

特集「波浪・潮汐に係る海域特性の調査及び支援資料作成技術の向上」

九州・沖縄海域における高潮モデルの特性に関する調査

田口 幸輝 *1・江上 浩樹 *2・橋本 晋 *3・高口 健介 *4・
井上 博敬 *4・橋口 清 *1・沖吉 久司 *5

要 旨

九州・沖縄海域の潮位観測地点において、高潮モデルによる潮位偏差の予測値と実際の観測値とのずれが大きい、いわゆる顕著な「はずれ」事例についてその特徴や原因を調査した。その結果、台風要因の事例と、表層水温の上昇といった海況要因の事例に分けられた。前者については、波浪による潮位上昇効果の条件がそろっていたことが一部で確認され、その定量的な見積りが次の課題である。後者については、諸現象のうち、暖水渦の接近による異常潮位で浸水被害が発生した事例を抽出し、暖水渦の形状に着目して調査を行った。その結果、だ円形である暖水渦の長軸の向きがモデルの予測値と観測値のずれの大きさに関係していることが分かり、暖水渦接近時にはその形状の推移にも注視する必要性が確認された。

1. はじめに

平成 24 年度から沿岸防災業務強化に係る地方予報中枢向け支援が本運用になり、潮汐現業には逐次変化する現象を理解したうえで、高潮モデルの特性を踏まえて高潮ガイダンスを修正する能力がより一層求められている。このため、長崎海洋気象台では担当している九州・沖縄海域における高潮モデルの特性に関する調査を行っている。平成 22 年度海洋気象技術検討会では、潮位偏差^{*1}の観測値と高潮モデル^{*2}のハインドキャスト^{*3}との差（ハインドキャスト誤差。以下 OMH とする。OMH とは Observation Minus Hindcast の略）を用いて、風向・風速に起因して系統的に現れる

地域特性の統計調査を行った。ハインドキャストデータを用いたのは、気象モデルの予報誤差を除き、高潮モデルそのものの誤差を抽出するためである。

平成 23 年度海洋気象技術検討会では、高潮モデルでは予測できない OMH が大きな事例（以下、顕著な「はずれ」事例）の要因について調査を行った。

2. 調査地点及び調査方法

第 1 図に示す九州・沖縄海域の 44 の潮位観測地点について、高潮モデルのハインドキャストデータがそろっている 2004 年 1 月から 2010 年 12

*1 長崎海洋気象台（現 沖縄気象台） *2 長崎海洋気象台（現 札幌管区気象台） *3 地球環境・海洋部大気環境観測所

*4 長崎海洋気象台（現 福岡管区気象台） *5 名瀬測候所

※1 観測潮位と同時刻の天文潮位との差。同検討会では、観測潮位には平滑化した毎時観測潮位を用いた。

※2 気象庁のメソ数値予報モデル（以下、MSM）で予測した海上の風と気圧を外力として潮位偏差を計算するモデル。

※3 高潮モデルに与える気象の外力として予報値ではなく解析値を与えたシミュレーション結果。

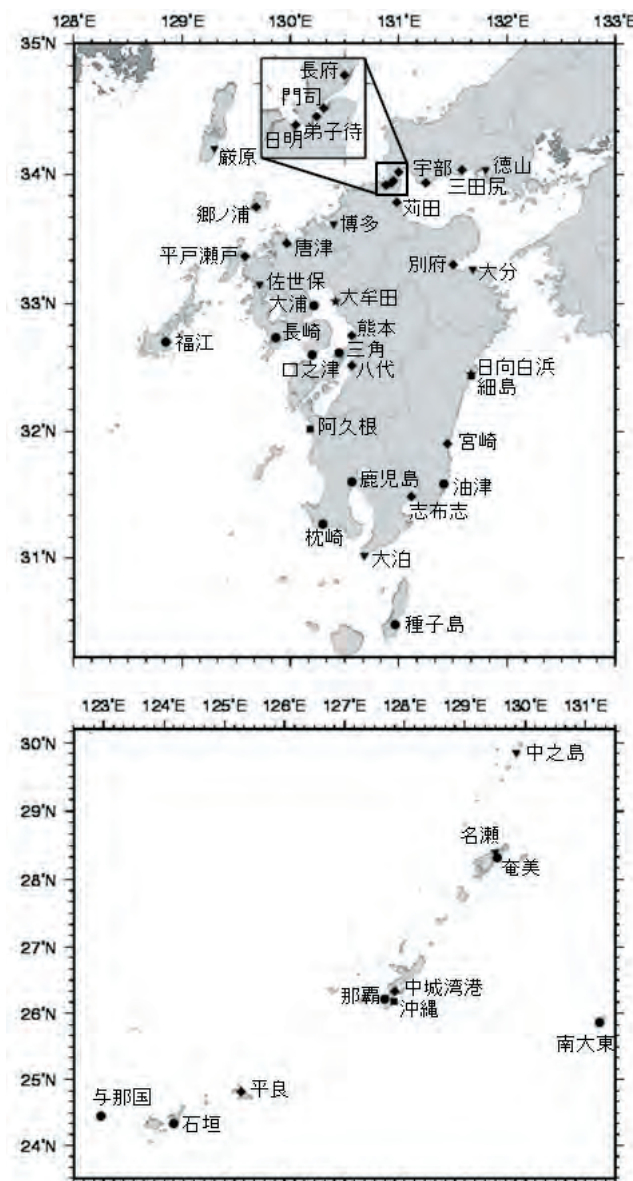
月までの、欠測期間を除く OMH の毎時データを用いて調査を行った。ただし、港湾局の地点は弟子待、中城湾港、平良を除き、潮位データの共有化が行われた 2007 年 7 月（三田尻と熊本は 2007 年 8 月）以降のデータを用いた。また、気象庁地点の南大東も観測が開始された 2007 年 4 月以降のデータを用いた。

