

# 有明海における高潮・高波簡易予測システムの構築

(正) 中平順一 (八千代エンジニアリング株式会社)、(正) 高山知司 (京都大学防災研究所)  
(正) 間瀬 肇 (京都大学防災研究所)

## 1. まえがき

沿岸域では台風の接近に伴い、高潮害や沿岸波浪害といった気象災害が発生する。気象庁の台風予報は図-1のような台風予報円により情報提供が行われており、沿岸の波浪予報や高潮予報も一般的には特定の地点を対象としては行われていない。一方、高潮推算モデルや波浪推算モデルは近年の盛んな研究により精度が向上するとともに、パソコンの処理速度の向上により、複雑な演算処理が比較的短時間で行うことが可能となってきた。

本研究は、潮汐の干満差が大きく従来から高潮災害が発生している有明海を対象とした高潮や高波の予測を簡易的に行うため、対象海域の特性を踏まえた適切な推算モデルを選定し、それらを組み合わせるとともに操作性も重視した簡易的な予測システムの構築を行ったものである。初めに、具体的な予測条件を設定し、対象海域である有明海の海域特性を現地観測データをもとに把握し、その海域特性を踏まえつつ、簡易的な予測システムとして適切な推算モデルを抽出した。次に、現地観測データをもとに各予測モデルの精度検証を行い、精度向上と計算時間の短縮を目指した。

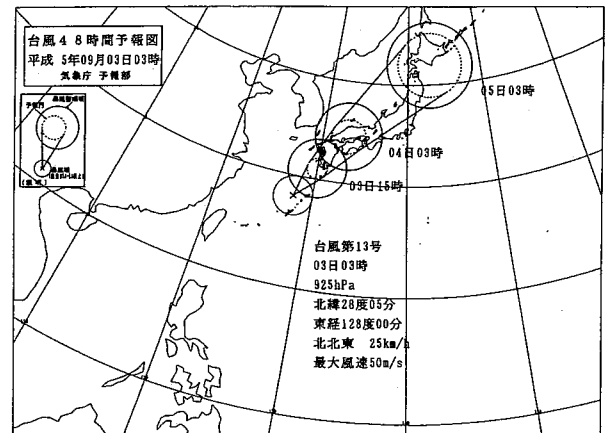


図-1 台風予報円 (気象庁予報部)

本予測システムは、海岸防災におけるゲート操作を的確に行うための役割を担うとともに、将来的には高潮警戒地域の特定などにも役立つことを目指している。本システムの要件は、気象庁の発表する台風情報をもとに、数時間から数十時間先までの高潮と高波の予測を数分程度の所要時間で行うことである。

## 2. 予測システムの条件

**2.1 予測条件** 本システムは、気象庁の台風予報をもとに予測を行う台風コースを設定して台風情報を入力し、データの入出力に際し特殊な技術が必要としない簡便なものであるとともに、計算時間についても数分程度となることを基本条件とした。気象庁の台風情報には各予測時間での台風中心位置、中心気圧、最大風速、予報円の半径ならびに暴風警戒域が発表される。

予測項目は海上風、天文潮位、潮位偏差、河川遡上高、波浪および打上高とし、予測計算時間は24時間予測で10分程度を目標として設定した。

**2.2 海域特性** 対象となる有明海は、湾軸に対して南北96km、平均幅は18km、海域面積が満潮時で約1,700km<sup>2</sup>であり、水深は平均で約20m程度と浅く、沿岸域には干潟が広い範囲で分布している閉鎖的な海域である。

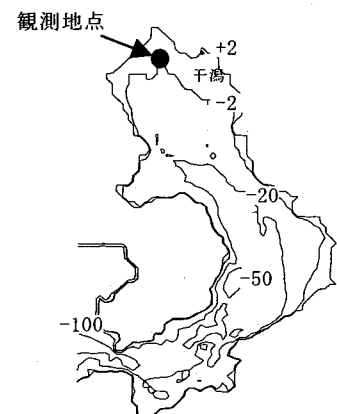


図-2 有明海の水深分布

過去の台風コースを調査するにあたり、今回は1990年～1999年を対象として九州直撃の台風を整理した。各台風の諸元は表-2に示すとおりである。調査した10年間で九州直撃の台風は16個あり、そのほとんどが九州の南南西から北上して上陸している。

表一 九州を直撃した台風(1990-1999)

