



高潮予測の概要と 高潮事例の検証

令和6年3月

気象庁 大気海洋部

環境・海洋気象課 海洋気象情報室

令和5年度 予報技術研修テキスト

改訂履歴

2020年3月 令和元年度版作成

2021年3月 令和2年度版に更新

2022年3月 令和3年度版に更新

2023年3月 令和4年度版に更新

タイトルを「高潮ガイダンスとその利用」に変更

2023年度 令和5年度版に更新

タイトルを「高潮予測の概要と高潮事例の検証」に変更

令和5年度版の主な改訂事項

- 高潮ガイダンスの精度検証結果に本年7月に実施したWave Setup実験式改良を反映。
- 高潮ガイダンス改良計画の説明を更新。(78時間化を削除、Wave Setup実験式改良の説明を4章に移動。)

目次

1. はじめに
2. 高潮の基礎
3. 日本域高潮モデルの利用
4. 高潮ガイダンス
5. 事例検証
6. 高潮ガイダンス解釈のポイント
7. 高潮ガイダンスの改善に向けて
8. まとめ

1. はじめに

1. はじめに

- 日本は、高潮災害の危険性が高い地域(水深が浅い、南に開いた湾状地形)が多く、これまでもたびたび被害に見舞われてきた。
- 気象庁では、平成10年より高潮モデルを、平成27年より高潮ガイダンスを運用し、高潮警報・注意報発表のための基礎資料として利用している。
- 本テキストでは、高潮の基礎、高潮ガイダンスの概要・特性並びに利用上の留意点や、解釈のポイント等について解説する。
- なお、高潮モデルの詳細については、「数値予報解説資料集」も参照されたい。

1. はじめに

我が国は、水深が浅く南に開いた湾状地形が多く、高潮災害の危険性が高い地域が多い。そのため、高潮に関して正確かつ迅速な情報発表が、国民の生命・財産を守るために必要不可欠のものとなっている。

気象庁では、平成10年7月より高潮モデルを、平成27年3月より高潮ガイダンスの運用を開始した。高潮ガイダンスは、高潮モデルの結果に波浪効果(Wave Setup)や海況要因、浅海潮などの補正を行ったものであり、高潮警報・注意報の発表に関する基礎資料として利用している。令和元年12月からは、高潮ガイダンス格子点値の(一財)気象業務支援センターへの提供を開始した。

本テキストでは、高潮の基礎、高潮ガイダンスの概要・特性並びに利用上の留意点や、解釈のポイント等について解説する。また、顕著な高潮が観測された平成30年台風第21号及び台風第24号と、令和元年台風第19号について、事例検証の結果を紹介する。

なお、本テキストでは高潮モデルの概要についても一部触れるが、高潮モデルの詳細については「数値予報解説資料集」も参照されたい。

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpkaisetu/nwpkaisetu.html>

2. 高潮の基礎

2.1 高潮とは

- 主に台風など強い気象じょう乱に伴う気圧降下による海面の吸い上げ効果と風による海水の吹き寄せ効果のため、海面が異常に上昇する現象。(予報作業指針 予報用語)

$$\text{潮位} = \text{天文潮位} + \text{潮位偏差}$$

潮位: 基準面から測った海面の高さで、波浪など短い周期の変動を除去したもの。防災気象情報では「標高」で表す。最高潮位は災害の指標として用いる。

天文潮位: 気象の影響は含まれない。月や太陽の引力等により生じる海面の変動。

潮位偏差: 気象などの影響を受けた実際の潮位と天文潮位との差。潮位偏差の最大値(最大偏差)は、現象の規模を表すのに適している。

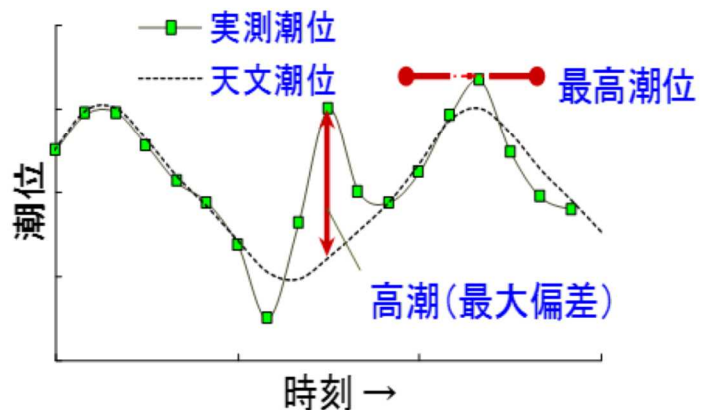


図2.1 潮位、高潮のイメージ

※一般に「3mの高潮」と表現する場合、最大偏差が3mであることを意味する。

2.1 高潮とは

高潮とは「主に台風など強い気象じょう乱に伴う気圧降下による海面の吸い上げ効果と風による海水の吹き寄せ効果のため、海面が異常に上昇する現象」である。

満潮・干潮のように月や太陽からの引力によって引き起こされる海水の上昇・下降を潮汐と言い、それに伴う潮位を天文潮位という。実際に観測される潮位には天文潮位のほかに、海面気圧の変化や海岸に強風が吹きつけることなど、気象要因により引き起こされる潮位の上昇・下降が重なっている(図2.1)。観測される潮位と天文潮位との差を潮位偏差と呼び、大きな正の潮位偏差は高潮と呼ばれる。潮位偏差は現象の規模を表すのに適している。一方、天文潮位と潮位偏差を足し合わせた潮位は、海面の実際の高さであるため、災害の指標として用いられる。

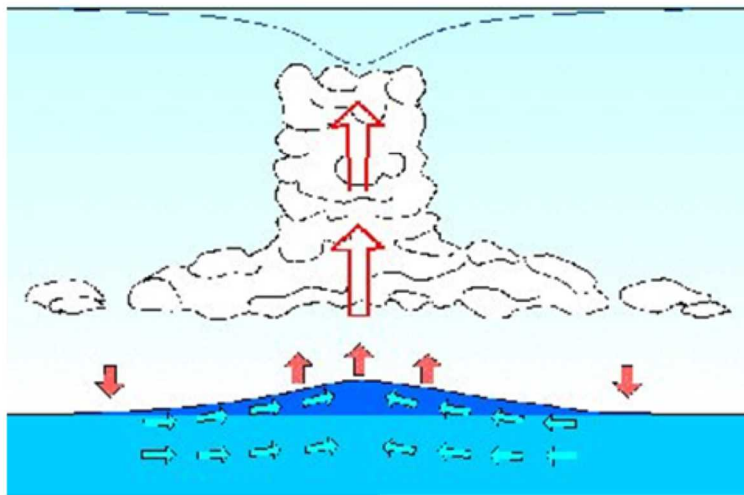
一般に「3mの高潮」と表現する場合、潮位偏差が3mであることを意味する。ただし、一般へのわかりやすさの観点から、高潮を定量的に表現する場合には、東京湾平均海面(Tokyo Peil: T.P.=「標高」の基準)上の最高潮位の値なのか、又は(天文潮位からの)潮位偏差の最大値を指しているのか、明示することが望ましい。

なお、「高潮偏差」と記述している資料をしばしば見かけるが、気象庁ではこの表現は使用していない。

2.2 高潮の要因

2.2.1 吸い上げ効果

- 気圧降下により海面が吸い上げられるように上昇する効果。**1hPaの気圧降下により約1cm上昇する。**



海面水位と気圧の静的
バランスを考えると

$$\rho g \Delta h \cdot S = \Delta p \cdot S \quad \text{式2.1}$$

ρ : 海水密度、 g : 重力加速度、
 Δh : 海面上昇量、 Δp : 気圧低下量、 S : 面積

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{1.0[\text{hPa}]}{1.0[\text{g/cm}^3] \times 9.8[\text{m/s}^2]} \cong 1.0[\text{cm}]$$

式2.2

図2.2 吸い上げ効果のイメージ

→ 1hPaの気圧低下 ≒ 1cmの海面上昇

2.2 高潮の要因

2.2.1 吸い上げ効果

台風や低気圧の中心では気圧が周辺より低いため、気圧の高い周辺の空気は海水を押し下げ、中心付近の空気が海水を吸い上げるように作用する結果、海面が上昇する。これを吸い上げ効果と呼ぶ(図2.2)。

この吸い上げ効果は、吸い上げられた水にかかる力の釣り合いから求めることができる。ある面積を持つ海水柱の真上に低気圧があると考え、海面上昇分の重力は、海水密度(ρ)、重力加速度(g)、海面上昇量(Δh)及び面積(S)より、 $\rho g \Delta h \cdot S$ と表される。これが面積(S)における気圧の減少分(Δp)と釣り合うことから、式2.1の関係(静水圧平衡の関係)が得られる。式2.1から海面上昇量(Δh)を求めると、式2.2により1hPaの気圧の減少により約1cm海面が上昇すると見積もることができる。

したがって、台風などの気象じょう乱接近前に1000hPaであったとして、気象じょう乱により気圧が970hPaに低下した場合、吸い上げ効果による海面上昇量は約30cmであると見積もられる。

2.2 高潮の要因

2.2.2 吹き寄せ効果

- 風により海水が海岸に吹き寄せられる効果。水位の上昇量は、**風速の2乗に比例し、水平距離が長く、水深が浅いほど大きい。**

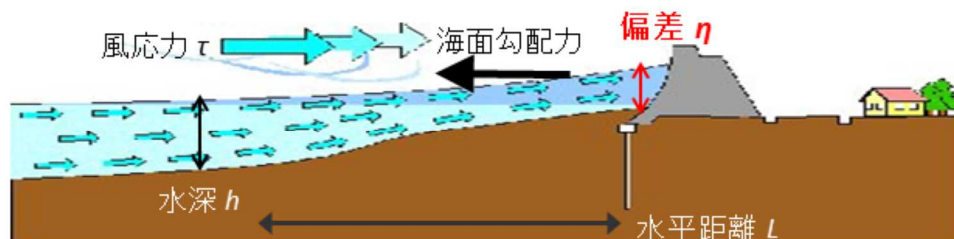


図2.3 吹き寄せ効果のイメージ

τ : 風応力(風速2乗に比例)、
 L : 水平距離、 h : 水深、 ρ : 海水密度

風応力と海面勾配力
のバランスから

$$g \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\tau}{\rho h} \quad \text{式2.3}$$

$$\eta = \int_0^L \frac{\tau}{\rho g h} dx = \frac{\tau}{\rho g h} \cdot L \quad \text{式2.4}$$

→ 風速の2乗に比例し、水平距離が長く、水深が浅いほど大きい。

2.2.2 吹き寄せ効果

台風や低気圧に伴う強い風が沖から海岸に向かって吹くと、海水は海岸に吹き寄せられ、海岸付近の海面が上昇する。これを吹き寄せ効果と呼ぶ(図2.3)この効果による潮位の上昇は風速の2乗に比例し、風速が2倍になれば海面上昇は4倍になる。また遠浅の海や、風が吹いてくる方向に開いた湾の場合、地形が海面上昇を増大させるように働き、特に潮位が高くなる。

この吹き寄せ効果は、海岸にかかる風応力が海面勾配による力と釣り合うことから求められる。吹き寄せ効果の模式図を図2.3に示す。図中右に海岸があり、左から右に向かって風が吹いているとする。このとき、海岸に吹きつける風による力は、風応力(τ)、海水密度(ρ)及び水深(h)より、 $\tau/\rho h$ と表される。一方海岸付近の海面上昇に伴う海面勾配による力は、重力加速度(g)、海面上昇量(η)及び海岸から風が吹いてくる方向の距離(x)より、 $g\delta\eta/\delta x$ と表されることから、両者のつり合いより、式2.3が得られる。式2.3から海面上昇量(η)を求めると、式2.4が得られる。ここでは海岸から沖合までの距離を L とした。風応力(τ)は風速の2乗に比例するので、式2.4の関係から「吹き寄せ効果による海面上昇量は、風速の2乗に比例し、水平距離に比例し、水深に反比例する」ことが分かる。

この関係より、水深が浅く、遠浅の海岸では吹き寄せ効果が大きく寄与することが分かる。

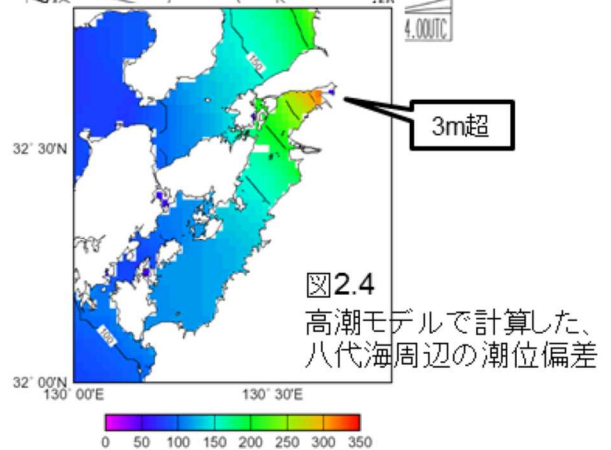
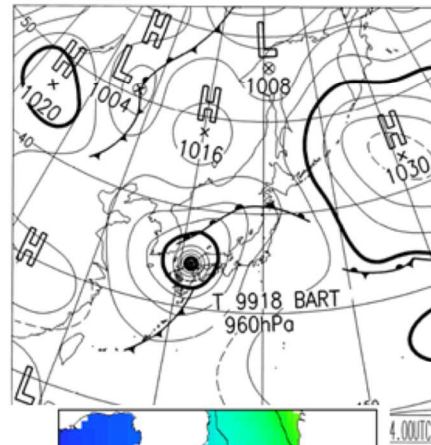
2.2 高潮の要因

2.2.2 吹き寄せ効果

- 平成11年台風第18号の例
 - 上陸時の中心気圧は950hPa程度。吸い上げ効果はせいぜい60cmにしかない。
 - しかし実際には3mもの高潮が発生した。
 - この差(約2.4m)は吹き寄せ効果によるものと考えられる。



高潮事例では、ほとんどの場合吹き寄せ効果が支配的



2.2.1で述べたように、吸い上げ効果については「海面気圧が1hPa降下→潮位が約1cm上昇」の関係が成り立つので、どんな強い台風でも吸い上げ効果による潮位上昇は高々数10cm～1mである。一方、過去に甚大な被害をもたらした高潮は数mを記録していることから、一般に吹き寄せ効果は吸い上げ効果よりも高潮への影響が支配的であると言える。

図2.4は、平成11年台風第18号により、八代海沿岸地域で浸水被害が起こった事例である。台風上陸時の中心気圧はおおよそ950hPaであり、吸い上げ効果は60cm程度であったと考えられるが、現地調査によると局地的には3mもの高潮が発生していた(気象庁技術報告第122号より)。この差約2.4mは吹き寄せ効果によるものと考えられ、高潮事例では吹き寄せ効果が支配的であることが分かる。

2.2 高潮の要因

2.2.3 その他の潮位上昇の要因

吸い上げ効果・吹き寄せ効果

高潮モデル(3節参照)で考慮

(1) 波浪効果 (Wave Setup)

高潮ガイダンス(4節参照)で考慮

- 波浪による潮位の上昇

(2) 海況要因

- 海流や暖水渦・冷水渦など、長期間に及ぶことがある。

(3) 副振動 (Seiche, Meteo-tsunami)

- 気象じょう乱により潮位が振動する現象

(4) 陸棚波

高潮ガイダンス(4節参照)で一部考慮

- 気象じょう乱等で生じた波動が等深線に沿って伝播する現象

(5) 河川水の流入との相互作用

- 河川上流で降水があると、流量が増大し、潮位が上昇する場合がある。

2.2.3 その他の潮位上昇の要因

これまで、高潮の主要因である吸い上げ効果及び吹き寄せ効果について述べたが、その他の潮位上昇の要因について説明する。なお、(1)の波浪効果(Wave Setup)以外は、高潮とは切り離して考えるべき現象もあるが、実際に高潮災害が起こる際はこれらの要因が複合して起こる場合があるため、本テキストでは同じ項で扱う。

(1) 波浪効果(Wave Setup)

外洋に面した海岸や島嶼部では、波浪が砕波する際に潮位が上昇する現象が見られることがあり、波浪効果(Wave Setup)と呼ばれている。Wave Setupを数値モデルで再現するためには数十mという空間解像度が必要なため、現業高潮モデルに組み込んではいない。ただし、過去の観測からWave Setupの影響が大きな地点は限られていることが分かっているので、高潮ガイダンスでは、別途実験式により見積もった値で補正している。詳細は第4節で述べる。

(2) 海況要因

海水温が高ければ、海水の熱膨張により海面は上昇し、海水温が低ければ下降する。温暖な海流や暖水渦・冷水渦などの海況の現象は比較的長期間に及ぶため、天文潮位に対して潮位のバイアスとなって現れる。高潮ガイダンスでは、数日前からのバイアスを補正值としている。詳細は4.2で述べる。

(3) 副振動

気象じょう乱が接近・通過する際、湾内の潮位が振動する現象が見られることがあり、これを副振動と呼んでいる。その振幅は1m以上になることがあり、漁船の転覆や低地での浸水などの被害が発生することがある。振動の周期は地形(例えば湾の幅や奥行きなど)に依存する。台風通過後に湾内で生じる周期数十分～数時間程度の副振動でかつ高潮モデルの解像度で表現可能であれば、振幅が過大ではあるものの、ある程度の再現は可能である。詳細は4.4を参照のこと。

(4) 陸棚波

台風や低気圧によって沿岸付近に励起された波動が、岸を右に見ながら陸棚に沿って伝播することがあり、これを陸棚波と呼んでいる。この現象は潮位を数10cm上昇させることがある。詳細は4.4を参照のこと。

(5) 河川水の流入との相互作用

河川上流で降水があると、河川流量が増大し、潮位が上昇する場合がある。特に海水の出入りが制限されるような閉鎖された湾内ではこのような現象が潮位に影響することがある。詳細は4.4を参照のこと。

2.3 波浪や津波との違い

- 高潮は津波と同じく浅水波
- 波浪との共通点
 - 外部重力波
 - 主な原因は気象じょう乱
- 波浪との相違点
 - 時間・空間スケール
 - 高潮: 個々の波動を数kmの格子で表現可能
 - 波浪: 格子より波長が短いのでスペクトルで表現
 - 影響の及ぶ場所
 - 高潮: 沿岸のみ
 - 波浪: 外洋・沿岸両方

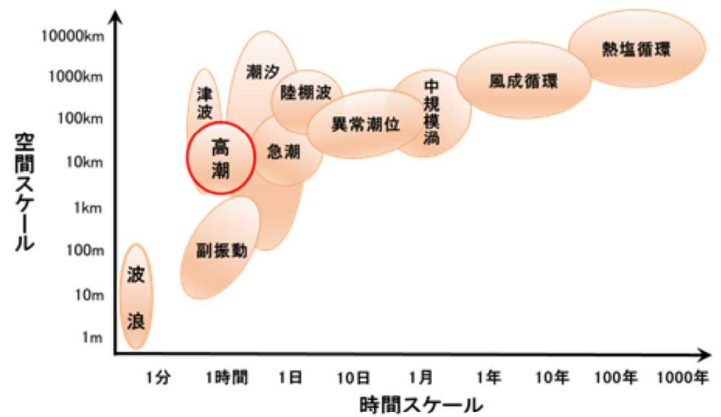


図2.5 海洋現象の時空間スケール

表2.1 高潮、波浪、津波の比較

	高潮	波浪	津波
原因	強風, 海面気圧 低下	強風	海底地震, 噴火など
性質	浅水波	深水波	浅水波
空間 スケール	10^5m	10^2m	$10^5\sim 6\text{m}$
時間 スケール	$10^2\sim 3\text{s}$	10^1s	10^2s

2.3 波浪や津波との違い

図2.5に主な海洋現象の時空間スケール、表2.1に高潮と波浪や津波との比較を示す。図2.5に赤丸で示したのが高潮の時空間スケールで、時間的にはおよそ数10分～数時間程度、空間的には数km～数10km程度のスケールを持ち、津波に近い現象であることが分かる。高潮は津波と同じく、波長が水深に比較して十分に大きい浅水波に分類される。波浪は、高潮と同様に主な原因が気象じょう乱であるが、時空間スケールが非常に小さい。高潮は個々の波動を数kmの格子で表現可能であるが、波浪は波長が短いため、数値モデルでは一般にスペクトルにより表現される。また、波浪は沿岸・外洋両方に影響を及ぼすが、高潮に関しては影響は沿岸域のみである(外洋でも高潮は起こるが、海岸で見られる吹き寄せ効果がないため潮位偏差が小さく、災害のリスクという観点では影響がない)。

2.4 高潮のリスク

2.4.1 台風進路及び地形の影響

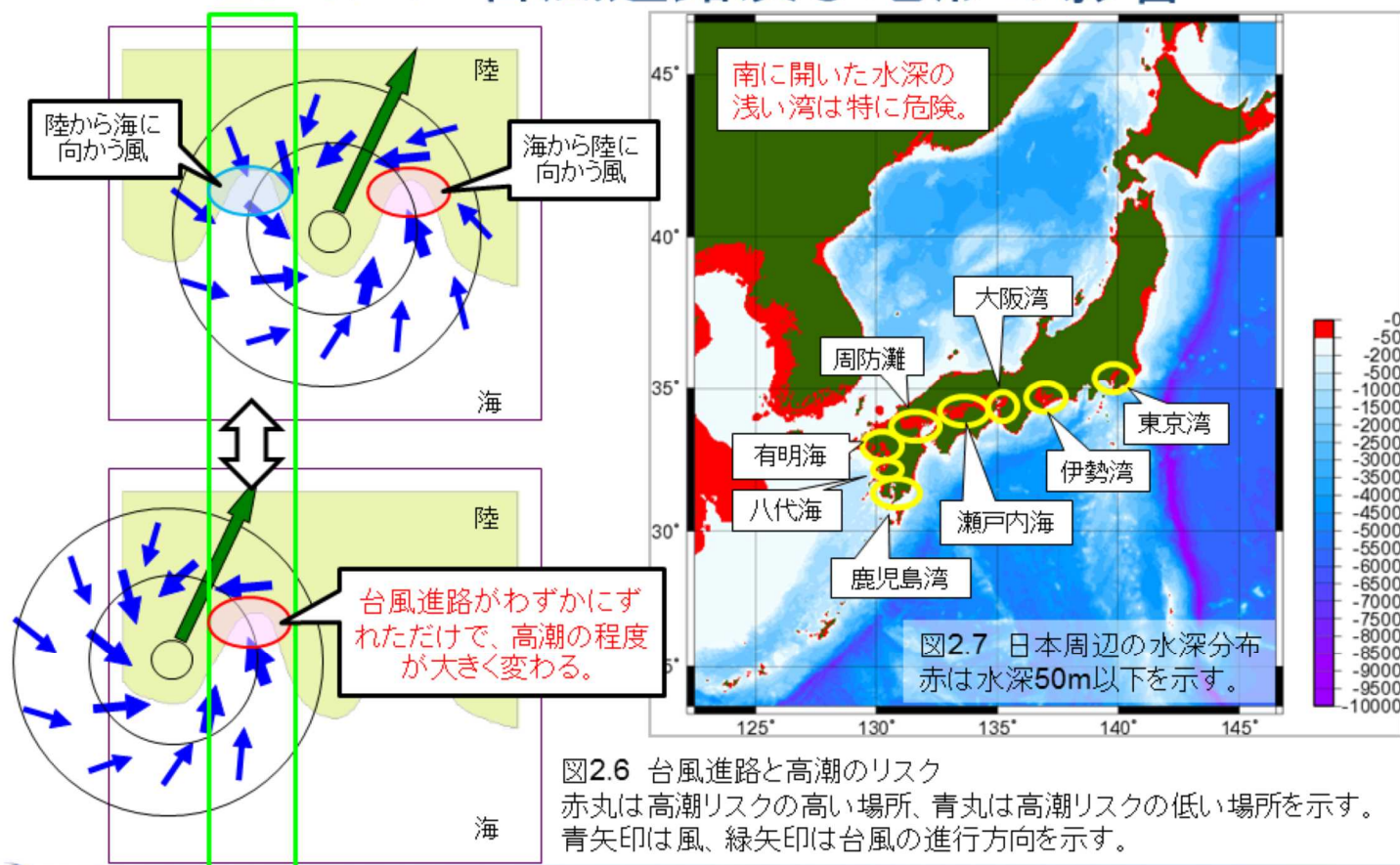


図2.6 台風進路と高潮のリスク

赤丸は高潮リスクの高い場所、青丸は高潮リスクの低い場所を示す。青矢印は風、緑矢印は台風の進行方向を示す。

2.4 高潮のリスク

2.4.1 台風進路及び地形の影響

一般に、高潮において吹き寄せ効果の影響が支配的であるため、台風に伴う高潮のリスクはその進路に大きく依存している。図2.6は台風上陸時の風向きを示した模式図である。一般に、台風の東側で南寄りの風、西側で北寄りの風となる。台風中心を境に風向きが逆になるため、進路がほんのわずかにずれただけで、図2.6に黄緑色の長方形の線で示す通り、地点によっては生じる潮位偏差の正負が変わるほどの影響が出ることが分かる(実際には、更に台風の移動速度が加算される)。吹き寄せ効果の性質を考慮すれば、南に開いた水深の浅い湾というのは特に危険であることが分かる。(図2.7参照)

2.4 高潮のリスク

2.4.2 潮汐の影響

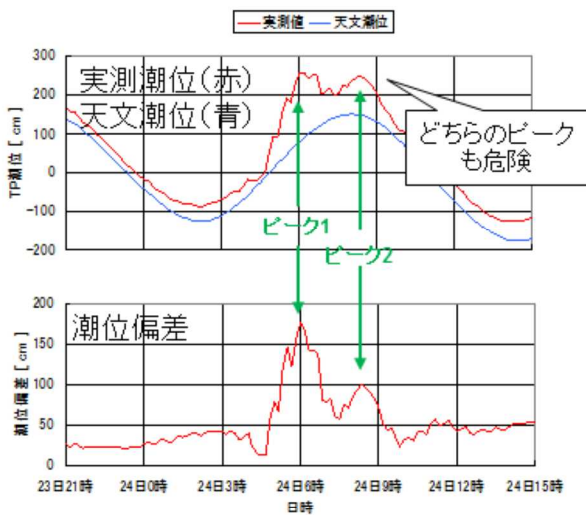


図2.8 平成11年台風第18号時の八代における潮位・潮位偏差時系列

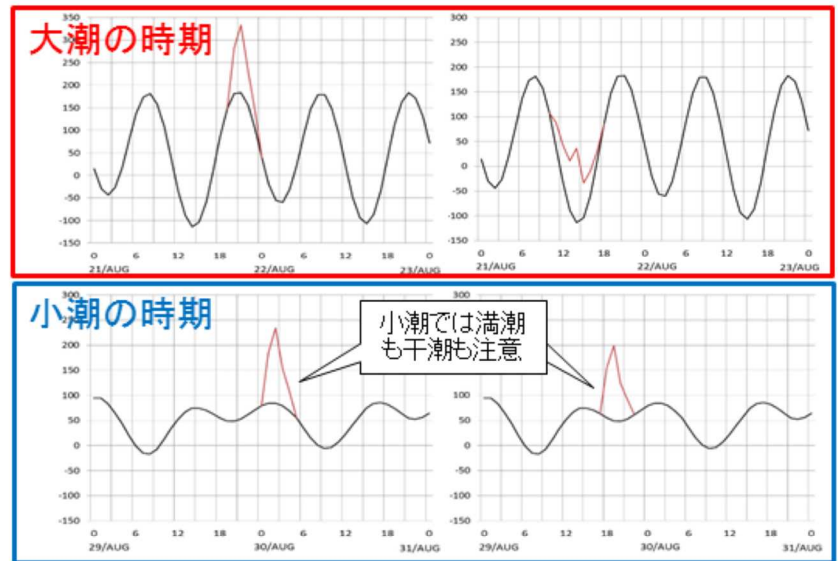


図2.9 大潮と小潮の時期における高潮リスクの比較
左は満潮時間帯に高潮が生じた場合、右は干潮時間帯に高潮が生じた場合。
黒線は天文潮位、赤線はそれに高潮が重なった場合の潮位を示す。

2.4.2 潮汐の影響

2.1で述べたように、災害時の指標として重要になってくるのは天文潮位※に潮位偏差を足し合わせた潮位である。

天文潮位の変動は地形や季節にもよるが、日本国内においてその振幅は最大で2.5m以上にもなる。そのため、最も危険となるのは満潮時間帯に高潮が重なる場合であるが、これを「満潮時間帯以外は安全である」と解釈するのは誤りである。図2.8は平成11年台風第18号時の、熊本県八代における潮位と潮位偏差時系列である。このとき潮位偏差(高潮)のピークは2回あり、1回目は満潮時間前に、2回目は満潮時間帯に起こった。1回目の潮位偏差のピークは2回目よりもかなり大きかったため、実際の潮位で見ると、1回目と2回目のピークはほぼ同程度の高さとなった。高潮被害の最も大きかった松合地区における現地での聞き取り調査によると、満潮時間帯(9月24日午前8時頃)よりも前の、午前5時30分頃に浸水が始まったという(気象庁技術報告第122号より)。

図2.9は、大潮・小潮の時期における満干潮時に高潮が重なったときの潮位を表す模式図である。大潮の時期においては満潮と干潮の差が大きくはっきりしており、満潮時間帯に高潮が重なると重大な災害に繋がるおそれがある。干潮時間帯に高潮が予想されていたとしても、予想される高潮発生時刻には誤差があるため、ピークが満潮時間帯にずれ込むリスクも考慮する必要がある(第6節参照)。小潮の時期では満干潮の差が小さく、場所によっては例え干潮時間帯でも、満潮時間帯と同程度に高潮災害の危険性が高くなる場合がある。

※天文潮位

天文潮位は潮汐に伴う潮位の変動である。潮汐を起す力(起潮力)は天体(月と太陽)と地球との間の引力と慣性力の合成で表され、大部分の運動は周期的であるため、起潮力は三角関数で表される様々な周期の成分の総和により計算することができる。この個々の周期の成分を分潮と呼び、各周期成分の振幅と遅角(天体の周期的な運動に対する遅れ具合)の値を調和定数と呼ぶ。気象庁では60個の分潮からなる潮汐調和定数を用いて、天文潮位の計算を行っている。天文潮位については、気象庁ホームページの解説(<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/suisan/explanation.html>)も参照されたい。

2.5 過去の高潮災害の例(昭和以降)

高潮の発生頻度は多くはないが、発生したときの被害は甚大。

※人的被害数及び建物被害数は高潮以外の要因によるものも含む

表2.2 過去の
主な高潮災害

年月日	主な被害地域	人的被害			建物被害			
		死者	行方不明	負傷者	全壊	半壊	流出	
1927. 9.13	有明海	373	66	181	1,420		791	
1934. 9.21	大阪湾	2,702	334	14,994	38,771	49,275	4,277	室戸台風
1942. 8.27	周防灘	891	267	1,438	33,283	66,486	2,605	
1945. 9.17	九州南部	2,076	1,046	2,329	58,432	55,006	2,546	枕崎台風
1950. 9. 3	大阪湾	393	141	26,062	17,062	101,792	2,069	ジェーン台風
1951.10.14	九州南部	572	371	2,644	21,527	47,948	3,178	ルース台風
1959. 9.26	伊勢湾	4,697	401	38,921	38,921	113,052	4,703	伊勢湾台風
1961. 9.16	大阪湾	185	15	3,879	13,292	40,954	536	第2室戸台風
1970. 8.21	土佐湾	12	1	352	811	3,628	40	台風第10号
1985. 8.30	有明海	3	0	16	0	589	—	台風第13号
1999. 9.24	八代海	12	0	10	52	99	—	台風第18号
2004. 8.30	瀬戸内海	3	0	22	2	9	—	台風第16号

出典：平成17年度版
防災白書(内閣府)

年月日	主な被害地域	人的被害			住家被害			
		死者	行方不明	負傷者	全壊	半壊	床上浸水	
2018. 9. 4	大阪湾	14		980	68	833	244	台風第21号

出典：令和3年版
防災白書附属資料
(内閣府)

2.5 高潮災害の例

高潮の発生頻度は必ずしも多くはないが、ひとたび発生すると甚大な被害をもたらすことがある。日本国内における昭和以降の主な高潮被害を表2.2に示す。(人的被害数及び建物被害数は高潮以外の要因によるものも含む。)

1959年(昭和34年)9月26日夕刻に紀伊半島先端に上陸した台風第15号(伊勢湾台風)では、台風災害としては明治以降最多の死者・行方不明者数5,098名に及ぶ被害が生じた。この台風による犠牲者は全国32道府県に及んだが、その83%は高潮の発生によって愛知・三重の2県に集中した。(内閣府 災害教訓の継承に関する専門調査会報告書より)

2018年(平成30年)9月4日に近畿地方を縦断した台風第21号では、大阪湾と紀伊水道の沿岸で顕著な高潮と高波が発生し、関西国際空港では滑走路の冠水などの被害が発生した。高潮で潮位が高くなっているときに高波があると、浸水被害が拡大することがあるので注意が必要である。

また、高潮は、台風だけでなく、温帯低気圧により発生する場合もある。2014年(平成26年)12月には、急速に発達した温帯低気圧の影響により、北海道根室市を中心に高潮が発生し、根室市街地では、床上浸水87戸、床下浸水10戸などの被害が発生した。(国土交通省 高潮水防の強化に関する技術検討委員会資料より)このように、台風だけでなく、急速に発達する温帯低気圧等により発生する高潮にも注意が必要である。

2.6 3分平均値と平滑値

3分平均値: 各潮位観測点で観測された潮位データ(実測潮位)から、波浪などの周期が3分までの成分を除いた潮位。

平滑値: 各潮位観測点で観測された潮位データ(実測潮位)から、副振動や津波、波浪などの周期が約3時間までの成分を除いた潮位。潮の満ち引きなど、潮位の平均的な変動を示すのに適する。

気象庁では、台風の移動が速く潮位が短時間で急激に変化した平成30年台風第21号での高潮を契機に、防災上の観点から、高潮の最高潮位には**3分平均値**を使用することとした。

1時間程度で潮位が急激に上昇・下降。
平滑値では捉えられていない。

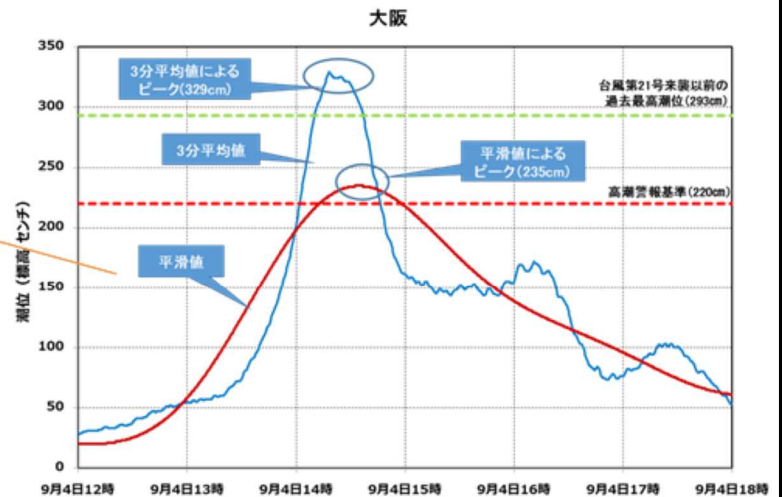


図2.10 平成30年台風第21号時の大阪の潮位
青線は3分平均値、赤線は平滑値。

2.6 3分平均値と平滑値

最後に、潮位データの3分平均値と平滑値について説明する。気象庁では、その目的に応じて、2種類の潮位データを作成し、防災気象情報の発表等に利用している。各データの概要は次のとおりである。

3分平均値: 各潮位観測点で観測された潮位データ(実測潮位)から、波浪などの周期が3分までの成分を除いた潮位。

平滑値: 各潮位観測点で観測された潮位データ(実測潮位)から、副振動や津波、波浪などの周期が約3時間までの成分を除いた潮位。潮の満ち引きなど、潮位の平均的な変動を示すのに適する。

気象庁では従来、高潮の最高潮位の記録には、平滑値を用いてきた。しかし、平成30年台風第21号では、台風の移動が速く、大阪湾を中心に潮位が短時間で急激に変化したため、従来の平滑値では、高潮の規模を適切に表現できないことがわかった(図2.10)。このため気象庁では、この台風を契機に、防災上の観点から、高潮の最高潮位には3分平均値を使用することとした。

本テキストでは、特に断りが無い限り、気象庁及び海上保安庁が所管する検潮所の観測値は3分平均値を用いている。(その他の機関が所管する検潮所の観測値は観測した潮位そのままの値を用いている。)

参考文献

- 気象庁, 2000: 平成11年(1999年)台風第18号高潮災害調査報告. 気象庁技術報告第122号.
- 内閣府, 2021: 令和3年度防災白書, 附属資料9
- 内閣府, 2005: 平成17年度版防災白書, 表2-40-20
- 内閣府, 2008: 1959伊勢湾台風報告書, 中央防災会議 災害教訓の継承に関する専門調査会
- 国土交通省, 2014: 第1回 高潮水防の強化に関する技術検討委員会, 資料3 高潮に関する最近の状況、今後の水防強化の方向性について

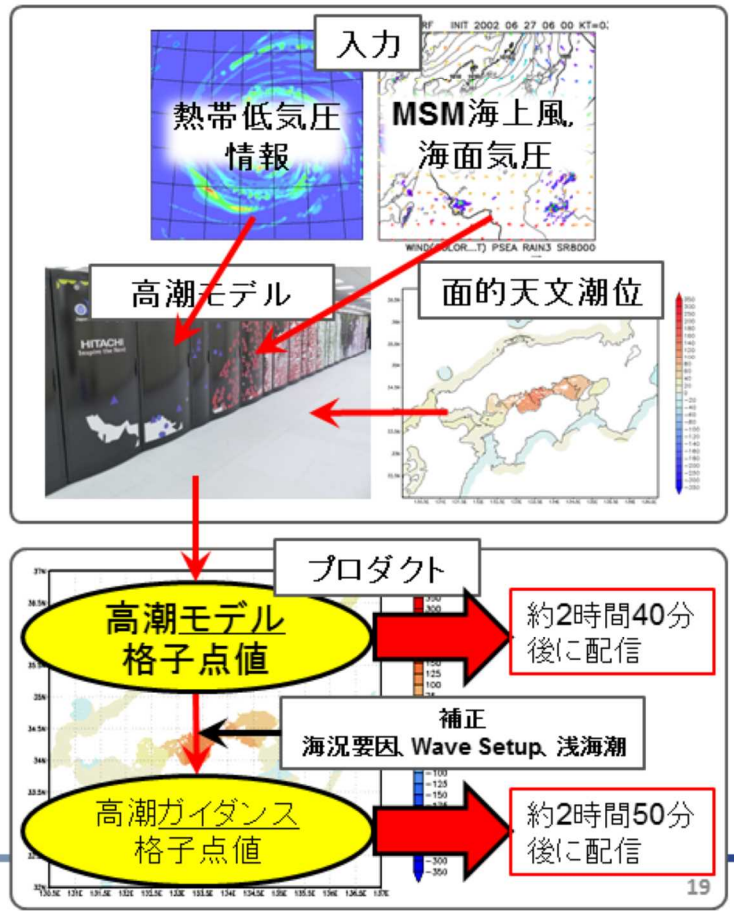
3. 日本域高潮モデルの利用

3. 1 日本域高潮モデルの利用

3. 1. 1 高潮モデルの概要

表3.1 日本域高潮モデルのスペック

離散化手法	有限差分, 陽解法
座標系	緯度・経度座標
格子系	スタaggered格子 (Arakawa C), アダプティブメッシュ (AMR)
空間解像度	沿岸から離れるにつれ 5段階に変化(約1,2,4,8,16km)
計算領域	20N~50N, 117.4E~150E
時間差分間隔	4秒
予報時間	78時間(00,12UTC) 39時間(03,06,09,15,18,21UTC)
メンバー数	台風時6 (MSM+ポーガス×5) 非台風時1 (MSM)
実行頻度	1日8回 (00,03,06,09,12,15,18,21UTC)
計算時間	XC50で最大約150秒 (1ノード/1メンバー)