3. OMH の頻度分布

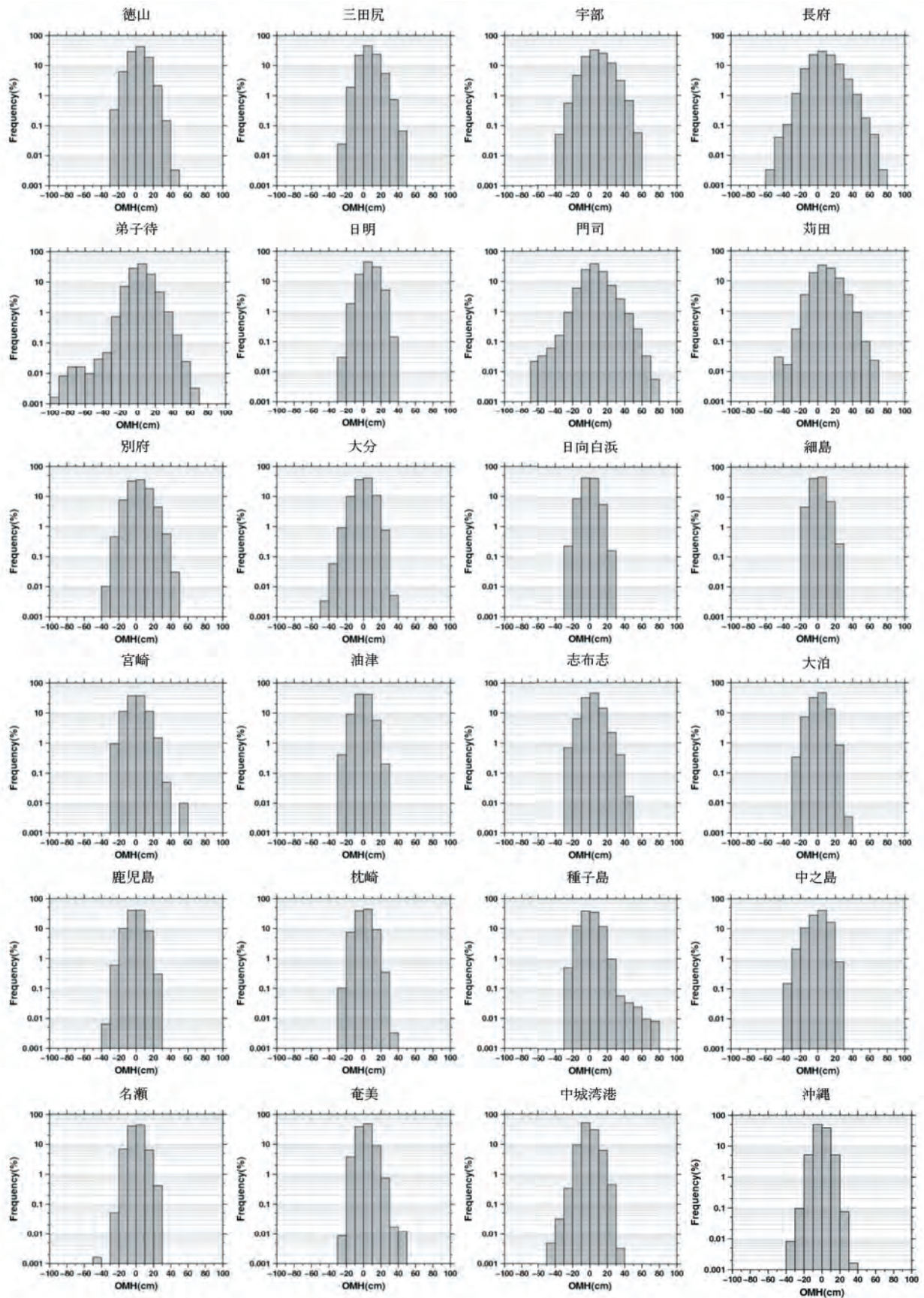
各観測地点の OMH を 10cm 間隔に区切り、その区間に含まれるデータ数の頻度 (%) を対数軸

で表示したものを第 2 図に示す。また、各観測地点について、OMH が $\pm 20\text{cm}$ 以内の割合と OMH の標準偏差を第 1 表に示す。第 1 表から全データの 95% 以上が $\pm 20\text{cm}$ 以内に収まっている地点が大半を占めていることがわかる。そうでない地点は、ほとんどが関門海峡・周防灘（三田尻、宇部、長府、弟子待、日明、門司、苅田）と有明海・八代海（大牟田、大浦、熊本、八代）といった内海に集中している。

第 3 図は、関門海峡・周防灘沿岸に位置する宇部、長府、苅田について、それぞれの OMH の大



第 1 図 九州・沖縄海域における調査地点の位置 (●: 気象庁, ▼: 海上保安庁, ■: 国土地理院, ◆: 港湾局, ★: 自治体等)



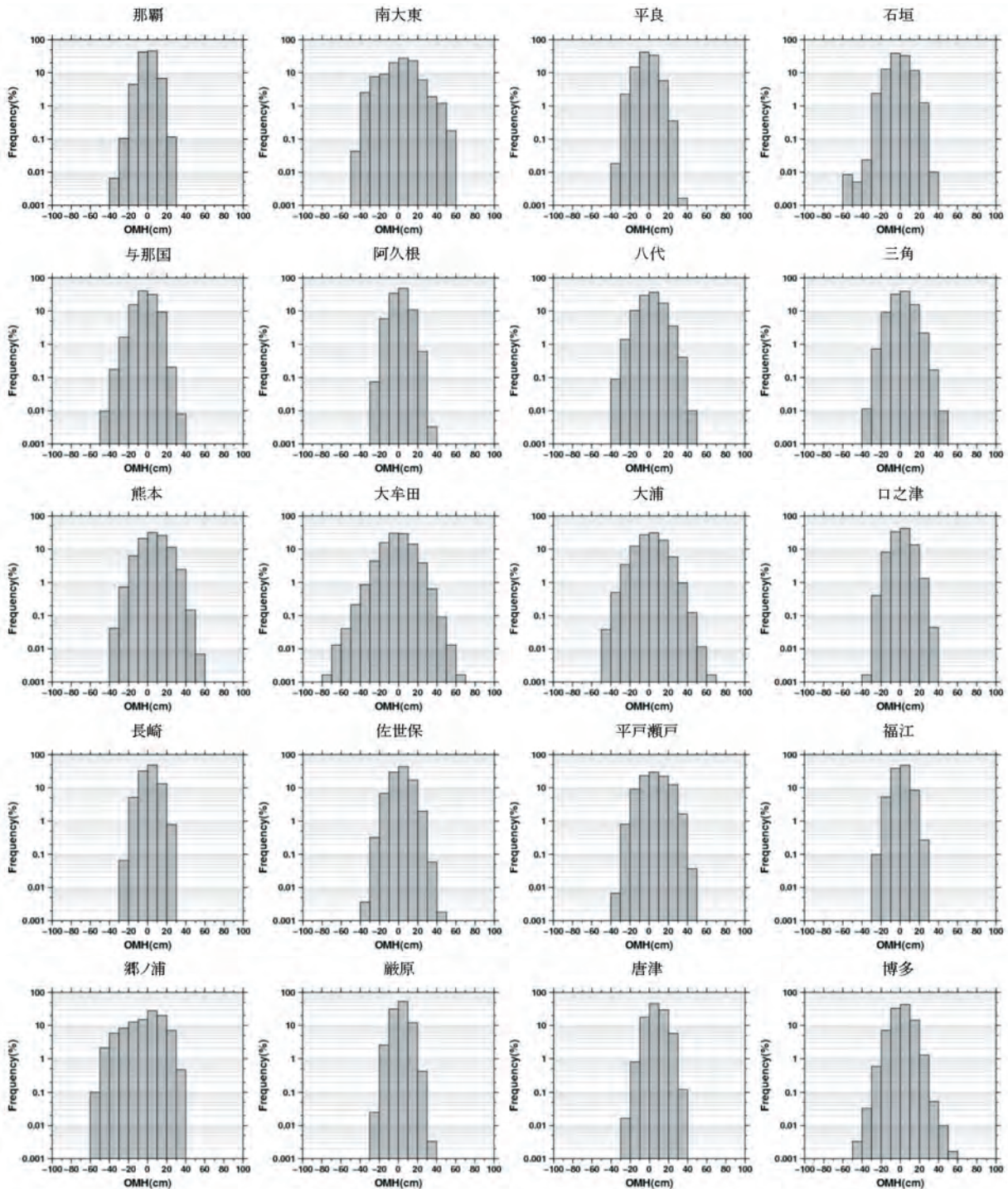
第2図 九州・沖縄海域における潮位観測地点のハインドキャスト誤差 (OMH: 潮位偏差の観測値-高潮モデルハインドキャスト) [cm] のヒストグラム

各地点の OMH を 10cm 間隔に区切り, その区間に含まれるデータ数の頻度 (%) を対数軸で表示したもの。

きを色で示し、風向・風速別に散布図として表したものである。OMHが正の場合は暖色系で、負の場合は寒色系で表す。第3図で西～北西の離岸風が吹いたときにOMHが正になるのは高潮モデルが負偏差を過大に評価するからである。一方、東～南東の向岸風が吹いたときにOMHが負にな