年	番号	発生	消滅	九州接近日	九州接近時の台風勢力	接近状況	
1991年	17号	9月10日	9月16日	9月13日	9月14日	大型・強い	九州北部を通過。
	19号	9月13日	9月29日	9月26日	9月27日	大型・非常に強い	九州北部を通過。
1992年	9号	7月31日	8月5日	8月3日	8月4日	中型・なみの強さ	九州東部から北部を通過、朝鮮半島で消滅。
	10号	8月3日	8月12日	8月7日	8月8日	中型・強い	九州中部を通過。
1993年	5号	7月25日	7月29日	8月26日	8月27日	小型・弱い	九州南部から東部を通過。
	6号	7月28日	8月1日	8月29日	8月30日	中型・なみの強さ	九州西部を通過。
	7号	8月2日	8月14日	8月9日	8月10日	大型・非常に強い	九州北部をかすめた。
	13号	8月29日	9月7日	9月2日	9月3日	大型・非常に強い	九州南東部を通過。
1994年	7号	7月14日	7月28日	7月24日	7月26日	中型・なみの強さ	九州北部を通過、九州西側にめけた。
1995年	14号	9月15日	9月25日	9月23日	9月23日	中型・強い	北西から九州中心をとり東側に通過。
1996年	6号	7月14日	7月20日	7月17日	7月18日	中型・強い	南から九州中心をとり北東側に通過。
	12号	8月4日	8月18日	8月13日	8月14日	大型・強い	西から九州中心をとり東側に通過。
1997年	8号	6月23日	7月3日	6月27日	6月28日	大型・強い	西から九州北部をとり東側に通過。
	19号	9月6日	9月19日	8月15日	8月16日	大型・強い	九州南東部から東側に通過。
1998年	10号	10月10日	10月20日	10月17日	10月17日	大型・なみの強さ	九州南部を通過。
1999年	18号	9月17日	9月24日	9月23日	9月23日	大型・非常に強い	九州西部から北東部を通過。

有明海の潮位変化は、図-3に示すように大潮時で5m以上の潮位差があり、その潮位差は国内最大級である。また、小潮時には2mを下回ることもある。

図-4に示すように、湾奥の日最大の波高観測値からは、開口部の狭い閉鎖的な海域であることから、特に湾奥では外洋波浪の影響を受けていないことが分かる。

また、年間を通して10m/s以上の風が吹いても湾奥の波高が50cm程度で、主に台風来襲時の北向きの強風時に1~2m程度の波高が観測される。

### 3. 推算モデルの選定

**3.1 高潮推算モデル** 高潮予測計算は、対象海域が水深の浅い湾であることおよび計算の簡便性から単層モデルとし、解析手法としては着目する湾奥部(図-5の上部)のメッシュを細かく、逆に湾口部および外洋に関してはメッシュを粗くすることにより、湾奥での精度向上と計算時間の短縮を目指した地形モデルによる平面2次元FEMモデル<sup>1)</sup>を採用した。また、外洋との海水交換は、計算領域を外洋まで広げることにより対応した。

**3.2 波浪推算モデル** 波浪推算モデルについては、WAMDIグループにより開発された第3世代モデルWAM(WAM Cycle4)<sup>2)</sup>や気象庁により開発されたMRI-IIIがある。しかし、こうしたモデルはもともと全球モデルとして開発されていること、深海域を対象としていることから、有明海には適していない。よって、有明海においては浅海域に適応可能なモデルの選定が必要となった。

浅海域の波浪推算モデルについては、浅海での水深の制約に伴う砕波の影響などを考慮した第3世代の浅海波浪推算モデルであるSWAN<sup>3)</sup>が開発され既に公開されている。SWANの日本沿岸での適合性は実測の海上風を用いた間瀬ら<sup>4)</sup>の検証により優れた精度を有するモデルであることが示されていることから、本システムでもSWANを波浪推算モデルとして採用した。

SWANの採用にあたっては精度向上より計算時間の短縮が主な課題であり、計算時間を大きく左右する計算格子間隔を図-6に示すように3km程度まで広げることにより、予測精度の大幅な低下もなく計算時間を波浪推算のみで5分程度まで縮めることが可能となった。

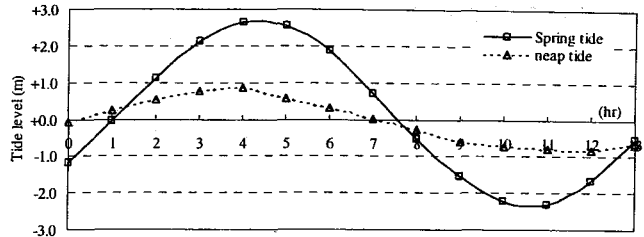


図-3 大潮・小潮時の潮位変動

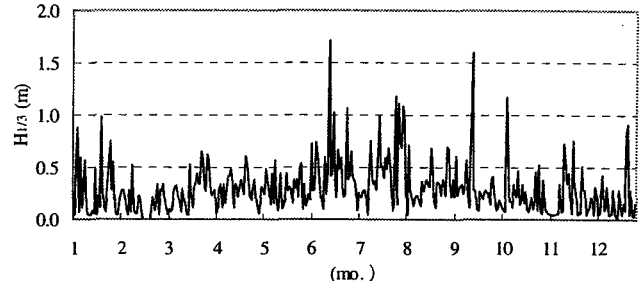


図-4 日最大波高の変化(2000年)