3. 1 日本域高潮モデルの利用 3. 1. 1 高潮モデルの概要

日本域高潮モデルの詳細については、数値予報解説資料集を参照頂きたい。ここでは概要のみ簡潔に説明する。

日本域高潮モデルの仕様を表3.1に示す。計算領域は日本の国土ほぼ全てをカバーしており、1日8回実行される(00,03,06,09,12,15,18,21UTC初期値)。予報時間は00,12UTC初期値が78時間(2022年8月に予報時間延長を実施。2023年7月に39時間先以降の予測の部外配信を開始。)、その他の初期値が39時間となっている。高潮モデルの計算には入力データとして、気象庁発表の台風予報と同じ内容の、予報課が作成する熱帯低気圧情報(実況解析値、予報値)と、気象庁のメソモデル(以下MSM、<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-6.html>)の海上風、海面気圧を必要とする。

メンバー数は、非台風時はMSMの風・気圧場を使用した1通りの予測計算を行う。一方、台風時(台風が予報時間内に日本の沿岸300km以内を通過する場合)は、MSMによる1通りの計算に加え、熱帯低気圧情報に基づき作成した仮想的な台風周辺の風・気圧場(以下、台風ポーガス)を用いた5通りの計算(それぞれ異なる台風コースを設定)も行う。台風コースは、予報円中心上を通るコース(ポーガス中央コース)と、予報円周辺上(早い、右、遅い、左)を通る4コース(ポーガス周辺コース)を設定する。高潮が発生する場所や規模は台風進路に大きく影響を受けるため、状況に応じた使い分けや、潜在的なリスク評価が可能となるよう、台風時は複数コースでの計算を行っている。

高潮モデルの予測対象は潮位ではなく潮位偏差である。計算された潮位偏差に面的天文潮位(一般に、天文潮位は観測値の存在する地点において調和解析することで算出されるが、データ同化などの技術を用いて、任意の地点で天文潮位を算出することができる。詳細は3.2を参照のこと。)を加算し、「高潮モデル格子点値」として、初期時刻から約2時間40分後に配信している。

第2節の図2.5で示したように、様々な海洋現象の時空間スケールにおいて、高潮は一部を占めるにすぎない。高潮モデルでターゲットとしているのは、図2.5の赤丸で示した部分(空間スケール数km~数10km、時間スケール数10分~数時間)で、吸い上げ効果や吹き寄せ効果が該当する。波浪効果(Wave Setup)や海況要因、浅海潮といった、高潮モデルで考慮していない現象の影響は別途見積もり、上述の高潮モデル格子点値を補正して「高潮ガイダンス格子点値」とし、初期時刻から約2時間50分後に配信している。高潮ガイダンスについては第4節を参照のこと。

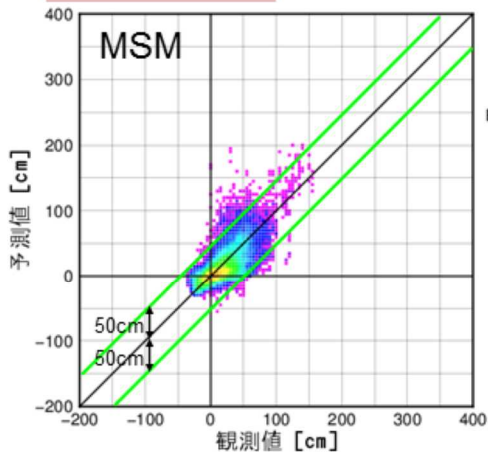
(参考)数値予報解説資料集

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpkaisetu/nwpkaisetu.html>

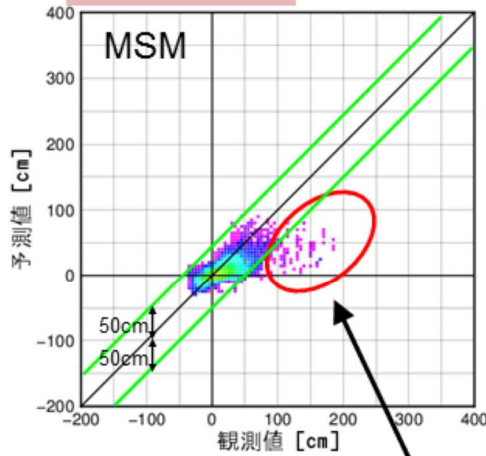
3. 1 日本域高潮モデルの利用

3. 1. 2 高潮モデルの特性(地点別)

内湾地点



外洋地点

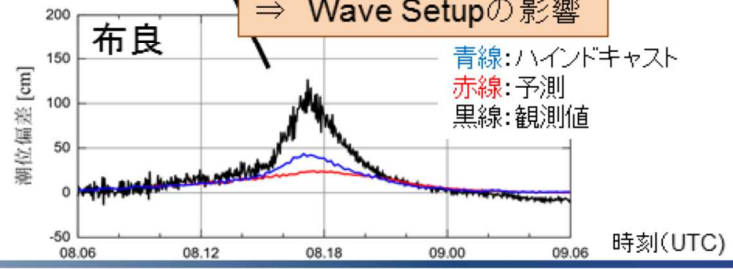


(左)図3.1:日本域高潮モデル(MSMコース)の内湾(左)及び外洋(右)地点に対する潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図。Wave Setupの計算対象となっている地点(図4.3参照)を外洋、それ以外を内湾地点と定義。
検証期間:2019年7月-2021年10月の台風接近・通過時
予報時間:FT=25~39
観測値:国内約200地点の潮位観測点(気象庁ほか、港湾局や海上保安庁、国土地理院が運用)の観測値(気象庁及び海上保安庁地点は3分平均値)を使用。3時間最大値での比較。

±50cm以内から外れたデータが存在
⇒ 海況要因の影響

高潮モデルでは、海況要因やWave Setupの影響を考慮していない。
⇒これらの影響を、高潮ガイダンスで補正する。

過小予測が顕著
⇒ Wave Setupの影響



3. 1. 2 高潮モデルの特性(地点別)

高潮モデルの特性を簡潔に説明する。まず地点別の特性である。

図3.1は、2019年7月～2021年10月に台風が接近・通過したときに(全885初期値)、高潮モデルにより予測された潮位偏差(MSMコース)と、日本国内約200地点の潮位観測点の観測値(気象庁、海上保安庁地点は3分平均値を利用)による潮位偏差の散布図を、内湾地点と外洋地点(外洋に面した沿岸地点)に分けて示したものである。ここで、Wave Setup(波浪効果)の計算対象となっている地点(図4.3参照)を外洋、それ以外を内湾地点と定義している。

まず、内湾地点については、散布図に示されているように、潮位偏差の誤差は概ね緑線で示された±50cm以内に収まっているが、この範囲から外れたデータもみられる。これは、高潮モデルで直接考慮していない海況要因による影響と考えられる。

次に外洋地点に注目すると、赤丸で示した領域のように、過小予測の傾向が顕著になっていることが分かる。これは、高潮モデルで直接考慮していないWave Setup(波浪効果)の影響と考えられる。一例として、図3.2に2019年台風第15号時の布良(千葉県)における潮位偏差時系列図を示す。青線(ハインドキャスト※)及び赤線(予測)が、黒線(観測値)と比べかなりの過小予測となっていることが分かる。

4節で説明する高潮ガイダンスでは、これら海況要因やWave Setupの影響を補正している。

※ハインドキャスト

高潮モデルで計算するにあたり、外力として気象場(MSM)の予測値ではなく解析値のみを用いて計算を行ったもの。

3. 1 日本域高潮モデルの利用

3. 1. 3 高潮モデルの特性(外力別)

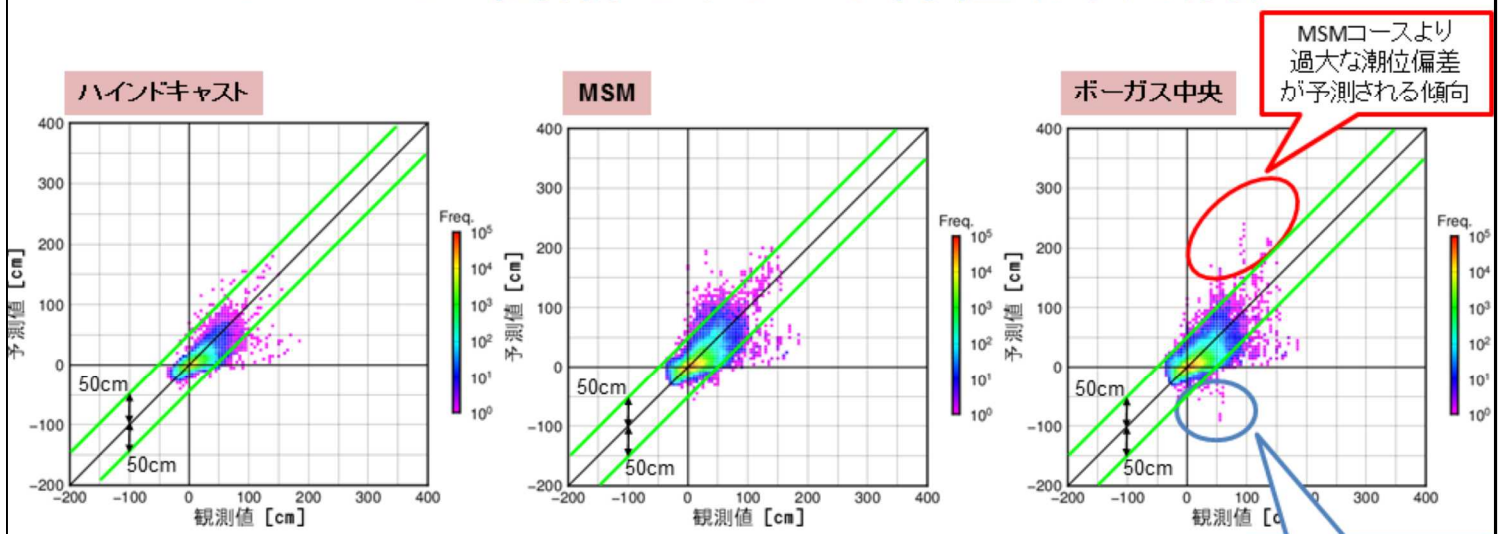


図3.3 日本域高潮モデルのハインドキャスト(左)、MSMコース(中)、及びボーガス中央コース(右)における潮位偏差観測値(X軸)とモデル計算(Y軸)の散布図。検証期間、観測値、中図と右図の予報時間は図3.1と同じ。

MSMの方がボーガス中央コースよりも全体的な精度は良い。

台風ボーガスでは地形の摩擦の影響が十分には取り込まれていないこと、台風が中緯度まで北上したことにより、典型的な台風の構造から変化することを考慮していないことが主な原因と考えられる。

3. 1. 3 高潮モデルの特性(外力別)

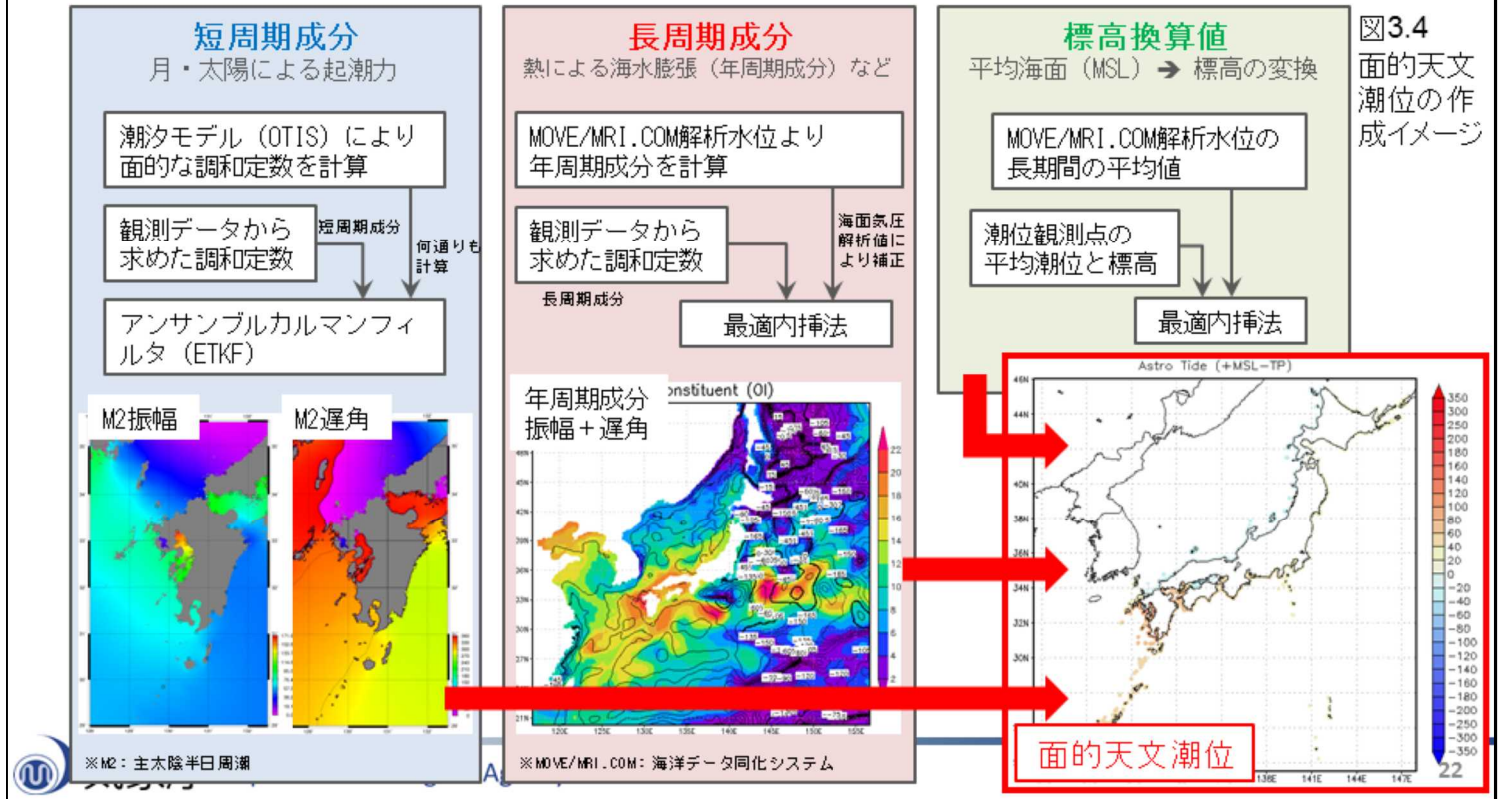
次に、外力別の特性である。図3.3は、高潮モデルのハインドキャスト(左)、MSMコース(中)及びボーガス中央コース(右)における潮位偏差の散布図であり、検証期間や用いた観測データは図3.1と同じである。MSMコースと比較すると、ボーガス中央コースでは、観測値100cm前後に対し200cmを超える過大予測があったことが示されている(赤丸)。ハインドキャストと比較すると、MSMコースも過大傾向が見られるものの、全体的にはボーガス中央コースの方がより過大評価傾向であり、MSMコースの方が実況からの誤差が小さいと言える。また、ボーガス中央コースでは、負の潮位偏差も過大傾向がある。(青丸)

このように台風ボーガスによる高潮の予測誤差が大きいのは、台風ボーガスで仮定している風の場の推定法では地形の摩擦の影響が十分には取り込まれていないこと、台風が中緯度まで北上したことにより、典型的な台風の構造から変化することを考慮していないことが主な原因と考えられる。

3.2 面的天文潮位

3.2.1 面的天文潮位の概要

- 一般に、天文潮位は観測データを調和解析して地点ごとにのみ求まるが、気象庁ではデータ同化により、観測データがない地点でも天文潮位が求められる手法を開発した。
- 面的天文潮位は28分潮(短周期・長周期成分)からなり、浅海潮は含まない。(ガイダンスで補正)



3.2 面的天文潮位

3.2.1 面的天文潮位の概要

高潮モデルは潮位偏差のみの計算を行っている。このため、高潮警報・注意報の基準値と同じく標高で表した潮位として予測値を作成するには、潮位偏差に天文潮位を加算し、標高に換算する必要がある。日本の全ての海岸線に沿った連続的な天文潮位を得るために、面的天文潮位を使用する。面的天文潮位は、オレゴン州立大学の潮汐モデル(Egbert et al., 2002)の計算結果をベースとして、潮位観測点の潮汐調和定数をアンサンブル変換カルマンフィルタにより同化して、面的に求めた潮汐調和定数から計算されている。ただし、上記潮汐モデルに含まれていない年周期成分の潮汐調和定数については別途、海洋データ同化システム(MOVE/MRI.COM) (石崎ほか, 2009)の海面高度解析値を調和解析したものをベースに、長期大気再解析(JRA-55)の海面気圧解析値により気圧補正し、潮位観測点の潮汐調和定数を最適内挿法により同化した結果を使用している。

分潮や潮汐調和定数、振幅、遅角等の用語については、2.4.2項を参照。

面的天文潮位の計算に用いた海底地形は、高潮モデルと同じ1km格子となっており、1km格子毎に各周期成分の潮汐調和定数について振幅と遅角を事前に計算しておき、格子点毎に天文潮位の計算を行っている。詳細については、高佐ほか(2011)を参照されたい。

また、面的天文潮位は28分潮(短周期・長周期成分)からなり、浅海潮(面的天文潮位の計算に含まれていない半日より短い周期の成分で、浅海域で発達しやすい。詳細は4.2参照。)は含まない。浅海潮の影響については、高潮ガイダンスで考慮している。詳細は第4節を参照。

なお、面的天文潮位の計算に用いる調和定数は5年ごとに、平均潮位は毎年、最新の観測データを用いて更新している。直近では、令和5年1月に調和定数及び平均潮位の更新を行った。

3.2 面的天文潮位

3.2.2 面的天文潮位の精度

面的天文潮位と地点天文潮位の1年分の毎時潮位の差の二乗平均平方根誤差(RMSE)

- 外洋に面した地点では3cm以内
- 内湾で大きい
- 以下の場所で特に大きい傾向
→大きいところで10-15cm程度の誤差がある。

- 湾奥部
- 瀬戸内海中央部
- 潮流が大きい海峡等
 - 湾奥で小さい海域もある(東京湾、伊勢湾等)



浅海潮補正

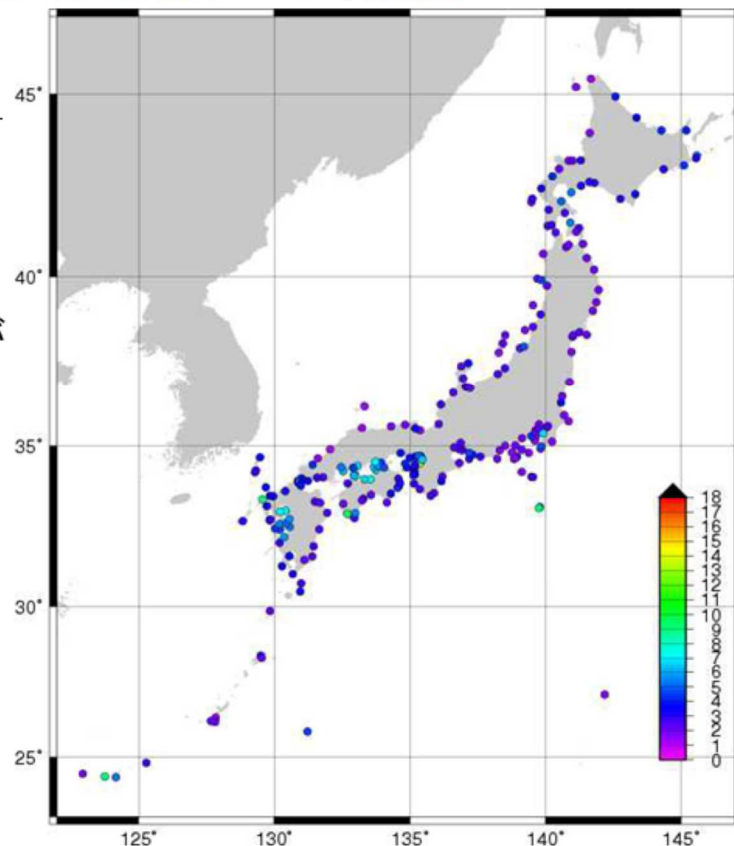


図3.5 面的天文潮位と地点天文潮位の違い

3.2 面的天文潮位

3.2.2 面的天文潮位の精度

地点天文潮位(潮位観測点の潮汐調和定数による天文潮位)と、それぞれの地点の最寄りの格子点における面的天文潮位について、両者の差の二乗平均平方根誤差(RMSE)を求めた結果を図3.5に表す。浅海潮が相対的に大きい瀬戸内海や有明海でRMSEが大きくなる傾向がある。誤差は大きいところで10-15cm程度になる。

長期観測している地点で、面的天文潮位と地点天文潮位とのズレを求め、これを補正量として高潮ガイダンスで考慮している。詳細は第4節を参照。

参考文献

- 気象庁情報基盤部, 2022: 令和4年度数値予報解説資料集
- 林原, 2011: 気象庁の高潮数値予測モデルについて, 天気, 58, 235-240.
- JMA, 2022: Outline of the operational numerical weather prediction at the Japan Meteorological Agency.
- Egbert, G. D. and S. Y. Erofeeva, 2002: Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19, 183-204.
- 石崎ほか, 2009: MOVE/MRI.COMの概要と現業システムの構築, 測候時報, 76, 特別号, S1-S14
- 高佐, 近澤, 森, 2011: 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.
- 桑木野, 熊谷, 1983: 潮汐の調和定数と予報精度, 水路部研究報告, 18, 68-70.

4. 高潮ガイダンス

4.1 高潮ガイダンスの概要

高潮モデルの補正

高潮モデルで考慮されていない下記の要因について、それぞれ補正量を算出し、高潮モデルに加算することで、高潮ガイダンスを作成している。

- 波浪効果 (Wave Setup) による補正
- 浅海潮による補正
- 海況要因による補正

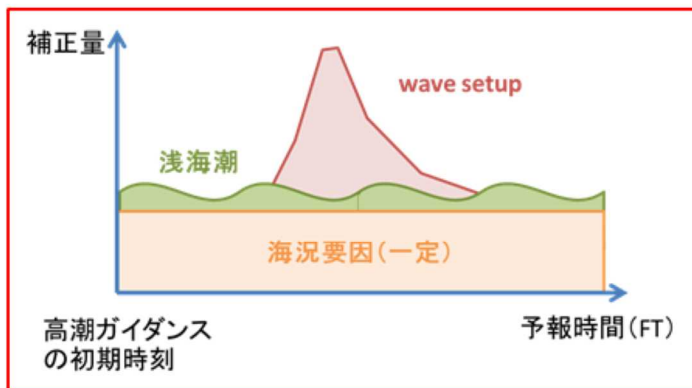


図4.1 高潮モデルの補正のイメージ

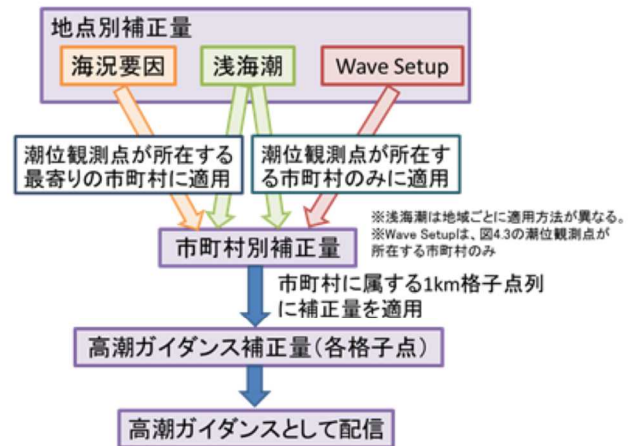


図4.2 高潮モデル補正の流れ

4.1 高潮ガイダンスの概要

第3節で述べた高潮モデルでは考慮されない要因及び面的天文潮位の特性により、潮位の予測が実際からずれてしまうことがある。このため、これら要因の効果を経験式等をもとに見積もり、これらを補正量としてモデル予測値に加えた「高潮ガイダンス」を用いることで、よりの確に潮位の予測を行う。

高潮モデルの予測のずれを補正するため、影響の大きな3つの要因(波浪効果 (Wave Setup)、浅海潮、海況要因)を考慮する。これらの要因による補正量をそれぞれ足し合わせることで、高潮ガイダンスを作成している。なお、高潮モデル自体の精度や気象の予測精度に起因する要因については定量的に補正することが困難であるため、考慮していない。

図4.1には、高潮モデルを補正し、高潮ガイダンスを作成するイメージ図を示す。縦軸には高潮モデルの初期値に加える補正量、横軸には予報時間を示す。高潮モデルの初期値に、Wave Setupによる補正や、浅海潮による補正、海況要因による補正を加えて、高潮ガイダンスを作成している。なお、4.2項でも記載するが、海況要因はゆっくり変動することから、海況要因による補正量はモデルのその初期値において、予報時間によらず一定量で補正している。

図4.2には、高潮モデルを補正するための補正量を算出し、高潮モデルに加えることで、高潮ガイダンスを作成する流れを図に示す。まず、Wave Setup、浅海潮、海況要因、それぞれの補正量を算出する。Wave Setupによる補正量は潮位観測点が所在する市町村のみに適用(後述の図4.3の潮位観測点が所在する市町村のみに適用)し、海況要因による補正量は潮位観測点が所在する最寄りの市町村に適用(潮位観測点が所在しない市町村にも適用)する。浅海潮による補正量は、各地域の潮汐の特性等により、潮位観測点が所在する市町村のみに適用するか、最寄りの市町村へも適用するか、適用方法が異なる。これらを合わせて市町村別補正量を算出し、市町村に属する1km格子点別に適用して、各格子点における高潮モデル補正量を求める。この高潮モデル補正量を高潮モデルの予測結果に加算して、高潮ガイダンスを作成・配信している。

4.2 補正方法1 (Wave Setup)

Wave Setup

過去の事例に基づき、Wave Setupによる潮位上昇の観測実績がある地点(図4.3の赤丸)については、Wave Setup量(Z)と有義波高(H)の関係を以下のような実験式として求める。

$$Z = aH^2 + bH + c \quad (\text{式4.1})$$

最新初期時刻の沿岸波浪モデルによる有義波高の毎時の予測値を実験式に代入してWave Setup量を求め、補正量とする。なお、Wave Setupモデルを用いて補正量を求めている地点もある(図4.3の緑三角)。

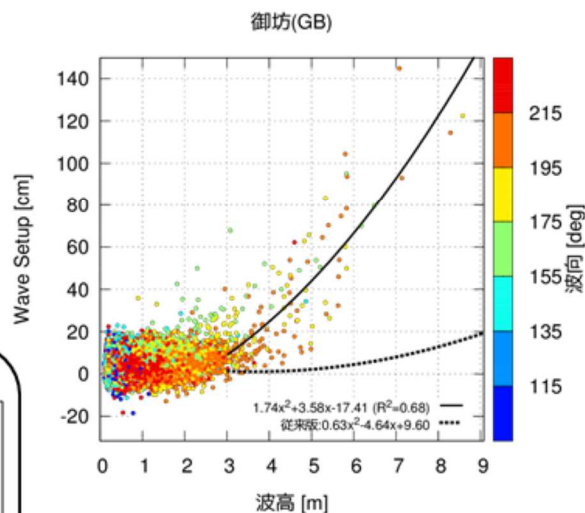
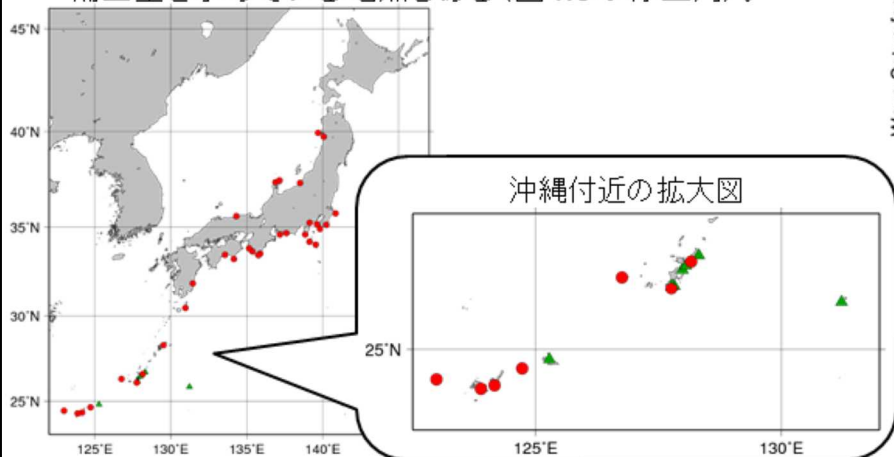


図4.4 御坊における波浪モデルの波高とWave Setup観測値の分布
実線は2023年に導入した実験式で、点線は旧実験式

4.2 補正方法1 (Wave Setup)

3.1.2項で述べたように、Wave Setupによる潮位上昇は高潮モデルで考慮されていない。そのため、台風や低気圧通過時には、外洋に面した沿岸や島しょ部で、高潮モデルが顕著な過小評価傾向を示すことがある。

このWave Setupが起こりやすい場所は統計的にわかっており、図4.3で赤丸で示される潮位観測点(32地点)では、過去の事例から実験式が求められている。各潮位観測点での実験式は付録-2-1に示す。

これらの潮位観測点では、最新初期時刻の沿岸波浪モデルによる有義波高の予測値を、各地点ごとに求められている実験式(式4.1)に代入して計算した結果を補正量 Z とする。この補正量 Z を高潮モデルに補正量として適用する。

図4.4は、御坊における波高とWave Setup量の分布の図である。縦軸: 潮位観測点のWave Setup観測値[cm]、横軸: 沿岸波浪モデルでの有義波高[m]、カラーバー: 沿岸波浪モデルでの波向き[度] である。この関係から求めた黒線の実験式に沿岸波浪モデルの有義波高予測値を代入し、Wave Setup量[cm]を予測する。

また、Wave Setupの計算地点は、実験式によって求めている図4.3に赤丸の地点以外にも、Wave Setupモデルで計算している地点もある(緑三角の地点)。Wave Setupモデルについて、詳細は(近澤, 2015)を参照いただきたい。

なお、Wave Setupは局所性が大きいため、この補正量は図4.3に示す潮位観測点が所在する市町村の1km格子点列のみに適用する。

4.2 補正方法1 (Wave Setup)

2015年3月10日～11日にかけての発達した低気圧の事例

表4.1 2015年3月10日09時(JST)初期値の能登のWave Setup補正量(cm)

能登のwave setup補正量(cm)																																										
2015年3月10日												3月11日																														
9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時			
0	0	5	10	15	15	20	25	25	25	30	30	30	30	35	35	35	35	35	35	35	35	35	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	25	25

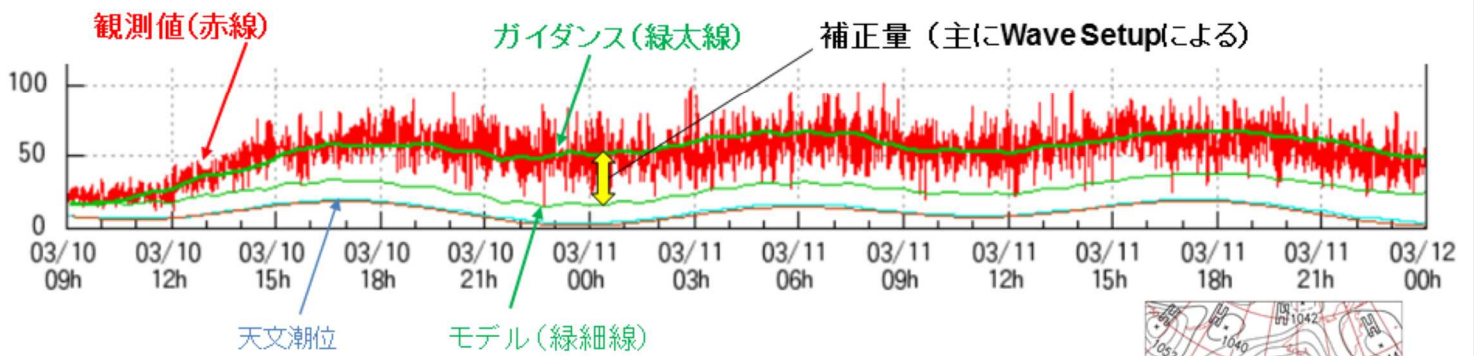


図4.6 2015年3月10日09時～11日24時にかけての能登の潮位変動

モデル(緑細線)に30cm程度の補正量を加えられたことで、ガイダンス(緑太線)は、より観測値(赤線)に近い値となっている。

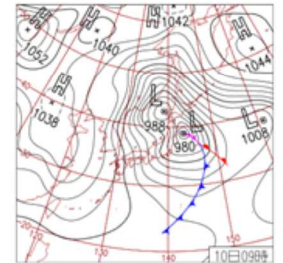


図4.5 2015年3月10日09時の地上天気図

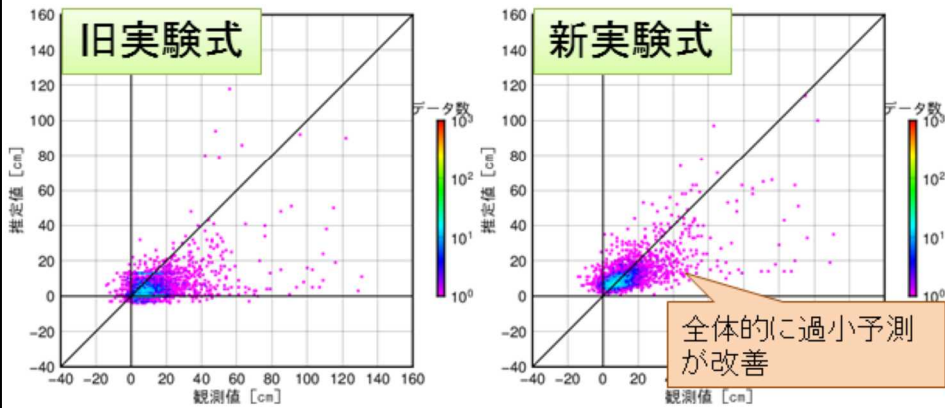
4.2 補正方法1 (Wave Setup)

2015年3月10日から11日にかけての発達した低気圧に伴う、能登のWave Setupによる潮位上昇分の補正例を示す。図4.5は2015年3月10日09時の地上天気図で、低気圧が日本付近を発達しながら通過したため、能登では北北西～北西の風により風浪が発達し、波高が6mを超える大しけとなった。表4.1は2015年3月10日09時(JST)初期値のモデルに対するWave Setupによる補正量を示したもので、10日から11日にかけて、最大で35cmの補正が加えられていることが分かる。図4.6は2015年3月10日09時から11日24時にかけての能登の潮位変動を示した図で、赤線が観測値、緑太線がガイダンス値、緑細線がモデル値を示している。これを見ると、モデル値はWave Setupが考慮されていないため、観測値に対し過小となっているが、30cm程度の補正量を加えられることで、ガイダンス値は観測値により近い値となっていることが分かる。

なお、この期間、能登における海況要因及び浅海潮による補正量(後述)はいずれもほぼ0であり、補正量は主にWave Setupによるものである。

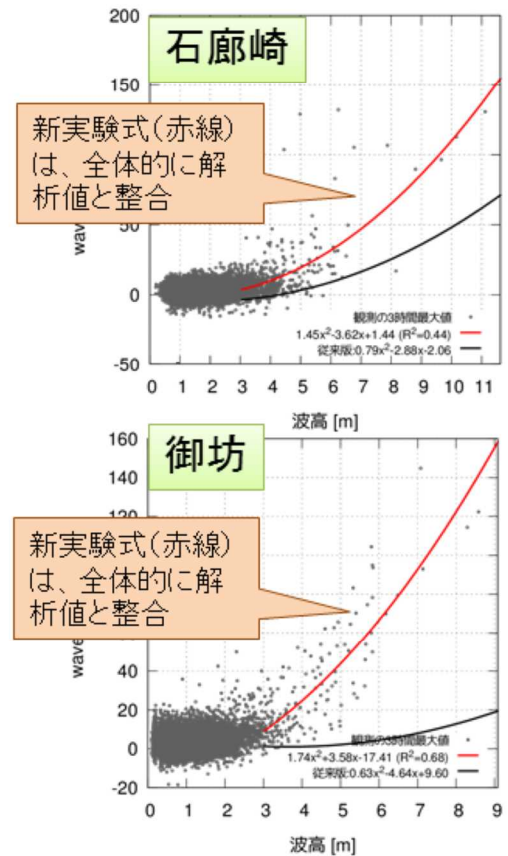
Wave Setup 実験式の改良

- 2023年7月に最新のデータ(3分平均値)を用いてWave Setupの実験式を見直した。



(左) 図4.7 旧実験式(左)及び新実験式(右)を用いた高潮ガイダンス(ハインドキャスト)の散布図。横軸は観測値、縦軸は予測値。検証期間は2019年6月～2021年12月。地点はWave Setup補正量計算地点のみ。3時間最大値で比較。

(右) 図4.8 実験式改良の例。石廊崎(上)及び御坊(下)におけるWave Setup解析値の散布図。横軸は有義波高(m)、縦軸はWave Setup解析値。赤線は新実験式、黒線は旧実験式を示す。検証期間は2015/02/23～2021/12/31(UTC)まで。3時間最大値で比較。



Wave Setup実験式の改良

2023年7月に、最新の顕著事例を用いて、かつ平滑値ではなく3分平均値を用いてWave Setupの実験式を見直した。図4.7に、旧実験式と、新実験式を用いた高潮ガイダンス(ハインドキャスト)の散布図を示す。対象地点はWave Setup補正量を実験式から計算している全地点(図4.3参照)である。旧実験式の図では過小予測が顕著であるが、新実験式では過小予測が大幅に改善していることが分かる。

また、図4.8に石廊崎及び御坊における新実験式と、旧実験式の比較を示す。両地点とも高潮ガイダンスの過小予測が顕著な地点であり、旧実験式(黒線)では解析値(黒点)と比較し過小予測傾向が顕著であることが分かる。一方、新実験式(赤線)では、過小予測傾向が大きく改善し、解析値と整合的になっていることが分かる。

4.2 補正方法2(浅海潮)

潮汐が浅海部に来ると、非線形の影響を受け波形が変形し、基本周期の1/2、1/3、…の周期(振動数にすると整数倍)を持つ倍潮や、振動数が異なる2つの分潮の波が重なった複合潮(振動数は2つの分潮の振動数の和あるいは差)が生じる。こうした浅海部で生じる分潮を、浅海潮という。

面的天文潮位(28分潮)には浅海潮が含まれていないため、長期観測している地点で、面的天文潮位と60分潮(一部地点は110分潮)の天文潮位のズレの補正をもとめる。

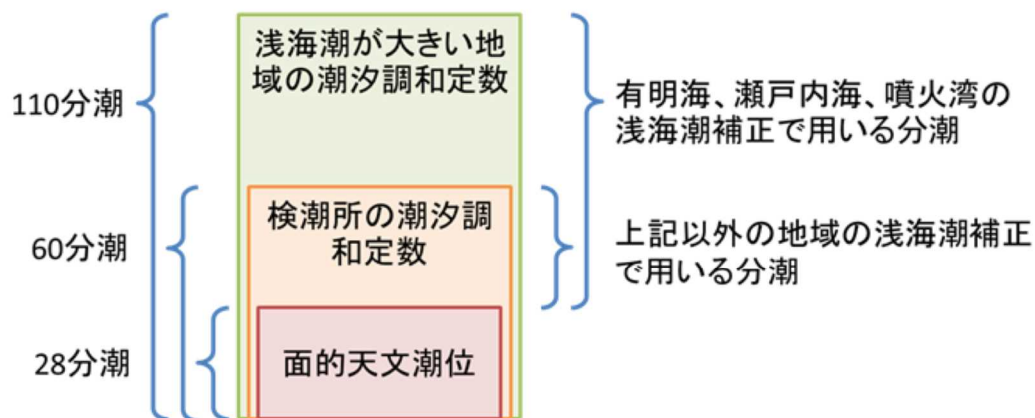


図4.9 浅海潮の補正

4.2 補正方法2(浅海潮)

潮汐が浅海部に来ると、非線形の影響を受け波形が変形し、基本周期の1/2、1/3、…の周期(振動数にすると整数倍)を持つ倍潮や、振動数が異なる2つの分潮の波が重なった複合潮(振動数は2つの分潮の振動数の和あるいは差)が生じる。こうした浅海部で生じる分潮を、浅海潮という。

