
 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」

関東海域における高潮数値予測モデルの特性及び高潮の地域特性

高橋 正臣 *1・大久保 沙貴 *2・橋口 祥治 *3・五十嵐 陽子 *4

要 旨

観測による潮位偏差データと高潮数値予測モデルより得られたハインドキャストデータの差 (OMH) を指標として関東海域を対象とした高潮数値予測モデルの特性調査を行った。また、この差が著しく大きかった、いわゆる顕著事例について、その要因を海水温のみの変動及び波浪効果の観点から考察した。調査の結果、東京湾沿岸や伊豆諸島、小笠原諸島では卓越風向の違いや海水温の変動が OMH の出現頻度に影響を与え、高潮数値予測モデルの再現精度の低下をもたらすことが示唆された。海水温の変動に起因すると思われる顕著事例を対象に北西太平洋海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM-WNP) より解析された海面高度偏差と OMH の相関について調べたところ、多くの顕著事例でおおむね 0.7 を超える強い相関がみられた。また、解析された海面高度偏差を用いることによって OMH の出現頻度がどのように変化するかを調べたところ、北部を除いた関東沿岸の OMH については、MOVE/MRI.COM-WNP の解析結果を用いて海洋の影響を軽減できる可能性があることが示唆された。2009 年の台風第 18 号の接近によって布良における OMH が著しく大きくなった要因は波浪効果の可能性が高かった。同様の事例調査を行ったところ、伊豆諸島や房総半島沿岸において波浪効果に起因すると考えられる顕著事例が多いことが確認された。

1. はじめに

近年、高潮や波浪等の海洋に関する気象災害が頻発している。例えば、2004 年 8 月には台風第 16 号の接近と潮位の最も高い夏季の大潮期間の満潮が重なったことから、瀬戸内海沿岸では広範囲にわたって高潮による被害が発生し、香川県では床上浸水約 5,900 棟、床下浸水約 16,000 棟の被害が発生した (香川県防災局, 2006)。また、2008 年 2 月には、発達した低気圧によってもたらされた「寄り回り波」と呼ばれる富山湾特有のうねり性の高波によって新潟県や富山県等で被災

し、富山県黒部市や入善町では約 340 戸が浸水し、下新川海岸では海岸堤防の陥没、消波ブロックや護岸ブロックの流出・散乱といった被害が発生した (高波災害対策検討委員会, 2008)。最近では、2011 年 9 月に異常潮位によって瀬戸内海沿岸では冠水・浸水被害が発生し、世界遺産である厳島神社 (広島県廿日市市) においても回廊等が冠水する被害を受けている。

このような災害を軽減させるためには沿岸域における的確な防災情報の発表が以前にも増して重要であることから、気象庁海洋気象情報室及び各

*1 地球環境・海洋部海洋気象情報室 (現 環境気象管理官付) *2 地球環境・海洋部海洋気象情報室

*3 地球環境・海洋部海洋気象情報室 (現 環境省) *4 地震火山部地震津波監視課

海洋気象台では高潮及び波浪を対象とした沿岸防災解説資料を地方予報中枢官署に提供し、地方予報中枢官署における予報業務を支援する取り組みを2012年から実施している。

沿岸防災解説資料には潮位や波浪の実況解説、それらの実況値とガイダンスの差の要因及びその補正の考え方等について図表を交えて記述されているが、沿岸防災情報のさらなる高度化のためには、沿岸防災解説資料の基礎資料となる潮位及び波浪の数値予測の精度向上や数値予測モデルの特性について理解を深めるだけでなく、日本周辺海域及び沿岸域における高潮や波浪の地域特性について調査し、得られた知見や技術を沿岸防災情報に活用することが重要である。例えば高潮については、比屋定ほか(2011)によって長期間蓄積された過去の潮位観測データの再解析が行われており、この解析で得られた均質なデータセットを用いて日本沿岸域において発生した高潮の発生時期や頻度等の地域特性について調査されている。2008年3月より気象庁地球環境・海洋部において現業運用されている北西太平洋海洋データ同化システム(以下「MOVE/MRI.COM-WNP」と記す)では、数値海洋モデルから得られた第一推定値に船舶やアルゴフロート等によって得られた表層水温や塩分の観測データと、人工衛星によって得られた海面高度の観測データを同化させて客観解析を行っている(石崎ら, 2009)が、田中ほか(2010)はMOVE/MRI.COM-WNPで解析された海面高度偏差と南西諸島の各検潮所の潮位偏差のラグ相関を用いて各検潮所の潮位と暖水渦の移動についての関係を調査し、暖水渦に起因する異常潮位に関する潮位情報への活用について検討している。一方、波浪についても、吉田ほか(2012)によって日本周辺海域における沿岸波浪モデルの予測誤差やその季節変化等の特性を把握することを目的として、有義波高予測値の統計的検証が行われている。また、竹内ほか(2012)によってモデルの予測誤差が大きい事例を対象とした日本周辺海域における波浪特性に関する調査が行われ、誤差要因の解析結果とそれをもとにした解説資料作成時の留意点について報告されている。

ここでは、高潮を対象とした沿岸防災に関する

情報の高度化を目的として、気象庁海洋気象情報室において解説を担当している関東・伊豆諸島・小笠原諸島(以下「関東海域」と記す)を対象に、高潮数値予測モデル(以下「高潮モデル」と記す)の特性調査を行った。調査は2006年～2010年に観測された潮位偏差データと高潮モデルより得られたハインドキャストデータの差(以下「OMH(Observed storm surge Minus Hindcast)」と記す)を用いて行い、OMHが各地でどのような値や頻度の分布をしているか把握することで、高潮モデルの再現性についての地域的な特性を明らかにするとともに、OMHが大きい場合の要因を、海洋要因及び波浪効果との関連から調査・考察したので報告する。

2. 統計調査及び高潮の地域特性

2.1 データ並びに統計調査の方法

この調査では、関東海域の潮位観測地点(第1図)で観測された潮位データを平滑化して得られた毎時潮位偏差データと、高潮モデルより得られた毎時潮位偏差のハインドキャストデータを用いた。ここで、ハインドキャストデータとは風や気圧の実況解析値を用いて行ったシミュレーションの計算結果である。各地点の調査期間については、高潮モデルの外力として用いる気象庁のメソ数値予報モデル(以下「MSM」と記す)が高解像度化された2006年3月以降のデータを調査対象とし、鹿島についてはデータが利用可能となった2007年7月～2010年12月、その他の地点については2006年3月～2010年12月とした。高潮モデルは、台風時にはMSMに加え、熱帯低気圧情報をもとに作成した台風周辺の風・気圧場(台風ボーガス)を外力に用いた予測計算も行う(林原, 2011)が、ハインドキャストデータはMSMに限られるため、この調査では台風ボーガスによる毎時潮位偏差データを用いていない。また、高潮モデルの計算結果には湾や海峡等の陸域に囲まれた特定の地点において、周期数10分程度の潮位変動がみられる場合があるが、関東海域各地点のハインドキャストデータではみられなかったことから、ハインドキャストデータに対してこの現象を考慮した処理を施していない。

この調査では、潮位観測地点ごとにOMHを計算し、その値と出現頻度を求めることで、各地点における高潮モデルの再現性について評価した。

また、各地点においてOMHの絶対値が著しく過大な事例を抽出し、その要因を大別することで、関東海域における高潮の地域特性を考察した。



第1図 本調査の対象とした潮位観測地点
[]内は各潮位観測所の所属機関(本文中では略す)。

2.2 統計調査の結果

各潮位観測地点におけるOMHのヒストグラムを第2図に、ヒストグラムの特徴を第1表にそれぞれ示す。この結果から関東沿岸、伊豆諸島及び小笠原諸島の地域特性について、以下のことが示唆された。

2.2.1 関東沿岸

島しょ部を除いた関東沿岸の各潮位観測地点において、全サンプルに対するOMHが±10cm以内となる割合は75～95%程度であった。その内訳をみると、鹿島や銚子漁港といった北部に位置する地点については90%以上であり、高潮モデルと観測データの対応は非常に良い。一方、千葉や東京、横浜といった東京湾沿岸に位置する地点では75%程度であり、北部と比較するとやや劣る。歪度に注目すると、鹿島や銚子漁港の歪度は-0.2～+0.2である一方、千葉や東京、横浜の歪度は+0.5であることから、北部と比較して東京湾沿岸におけるOMHは負の値に偏る傾向があっ

