



令和元年12月9日 気象・地震等を扱う事業者等を対象とした講習会(第9回)

気象庁高潮モデルとその利用

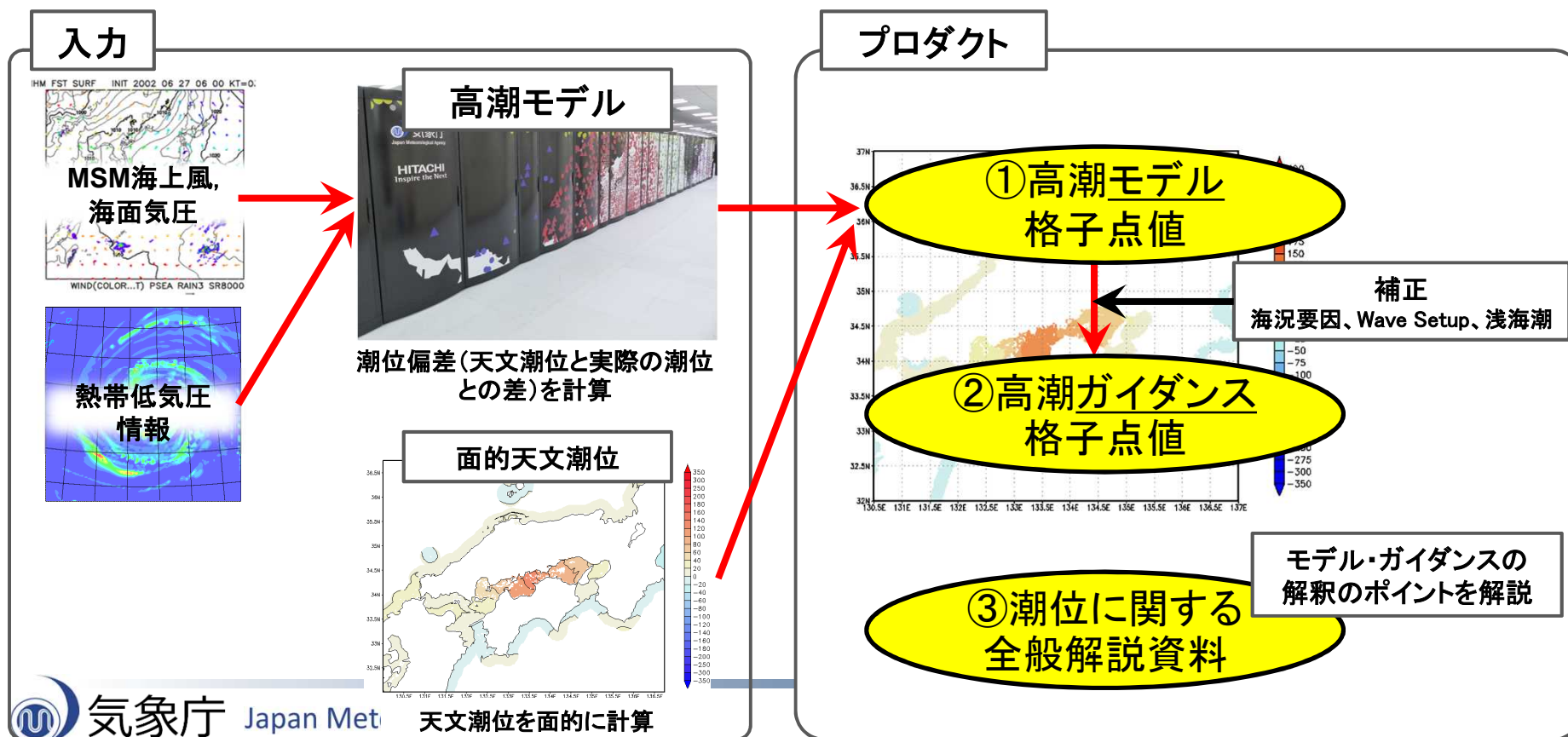
気象庁 地球環境・海洋部
海洋気象課 海洋気象情報室

はじめに

- 気象庁では、高潮に関する予報業務許可の審査基準の改正にあわせ、本年12月17日より、高潮予測プロダクト(「**高潮モデル格子点値**」、「**高潮ガイダンス格子点値**」及び「**潮位に関する全般解説資料**」)の提供を開始する予定です。
- 高潮は主に台風の接近に伴って発生しますが、台風進路予想のわずかな違いで高潮の発生する場所・規模が大きく異なるなど、予測の不確実性が大きい現象です。そのため、気象庁の高潮予測プロダクトも、予測の不確実性を十分に考慮して利用頂く必要があります。
- 本日の講習会では、気象庁の高潮モデルの概要や、提供するプロダクトの特性、利用上の留意点等について解説いたします。

全体概要

- 令和元年12月17日(火)より、以下のプロダクトの提供を開始。
 - ① 高潮モデル格子点値 (潮位(潮位偏差+天文潮位)の予測値を提供)
 - ② 高潮ガイダンス格子点値 (海況要因、波浪効果(Wave Setup)、浅海潮を補正)
 - ③ 潮位に関する全般解説資料 (①及び②の解釈のポイントを解説したもの)



本日の内容

1. 高潮の基礎
2. 高潮モデル
3. 高潮ガイダンス
4. 平成30年台風シーズンの事例紹介
5. 高潮モデル/ガイダンス解釈のポイント
6. 提供開始するプロダクトの概要
7. まとめ

1. 高潮の基礎

高潮とは

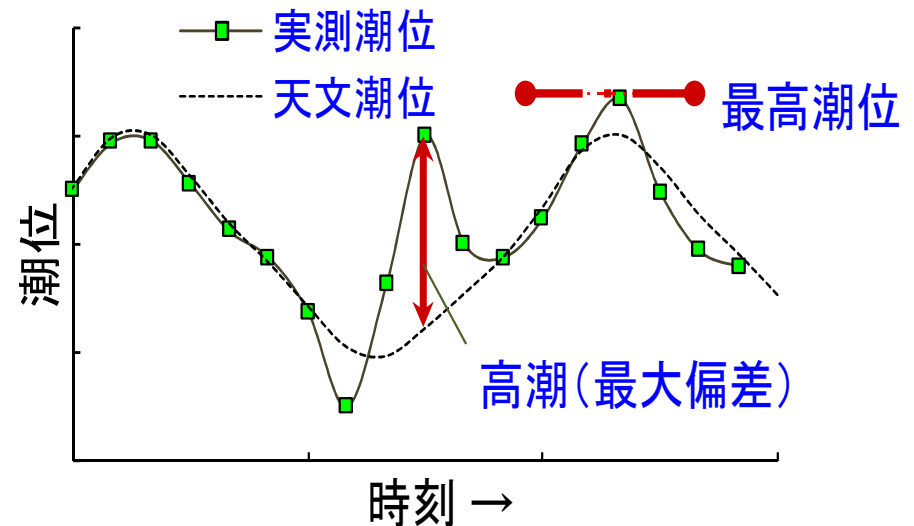
- 台風など強い気象じょう乱に伴う気圧降下による海面の吸い上げ効果と風による海水の吹き寄せ効果のため、海面が異常に上昇する現象。(予報作業指針 予報用語)

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

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。

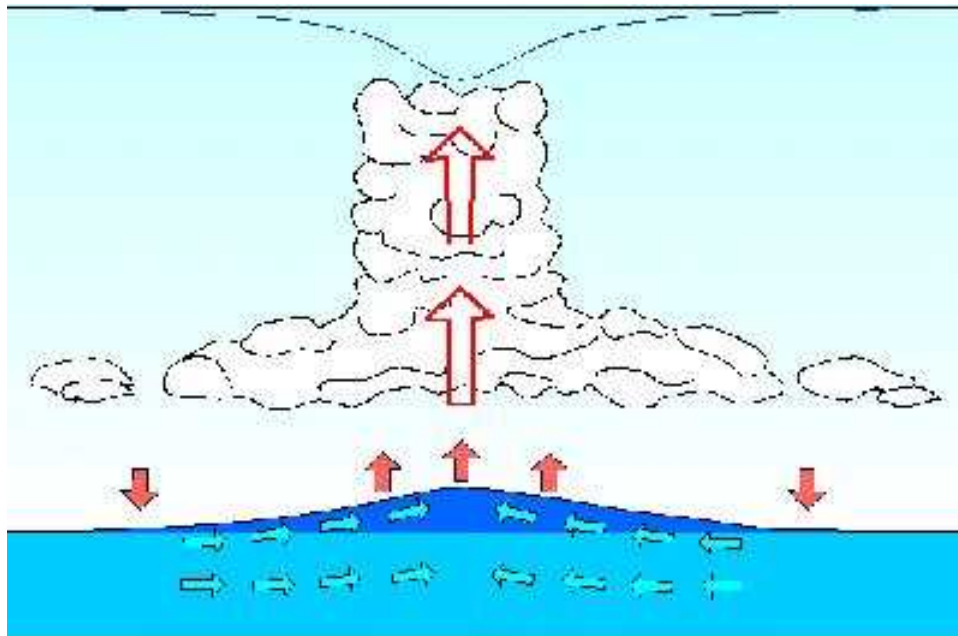
潮位偏差: 気象などの影響を受けた実際の潮位と天文潮位との差。潮位偏差の最大値(最大偏差)は、現象の規模を表すのに適している。



※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。

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。**



吸い上げ効果のイメージ

海面水位と気圧の静的
バランスを考えると

$$\rho g \Delta h \cdot S = \Delta p \cdot S$$

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

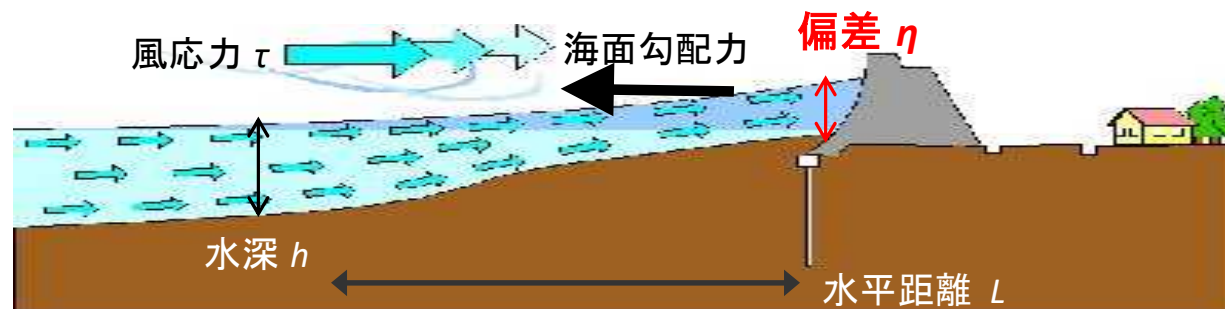
$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{1.0[\text{hPa}]}{1.0[\text{g/cm}^3] \times 9.8[\text{m/s}^2]} \cong 1.0[\text{cm}]$$

