは、同一の計算は今回使用したパソコンの1/7程度の時間で終了するものと推察されている。すなわち、スーパーコンピューターでは、WAMによる中領域の計算は1海域あたり約2分で終了することになる。仮に、浅海波浪予測モデルの対象を全国7海域とする場合、気象庁の数値予報システムにおいて浅海波浪予測モデルの計算所要時間の合計は15分程度になると推察され、リアルタイム予測に必要な計算速度が確保されていると判断される。

以上のことをふまえ、浅海波浪予測モデルはWAMによる中領域の計算をベースにしていくこととした。

## 5. おわりに

高潮情報システムの全国展開を目指して、浅海波浪予測モデルの運用における課題の抽出、高速化、精度向上のため、平成17年に来襲する台風を対象に、気象庁の予報値を用いてモデルの試行を行う予定である。

### 謝 辞

浅海波浪予測モデルは、国土技術政策総合研究所、独立行政法人港湾空港技術研究所、気象庁、気象研究所により構成される「高潮情報システム技術検討ワーキング」での議論を通じて、開発を進めている。その中で、特に港湾空港技術研究所海洋水理研究室の橋本典明室長（現九州大学大学院工学研究院教授）より多くの御助言をいただい

た。また、伊勢湾および播磨灘の海底地形データは、中央防災会議で整備した電子データを内閣府よりお借りした。さらに、高潮に関する情報のアンケート調査に際しては、高松市役所および倉敷市役所より御助言をいただいた。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 加藤史訓、福濱方哉、野口賢二：高潮による浸水被害の実態調査, 海岸工学論文集, 第52巻, 2005 (投稿中)
- 2) 橋本典明、杉本 彰、川口浩二、宇都宮好博：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, 2002.10

加藤史訓\*



国土交通省国土技術政策  
総合研究所河川研究部海  
岸研究室主任研究官  
Fuminori KATO

福濱方哉\*\*



国土交通省国土技術政策  
総合研究所河川研究部海  
岸研究室長  
Masaya FUKUHAMA