3.2項で述べたように、面的天文潮位の計算には浅海潮が含まれていないため、潮位観測点の潮汐調和定数による天文潮位との間にずれが生じる。このため、浅海潮を補正量として加えて高潮ガイドンスを作成する。浅海潮による補正量は、各地域の潮汐の特性等により、潮位観測点が所在する市町村の1km格子点列のみに適用するか、近隣の市町村へも適用するか、適用方法が異なる。

図4.9は、浅海潮の補正要素を示している。面的天文潮位(28分潮)では浅海潮を十分に表現できないため、浅海潮による補正を行う。浅海潮が相対的に大きい有明海、瀬戸内海、噴火湾では補正量算出に用いる分潮の数を110個とし、それ以外の地域では潮位観測点の潮汐調和定数と同じ60個としている。

分潮については、2.4.2項も参照いただきたい。

4. 2 補正方法3(海況要因)

海況要因による潮位偏差の算出

過去24時間の毎時観測潮位とハインドキャスト潮位の差を求め、1日以上継続しているものを海況要因と判定し、今後の予測の補正量とする。一般に海況要因はゆっくり変化するので、補正量は39時間(00,12UTC初期値は78時間)の予報時間を通して一定値とする。なお、地盤変動の影響も海況要因に含んで補正している。二重補正を防ぐため、Wave Setupと浅海潮の影響を差し引く。

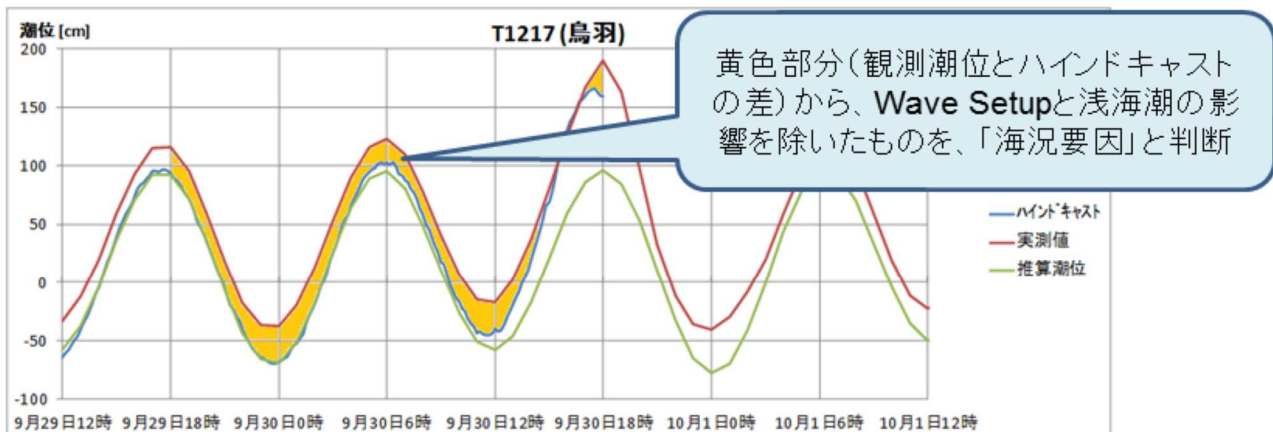


図4.10 海況要因の補正

4. 2 補正方法3(海況要因)

3.1.2項で述べた海況要因が原因による高潮モデルの予測結果のバイアスを考慮するための補正を行う。

観測潮位とハインドキャスト潮位の差を潮位観測点ごとに求め、そこからWave Setupと浅海潮の影響を除いた1日以上継続しているものを、「海況要因」による補正量とする。潮位観測点が所在する市町村の1km格子点列に、その値を適用して、高潮モデルを補正する。(潮位観測点が所在しない市町村にも適用する。)

図4.10に、海況要因による補正を示す。過去24時間の観測潮位(図中の赤線)とハインドキャスト(図中の青線)の差から、Wave Setupと浅海潮の影響を除いたものを海況要因として補正する。

本要因による補正量は、気象庁海洋気象情報室での調整作業を経て1日4回更新している。一般に海況要因による変動は海水温・海流によるゆっくりとした変化なので、この補正量は39時間(00,12UTC初期値は78時間)の予報時間を通して一定である。

なお、気象庁では、令和2年10月より、日本沿岸実況監視予測システム(以下、「JPNシステム」)の運用を開始した。今後、JPNの予測結果を活用することで、より適切な海況要因による補正量の見積もりが可能になることが期待される。海洋気象情報室では、JPNシステムの活用について技術開発を進めている。

JPNシステムの詳細については、「配信資料に関する仕様No.30508(日本沿岸海況監視予測システムGPV)」(<https://www.data.jma.go.jp/suishin/shiyou/pdf/no30508>)を参照のこと。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

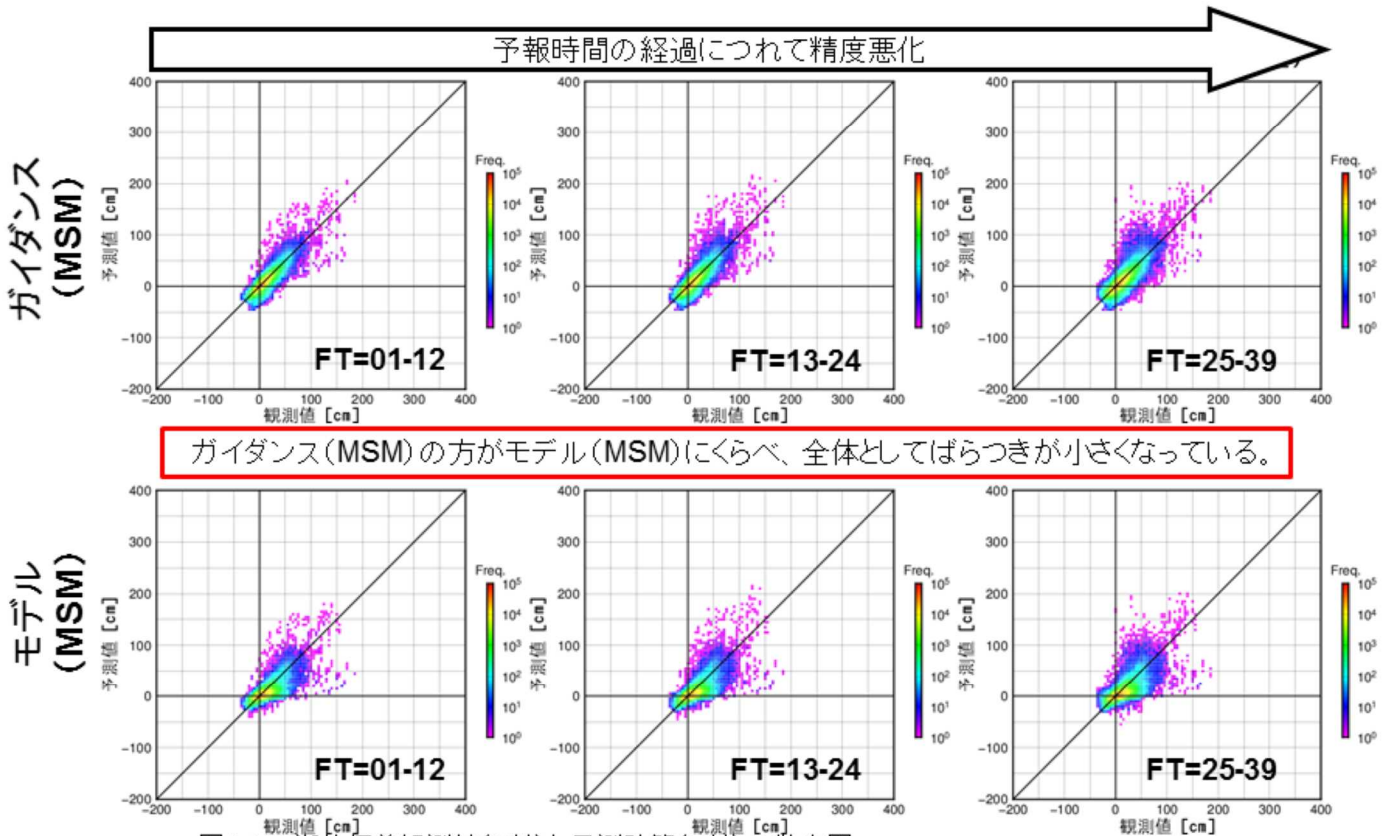
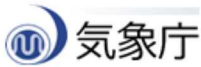


図4.11 潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図
 統計期間は2019年7月～2021年10月で、台風接近・通過時の事例を抽出(全885初期値)。上段はガイダンス(MSM)、下段はモデル(MSM)を示す。国内約200地点の潮位観測点(気象庁ほか、港湾局や海上保安庁、国土地理院が運用)の観測値を使用し、3時間ごとの最大値で比較。



4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

この項では、精度評価の分析結果について解説する。本項での結果を踏まえた、高潮ガイダンスの解釈のポイントについては、第6節で解説する。

なお、高潮モデルは令和3年4月に台風ボーガスの改善、令和4年8月にハインドキャストの改善等を行っており、それに伴い高潮ガイダンスの特性にも多少の変化がみられる。本節で扱うガイダンスの予測結果は基本的に全てモデル改善を反映したものである。(モデル改善の具体については、数値予報解説資料集を参照されたい。)

まず、図4.11は、2019年7月～2021年10月に台風が接近・通過したときに(全885初期値)、高潮ガイダンス(MSMコース)及び高潮モデル(MSMコース)により予測された潮位偏差と、日本国内約200地点の潮位観測点(気象庁ほか、港湾局や海上保安庁、国土地理院が運用)の観測値による潮位偏差を、3時間ごとの最大値で比較した散布図を示す。気象庁及び海上保安庁地点の観測値は3分平均値を利用している。ガイダンス(MSMコース)とモデル(MSMコース)の散布図を比較すると、ガイダンスはモデルに比べ、全体としてばらつきが小さくなっており、精度が改善されていることが分かる。潮位偏差の大きい領域では、潮位偏差の小さい領域と比較すると、ガイダンスによる改善の効果は小さい。これは、潮位偏差の大きい領域では、潮位偏差の要因として気象要因によるものが大きく、海況やWave Setup、浅海潮などの要因は、相対的に影響が小さかったり、地域が限定的であることが考えられる。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

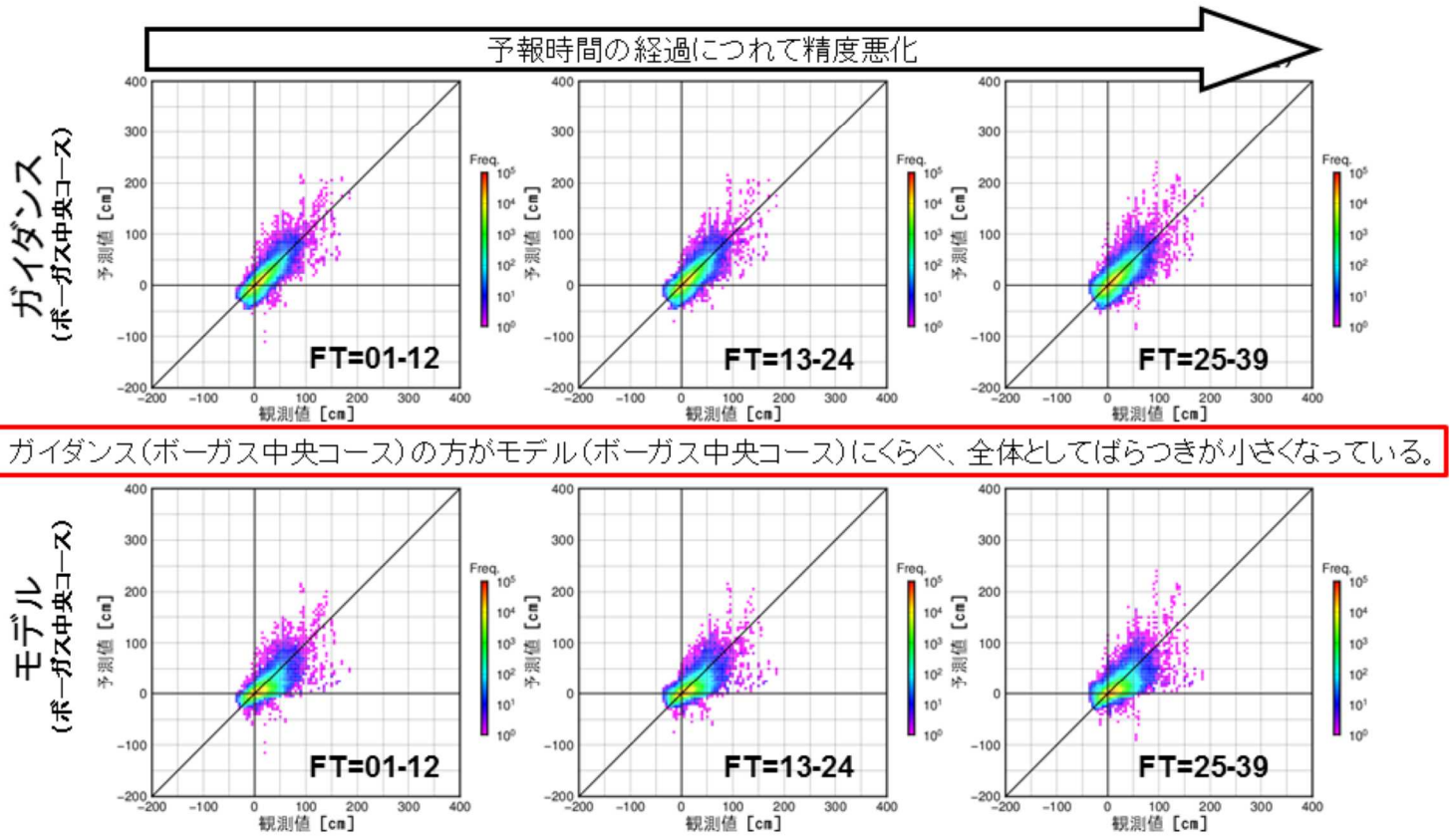


図4.12 潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図
 統計期間は2019年7月～2021年10月で、台風接近・通過時の事例を抽出した。上段はガイダンス(ボーガス中央コース)、
 下段はモデル(ボーガス中央コース)。用いた観測値は図4.11に同じ。



気象庁

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

図4.12は、先ほどと同様に、モデル(ボーガス中央コース)とガイダンス(ボーガス中央コース)を比較した図を示す。MSMでの比較と同様に、全体的にモデル(ボーガス中央コース)に比べガイダンス(ボーガス中央コース)は全体としてばらつきが小さくなくなり、精度が改善されている様子が分かる。潮位偏差の大きい領域でガイダンスによる改善効果が小さい点も、MSMと同様の傾向となっている。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

バイアスコア (青線:モデル 赤線:ガイダンス、1に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

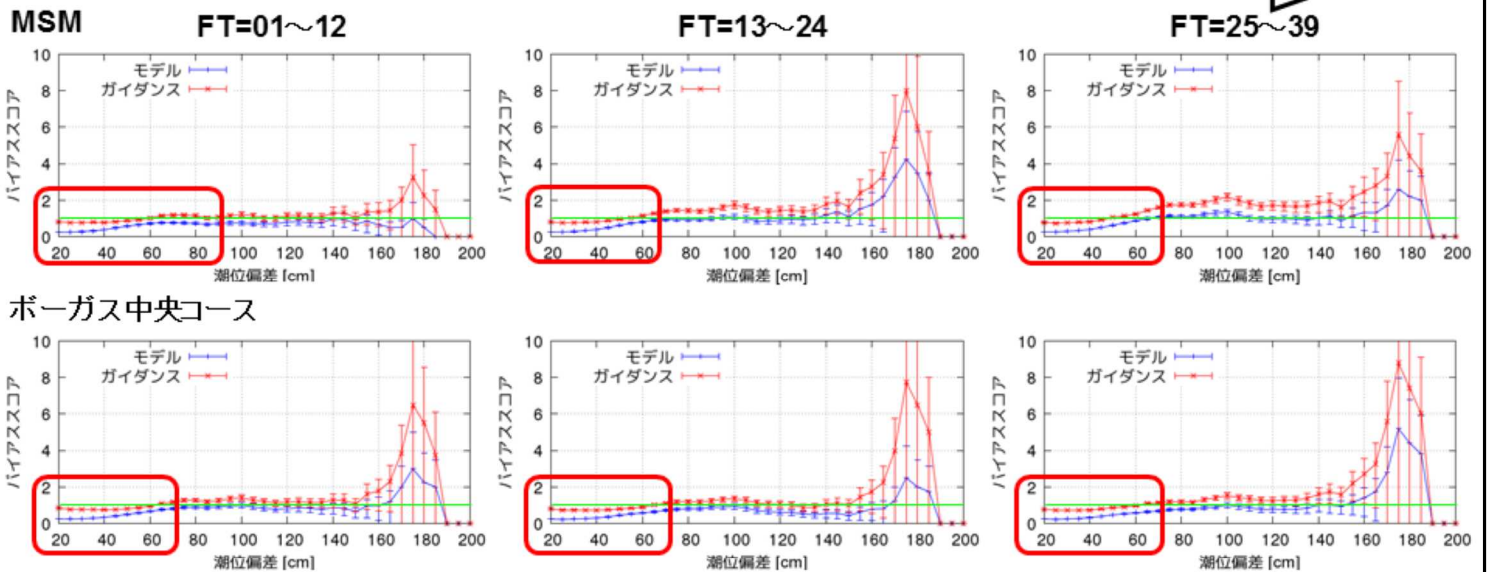


図4.13 高潮予測計算のバイアスコア

図4.11、図4.12に対して、各種統計スコアをとったもの。上段はMSM、下段はボーガス中央コース。青線はモデル、赤線はガイダンス。エラーバーは95%の信頼区間を示す。緑線はバイアスコアが1の線。

MSM、ボーガス中央コースともに、潮位偏差が概ね50cm以下の領域でガイダンスは1に近くなっており、モデルに比べ予測の偏りが小さく、精度の改善がみられる(図中赤枠)。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

図4.13に、ガイダンスとモデルについて、バイアスコアを比較した図を示す。(統計スコアの定義については付録-3を参照のこと。以降も同様。)MSM、ボーガス中央コースともに、潮位偏差の比較的小さい領域(潮位偏差が概ね50cm以下)でガイダンスは1に近くなっており、モデルに比べ予測の偏りが小さく、ガイダンスにより精度が改善されていることが分かる。なお、顕著な高潮ほどサンプル数が少なく、エラーバーが大きくなることに注意が必要である。例えばFT01~12の統計では、MSMとボーガス中央コースの予測値のサンプル数は、潮位偏差20~100cmの範囲では6万~7万程度(モデル)と18万程度(ガイダンス)であるのに対し、100cm~200cmの範囲では1100~1300程度(モデル)と1700~2000程度(ガイダンス)だった。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

空振り率 (青線:モデル 赤線:ガイダンス、0に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

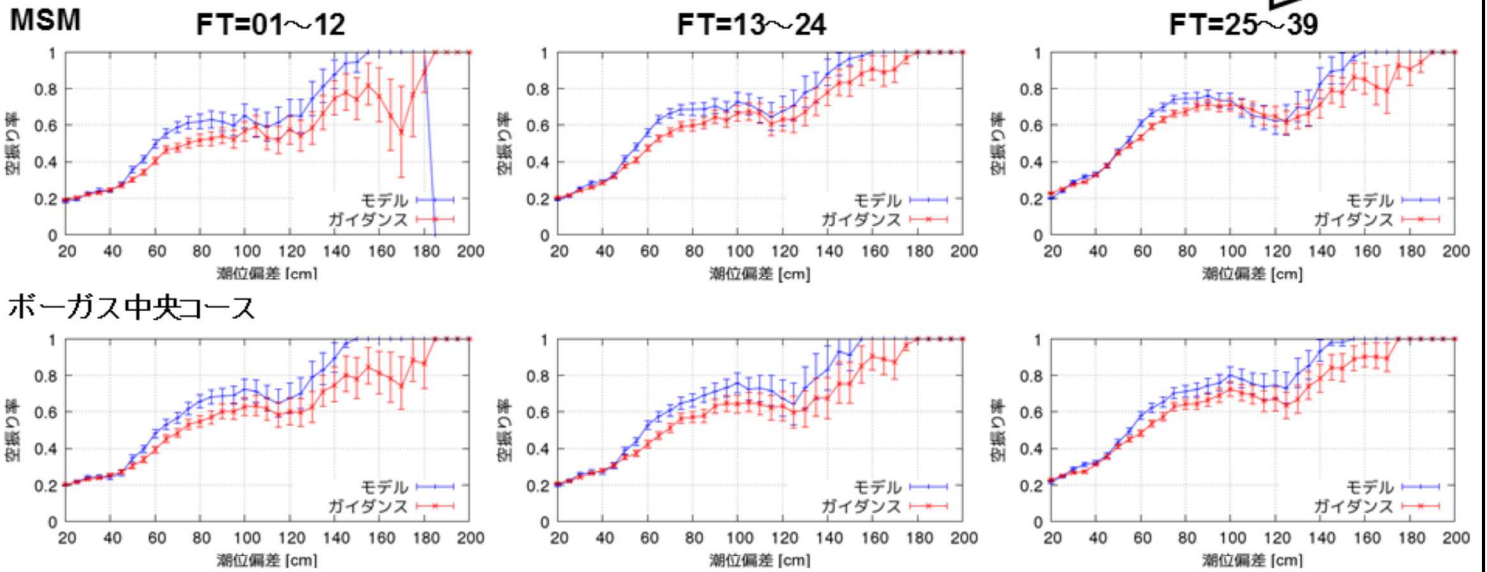


図4.14 高潮予測計算の空振り率

図4.11、図4.12に対して、各種統計スコアをとったもの。上段はMSM、下段はボーガス中央コース。青線はモデル、赤線はガイダンス。エラーバーは95%の信頼区間を示す。

MSM、ボーガス中央コースともに、潮位偏差が50~100cm程度の領域を中心にガイダンスの方がモデルより空振り率が小さく、精度の改善がみられる。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

図4.14に、ガイダンスとモデルについて、空振り率を比較した図を示す。MSM、ボーガス中央コースともに、潮位偏差が50~100cm程度の領域を中心にガイダンスの方がモデルより空振り率が小さく、ガイダンスにより精度が改善されていることが分かる。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

捕捉率 (青線:モデル 赤線:ガイダンス、1に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

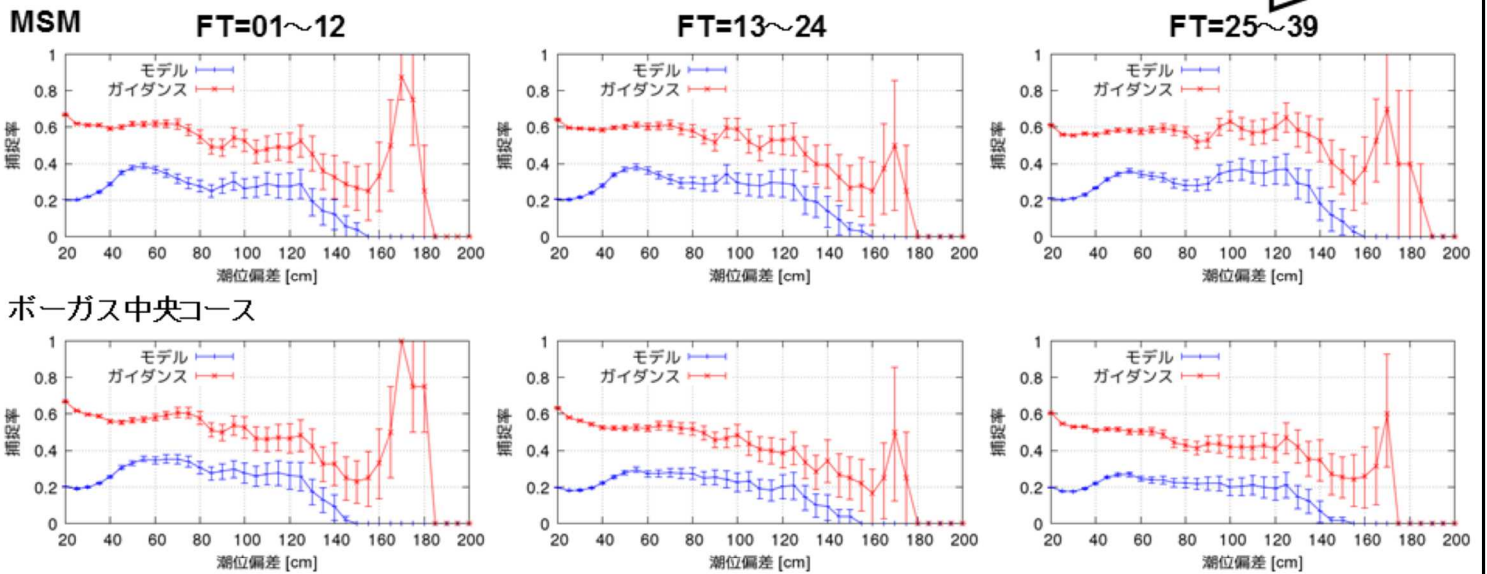


図4.15 高潮予測計算の捕捉率

図4.11、図4.12に対して、各種統計スコアをとったもの。上段はMSM、下段はボーガス中央コース。青線はモデル、赤線はガイダンス。エラーバーは95%の信頼区間を示す。

MSM、ボーガス中央コースともに、潮位偏差が概ね150cm以下の領域を中心にガイダンスの方がモデルより捕捉率が大きく、精度の改善がみられる。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

図4.15に、ガイダンスとモデルについて、捕捉率を比較した図を示す。MSM,ボーガス中央コースともに、潮位偏差が概ね150cm以下の領域を中心に、ガイダンスによる改善効果大きい。これは、外洋に面した沿岸や島しょ部でのWave Setupによる補正により、モデルの過小予測が改善されたことなどが主な理由と考えられる。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

スレットスコア (青線:モデル 赤線:ガイダンス、1に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

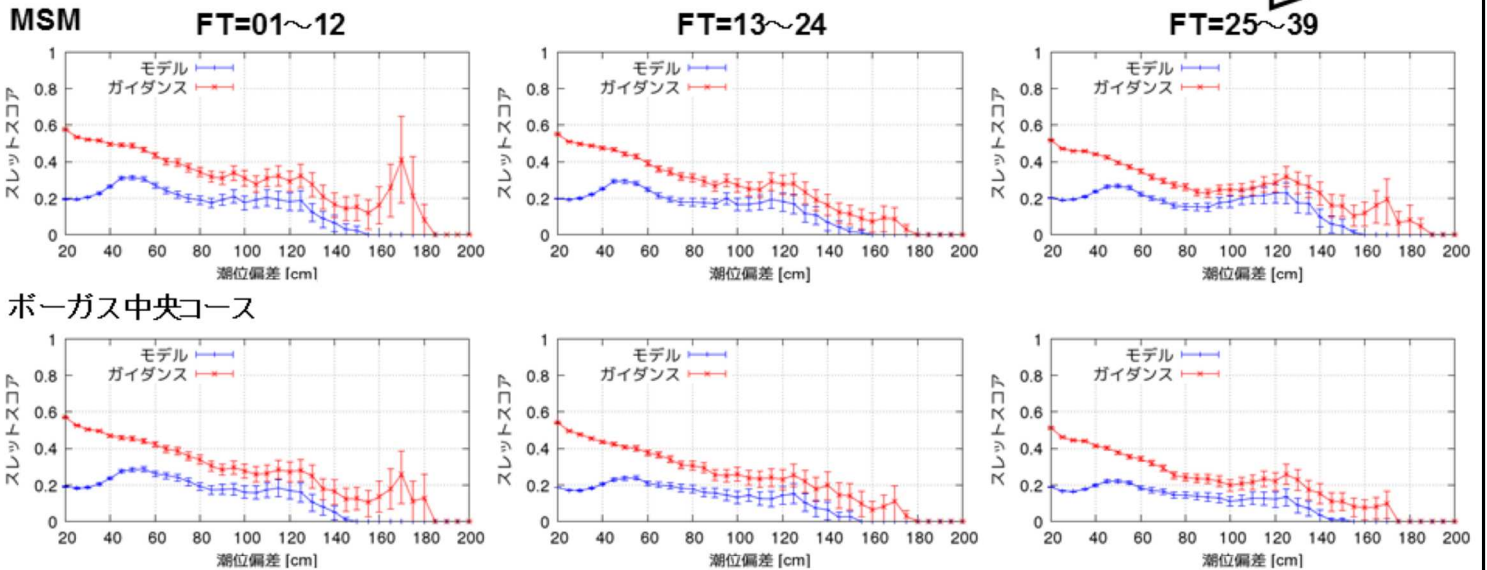


図4.16 高潮予測計算のスレットスコア

図4.11、図4.12に対して、各種統計スコアをとったもの。上段はMSM、下段はボーガス中央コース。青線はモデル、赤線はガイダンス。エラーバーは95%の信頼区間を示す。

MSM、ボーガス中央コースともに、潮位偏差が概ね150cm以下の領域を中心にガイダンスの方がモデルよりスレットスコアが大きく、精度の改善がみられる。

4.3 精度評価(ガイダンスvsモデル)

図4.16に、ガイダンスとモデルについて、スレットスコアを比較した図を示す。MSM,ボーガス中央コースともに、潮位偏差が概ね150cm以下の領域を中心にガイダンスによる改善がみられる。

4.3 精度評価

(MSMと台風ボーガスを利用した場合の相違)

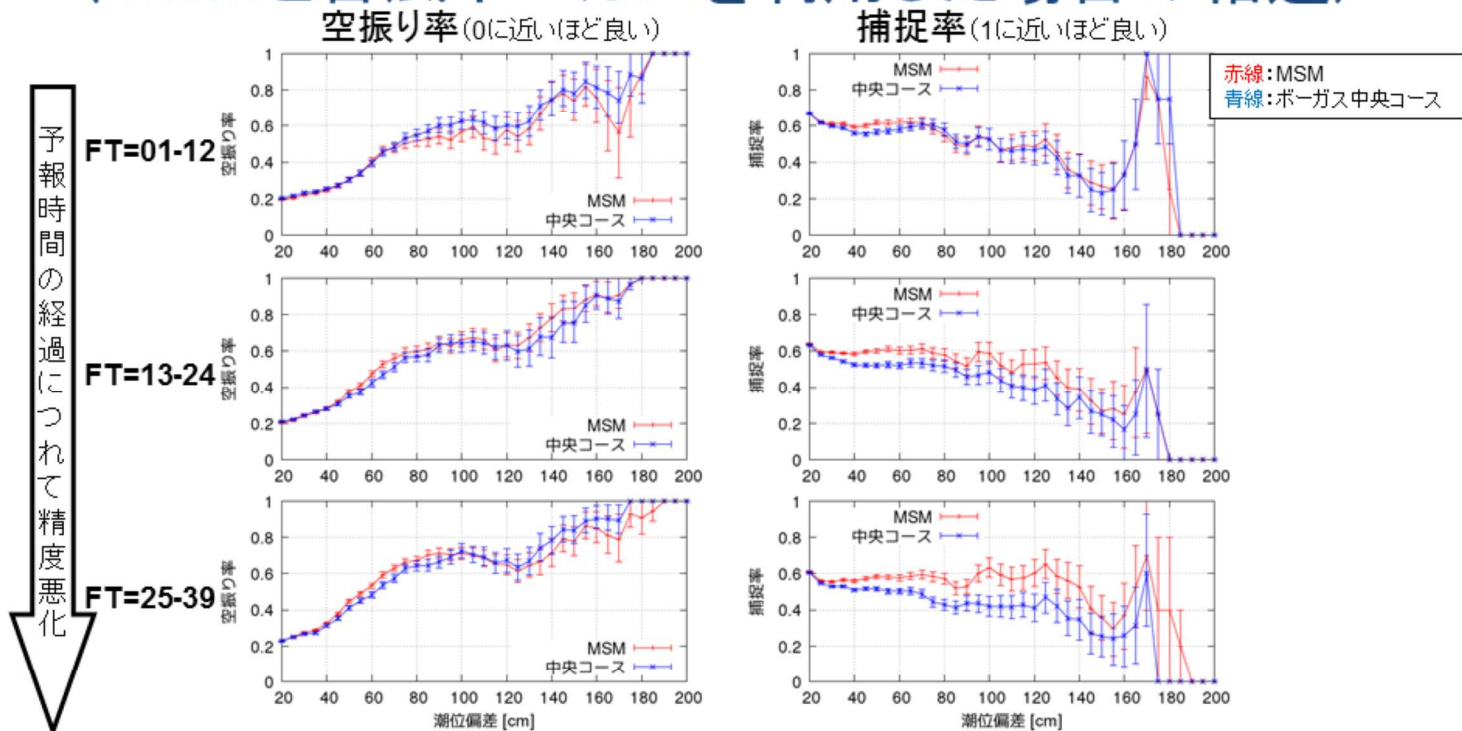


図4.17 高潮ガイダンスによる高潮予測計算の統計スコア(空振り率、捕捉率)

図4.11、図4.12に対して、各種統計スコアをとったもの。左列は空振り率、右列は捕捉率。赤線はMSM、青線はボーガス中央コース。エラーバーは95%の信頼区間を示す。

予報時間の経過につれて、MSMの方がより良い結果となる

4.3 精度評価(MSMと台風ボーガスを利用した場合の相違)

高潮ガイダンスにおいて、予報時間を1～12時間、13～24時間、25～39時間に分けて空振り率・捕捉率を計算した結果が図4.17である。予報時間の経過につれて、MSMの方がボーガス中央コースに比べ精度が良くなる。

4.3 精度評価

(MSMと台風ボーガスを利用した場合の相違)

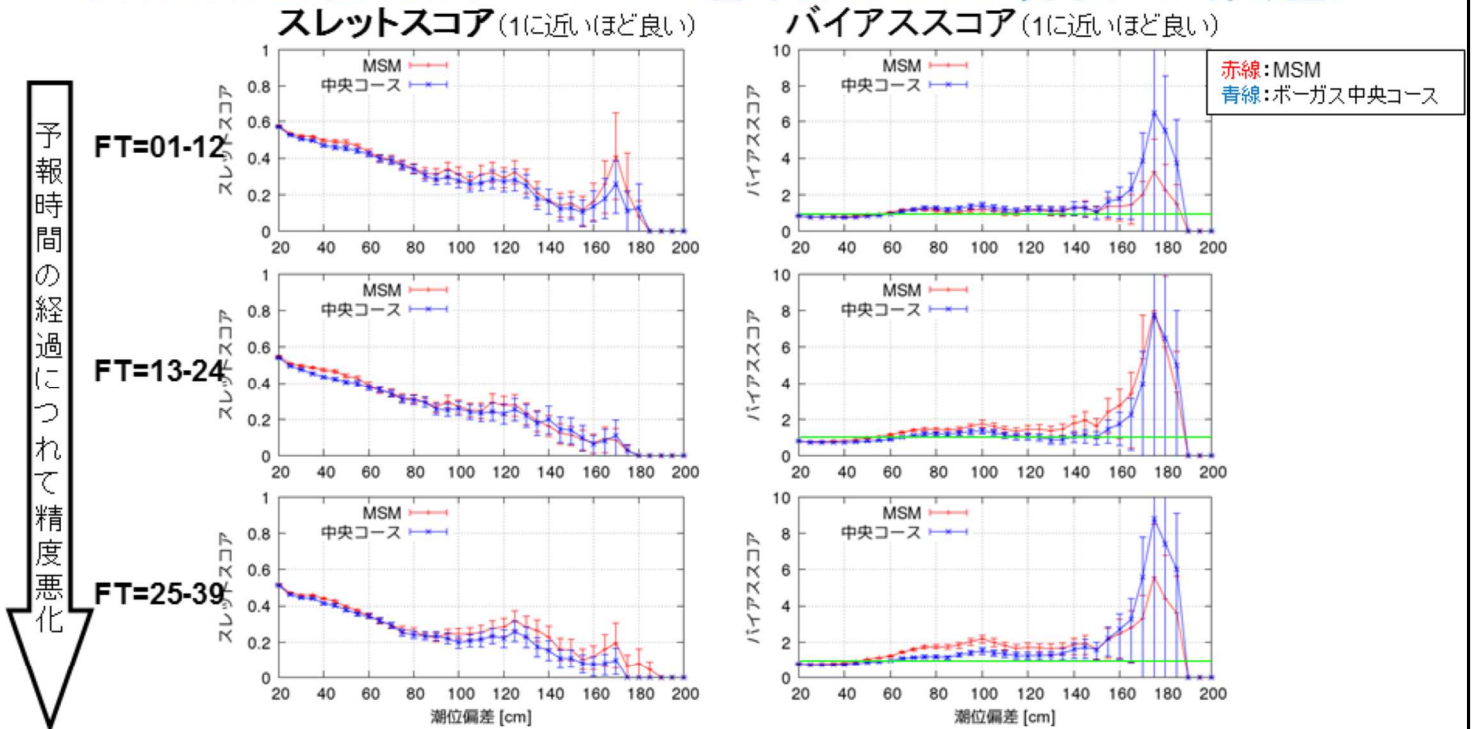


図4.18 高潮ガイダンスによる高潮予測計算の統計スコア(スレットスコア、バイアススコア)

図4.11、図4.12に対して、各種統計スコアをとったもの。左列はスレットスコア、右列はバイアススコア。赤線はMSM、青線はボーガス中央コース。エラーバーは95%の信頼区間を示す。右図の緑線はバイアススコアが1の線を表す。

スレットスコア: 予報時間の経過につれて、MSMの方がより良い結果となる。

バイアススコア: 予報時間の経過につれて、ボーガス中央コースの方がより良い結果となる。

4.3 精度評価(MSMと台風ボーガスを利用した場合の相違)

高潮ガイダンスにおいて、予報時間を1~12時間、13~24時間、25~39時間に分けてスレットスコア・バイアススコアを計算した結果が図4.18である。スレットスコアは予報時間の経過につれて、MSMの方がより良い結果となるが、バイアススコアは、予報時間の経過につれてボーガス中央コースの方がより良い結果となる。

4.3 精度評価(内湾地点と外洋地点の相違)

内湾地点

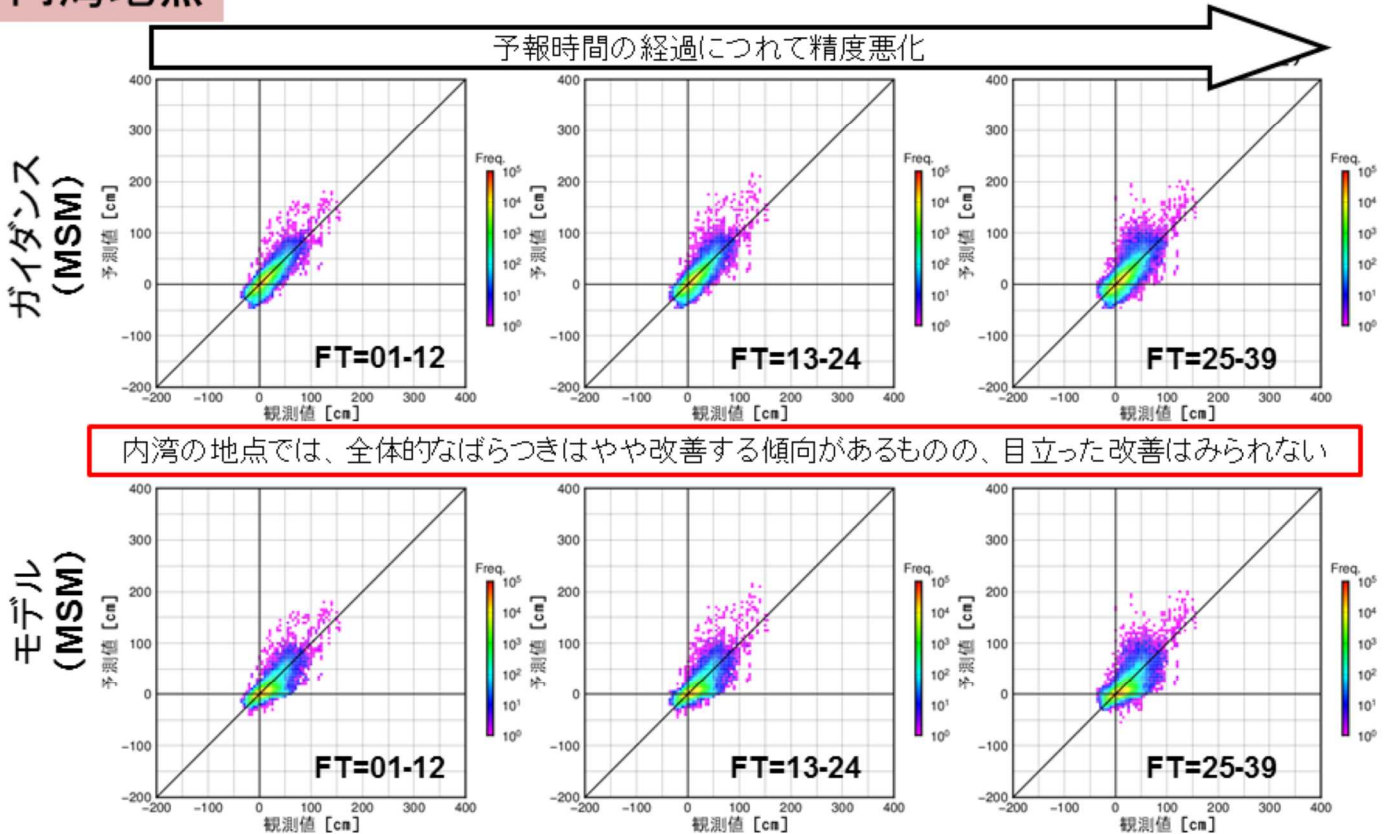


図4.19 内湾地点に対する潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図

上段はガイダンス(MSM)、下段はモデル(MSM)。統計期間は図4.11と同じであり、3時間ごとの最大値と比較している。

4.3 精度評価(内湾地点と外洋地点の相違)