→1hPaの気圧低下≒1cmの海面上昇

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。**

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

風応力と海面勾配力の
バランスから

$$g \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\tau}{\rho h}$$

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

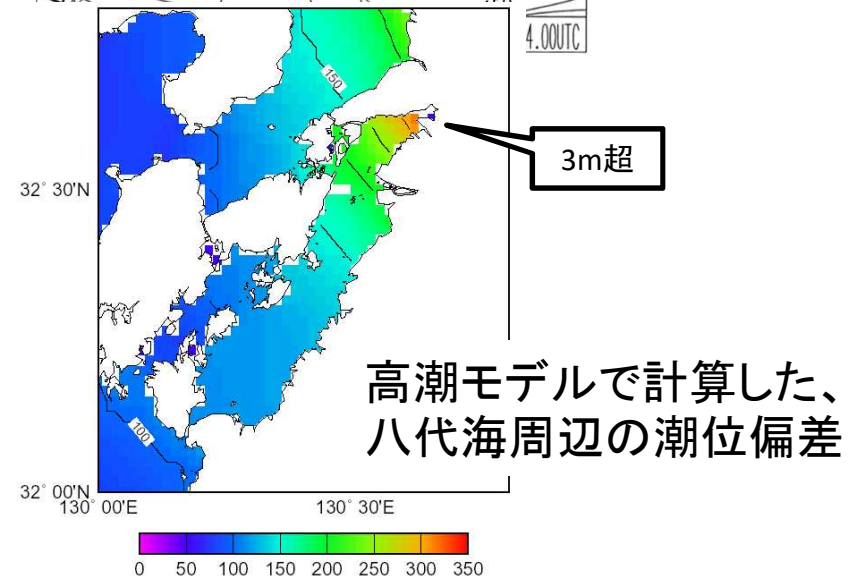
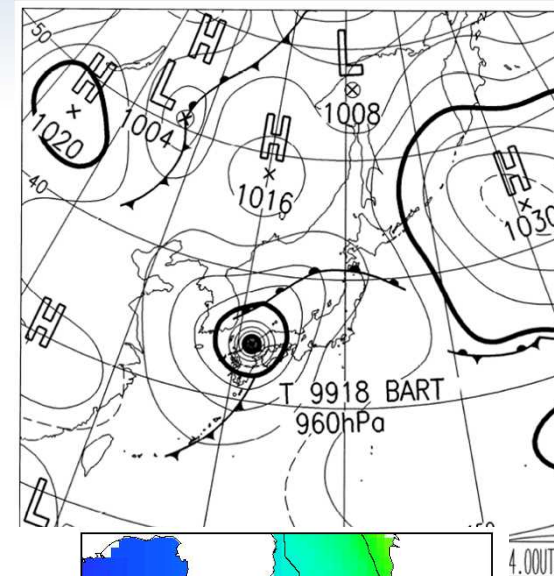
→ 風速の2乗に比例し、水平距離が長く、水深が浅いほど大きい。

吹き寄せ効果

- 1999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



その他の要因

(1)波浪効果 (*Wave Setup*)

- 波浪による潮位の上昇

(2)副振動 (*Seiche, Meteo-tsunami*)

- 気象擾乱により潮位が振動する現象

(3)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。

(4)陸棚波

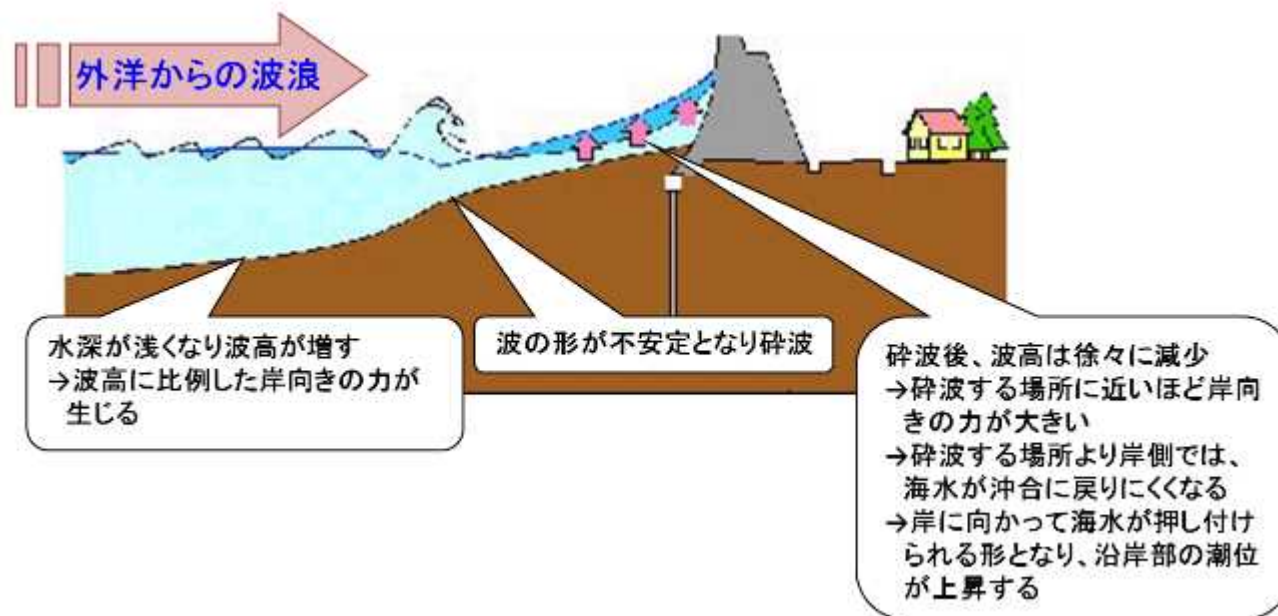
- 気象擾乱等で生じた波動が等深線に沿って伝播する現象

(5)潮汐の影響

- 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。

波浪効果 (Wave Setup)

- 外洋に面した沿岸では、波浪が砕波する際に起きる潮位上昇 (Wave Setup) が高潮の主たる原因となることがある。



参考: 気象庁ホームページ (潮汐・海面水位の知識) 波浪効果による潮位上昇 (Wave Setup)
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/knowledge/tide/wavesetup.html>

海況要因

中規模渦

海洋には、直径が数百キロの中規模渦が多数存在する。

- ・暖水渦: 中心が暖かく、高気圧性の循環
- ・冷水渦: 中心が冷たく、低気圧性の循環

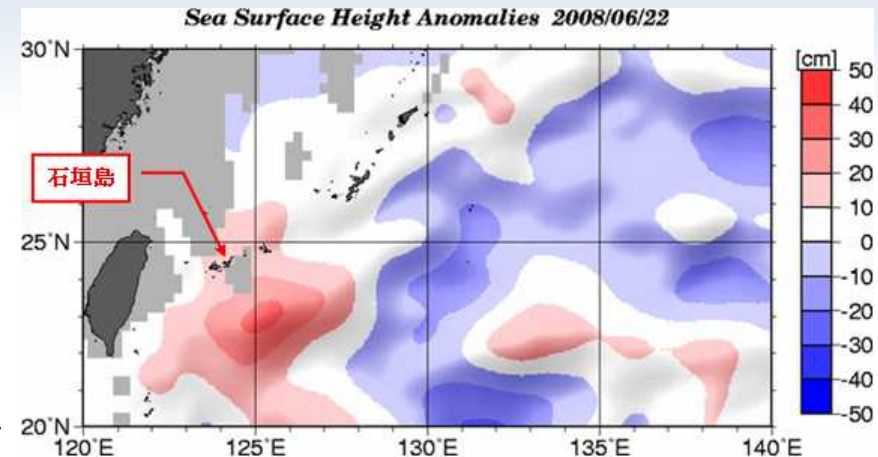
暖水渦は中心の海面が盛り上がっているため、沿岸に接近した場合、沿岸部では潮位上昇。

海流

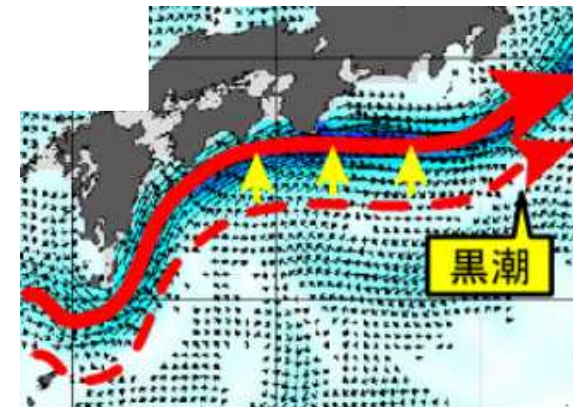
世界有数の強い海流である黒潮は、

- ・流れに向かって右側に暖水、左側に冷水という構造
- ・暖水では海面が高く、冷水では海面が低い。

黒潮が接岸した場合、沿岸部では潮位上昇。



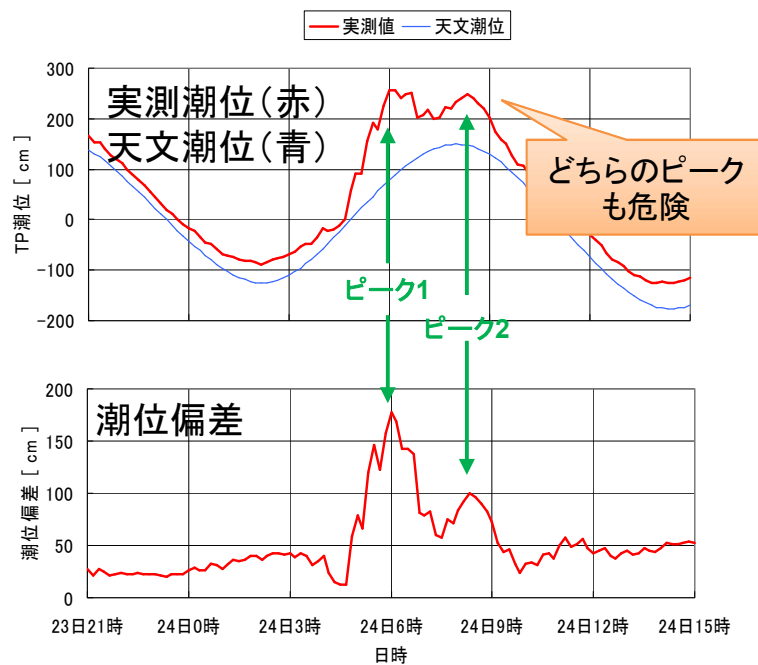
南西諸島における海面高度偏差(2008年6月22日)
平均高度(1993~1996年の平均)に比べて海面高度(水位)が高い領域を赤い色で示す。石垣島地方の南方に周囲より海面高度の高い領域が見られる。



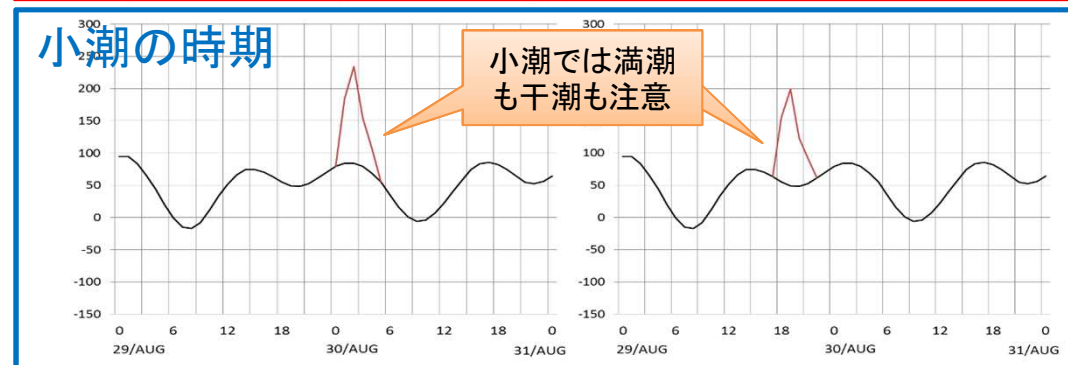
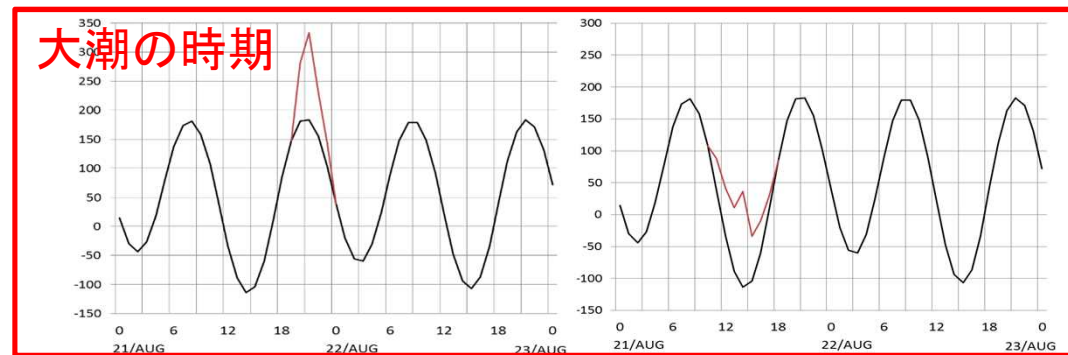
黒潮流路の変動