るのは、高潮モデルが正偏差を過大に評価するからである（一例として、長府の西～北西風が吹いた2010年1月20日～22日と東～南東風が吹いた同年6月24日～26日の事例を第4図に示す）。

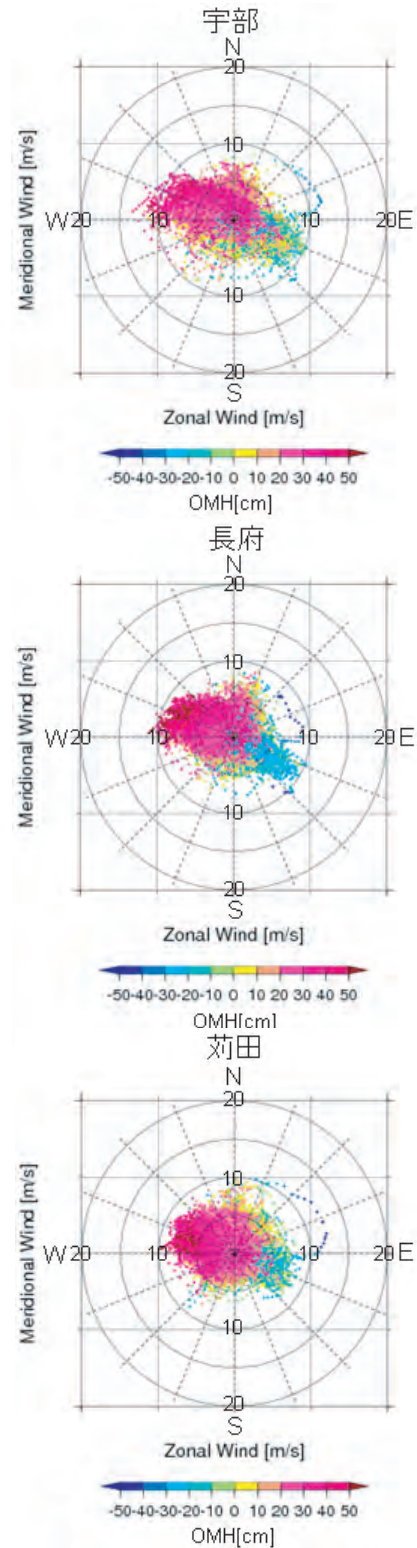
第3図から、風速が10m/s以下のときにOMHが過大になる頻度が多いことがわかる。特に冬場



第2図 つづき

第1表 各観測地点におけるハインドキャスト誤差 (OMH) が±20cm 以内の割合及び標準偏差

地点	OMHが±20cm 以内の割合(%)	標準偏差 σ (cm)
徳山	97.4	8.6
三田尻	93.6	5.3
宇部	83.6	7.4
長府	82.8	9.9
弟子待	93.2	10.4
日明	94.6	6.7
門司	87.8	7.2
苅田	82.6	9.4
別府	94.4	7.0
大分	98.3	8.3
日向白浜	99.6	6.9
細島	99.7	4.7
宮崎	97.5	6.2
油津	99.4	7.1
志布志	96.7	6.2
大泊	98.7	11.3
鹿児島	99.1	7.6
枕崎	99.5	7.2
種子島	98.4	8.8
中之島	96.9	9.4
名瀬	99.5	6.7
奄美	99.2	6.7
中城湾港	99.2	7.2
沖縄	99.8	6.3
那覇	99.8	6.5
南大東	80.5	11.4
平良	97.4	8.3
石垣	96.3	9.3
与那国	98.0	8.8
阿久根	99.3	7.2
八代	94.6	7.2
三角	96.9	9.1
熊本	85.1	8.8
大牟田	89.8	12.4
大浦	89.1	12.3
口之津	98.2	8.3
長崎	99.1	7.3
福江	99.6	6.7
佐世保	97.6	8.5
平戸瀬戸	85.0	9.0
唐津	94.1	6.6
博多	98.0	8.3
郷ノ浦	75.9	12.0
厳原	99.6	6.5



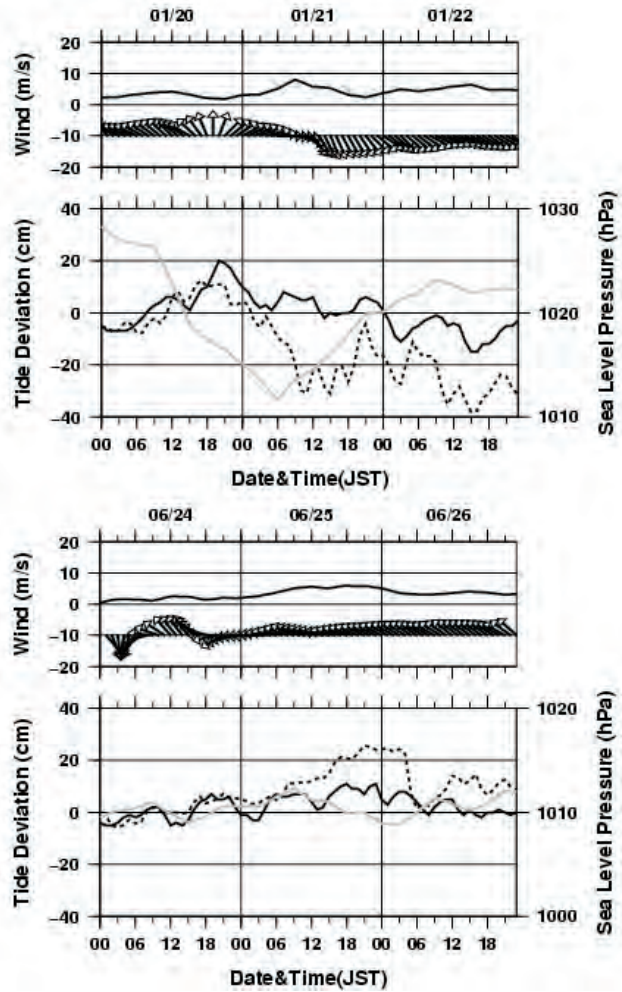
第3図 関門海峡・周防灘沿岸の潮位観測地点 (宇部, 長府, 苅田) の風向・風速別のハインドキャスト誤差 (OMH) 散布図

ある風速 (円の中心からの距離), 風向 (円の中心からの方位) における OMH の大きさをカラープロットした図で, OMH が正の場合は暖色系, 負の場合は寒色系となる.