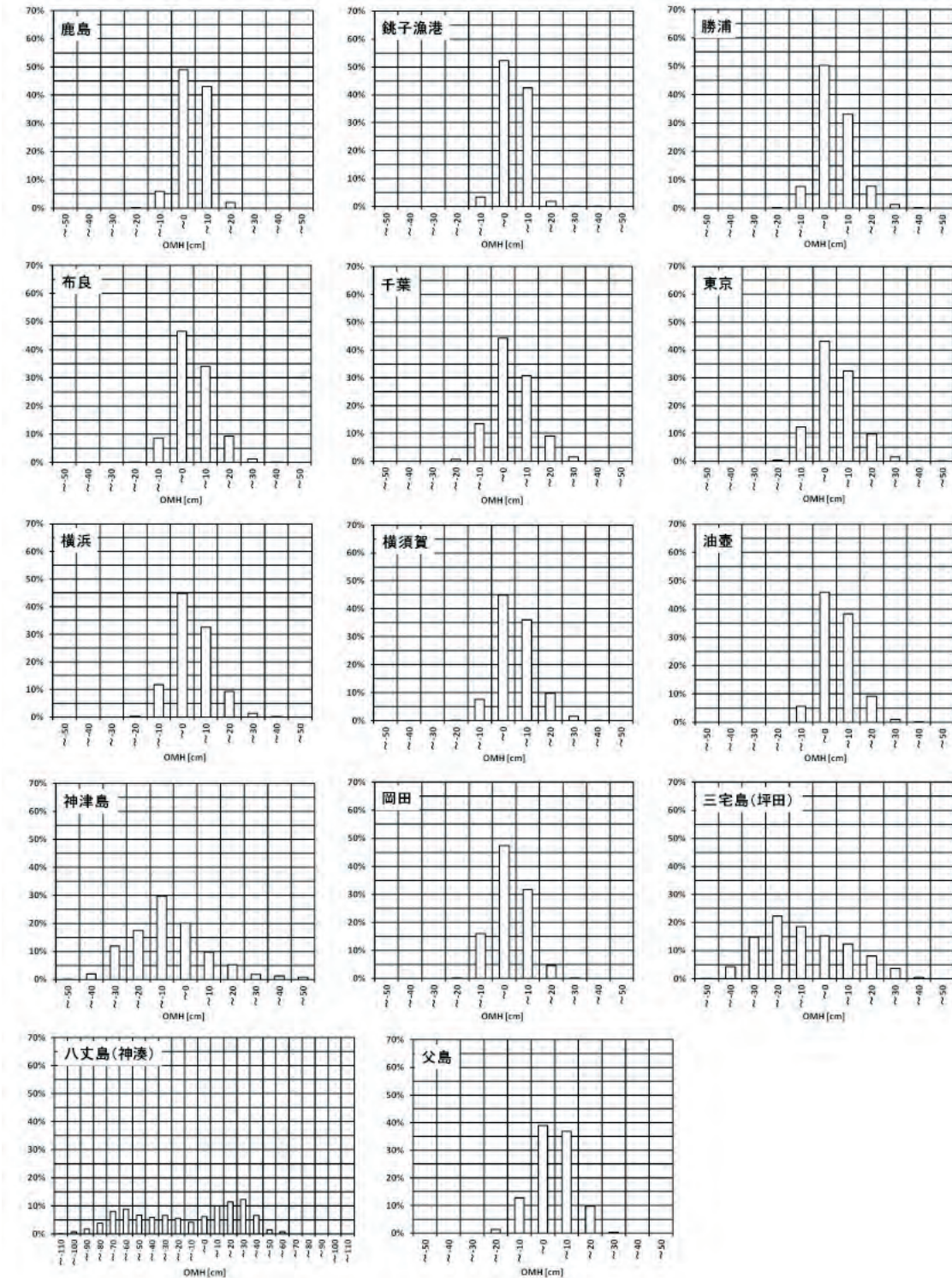
第1表 各潮位観測地点におけるヒストグラムの特徴
OMH：観測値とハインドキャストの差

		平均値 [cm]	標準偏差 [cm]	歪度	全OMHに対して OMHが±10cm以 内となる割合 [%]	OMH下位 0.1% [cm]	OMH上位 0.1% [cm]
関東沿岸	鹿島	-0.9	5.5	-0.2	92.1	-18.1	16.0
	銚子漁港	-0.7	5.1	0.2	94.7	-17.4	20.4
	勝浦	-0.5	7.5	0.7	83.3	-19.0	27.0
	布良	-0.2	7.9	0.6	80.6	-19.6	29.7
	千葉	-1.0	8.8	0.5	75.0	-28.1	32.1
	東京	-0.5	8.8	0.5	75.5	-26.8	33.3
	横浜	-0.6	8.3	0.5	77.3	-26.5	29.6
	横須賀	0.3	7.9	0.6	81.1	-21.7	30.0
	油壺	0.3	7.3	0.6	84.3	-17.8	27.6
伊豆諸島	神津島	-12.5	16.2	0.7	29.8	-48.1	44.5
	岡田	-2.5	7.3	0.3	79.0	-21.7	22.6
	三宅島(坪田)	-13.3	18.0	0.4	27.6	-49.2	43.2
	八丈島(神湊)	-19.7	40.1	-0.2	16.1	-107.9	55.5
小笠原諸島	父島	-0.8	8.4	-0.2	76.0	-27.2	22.1

た。

OMH が±10cm 以内となる割合に北部と東京湾沿岸で差がある理由を考察するため、各地点における卓越風向・風速に着目した。風向・風速にはMSMのデータを用いた。第3図に、鹿島、銚子

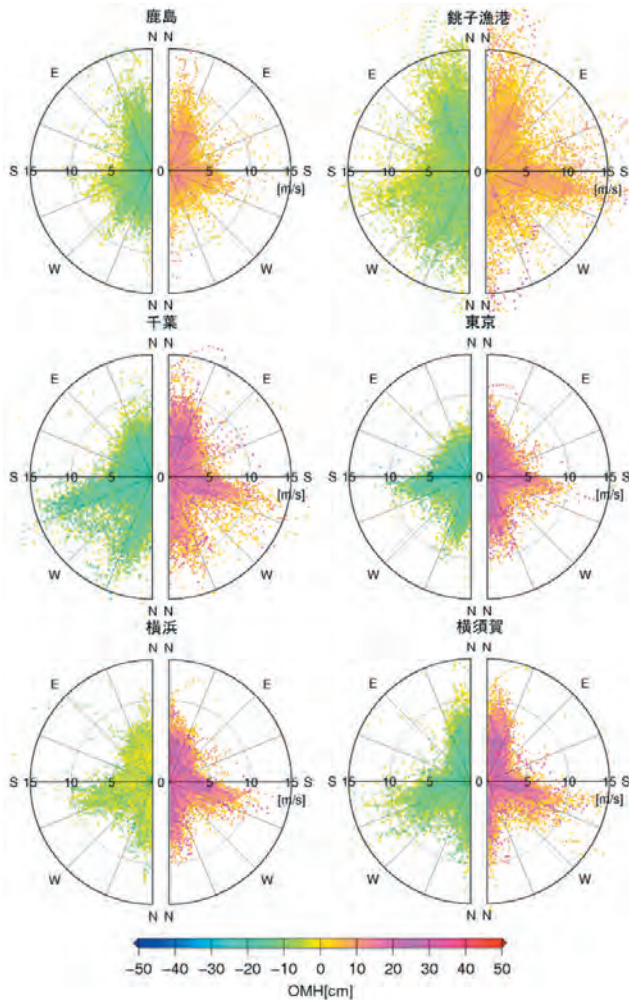
漁港、千葉、東京、横浜、横須賀の各地点において本調査期間を対象とした風向・風速別のOMH散布図を示す。この図において右半円はOMHが正の場合、左半円はOMHが負の場合の風向・風速別の散布図をそれぞれ示している。鹿島や銚子



第2図 各潮位観測地点における観測値とハインドキャストの差 (OMH) のヒストグラム

子漁港では風向・風速の違いに関わらず OMH はおおむね±10cm 以内であるが、千葉、東京、横浜及び横須賀では風向・風速の違いに関係なく OMH の絶対値が 10cm を超える傾向を示している。

第4図に、観測された毎時潮位データ及びハインドキャストデータにハイパスフィルタを適用させて、海洋に由来する長周期成分の潮位変動を除去した値より求めた OMH の風向・風速別散布図を示す。ハイパスフィルタの遮断周期には、下野ほか(2004)が異常潮位の算出の際に用いた 48 時間を適用した。東京湾沿岸に位置する全ての地



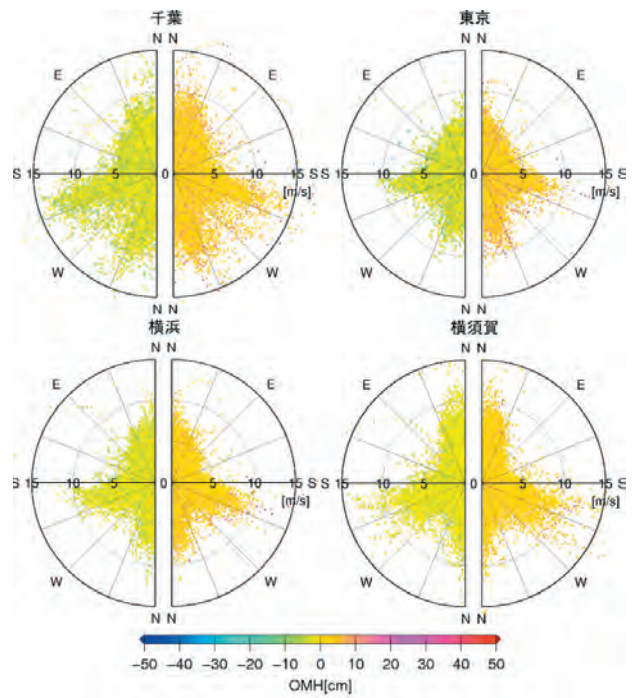
第3図 鹿島、銚子漁港及び東京湾沿岸の潮位観測地点の風向・風速別の観測値とハインドキャストの差 (OMH) の散布図

右半円は OMH が正の場合、左半円は OMH が負の場合の風向・風速別の散布図をそれぞれ示している。図中の数字は風速 [m/s] を示している。

点において OMH は風向・風速に因らずおおむね ±10cm 以内であることから、東京湾沿岸では潮位に及ぼす海洋の影響が大きいことが分かる。また、第4図に示すように、主に北寄りの風 (離岸風) 及び南寄りの風 (向岸風) が卓越する場で OMH の絶対値が大きくなる傾向となった。吹き寄せ効果は水深に反比例することから、水深の浅い東京湾沿岸においてこのような風が卓越している場合、高潮モデルでは潮位を実際よりも過大若しくは過小に見積もっている可能性がある。また、高潮モデルにおいて吹き寄せ効果の計算の際に用いている大気-海面間の抵抗係数は風速に関わらず一定であることから、弱風時においても、高潮モデルは潮位を実際よりも過大若しくは過小に見積もっている可能性がある。

2.2.2 伊豆諸島

三宅島、神津島、八丈島における OMH の標準偏差は他地点と比べて大きくなっており、OMH



第4図 東京湾沿岸の潮位観測地点の風向・風速別の観測値とハインドキャストの差 (OMH) の散布図

OMH は観測された毎時潮位データ及びハインドキャストデータにハイパスフィルタを適用し、長周期成分の潮位変動を除去した値より求めている。

のバラつきが他の地域より大きいことを示している。また、この3地点では、全期間を通してOMHが±10cm以内となる割合が全体の16～30%程度であり、他地点（75～95%）と比べ非常に小さい。各地点のOMH時系列（第5図）にみられるように、これらの地点のOMHは長期間継続してOMHの絶対値が10cmを超過する時期がある。これらの地点は黒潮流路と重なる海域にあり、高潮モデルでは風や気圧以外の要因による潮位変動を表現できないことを考えると、長期間継続してOMHが大きいのは、黒潮流路の変化や冷水・暖水の接近等が要因と考えられる。