潮汐の影響

- 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。



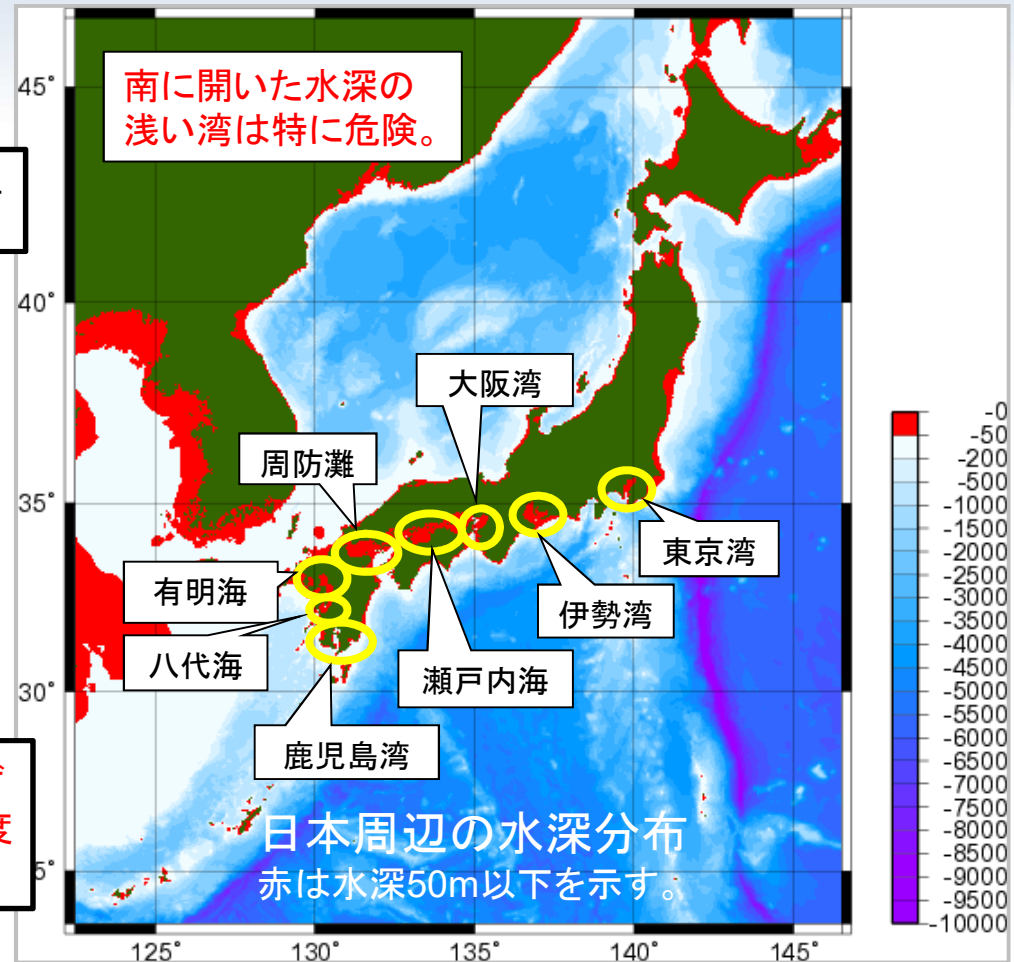
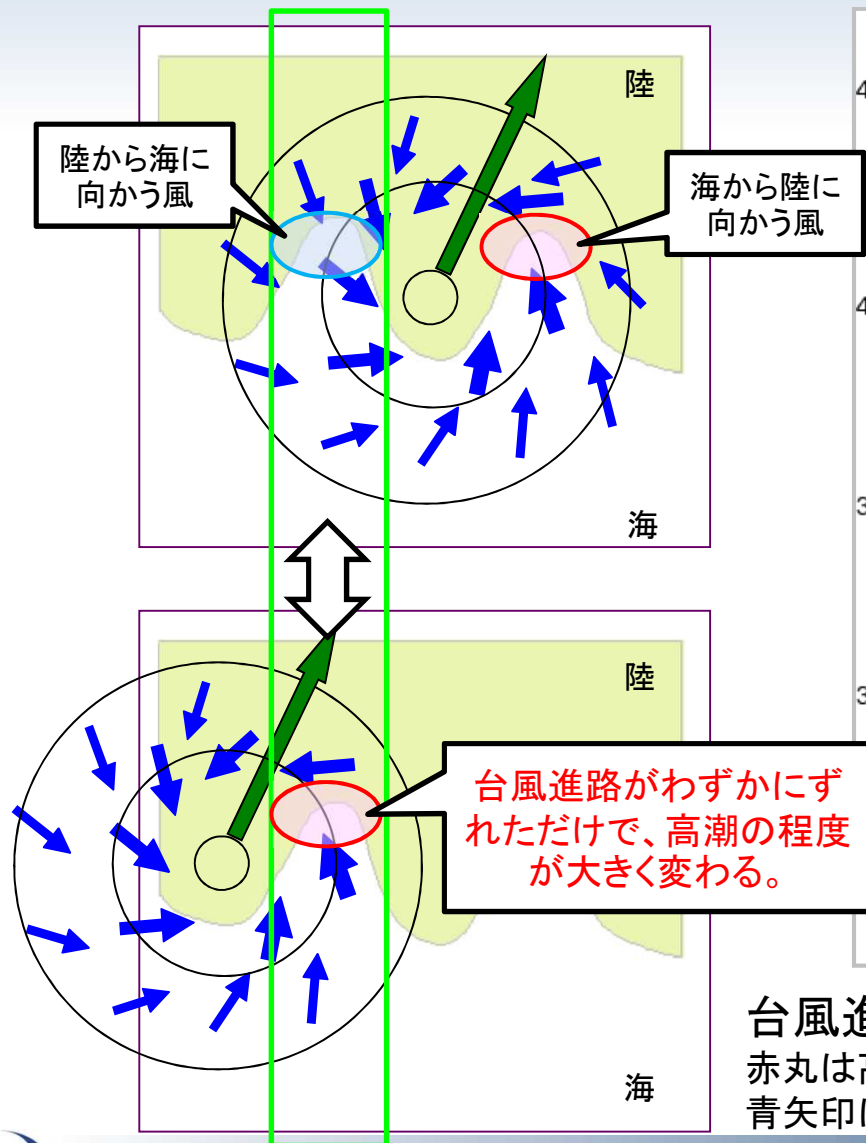
平成11年台風第18号時の八代における潮位・潮位偏差時系列



大潮・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。

高潮のリスク



台風進路と高潮のリスク

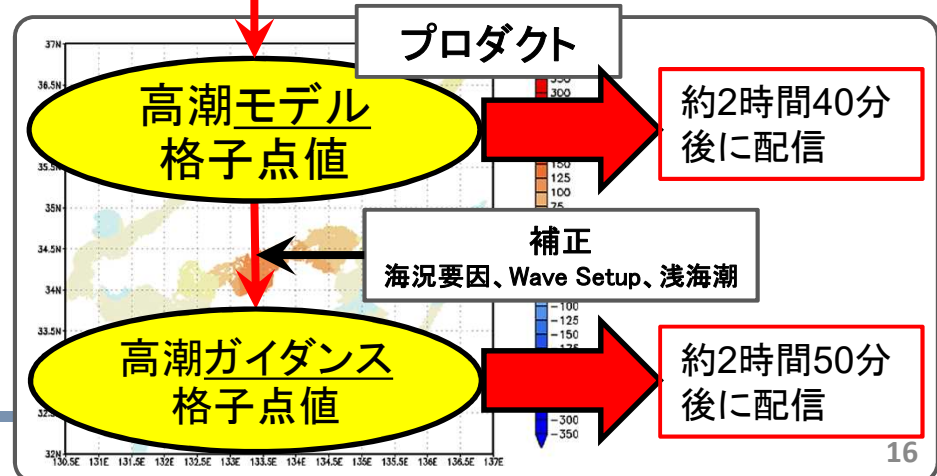
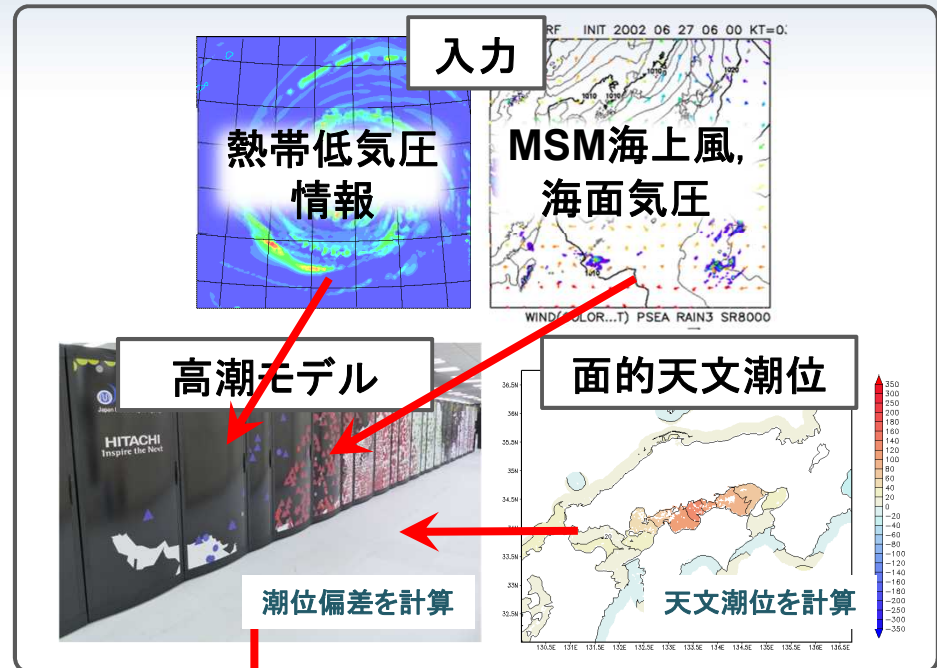
赤丸は高潮リスクの高い場所を示す。

青矢印は風、緑矢印は台風の進行方向を示す。

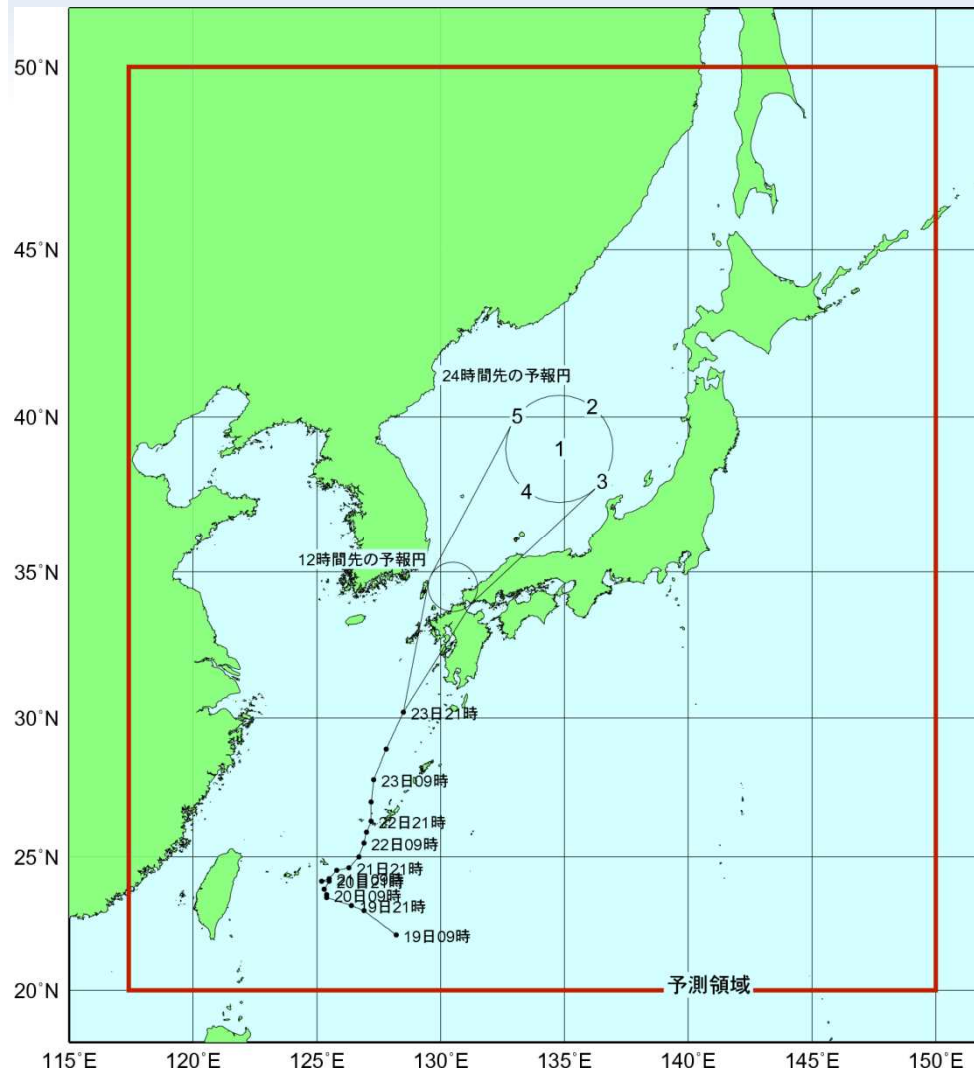
2. 高潮モデル

気象庁高潮モデルの概要

離散化手法	有限差分, 陽解法
座標系	緯度・経度座標
格子系	スタガード格子 (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
予測時間	39時間
メンバー数	台風時6 (MSM + bogus × 5) 非台風時1 (MSM)
実行頻度	1日8回 (00,03,06,09,12,15,18,21UTC)