日本国内の潮位観測点を内湾地点(179地点)と外洋地点(29地点)に分割し、それぞれの地点における予測精度について述べる。ここでは、Wave Setupの計算対象となっている地点(Wave Setupの計算地点は図4.3参照)を外洋地点、それ以外を内湾地点と定義している。

図4.19は、図4.11のモデル(MSMコース)とガイダンス(MSMコース)を比較した散布図を、内湾地点と外洋地点に分けて作成したもののうち、内湾地点のものである。全体としては、図4.11で見られたものと、傾向は大きくは変わらない。モデル、ガイダンスとも、予測は概ね実測値±100cm程度の範囲に収まっている。

4.3 精度評価(内湾地点と外洋地点の相違)

内湾地点

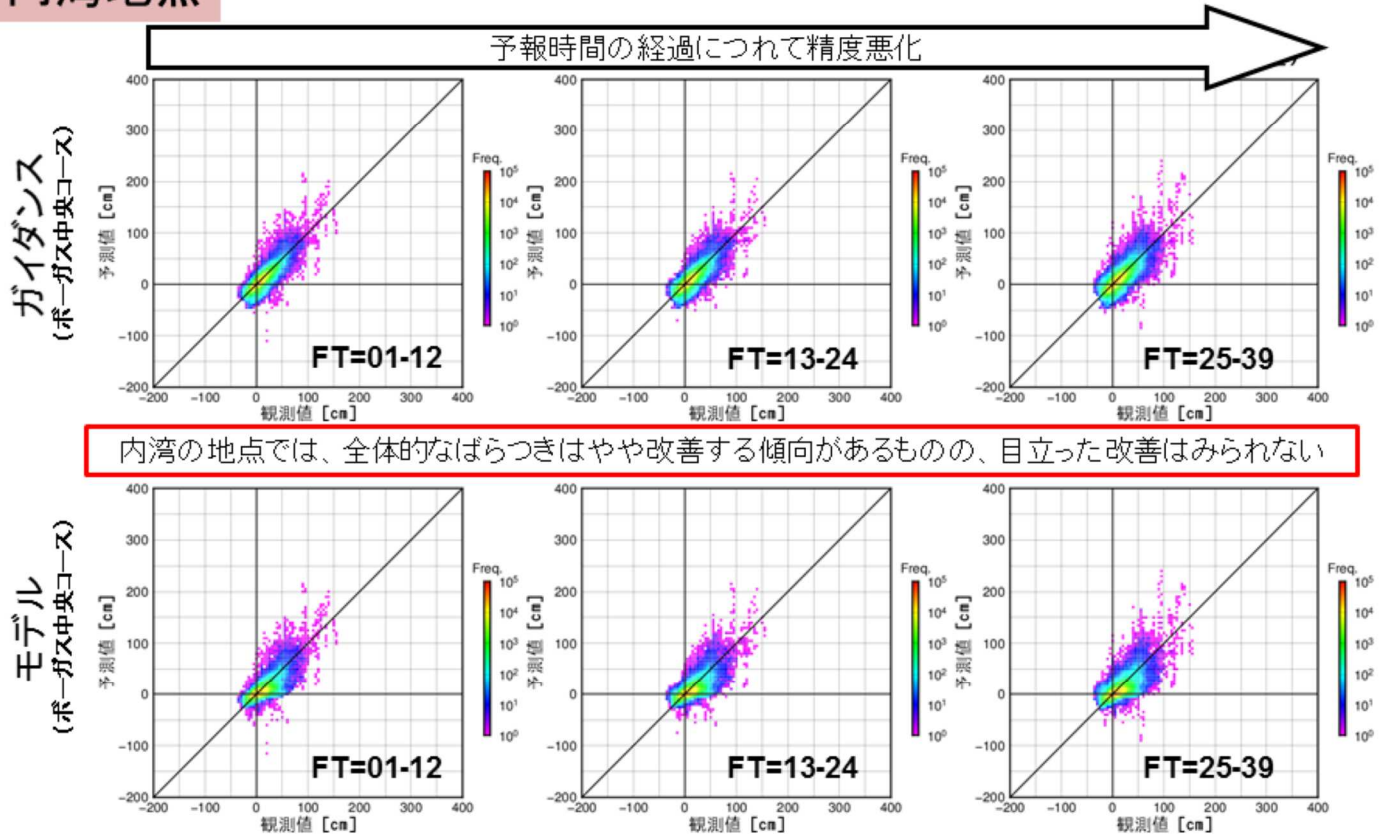


図4.20 内湾地点に対する潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図

上段はガイダンス(ボーガス中央コース)、下段はモデル(ボーガス中央コース)。統計期間は図4.11と同じであり、3時間ごとの最大値で比較している。

4.3 精度評価(内湾地点と外洋地点の相違)

図4.20は、図4.12のモデル(ボーガス中央コース)とガイダンス(ボーガス中央コース)を比較した散布図を、内湾地点と外洋地点に分けて作成したもののうち、内湾地点のものである。内湾地点と外洋地点の分け方については図4.19と同様とする。

全体としては、図4.12で見られたものと、傾向は大きくは変わらない。モデル、ガイダンスとも、予測は概ね実測値±100cm程度の範囲に収まっている。

4.3 精度評価(内湾地点と外洋地点の相違)

外洋地点

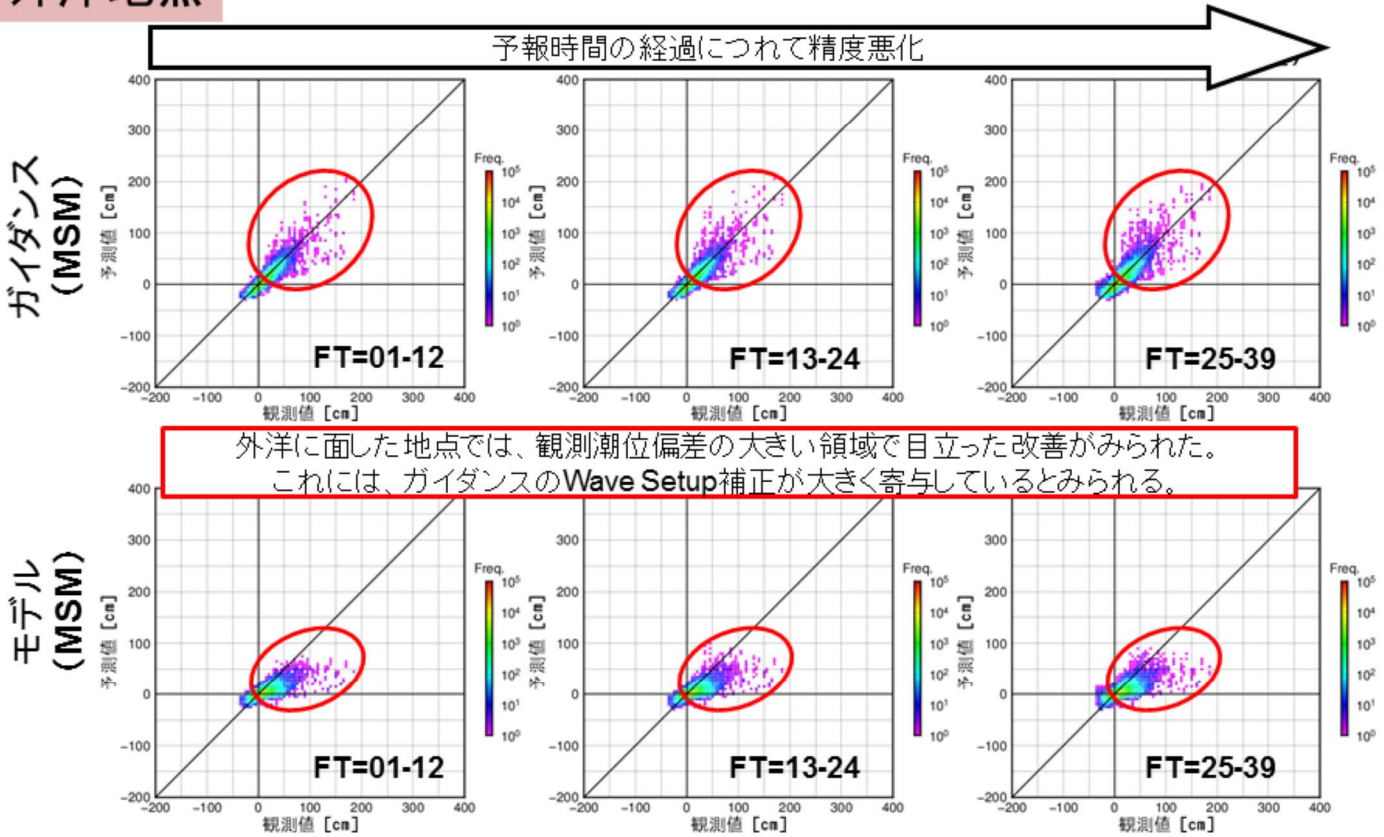


図4.21 外洋地点に対する潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図

上段はガイダンス(MSM)、下段はモデル(MSM)。統計期間は図4.11と同じであり、3時間ごとの最大値と比較している。

4.3 精度評価(内湾地点と外洋地点の相違)

図4.21は、図4.11のモデル(MSMコース)とガイダンス(MSMコース)を比較した散布図を、内湾地点と外洋地点に分けて作成したもののうち、外洋地点のものである。内湾地点と外洋地点の分け方については、図4.19と同様とする。

3.1.2で見たとおり、外洋地点におけるモデルによる予測では、過小評価が顕著な領域(丸で囲んだ領域)があるが、ガイダンスでは大幅に改善されている様子が見られる。これには、ガイダンスによるWave Setup補正が大きく寄与しているとみられる。

4.3 精度評価(内湾地点と外洋地点の相違)

外洋地点

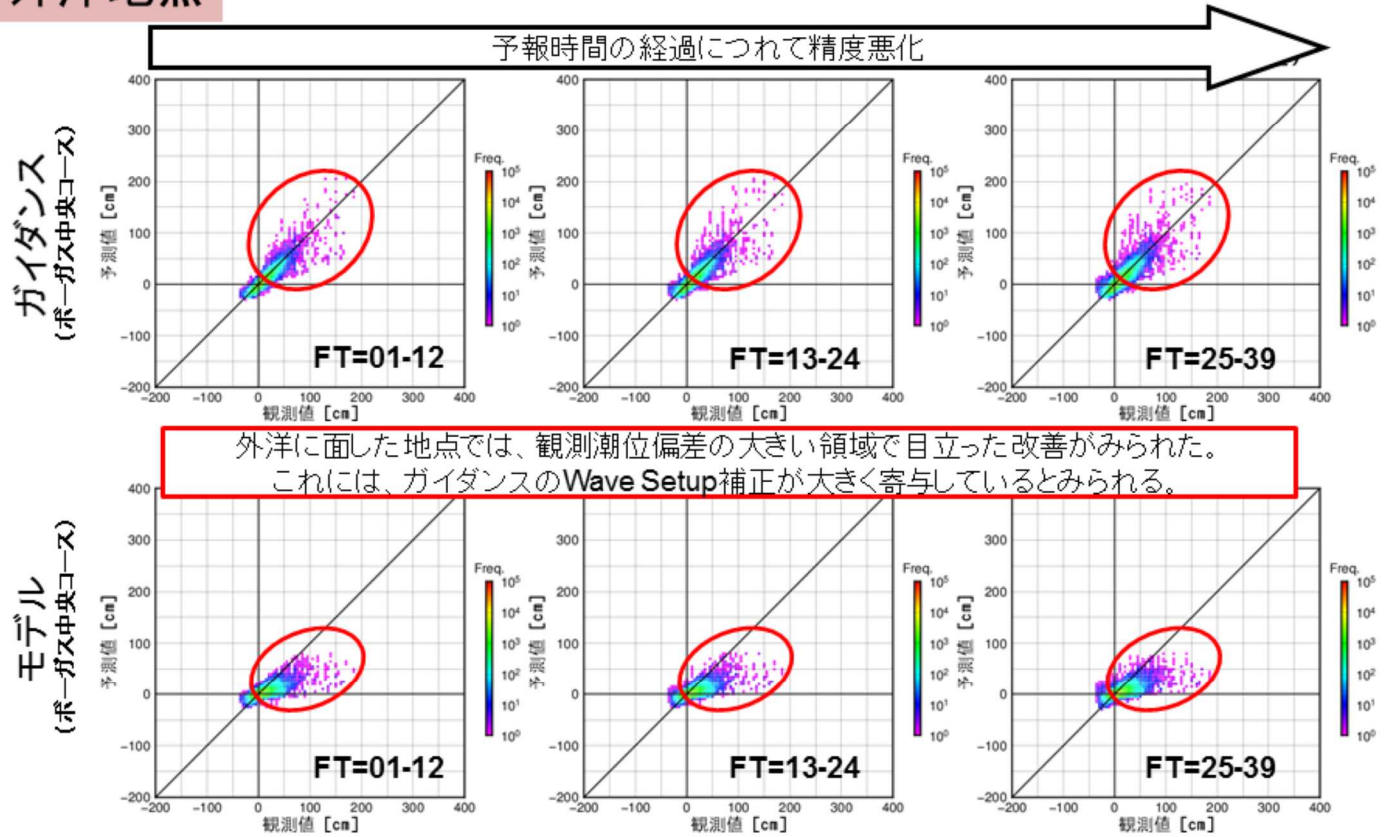


図4.22 外洋地点に対する潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図

上段はガイダンス(ボーガス中央コース)、下段はモデル(ボーガス中央コース)。統計期間は図4.11と同じであり、3時間ごとの最大値で比較している。



4.3 精度評価(内湾地点と外洋地点の相違)

図4.22は、図4.12のモデル(ボーガス中央コース)とガイダンス(ボーガス中央コース)を比較した散布図を、内湾地点と外洋地点に分けて作成したもののうち、外洋地点のものである。内湾地点と外洋地点の分け方については、図4.19と同様とする。

MSMコースの結果と同様、外洋地点におけるモデル(ボーガス中央コース)による予測では、過小評価が顕著な領域(丸で囲んだ領域)があるが、ガイダンス(ボーガス中央コース)では大幅に改善されている様子が見られる。これには、ガイダンスによるWave Setup補正が大きく寄与しているとみられる。

4.4 現在の高潮モデル・ガイダンスで予測が難しい現象

副振動

港湾や海峡などで起こる海面の振動現象をいい、その周期は地形による固有周期を示す。

副振動には主に以下のタイプがある。

- ・外洋で発生し、伝播してくるもの
- ・現場付近の気象じょう乱に起因するもの

台風や発達した低気圧が近くになく、晴天時でも突然発生することがあり、予測の難しい現象。

潮位の実況監視が重要。

- 最大全振幅
- ・長崎: 103cm(周期29分)
 - ・油津: 73cm(周期22分)
 - ・枕崎: 110cm(周期14分)
 - ・奄美: 95cm(周期13分)

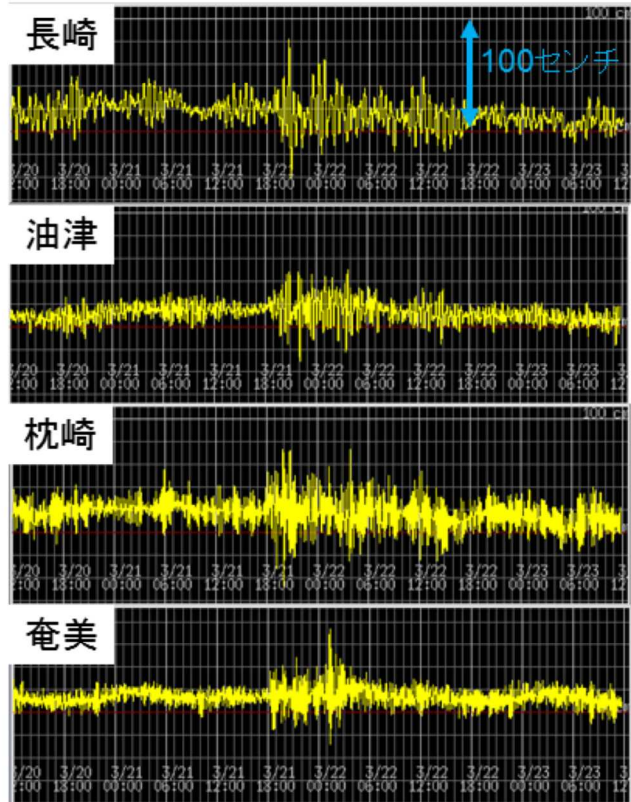


図4.23 2019年3月20～23日に九州、奄美を中心に顕著な副振動が発生した時の潮位偏差

4.4 高潮モデル・ガイダンスで予測対象としていない現象

この項では、現状、高潮モデル・高潮ガイダンスで予測が難しい現象(副振動、陸棚波、河川水の流入)について解説する。

まず、副振動は、港湾や海峡などで起こる海面の振動現象をいい、その周期は地形による固有周期を示す現象である。外洋で発生し、微気圧振動や風等の影響により、海洋長波(波浪よりも周期の長い波、水深に比べ波長が十分長い)が発生する。この海洋長波が進行し、海底地形等の各種要因によって増幅される。現状では、高潮モデル、高潮ガイダンスで予測が難しい現象であり、潮位の実況監視が重要である。(ただし、2.2.3で述べたとおり、台風通過後に湾内で生じる副振動については、高潮モデルや高潮ガイダンスである程度の再現が可能な場合もある。)

通常観測される副振動の振幅は数cm～数10cmだが、特に大きなものは2mを超えることもある。過去には大きな副振動により、係留船舶の転覆や低地で浸水被害が発生したことがある。外洋で発生し伝播してくる副振動については、主に九州西岸で発生している。それ以外の地域では、現場付近の気象じょう乱に起因する副振動が主に発生している。また、石廊崎や三宅島など、外洋に面した地点や島しょ部では、波浪の影響と思われる短周期の潮位変動が発生するケースもある。

図4.23に、2019年3月20～23日に九州、奄美を中心に顕著な副振動が発生した時の潮位偏差を示す。この事例では、長崎港周辺の各地で道路冠水による交通障害などが発生した。また、この副振動および大潮により、長崎において3月21日20時37分に238cm(標高換算)を観測し、過去最高潮位を更新した。

副振動と大潮や満潮が重なると台風通過時の高潮より潮位が高くなる場合もあるので注意が必要である。

気象庁において、副振動の予測は現状困難であるが、副振動の状況や見通しについては、可能な範囲で「潮位に関する全般解説資料」でお知らせする。また、副振動が発生した場合は、速やかに潮位情報を発表するので、実況監視に留意し、防災対応に活用いただきたい。

4.4 現在の高潮モデル・ガイダンスで予測が難しい現象

陸棚波（沿岸捕捉波の一種）

気象じょう乱等で生じた海洋内部の波動が等深線に沿って伝播する現象。

海底勾配がその形成維持に重要な役割を果たし、
海岸に近い海域で発達することから、陸棚波と呼ばれる。
沿岸捕捉波の一種。

式4.2 ポテンシャル渦度保存式

台風や低気圧によって発達した陸棚波により
海水が沿岸に向かう

$$\frac{f + \zeta_z}{h} = \text{一定}$$

↓
沿岸の海面が高まる

↓
自由波として陸棚に沿って岸を右に見ながら伝わる
日本海側では西から東
太平洋側では東から西

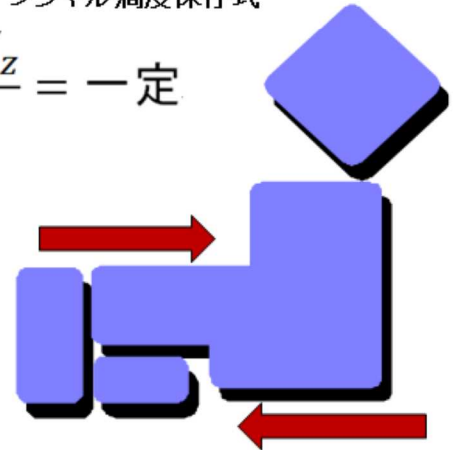


図4.24 陸棚波の伝播イメージ

4.4 高潮モデル・ガイダンスで予測対象としていない現象

次に、陸棚波は、気象じょう乱等で生じた海洋内部の波動が等深線に沿って伝播する現象である。

陸棚波は、流体粒子の運動において、ポテンシャル渦度(=式4.2の左辺)が保存することを復元力とする波動である。なお、 f =コリオリ係数(定数)、 ζ =渦度、 h =水深。

式4.2(ポテンシャル渦度保存式)について、はじめ、反時計回りの循環があるとして考える。水深が深くなる方向(h が増加する方向)に移動するとき、ポテンシャル渦度は保存されるから、 $f+\zeta$ も増加する。 f は一定であるから、渦度 ζ が増加し、正の渦度を獲得する。その結果、反時計回りの循環が誘導される。一方で、水深が浅くなる方向(h が減少する方向)に移動するとき、ポテンシャル渦度は保存されるから、 $f+\zeta$ も減少する。 f は一定であるから、渦度 ζ が減少し、負の渦度を獲得する。その結果、時計回りの循環が誘導される。これらを全体としてみると、反時計回りの循環は、水深の浅い方向から深い方向をみたとき、はじめあった場所から右側に伝播している。このように、一般に、台風や低気圧の風によって海洋中に励起された陸棚波は、水深の浅いほうを右に見ながら伝播する。このため、日本海側では西から東に、太平洋側では東から西に伝播する。(図4.24)

陸棚波は地形性ロスビー波なので、高潮モデル・ガイダンスでもある程度は表現可能である。ただし、高潮モデルでは、海洋表層の水温の成層の効果を考慮していないなどの理由から、モデルで計算される陸棚波の振幅は、実況よりも過小になりやすい。(海洋表層の水温成層があると、高潮や陸棚波にとっては、実質的に水深が浅いと同様の効果になり、陸棚波の振幅が大きくなると考えられる。)

4.4 現在の高潮モデル・ガイダンスで予測が難しい現象

河川水の流入との相互作用

河川上流で降水があった場合、河川流量が増大し、河川水位が上昇するのに伴い、潮位観測点の潮位がガイダンスよりも上昇することがある。



図4.25 兵庫県豊岡市北部の円山川河口に位置する津居山検潮所(地図:地理院地図(電子国土web)より)

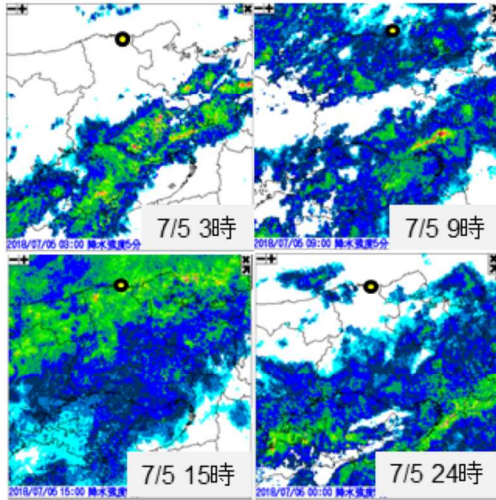


図4.26 2018年7月5日の降雨(黄色丸:津居山検潮所の位置を示す)

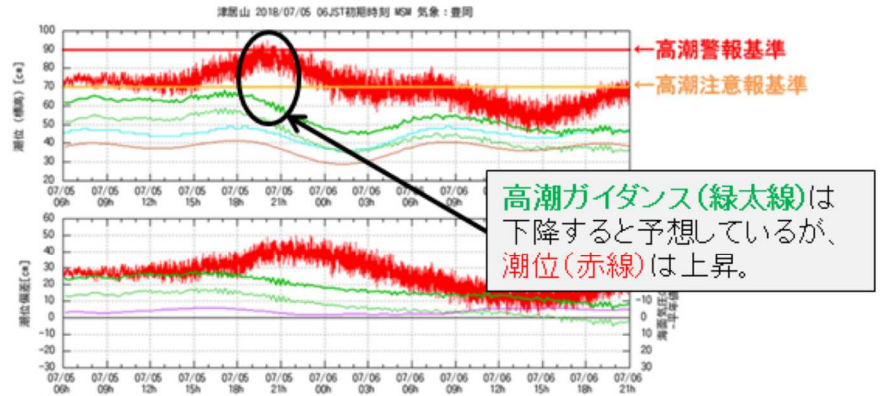


図4.27 2018年7月5日～6日にかけての津居山検潮所の潮位変動(兵庫県による観測)

4.4 高潮モデル・ガイダンスで予測対象としていない現象

最後に、河川水の流入との相互作用について説明する。富山県高岡市の小矢部川河口の伏木富山や、兵庫県豊岡市の円山川河口の津居山などでは、河川流量の増大によって、潮位が上昇し、潮位観測点の潮位がガイダンスよりも上昇することがある。詳細は(櫻井,2016)を参照のこと。例として、潮位が高潮ガイダンスの予想より上昇した例として、2018年7月5日～6日にかけての兵庫県豊岡市の津居山検潮所での事例を示す。

図4.25に、兵庫県豊岡市北部の円山川の河口に位置する津居山検潮所の位置を示す。

図4.26に、2018年7月5日の兵庫県付近の降雨の様子を、左上の図から右下の図にかけて、3時から24時まで6時間ごとに示す。なお、黄色の丸は津居山検潮所の位置を示す。豊岡市付近では、7時頃から降雨が始まり、13時頃から19時頃まで1時間10mm以上のやや強い降水が続き、その後は雨は弱まっていった。

図4.27に、2018年7月4日から5日にかけての、津居山検潮所の潮位・潮位偏差を示す。図4.27の、赤線は観測された潮位、緑の太線は7月5日6時(JST)初期値の高潮ガイダンスの予測潮位、緑の細線は同初期値の高潮モデルの予測潮位を示す。また、水色線は津居山における天文潮位、茶色は津居山における面的天文潮位を示す。図4.27上段の図の、90cmに引かれた赤線は豊岡市の高潮警報基準、70cmに引かれた黄色線は同市の高潮注意報基準を示す。図4.27下段の図の、紫線はMSMの海面気圧と旬平均の海面気圧平年値との差を示す。

この事例では、津居山の高潮ガイダンスは7月5日の18時頃以降下降すると予想している。しかし、潮位は18時以降も上昇し、20時頃には警報基準を超過しており、河川水の流入による潮位上昇は高潮ガイダンスで表現できていないことが分かる。

なお、海岸付近の河川では潮位の影響により河川水位が変動することも知られており(田中ほか,2008)、河口付近の潮位は、実際には河川水の流入との相互作用を考慮する必要があるが、その影響を定量的に評価するのは難しく、現状では高潮モデル・高潮ガイダンスでの取り扱いが困難な現象である。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

MSM

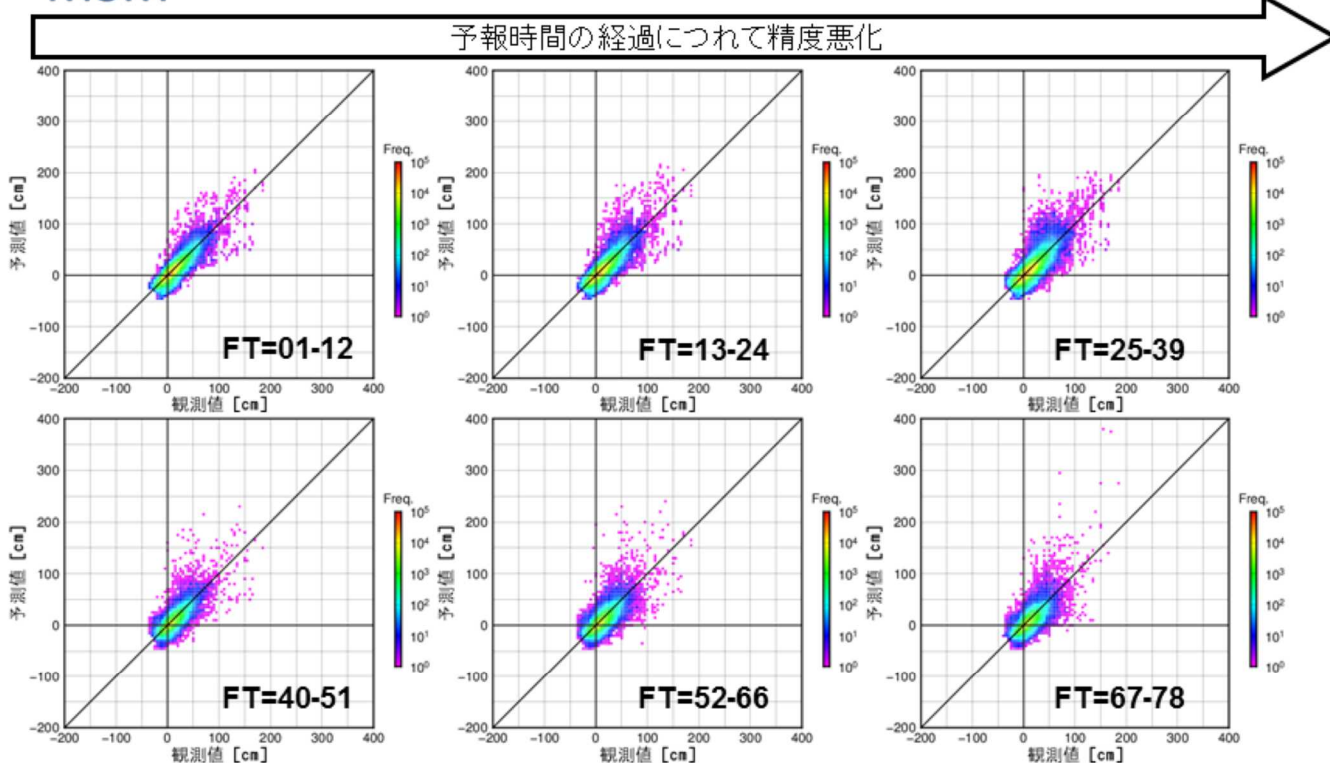


図4.28 高潮ガイダンスによる潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図(MSM)
統計期間は2019年7月～2021年10月の台風接近・通過時。用いた観測値は図4.11と同じ。

51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はみられない。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

3.1.1で述べたとおり、日本域高潮モデルは、2022年8月に予報時間の延長を実施した。これにあわせて高潮ガイダンスの予報時間延長も実施し、2023年7月24日に庁外への正式配信を開始した。図4.28は、予報時間を分けて、高潮ガイダンスによって予測された潮位偏差(MSMコース)と、観測値による潮位偏差の散布図を示したものである。ただし、統計期間は2019年7月～2021年10月の台風接近・通過時で、FT40以降のデータに関しては00UTC及び12UTC初期値のみのデータを用いている。

予報時間の経過につれて精度が悪化するものの、51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はないことが分かる。つまり、51時間先以降についても、51時間までと同様に高潮ガイダンスを利用しても問題ないと考えられる。ただし、FT40以降のデータについてはサンプル数が少ないため、今後も事例を蓄積し検証を進めていく必要がある。

なお、高潮ガイダンスの予報時間延長にあたり、ガイダンス補正量(Wave Setup、浅海潮、海況要因)の算出を、以下の方法により78時間先まで延長している。

Wave Setup: 沿岸波浪モデルの78時間先までの有義波高予測値から実験式を用いて算出。またはWave Setupモデルを用いて78時間先まで算出。

浅海潮: 面的天文潮位で考慮していない分潮を加算する処理を78時間先まで延長。

海況要因: 過去24時間のhindキャストと観測値の差から算出(気象庁海洋気象情報室での調整作業を経て1日4回更新)。78時間をとおして一定値とする。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証 ボーガス中央コース

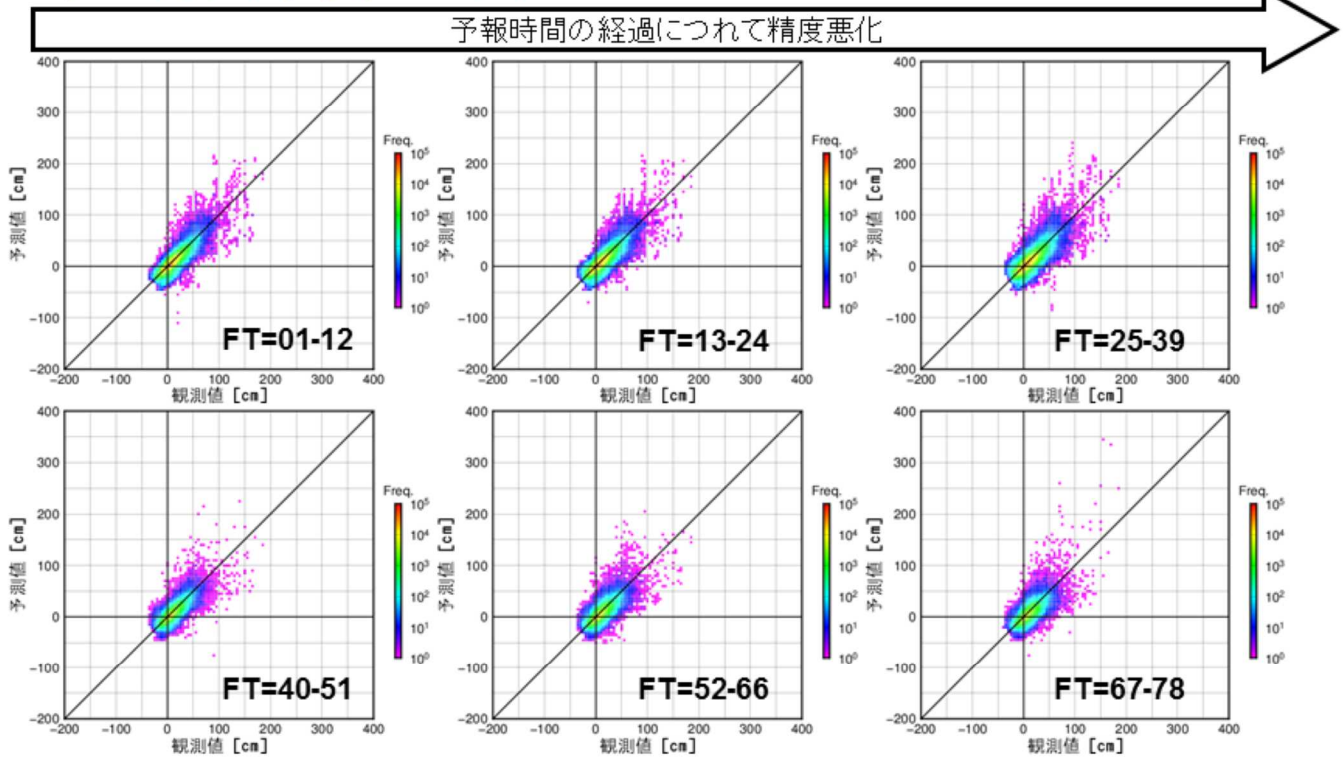


図4.29 高潮ガイダンスによる潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図(ボーガス中央コース) 統計期間は2019年7月～2021年10月の台風接近・通過時。用いた観測値は図4.11と同じ。

51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はみられない。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

ボーガス中央コースについても、図4.29に結果を示す。

MSMと同様、ボーガス中央コースについても、予報時間の経過につれて精度が悪化するものの、51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はないことが分かる。つまり、51時間先以降についても、51時間までと同様に高潮ガイダンスを利用しても問題ないと考えられる。ただし、サンプル数が少ないため、今後も事例を蓄積し検証を進めていく必要がある。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

バイアスコア (赤線: MSM 青線: ボーガス中央コース、1に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

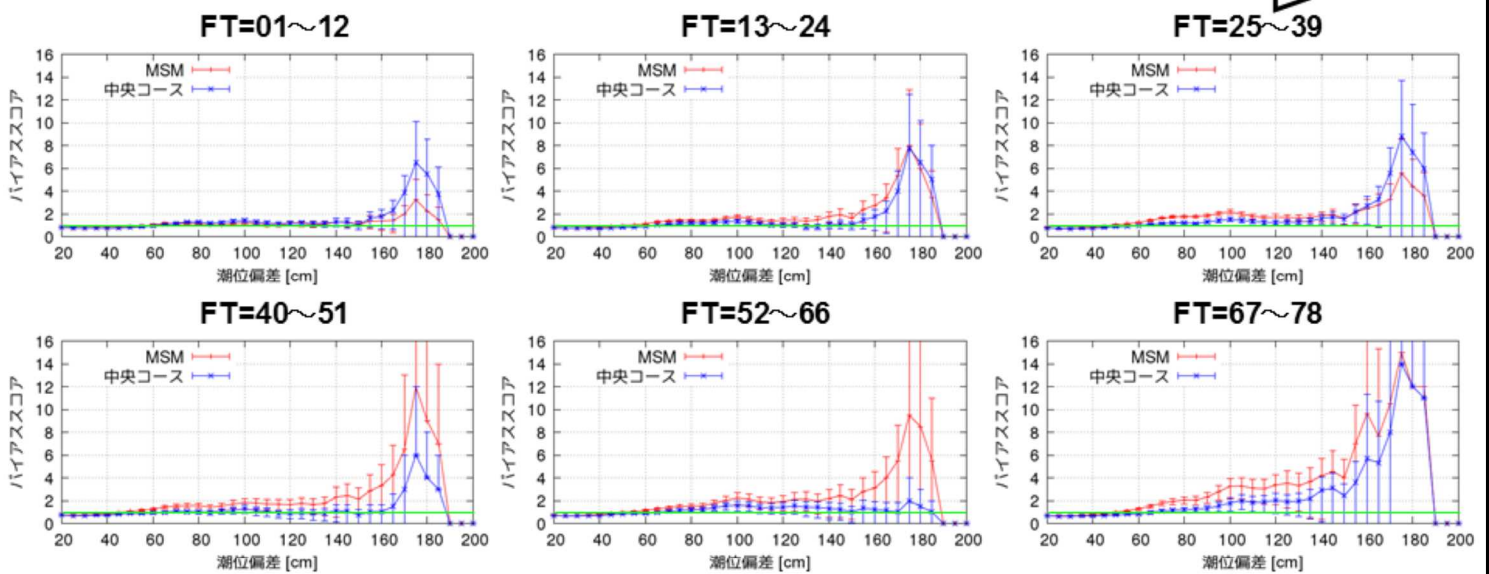


図4.30 高潮ガイダンスによる高潮予測計算の統計スコア(バイアスコア)

図4.28、図4.29に対して、各種統計スコアをとったもの。赤線はMSM、青線はボーガス中央コース。エラーバーは95%の信頼区間を示す。

潮位偏差の大きくない領域(100cm程度以下)については51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はみられない。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

図4.28、図4.29に対して、バイアスコアを計算した結果が図4.30である。MSM、ボーガス中央コースともに、予報時間の経過につれて精度が悪化するものの、散布図と同様に51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はないことが分かる。ただし、FT51以降や潮位偏差が大きな領域ではサンプル数が少なく、エラーバーが大きくなることに注意が必要である。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

空振り率 (赤線: MSM 青線: ボーガス中央コース、0に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