一例として、MOVE/MRI.COM-WNPの解析によって得られた2007年9月の関東海域における月平均表層水温偏差分布図を第6図に示す。2007年9月における黒潮の流路は八丈島の南を通る非大蛇行離岸流路であり、三宅島周辺海域における海面から水深100mまでの月平均表層水温及び海面から水深740mまでの月平均表層水温は2002年～2006年の同月の平均と比べて-3～-5℃程度低かった等の理由から、三宅島における2007年

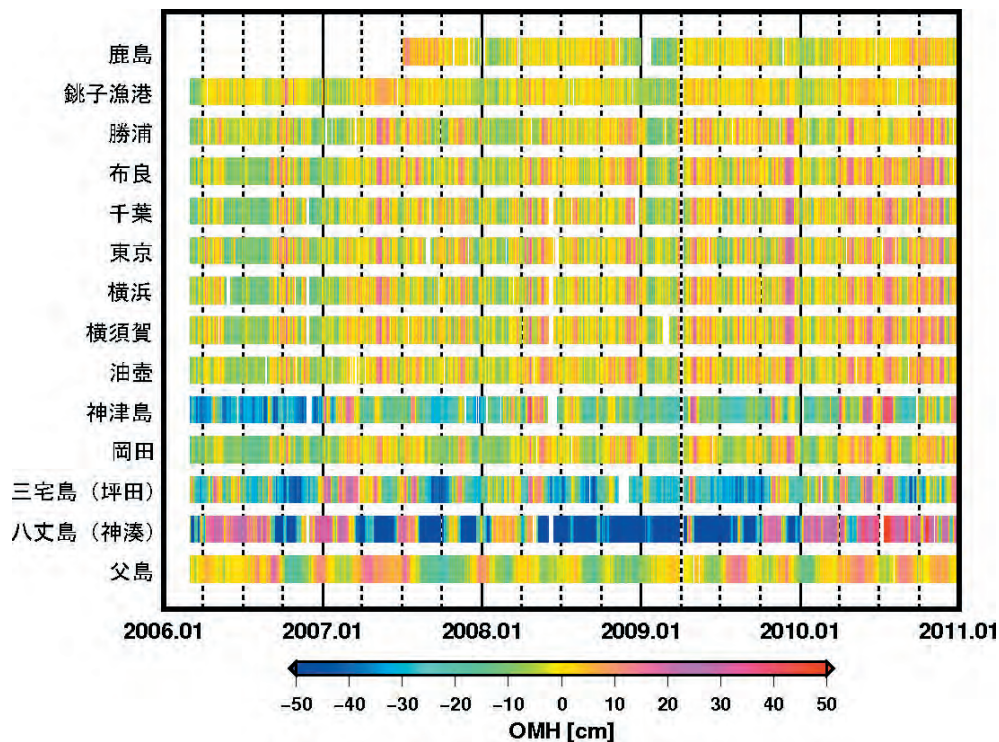
9月の月平均潮位は2002年～2006年の同月の月平均潮位と比べて-30.5cm低い状態となったと考えられる。

一方、同じく伊豆諸島に属する岡田では、全期間を通してOMHが±10cm以内となる割合は79%程度であり、先の3地点と比べると高潮モデルと観測値の対応が良い。第5図でみると、岡田でもOMHが長期間継続してOMHの絶対値が10cmを超過する時期が確認できるが、その期間は先の3地点と異なって短いことから、関東海域の地点と同様の特性であることがうかがえる。

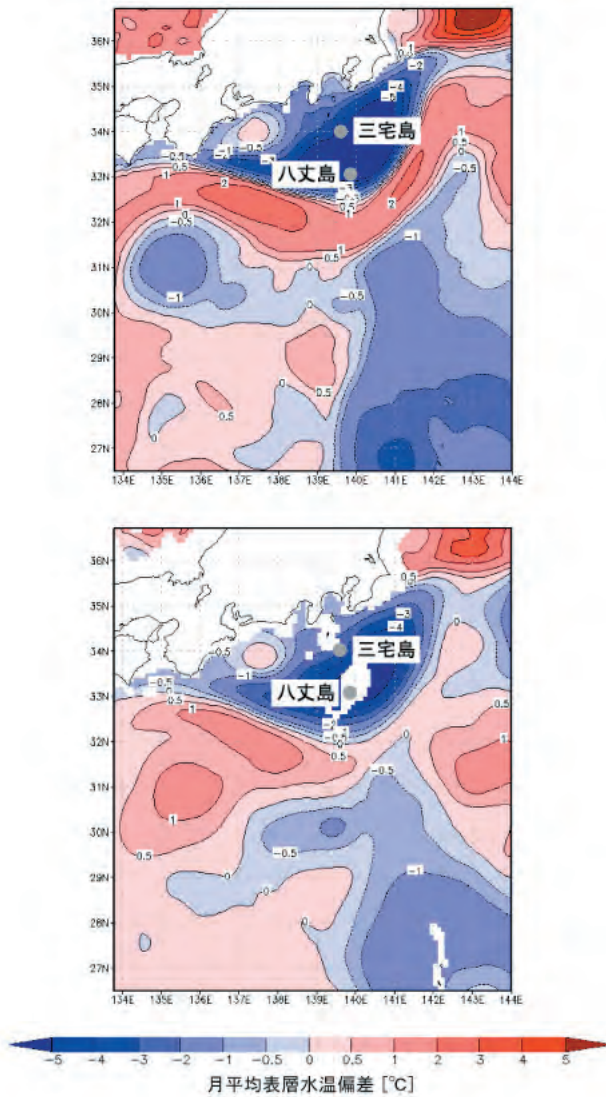
伊豆諸島に所属する各地点について、観測された毎時潮位データ及びハインドキャストデータに遮断周期48時間のハイパスフィルタを適用させて得られたOMH時系列を第7図に示すが、第5図と比べて長期間継続してOMHが大きい状態が解消していることから、これらの地点については海洋の影響を強く受けていることが分かる。

2.2.3 小笠原諸島

父島において、全期間を通してOMHが±10cm



第5図 2006年3月～2010年12月までの各潮位観測地点における観測値とハインドキャストの差（OMH）の時系列



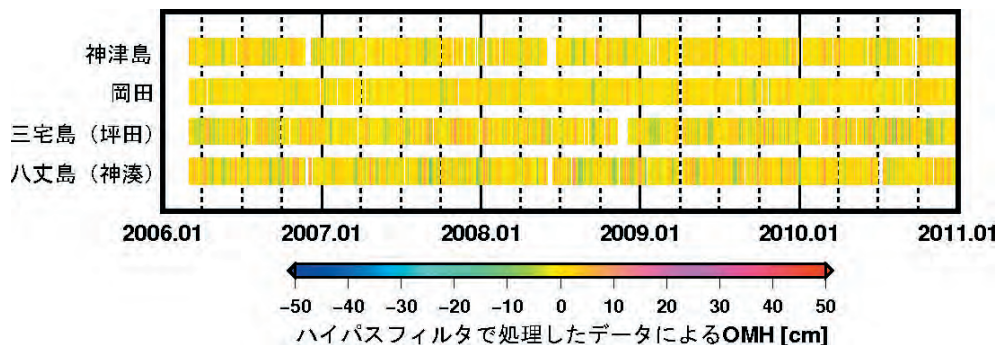
第6図 MOVE2の解析結果から得られた2007年9月の関東海域における月平均表層水温偏差分布(上:海面~水深100m, 下:海面~水深740m)
 ここで、月平均表層水温偏差とは2002年~2006年における9月の月平均表層水温からの差を示している。

以内となる割合は76%程度であった。第5図をみると、OMHが長期間継続して±10cmを超過する時期があり、中規模渦の通過等に伴う海水温の変動の影響を受けていると考えられる。実際、MOVE/MRI.COM-WNPの解析結果からは同海域への冷水・暖水の接近がしばしば確認されている。

第8図は2009年8月の父島近海における月平均表層水温偏差分布図を示している。父島の周辺海域では、父島近海を通過した暖水渦の影響で月平均表層水温が2004年~2008年の同月の平均に比べて、海面から水深100mまでで2℃程度、海面から水深740mまでで0.5℃程度それぞれ高かった等により、父島における2009年8月の月平均潮位は2004年~2008年の同月の月平均潮位と比べて16.2cm高い状態となったと考えられる。

3. OMHが大きい事例の要因調査

第2章で触れたように、高潮モデルで用いている外力はMSMや台風ボーガスによる風・気圧場である。そのため、OMHの絶対値が大きい顕著な“はずれ”事例を抽出し、その要因を検討し理解を深めることは、高潮モデルにおいてそれらの外力では表現できない潮位変動についての適切な解説が可能となり、沿岸防災に関する情報の高度化につながる。ここでは、各地点におけるOMHの度数分布表から得られる上位と下位0.1%を顕著な“はずれ”事例の閾値とし、その値を超える事例の要因について調査した。要因調査は、“はずれ”事例の継続期間が長い場合は海洋要因、短い場合は波浪効果を仮定して行った。



第7図 2006年3月~2010年12月までの伊豆諸島に位置する潮位観測地点における観測値とハインドキャストの差(OMH)の時系列
 OMHは観測された毎時潮位データ及びハインドキャストデータにハイパスフィルタを適用し、長周期成分の潮位変動を除去した値より求めている。

海洋要因については海面水温データや MOVE/MRI.COM-WNP から得られた表層水温等の解析結果と観測された潮位偏差データの関係を定性的に調査し、波浪効果については代表的な事例を挙げて当時の気象条件等を調べ、波浪効果の影響を調査した。なお、伊豆諸島では海洋要因の影響と思われる“はずれ”事例が多かったため、事例の抽出は行わず、調査期間の全期間を通して海洋要因と OMH 及び観測された潮位の対応を調査した。