台風時は6通りの高潮計算を実施

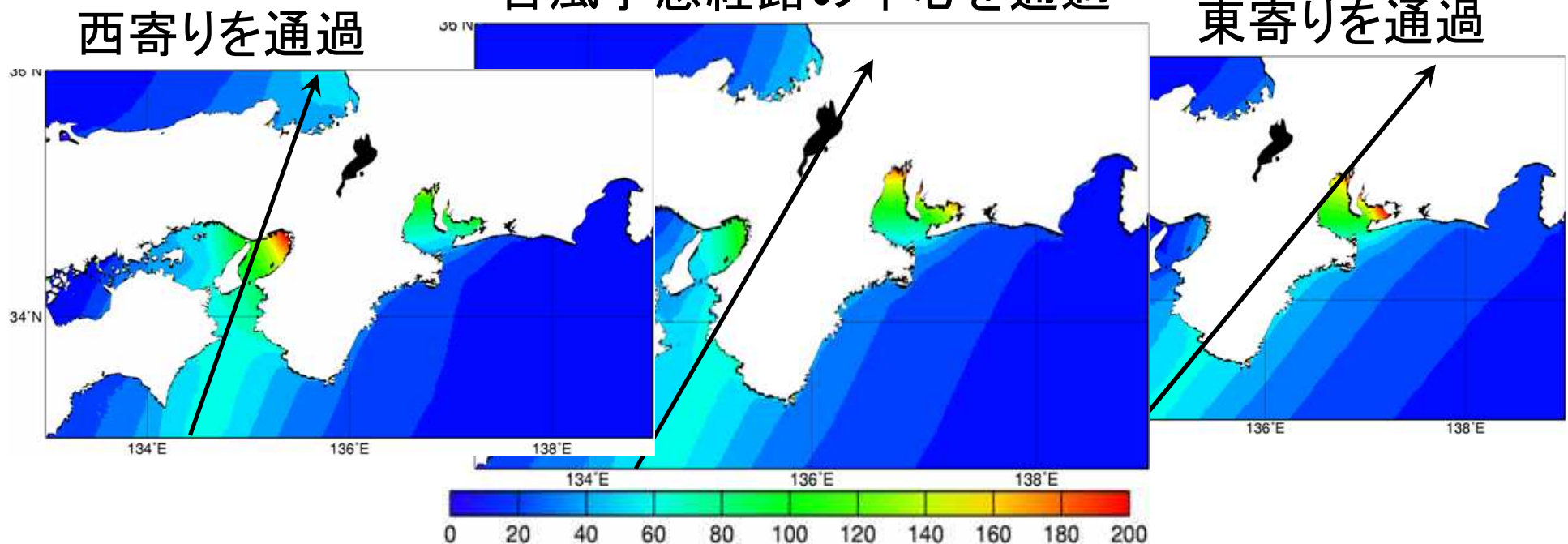


- 非台風時はMSMによる1通りの計算を行う。
- 台風時(日本付近に台風が存在する場合)は、MSMによる1通りに加え、進路予報の誤差を考慮し、5通りの風・気圧場(ボーガス)による計算を行う。
- ボーガス計算では、予報円中心上を通るコース(ボーガス中央コース)と、予報円周辺上を通る4コース(ボーガス周辺コース)の計算を実施。
 1. 予報円中央を通過
 2. 最も速く通過
 3. 予報円右側を通過
 4. 最も遅く通過
 5. 予報円左側を通過
- ボーガス中央コースはMSMにボーガスを埋め込む。ボーガス周辺コースは台風周辺のみボーガスによる気象場を与える。

なぜ複数コースの計算が必要か

- 高潮が発生する場所・規模は台風コースに強く依存。
- 台風進路の予報誤差がある場合、大きな誤差が発生しうる。
 - 複数のシナリオを用意し、最悪パターンを考慮して使い分ける。

台風予想経路の中心を通過



台風ボーガスの作成

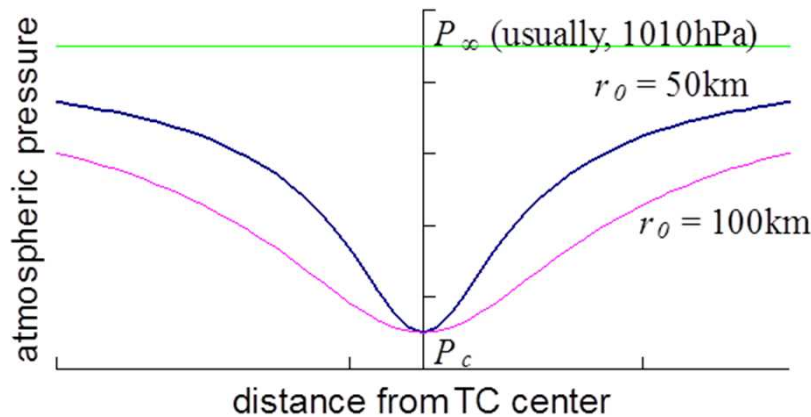
• 気圧分布

藤田の式

$$P(r) = P_{\infty} - \frac{P_{\infty} - P_c}{\sqrt{1 + (r / r_0)^2}}$$

P: 気圧, P_{∞} : 無限遠の気圧, P_c : 中心気圧,
r: 中心からの距離, r_0 : パラメータ

r_0 によって台風の鋭さを設定。
現業では30/50kt半径から算出している。

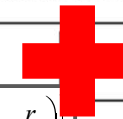
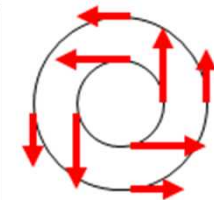
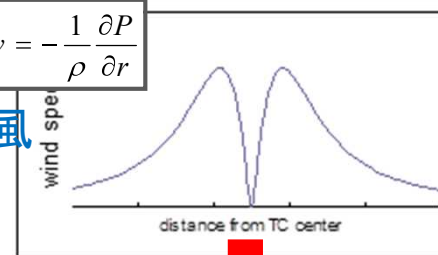


台風ボーガスの作成方法

• 風速分布

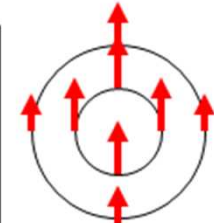
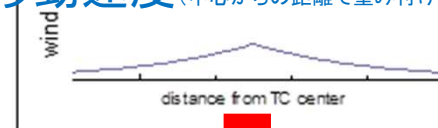
$$\frac{v^2}{r} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r}$$

傾度風

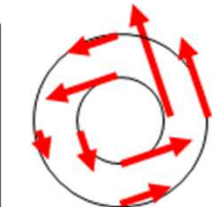
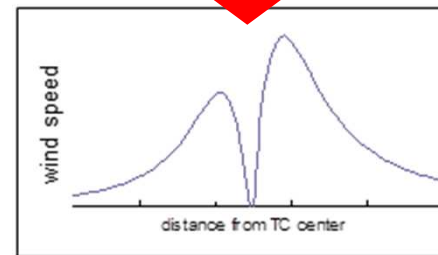


$$W = C_1 \left\{ V_g + C \cdot \exp\left(-\pi \frac{r}{r_e}\right) \right\}$$

台風移動速度 (中心からの距離で重み付け)