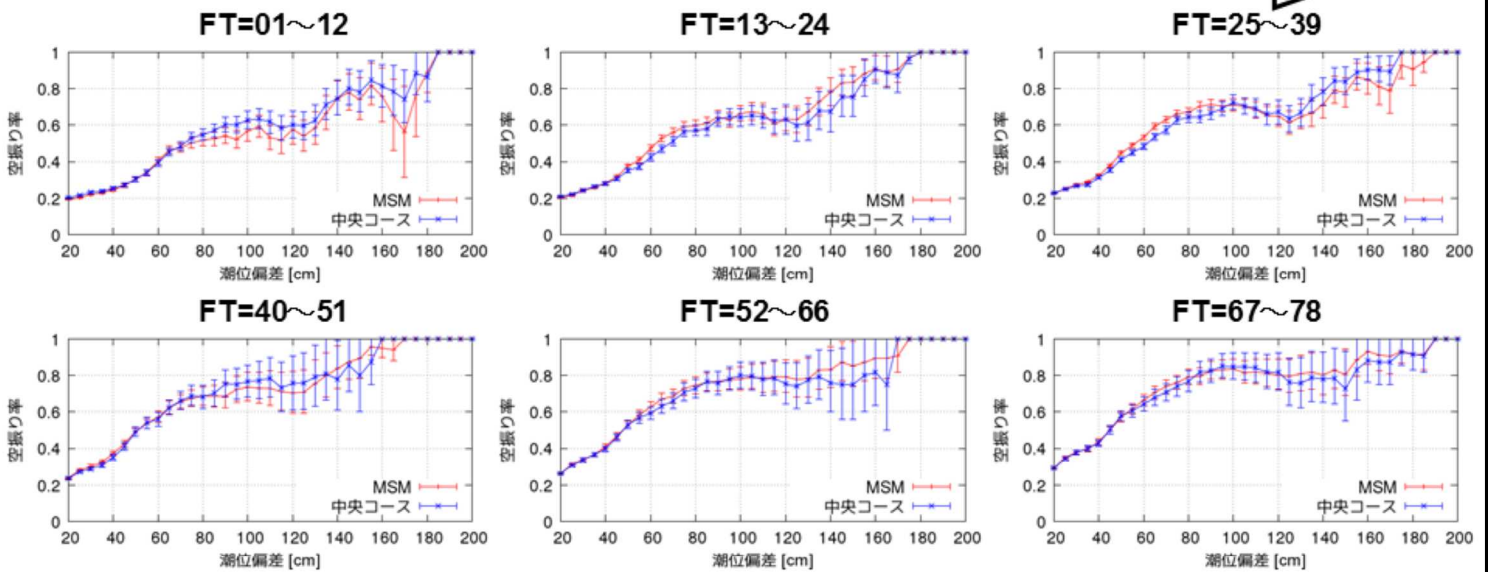


図4.31 高潮ガイダンスによる高潮予測計算の統計スコア(空振り率)

図4.28、図4.29に対して、各種統計スコアをとったもの。赤線はMSM、青線はボーガス中央コース。エラーバーは95%の信頼区間を示す。

51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はみられない。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

図4.28、図4.29に対して、空振り率を計算した結果が図4.31である。MSM、ボーガス中央コースともに、予報時間の経過につれて精度が悪化するものの、散布図と同様に51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はないことが分かる。ただし、FT51以降や潮位偏差が大きな領域ではサンプル数が少なく、エラーバーが大きくなることに注意が必要である。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

捕捉率 (赤線: MSM 青線: ポーガス中央コース、1に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

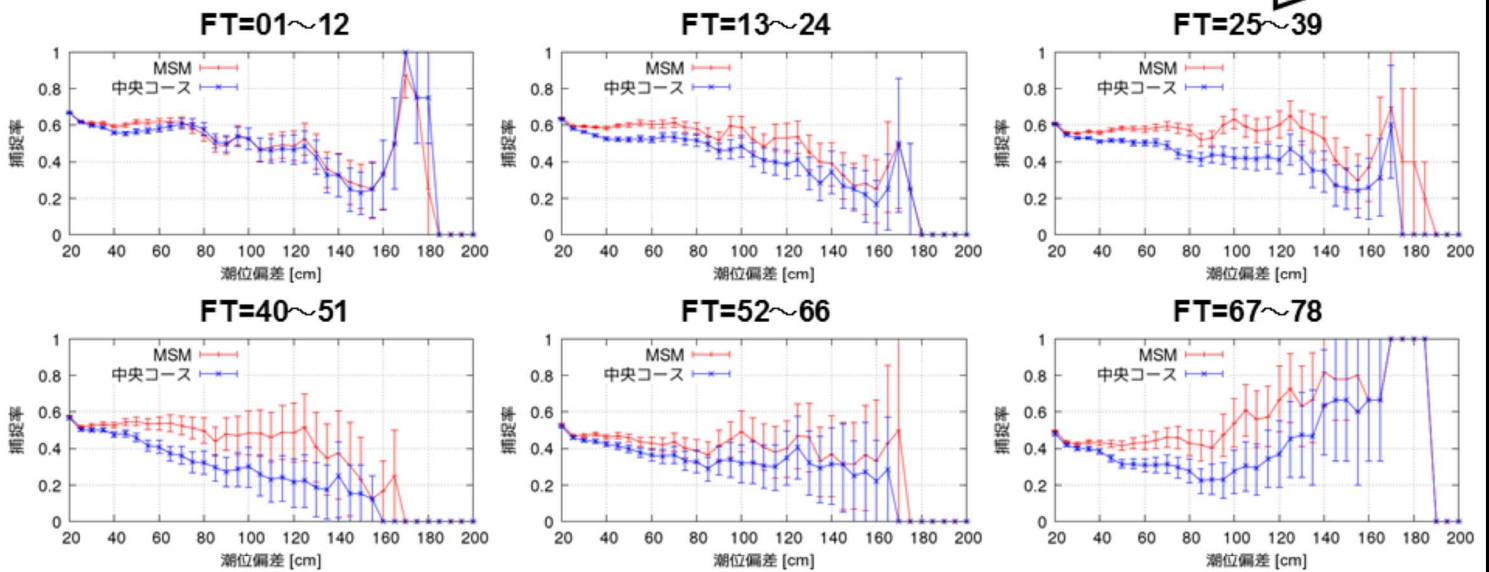


図4.32 高潮ガイダンスによる高潮予測計算の統計スコア(捕捉率)

図4.28、図4.29に対して、各種統計スコアをとったもの。赤線はMSM、青線はポーガス中央コース。エラーバーは95%の信頼区間を示す。

潮位偏差の大きくない領域(100cm程度以下)については51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はみられない。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

図4.28、図4.29に対して、捕捉率を計算した結果が図4.32である。MSM、ポーガス中央コースともに、予報時間の経過につれて精度が悪化するものの、散布図と同様に51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はないことが分かる。ただし、FT51以降や潮位偏差が大きな領域ではサンプル数が少なく、エラーバーが大きくなることに注意が必要である。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

スレットスコア (赤線: MSM 青線: ポーガス中央コース、1に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

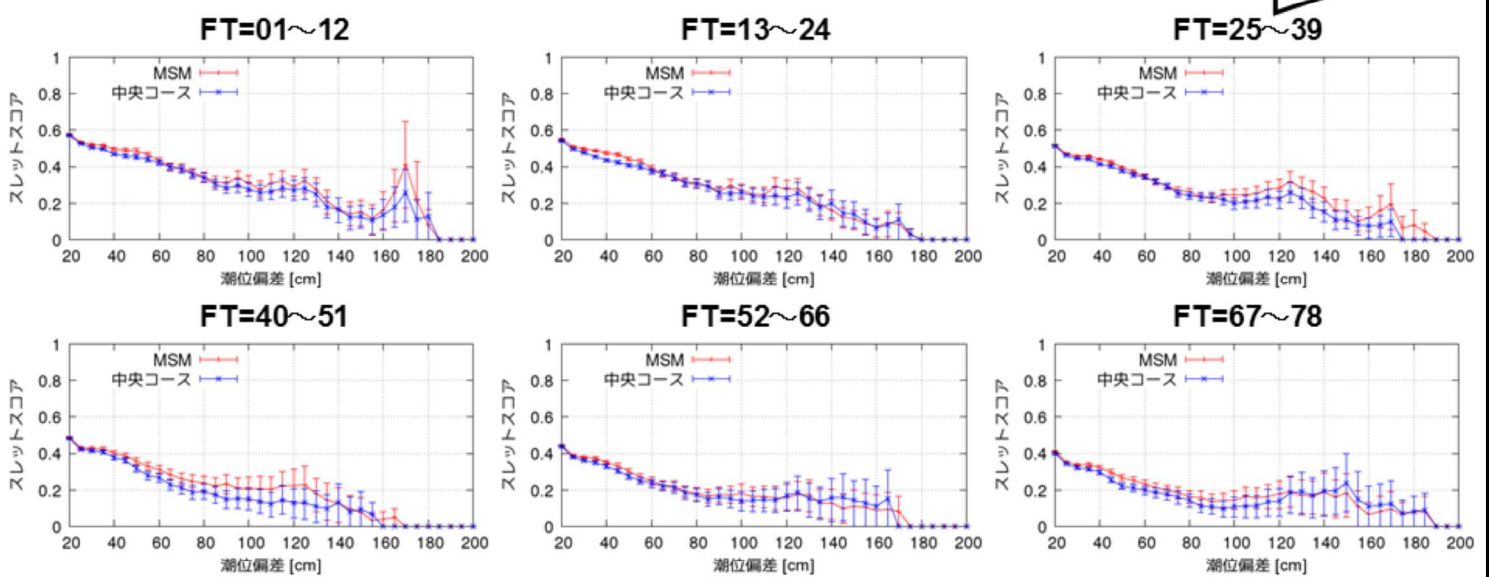


図4.33 高潮ガイダンスによる高潮予測計算の統計スコア(スレットスコア)

図4.28、図4.29に対して、各種統計スコアをとったもの。赤線はMSM、青線はポーガス中央コース。エラーバーは95%の信頼区間を示す。

51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はみられない。

4.5 高潮ガイダンス78時間版の検証

図4.28、図4.29に対して、スレットスコアを計算した結果が図4.33である。MSM、ポーガス中央コースともに、予報時間の経過につれて精度が悪化するものの、散布図と同様に51時間先以降で特性が大きく変わる傾向はないことが分かる。ただし、FT51以降や潮位偏差が大きな領域ではサンプル数が少なく、エラーバーが大きくなることに注意が必要である。

参考文献

- 近澤, 2015: 波浪効果 (wave setup) 診断モデルの高度化及びその検証, 測候時報, 82, 特別号, S7-S28.
- 櫻井, 2016: 流域雨量指数を用いた津居山検潮所における高潮ガイダンスの補正法, 測候時報, 83, 特別号, S1-S9.
- 田中, 太田, 牧原, 2008: 流域雨量指数による洪水警報・注意報の改善, 測候時報, 75, 特別号, 35-69.

5. 事例検証

これまで、第4節にて、長期間(2019年～2021年)の統計検証の結果を踏まえた高潮ガイダンスの特性について説明した。一方、個々の事例を検証すると、長期間の統計検証の結果からは見えてこない特性が明らかになることもある。そこで本節では、顕著な高潮が発生した平成30年台風第21号及び第24号と、令和元年台風第19号の事例を取り上げ、それぞれの事例検証の結果を説明する。

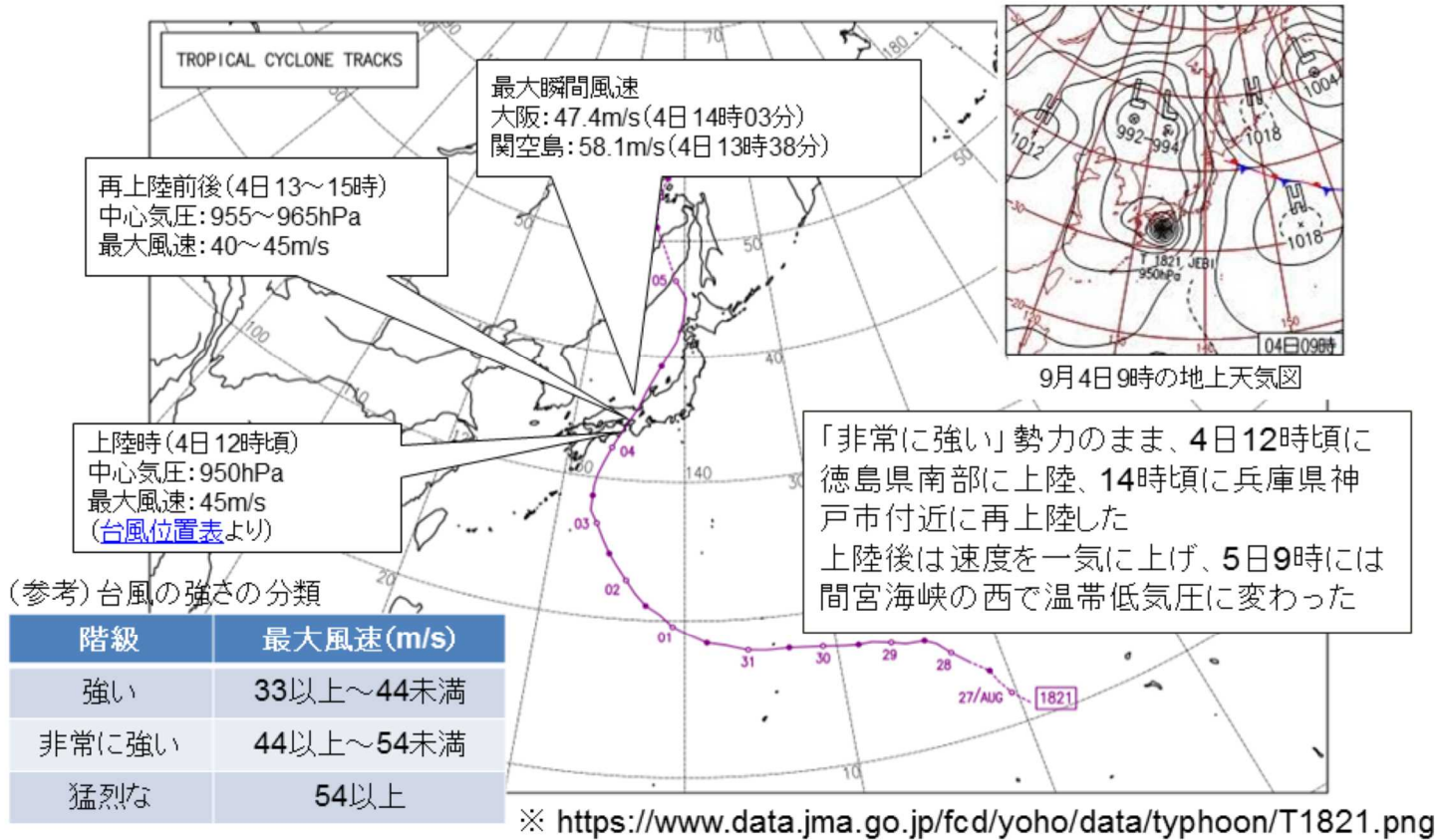
事例検証では、まずは各事例における観測状況と、ガイダンスの予測との整合状況を説明する。その後、予測が適中又は外れた要因など、各事例において特筆すべき点を説明する。

本節で説明する事例検証の結果と、第4節で説明した長期間の統計検証の結果を踏まえ、第6節にて高潮ガイダンスの解釈のポイントについて解説する。

なお、高潮モデルは、令和3年4月に台風ボーガスの改善、令和4年8月にハインドキャストの改善等を行っており、それに伴い高潮ガイダンスの特性にも多少の変化がみられる。本節で扱うガイダンスの予測結果は基本的にモデル改善を反映したものであるが、比較のため、モデル改善前の結果についても一部紹介する。(なお、モデル改善の具体については、数値予報解説資料集を参照されたい。)

5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 1 平成30年台風第21号の経路



5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 1 平成30年台風第21号の経路

平成30年台風第21号は、非常に強い勢力のまま、9月4日12時頃に徳島県南部に上陸し、4日14時頃に兵庫県神戸市付近に再上陸した。上陸後は速度を上げ、5日9時に間宮海峡の西で温帯低気圧に変わった。最初の上陸時における中心気圧は950hPa、最大風速は45m/sで、再上陸時における中心気圧は955~965hPa、最大風速は40~45m/sであった。

5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 2 情報発表状況

フケジヨウホウ1 オサカ

平成30年 台風第21号に関する大阪府気象情報 第3号
平成30年9月3日17時03分 大阪管区気象台発表

～(中略)～

【高潮の予想】

大阪府の沿岸地域の海岸や河口付近では、4日昼過ぎから夜のはじめ頃にかけて高潮のおそれがあります。台風の接近と共に急激に潮位が上昇し、過去最高の潮位に匹敵する記録的な高潮となるおそれがあります。

【防災事項】

暴風、土砂災害、高潮に厳重に警戒してください。
浸水害、河川の増水や氾濫、高波に警戒してください。
竜巻などの激しい突風や落雷に注意してください。発達した積乱雲の近づく兆しがある場合には、建物内に移動するなど、安全確保に努めてください。

～(後略)～

- 3日の夕方には大阪府気象情報で「過去最高の潮位に匹敵する記録的な高潮となるおそれ」に言及。

平成30年 9月 4日04時56分 大阪管区気象台発表

大阪府の注意警戒事項

大阪府では、4日昼前から4日夕方まで暴風や高波に警戒してください。

お知らせ 平成30年6月18日の大阪府北部の地震に伴い、大雨警報・注意報は通常基準より引き下げた運用を行っている所があります。

大阪市 【発表】暴風、波浪警報 大雨、雷、高潮注意報

4日昼過ぎまでに大雨警報（浸水害）に切り替える可能性が高い
4日昼過ぎまでに高潮警報に切り替える可能性が高い

発表中の 警報・注意報等の種別	今後の推移 (■警報級 □注意報級)										備考・ 関連する現象		
	4日												
	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	0-3	3-6				
大雨	1時間最大雨量 (ミリ)	0	0	40	70	70	40						
	(浸水害)												浸水注意
	(土砂災害)												土砂災害注意
暴風	風向風速 (矢印・メートル)	陸上	12	14	20	35	35	18	15	12	12		
	海上	15	18	25	40	40	23	20	15	15			
波浪	波高 (メートル)	1.5	2	3	4	4	2.5	2.5	1.5	1.5			
	潮位 (メートル)	0.4	0.4	0.8	2.8	2.8	2.2	1.5					ピークは4日16時頃
雷													竜巻

- 大阪管区は9月4日4時56分に高潮注意報、6時30分に高潮警報を発表。
- 最高潮位 標高2.8メートルの高さを予測。

5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 2 情報発表状況

大阪管区気象台は、9月3日の夕方には、大阪府気象情報で「過去最高の潮位に匹敵する記録的な高潮となるおそれ」に言及した。4日4時56分に高潮注意報、6時30分に高潮警報を発表した。

5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 3 期間最高潮位および最大潮位偏差

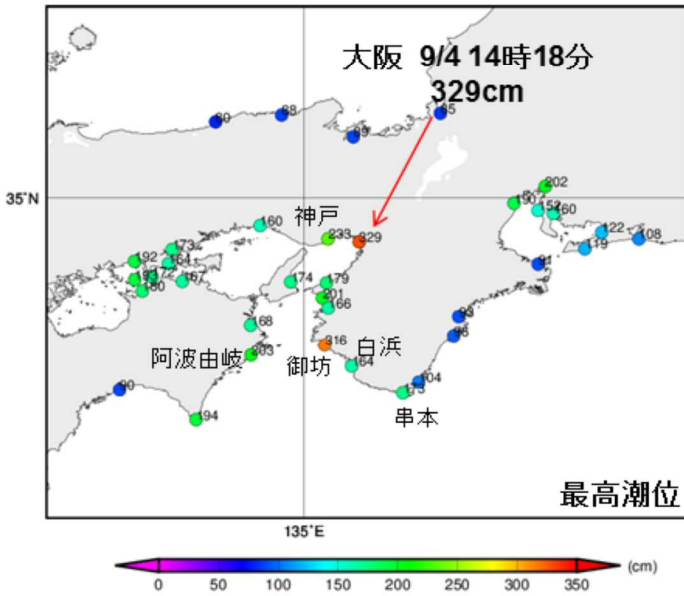
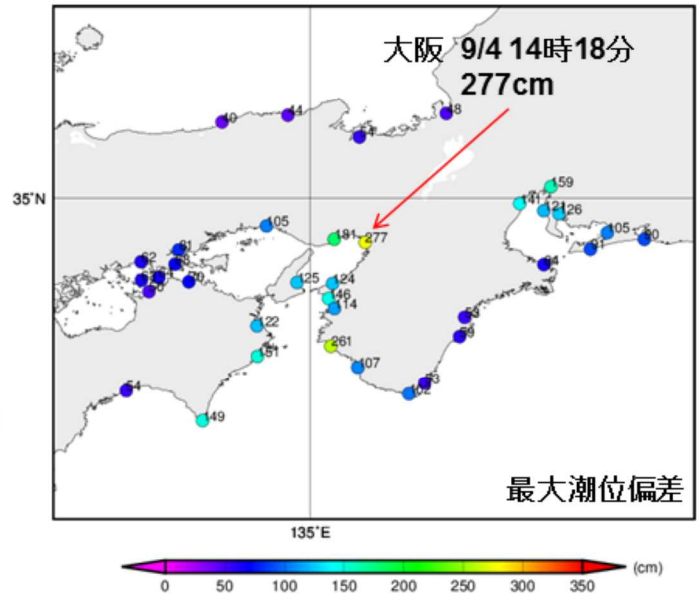


図5.1 台風第21号通過前後で観測された、期間最高潮位(左)と最大潮位偏差(下)



- 大阪、神戸、御坊、白浜、串本、阿波由岐で過去の最高潮位を超える値を観測。
- 御坊、白浜、串本、阿波由岐は波浪効果(Wave Setup)の影響も大きかったと考えられる。

5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 3 期間最高潮位および最大潮位偏差

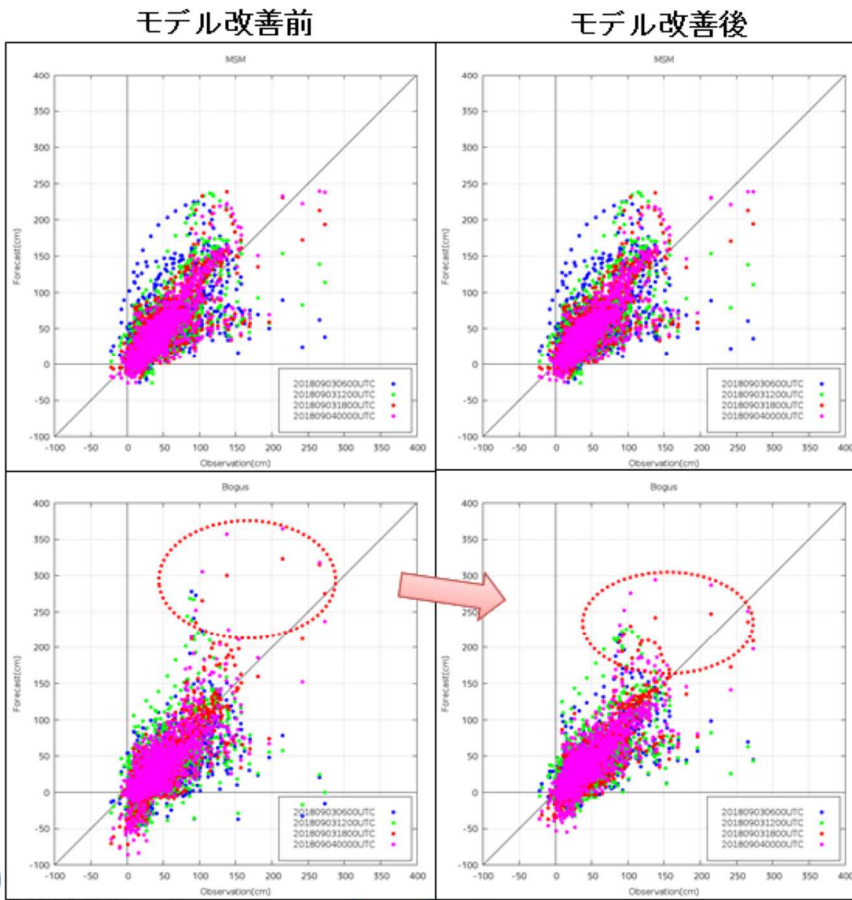
図5.1に、台風通過前後の期間における最高潮位と最大潮位偏差を示す。大阪で過去最高潮位329cmを記録したほか、神戸と御坊、白浜、串本、阿波由岐でも過去最高潮位を記録した。御坊、白浜、串本、阿波由岐は外洋に面しており、波浪効果(Wave Setup)の影響も大きかったと考えられる。

5.1 平成30年台風第21号

5.1.4 潮位偏差 実況-ガイダンス散布図(新旧比較)

MSMコース

ボーガス中央コース



- MSMコースで比較した場合、モデル改善に伴う効果は明瞭ではない。
- ボーガス中央コースで比較した場合、過剰な予測が実況に近づく効果が見られた。これは、ボーガスの改善効果と考えられる。

図5.2
高潮ガイダンスについて、近畿地方周辺の3日15時(06UTC)～4日9時(00UTC)まで6時間ごとの初期値を10分毎値でプロット。対象時刻は、大きめの潮位偏差が観測された4日9時(00UTC)～4日19時(10UTC)までの時間帯に絞っている。
上段左: MSMコース(モデル改善前)
下段左: ボーガス中央コース(モデル改善前)
上段右: MSMコース(モデル改善後)
下段右: ボーガス中央コース(モデル改善後)

5.1 平成30年台風第21号

5.1.4 潮位偏差 実況-モデル散布図(新旧比較)

まず、先述した高潮モデルの改善効果を紹介する。

図5.2は、近畿地方周辺(図5.1のプロット地点が該当)の潮位観測点における潮位偏差観測値と、高潮ガイダンスにより計算された潮位偏差の散布図を、新旧モデルで比較したものである。

MSMコース(上段)で比較した場合、モデル改善の効果は明瞭ではない。一方、ボーガス中央コースで比較した場合、過剰な予測が実況に近づく効果が確認できる。(図中の赤丸。)これは、高潮モデルにおける台風ボーガスの改善効果と考えられる。

これ以降、5.1節で紹介するガイダンスの結果は、(一部を除き)すべてモデル改善を反映したものである。

5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 5 潮位偏差 実況-ガイダンス散布図

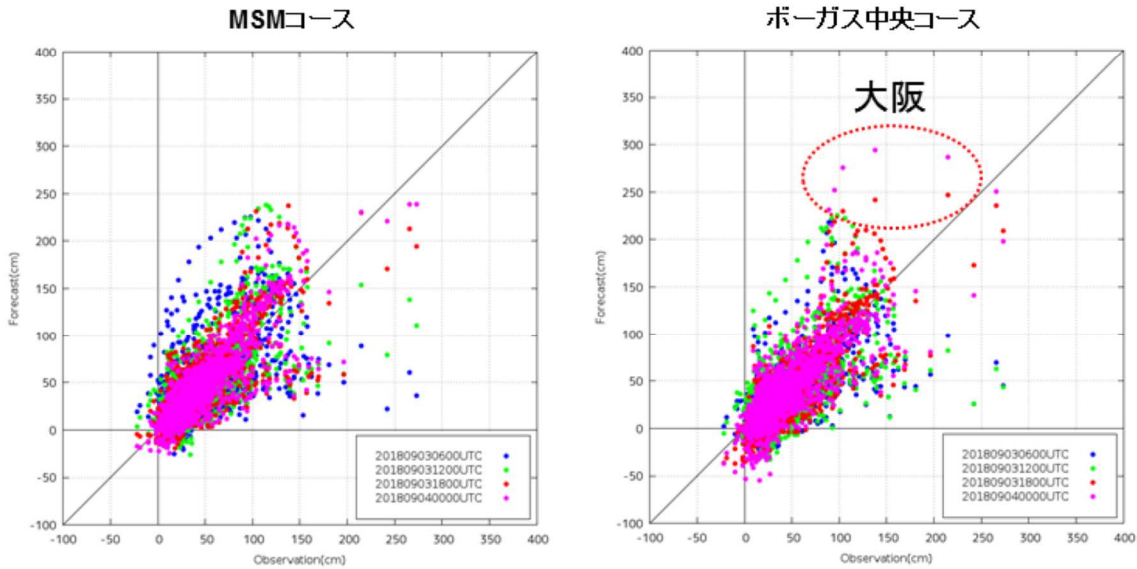


図5.3 高潮ガイダンスについて、近畿地方周辺の3日15時(06UTC)～4日9時(00UTC)まで6時間ごとの初期値を10分毎値でプロット。大きめの潮位偏差が観測された4日9時(00UTC)～4日19時(10UTC)までの時間帯に絞っている。左:MSMコース、右:ボーガス中央コース

- ▶ 台風接近・上陸間際の初期時刻の予報において、ボーガス中央コースを見ると、大阪を中心に過大評価が目立つ

5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 5 潮位偏差 実況-モデル散布図

図5.3は、近畿地方周辺の潮位観測点における潮位偏差観測値と、高潮ガイダンスにより計算された潮位偏差の散布図である。上陸前後の3日15時から4日9時にかけて、6時間ごとの初期値についてプロットしている。対象時刻は、大きめの潮位偏差が観測された4日9時(00UTC)～4日19時(10UTC)までの時間帯に絞っている。ボーガス中央コースでは、初期値ごとの変化があまり大きくないが、台風接近・上陸間際の初期値では一部の地点(大阪が該当する)で、MSMコースと比較し過大評価が目立つことが分かる。(5.1.4でモデル改善によるボーガス中央コースの改善について言及したが、改善後であっても、MSMと比較すると過大傾向がある。)

5.1 平成30年台風第21号

5.1.6 MSMとボーガスの風の比較

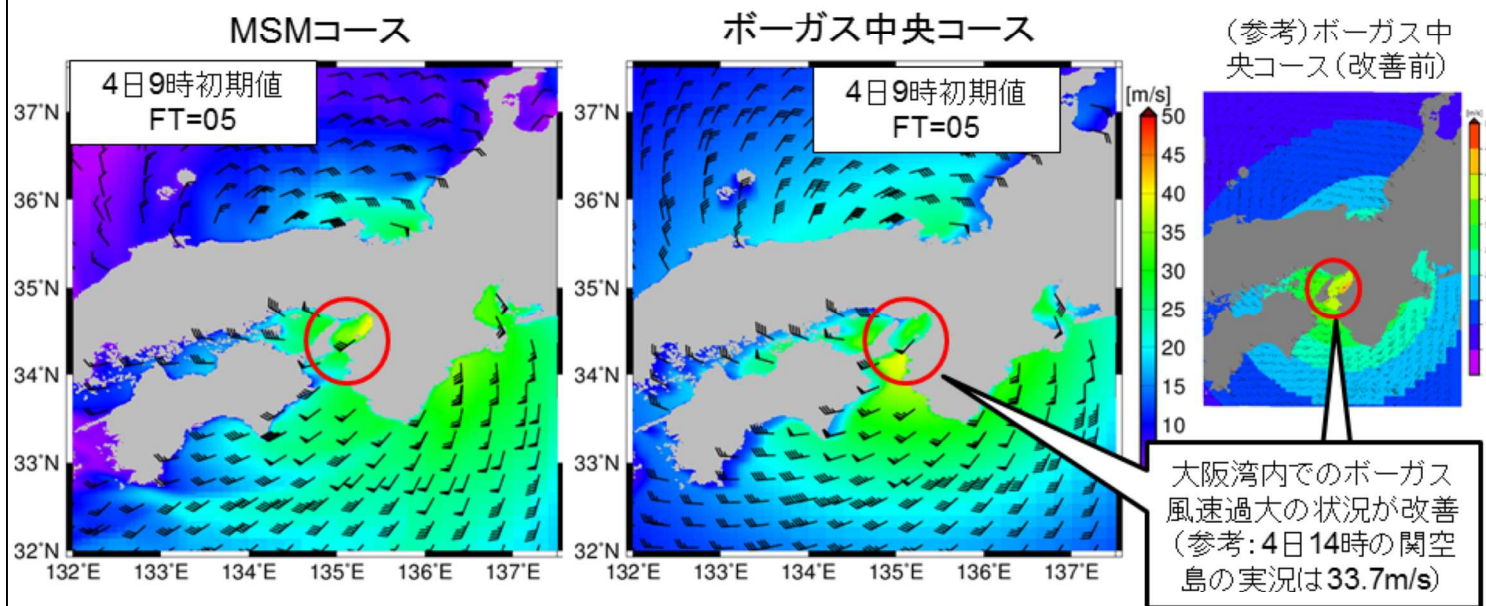


図5.4 4日14時における近畿地方周辺の風向風速分布
 4日9時(00UTC)初期値のFT=05のプロット。カラーは風速(m/s)、矢羽は風向風速を示す。
 左: MSMコース、中央: ボーガス中央コース(改善後)、右: ボーガス中央コース(改善前)

5.1 平成30年台風第21号

5.1.6 MSMとボーガスの風の比較

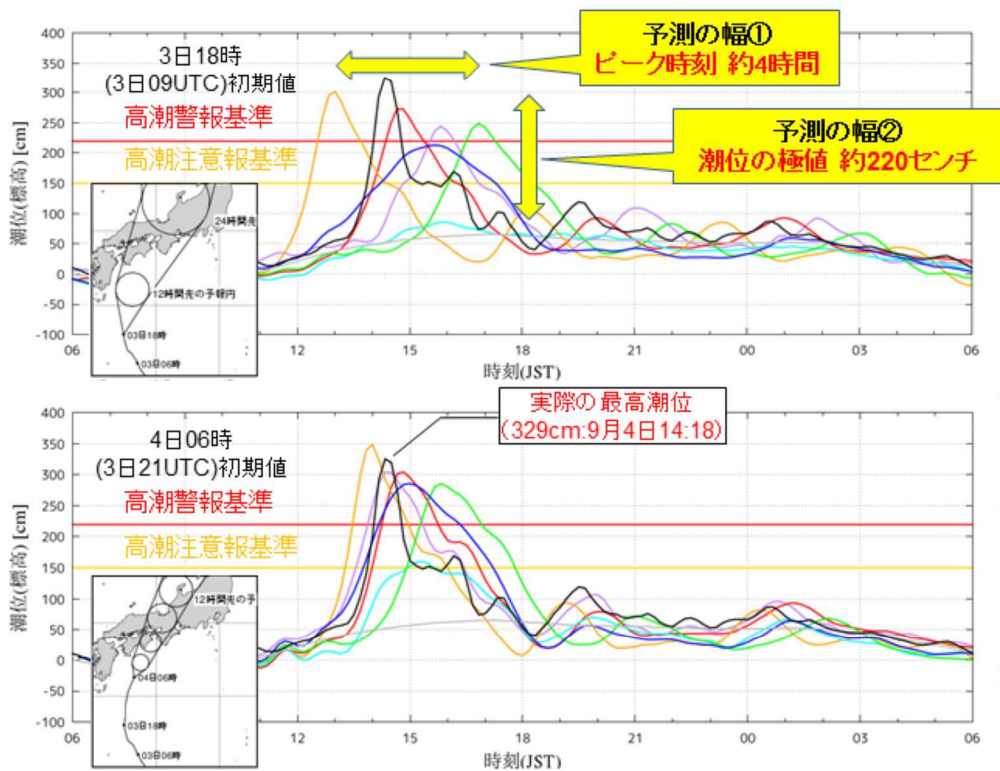
図5.4は、4日9時(00UTC)初期値のMSMとボーガス中央コースの、4日14時における近畿地方周辺の風向風速分布である。(参考として、ボーガス中央コースについてはモデル改善前の図も示す。)MSMコースでは、ボーガス中央コースに比べて、台風の進行方向右側で風速が大きい傾向にある。

4日14時に関空島で観測された風向風速は南南西の風33.7m/sであるが、図5.4の参考図とボーガス中央コースの図を比較すると、今回のボーガス風の改善により、台風中心付近の風予想は実況に近づいたと考えられる。この改善が、先の図5.2で示した潮位偏差の改善につながったと考えられる。

一方、依然としてボーガス中央コースは実況と比較し予測が過大(図5.3参照)であった。これは、風速のピークがMSMとボーガス中央コースとで差があり、FT=05の時点ではMSMよりも風速が小さく実況に近いが、ピークの値自体(FT=6以降)は引き続きMSMや観測よりも大きい(図省略)ことが要因として考えられる。

5.1 平成30年台風第21号

5.1.7 大阪の実測潮位と予測値の比較



- 実況では、4日14時過ぎに第1のピーク、16時過ぎに第2のピークを観測した。
- 3日18時初期値(第1ピークの約20時間前)の予測では各コースの予測幅が大きく、潮位はボーガス速いコース、ピーク時間はボーガス中央コースが実況に近かった。
- 4日6時初期値(第1ピークの約8時間前)ではMSMコースが良くピークを予測できていた。各コースの予測の幅も小さくなり、現象の確度が高まったことが確認できる。

図5.5 大阪での潮位 6コース 高潮ガイダンス潮位データ
上図は3日18時(3日09UTC)、下図は4日06時(3日21UTC)初期値

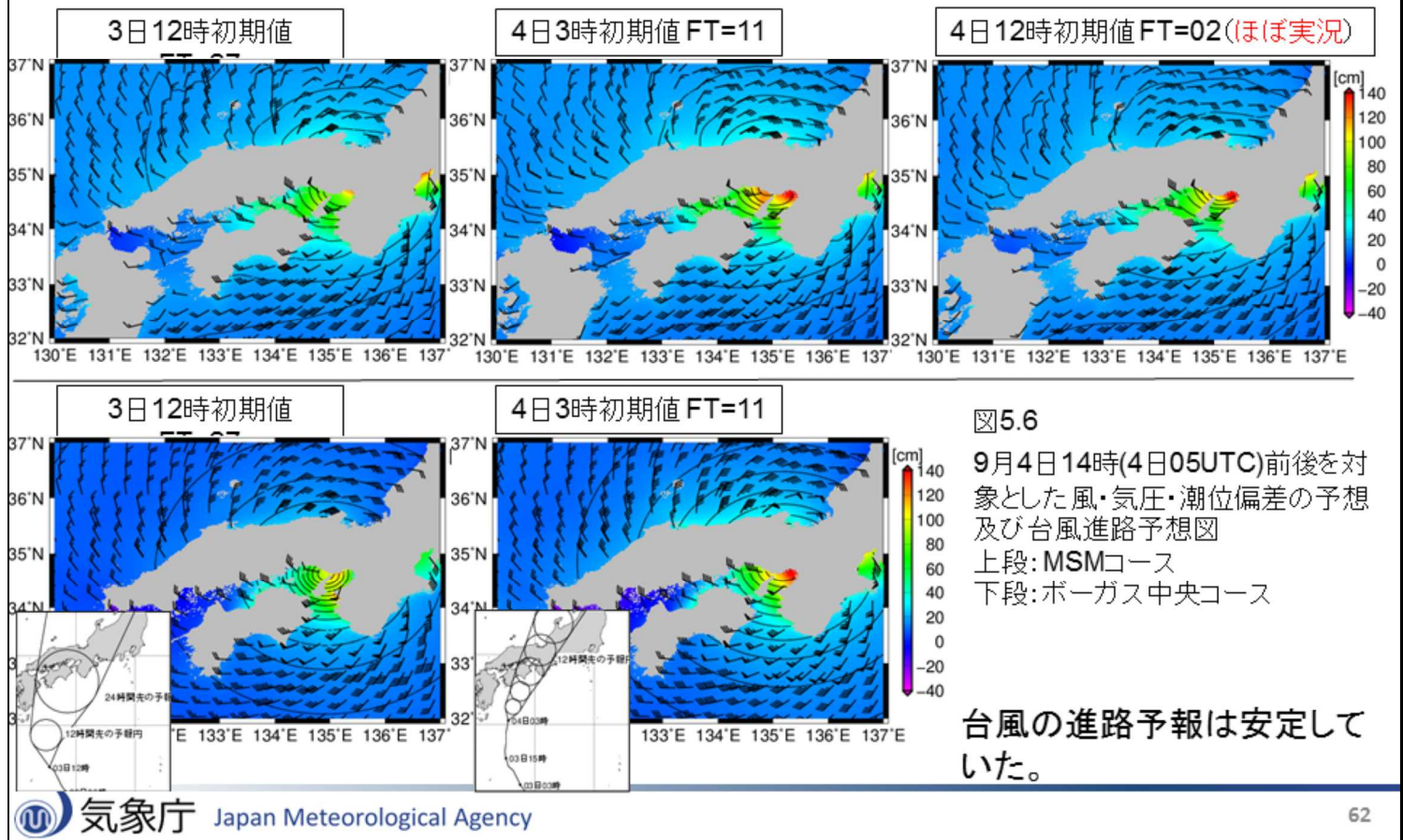
5.1 平成30年台風第21号

5.1.7 大阪の実測潮位と予測値の比較

大阪での潮位時系列を図5.5に示す。実況では4日14時過ぎに第1のピークを観測し、高潮警報基準を超過した。4日16時過ぎには第2のピークを観測し、高潮注意報基準を超過した。3日18時初期値(第1ピークの約20時間前)の予測では、各コースの予測幅が大きく(ピーク値:約220cm、ピーク幅:約3時間)、不確実性は大きかったと言える。この時点では、MSMコースよりもボーガス中央コースの予測が実況に近かった。4日6時初期値(第1ピークの8時間前)の予測では、MSMコースがピークを良く予測できていた。