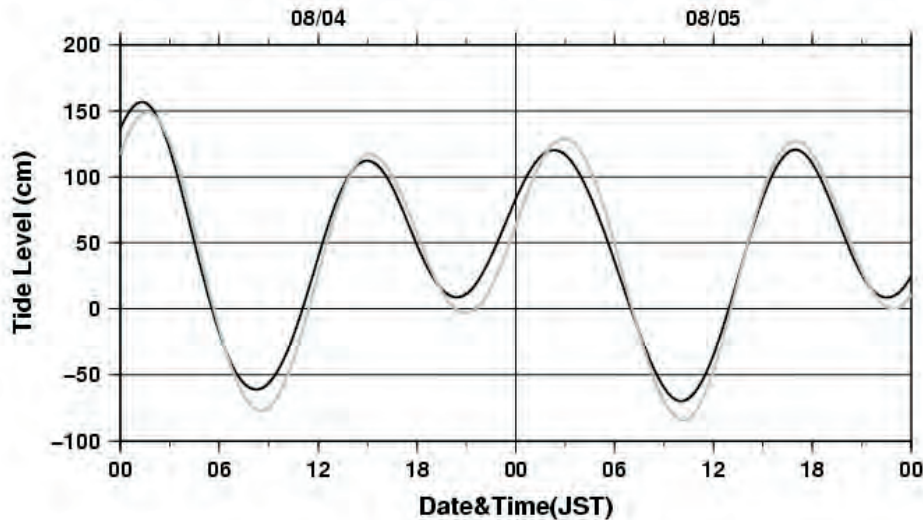
の北西風のときはこのような傾向にあり，これを高潮モデルの特性として把握し，日々の「潮位に関する地方解説資料」の中で高潮ガイダンスの補正について解説している。

有明海・八代海の場合，広大な干潟を持ち，水深の浅い海域が広がっていることにより，他の海域に比べ浅海潮の分潮が卓越しているため，浅海潮が考慮されていない天文潮位と観測潮位の間で位相のずれが生じやすいことが OMH の標準偏差が大きい原因として考えられる(第5図)．加えて，関門海峡・周防灘ほど顕著ではないが，高潮モデルの特性で南よりの風（向岸風）のときに正偏差を過大評価し，一方，北よりの風（離岸風）のときに負偏差を過大評価する傾向もある。

関門海峡・周防灘や有明海・八代海以外の地点においても有明海・八代海同様，天文潮位の精度が影響して OMH の標準偏差が大きくなっていると考えられる地点がある．南大東は，天文潮位の算出に用いた観測値の期間が短く，当時の天文潮位に長周期の分潮が組込まれていなかったことが原因と考えられる．唐津，平戸瀬戸，郷ノ浦は天文潮位の算出に用いた観測値の期間が古い（唐津は1982年），若しくは新しくても1年（平戸瀬戸と郷ノ浦は2006年）しか用いていないことが原因と考えられる．気象庁の観測地点のほとんどで1996年～2005年（当時）の10年分の観測値を天文潮位の算出に用いていることを考慮すると，これらの地点は天文潮位の精度が劣るといえる。



第4図 長府における MSM の風向・風速（図上段）と海面気圧（図下段の灰色実線）の解析値，高潮モデルハインドキャスト（図下段の黒色点線）及び潮位偏差の観測値（図下段の黒色実線）
上図が西～北西風の例(2010年1月20日～22日)で，
下図が東～南東風の例（2010年6月24日～26日）



第5図 2010年8月4日～5日における大浦の観測潮位（黒色）と天文潮位（灰色）

4. 顕著な「はずれ」事例の抽出

前節では、地点別に OMH の傾向を調べ、特徴的な頻度分布をもつ地点についてその発現条件や原因を述べた。これらは高潮モデルの特性であり高潮ガイダンス使用時の留意事項でもある。

本節では、OMH が大きくなる事例そのものに焦点をあて、高潮防災上好ましくない、OMH が正の事例、つまりモデルの予測値より観測値が大きかった事例についてその特徴及び原因を調査した。顕著な「はずれ」事例のしきい値として、各地点の OMH の標準偏差 (σ) に対して (第 1 表)、ほとんどの地点で事例数が 1% 以下となるようにその 3 倍 (3σ) を設定した。しきい値を 3σ に設定しても 1% 以下とならない地点の大半は高潮モデルが潮位偏差を過大評価しやすい関門海峡・周防灘である。それらの事例の中で、台風の接近・通過が要因であるものを第 2 表に、海況要因であるものを第 3 表に示す。台風要因については、天気図や風、気圧等のデータから判別し、OMH が

しきい値を超えてから下回るまでの一連の期間を発生期間とした。一方、海況要因の判別については、近隣の複数地点で OMH がしきい値を超えていることと、気象庁ホームページに掲載している海洋の健康診断表の「日本沿岸の月平均潮位の変動」で、該当地点を含む沿岸域の月平均潮位が海況要因によって平年より高いことが確認された場合とした。ただし、近隣に潮位観測地点が無い海域では、OMH がしきい値を超えている地点が 1 地点のみであっても、月平均潮位が海況要因によって平年より高いこと、若しくは「月平均表層水温の偏差」で海面～水深 740m の月平均表層水温が平年より高いことが確認されれば海況要因とした。また、一般に海況要因による現象は気象要因に比べて継続期間が長いため、当然ながら、継続期間中に海況要因とは異なる短周期の変動が加わる。それにより、この期間の全ての OMH がしきい値を超えているわけではないため、該当する全ての地点のうち、どこか 1 地点が現象の始まりを

第 2 表 台風要因の顕著な「はずれ」事例

表中のゴシック体はハインドキャスト誤差 (OMH) の最大値が 50cm 以上の地点を表す。

発生期間	発生地点	発生原因
2004/8/27 ~8/31	徳山, 大分, 日向白浜 油津, 枕崎, 大泊 種子島 , 名瀬, 阿久根 三角, 口之津, 佐世保 博多	台風0416号
2004/8/24	与那国	台風0417号
2004/9/4 ~9/7	鹿児島, 枕崎 中城湾港, 沖縄 阿久根, 三角, 大牟田 佐世保, 博多	台風0418号
2004/10/19 ~10/20	徳山, 種子島 , 沖縄	台風0423号
2005/9/4 ~9/6	鹿児島, 種子島 , 奄美 中城湾港, 沖縄 阿久根, 大牟田 佐世保, 博多	台風0514号
2006/9/17	枕崎, 博多, 巖原	台風0613号
2007/7/14	八代	台風0704号
2007/8/2	宮崎	台風0705号
2007/10/6	石垣	台風0715号