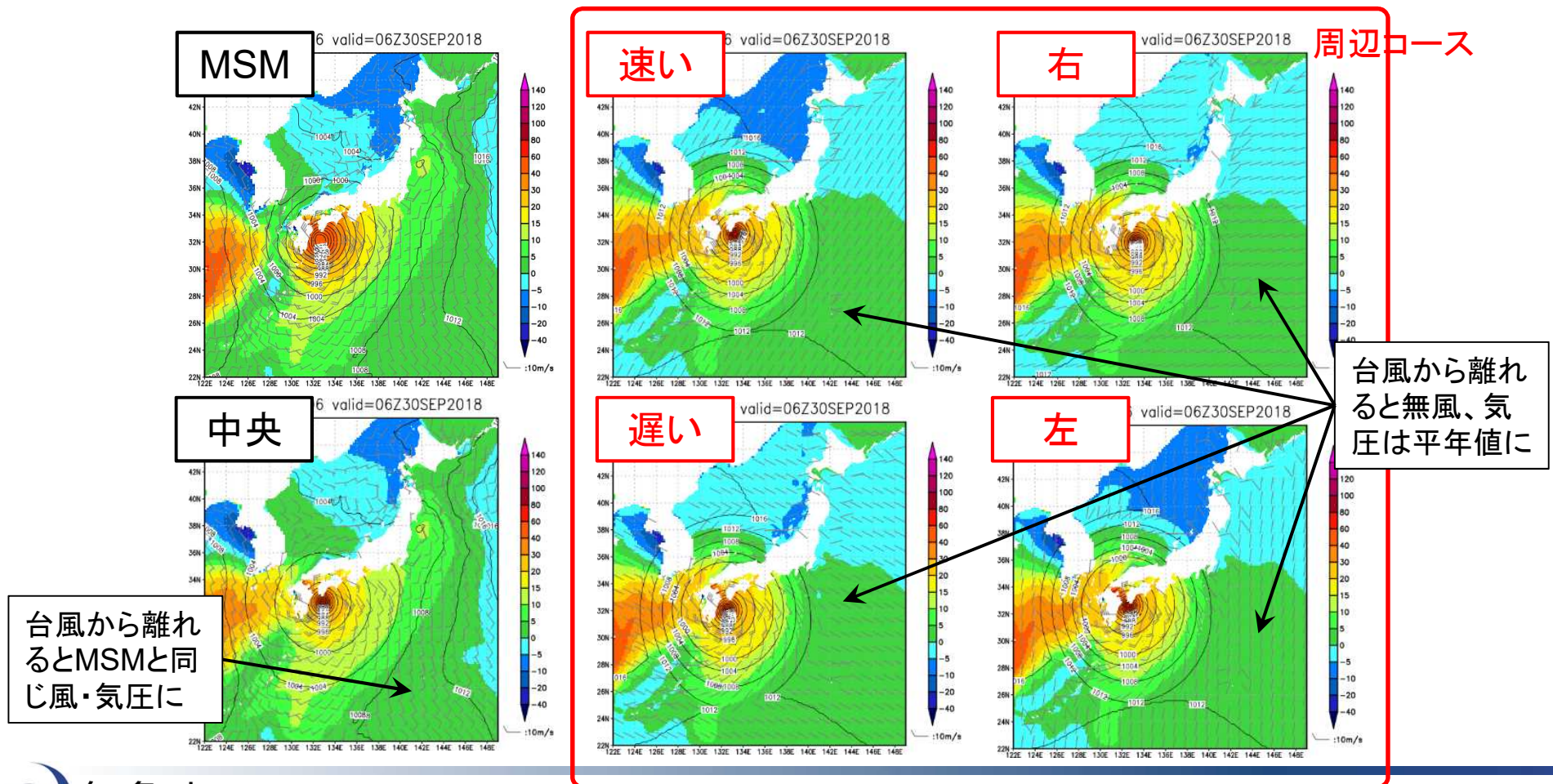
吹き込み角 →



v, V_g : 傾度風速, f : コリオリパラメータ,
 ρ : 空気密度, C_1, r_e : 定数, W : 風速

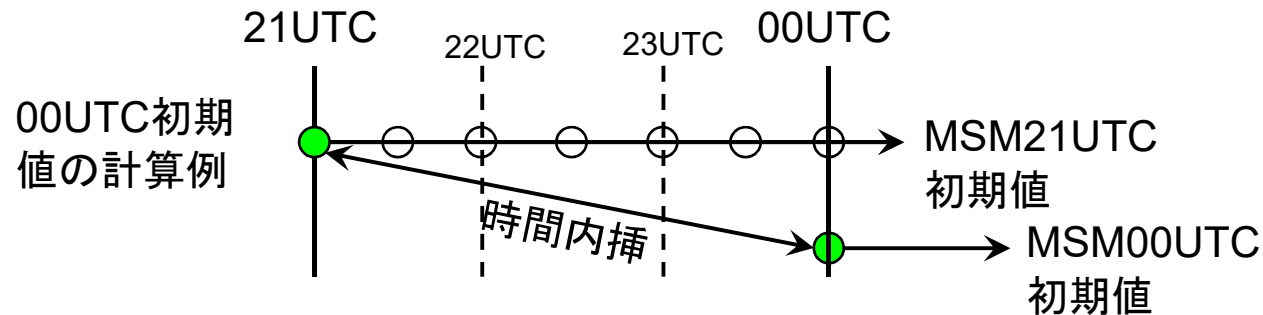
ボーガスのコース間の違い

- ボーガス周辺コースでは、台風から離れたところでは無風になるが、台風の影響は十分評価できる。**台風近傍のみ参照すること。**



初期値

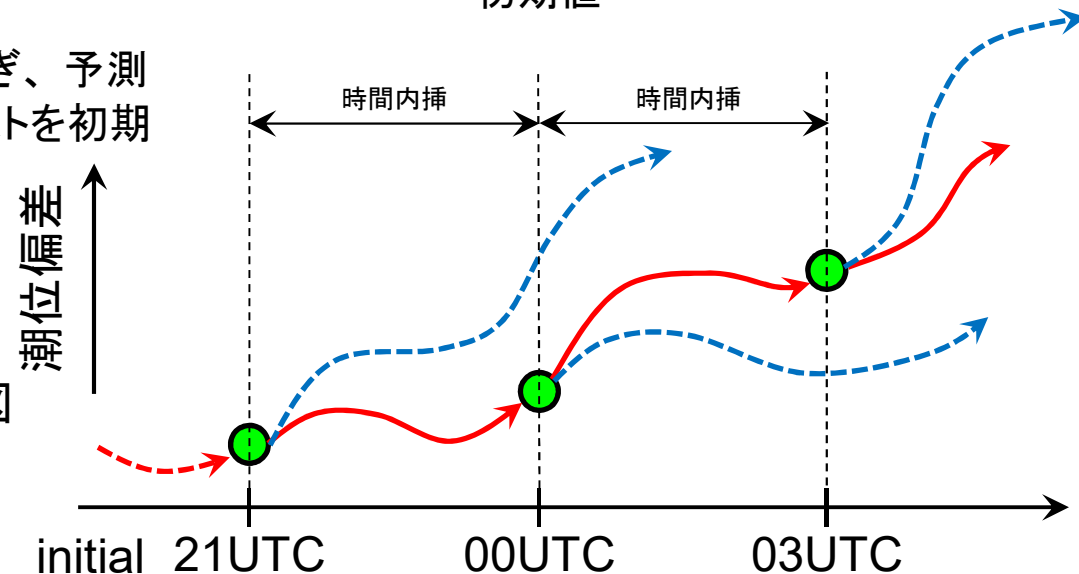
- 計算には潮位偏差の初期値が必要だが、面的な解析は困難なため、気象場の解析値を使って初期値を作成する(ハインドキャスト)。
 - 気象場の解析値を時間内挿して大気外力とし、過去の状態を再計算する。



ハインドキャストは過去から未来へ繋ぎ、予測計算はその都度最新のハインドキャストを初期値として計算する。

ハインドキャストと予測計算の概念図

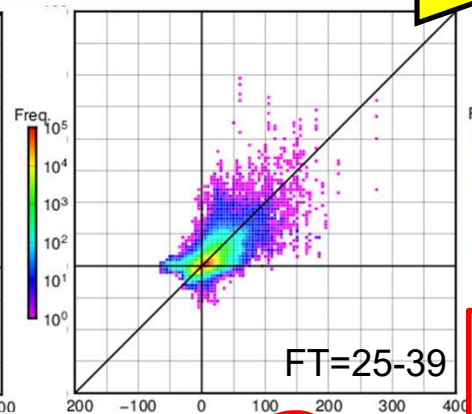
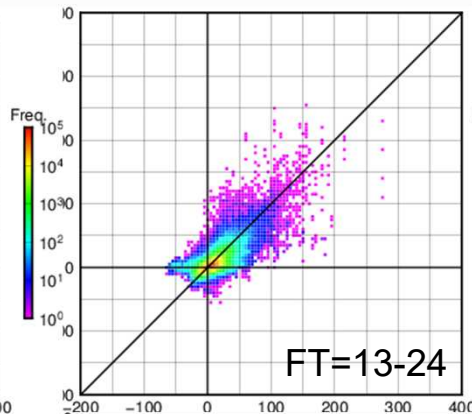
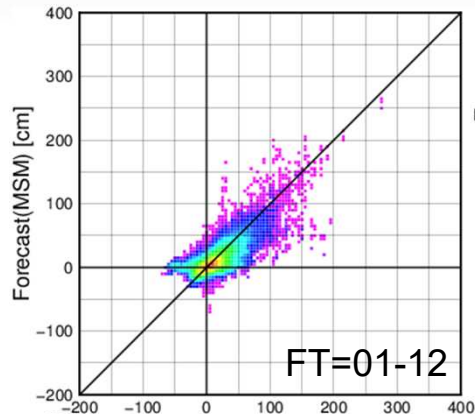
→ ハインドキャスト
 ----> 予測計算



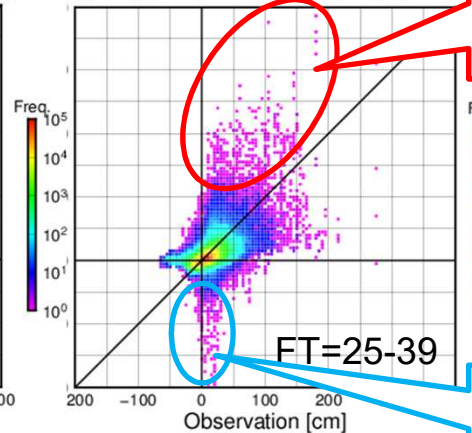
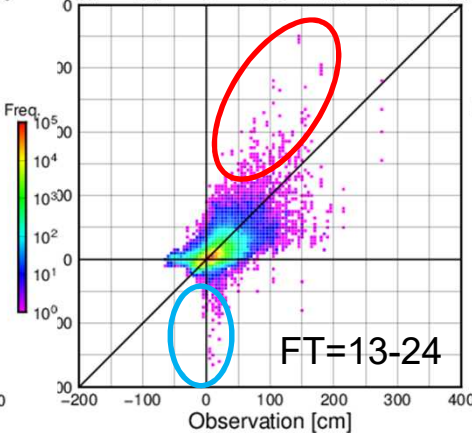
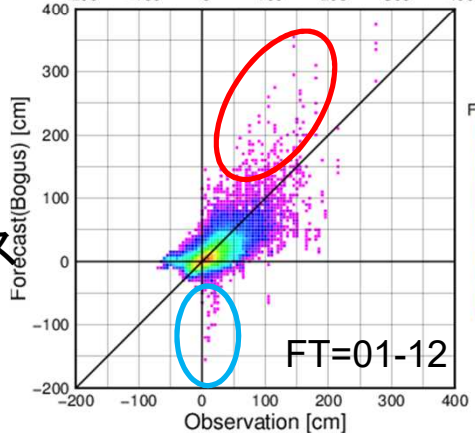
高潮モデルの精度(散布図)

予報時間の経過につれて精度悪化

MSM



ボーガス
中央コース



過大傾向は
ボーガス中央
コースの方が
顕著

負の潮位偏差
も過大(離岸風
の過大による)

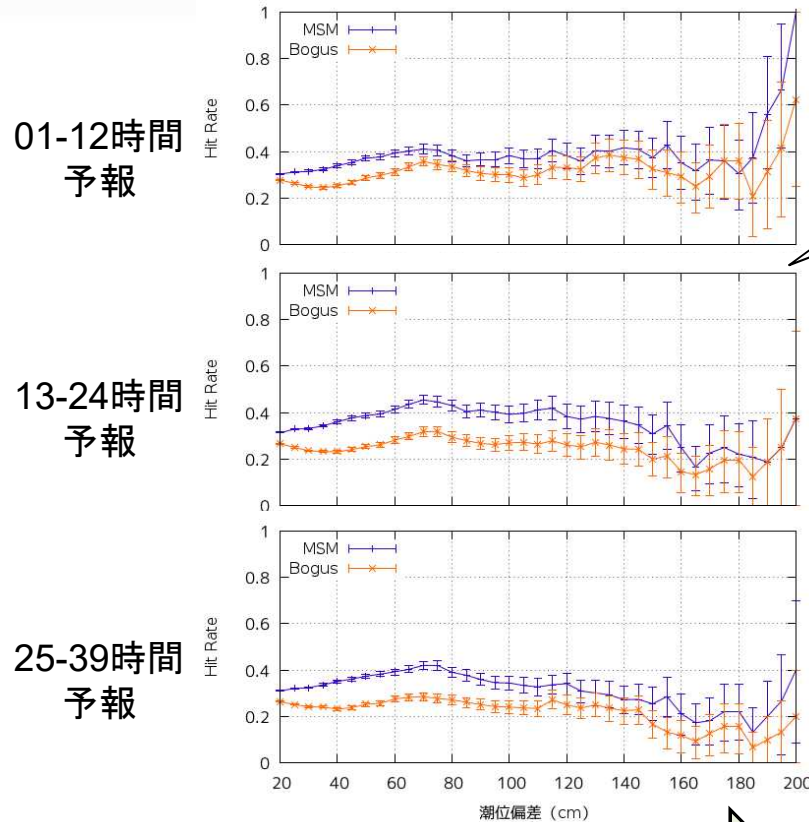
潮位偏差観測値(X軸)と予測計算(Y軸)の散布図

統計期間は2015年6月~2018年12月で、台風接近・通過時の事例を抽出。上段はMSM、下段はボーガス中央コースを示す。3時間ごとの最大値と比較している。国内207地点の潮位観測点(気象庁のほか、港湾局や海上保安庁、国土地理院が運用)の観測値(3分平均値)を使用。

高潮モデルの精度(捕捉率)

捕捉率

(1に近いほど良い)



全体的にMSMの方が良い結果。

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。

$$H_r = \frac{FO}{M} \quad (0 \leq H_r \leq 1)$$

		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

予報時間の経過につれて精度悪化

潮位偏差の閾値

高潮予測計算(潮位偏差)の統計スコア

青線はMSM、赤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。

統計期間、用いた観測値は22頁と同じ。

高潮モデルの精度(空振り率)

空振り率

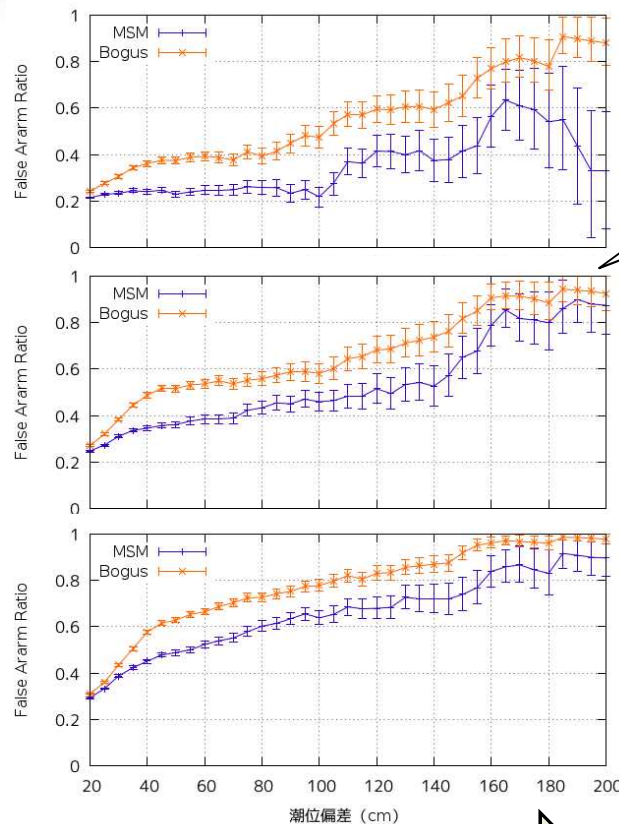
(0に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