5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 8 モデル分布図(初期時刻による変化)



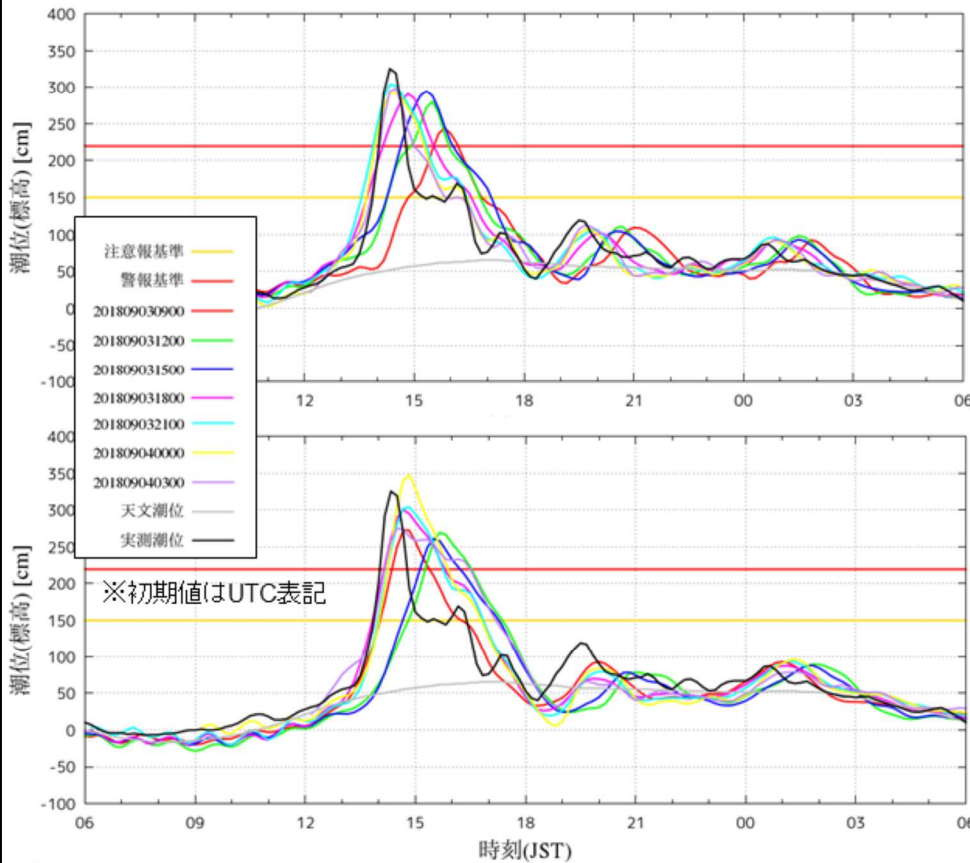
5. 1 平成30年台風第21号

5. 1. 8 モデル分布図(初期時刻による変化)

近畿地方で顕著な高潮が観測された4日14時頃の風や気圧、高潮の予測場と、3日12時及び4日3時初期時刻の台風進路予想図を図5.6に示す。台風第21号は進路予報が安定しており、風・気圧の場を見ると、初期値による大きな違いは見られない。一方、高潮の予測に注目すると、ボーガス中央コースは初期値によって予測が1m程度過大なものもあった。MSMコースでは、初期値が新しくなるごとに実況と整合するようになった。

5.1 平成30年台風第21号

5.1.9 まとめ



- 進路予報が安定しており、MSMコースの予測では、初期値が新しくなることに実況と整合するようになった。3日18時初期値の予想(上陸約20時間前)ではボーガス中央コース、4日6時初期値以降の予想ではMSMコースが、それぞれ実況と良く整合していた。どちらのコースでも警報基準超過が予想されていた。
- 報道発表では「過去最高潮位を記録する可能性」に言及しており、実際にいくつかの地点でその通りになった。

図5.7 大阪での高潮ガイダンスによる各初期値の潮位予想
(上:MSMコース、下:ボーガス中央)

5.2 平成30年台風第21号

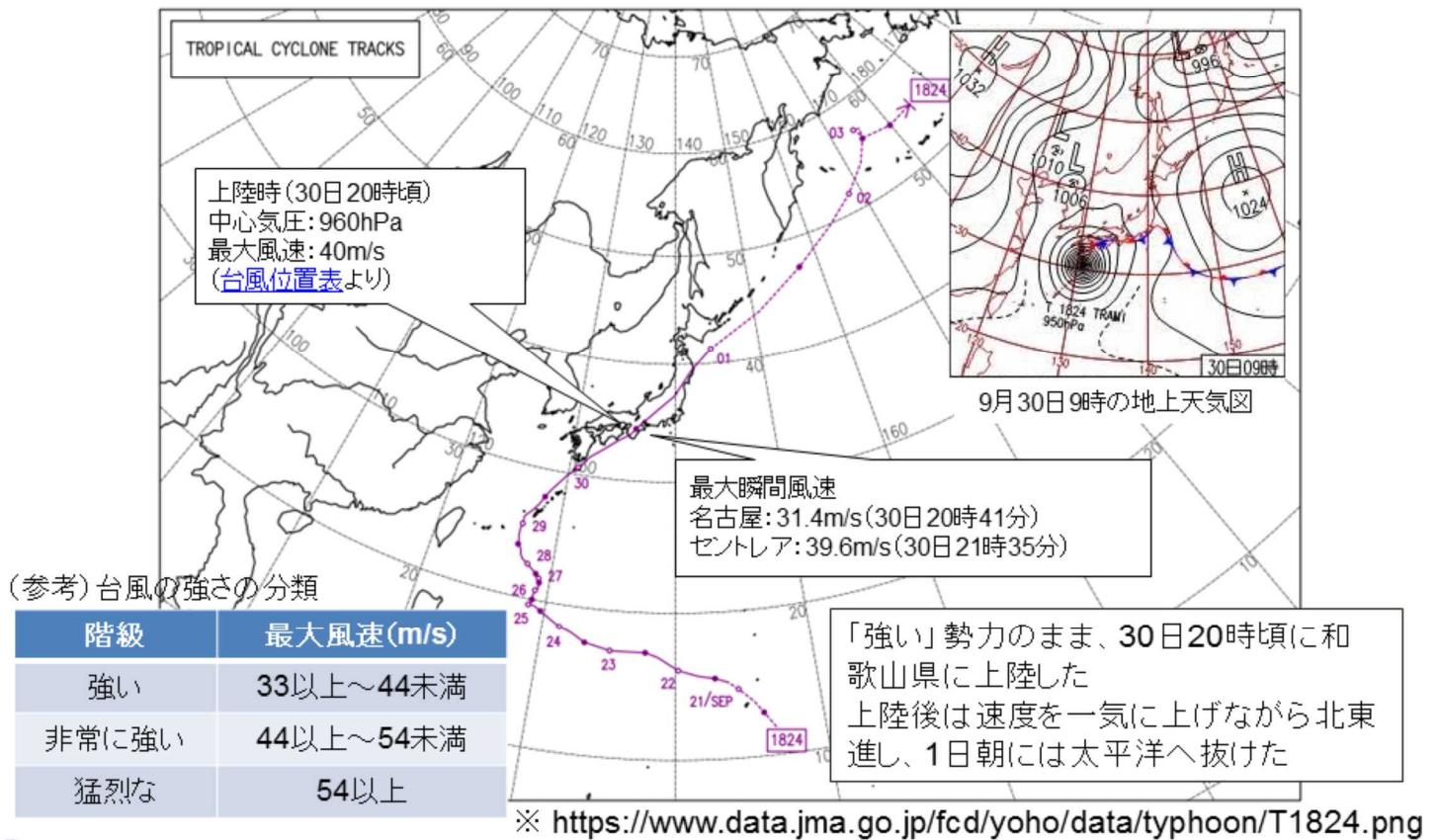
5.2.9 まとめ

進路予報が安定しており、MSMコースの予測では、初期値が新しくなることに実況と整合するようになった。3日18時初期値の予想(上陸約20時間前)ではボーガス中央コース、4日6時初期値以降の予想ではMSMコースが、それぞれ実況と良く整合していた。

報道発表では「過去最高潮位を記録する可能性」に言及しており、実際にいくつかの地点でその通りになった。

5. 2 平成30年台風第24号

5. 2. 1 平成30年台風第24号の経路



5. 2 平成30年台風第24号

5. 2. 1 平成30年台風第24号の経路

台風第24号は、強い勢力で9月30日20時頃に和歌山県に上陸し、その後速度を上げて北東進し、10月1日朝には太平洋へ抜けた。上陸時における中心気圧は960hPa、最大風速は40m/sであった。

5. 2 平成30年台風第24号

5. 2. 2 情報発表状況

平成30年 台風第24号に関する情報 第97号

平成30年9月30日 16時54分 気象庁予報部発表

(見出し)
台風第24号は非常に強い勢力で四国地方または紀伊半島に上陸する見込みです。10月1日にかけて、西日本から北日本にかけての広い範囲で猛烈な風や猛烈なしけとなるでしょう。暴風や高波、大雨、高潮に厳重に警戒してください。

30日05:23発表(第83号)

東海地方での最高潮位予想は3.9mで「伊勢湾台風」に匹敵の記述が登場

中略

30日16:54発表(第97号)

東海地方の最高潮位予想は4.1mに上方修正

<高潮>
台風の接近・通過に伴い、西日本から北日本では、10月1日にかけて高潮となる所がある見込みです。特に東海地方では伊勢湾台風による過去最高潮位に匹敵する記録的な高潮となるおそれがあります。
警報が予想される地域の、予想される最高潮位は、高い所で

東海地方	標高	4.1メートル
近畿地方	標高	2.8メートル
四国地方	標高	2.0メートル
中国地方	標高	1.8メートル

(東海地方の最高潮位予想時間帯は21-24時)

5. 2 平成30年台風第24号

5. 2. 2 情報発表状況

30日05:23に気象庁が発表した情報では、東海地方の予想最高潮位は3.9mで「伊勢湾台風」に匹敵する、との記述がされた。その後30日16:54発表の情報では、東海地方の予想最高潮位は4.1mに上方修正された。

5. 2 平成30年台風第24号

5. 2. 3 期間最高潮位および最大潮位偏差

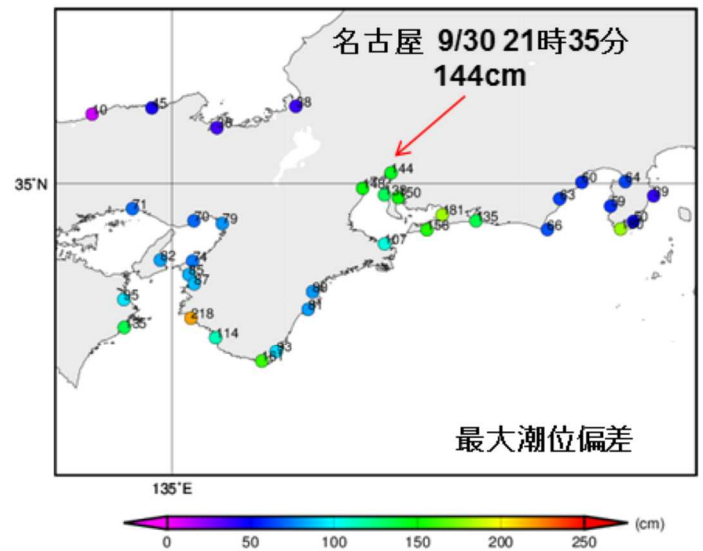
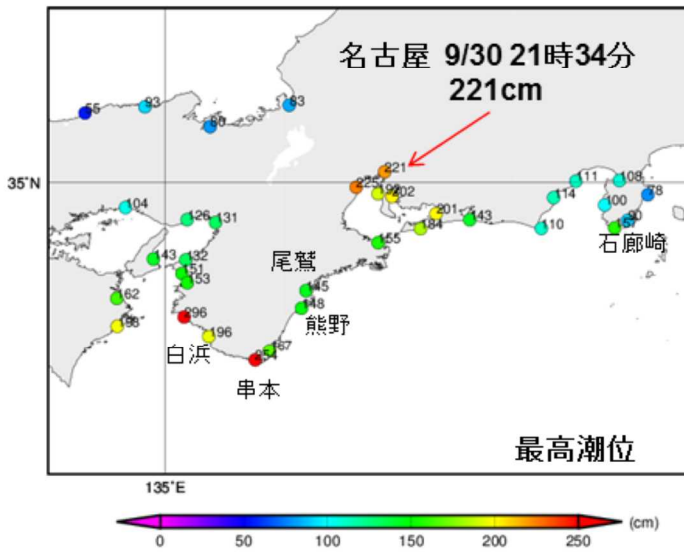


図5.8 台風第24号通過前後で観測された、期間最高潮位(上)と最大潮位偏差(右)

- 伊勢湾並みの高潮が予想された名古屋では、最高潮位は221cmと伊勢湾台風時の最高潮位(389cm)に比べて約1.7m低い潮位。
- 串本や白浜など、近畿地方の太平洋側などで過去最高潮位を観測した。これらの地点では、Wave Setupの影響が大きかったと考えられる。

5. 2 平成30年台風第24号

5. 2. 3 期間最高潮位および最大潮位偏差

実際に観測された最高潮位は、名古屋で221cmと、伊勢湾台風時の389cmよりもかなり低かった。一方、串本や白浜など、近畿地方の太平洋側などでは過去最高潮位を観測した(図5.8)。上陸直前の9月30日18時初期値のMSMコースにおける、これらの地点の予想最高潮位は、串本で146.6cm、白浜で151.1cmと、50~100cm程度過小であった。これらの地点が太平洋に面していることや、ほぼ実況とみなせる直前の予想でも大きな過小評価となったことから、高潮モデルでは考慮されていないWave Setupの影響が大きかったと考えられる。

5.2 平成30年台風第24号

5.2.4 潮位偏差 実況-ガイダンス散布図(新旧比較)

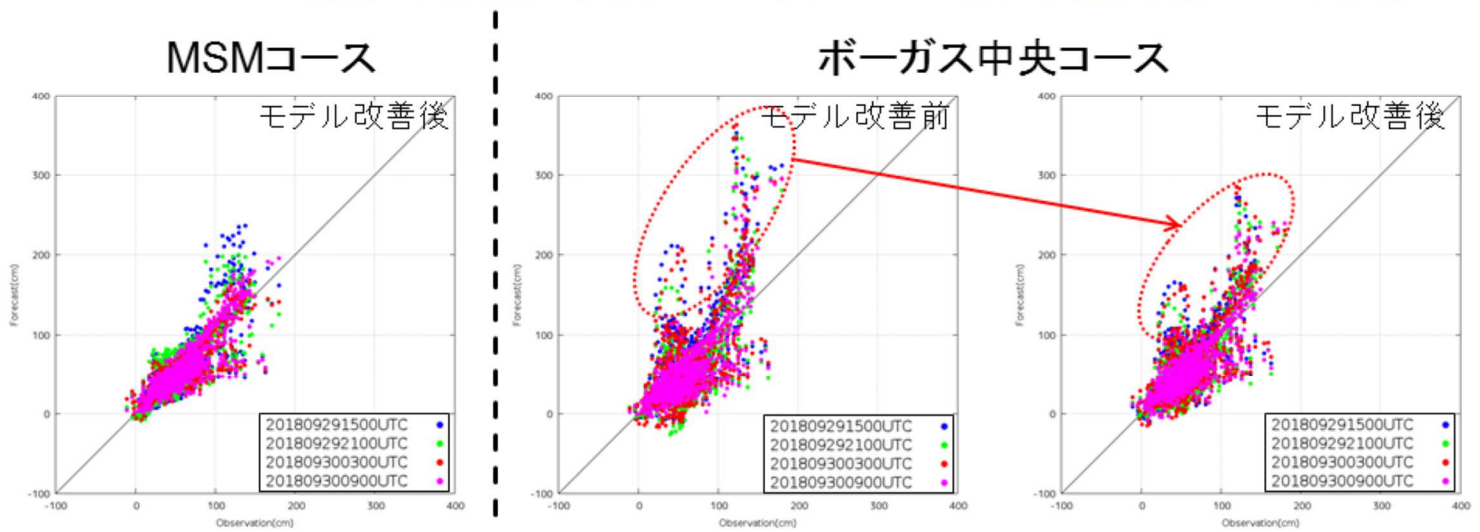


図5.9 高潮ガイダンスについて、近畿～東海地方周辺の30日0時(29日15UTC)～30日18時(09UTC)まで6時間ごとの初期値のプロット。大きめの潮位偏差が観測された30日17時(08UTC)～10月1日00時(9月30日15UTC)までの時間帯に絞っている。

左: MSMコース、中央: ボーガス中央コース(モデル改善前)、右: ボーガス中央コース(モデル改善後)

- 前半MSMは過大傾向。30日12時(03UTC)初期値あたりから観測値と整合。
- ボーガス中央コースは、モデル改善の効果として過大な予測が一部改善されているが、MSMコースと比較して過大傾向がみられた。

※10分ごとの値で比較。

5.2 平成30年台風24号

5.2.4 潮位偏差 実況-モデル散布図

本事例についても、まずは高潮モデルの改善による高潮ガイダンスの改善効果を紹介する。

図5.9は、近畿地方から東海地方周辺の潮位観測点における潮位偏差観測値と、高潮ガイダンス(MSMコース、ボーガス中央コース)により計算された潮位偏差の散布図である。上陸前後の30日0時から30日18時にかけて、6時間ごとの初期値についてプロットしている。MSMコースでは、前半に過大傾向が見られるが、30日9時初期値あたりから観測値と整合する予想だった。一方、ボーガス中央コースは、モデル改善の効果として過大な予測が一部改善されているが、MSMコースと比較して過大傾向がみられた。

これ以降、5.2節で紹介するガイダンスの結果は、(一部を除き)すべてモデル改善を反映したものである。

5.2 平成30年台風第24号

5.2.5 MSMとボーガスの風の比較

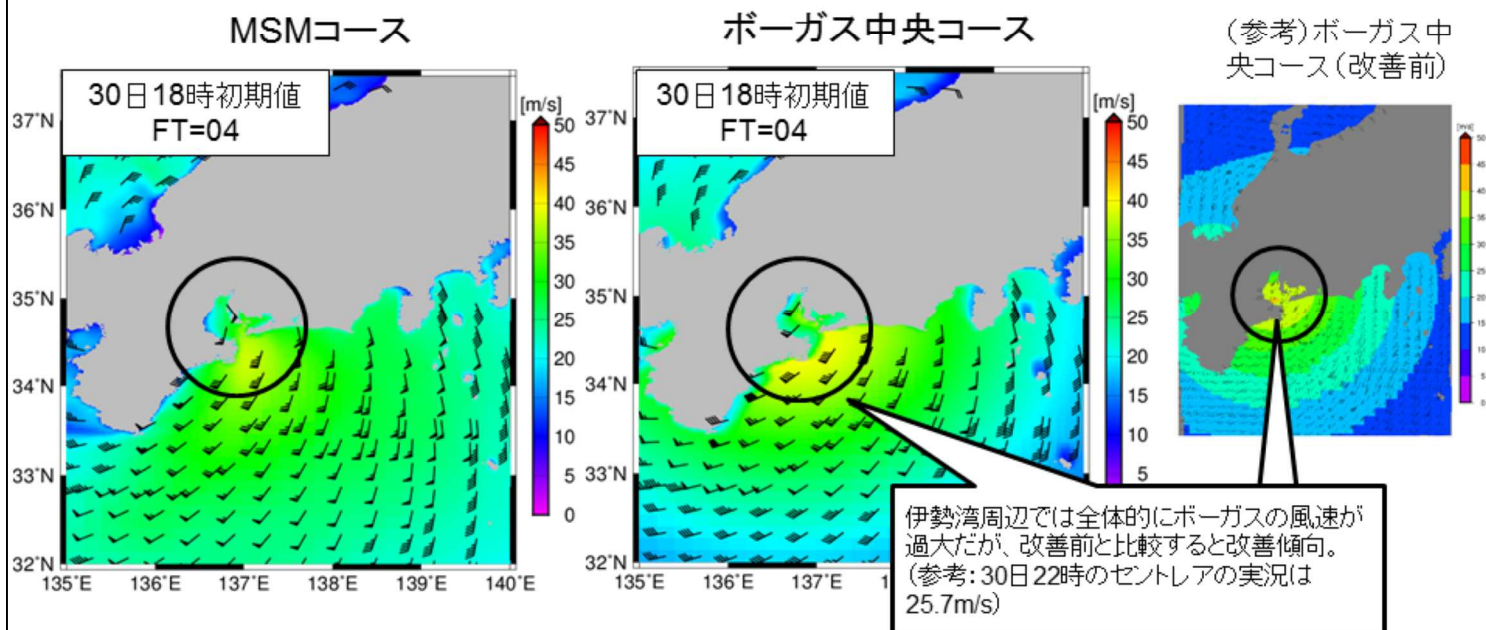


図5.10 30日22時における東海地方周辺の風向風速分布
 30日18時(09UTC)初期値のFT=04のプロット。カラーは風速(m/s)、矢羽は風向風速を示す。
 左: MSMコース、右: ボーガス中央コース

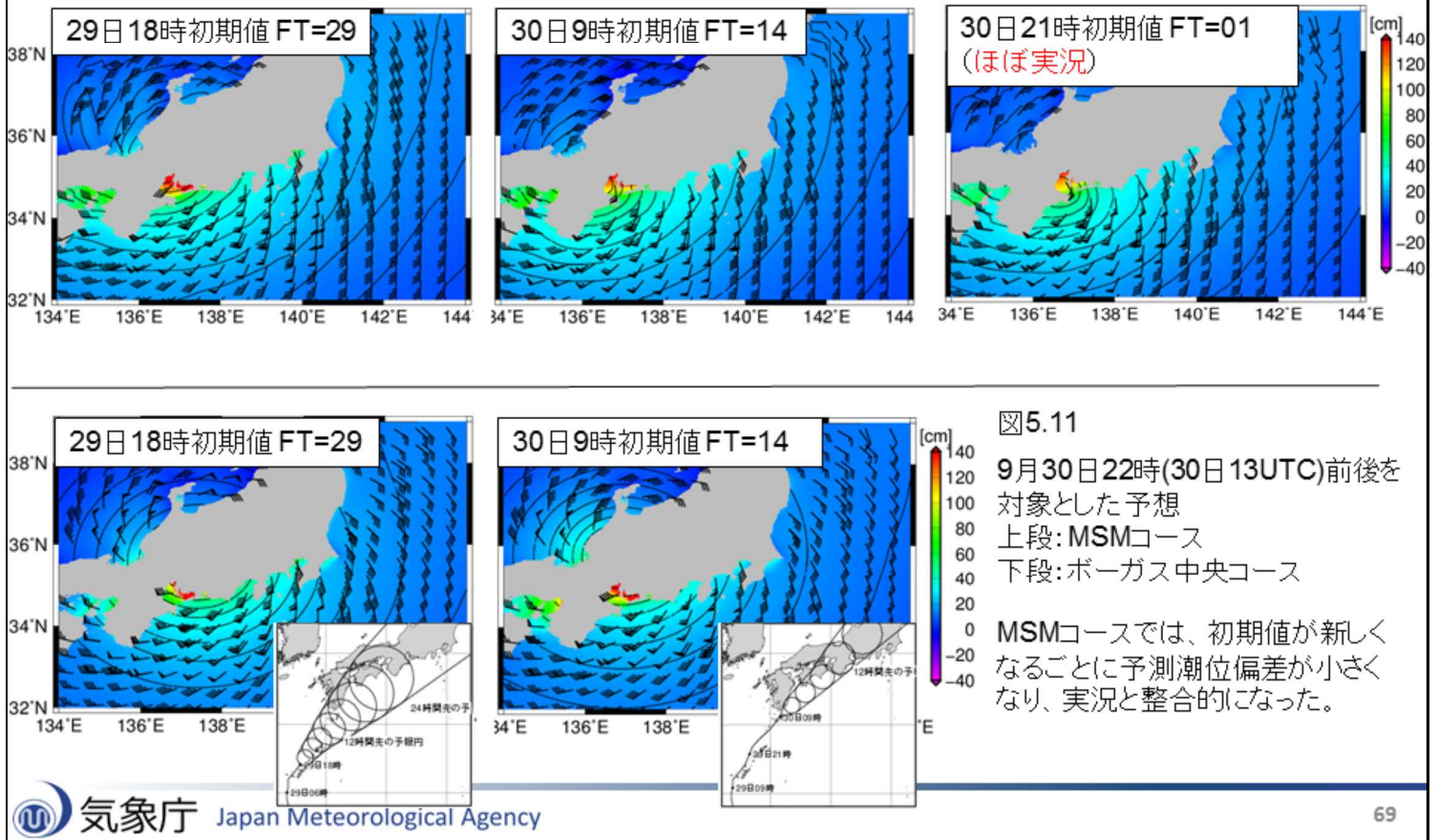
5.2 平成30年台風第24号

5.2.5 MSMとボーガスの風の比較

図5.10は、30日18時(09UTC)初期値のMSMとボーガス中央コースの、30日22時における近畿地方周辺の風向風速分布である。(参考として、ボーガス中央コースについてはモデル改善前の図も示す。)台風中心付近では、ボーガス中央コースの方がMSMコースに比べ風速が大きく、台風中心から離れたところでは、MSMコースの方がボーガス中央コースに比べ風速が大きく、風速が大きい領域も広い傾向にある。30日22時にセントレアで観測された風向風速は南東の風25.7m/sであり、ボーガス中央コースの風速は過大だったが、改善前の図と比較すると改善傾向があることが分かる。

5.2 平成30年台風第24号

5.2.6 モデル分布図(初期時刻による変化)



5.2 平成30年台風第24号

5.2.6 モデル分布図(初期時刻による変化)

東海地方で顕著な高潮が観測された30日22時頃の風や気圧、高潮の予測場を図5.11に示す。MSMコースを見ると、30日9時初期値で台風進路はやや南にシフトし、中心気圧はやや上昇している。これにより初期値が新しくなるごとに予測潮位偏差が小さくなり、実況と整合的になったと考えられる。

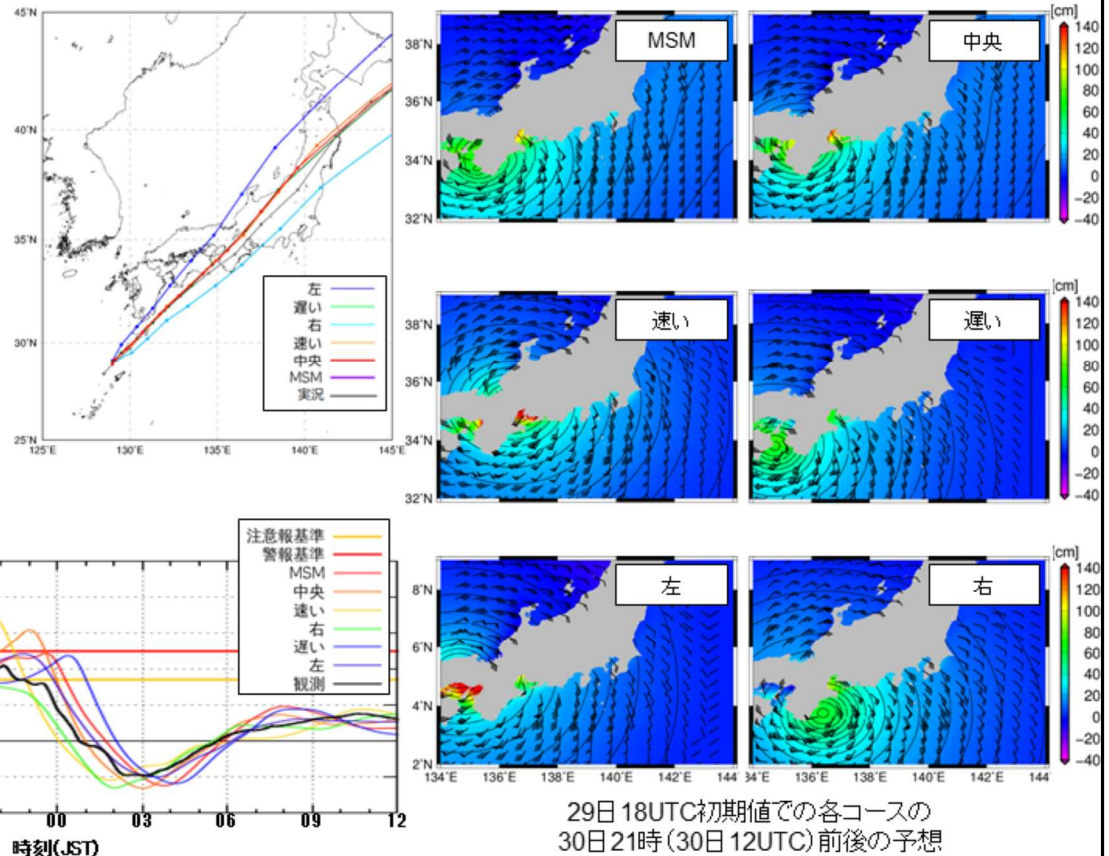
5.2 平成30年台風第24号

5.2.7 台風ボーガスコース比較

図5.12 右:30日3時初期値での各コースの台風進路
 左下:名古屋での潮位 予測は30日03時初期値(6コース)の高潮ガイダンス

(右図)
 30日3時初期値の予想では名古屋の北を通過する予想だったが、実際はボーガス中央コースと右コースの間、名古屋付近を通過した。

(下図)
 時系列図では、ボーガス中央コースなどが約3mの潮位を予想しているのに対し、右コースでは、1.5m程度の予想となっており、実況はその間に収まっている。



29日18UTC初期値での各コースの30日21時(30日12UTC)前後の予想

5.2 平成30年台風第24号

5.2.7 台風ボーガス コース比較

図5.12に、30日3時初期値における台風進路予想と名古屋のコース別潮位時系列(高潮ガイダンスの予測)を示す。この時、台風は名古屋の北を通過する予想だったが、実際はボーガス中央コースと右コースの間、名古屋付近を通過した。名古屋の時系列を見ると、ボーガス中央コースなどは3m超の潮位を予想しているのに対し、右コースでは1.5m程度の予想となっており、実況はその間に収まっている。

5.2 平成30年台風第24号

5.2.8 ベストトラックによる計算

- 29日21時(12UTC)～30日15時(06UTC)の各初期値での台風進路予報は、ベストトラックに比べ、北を通過していた。
- 台風ボーガスを用いた高潮ガイダンス結果が過大であった原因を調査するため、ベストトラックの位置、強度を入力として高潮ガイダンスの再計算を実行した。
- ベストトラックを用いた高潮ガイダンス結果は、実況に近くなり(約3m→約2.1m)、最高潮位は実況(221cm)より約10cm低い程度。
- 風速は、30日3時(29日18UTC)予想時に比べ、最大風速が3m/s以上小さくなっている。

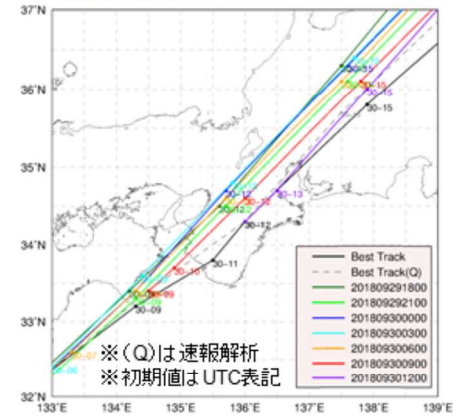
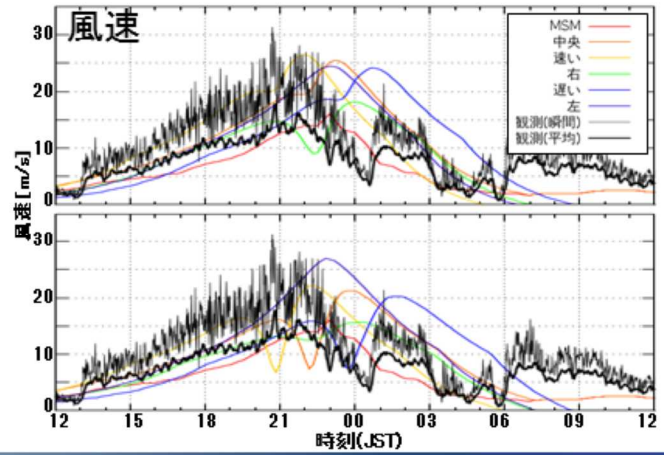
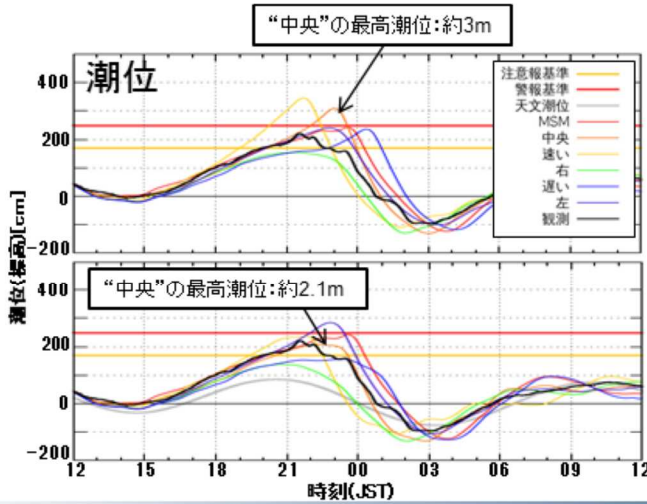


図5.13
30日3時
初期時刻
予想



5.2 平成30年台風第24号

5.2.8 ベストトラックによる計算

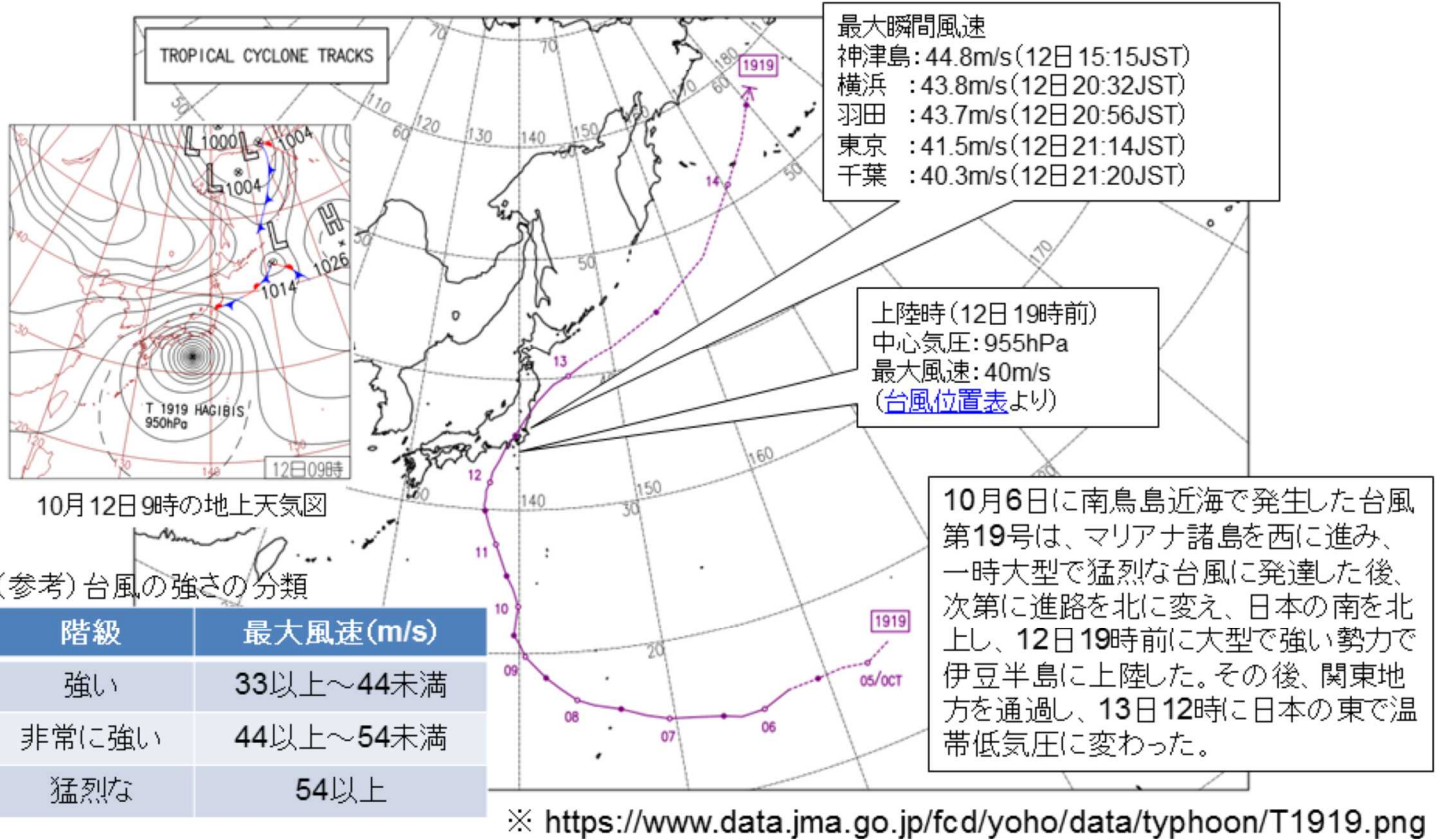
台風予報の誤差が高潮予測に与えた影響を調べるため、ベストトラックを入力として高潮ガイダンスの再計算を実行した(図5.13)。対象初期値は30日3時である。

ベストトラックを用いた計算結果は実況に近いものとなり(約3m→約2.1m)、最高潮位は実況(221cm)より約10cm低い程度となった。なお、ベストトラックによる最大風速は、当初よりも3m/s程度小さくなった。

このことを踏まえると、名古屋でボーガス中央コースの予測が実況よりも過大となった主な要因は、台風予報の誤差に起因すると考えられる。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.1 令和元年台風第19号の経路



5.3 令和元年台風第19号

5.3.1 令和元年台風第19号の経路

10月6日に南鳥島近海で発生した台風第19号(令和元年東日本台風)は、マリアナ諸島を西に進み、一時大型で猛烈な台風に発達した後、次第に進路を北に変え、日本の南を北上し、12日19時前に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した。その後、関東地方を通過し、13日12時に日本の東で温带低気圧に変わった。上陸時における中心気圧は955hPa、最大風速は40m/sであった。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.2 情報発表状況

令和元年 台風第19号に関する静岡県気象情報 第6号
令和元年10月11日17時18分 静岡地方気象台発表

～(中略)～

静岡県では、12日は台風の接近に伴い、記録的な高潮となるおそれがあります。伊豆を中心に非常に危険な状態になる可能性があります。12日昼過ぎから夜のはじめ頃にかけて高潮に厳重に警戒してください。

令和元年 台風第19号に関する情報 第59号
令和元年10月12日06時41分 気象庁予報部発表

大型で非常に強い台風第19号は、12日夕方から夜にかけて東海地方または関東地方に上陸する見込みです。東日本を中心に広い範囲で猛烈な風が吹き、猛烈なしけとなり、東日本では記録的な暴風や大雨、高潮のおそれがあります。暴風や高波、高潮、土砂災害や低い土地の浸水、河川の増水や氾濫に厳重に警戒してください。