3.1 海洋要因が潮位に及ぼす影響

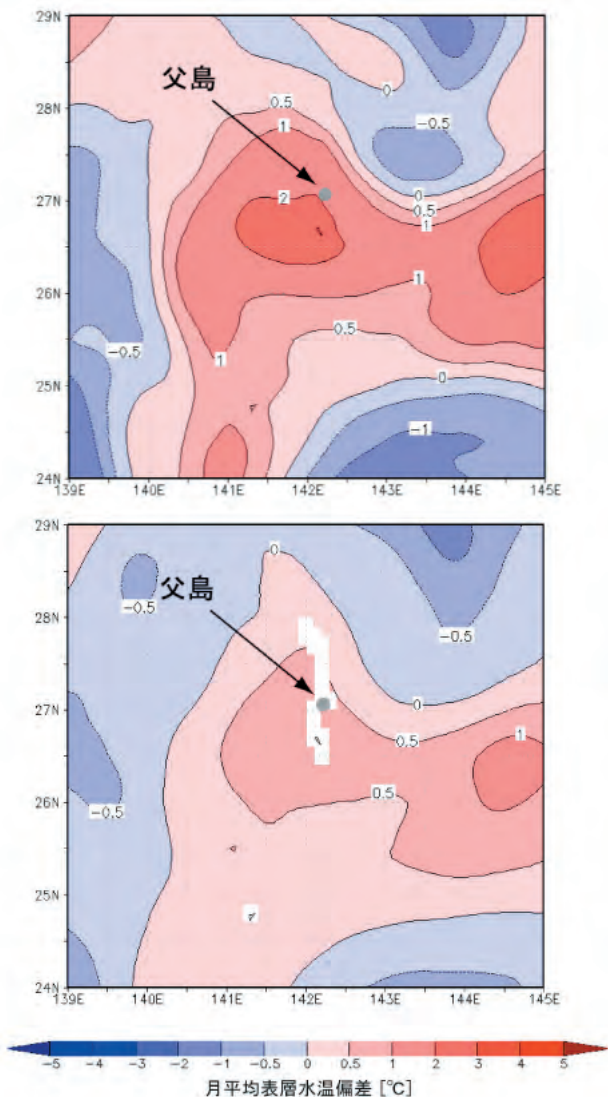
海洋要因の一つに海水温があるが、海水温が高いと、熱膨張により潮位が高くなる。これは数日から長いときは数か月に及ぶ、時間スケールの長い現象である。これまで高潮モデルで説明できない潮位偏差については、該当海域近隣に海水温の高い領域があれば海水温の影響と考えてきたが、実際に海水温が潮位偏差に寄与しているか、MOVE/MRI.COM-WNP の解析結果が沿岸部においても正しく表現しているか、等については具体的な検証が行われていなかった。今回、海洋要因が潮位に及ぼす影響について詳細に調査するため、検潮所近傍の実測の海面水温データが利用可能な地点（勝浦・油壺・岡田・神津島・八丈島）についてはまずそのデータを用いて調べ、そのうえで関東海域における MOVE/MRI.COM-WNP の海水温・海面高度偏差の解析データを用いて調査を行った。

3.1.1 検潮所における海面水温と潮位

東京都島しょ農林水産総合センター HP(<http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/1.html>) からは岡田、神津島及び八丈島の海面水温データを、国土地理院からは勝浦と油壺の海面水温データをそれぞれ入手し、この値を用いて海面水温と潮位の関係について調査した。

海面水温は夏から秋に高く、冬から春に低いという季節変化があることから、この調査では半月ごとの平均値と5年間の同じ半月の平均値の差（以下「同半月平均差」と記す）を用いることにより、その半月における季節変化の影響を除去して調査した。この算出方法は、気象庁で行っている海洋の健康診断表「日本沿岸の月平均潮位の変動」において用いている平年同月平均差（診断する月の水温等の平均値と最近5年間の同じ月の平均値の差）に倣った方法である。

この調査において留意すべきことは、潮位の変動に影響を与える海水温は必ずしも海面水温で代表されるとは限らないという点である。例えば、海面近傍の水温が低温でも、それより深い層において水温が高ければ、全体としてその領域の潮位が高くなることがある。しかし、黒潮や暖水渦等



第 8 図 MOVE2 の解析結果から得られた 2009 年 8 月の父島近海における月平均表層水温偏差分布（上：海面～水深 100m，下：海面～水深 740m）
ここで、月平均表層水温偏差とは 2004 年～2008 年における 8 月の月平均表層水温からの差を示している。

が接近した場合は海面まで高温になる場合が多く、潮位の変動と海面水温との間にはある程度の相関があると考えられることからこの調査を行った。

第2表に2006年3月～2010年12月における半旬ごとの海面水温（同半旬平均差）、OMH及び潮位偏差の相関について、季節ごとに調査した結果を示す。同半旬平均差の算出には、2006年1月～2010年12月の5年間における同じ半旬の平均値を用いた。その結果、各季節において、海面水温と潮位偏差、及び海面水温とOMHはそれぞれ同程度の相関を示しており、季節ごとに比較すると全体的に夏季よりも冬季における相関が強い傾向を示していた。各地点の相関をみると、勝浦では0.3～0.5程度、油壺では冬季に0.3～0.4程度の相関があったが、黒潮の影響を強く受ける八丈島や神津島では季節を通して0.6～0.8程度の強い相関があった。

以上の結果から、鉛直混合が進む冬季や黒潮の影響を強く受ける地点については、海面水温を用いることによって海水温が潮位の変動に及ぼす影響を説明できる可能性があることが示された。海面水温データは準リアルタイムで入手できることから、実際の潮位と高潮ガイダンスの差が大きい場合の要因検討を迅速に行うために、海面水温データを活用することも検討したい。

3.1.2 MOVE/MRI.COM-WNPの解析結果と潮位

関東海域におけるMOVE/MRI.COM-WNPの解析結果と潮位の関係について、負のOMHが長期

間継続している場合は冷水の影響を、正のOMHが長期間継続している場合は暖水の影響をそれぞれ受けていることを仮定して調査した。この調査では前節と同様に半旬ごとの平均値を用いた。また、海面高度偏差の算出には、該当する半旬の前5年間における同じ半旬の平均値を用いた。顕著事例の抽出手順として、始めに第1表に示したOMHの上位及び下位0.1%以内の値が含まれており、正又は負のOMHが十数日程度継続している事例を抽出した。抽出した事例について、毎時潮位データ及びハインドキャストデータに遮断周期48時間のローパスフィルタを適用させて気象じょう乱に由来する短周期成分の潮位変動を除去し、得られた値から求めたOMHについても、十数日程度継続してOMHの絶対値が10cmを超過していると思われる事例を顕著事例とした。また、東京湾内は水深が浅いため海水温による膨張の効果が小さく、水深が深い湾入口の潮位の高さが湾内の潮位に影響を与えられたことから、湾内に位置する地点（千葉・東京・横須賀）については湾入口の解析結果と各地点のOMHを比較した。

各顕著事例について、OMHとMOVE/MRI.COM-WNPの解析結果から得られた海面高度偏差の相関を第3表に示す。この表において、冷水による事例を網掛けなしで、暖水による事例を網掛けありで示す。

その結果、2010年9月～11月の事例以外ではおおむね0.7を超える強い相関があった。2009年1～2月の鹿島は欠測が多かったため、近傍の銚

第2表 各季節における半旬ごとの海面水温（同半旬平均差）と潮位偏差、OMH（観測値とハインドキャストの差）の相関

勝浦及び油壺の海面水温データは国土地理院所有のデータを、岡田、神津島及び八丈島の海面水温データは東京都島しょ農林水産総合センター所有のデータをそれぞれ用いた。また、表中の各季節は春-3～5月、夏-6～8月、秋-9～11月、冬-12～2月をそれぞれ示す。

	海面水温(同半旬平均差)と潮位偏差の相関				海面水温(同半旬平均差)とOMHの相関			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
勝浦	0.38	0.32	0.44	0.47	0.30	0.29	0.51	0.49
油壺	-0.03	-0.12	0.12	0.31	-0.15	0.12	0.16	0.36
岡田	0.46	0.43	0.33	0.55	0.50	0.54	0.45	0.61
神津島	0.69	0.66	0.62	0.72	0.72	0.68	0.68	0.78
八丈島(神湊)	0.75	0.75	0.65	0.77	0.76	0.76	0.66	0.78

子漁港（上位 0.1%の顕著事例には含まれない）について調べたところ 0.6 程度の比較的強い相関があった。父島は 0.9 程度の非常に強い相関があった。

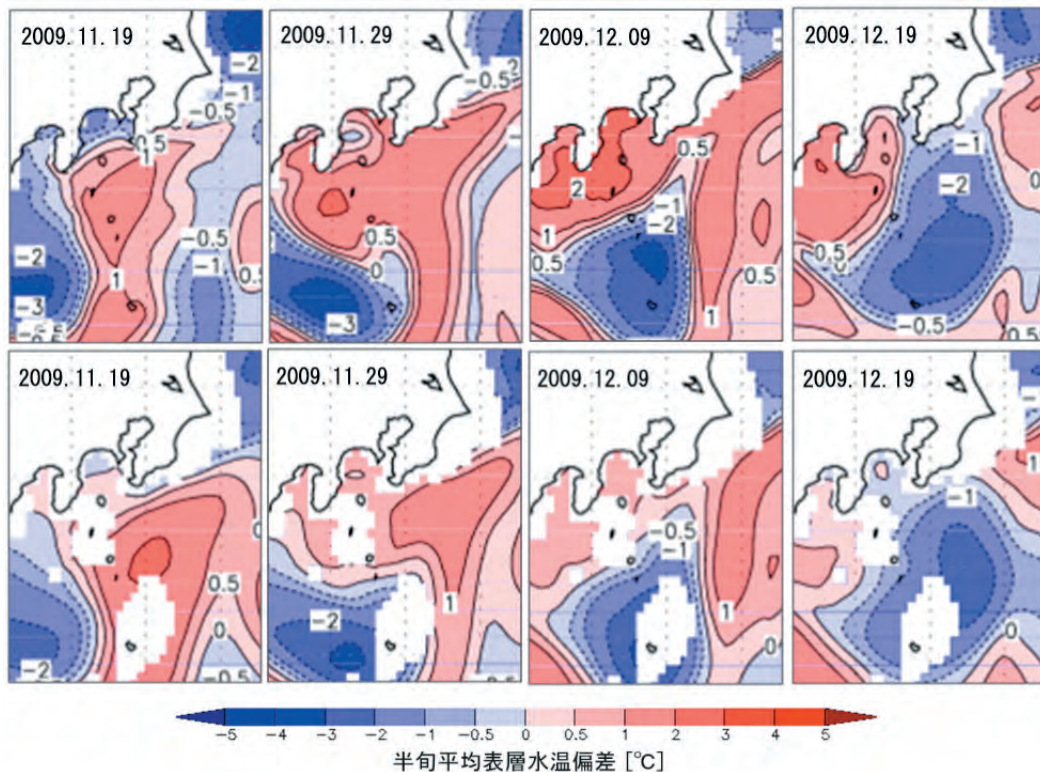
顕著事例の一例として、MOVE/MRI.COM-WNP の解析結果から得られた 2009 年 11 月～12 月の半旬ごとの表層水温偏差分布図を第 9 図に、MOVE/MRI.COM-WNP の解析結果から得られた海面高度偏差と OMH の時系列を第 10 図にそれぞれ示す。ここで、表層水温偏差や海面高度偏差