01-12時間
予報

13-24時間
予報

25-39時間
予報



全体的にMSMの方が良い結果。

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。

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

		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

潮位偏差の閾値

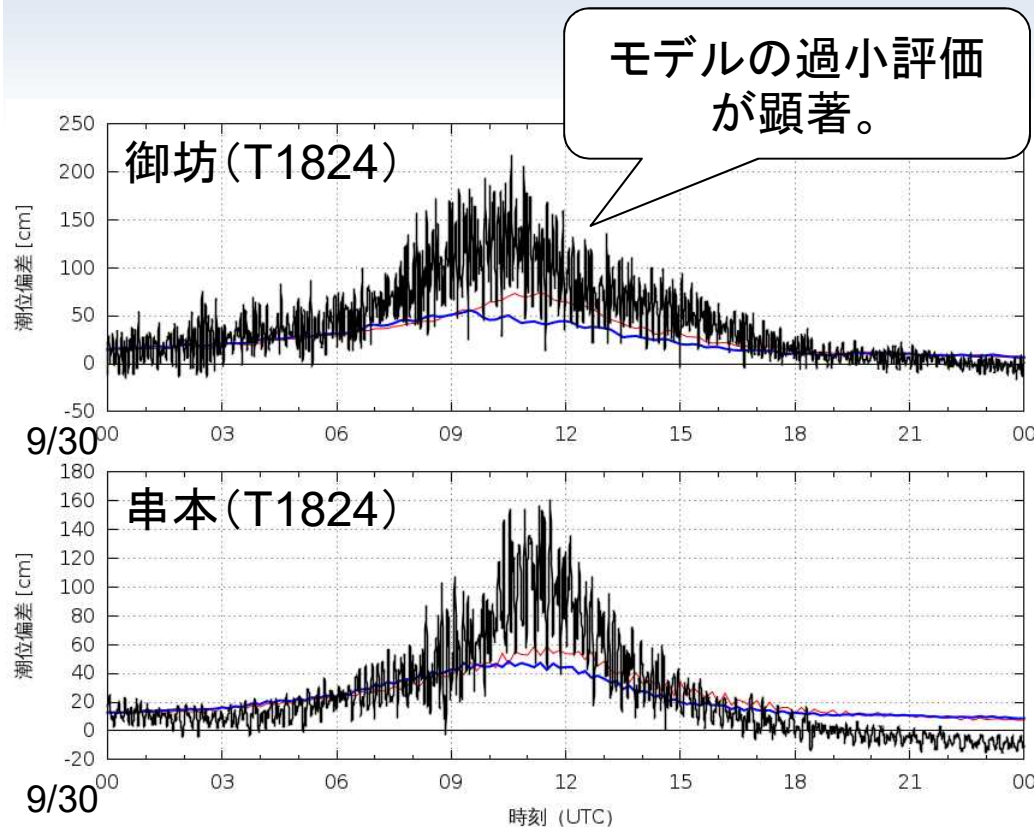
高潮予測計算(潮位偏差)の統計スコア

青線はMSM、赤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。

統計期間、用いた観測値は22頁と同じ。

外洋に面した港湾での特性



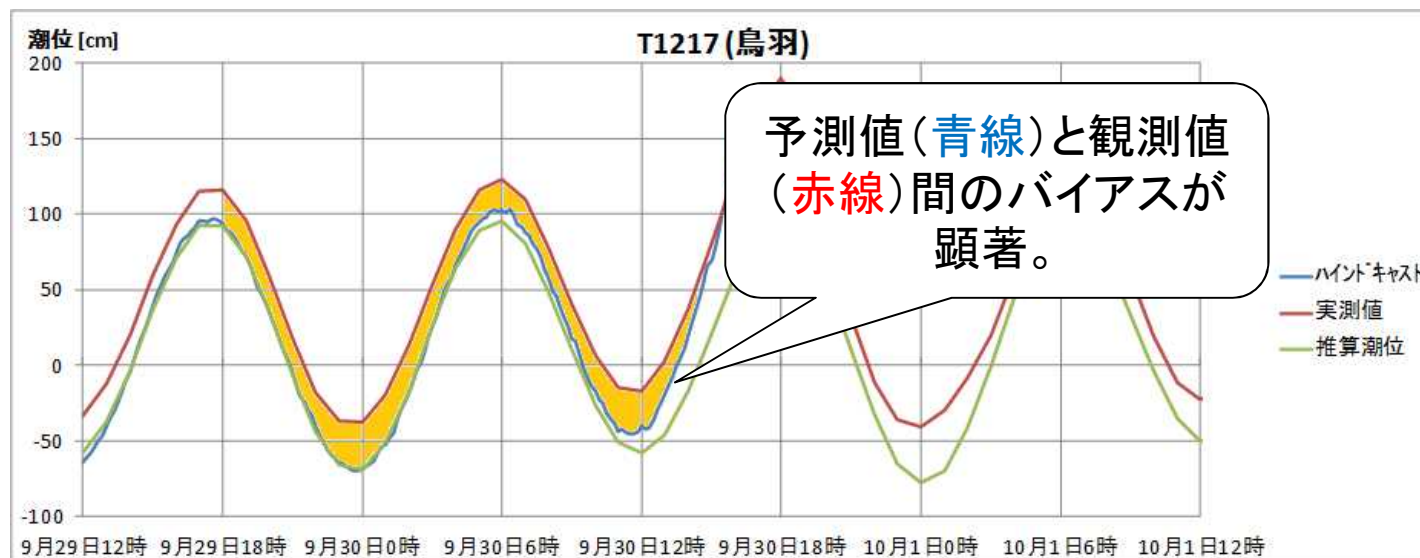
2018年台風第24号時の御坊と串本における
潮位偏差時系列

青線は予測値(ハインドキャスト)、赤線は予測値(MSM)、
黒線は観測値を示す。

- 外洋に面した沿岸や島しょ部では、高潮モデルによる予測が過小評価となる傾向。
- 波浪効果(Wave Setup)が主な原因。高潮モデルでは考慮していない。
- 高潮ガイダンスでは、Wave Setupの効果を統計手法等を用いて考慮している。(詳しくは後ほど。)

海況要因による誤差

- 海況要因（黒潮流軸の変化、暖水渦の接近等）による潮位上昇は、高潮モデルでは考慮していない。そのため、高潮モデルの予測結果は、長期間にわたりバイアスを持つ場合がある。
- 高潮ガイドランスでは、海況要因の効果を考慮している。

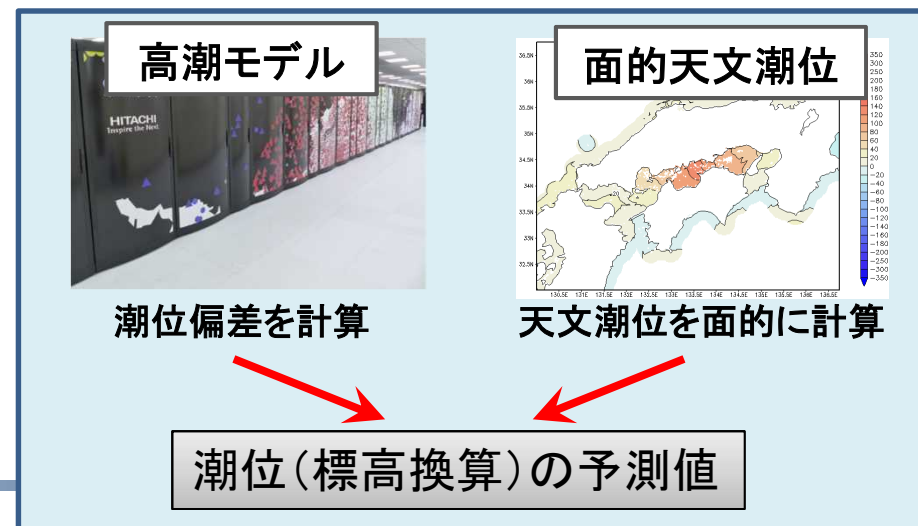


2012年台風第17号時の鳥羽（三重県）における潮位時系列

青線は予測値（ハインドキャスト）、赤線は観測値、緑線は天文潮位を示す。

面的天文潮位

- 高潮モデルは、潮位偏差（実際の潮位と天文潮位の差）のみを計算。このため、（高潮警報・注意報の基準値と同じく、）標高に換算した潮位の予測値を求めるためには、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。
- 通常、天文潮位は、潮位観測点で長期観測したデータをもとに算出するが、気象庁では、日本の全ての海岸線に沿った任意の地点における天文潮位を得るために、「面的天文潮位」という手法を開発し利用している。