10月12日6時現在

		12日						13日																					
		6-9時		9-12時		12-15時		15-18時		18-21時		21-24時		0-3時		3-6時		6-9時		9-12時		12-15時		15-18時		18-21時		21-24時	
		観	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風	暴風
北海道地方	暴風 (メートル)			15	15	18	20	25	28	28	25	25	18	15	15														
	波浪 (メートル)	4	4	4	4	4	5	6	6	7	7	7	6	6	5														
東北地方	大雨・洪水 (ミリ)	30	40	50	80	80	80	80	70	30																			
	暴風 (メートル)	13	15	18	20	25	35	35	35	30	25	18	15																
	波浪 (メートル)	5	5	6	7	8	11	11	10	10	8	8	6	6	6														
	高潮																												
関東甲信地方 (伊豆諸島除く)	大雨・洪水 (ミリ)	60	80	90	90	90	80	50	30	20																			
	暴風 (メートル)	20	23	25	30	45	40	35	25	20	15	13	12																
	波浪 (メートル)	8	9	10	12	13	13	12	8	7	6	5	5	4	4														
	高潮																												

5.3 令和元年台風第19号

5.3.2 情報発表状況

名古屋地方気象台は、11日17時00分発表の東海地方気象情報において、「静岡県では、台風の進路によっては記録的な高潮となるおそれ」と言及した。

静岡地方気象台は、11日17時18分発表の府県気象情報において、「12日は台風の接近に伴い、記録的な高潮となるおそれ」「伊豆を中心に非常に危険な状態になる可能性」と言及。その後、17時39分に高潮注意報 12日1時46分高潮警報をそれぞれ発表した。

また、12日6時41分に気象庁が発表した情報では、「東日本では記録的な高潮のおそれ」との記述がされた。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.3 期間最高潮位および最大潮位偏差

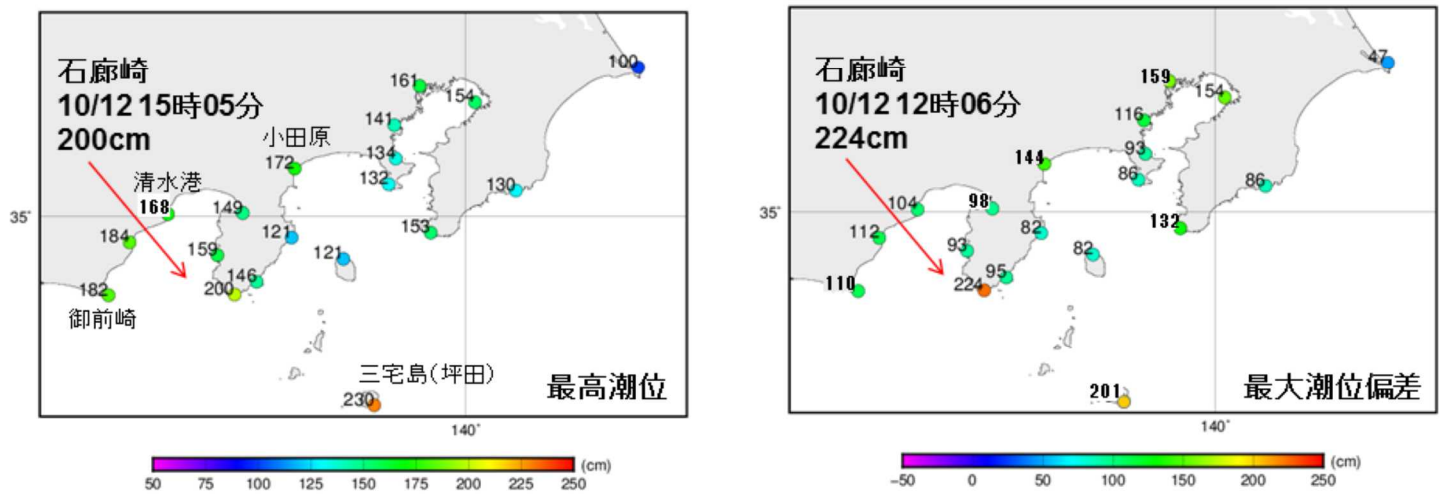


図5.14 台風第19号通過前後で観測された、期間最高潮位(左)と最大潮位偏差(右)

- ・東北から四国にかけての太平洋側の広い範囲で50cm以上の潮位偏差を観測し、石廊崎、三宅島(坪田)では2m超であった。
 - ・三宅島(坪田)、小田原、石廊崎、清水港、御前崎の5地点では過去最高潮位を更新した。
 - ・外洋に面した観測点は波浪効果(Wave Setup)の影響も大きいと考えられる。
- ※ 石廊崎は潮位の大きくなる前に欠測となった。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.3 期間最高潮位および最大潮位偏差

台風通過前後の期間における最高潮位と最大潮位偏差を図5.14に示す。

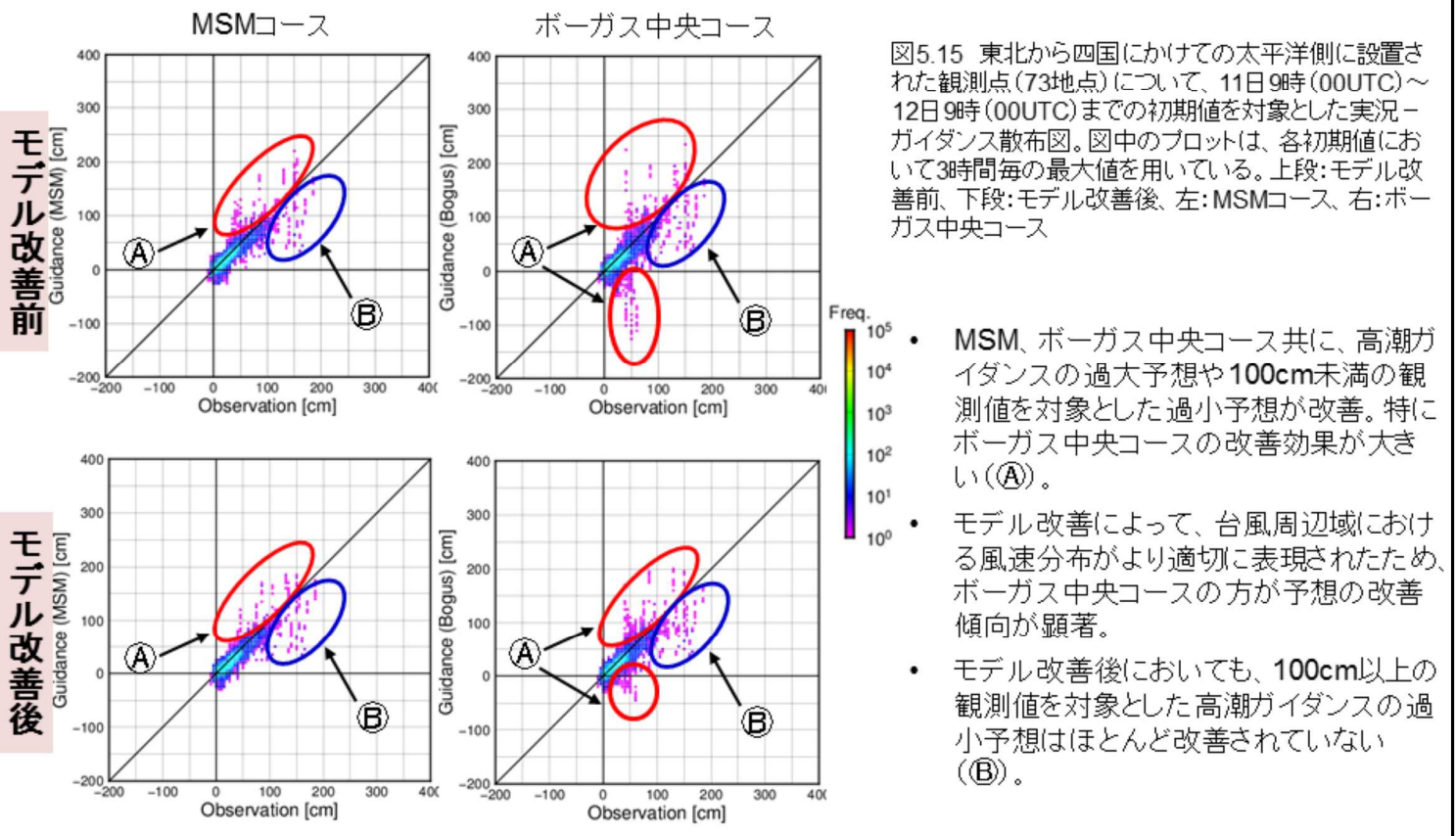
東北から四国にかけての太平洋側の広い範囲で50cm以上の潮位偏差を観測しており、石廊崎、三宅島(坪田)では2m超の潮位偏差であった。

石廊崎は潮位の大きくなる前に欠測となったが、三宅島(坪田)、小田原、石廊崎、清水港、御前崎の5地点では過去最高潮位を更新した。

過去最高潮位を更新した5地点の内、外洋に面した三宅島(坪田)、小田原、石廊崎では、波浪効果(Wave Setup)の影響も大きいと考えられる。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.4 潮位偏差 実況-ガイダンス散布図(新旧比較)



5.3 令和元年台風第19号

5.3.4 潮位偏差 実況-ガイダンス散布図(新旧比較)

本事例についても、まずは高潮モデルの改善による高潮ガイダンスの改善効果を紹介する。

図5.15は、東北から四国にかけての太平洋側に設置された潮位観測点について、潮位偏差観測値と高潮ガイダンス(MSMコース、ボーガス中央コース)により計算された潮位偏差の散布図を比較したものである。上陸前後の11日9時(00UTC)～12日9時(00UTC)の初期値を対象に、各初期値において3時間毎の最大値をプロットしている。

Ⓐで示したように、MSM、ボーガス中央コース共に、モデル改善により、過大予想や100cm未満の観測値を対象とした過小予想が改善されている。ボーガス中央コースの方が予想の改善傾向が顕著であるが、これはモデル改善によって台風周辺域における風速分布がより適切に表現されたことによると考えられる。

一方、Ⓑで示したように、モデル改善後においても、100cm以上の観測値を対象とした高潮ガイダンスの過小予想はほとんど改善されていないことが分かる。

これ以降、5.3節で紹介するガイダンスの結果は、(一部を除き)すべてモデル改善を反映したものである。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.5 潮位偏差 実況-ガイダンス散布図(内湾・外洋比較)

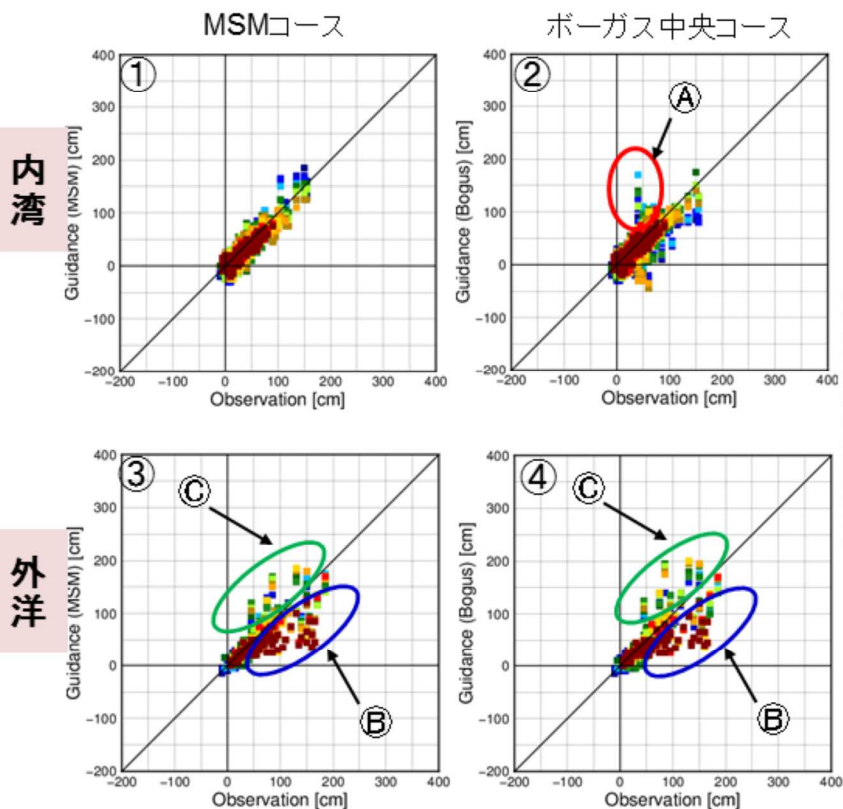


図5.16 東北から四国にかけての太平洋側に設置された観測点の11日9時(00UTC)～12日9時(00UTC)までの初期値を対象とした潮位偏差の実況-ガイダンス散布図。図中のプロットは、各初期値において3時間毎の最大値を用いており、FT毎に色分けしてプロットしている。上:内湾に設置された地点(57地点)、下:外洋に面した地点(16地点)、左:MSMコース、右:ボーガス中央コース

※本節では、Wave Setup補正量を計算している地点(図4.3参照)を外洋、それ以外の地点を内湾に分類した。

- FT=39
 - FT=36
 - FT=33
 - FT=30
 - FT=27
 - FT=24
 - FT=21
 - FT=18
 - FT=15
 - FT=12
 - FT=09
 - FT=06
 - FT=03
- ①: FTに関わらず予想と観測は概ね一致。
 ②: 予想と観測の対応がMSMと比べて悪く、FTに関わらず過大予想となる傾向もみられた。内湾における風速は地形の影響を考慮しているが、この影響の見積もりが十分ではない可能性がある。
 ③・④: MSMとボーガスの間に大きな違いが見られず、過小・過大予想となる傾向が見られた。Wave Setupの補正が過小・過大である他、高潮モデル・ガイダンスで考慮していない副振動(波浪の影響と思われる短周期の潮位変動)による潮位上昇の影響が大きかった可能性がある。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.5 潮位偏差 実況-ガイダンス散布図(内湾・外洋比較)

図5.16は、東北から四国にかけての太平洋側に設置された潮位観測点のうち、内湾に設置された57地点及び外洋に面した16地点について、潮位偏差観測値と高潮ガイダンス(MSMコース、ボーガス中央コース)により計算された潮位偏差の散布図を示している。上陸前後の11日9時(00UTC)～12日9時(00UTC)の初期値を対象に、各初期値において3時間毎の最大値をプロットしており、予報時間毎に色分けしている。

本節では、Wave Setup補正量を計算している地点(図4.3参照)を外洋、それ以外の地点を内湾に分類した。

①に示したように、内湾に設置された地点のMSMによる高潮ガイダンスの予想はFTに関わらず予想と観測は概ね一致していた。一方、②に示したように、内湾に設置された地点のボーガス中央コースによる高潮ガイダンスの予想は、予想と観測の対応がMSMと比べて悪く、AのようにFTに関わらず過大予想となる傾向もみられた。内湾における風速は地形の影響を考慮しているが、この影響の見積もりが(台風ボーガス改善後であっても)十分ではない可能性がある。

③・④に示したように、外洋に面した地点の高潮ガイダンスの予想は、MSMとボーガスの間に大きな違いが見られず、Bのように過小予想となる一方で、Cのように過大予想となる傾向が見られた。Wave Setupの補正が過小・過大である他、高潮モデル・ガイダンスで考慮していない副振動(波浪の影響と思われる短周期の潮位変動)による潮位上昇の影響が大きかった可能性がある。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.6 東京の実測潮位と予測値の比較

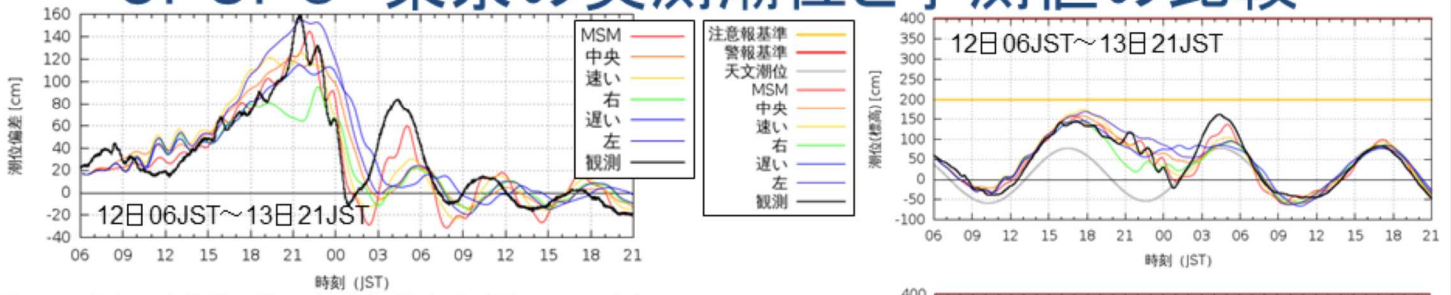


図5.17 東京の高潮ガイダンス潮位偏差時系列図。12日6時(11日21UTC)初期値における各コースの予測

- ・ 実況では潮位偏差のピークが2回あり、1回目のピークで159cm、2回目のピークで84cmの潮位偏差を観測。1回目のピークは干潮と重なったため潮位はそれほど高くならなかったが、2回目のピークは満潮時と重なったため潮位はこちらで最高となり、最高潮位161cmを観測。
- ・ 潮位偏差の1回目のピークはMSMコース、ボーガス中央コース共に多少の時間ずれがみられ、やや過小予想。また、潮位偏差の2回目のピークはMSMコースでは実況よりやや過小予想であり、ボーガス中央コースではあまり再現できていない。
- ・ 潮位時系列をみると、MSMコースは初期値間の予想のぶれは小さく安定した予想。ボーガス中央コースは初期値が新しくなるにつれて予想のぶれが小さくなっており、13日3時以降の潮位のピークはどの初期値も過小に予測。

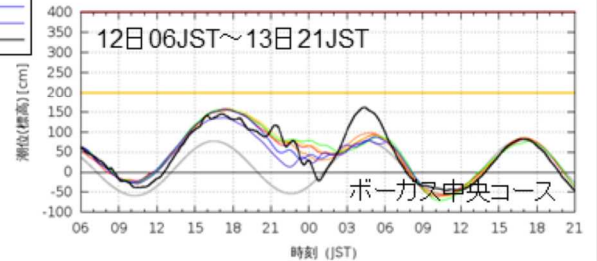
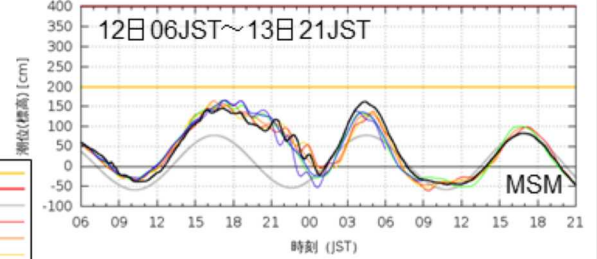
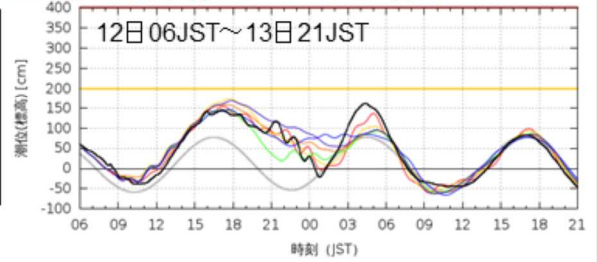


図5.18 東京の高潮ガイダンス潮位時系列図。上: 12日6時(11日21UTC)初期値における各コースの予測、中: 各初期値のMSMコース、下: 各初期値のボーガス中央コース

5.3 令和元年台風第19号

5.3.6 東京の実測潮位と予測値の比較

東京の高潮ガイダンス潮位偏差時系列を図5.17に、同潮位時系列を図5.18に示す。

実況では潮位偏差のピークが2回あり、台風第19号の接近によって1回目のピークである潮位偏差159cm、台風通過後の副振動によって2回目のピークである潮位偏差84cmを観測した。(詳細は5.3.9(特記事項1)を参照。)1回目のピークは干潮と重なったため潮位はそれほど高くならなかったが、2回目のピークは満潮時と重なったため潮位はこちらで最高となり、最高潮位161cmを観測した。高潮ガイダンスをみると、潮位偏差の1回目のピークはMSMコース、ボーガス中央コース共に多少の時間ずれがみられ、やや過小の予想であった。また、潮位偏差の2回目のピークは実況よりも遅い時刻に発生が予想されており、予想された潮位もMSMコースでは実況よりやや過小、ボーガス中央コースではあまり再現できていなかった。

潮位時系列をみると、MSMコースは初期値間の予想のぶれは小さく安定した予想をしていた。ボーガス中央コースは初期値が新しくなるにつれて予想のぶれが小さくなっており、2回目の潮位のピークはどの初期値も過小に予測していた。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.7 三宅島(坪田)の実測潮位と予測値の比較

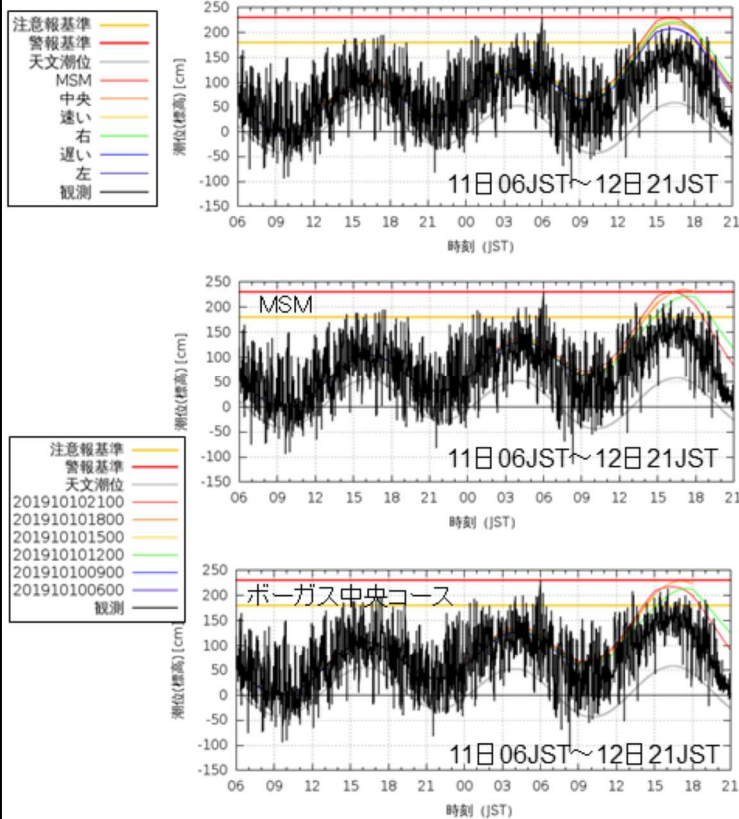


図5.19 三宅島(坪田)の高潮ガイダンス潮位時系列図。上: 11日6時(10日21UTC)初期値における各コースの予測、中: 各初期値のMSMコース、下: 各初期値のボーガス中央コース

- 各コースの予想のぶれは非常に小さい。
- MSM、ボーガス中央コース共に初期値変わりが小さく安定しており、12日夕方を中心に警報基準に近く予想。
- 実況では伊豆諸島南部において波の高い状態が10日午後以降続いたため、Wave Setupによる潮位上昇と副振動によって高潮ガイダンスの予測よりも早い12日6時頃に警報基準に達した。
- 高潮ガイダンスの予測は12日15時頃にかけて実況よりも過小の状態が続いたが、12日15時以降は予測と実況の対応は良い。Wave Setupの実験式において波向きを考慮していないことが要因として考えられる。

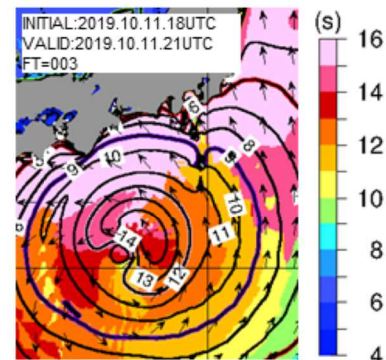


図5.20 沿岸波浪モデルによる12日6時(11日21UTC)における有義波高(等高線)・波向(矢印)・波の周期(色)

5.3 令和元年台風第19号

5.3.7 三宅島(坪田)の実測潮位と予測値の比較

三宅島(坪田)の高潮ガイダンス潮位時系列を図5.19に示す。実況では、最大潮位偏差201cm、最高潮位230cmを観測し、過去最高潮位となった。

コースの違いに着目すると、各コースの予想のぶれは小さい。また、MSMコース、ボーガス中央コース共に初期値変わりが非常に小さく安定しており、12日夕方を中心に警報基準に近く予想となっている。

しかし実況は、図5.20に示したように伊豆諸島南部で波の高い状態が10日午後以降続いたため、Wave Setupによる潮位上昇と副振動(波浪の影響と思われる短周期の潮位変動)により、高潮ガイダンスの予測よりも早い12日6時頃に警報基準に達した。高潮ガイダンスの予測は12日15時頃にかけて実況よりも過小の状態が続いたが、12日15時以降は予測と実況が良い対応を示している。この要因として、高潮ガイダンスでは実験式を用いてWave Setupによる潮位上昇量を見積もっているが、現在の実験式では波向きを考慮していないことが考えられる。(詳細は5.3.10(特記事項2)を参照。)

5.3 令和元年台風第19号

5.3.8 清水港の実測潮位と予測値の比較

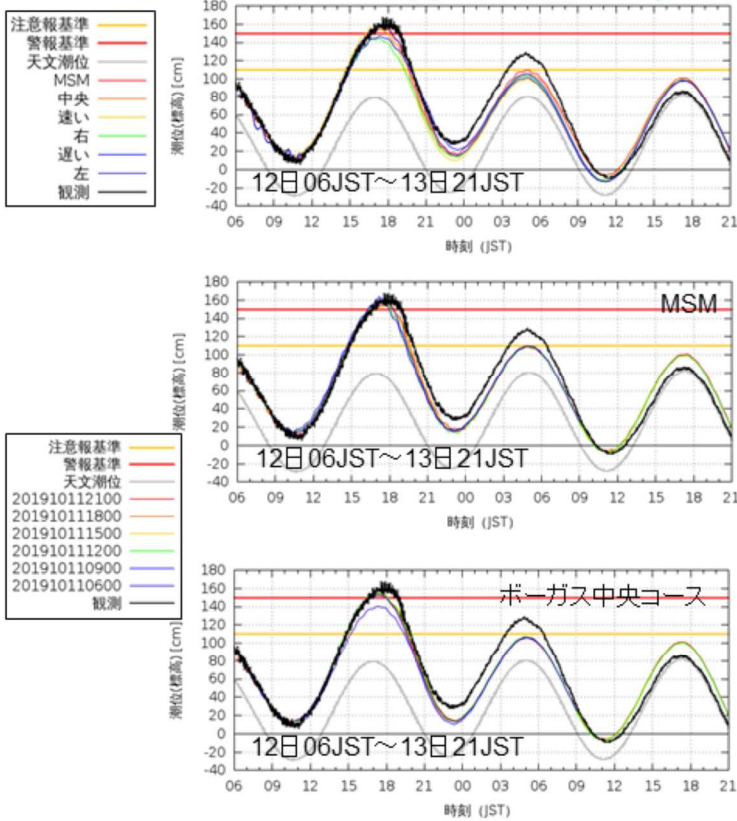


図5.21 清水港の高潮ガイダンス潮位時系列図。上：12日6時(11日21UTC)初期値における各コースの予測、中：各初期値のMSMコース、下：各初期値のボーガス中央コース

- 各コースの予測のぶれは非常に小さかった。
- 実況は潮位偏差のピークと満潮が重なったため警報基準を超過したが、MSM、ボーガス中央コースでも警報基準に到達する予想をしており、高潮ガイダンスの予想は良好であった。
- MSM、ボーガス中央コース共に初期値変わりが非常に小さく、安定した予想であったが、13日午前を中心に予測が過小、13日午後を中心に予測が過大といった傾向がみられた。黒潮から分かれた暖水の時間変動による影響の可能性がある。

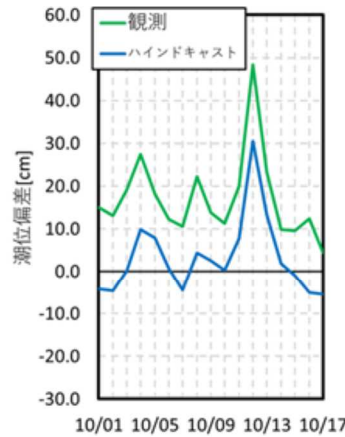


図5.22 清水港の日平均潮位偏差時系列図及び検潮所位置(図中に+で表示)



出典：国土地理院ウェブサイト(https://maps.gsi.go.jp)。地理院地図を元に気象庁で加工。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.8 清水港の実測潮位と予測値の比較

清水港の高潮ガイダンス潮位時系列を図5.21に示す。実況では、最大潮位偏差104cm、最高潮位168cmを観測し、過去最高潮位となった。

コースの違いに着目すると、各コースの予想のぶれは非常に小さい。実況は潮位偏差のピークと満潮が重なったため警報基準を超過したが、MSMコース、ボーガス中央コース共に警報基準に到達する予想をしており、モデルの予想は良好であった。

また、MSMコース、ボーガス共に初期値変わりが非常に小さく、安定した予想であったが、13日午前を中心に予測が過小、13日午後を中心に予測が過大といった傾向がみられた。

図5.22に示したように、清水港は検潮所の外洋に面している方向が高い波が来る方向と異なっているため、検潮所近傍に高い波が進入することは難しい。また、10月の東海地方沿岸の潮位は黒潮から分かれた暖水の影響があり、台風接近前における清水港の潮位実況はhindcastよりも10~20cm程度高い状態で推移していた。高潮ガイダンスによる予想では予報時間を通して海況の影響による潮位上昇量を一定としているが、実際の潮位上昇量は時間変動していた可能性がある。そのため、この予測の過大・過小傾向は黒潮から分かれた暖水の時間変動による影響の可能性がある。(参考：日本沿岸の月平均潮位の変動 診断(2019年10月))

https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/archive/c_1/sl_monthly/2019/10/sl_monthly.html

5.3 令和元年台風第19号

5.3.9 台風の通過に伴う東京湾の副振動

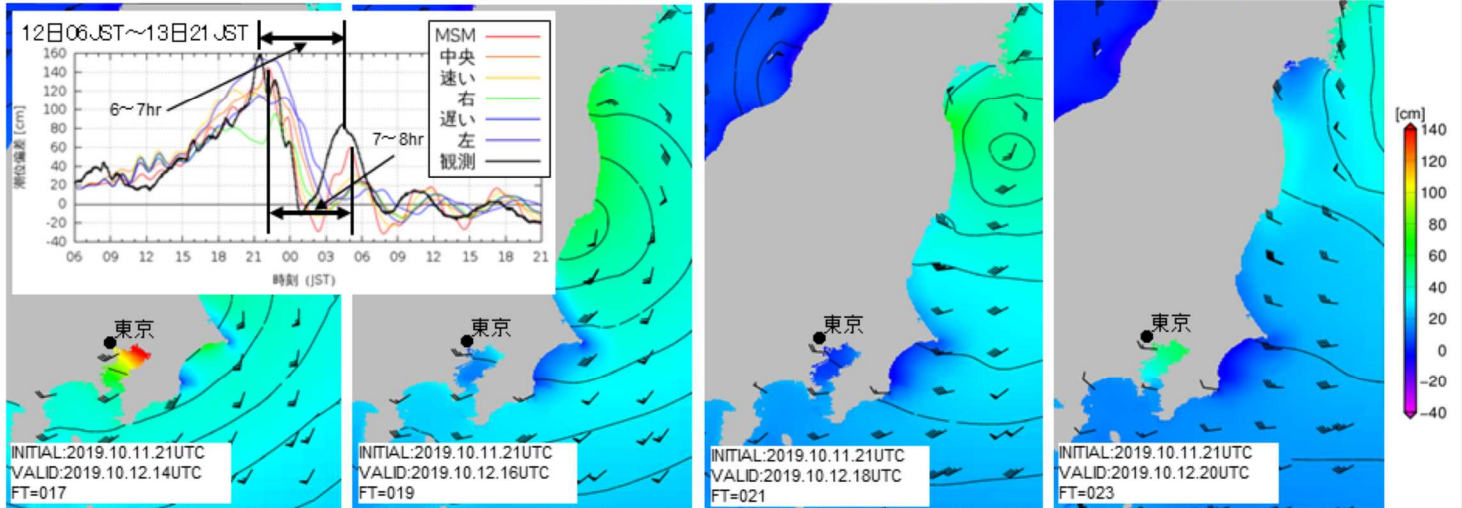


図5.23 MSMコースにおける12日6時(11日21UTC)初期値の潮位偏差予想(FT=17, 19, 21, 23)と東京の高潮ガイダンス潮位偏差時系列図。時系列図中の各コースの予測は12日6時(11日21UTC)初期値によるもの

- ・ 台風第19号が東日本を通過し三陸沖に抜けるまでの間の東京湾奥の潮位偏差の予測値に着目すると、12日23時に80cm程度の正偏差だったものが、4時間後の13日3時には0cm程度、更に2時間後の13日5時には60cm程度の正偏差となっており、周期7~8時間程度の副振動が表現されている。
- ・ 東京湾では、湾奥の潮位偏差の増大に寄与していた吹き寄せ効果や吸い上げ効果の影響が台風通過後に弱まり、湾奥に留められた海水が湾口に流れることにより、湾奥を腹、湾口を節とする周期数時間程度の副振動が発生する場合があることが知られている。今回、東京検潮所の潮位偏差の実況において周期6~7時間程度の振動がみられたことから、この振動は台風通過後の副振動であると考えられる。
- ・ 高潮モデルと実況で副振動の振幅や周期は異なる要因は、気象場の予測精度の他、モデルに用いている地形の表現、モデルで考慮されていない高潮と潮汐の相互作用の影響が考えられる。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.9 台風の通過に伴う東京湾の副振動

図5.23に、MSMコースにおける12日6時(11日21UTC)初期値の東京湾の潮位偏差予想(FT=17、19、21、23)と東京の高潮ガイダンス潮位偏差時系列図を示す。台風第19号が東日本を通過し三陸沖に抜けるまでの間の東京の潮位偏差の高潮ガイダンス予測値に着目すると、12日23時に80cm程度の正偏差だったものが、4時間後の13日3時には0cm程度、更に2時間後の13日5時には60cm程度の正偏差となっており、周期7~8時間程度の副振動が表現されている。

小西(2008)等により、東京湾では、湾奥の潮位偏差の増大に寄与していた吹き寄せ効果や吸い上げ効果の影響が台風通過後に弱まり、湾奥に留められた海水が湾口に流れることにより、湾奥を腹、湾口を節とする周期数時間程度の副振動が発生する場合があることが知られている。今回、東京検潮所の潮位偏差の実況において周期6~7時間程度の振動がみられたことから、この振動は台風通過後の副振動であると考えられる。

高潮モデルと実況で副振動の振幅や周期が若干異なるが、この要因は、気象場の予測精度の他、モデルに用いている地形の表現や、現在の高潮モデルでは副振動を減衰させるような高潮と潮汐の相互作用が考慮されていないことが考えられる。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.10 Wave Setupと短周期潮位変動予測の課題

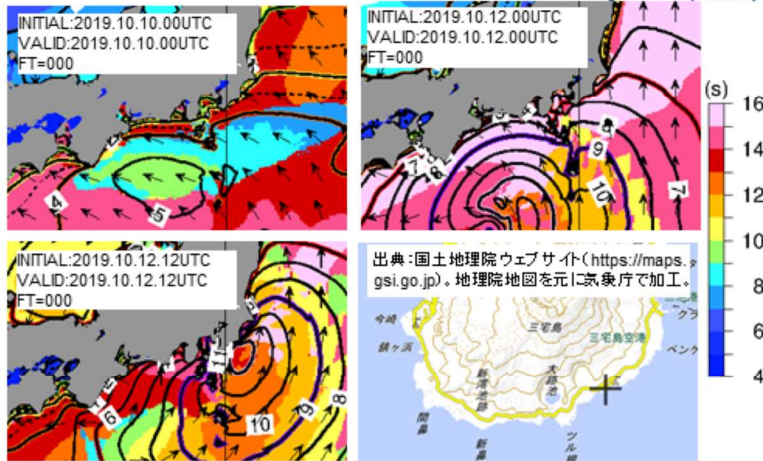


図5.24 沿岸波浪モデルによる10月10日、12日の有義波高(等高線)・波向(矢印)・波の周期(色)と三宅島(坪田)の検潮所位置(図中にて+で表示)

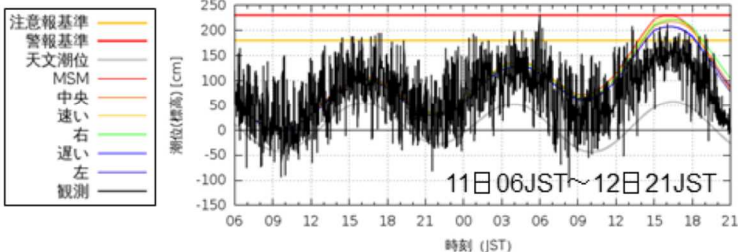


図5.25 三宅島(坪田)の高潮ガイダンス潮位時系列図(11日6時(10日21UTC)初期値における各コースの予測)

- 伊豆諸島南部では12日夜頃から南西方向からの波が入っており、13日にかけて波の高い状態が解消し始めた。南西方向からの波が入り始めたのとほぼ同時期の12日15時以降、高潮ガイダンスの予測は実況と良い対応を示している。
- 三宅島(坪田)は検潮所が島の南東に位置していることから、南西方向からの波と南～南東方向の波では波の入りやすさが異なる。Wave Setupを見積もる現在の実験式は波向きを考慮せず求めた近似式であることから、波向きによって精度が異なる可能性がある。
- この事例では、副振動(波浪の影響と思われる短周期の潮位変動)の影響も顕著である。現在の高潮モデル及びガイダンスでは、副振動の予測は困難。そのため高潮モデル・ガイダンスの結果だけで高潮の規模や注意報・警報基準を超過する時間帯を的確に把握できるとは限らないので、実況の監視を迅速に行って高潮の規模を的確に把握することが必要。

5.3 令和元年台風第19号

5.3.10 Wave Setupと短周期潮位変動予測の課題

沿岸波浪モデルによって得られた10月10日～12日にかけての伊豆諸島近海の波の状況を図5.24に示す。伊豆諸島南部では、10月10日～11日にかけて、台風第19号の接近によって南東～南方向からの風浪により波が高くなり、12日に入ってもこの状態が続いた。台風第19号が三宅島付近を通過した後、伊豆諸島南部では12日夜頃から南西方向からの波が入っており、13日にかけて波の高い状態が解消し始めた。南西方向からの波が入り始めたのとほぼ同時期の12日15時以降、高潮ガイダンスの予測は実況と良い対応を示している(図5.25)。

三宅島(坪田)は検潮所が島の南東に位置していることから、南西方向からの波と南～南東方向の波では波の入りやすさが異なる。Wave Setupを見積もる現在の実験式は波向きを考慮せず求めた近似式であることから、波向きによって精度が異なる可能性がある。この事例で考えると、12日15時以前の南～南東方向からの波(波が入りやすい方向からの波)によって生じたWave Setupは実際よりも過小に、12日15時以降の南西方向からの波(波が入りにくい方向からの波)によって生じたWave Setupは実際よりも過大に見積もっていた可能性がある。この事例のようにWave Setupの見積もりには課題があるため、今後は、最新のデータを元に、沿岸波浪モデルスペクトルを利用してWave Setupにおける波向きの影響を調査し、その内容を元に実験式の見直しといった取り組みを行う予定である。

また、この事例では、副振動(波浪の影響と思われる短周期の潮位変動)の影響も顕著である。現在の高潮モデル及びガイダンスでは、副振動の予測は困難である。この事例のように、モデルやガイダンスの結果だけで高潮の規模や注意報・警報基準を超過する時間帯を的確に把握できるとは限らないので、実況の監視を迅速に行い、高潮の規模を把握することが重要である。高潮モデル及びガイダンスの予測には、上記に述べたような課題があることを踏まえ、仮に予測が警報基準に達しない場合であっても、実況と予測に大きな違いがみられ、実況が警報基準に近づくような場合などは、必要に応じて気象情報での呼びかけ等に活用頂きたい。

5.4 事例検証まとめ

- 平成30年台風第21号
 - 大阪、神戸など6地点で過去最高潮位を更新。
 - 上陸約20時間前の予測ではボーガス中央コースが、上陸約8時間前以降の予測ではMSMコースが、最も実況と整合。
⇒全てのコースの予測結果を使い、リスクを事前に評価することが重要。
- 平成30年台風第24号
 - 「伊勢湾台風級の高潮」を予測したが、実際には過大。
 - ベストトラックによる再計算では、最高潮位の誤差は10cm程度となった。
⇒本事例の予測誤差の主な要因は進路予報が実際よりも北寄りだったことと推測。
- 令和元年台風第19号
 - 石廊崎、三宅島(坪田)など5地点で過去最高潮位を更新。
 - 外洋に面した地点ではWave Setupが顕著。三宅島(坪田)では、副振動(波浪の影響と思われる短周期の潮位変動)も発生。高潮ガイダンスで十分に捕捉できない時間帯があった。
⇒現行の高潮ガイダンスは、Wave Setupの補正量見積もり手法に改善の余地がある。また、副振動の予測は困難であり、潮位の実況監視も重要。

5.4 事例検証まとめ

本節で説明した3つの事例検証の結果についてまとめる。

まず、平成30年台風第21号では、大阪、神戸をはじめ気象庁所管の6地点で過去最高潮位を更新する顕著な高潮が発生した。この事例では、上陸の約20時間前の予測ではボーガス中央コースが、上陸の約8時間前以降の予測ではMSMが、最も実況と整合していた。この事例からは、1つのコースの予測だけを決定論的に利用するのではなく、全てのコースの予測結果を見て、最も高い潮位を予測しているシナリオをサブシナリオとして持つなど、リスクを事前に評価する使い方が防災上の観点から重要であることが分かる。

次に、平成30年台風第24号では、「伊勢湾台風級の高潮」を予測したが、実際には予測が過大であった。MSMは比較的実況と整合していたが、当時のボーガス中央コースの予測は過大であった。ただし、2021年4月のボーガス改善により、新しい高潮ガイダンスのボーガス中央コースでは、従来のボーガス中央コースと比較して過大な予測は改善された。ベストトラックを使った検証では、最高潮位の誤差は10センチ程度となり、ほぼ実況と整合する結果となった。このことから、当時潮位の予測が過大となった主な要因は、台風の進路予報が実際よりも北寄りだったことであると推測される。

最後に、令和元年台風第19号では、石廊崎、三宅島(坪田)をはじめ気象庁所管の5地点で過去最高潮位を更新する顕著な高潮が発生した。外洋に面した地点では、Wave Setupが顕著であり、高潮ガイダンスでは全体的に過小予測となっていた。また、三宅島(坪田)では、潮位がピークとなる時間帯で副振動(波浪の影響と思われる短周期の潮位変動)も発生しており、高潮ガイダンスで十分に捕捉できない時間帯があった。現行の高潮ガイダンスは、Wave Setupの実験式で波向きを考慮していないなど、Wave Setup補正量の見積もり手法に課題があり、改善の余地がある。また、高潮ガイダンスでは副振動の予測は困難である。これらを踏まえ、ある程度潮位の予想に幅を持たせた対応をとるとともに、潮位の実況監視に留意することも重要である。

本節での個別事例の検証結果と、第4節で説明した長期間の統計検証の結果を踏まえ、第6節にて、高潮ガイダンスの解釈のポイントを解説する。

なお、海洋気象情報室では現在、Wave Setup実験式の改善に係る取組を進めている。詳細は第7節を参照。

参考文献

- 小西, 2008: 2004年台風第22号による東京湾の高潮と副振動, 海と空, 83-4, 141-150.