観測した日から全地点で現象の終わりが確認された日までを発生期間とした。

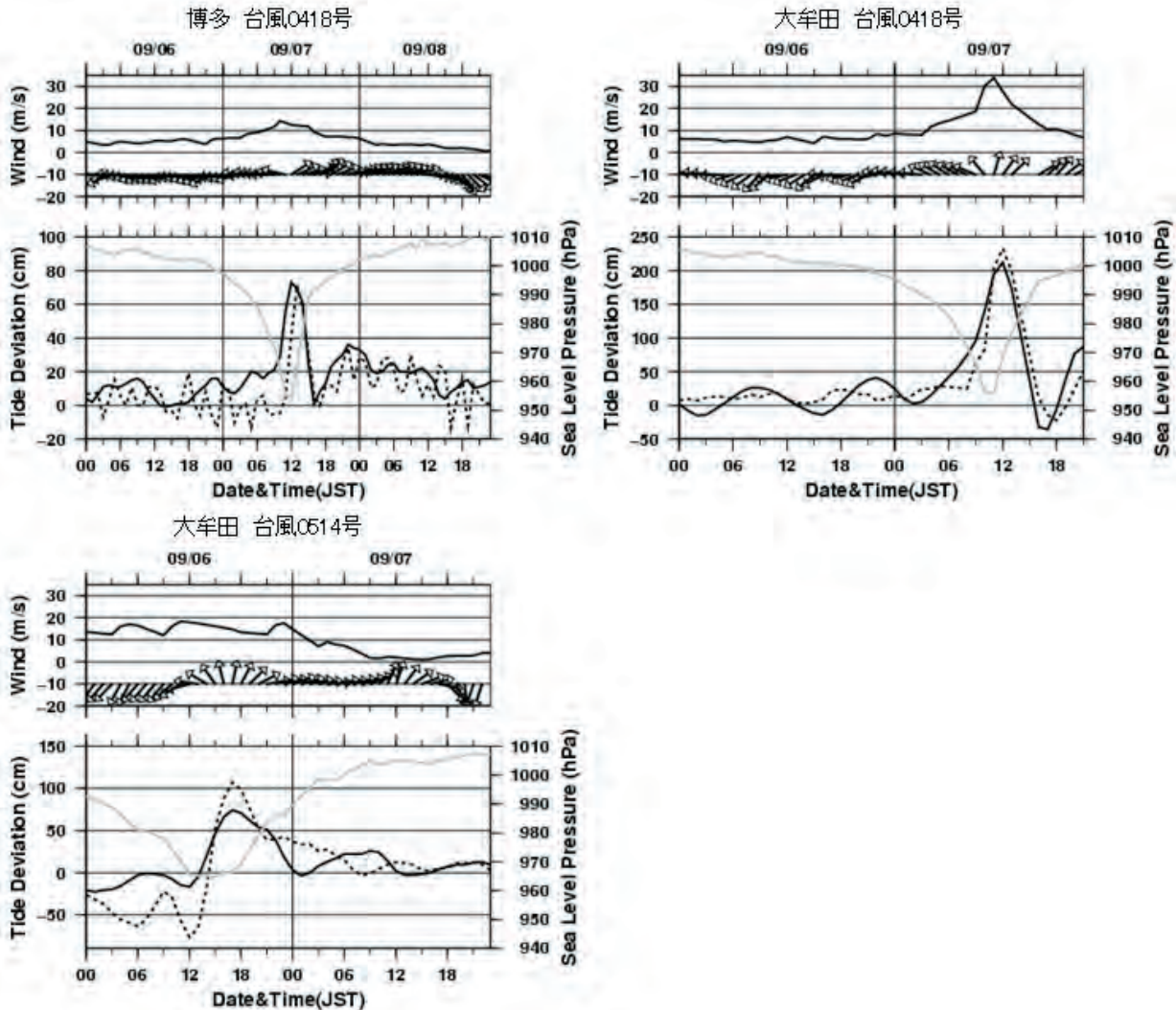
4.1 台風要因の顕著な「はずれ」事例

台風要因の顕著な「はずれ」事例の中で OMH が 50cm を超えた地点は博多、大牟田、種子島、宮崎のみで全部で 7 事例あった。それらの事例について、潮位偏差の観測値、高潮モデルのハインドキャスト及び MSM の海面気圧、風向・風速の解析値（データはいずれも 1 時間値）の台風接近前後における時系列図を第 6 図と第 7 図に示す。

第 6 図に、博多の 2004 年台風第 18 号（以下、台風 0418 号と記し、他の台風も同様に記す）の事例と大牟田の台風 0418 号及び台風 0514 号の事

例を示す。大牟田と博多の台風 0418 号通過時の事例で OMH が最大となったのは、それぞれ 9 月 7 日の 10 時と 11 時で、ハインドキャストに比べて観測値の上昇が早かったためである。また、大牟田の台風 0514 号の事例で OMH が最大となったのは、台風通過前の 9 月 6 日 6 時で、このときの風は北東よりの 15m/s を超える強風であった。大牟田は南北に長い有明海の湾奥に位置し、北東よりの風は離岸風に相当する。OMH が最大となった時刻はこの離岸風によって高潮モデルが負偏差を過大に計算していたことがわかる。

第 7 図に示すとおり、種子島の台風 0416 号、台風 0423 号及び台風 0514 号通過時の事例と宮崎の台風 0705 号通過時の事例は、観測値とハイン

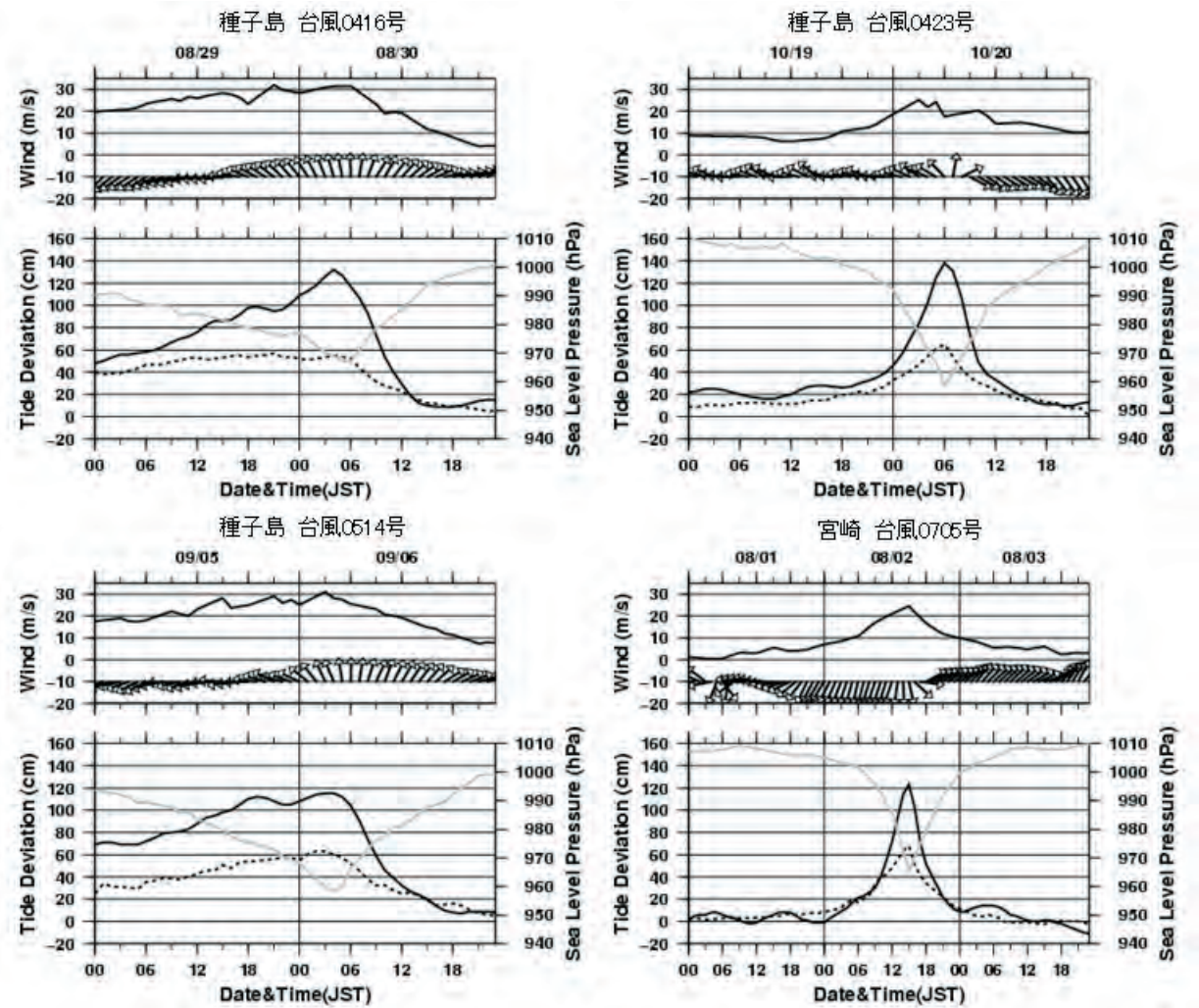


第 6 図 台風通過時における博多と大牟田の MSM の風向・風速(図上段)と海面気圧(図下段の灰色実線)の解析値、高潮モデルハインドキャスト(図下段の黒色点線)及び潮位偏差の観測値(図下段の黒色実線)
(左下: 台風 0418 号通過時の博多, 右上: 台風 0418 号通過時の大牟田, 左下: 台風 0514 号通過時の大牟田)