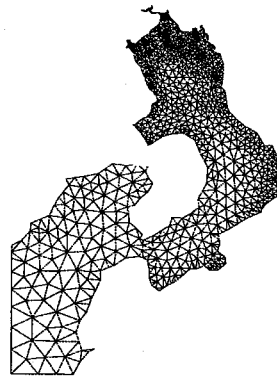


図-5 FEMモデル

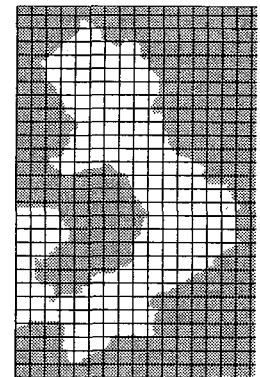


図-6 波浪の計算格子

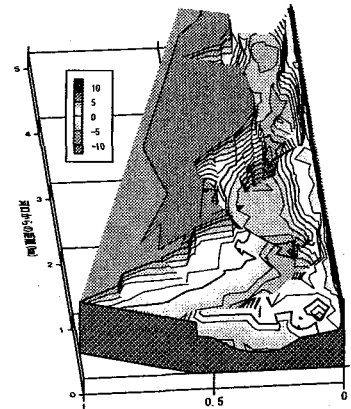


図-7 対象河道モデル

**3.3 その他の推算モデル** その他のシステムを構成する推算モデルは、簡易予測システムとしてできるだけ簡便な手法を選定するものとした。台風モデルは一般的な myers の式を採用し、地形の影響は無視するものとした。河川の遡上高は、図-7 のような対象河道断面に対して、計算手法はリープフロッグ法を採用した。また、海岸施設への波の打上高は、対象となる沿岸では 1:0.5 程度の傾斜護岸であることから、サビールの仮想勾配法<sup>6)</sup>による算定モデルを標準としてシステムに組み込んだ。

**4. 既往台風によるシステムの検証**

簡易予測システムの検証は、既往台風のうち観測値が比較的良好に取られている 9313 号と 9918 号の台風を対象として行った。

計算は実経路と中心気圧もとに推算した結果と湾奥部の観測値により行った。システム内ではそれぞれの推算モデルが独立しており、天文潮位→海上風→潮位→河川遡上→波浪→打上高の順序で計算を行う構成となっている。

**4.1 潮位の検証結果** 図-9 に示す潮位の推算結果は、全体の傾向としては比較的再現できていると考えられるが、ピーク値が全体平均で 50cm 程度計算値が実測値を下回っている。これは検証の対象地点が水深 4m 程度であることから、砕波による水位上昇の影響等も考えられるが、満潮時と干潮時に同じような誤差を生じていることから、砕波だけの影響であるとは判断できない。

また、現況水深に基づく水深モデルでは、計算ケースによって干潮時に水深がマイナスとなり、計算がストップしてしまう場合があるため、最小水深を干潮時にも水深がマイナスとならない 3m に補正した。干潟の水深を現況よりも深く設定することにより、図-9 に示すように誤差が大きくなってしまった。(図-9 (9918 号)、cal(old) : 現況水深モデルによる推算値、cal(new) : 補正水深モデルによる推算値)