6. 高潮ガイダンス解釈のポイント

6. 1 最新の高潮ガイダンスを利用

- 高潮ガイダンスは3時間毎(※)に更新されるので最新の予測資料を用いる。
※高潮ガイダンスに含まれる補正要因のうち、海況要因は1日4回だけ更新される。
- 高潮ガイダンスは先の予想ほど予測誤差が大きい(4節の精度評価参照)。
 - 特に顕著な高潮の場合、12時間以内の予想なら比較的、スレットスコアは良いが、13時間以降ではスレットスコアが低くなる(図6.1)。

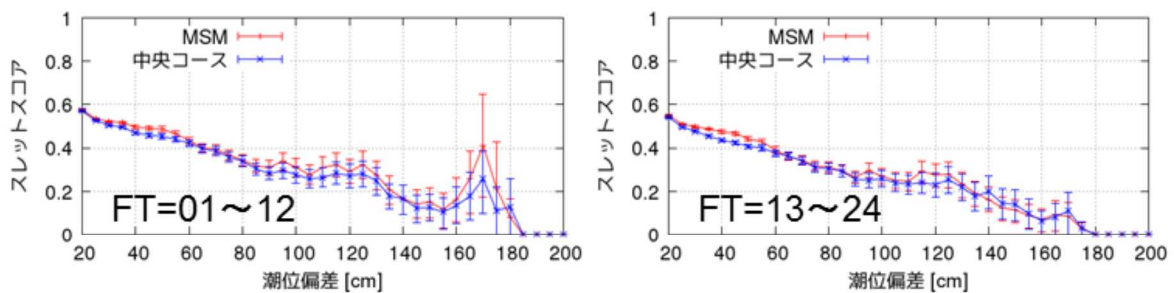


図6.1 高潮ガイダンスによる高潮予測の捕捉率(赤線:MSM、青線:ボーガス中央コース、エラーバーは95%の信頼区間を示す。)図4.18と同じ。

6. 1 最新の高潮ガイダンスを利用

予報作業の留意点として、最新の高潮ガイダンスを用いた高潮予報を基本とする。高潮ガイダンスは1日8回、3時間ごとに更新される。ただし、高潮ガイダンスに含まれる補正要因の一つである海況要因による変動は比較的小さいため、1日4回だけ更新される。高潮ガイダンスは先の予想ほど予測誤差が大きく、特に顕著な高潮の発生が予想される場合、図6.1に示すとおり、12時間以内の予想なら比較的、スレットスコアは良いと言えるが、13時間より先の予測ではスレットスコアが0に近づき、低くなる事が分かる。

ただし、顕著な高潮ほど事例数が少なく、エラーバーが大きくなることに注意が必要である。最新の予測を使いつつも、過去初期値の予測からの変動にも注意し、たとえ最新の高潮ガイダンスで予測が下がったとしても、過去初期値の予測で警報基準・過去最高潮位を超える予測であった場合は、その後の予測の変化も引き続き注視する必要がある。

6.2 MSMを基本とした予報

- 台風時の高潮ガイダンスのコース選択は、最新の「潮位に関する全般解説資料」等を参考に判断する。
 - 「潮位に関する全般解説資料」は、台風時も一般的にはMSMを基本として作成する。MSMの方がポーガス中央コースよりも各種統計スコアが良いため(4節参照)。
 - MSMは地形による摩擦の影響や中緯度における台風構造の変化を表現しているのに対し、台風ポーガスは表現されていない等が理由として考えられる(図6.2)。
 - ポーガス中央コースを基本として作成することもある。
 - MSMと台風の進路予報または強度予報との差が大きい場合など
- ※本考え方は、最新の検証結果等を踏まえ必要に応じて見直しを実施する。

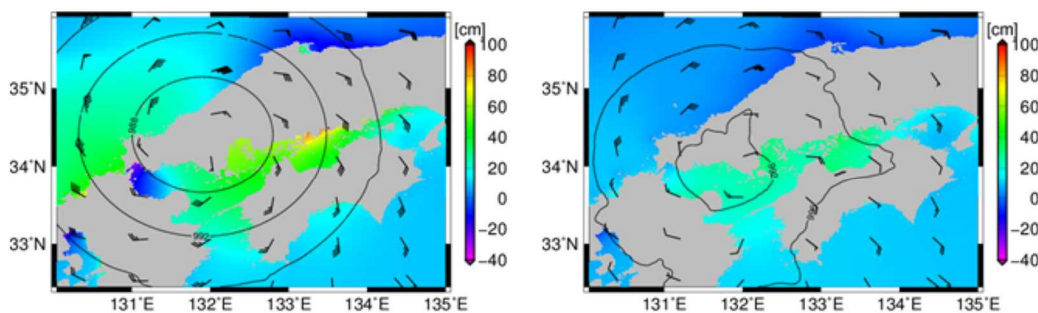


図6.2 ポーガス中央コース(左)とMSM(右)それぞれでの風・気圧・潮位偏差の分布図(カールスケールは潮位偏差のもの)。20180728 18UTC初期値 (FT=12)の結果

6.2 MSMを基本とした予報

台風時、高潮ガイダンスは複数コースの計算(MSM及び台風ポーガス5コース)を行うが、どのコースの予測を基本とすべきかは、最新の「潮位に関する全般解説資料」や潮位の実況値等を参考に判断すること。

気象庁海洋気象情報室では、台風時も基本的にMSMを採用して、「潮位に関する全般解説資料」を作成する。これは、MSMの方がポーガス中央コースよりも各種統計スコアが良いからである(4節参照)。各種スコアが良い理由としては、図6.2に示すとおり、MSMは地形による摩擦の影響や中緯度における台風構造の変化が適切に表現されているのに対し、高潮モデルの台風ポーガスは表現されていないことが考えられる。また、24時間以内に台風ではなくなる場合は、台風ポーガスは台風強度及び移動速度を一定と仮定して値を外挿する。そのため、台風が衰弱して熱帯低気圧又は温帯低気圧に変わる場合は予測が過大となりやすく、逆に、台風が衰弱後に再発達する場合は予想が過小となりやすいことも理由として考えられる。(台風ポーガスの詳細は数値予報解説資料集を参照。)

ただし、MSMと台風の進路予報または強度予報の差が大きい場合には、ポーガス中央コースを基本として、「潮位に関する全般解説資料」を作成する場合もある。

なお、今後も最新の検証結果等を踏まえ、上記考え方は必要に応じて見直しを実施していく予定である。

6.3 台風の予測誤差に留意

- 予報円が大きいうちは高潮予測の不確実性も高い。
 - MSM及び台風ポーガスの各コースを確認し、予測資料の中で最も高い潮位を予想しているシナリオをサブシナリオとして持つ。
 - 最大潮位偏差に達する時間帯が干潮から満潮にずれる可能性も視野に入れる。
- 台風の予想進路と実際の進路の差異に留意する。
 - 実際の進路が予想進路より特定の方位にずれる傾向がある場合
⇒MSMを基本にしても、台風ポーガスの特定の方位に近いメンバーの予想も参考にする。
- 台風の中心気圧や最大風速の予想誤差に留意。
 - 特に最大風速の予想が初期値間で大きく変動する場合、風速の二乗に比例して働く吹き寄せ効果に大きな誤差が生じるため、実況を踏まえた修正を検討。

6.3 台風の予測誤差に留意

高潮の予測は台風の進路及び強度の予測誤差に留意する必要がある。台風の進路が少しでも変わると、高潮の要因の一つである吹き寄せ効果が大きく変わる可能性があるため、予報円が大きいうちは高潮予測の不確実性も高いといえる。このため、最も可能性が高い予想シナリオをメインシナリオとして持つ他に、全ての予想資料(MSM及び台風ポーガス5コース)を確認し、最も高い潮位を予測しているシナリオをサブシナリオとして持つことは、防災上の観点から望ましい。2018年の台風第21号による大阪湾の高潮を例として挙げると、台風が大阪湾に最接近する8時間前の予想では、MSMが他のコースに比べ最も実況に近い予想であったが、最接近の20時間前の予想では、MSMに比べて50cm以上も高い潮位を予想していたポーガス中央コースの方が実際の最高潮位を適切に表現できていた。MSMをメインシナリオとして考えても、ポーガス中央コースによる予想をサブシナリオとして持つことは早い段階から台風第21号による高潮の規模を想定できる点からも望ましいといえる。

また、満潮時に高潮が重なると、高潮の規模によっては甚大な被害をもたらすおそれがあるため、たとえ基本とするコースにおける高潮のピークが干潮に近い時間帯であっても、他のコースにおける高潮のピークが満潮に近い時間帯に重なる可能性があるならば、それらのシナリオも事前に想定しておくことが望ましい。

さらに、台風の予想進路と実際の進路の差異に留意し、最も実況に合ったメンバーの予想を参考にする。MSMを基本としている場合でも予想資料が更新されるごとに台風の中心が特定の方位にずれる傾向がある場合は、その特定の方位に近い台風ポーガスの予想も参考にする。ただし、ポーガス周辺コースの予測では台風ポーガスのみを外力として予測を行っているため、ポーガス周辺コースの予測は台風近傍(強風半径の2倍の範囲内)のみ意味のある予測になっていることに注意が必要である。

台風の中心気圧や最大風速の予想誤差にも留意する。特に最大風速の予想が初期値間で大きく変動する場合、風速の二乗に比例する吹き寄せ効果に大きな誤差が生じるため、実況を踏まえた修正を検討する必要がある。

6.4 高潮ガイダンスの特性に留意

高潮ガイダンスは、高潮モデルでは表現されない下記、高潮の要因を補正している(4節参照)。

- 波浪効果による潮位上昇 (Wave Setup)
 - Wave Setupが発生しやすい地点では、有義波高3~4mから波高の二乗に比例して顕著に現れる。
 - どの方位の波が入りやすいか周辺の地形を予め把握しておく。
- 海況要因
 - 黒潮や暖水渦・冷水渦等の接近で、天文潮位との差が継続している場合、台風通過時でもその分がオフセット値として加味される。
- 浅海潮
 - 浅海潮が大きい地点(瀬戸内海、有明海)では、実測潮位と天文潮位で位相差が生じやすいことに留意する。

6.4 高潮ガイダンスの特性に留意

高潮モデルでは表現されない高潮の要因のうち、波浪効果による潮位上昇(Wave Setup)、海況要因及び浅海潮は高潮ガイダンスでは組み込んでいる(4節参照)。

このうち、Wave Setupは、外洋に面した沿岸や島しょ部で発生することが知られており、過去の観測値から求められた実験式等を使ってWave setupを予測している。Wave setupは台風等で発生した高波(概ね、有義波高3~4m以上)が沿岸に押し寄せるときに顕著に働く現象で、波高の二乗に比例して増大する。現行のWave Setupの実験式では波向きまで考慮していないが、地点ごとにどの方位の波が入りやすいか周辺の地形からあらかじめ把握しておくことも重要である。

次に海況要因については、台風が接近する前から暖水渦あるいは冷水渦等の接近や黒潮流路の変動により天文潮位と実測潮位の間に差が生じていれば、台風が接近・通過する時もその分が高潮による潮位の変化に加算されることに留意する。

最後に、浅海潮による潮位への影響は他の要因に比べると小さいが、瀬戸内海や有明海など浅海潮が大きい湾奥の地点は実測潮位と天文潮位で位相差が生じやすいことに留意する。

第4節でみたように、高潮ガイダンスは、補正量を含まない高潮モデルと比較し、全体的に予測精度は改善している。一方、第5節でみたように、特にWave Setupの補正については、見積もりが難しいケースもある。また、副振動は、高潮ガイダンスでも必ずしも考慮できず、予測が困難な現象である。これら高潮モデル・高潮ガイダンスの課題を踏まえ、ある程度潮位の予想に幅を持たせた対応をとるとともに、潮位の実況監視に留意することも重要である。

7. 高潮ガイダンスの改善に向けて

本節では、現在気象庁で検討を進めている、高潮ガイダンスの改善に向けた開発課題について紹介する。本節で紹介する事項は、全て現在検討中のものであり、必ずしも将来の高潮ガイダンスでこれらが導入されると決定したわけではないことに留意されたい。

なお、高潮モデルの改善計画については「数値予報解説資料集」を参照されたい。

7.1 Wave Setup補正量の改良

- Wave Setupは、波向の影響が大きいことが知られている。
- Wave Setup実験式への入力値である沿岸波浪モデル有義波高には、全ての波向が含まれているが、波向を絞ることで予測精度のさらなる向上が期待できる。
 - 石廊崎の地形から南～東以外からの波は遮蔽されやすいことが推察される(図7.1)。
 - 台風が最接近するまでは南～東からの波が主方向であったが、台風通過後は波向が広範囲に分散していたことが分かる(図7.2)。
 - 全方位で合算した有義波高より南～東成分のみの有義波高の方が下田沿岸波浪計の観測値とも整合がとれており、石廊崎のWave Setup解析値とも対応が良い(図7.3)。



図7.1 石廊崎津波観測点(赤丸)と下田沿岸波浪計(港湾局所管)(緑丸)の位置

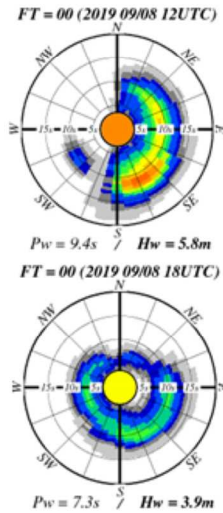


図7.2 石廊崎における令和元年台風第15号の最接近時(左)と通過後(右)の沿岸波浪モデルスペクトル

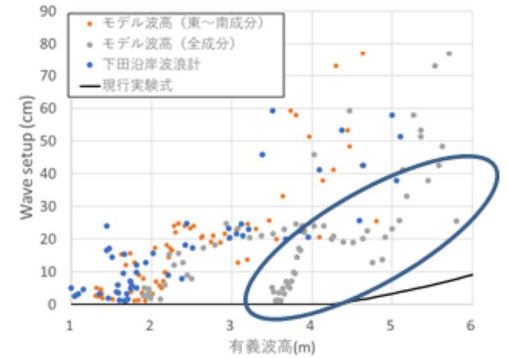


図7.3 令和元年台風第15号で観測された下田沿岸波浪計の波高(青色)、沿岸波浪モデル有義波高(灰色)、東～南成分の有義波高(橙色)に対する石廊崎のWave Setup解析値の散布図

7.2 実験式の改良(波向考慮)

現行のWave Setupの実験式は、入力値として沿岸波浪モデルによる有義波高の予測値を用いているが(4.2参照)、この有義波高の予測値には全ての波向が含まれている。

しかし、実際は、地形の影響を受けるため、Wave Setupが効く波向は特定の方向に絞られると考えられる。このため、波向を絞って算出した有義波高を実験式に入力することで、Wave Setup補正量の予測精度が更に向上する可能性がある。

具体的には、石廊崎を例に挙げると、図7.1から石廊崎には南～東以外からの波は地形の影響を受けて遮蔽されやすいことが推察される。令和元年台風第15号の経路や図7.2の沿岸波浪モデルスペクトルより、台風が石廊崎に最接近するまでは南～東の波が主方向であったのに対し、台風通過後は波向が広範囲に分散していることが分かる。

図7.3は、石廊崎における全ての波向を合算した沿岸波浪モデル有義波高に対するWave Setup解析値(灰色)と、南～東成分の波だけ合算した有義波高に対するWave Setup解析値(橙色)を重ねた図である。青で囲んだ箇所に着目すると、灰色が他の青色や橙色に比べて外れていることが分かる。これは、全ての波向を合算した有義波高よりも波向を南から東成分に絞った方が、実際に下田の沿岸波浪計で観測された有義波高に近いからである。

つまり、地点ごとに遮蔽されやすい波向を除いた上でWave Setup実験式に沿岸波浪モデルの有義波高を代入してWave Setupを算出した方が現実に近いといえる。気象庁海洋気象情報室では、今後波向を考慮した実験式の算出に係る検討を進める予定である。

7.2 海況要因補正量の改良

- 気象庁では、令和2年10月に、日本沿岸監視予測システム(JPNシステム)の運用を開始。JPNシステムを活用し、異常潮位に関する潮位情報に、現象の成因、持続期間や見通しに関する情報を追加する改善を実施。
- 現在の高潮ガイダンスの海況要因補正量は、過去24時間の毎時観測潮位とハインドキャスト潮位の差から算出。予報時間を通して一定値としており、時間変化を考慮していない。
- JPNシステムを活用して海況要因の補正量を見積もることで、補正量の時間変化を考慮することが可能となり(図7.4)、高潮ガイダンスの精度向上が期待される。海洋気象情報室では現在、技術的な検証を進めている。

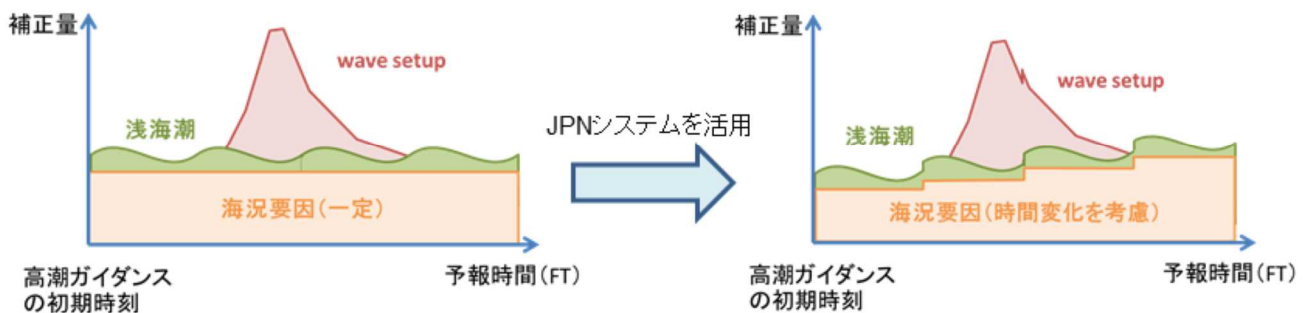


図7.4 補正量算出方法の改善のイメージ(左:現在 右:改善後)

7.3 海況要因の補正量

気象庁では、令和2年10月に、沿岸域におけるより詳細な海流・海水温が把握可能な日本沿岸監視予測システム(JPNシステム)の運用を開始した。日本沿岸域の海流や海水温の変動を詳細に予測することで、沿岸の潮位変動の予測が可能となった。JPNシステムの詳細については、「配信資料に関する仕様No.30508(日本沿岸海況監視予測システムGPV)」(

<https://www.data.jma.go.jp/suishin/shiyou/pdf/no30508>)を参照されたい。

JPNシステムを活用することで、一週間程度先までの異常潮位の予測が可能になったことから、気象庁では同年10月に、異常潮位に関する潮位情報に、現象の成因、持続期間や見通しに関する情報を追加する改善を実施した。(参考:令和2年9月30日付配信資料に関する技術情報「異常潮位に関する潮位情報の改善について」<https://www.data.jma.go.jp/suishin/jyouhou/pdf/543.pdf>)

さて、現在の高潮ガイダンスの海況要因補正量は、4.2項で述べたとおり、過去24時間の毎時観測潮位とハインドキャスト潮位の差から算出している。予報時間を通して一定値としており、時間変化を考慮していない。一般に、海況要因による潮位の変動はゆっくりであり、補正量を一定としても、ガイダンスの精度に大きな問題はないと考えられる。しかし、高潮モデルの予報時間を延長したことにより、海況要因の補正量が一定値のままだと、ガイダンスの精度が先の予測ほど悪化することも懸念される。

そこで、気象庁海洋気象情報室では現在、JPNシステムを活用した海況要因補正量の算出について、技術的な検証を進めている。JPNシステムを活用して海況要因の補正量を見積もることで、図7.4に示すイメージのように、補正量の時間変化を考慮することが可能となる。これにより、高潮ガイダンスの精度向上が期待される。

8. まとめ

8.1 全般事項

- 日本は、高潮災害の危険性が高い地域が多く、高潮に関する正確かつ迅速な情報発表が、国民の生命・財産を守るために必要不可欠。
- 気象庁では、高潮モデルと、高潮モデルで考慮していない要因を補正した高潮ガイダンスを運用し、高潮の予測、実況監視や、高潮警報・注意報発表のための基礎資料として利用。
- 本テキストでは、高潮の基礎、高潮ガイダンスの概要・特性並びに利用上の留意点や、解釈のポイント等について解説。本テキストを踏まえ、気象庁の高潮ガイダンスを活用頂きたい。

8.1 全般事項

我が国は、水深が浅く南に開いた湾状地形が多く、高潮災害の危険性が高い地域が多い。そのため、高潮に関して正確かつ迅速な情報発表が、国民の生命・財産を守るために必要不可欠のものとなっている。

気象庁では、平成10年7月より高潮モデルを、平成27年3月より高潮ガイダンスの運用を開始し、気象庁が発表する高潮警報・注意報の発表に関する基礎資料として利用してきた。高潮ガイダンスは、高潮モデルが直接考慮していない波浪効果(Wave Setup)や海況要因、浅海潮などの補正を行ったものである。

本テキストでは、高潮の基礎、気象庁が運用する高潮ガイダンスの概要・特性並びに利用上の留意点や、解釈のポイント等について解説した。本テキストの内容を踏まえ、気象庁の高潮ガイダンスを活用頂きたい。

なお、本テキストでは高潮モデルの概要についても一部触れているが、高潮モデルの詳細については「数値予報解説資料集」も参照されたい。

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpkaisetu/nwpkaisetu.html>

8.2 予報作業での留意事項

- 最新の予測資料を用いる(6.1参照)。
- 台風時は「潮位に関する全般解説情報」等を参考に、基本とすべきコースを判断する(6.2参照)。
- 台風の進路及び強度の予測誤差に留意する(6.3参照)
- 高潮ガイダンスは、高潮モデルで考慮していない要因(Wave Setup、海況要因、浅海潮)を含む。特性に留意して使用する(6.4参照)。
- 高潮ガイダンスで予測対象としていない事象については、実況監視が重要(4.4参照)。

8.2 予報作業での留意事項

予報作業で高潮ガイダンスを利用するにあたっての留意事項をまとめる。

まず、予報作業においては、最新の予測資料を用いることを基本とする(6.1参照)。高潮ガイダンスは1日8回、3時間ごとに更新される。高潮ガイダンスは先の予想ほど予測誤差が大きく、捕捉率も低くなるため、最新の予測資料を利用することが望ましい。

次に、台風時は高潮ガイダンスは6コースの予測(MSM、ポーガス中央コース及び周辺コース×4)を行うが、どのコースを基本とすべきかは、最新の「潮位に関する全般解説資料」や潮位の実況値等も参考に判断すること(6.2参照)。気象庁海洋気象情報室では、台風時も一般的に、最も各種統計スコア(捕捉率等)が良いMSMを基本として「潮位に関する全般解説資料」を作成する。ただし、MSMと台風の進路予報または強度予報の差が大きい場合には、ポーガス中央コースを基本として作成する場合もある。

また、高潮の予測は台風の進路及び強度の予測誤差に留意する必要がある(6.3参照)。台風の進路が少しでも変わると、高潮の要因の一つである吹き寄せ効果が大きく変わる可能性があるため、予報円が大きい場合は高潮予測の不確実性も高い。このため、最も可能性が高い予測コースのシナリオを基本(メインシナリオ)として持つだけでなく、他のコースの予測も確認し、最も高い潮位を予測しているシナリオをサブシナリオとして持つなど、リスクを事前に評価する使い方が防災上の観点から望ましい。特に、満潮時に高潮が重なると、高潮の規模によっては甚大な被害をもたらすおそれがあるため、たとえ基本とするコースの高潮のピークが干潮に近い時間帯であっても、他のコースの高潮のピークが満潮に近い時間帯に重なる可能性があるならば、それらのシナリオも事前に想定しておく必要がある。

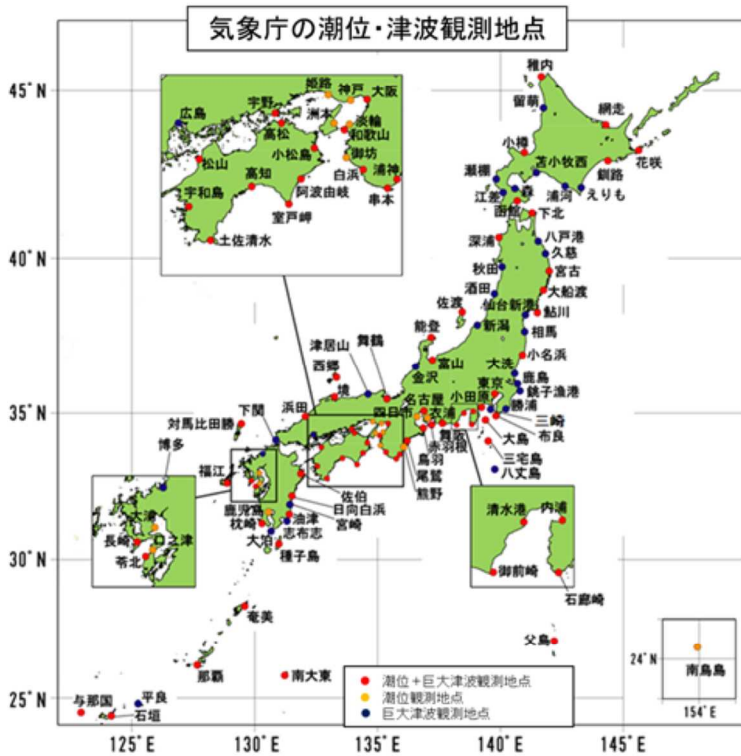
高潮ガイダンスは、高潮モデルでは表現されない高潮の要因のうち、Wave Setup、海況要因及び浅海潮を考慮している(6.4参照)。ガイダンスで考慮している補正要因の特性を理解し、予報作業に利用することが望ましい。

最後に、現状、高潮ガイダンスで予測対象としていない現象(副振動、陸棚波、河川水の流入)がある。これらについては、現状予測が困難であるため、潮位の実況監視が重要である。特に副振動は、大潮や満潮が重なると台風通過時の高潮より潮位が高くなる場合もあるので注意が必要である。副振動の状況や見通しについては、可能な範囲で「潮位に関する全般解説資料」でお知らせする。また、副振動が発生した場合は、速やかに潮位情報を発表するので、実況監視に活用頂きたい。

付録目次

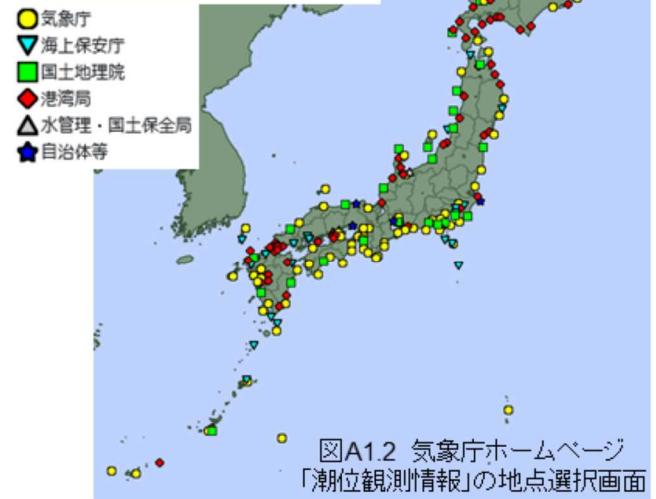
- 付-1. 潮位観測について
 - 付-2. Wave Setup実験式の係数一覧
 - 付-3. 検証で用いるスコア
- 参考文献

潮位観測について



図A1.1 気象庁が管理する潮位・津波観測地点の図

気象庁ホームページ「潮位観測情報」
<https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#contents=tidelevel>



図A1.2 気象庁ホームページ「潮位観測情報」の地点選択画面

気象庁	: 70カ所
海上保安庁	: 20カ所
港湾局	: 65カ所
国土地理院	: 25カ所
水管理・国土保全局	: 3カ所
自治体等	: 5カ所
計	: 188ヶ所

付録-1 潮位観測について

2024年1月現在、気象庁HPでは188地点のリアルタイム潮位データを公開している。気象庁の観測地点のデータに加えて、他機関のデータも共有して監視等に使っている。(図A1.1、A1.2)

詳しい観測方法等は、以下の気象庁ホームページを参照。

<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/explanation.html>

Wave Setup実験式の係数一覧

2023年7月現在

表A2.1 各地点の実験式係数

地点	a	b	c
石廊崎	1.45	-3.62	1.44
舞阪	1.14	-3.51	7.36
赤羽根	1.87	-6.57	15.88
浦神	0.31	1.16	-2.25
串本	-0.52	9.21	-21.36
白浜	0.92	-3.64	8.45
御坊	1.74	3.58	-17.41
室戸岬	0.29	0.72	1.23
高知	-0.15	4.57	-6.21
田後	1.00	-3.27	6.22
輪島	1.03	-3.73	7.56
能登	0.58	6.50	-14.07
柏崎	0.71	3.59	-8.93
秋田	-0.07	4.66	-6.30
男鹿	1.10	2.17	-15.26
銚子	-0.13	3.86	-6.30
勝浦	0.51	-2.12	8.55
布良	0.87	-3.59	12.70
神津島	0.57	-2.00	7.03
三宅島(坪田)	0.79	0.13	3.04
油壺	-0.41	7.85	-11.50
小田原	3.89	-29.20	66.68
宮崎	-0.97	13.54	-23.57
種子島	0.61	-1.46	4.57
奄美	1.17	-5.79	14.48

表A2.1(続き)

地点	a	b	c
港川漁港	2.16	-9.91	21.23
東漁港	2.81	-21.87	70.66
久米島	-0.40	16.08	-8.22
多良間	1.093	-4.413	6.355
石垣	1.093	-4.413	6.355
西表(仲間)	1.093	-4.413	6.355
比川海岸	1.093	-4.413	6.355

表A2.1に、波浪効果(Wave Setup)の実験式

$$Z = aH^2 + bH + c$$

の導入地点における係数一覧を示す。

ZがWave Setup量、Hが有義波高を示す。

ただし、Zが負の場合は 0 とする。

また、2次曲線の頂点(おおむね波高3~4m程度)よりも低い波高の部分も Z=0 とする。

なお、沖縄の多良間、石垣、西表(仲間)、比川海岸の各地点は小西(1997)の式を0.7倍している。

付録-2-1 Wave Setup実験式の係数一覧

表A2.1に、波浪効果(Wave Setup)の実験式($Z=aH^2+bH+c$)の導入地点における係数一覧を示す。ZがWave Setup量、Hが有義波高を示す。ただし、Zが負の場合は 0 とする。また、2次曲線の頂点(おおむね波高3~4m程度)よりも低い波高の部分も Z=0 とする。

なお、沖縄の多良間、石垣、西表(仲間)、比川海岸の各地点は小西(1997)の式を0.7倍している。

Wave Setup実験式で計算されるWave Setup量

表A2.2 実験式で計算した各地点のWave Setup量

地点	波高(m)							
	3	4	5	6	7	8	9	10
石廊崎	5	10	20	30	45	65	85	110
舞阪	5	10	20	25	40	50	70	85
赤羽根	15	20	30	45	60	85	110	135
浦神	5	5	10	15	20	25	35	40
串本	0	5	10	15	20	20	20	20
白浜	5	10	15	20	30	40	50	65
御坊	10	25	45	65	95	125	155	190
室戸岬	5	10	10	15	20	25	30	35
高知	5	10	15	15	20	20	25	25
田後	5	10	15	25	30	45	60	75
輪島	5	10	15	20	30	45	55	75
能登	10	20	35	45	60	75	90	110
柏崎	10	15	25	40	50	65	80	100
秋田	5	10	15	20	25	25	30	35
男鹿	0	10	25	35	55	75	95	115
銚子	5	5	10	10	15	15	20	20
勝浦	5	10	10	15	20	25	30	40
布良	10	10	15	20	30	40	50	65
神津島	5	10	10	15	20	30	35	45
三宅島(坪田)	10	15	25	30	45	55	70	85
油壺	10	15	20	20	25	25	25	25
小田原	0	10	20	30	55	80	120	165
宮崎	10	15	20	25	25	25	25	25
種子島	5	10	15	20	25	30	40	50
奄美	10	10	15	20	30	45	55	75

表A2.2(続き) 2023年7月現在

地点	波高(m)							
	3	4	5	6	7	8	9	10
港川漁港	10	15	25	40	60	80	105	140
東漁港	20	25	30	40	55	75	100	135
久米島	35	50	60	75	85	95	105	115
多良間	0	5	10	15	20	30	40	50
石垣	0	5	10	15	20	30	40	50
西表(仲間)	0	5	10	15	20	30	40	50
比川海岸	0	5	10	15	20	30	40	50

表A2.2に、Wave Setupの実験式

$$Z = aH^2 + bH + c$$

に波高を代入して計算した結果を

5cm単位で示す。

付録-2-2 Wave Setup実験式で計算されるWave Setup量

表A2.2に、Wave Setupの実験式($Z=aH^2+bH+c$)に波高を代入して計算した結果を5cm単位で示す。

検証で用いるスコア

・ カテゴリー検証

- 対象となる現象の「あり」、「なし」を判定する基準に基づいて予報と実況それぞれにおける現象の有無を判定し、その結果により標本を分類する。
- 分類された事例数をもとに検証スコアを計算する。

分割表

		実況		計
		あり	なし	
予報	あり	適中(FO)	空振り(FX)	FO+FX
	なし	見逃し(XO)	適中(XX)	XO+XX
計		M	X	N

全事例数: $N=FO+FX+XO+XX$
 現象ありの事例数: $M=FO+XO$
 現象なしの事例数: $X=FX+XX$

空振り率(False Alarm Rate): 予報で「現象あり」であったときに対する空振り(予報「現象あり」かつ実況「現象なし」)の割合。最小値0に近いほど空振りが少ないことを示す。

$$F_r = \frac{FX}{FO + FX} \quad (0 \leq F_r \leq 1) \quad \text{式A3.1}$$

捕捉率(Hit Rate): 実況で「現象あり」であったときに予報が適中した割合。最大値1に近いほど見逃しが少ないことを示す。

$$H_r = \frac{FO}{M} \quad (0 \leq H_r \leq 1) \quad \text{式A3.2}$$

スレツスコア(Threat Score): 出現頻度の低い現象についてXXの影響を除いて検証するのに有効。最大値1に近いほど精度が高いことを示す。

$$TS = \frac{FO}{FO + FX + XO} \quad (0 \leq TS \leq 1) \quad \text{式A3.3}$$

バイアスコア(Bias Score): 実況で「現象あり」の事例数に対する予報「現象あり」の事例数の比。事例数が一致すると1となり、1より大きい(小さい)ほど過大(小)傾向であることを示す。

$$BS = \frac{FO + FX}{M} \quad (0 \leq BS) \quad \text{式A3.4}$$

付録-3 検証で用いるスコア

4節の統計検証に用いたスコアについて解説する。ここで説明するカテゴリー検証では、対象となる現象の「あり」、「なし」を判定する基準に基づいて予報と実況それぞれにおける現象の有無を判定し、その結果により標本を分類する(分割表)。分割表はカテゴリー検証においてそれぞれのカテゴリーに分類された事例数を示している。各統計スコアはこれら事例数を用いて定義される。基本的な統計スコアは以下の通りである。

空振り率(False Alarm Rate): 予報で「現象あり」であったときに対する空振り(予報「現象あり」かつ実況「現象なし」)の割合。最小値0に近いほど空振りが少ないことを示す。(式A3.1)

捕捉率(Hit Rate): 実況で「現象あり」であったときに予報が適中した割合。最大値1に近いほど見逃しが少ないことを示す。(式A3.2)

スレツスコア(Threat Score): 出現頻度の低い現象についてXXの影響を除いて検証するのに有効。最大値1に近いほど精度が高いことを示す。(式A3.3)

バイアスコア(Bias Score): 実況で「現象あり」の事例数に対する予報「現象あり」の事例数の比。事例数が一致すると1となり、1より大きい(小さい)ほど過大(小)傾向であることを示す。(式A3.4)

参考文献

- 小西, 1997: 外洋に面した港湾で発生する高潮の成因について—Wave setupの効果—, 海と空, 73
- 伊藤, 坂地, 許田, 福田, 2013: 東海～四国地方及び瀬戸内海における高潮モデルの特性に関する調査, 測候時報, 80, 特別号, S63-S73.
- 森, 小林, 2012: wave setupの発生地点及び予測—潮位・波高観測値及び高潮ガイダンスによる調査—, 平成23年度海洋気象技術検討会要旨.
- 森, 2014: 福岡管内のWave Setup経験式の算出, 平成26年度福岡県気象研究会.
- 田口, 橋口, 林原, 永井, 2016: 沖縄地方における簡易水位計を用いた波浪効果による潮位上昇(wave setup)の調査. 測候時報, 83, 特別号, S11-S19
- 上原, 友利, 林, 2018: 簡易水位計を用いた波浪効果による潮位上昇の調査. 沖縄技術ノート第82号 1-6
- R.W.Hamming著, 宮川, 今井訳, 1980: デジタルフィルター, 第6章, 科学技術出版社