は 2004 年～2008 年までの 5 年間の同じ半旬の平均値との差をそれぞれ示している。この事例は、相模湾周辺海域を中心に黒潮の一部が流れ込んだことによって、11 月下旬から 12 月上旬にかけて平常より 20～30cm 程度潮位が高くなる異常潮位が発生し、横浜地方気象台では 12 月 3 日に府県潮位情報を発表した事例である。第 9 図をみると、11 月下旬から 12 月上旬にかけて、相模湾周辺海域を中心に海面～水深 100m までの表層水温で +2℃程度、海面～水深 740m までの表層水温で

第 3 表 MOVE/MRI.COM-WNP の解析結果から得られた海面高度偏差と OMH(観測値とハインドキャストの差)の相関(銚子漁港は参考値)

網掛けなしは冷水による事例を、網掛けありは暖水による事例をそれぞれ示す。各期間において顕著事例と判断できなかった地点については、表中の該当欄に「—」を記載している。

		鹿島	銚子漁港	勝浦	布良	千葉	東京	横須賀	油壺	父島
2006年	09-11月	—	—	0.81	0.69	—	—	—	—	0.91
2007年	07-10月	—	—	—	—	—	—	—	—	0.90
2009年	01-02月	欠測	0.63	0.79	—	0.81	—	—	0.84	—
	11-12月	—	—	0.93	0.94	0.96	0.94	0.95	0.95	—
2010年	09-11月	—	—	0.35	—	—	—	—	0.17	—



第 9 図 MOVE2 の解析結果から得られた半旬平均表層水温偏差分布（上：海面～水深 100m，下：海面～水深 740m）
 左から 2009 年 11 月 19 日、11 月 29 日、12 月 9 日、12 月 19 日の前後 2 日を含む 5 日間の半旬平均表層水温偏差を示している。また、ここで半旬平均表層水温偏差の算出には 2004 年～2008 年の 5 年間における同じ半旬の平均値を用いている。

+0.5℃程度高い領域が広がっており、黒潮の一部がこの海域に流れ込むことによって表層水温が上昇していることが表現されていることが分かる。また第10図をみると、相模湾に位置する油壺の他、千葉や布良等の関東南部に位置する地点において、OMHと海面高度偏差は相関が強い傾向があることが分かる。

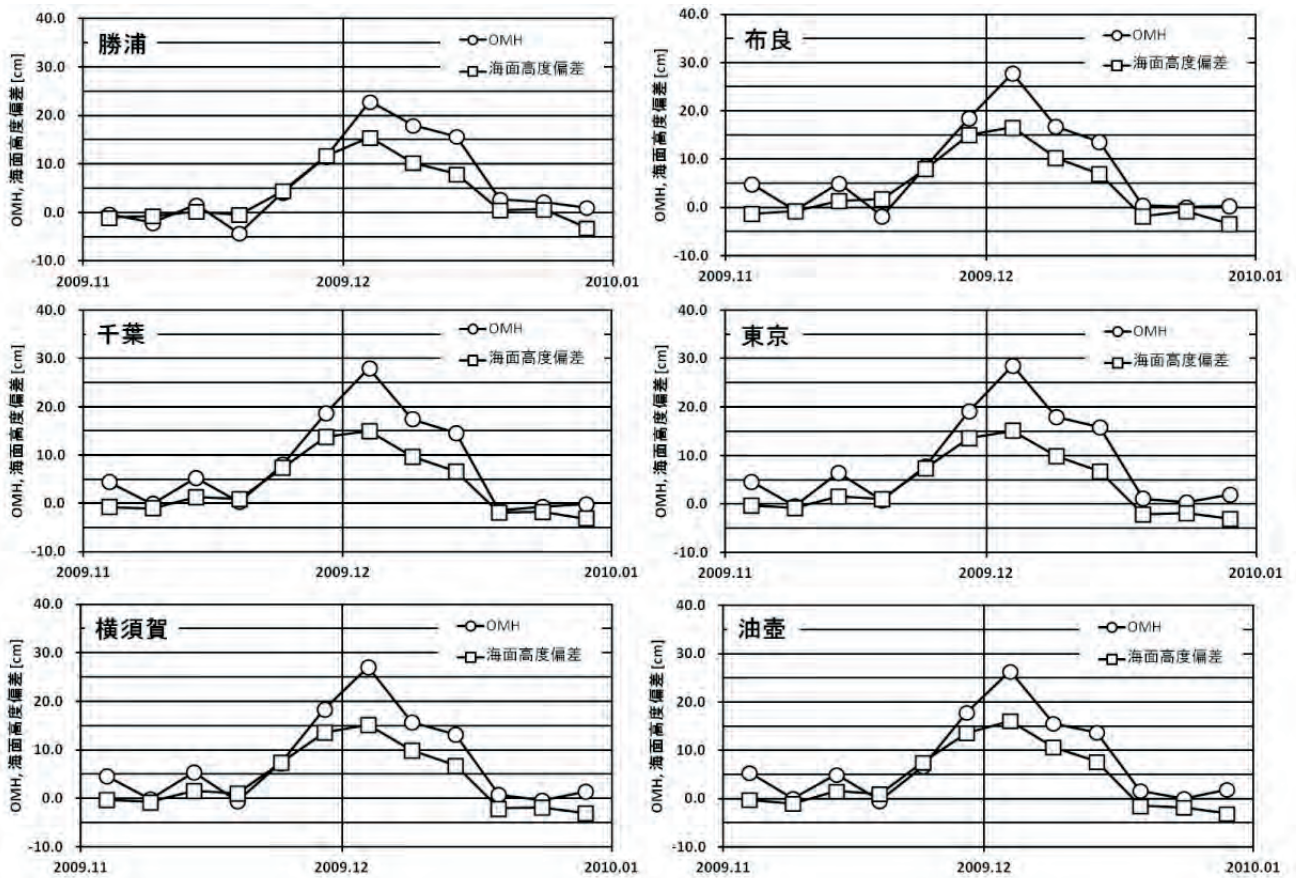
一方、2010年9月～11月の事例は顕著事例であるが相関はほとんどみられなかった。当該期間における勝浦及び油壺のOMHの時系列を第11図に示すが、ローパスフィルタ適用後のOMHが10以上の期間と10未満の期間が数日周期で現れていることが分かる。本調査においては半月を基本単位としていることから、このような数日周期での暖水の影響による潮位変動について今回の調査方法では捉えることができなかった可能性がある。

以上により、前項において海面水温と相関が

弱い若しくはほとんどなかった勝浦、油壺でもこれらの相関は極めて高かったことから、MOVE/MRI.COM-WNPの解析結果が関東海域における顕著な“はずれ”事例の要因探しに有効であることが示唆された。

3.1.3 MOVE/MRI.COM-WNPの解析結果を用いたOMHの出現頻度の変化傾向の検討

次に、この調査の全期間を通してOMHとMOVE/MRI.COM-WNPから解析された海面高度偏差の相関を調べた。また、この海面高度偏差が水温と塩分の分布をもとに計算されていることと、OMHが風・気圧場では表現できない海水温等に起因する潮位偏差を示すことから、OMHと海面高度偏差の差を求める（以下、この操作によって得られたOMHを「OMH'」と記す）ことによってOMHから海洋の影響を軽減させることができる可能性がある。そこでOMH'のヒスト



第10図 2009年11月～12月におけるMOVE2の解析結果から得られた海面高度偏差とOMH（観測値とハイノドキャストの差）時系列

グラムの特徴を調べることで、MOVE/MRI.COM-WNPの解析結果を用いることによってOMHの出現頻度がどのように変化するかを調査した。

第3表と同様に半旬ごとの平均値を用いて求めた2006年3月～2010年12月におけるOMHとMOVE/MRI.COM-WNPから得られた海面高度偏差の相関を第4表に示す。三宅島、神津島、八丈島や父島といった海水温の影響を強く受ける地点では0.7～0.9程度の強い相関があったが、鹿島や銚子漁港といった北部に位置する地点では0.3～0.4程度と相関は弱かった。