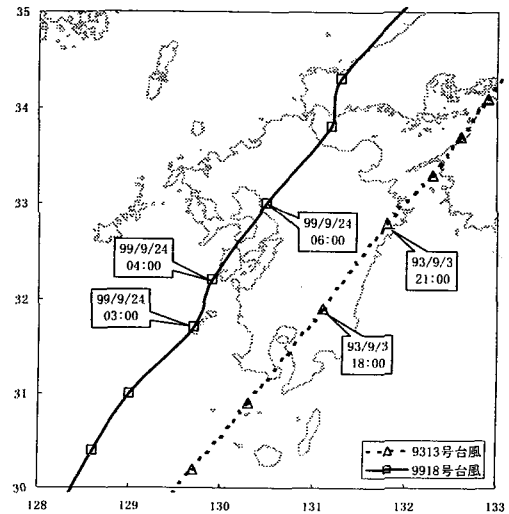


図-8 台風経路

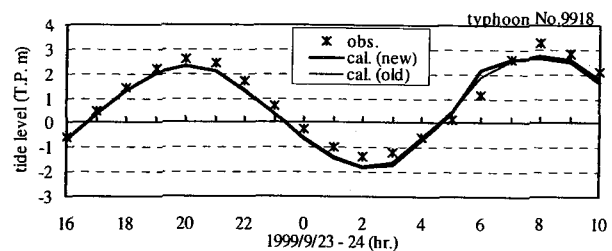
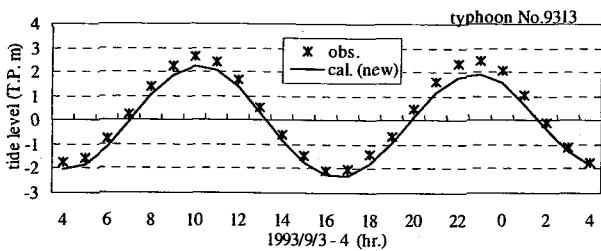


図-9 既往台風による潮位予測値と実測値

**4.2 波浪予測の検証結果** 波浪推算を行うにあたっては、海上風モデルの風の間を用いるとともに、高潮モデルの推算結果も反映するが、潮位条件は波高の予測を安全側に行うものとして、予測潮位の最大値を一定潮位として与えて計算を行うものとした。図-10 に推算値と実測値を比較した結果を示す。

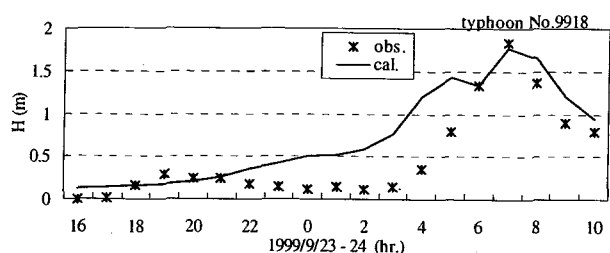
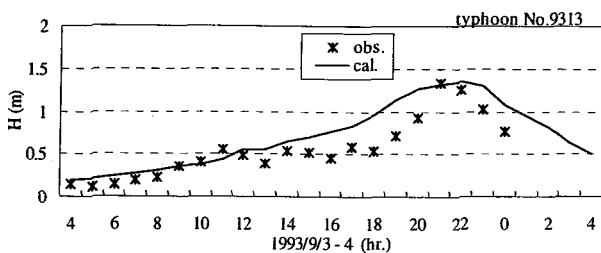


図-10 既往台風による波高予測値と実測値

波高ピーク時では両台風ともに 10cm 未満の誤差であったが、波高ピーク前に実測値を推算値が大きく上回っている。図-9 と比較するとちょうど干潮時と重なっており、計算では満潮時の潮位を与えていることから、干潮時の水深の違いによる影響である。

## 5. まとめ

高潮と波浪の推算精度は、ほぼ海上風の精度に左右されており、海上風の推定結果が実測値に近ければ比較的高い精度の推算結果を得られる。9313 号と 9918 号に対する検証結果は比較的良好な精度が得られているが、台風コースによっては海上風推算で大きな誤差が生じ、その影響が他の予測値に反映する形となってしまった。また、本システムでは計算時間の短縮のため潮位変動を考慮していないが、潮位差による波高への影響が顕著に結果に表れていることから、精度の向上には潮位変動も何らかの形で反映する必要がある。また、同じ理由で高潮と波浪の相互干渉についても今後の課題として研究していく必要がある。

本研究においては、対象がリアルタイムの簡易予測システムの構築であるため、簡便性や計算時間の短縮に重点を置くことにより精度の向上は課題として残ったものの、各推算項目のピーク値をある程度再現するという目標に対しては、全ケースではないが、満足できる結果が得られた。

最後に、本研究で用いた有明総合観測タワーのデータは、国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所より提供頂いたものであり、ここに謝意を表す。

## 参考文献

- 1) (社)土木学会, 1983: 新体系土木 有限要素法, 技報堂出版, 302p.
- 2) The WAMDI group, 1988: The WAM model-A third generation ocean wave prediction model, J. Phys. Oceanogr., 18, pp. 1775-1810.
- 3) Ris, R.C., 1997: Spectral modeling of wind waves in coastal areas, ISSN 0169-6548, Vol.22, pp. 1389-1405.
- 4) 間瀬肇・平尾博樹・國富將嗣・高山知司, 2001: SWAN を用いた日本沿岸波浪推算システム構築と適用性の検証, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 236-240.
- 5) Saville, T., Jr., 1958: Wave run-up on composite slope, Proc. 6th Coastal Engg. Conf., ASCE, pp. 691-699.
- 6) 中平順一・吉田武司・高山知司・間瀬肇, 2003: 高潮・高波簡易予測システムの構築とその運用, 海岸工学論文集, 第 50 巻, (印刷中)