ドキャストで潮位偏差が最大となる時刻にずれはなく、OMHはその時刻で最大となった。種子島や宮崎では、関門海峡・周防灘や有明海・八代海のような、特定の風向等に対し高潮モデルが過大評価するといった特性もみられない。そのため、別の要因がOMHを大きくしたと考える方が自然である。

これらの事例における台風の経路は、第8図に示すとおり、台風0416号と台風0514号が種子島の西を北上するコース、台風0423号が種子島の東を北東進するコース、台風0705号が宮崎の東を北北西進するコースであり、OMHが最大となったときの種子島での風向は3事例とも南東～南南東で、宮崎での風向は北であった。また第9図

に示す沿岸波浪図を確認すると、種子島の台風0416号、台風0423号、台風0514号の3事例（それぞれ、図中のa：2004年8月29日21時、b：2004年10月20日9時、c：2005年9月5日21時）の全てにおいて、台風の中心付近の波高が12mを超える猛烈なしけであり、宮崎の台風0705号の事例（図中のd：2007年8月2日9時）における中心付近の波高も13mの猛烈なしけであった。種子島や宮崎のように外洋に面する港湾では、波が岸に向かって打ち寄せるとき、水深が浅くなる地形の影響を受けて急速に波高が増大し、破碎後もその水が岸に向かって押し寄せることで水位が増す、波浪による潮位上昇効果（Wave Setup）と呼ばれる現象が発生することが知られている。



第7図 第6図に同じ。ただし種子島と宮崎。

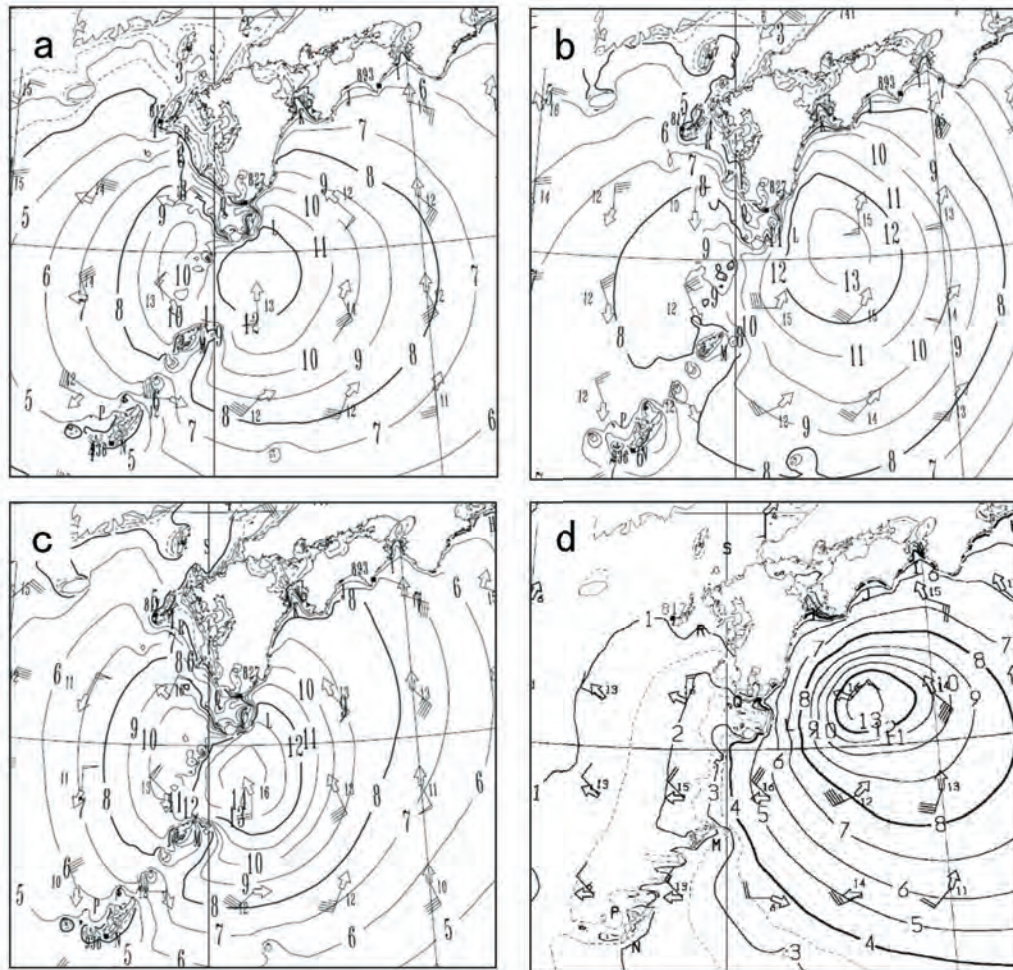
左上：台風0416号通過時の種子島，右上：台風0423号通過時の種子島，左下：台風0514号通過時の種子島，右下：台風0705号通過時の宮崎



第8図 種子島及び宮崎における顕著な「はずれ」事例の時の台風経路図

今回調査した上述の事例では、港湾の立地や潮位観測地点のある沿岸に向かう風と波といった、Wave Setup が起きやすい要因がそろっていた。しかしこの現象は現在の高潮モデルでは表現できない。そのため、これらの事例でOMHが大きくなったのは、この効果によるものと考えられる。

小西(1997)は、高潮モデルの計算式に組み込まれていない Wave Setup の量を算出する実験式を、東京湾に襲来した7個の台風について5つの潮位観測地点の観測値から決定しているが、Wave Setup は海底地形の影響を受けるため、地点ごとに異なることが想定される。種子島や宮崎についても、事例を多く集め、定量的な見積りに向けた取組みを進める必要がある。



第9図 台風接近時の沿岸波浪図

a: 台風0416号接近時の2004年8月29日21時, b: 台風0423号接近時の2004年10月20日9時, c: 台風0514号接近時の2005年9月5日21時, d: 台風0705号接近時の2007年8月2日9時

4.2 海況要因の顕著な「はずれ」事例

第3表に示すとおり、海況要因の顕著な「はずれ」事例は、暖水渦の接近によるものと、それ以外の表層水温の上昇によるものに分けられた。2006年10月～11月の沖縄本島地方の事例及び2007年3月～4月の九州西岸での事例、2009年11月～12月及び2010年10月～12月の九州全域での事例は、「日本沿岸の月平均潮位の変動」にあるように、その沿岸域で共通して平年よりも月平均潮位と表層水温が高くなっていた。また、「日本沿岸の月平均潮位の変動」で当時は診断されていない大東島地方の2007年10月～12月の事例も「月平均表層水温の偏差」によるとその沿岸域で表層水温が高くなっていた。奄美地方及び沖縄地方では暖水渦による事例が多く、2008年5月～7月の石垣の事例では、暖水渦による異常潮位が夏の大潮時期とも重なり、先島諸島では浸水被害も発生した。この事例について北西太平洋海洋データ同化システム(MOVE/MRI.COM-WNP, 以下MOVE)による海面高度偏差や200m深水温及び400m深水温の再解析値を用いてOMHとの関係を考察した。