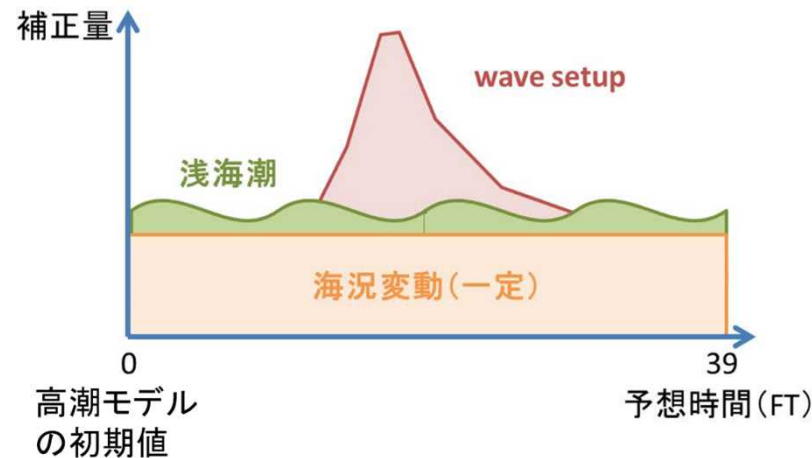
3. 高潮ガイダンス

高潮ガイダンスの概要

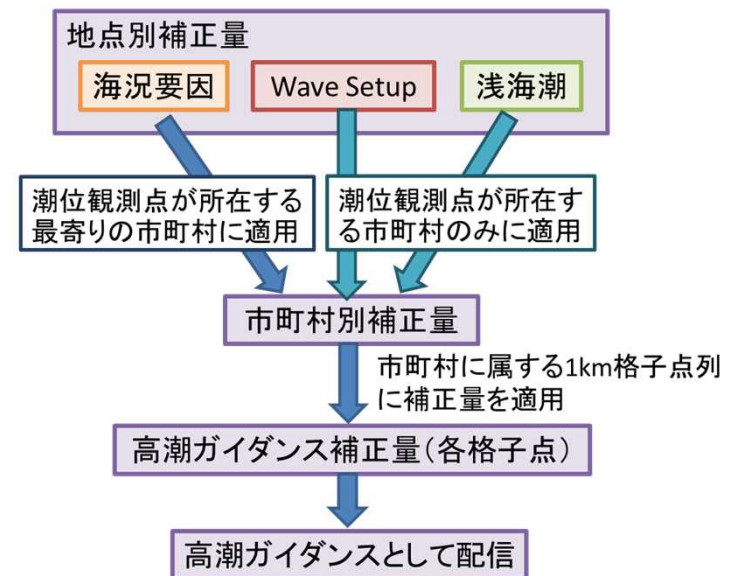
高潮モデルの補正

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



高潮モデルの補正のイメージ



高潮モデル補正の流れ

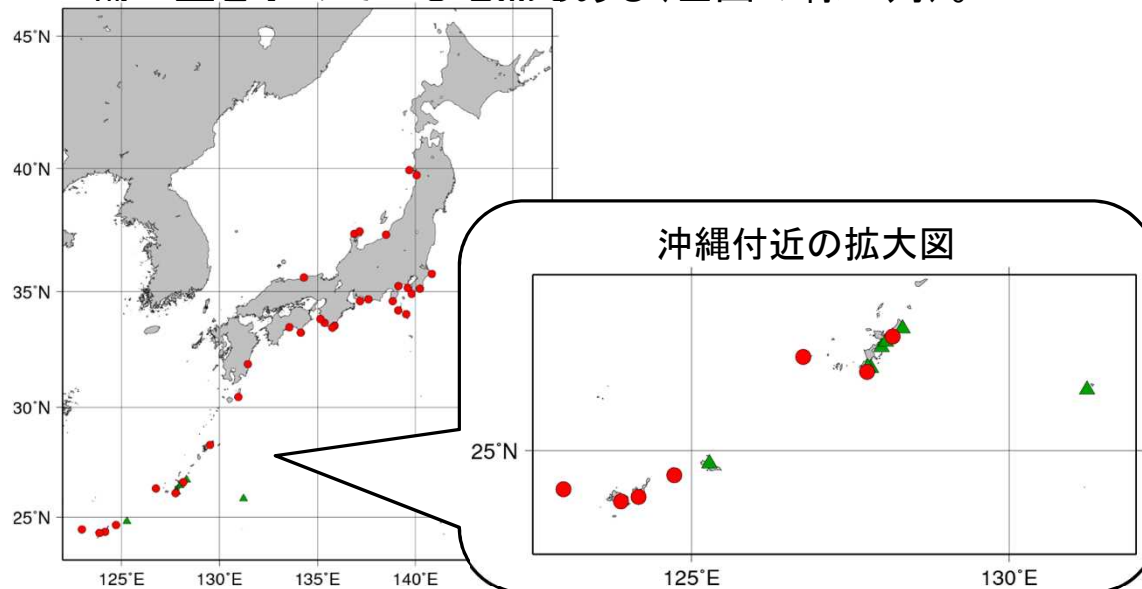
補正方法1 (Wave Setup)

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(左図の赤丸)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。

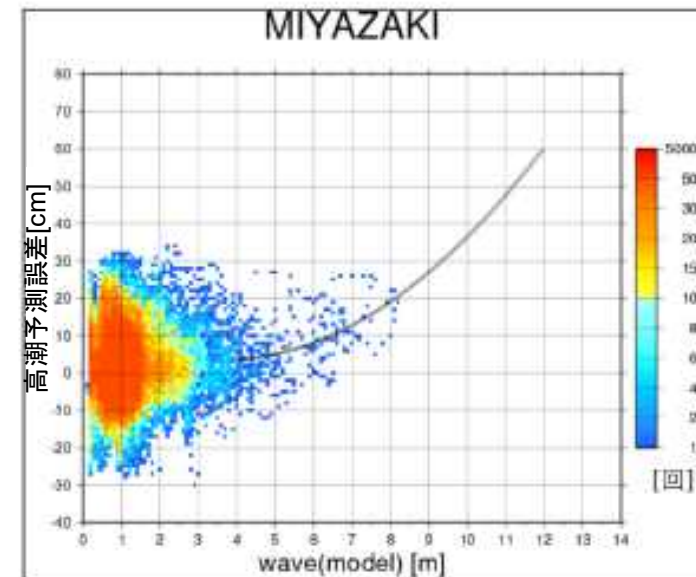
$$Z = aH^2 + bH + c$$

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(左図の緑三角)。



Wave Setup計算地点

(赤丸: 実験式適用地点、緑三角: Wave Setupモデル計算地点)



波高と高潮予測誤差の分布
宮崎のWave Setup実験式は

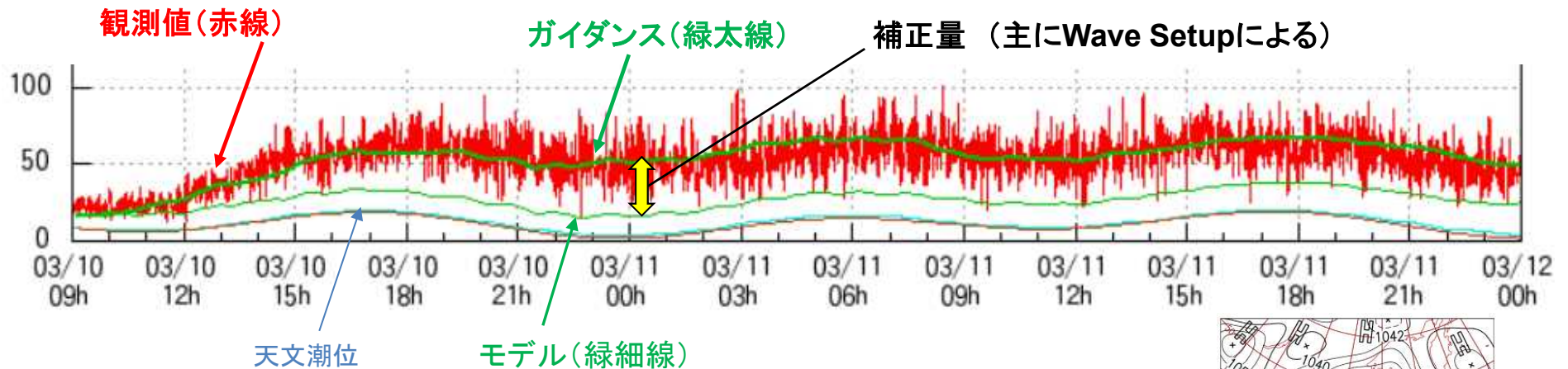
$$Z = 0.801H^2 - 5.716H + 13.564 \quad (H \geq 4[m])$$

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

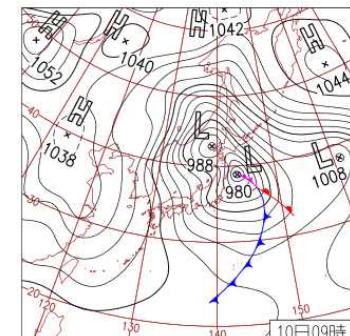
2015年3月10日09時(JST)初期値の能登のWave Setup補正量(cm)

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	35	35	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	25	25



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程度の補正量が加えられたことで、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。

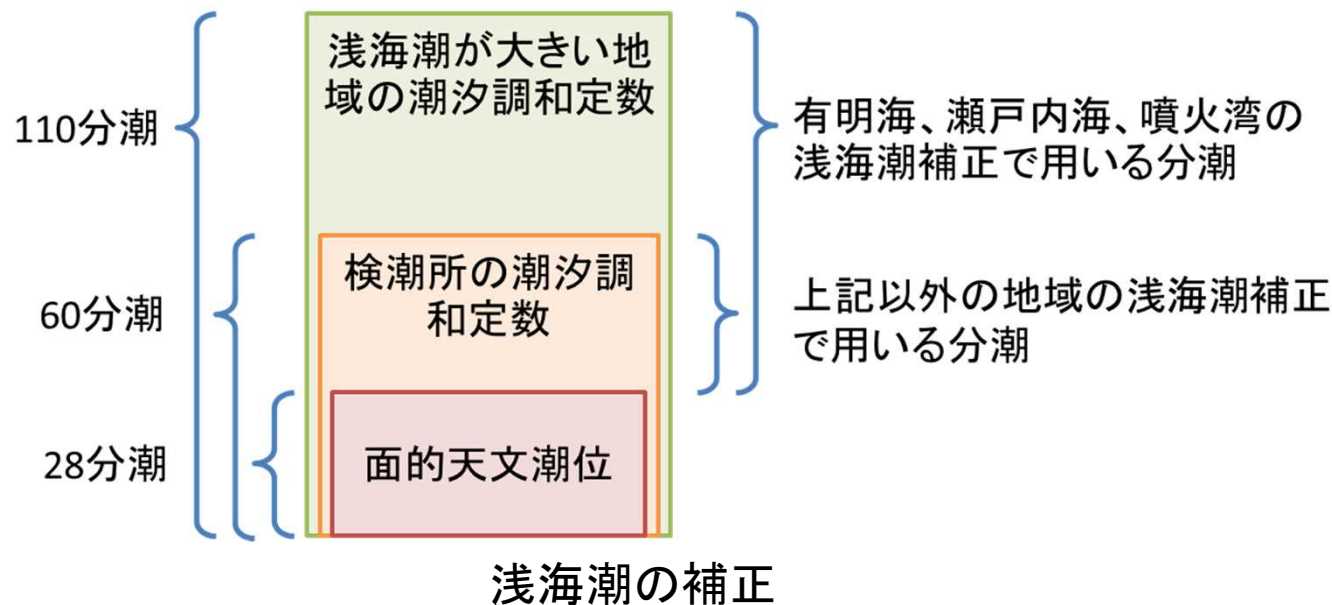


2015年3月10日09時の地上天気図

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。



補正方法3(海況要因)

海況要因による潮位偏差の算出

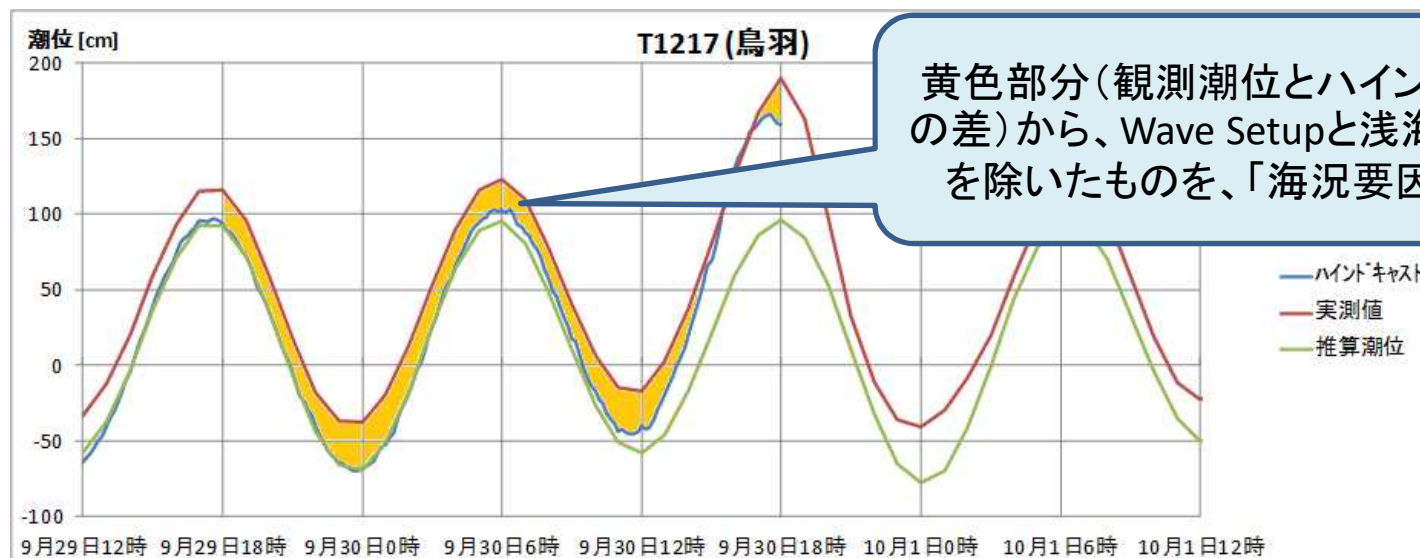
過去24時間の毎時観測潮位とハインドキャスト潮位の差を求め、

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時間の予測時間を通して一定値。

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。

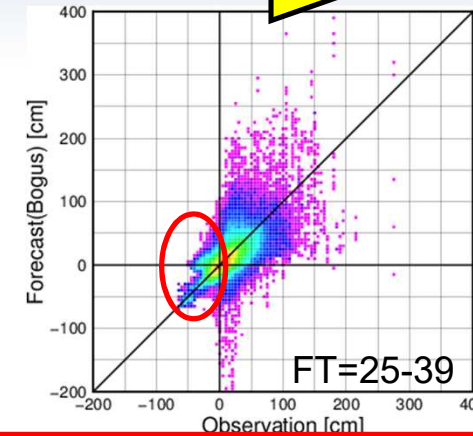
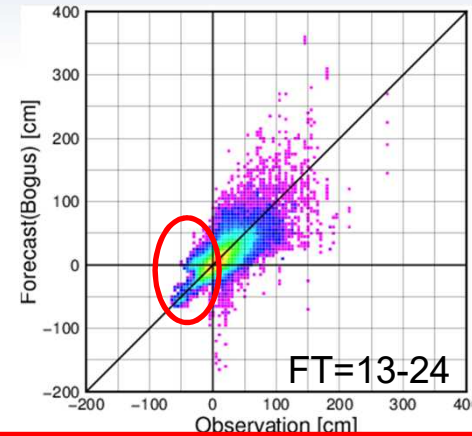
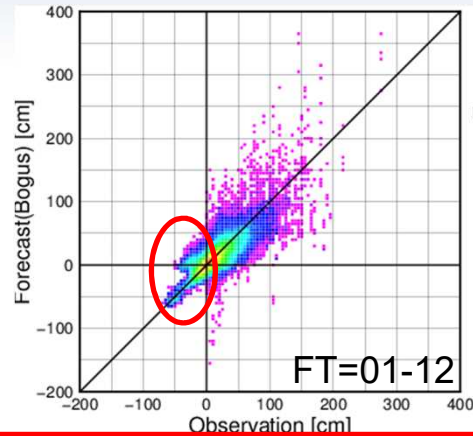