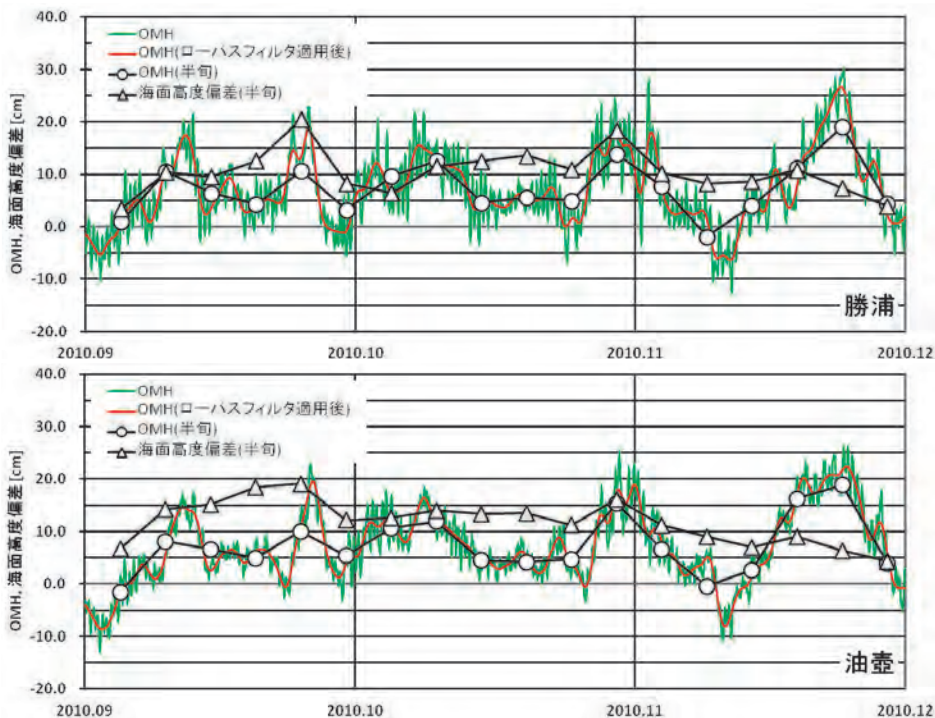
同期間におけるOMH'の時系列を第12図に示す。第12図は半旬ごとの平均値をもとにした時系列のため単純に第5図と比較することはできないが、第3表で示した地点及び期間のようにOMHの絶対値が非常に大きい期間をみると、第5図よりも第12図の方が全体的にOMH'の時系列の絶対値が小さくなっている様子がうかがえる。

第13図には半旬ごとのOMHとOMH'の平均値について比較したヒストグラムを、第5表には

ヒストグラムの特徴を示す。全サンプルに対するOMH及びOMH'が±10cm以内となる割合を比較すると、北部を除いた関東沿岸では2～8%程度、伊豆諸島では11～27%程度、小笠原諸島では14%程度、OMH'はOMHと比べてその割合は大きい。また、伊豆諸島や小笠原諸島におけるOMH'の標準偏差はOMHと比べて小さくなった。OMHと比べてOMH'の方が全体的に観測データとの対応がよく、標準偏差も小さくなる傾向にあることから、これらの沿岸のOMHについてはMOVE/MRI.COM-WNPの解析結果を用いて海洋

第4表 2006年3月～2010年12月におけるMOVE/MRI.COM-WNP解析より得られた海面高度偏差とOMH(観測値とハインドキャストの差)の相関

鹿島	銚子漁港	勝浦	布良	千葉	東京	横浜
0.34	0.38	0.59	0.58	0.60	0.59	0.63
横須賀	油壺	神津島	岡田	三宅島(坪田)	八丈島(神湊)	父島
0.64	0.63	0.80	0.67	0.69	0.90	0.81



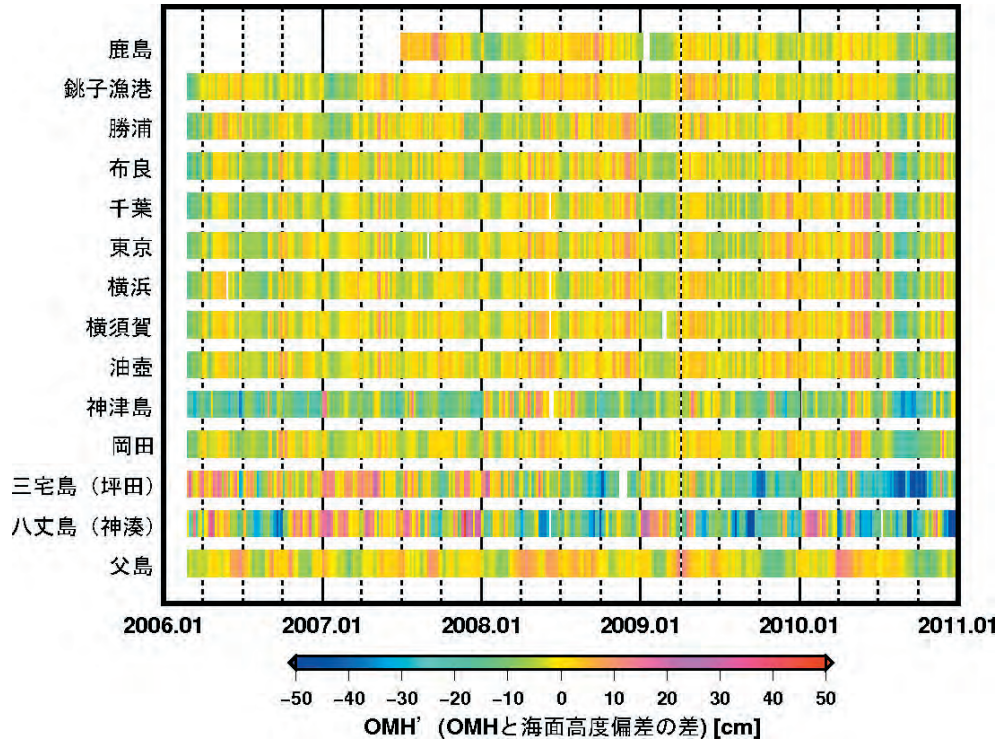
第11図 2010年9月～11月の勝浦及び油壺におけるMOVE/MRI.COM-WNPの解析結果から得られた海面高度偏差とOMH(観測値とハインドキャストの差)時系列(上:勝浦, 下:油壺)

ここで、図中の赤線は観測された毎時潮位偏差データ及びハインドキャストデータにローパスフィルタを施した後に求めたOMHを示す。また、○はOMHの半旬平均値を、△は海面高度偏差の半旬平均値をそれぞれ示す。

の影響を軽減できる可能性があることが示唆された。

一方、鹿島や銚子漁港といった北部の地点については第4表で示したように相関が弱いこともあ

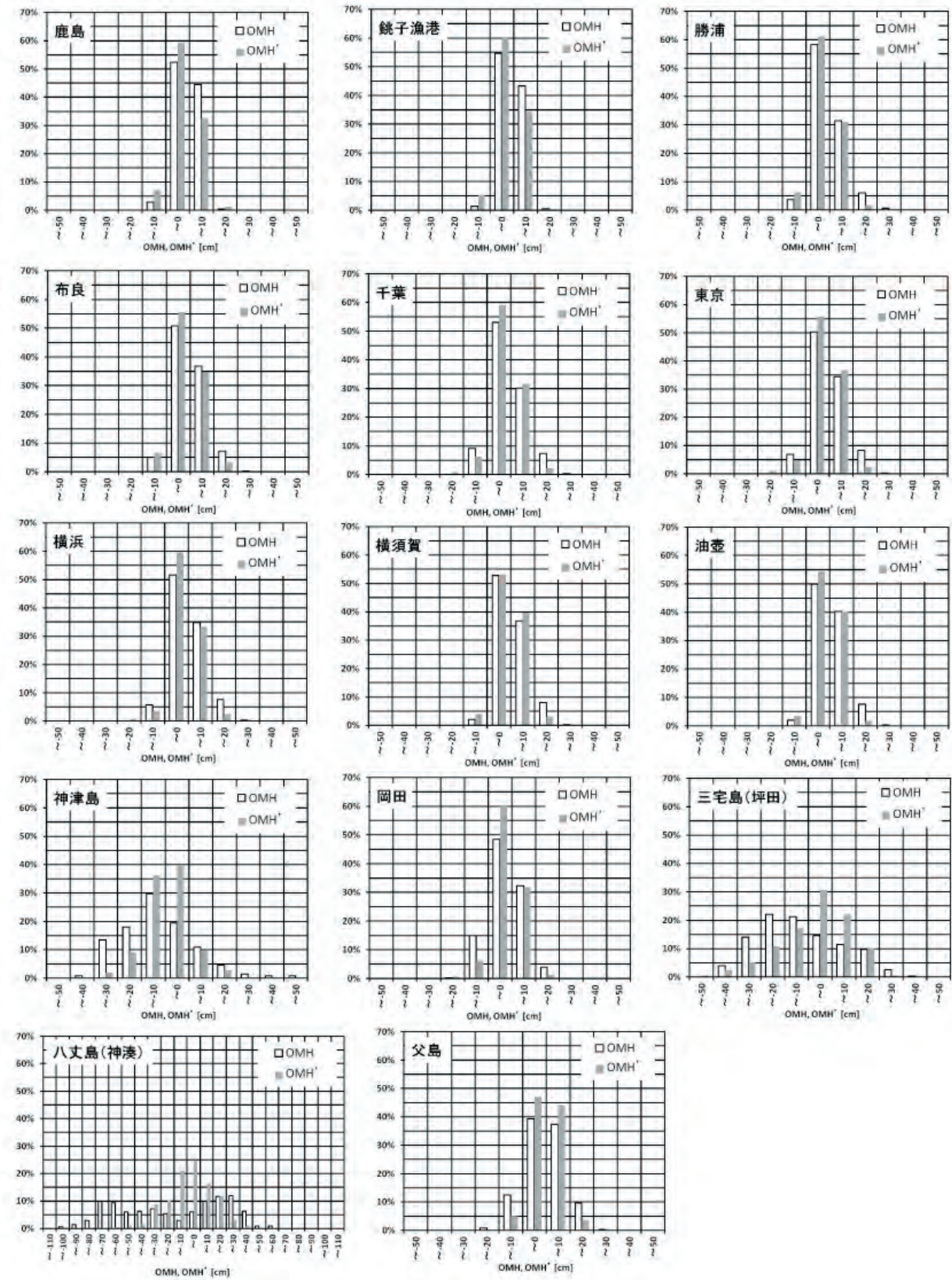
って、OMH' が±10cm以内となる割合はOMHと比べてその割合は4～5%程度小さい。また、OMHよりもOMH'の標準偏差の方が大きく、OMH'の出現頻度にばらつきがあることから、



第12図 OMH' (OMH (観測値とハインドキャストの差) と海面高度偏差の差) の半月平均値による時系列

第5表 各潮位観測地点におけるOMH (観測値とハインドキャストの差) 及びOMH' (OMH と海面高度偏差の差) のヒストグラムの特徴 (OMH 及びOMH' はともに半月平均値)