4.3 暖水渦の海面高度偏差とOMHの関係

第10図は、先島諸島に暖水渦が接近した2008年5月末から8月末頃にかけてのMOVEによる海面高度偏差図及び400m深水温図(8月26日のみ200m深水温図)と石垣及び平良のOMHの時系列図を示した図である。第10図より水深400mの深いところまで暖水渦が明瞭であることが確認できる。図中の星印は石垣と平良の位置を示したもので、図中の同じ番号は同じ日付を指している。第10図の海面高度偏差と400m深水温から、暖水渦が期間を通してほぼ同じ位置にあることが確認された。OMHの時系列からは、暖水渦が先島諸島に接近している期間中、平良と石垣のOMHが常に大きいわけではないことが分かった。このことから、第10図で暖水渦がだ円形の形状をしていることに着目し、その長軸と短軸の向きとOMHの関係を調べた。その結果、だ円形の長軸が石垣島にかかった6月2日に石垣のOMHが大きくなり、長軸が石垣島からそれて宮古島にかか

った6月7日に石垣のOMHが小さくなり、平良のOMHが大きくなることが分かった。長軸が時計回りに半回転して、再び石垣島にかかり始めた7月12日には石垣のOMHが再び大きくなった。その後、暖水渦が南下したため、石垣も平良も共にOMHが小さくなったが、南下した暖水渦が黒潮に接した際に暖水渦の一部が吸収され、黒潮流

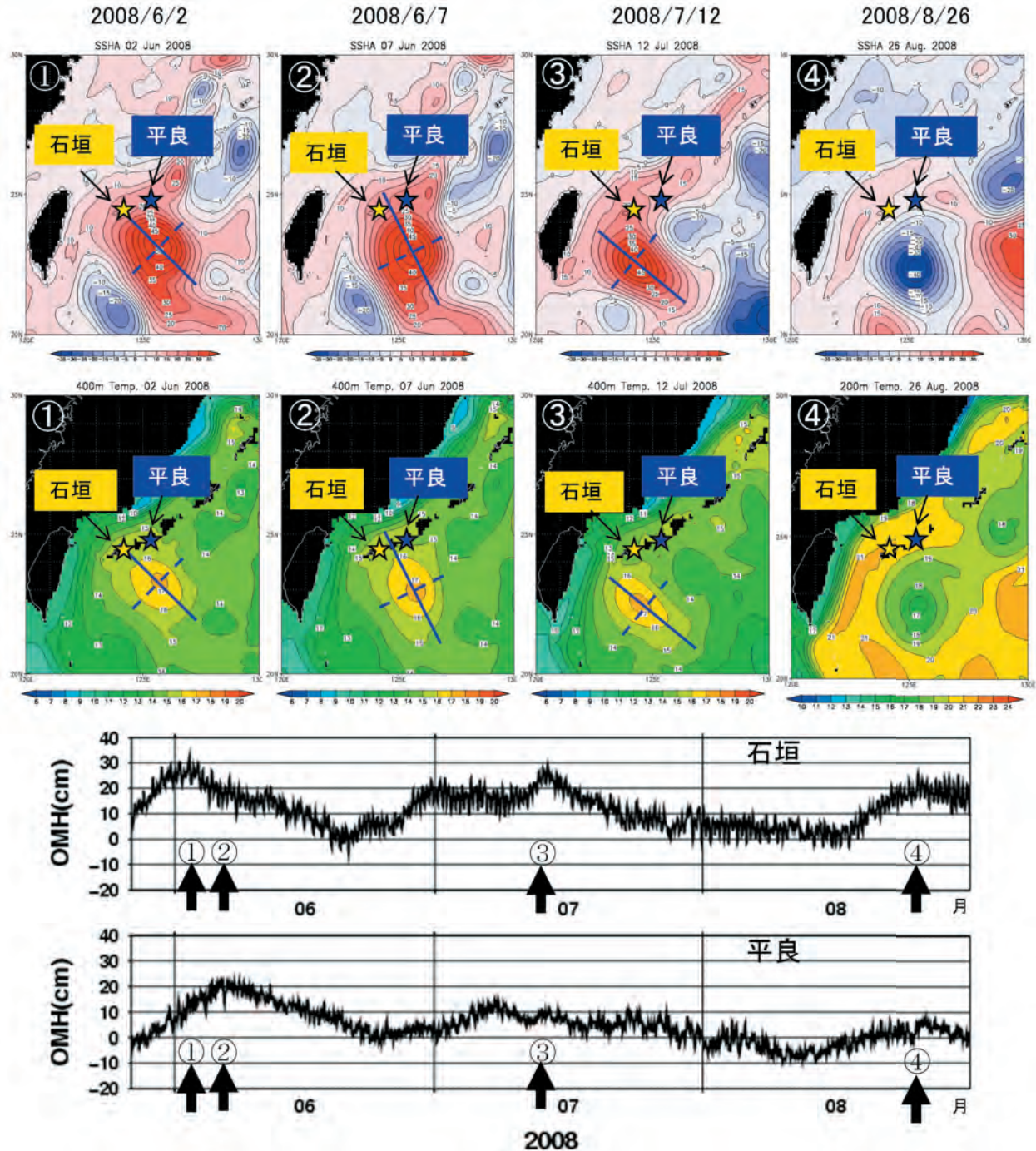
第3表 海況要因による顕著な「はずれ」事例

発生期間	発生地点	発生原因
2006/6/29～7/30	奄美, 名瀬	暖水渦
2006/10/11～11/1	那覇, 中城湾港, 沖縄	表層水温が高い(暖水渦以外)
2006/10/29～11/19	奄美, 名瀬	暖水渦, 黒潮
2007/3/1～4/3	鹿児島, 枕崎, 種子島 阿久根, 三角, 大牟田 大浦, 口之津, 長崎 福江, 佐世保, 博多 厳原	表層水温が高い(暖水渦以外)
2007/8/20～10/12	那覇, 中城湾港, 沖縄	暖水渦
2007/9/01～9/9	奄美, 名瀬	暖水渦
2007/10/20～12/4	南大東	表層水温が高い(暖水渦以外)
2008/5/30～7/14	石垣	暖水渦
2009/11/21～12/23	徳山, 三田尻, 宇部 長府, 弟子待, 日明 門司, 苅田, 大分 日向白浜, 細島, 宮崎 油津, 枕崎, 志布志 阿久根, 八代, 熊本 大浦, 口之津, 長崎 福江, 佐世保, 唐津 厳原	表層水温が高い(暖水渦以外)
2010/10/25～12/4	徳山, 三田尻, 宇部 長府, 弟子待, 日明 門司, 苅田, 別府 大分, 日向白浜, 細島 宮崎, 油津, 鹿児島 枕崎, 志布志, 種子島 阿久根, 八代, 三角 熊本, 大牟田, 大浦 口之津, 長崎, 福江 佐世保, 平戸瀬戸 唐津, 博多, 厳原	表層水温が高い(暖水渦以外)

路に沿って北上した後の8月26日には、石垣のOMHが再び大きくなった。黒潮は200m深程度までしか見えないことから、200m深水温図(第10図④)を確認したところ、黒潮流に沿う筋状

の高温域が見られ、海面高度偏差図でも同じ場所で通常より偏差が大きいことが根拠として示されている。

また、他の4つの暖水渦の事例については被



第10図 2008年6月から8月の先島諸島への暖水渦接近時におけるMOVEによる海面高度偏差図(上段)及び400m深水温図(④は200m深水温図)(中段)と石垣及び平良のハインドキャスト誤差(OMH)(下段)の関係

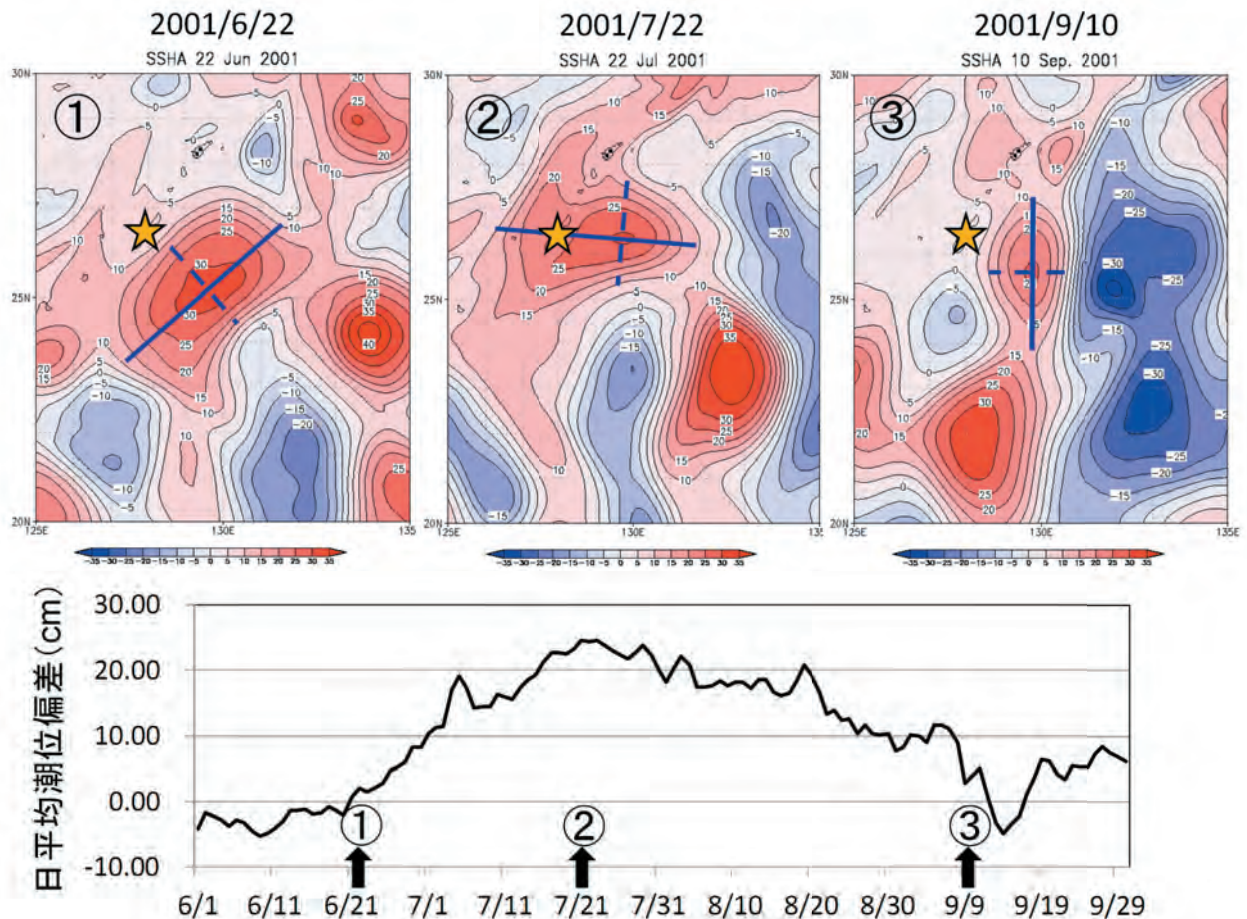
上段・中段には石垣と平良の位置を★でそれぞれ示し、暖水渦の長軸を実線、短軸を破線で示した。上段・中段・下段に共に記した番号の日付は同じ日付を示す。

害が報告されていないことから、今回の調査の対象期間外ではあるが、社会的に最も影響を及ぼした暖水渦の事例として、2001年の沖縄本島の異常潮位についても同様の調査を試みた。ただし、2004年以前は高潮モデルのハインドキャストデータが無いため、OMHの代わりに気圧補正を行った後の那覇の日平均潮位偏差を用いてMOVEの海面高度偏差との関係を調査した。気圧補正を行ったのは、MOVEでは考慮されていない、気圧による潮位偏差の影響を取除き、海況による潮位変化を抽出したうえで考察するためである。第11図に沖縄本島地方に暖水渦が接近した2001年6月～9月における海面高度偏差と気圧補正した那覇の日平均潮位偏差の時系列図を示す。図中の星印は那覇の位置を示したもので、第10図と同

様、暖水渦の長軸を実線、短軸を破線で図上に示し、図中の同じ番号は同じ日付を指している。2008年の先島諸島での事例と同様、暖水渦の形状はやはりだ円形であり、暖水渦が接近している期間は那覇の日平均潮位偏差が常に高いわけではなく、暖水渦の長軸が沖縄本島を向いたときに高くなるのが分かり、形状による暖水域の広がり方にも注視する必要性が確認された。

5. まとめ

高潮ガイダンスの顕著な「はずれ」事例をOMHから抽出し、それらの要因を調べたところ、台風要因の事例と海況要因の事例に分けられた。台風要因の事例のうち、OMHが50cmを超えた種子島や宮崎の事例を確認すると、Wave Setupの



第11図 2001年6月から9月の沖縄本島地方への暖水渦接近時におけるMOVEによる海面高度偏差図（上段）と那覇の気圧補正した日平均潮位偏差（下段）の関係

上段には、那覇の位置を★で示し、暖水渦の長軸を実線、短軸を破線で示した。上段と下段に共に記した番号の日付は同じ日付を示す。

成因がそろっていた。ただ、Wave Setupには場所ごとの海底勾配等が効くことから、今回の調査では、これによる高潮ガイダンスの補正值の量的見積りを議論するには至らなかった。これは今後の検討課題である。

海況要因の顕著な「はずれ」事例のうち、奄美地方及び沖縄地方では暖水渦が原因であることが多かった。特に顕著であった2008年の事例や、社会的影響の大きさを鑑み、今回の調査の延長として同様の考察を試みた2001年の暖水渦による事例では、だ円形状の暖水渦の長軸が島にかかっているときにOMHが大きくなることが分かり、暖水渦接近時には、沿岸との距離だけでなくその形状の推移にも注視する必要性が確認された。

参 考 文 献

岡田良平 (2001) : 高潮数値予測モデルの事例検証—九州および山口県における事例について—, 測候時報, 68, 特別号, S113-S125.

気象庁地球環境・海洋部 (2005) : 日本沿岸の月平均潮位の変動 (http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/c_1/sl_monthly/sl_monthly.html, 2013年1月21日参照)

気象庁地球環境・海洋部 (2005) : 月平均表層水温の偏差 (<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/stemp/>, 2013年1月21日参照)

小西達男 (1997) : 外洋に面した港湾で発生する高潮の成因について, 海と空, 73, 第2号, 35-44.

志賀達・市川真人・楠元健一・鈴木博樹 (2007) : 九州から薩南諸島で発生する潮位の副振動の統計的調査, 測候時報, 74, 特別号, S140-S162.

高佐重夫・近澤昌寿・森裕之 (2010) : 面的天文潮位の予測手法とその精度, 測候時報, 78, 特別号, S33-S42.

安田秀一 (2004) : 有明海北部海域における夏季洪水期の物理的環境と溶存酸素の変動, 海岸工学論文集, 51, 土木学会, 911-915