		平均値[cm]		標準偏差[cm]		歪度		全OMH(OMH')に対してOMH(OMH')が±10cm以内となる割合[%]		
		OMH	OMH'	OMH	OMH'	OMH	OMH'	OMH	OMH'	増減
関東沿岸	鹿島	-0.9	-2.0	4.6	5.3	-0.3	0.0	96.8	91.7	-5.1
	銚子漁港	-0.7	-1.9	4.2	4.8	-0.2	-0.3	98.0	94.3	-3.7
	勝浦	-0.6	-2.1	6.4	5.3	0.8	0.1	89.8	92.1	2.3
	布良	-0.2	-2.0	7.0	6.0	0.7	0.1	87.5	90.1	2.6
	千葉	-1.0	-2.4	7.1	5.9	0.7	0.0	83.2	90.6	7.4
	東京	-0.6	-1.8	6.9	5.8	0.7	-0.2	84.7	92.3	7.6
	横浜	-0.7	-1.9	7.0	5.5	0.6	-0.1	86.3	92.9	6.6
	横須賀	0.2	-1.0	6.7	5.3	0.7	-0.1	89.7	92.9	3.2
	油壺	0.3	-1.0	6.5	5.3	0.6	-0.3	90.1	94.6	4.5
伊豆諸島	神津島	-12.7	-9.5	15.5	9.3	0.7	0.0	30.3	49.7	19.4
	岡田	-2.6	-2.6	6.8	5.6	0.3	-0.4	80.7	92.1	11.4
	三宅島(坪田)	-13.3	-7.3	17.2	14.7	0.4	-0.7	26.1	52.7	26.6
	八丈島(神湊)	-19.7	-7.9	39.8	18.1	-0.2	-0.3	15.9	40.7	24.8
小笠原諸島	父島	-0.8	-0.5	8.1	5.7	-0.2	-0.1	76.8	91.2	14.4



第 13 図 各潮位観測地点における OMH (観測値とハインドキャストの差) 及び OMH' (OMH と海面高度偏差の差) のヒストグラム (OMH 及び OMH' はともに半旬平均値, 白色 : OMH, 灰色 : OMH')

これらの沿岸の OMH においては MOVE/MRI. COM-WNP の解析結果を用いても海洋の影響を軽減させることが難しい可能性がある。

3.2 波浪効果の事例調査

波浪効果によって OMH が大きい状態が継続する期間は水温の影響に比べ短いと考えられるため、顕著事例の抽出手順として、始めに毎時潮位データ及びハインドキャストデータに遮断周期 48 時間のハイパスフィルタを適用させ、これらのデータに及ぼす海洋の影響を除去した。得られたデータより求めた OMH の度数分布より、OMH の上位及び下位 0.1% 以内に含まれる事例を気象じょう乱による顕著事例とした。得られた顕著事例の中で、OMH が大きくなっているときに沿岸波浪図や沿岸波浪計の観測データによって波高が高まっていることが確認できる事例を波浪効果と判断したところ、そのような事例は 2006 年 3 月以降で 5 地点 11 事例あった。その内訳を第 6 表に示すが、該当する 5 地点は伊豆諸島（神津島、三宅島）や房総半島沿岸（銚子漁港、勝浦、布良）に位置する地点であった。次項では 11 事例のうちの一つである布良の事例について述べる。

3.2.1 2009 年 10 月、布良の事例

この事例は 9 月 29 日にマーシャル諸島付近で発生した台風第 18 号が 10 月 8 日には強い勢力で知多半島付近に上陸し、その後、8 日 21 時に温帯低気圧に変わるまでの間に、東海地方、関東甲信地方、東北地方を通過した事例である。この台風によって赤羽根で最大潮位偏差（瞬間値）183cm、鳥羽で同 168cm を観測した他、関東沿岸においても布良で同 103cm、東京で同 95cm といった顕著な高潮が観測されている。三河港沿岸域においてはこの高潮によって浸水し、多数のコンテナが流出・散乱する被害が発生しており、名古屋地方気象台及び神戸海洋気象台の行った現地調査では、波浪の影響を除いた当時の潮位は標高換算で約 3.1 m 程度であったと報告している（名古屋地方気象台・神戸海洋気象台、2009）。

この事例について、布良における 2009 年 10 月 7 日 12 時～9 日 0 時の潮位偏差（ハインドキャ

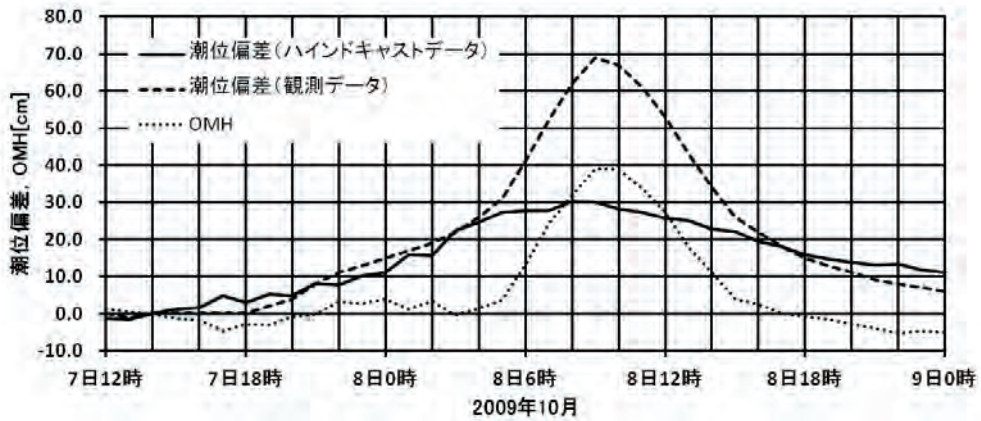
ストデータ、観測データ）及び OMH の時系列を第 14 図に示す。10 月 7 日 12 時～8 日 5 時までの間は潮位上昇をハインドキャストデータで再現できており、OMH はおおむね 0cm だった。その後、潮位偏差の観測データは更に増大したが、ハインドキャストデータはおおむね横ばいで経過し、8 日 9 時には OMH が最大値 39.0cm を示した。その後観測データは減少し、ハインドキャストデータも緩やかに減少したため、8 日 15 時に再び OMH は 10cm 以下となった。この期間について、ハインドキャストに用いた MSM の海面気圧及び風向・風速のデータとそれらの観測データの時系列を第 15 図に示す。観測データには近隣にある館山特別地域気象観測所の観測データを利用した。海面気圧及び風向については、MSM のデータと観測データの間には大きな違いはみられなかった。一方、風速については MSM のデータの方が観測データより大きい。OMH が最大値を示した 8 日 9 時前後の風向は南寄りの向岸風であった。このことから、OMH が急激に増大した要因は高潮モデルによる吹き寄せ効果の過小評価によるものではないといえる。

第 16 図に当時の沿岸波浪図を、第 17 図に布良における OMH、布良の近隣である静岡県石廊崎に設置された沿岸波浪計の観測データ、沿岸波浪

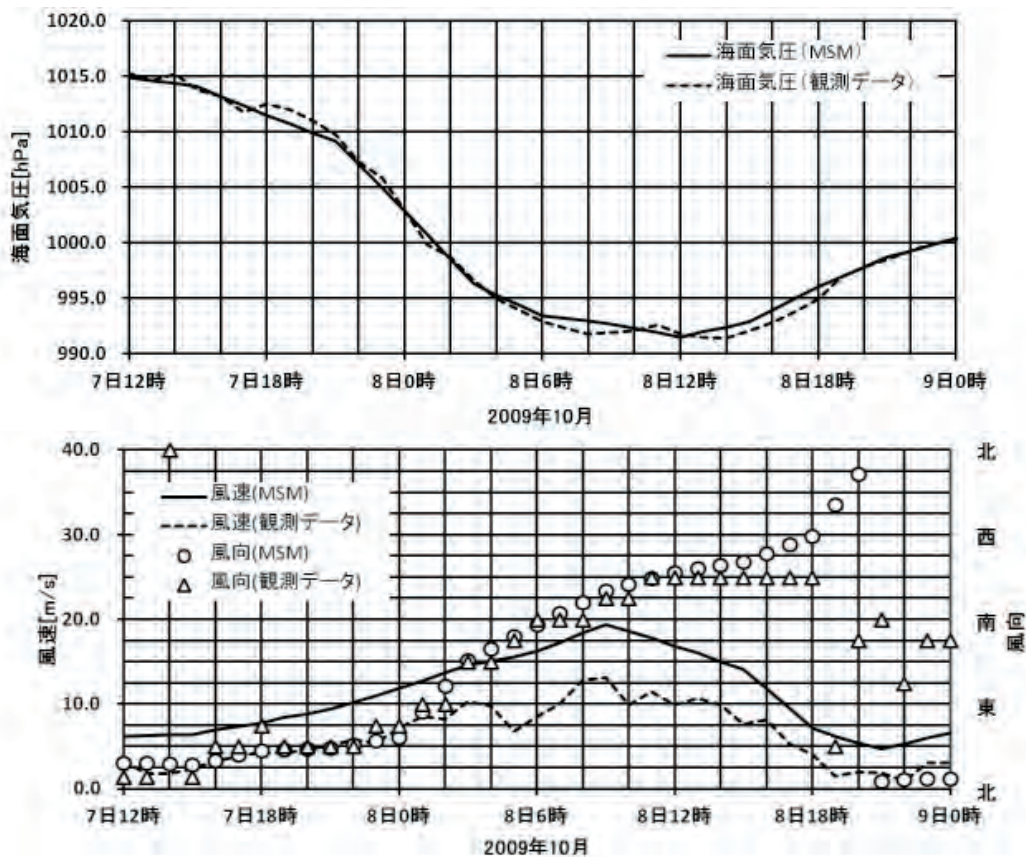
第 6 表 関東海域における 2006 年 3 月以降の波浪効果の事例

OMH(観測値とハインドキャストの差)の最大値の欄に記載されている括弧中の値は、ハイパスフィルタを適用させたデータによって求めた OMH の値を示している。

地点	事例数	発生年月日	OMHの最大値
銚子漁港	2	2009/1/31～2/1	17.8(6.9)
		2010/9/25	24.1(6.8)
勝浦	2	2007/9/6～7	37.0(24.8)
		2008/5/20	27.5(10.2)
布良	1	2009/10/8	39.0(28.7)
神津島	2	2007/1/7	39.9(11.3)
		2009/10/8	13.5(24.8)
三宅島 (坪田)	4	2007/9/6	22.3(31.6)
		2008/4/8	4.1(18.9)
		2009/8/31	11.0(26.2)
		2010/9/25	8.8(16.5)



第14図 布良における2009年10月7日12時～9日0時の潮位偏差（ハインドキャストデータ，観測データ）及びOMH（観測値とハインドキャストの差）の時系列



第15図 布良における2009年10月7日12時～9日0時の海面気圧，風向及び風速（MSM，観測データ）の時系列（上：海面気圧，下：風向及び風速）

モデルから得られた石廊崎及び布良における有義波高の予測値の時系列をそれぞれ示す。第16図をみると、台風第18号が関東地方に接近した8日9時には布良付近に南西から有義波高7m程度の波が入っていたと考えられる。また、第17図をみると、石廊崎における観測データと沿岸波浪モデルの予測値の対応が良く、8日9時の布良の

有義波高予測値が8m程度であり第16図とおおむね一致していることから、当時、布良における有義波高は沿岸波浪モデルの予測と同様に推移していた可能性が高い。布良のOMHが急に増大するのとほぼ同時期に布良の有義波高の予測値も増大傾向を示し、最大8m程度の有義波高を予測した時刻と同時刻にはOMHも最大値を示している

ことから、この急激な OMH の増大は風や気圧といった気象要素の予測誤差によるものではなく、高潮モデルで表現できない波浪効果によってもたらされた可能性があると考えられる。

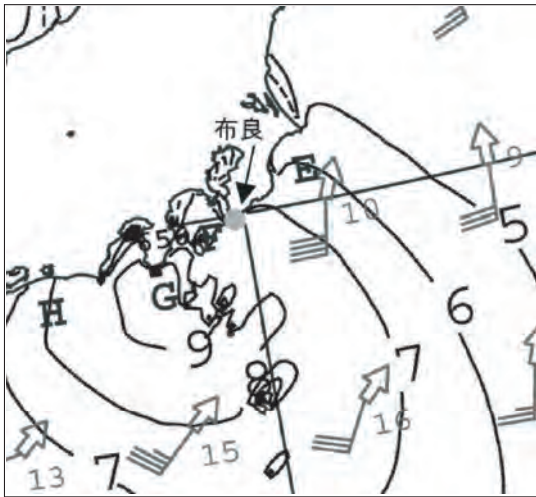
4. まとめ

2006年3月～2010年12月のOMHを統計的に調べ、関東海域における地域特性を調査した。島しょ部を除く関東沿岸では高潮モデルと観測データの対応がよかったが、東京湾沿岸では潮位に及ぼす海洋の影響が大きいことが示された。また、北寄り及び南寄りの風が卓越する場において高潮モデルによって再現された潮位は実際よりも過大

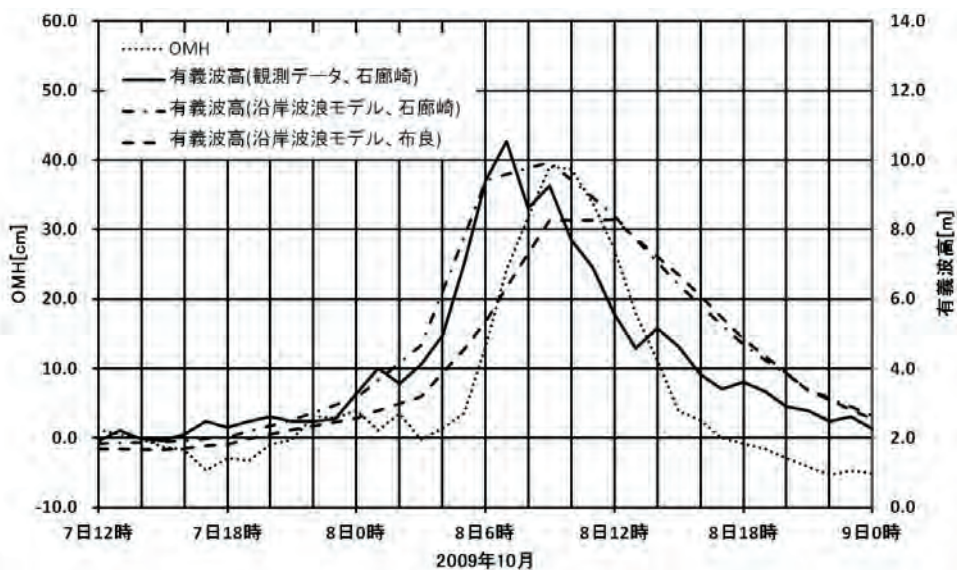
若しくは過小に見積もられる傾向が示された。一方、伊豆諸島では黒潮の影響が強く、小笠原諸島でも冷水・暖水等の影響を受けていることが示された。

また、高潮モデルと観測データの差が大きい事例を抽出し、海洋要因及び波浪効果の観点から考察した。関東沿岸と異なり、黒潮の影響を強く受ける八丈島や神津島では海面水温データとOMHに強い相関がみられた。また、全体的に夏季よりも冬季において相関が強い傾向が示されたことから、これらに該当する地点については、海面水温を用いることによって海水温が潮位の変動に及ぼす影響を説明できる可能性があることが示された。

一方、検潮所近傍の格子点におけるMOVE/MRI.COM-WNPの海面高度偏差と、検潮所におけるOMHの相関を調べたところ、顕著事例の多くで相関があった。府県潮位情報を発表した異常潮位の事例では広域で高い相関がみられ、東京湾内のOMHと湾入口のMOVE/MRI.COM-WNPの海面高度偏差にも強い相関がみられた。一事例ではあるが、海水温の熱膨張では説明が難しい東京湾内の潮位上昇を、湾入口の海面高度で説明できる事例であり、今後の要因の解明に有効な結果が得られた。同様に調査対象の全期間における海面高度偏差と検潮所の相関についても調べたところ



第16図 2009年10月8日9時の沿岸波浪図



第17図 2009年10月7日12時～9日0時の布良における観測値とハインドキャストの差(OMH)、石廊崎における沿岸波浪計観測データ、布良及び石廊崎における沿岸波浪モデルより得られた有義波高予測値の時系列

ろ、黒潮等の海水温の影響を強く受ける地点では強い相関があった。MOVE/MRI.COM-WNPで解析された海面高度偏差を用いることによってOMHの出現頻度がどのように変化するかを検討したところ、北部を除いた関東沿岸の潮位変動についてはMOVE/MRI.COM-WNPの解析結果を用いて海洋の影響を軽減できる可能性があることが示唆された。

波浪効果については、伊豆諸島や房総半島沿岸において波浪効果に起因すると考えられる顕著事例が多いことが確認され、その中の一事例として布良における事例を調査した。

第1章で触れたように今回の調査で得られた知見を沿岸防災情報に活用することが重要であるが、現時点で得られた調査結果は定性的なものにとどまっており、例えば海洋要因により、高潮ガイダンスをどの程度補正すべきかといった定量的な補正手法の提案までは至っていない。将来的には、日本近海を対象とした解像度の高い海洋モデルの運用も計画されており、海水温の変動が潮位に及ぼす影響については、今回の調査結果も踏まえ、海洋モデルの結果等を利用した定量的な予測を行うための検討を引き続き進める。また、波浪効果についても今回のような事例調査による知見を蓄積していくと同時に、海洋気象情報室で開発を進めている「波浪による潮位上昇評価システム」の結果を活用した量的予測手法の確立を進める。

参 考 文 献

- 林原寛典 (2011) : 気象庁の高潮数値予測モデルについて. 天気, Vol.58, No.3, 235-240pp.
- 比屋定弘康・大久保沙貴・高佐重夫・小橋川豊・遠峯勉・西村文男・大門秀志・板垣真資・福田美奈・坂地忠・田口幸輝・江上浩樹・鈴木博樹・野崎太 (2011) : 歴史的潮位データの作成及び高潮の再評価. 測候時報, 第78巻, 特別号, S1-S32.
- 石崎士郎・曾我太三・碓井典久・藤井陽介・辻野博之・石川一郎・吉岡典哉・倉賀野連・蒲地政文 (2009) : MOVE/MRI.COMの概要と現業システムの構築. 測候時報, 第76巻, 特別号, S1-S15.
- 香川県防災局 (2006) : 平成16年災害記録誌, 10pp. (<http://www.pref.kagawa.lg.jp/bosai/h16taifu/pdf/04.pdf>, 2012年8月20日参照)
- 名古屋地方気象台, 神戸海洋気象台 (2009) : 平成21年台風第18号による三河湾における高潮 (10月8日) 報告, 5-9pp. (<http://www.jma-net.go.jp/nagoya/hp/gaiyou/20091016.pdf>, 2012年8月20日参照)
- 下野隆司・仲井圭二・永井春生・松本英雄・渡邊和重・磯部雅彦 (2004) : 全国沿岸域における異常潮位の広域的出現特性. 海岸工学論文集, 第51巻, 1221-1225.
- 高波災害対策検討委員会 (2008) : 第1回高波災害対策検討委員会資料2, 8-12pp. (http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/takanami/01/pdf/s02.pdf, 2012年8月20日参照)
- 竹内仁・高野洋雄・山根彩子・松枝聡子・板倉太子・宇都宮忠吉・金子秀毅・長屋保幸 (2012) : 日本周辺海域における波浪特性の基礎調査及び波浪モデルの現状と展望. 測候時報, 第79巻, 特別号, S25-S58.
- 田中明夫・原口慶子・岡田良平・五十嵐陽子 (2010) : 異常潮位に関する潮位情報等へのMOVE/MRI.COMの利用. 測候時報, 第77巻, 特別号, S83-S93.
- 吉田久美・三浦大輔・高野洋雄 (2012) : 沿岸波浪モデルの統計的検証と改善について. 測候時報, 第79巻, 特別号, S73-S82.