海況要因の補正

精度評価(ガイダンスvsモデル)

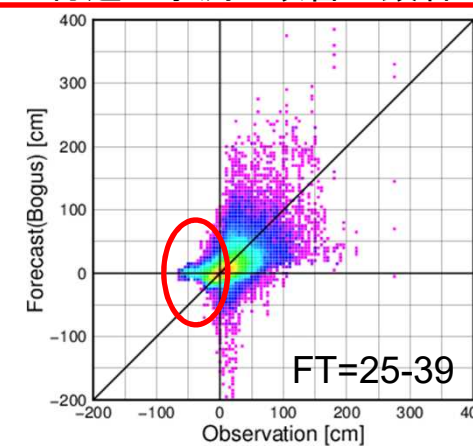
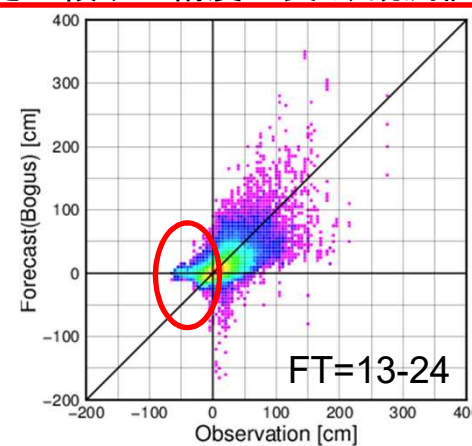
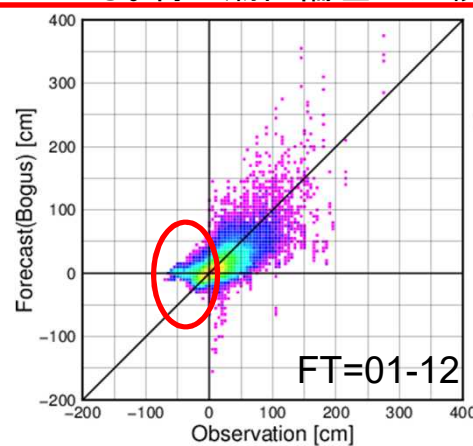
予報時間の経過につれて精度悪化

ガイダンス
(ボーガス中央コース)



ガイダンス(ボーガス中央コース)の方がモデル(ボーガス中央コース)にくらべ、全体としてばらつきが小さくなっている。特に潮位偏差の比較的小さい領域で精度が良く、観測値が-50cm付近の予測で改善が顕著

モデル
(ボーガス中央コース)



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)。

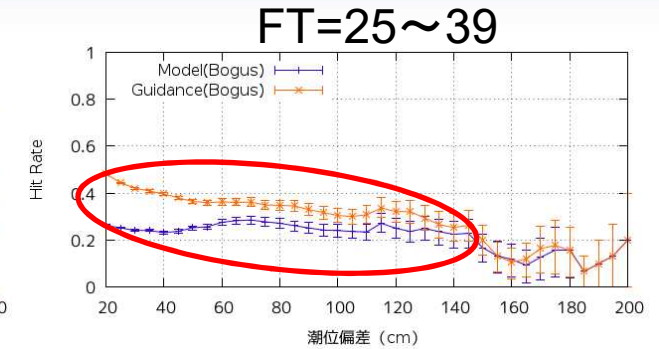
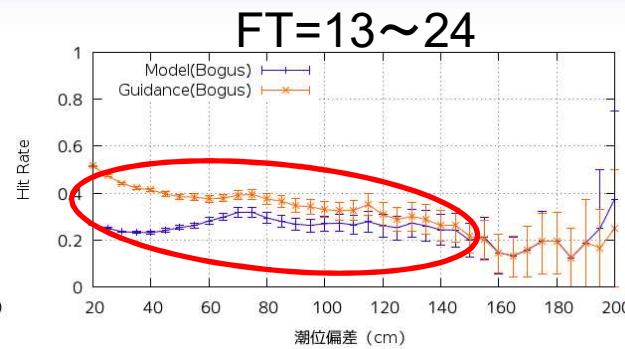
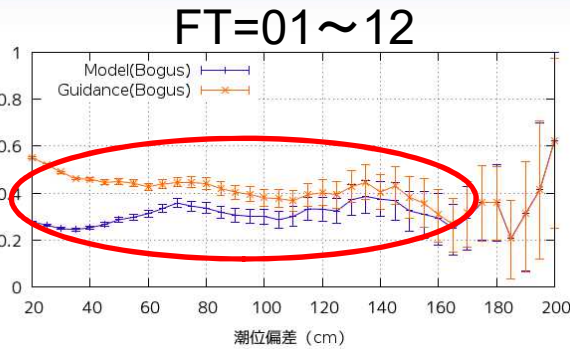
統計期間、用いた観測値は22頁と同じ。



精度評価 (ガイダンスvsモデル)

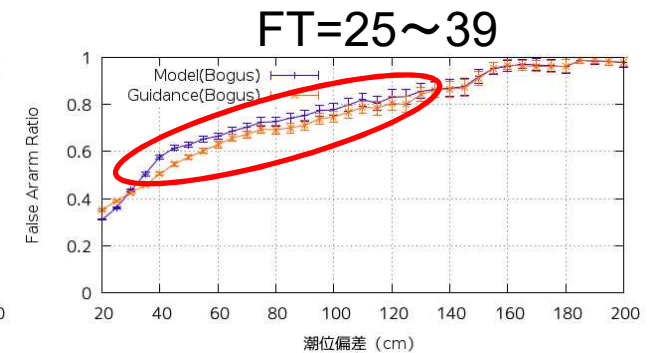
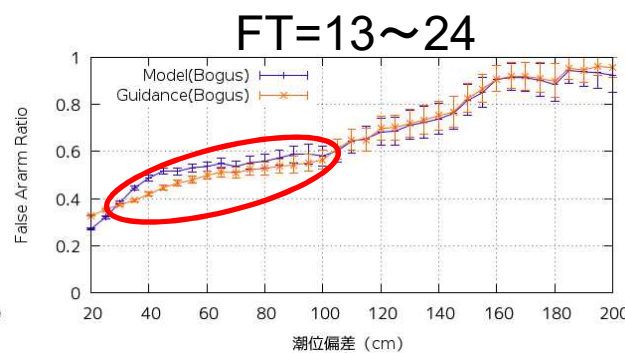
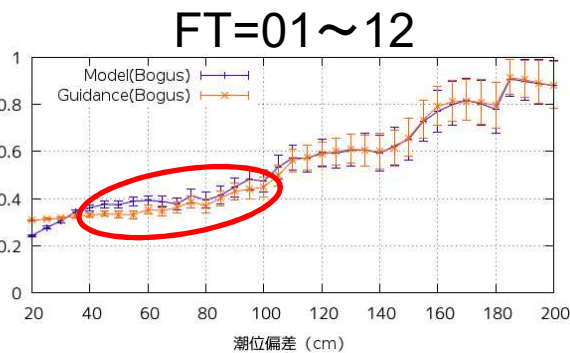
捕捉率 (赤線:ガイダンス 青線:モデル、1に近いほど良い)

ポーガス中央コース



空振り率 (赤線:ガイダンス 青線:モデル、0に近いほど良い)

ポーガス中央コース



捕捉率、空振り率とも、潮位偏差の比較的小さい領域を中心に精度が改善。

高潮予測計算(潮位偏差)の捕捉率(上段)及び空振り率(下段)

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。

統計期間、用いた観測値は22頁と同じ。



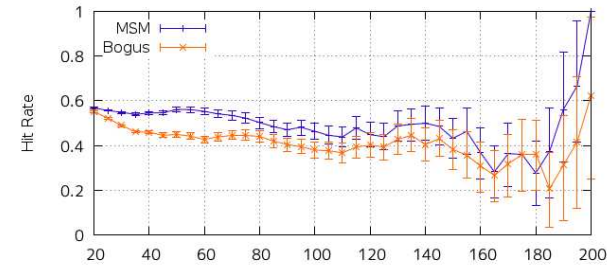
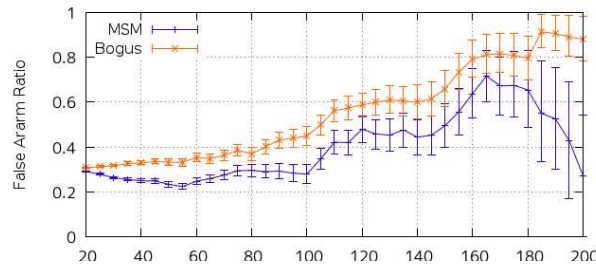
精度評価 (MSM vs 台風ボーガス)

空振り率
(0に近いほど良い)

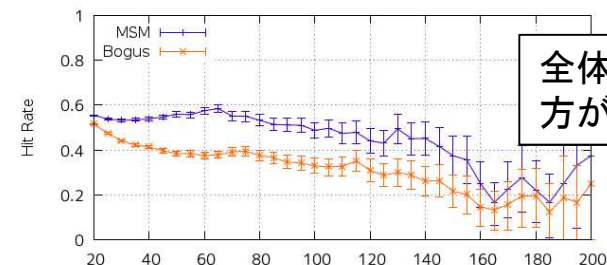
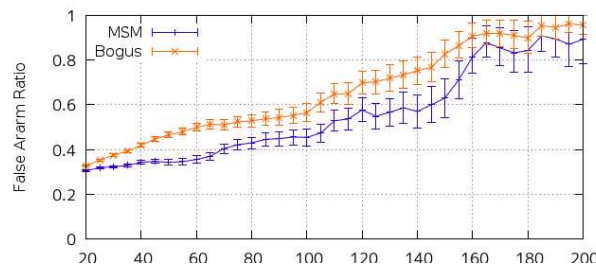
捕捉率
(1に近いほど良い)

予報時間の経過につれて精度悪化

01-12時間
予報

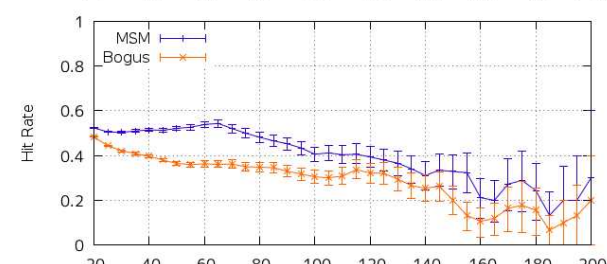
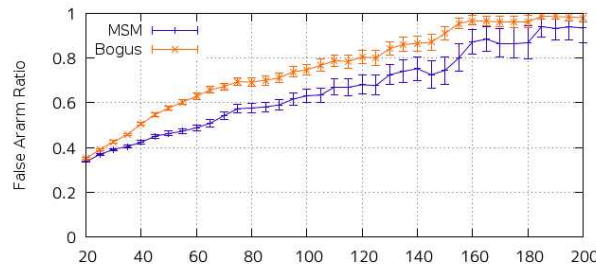


13-24時間
予報



全体的にMSMの方が良い結果。

25-39時間
予報



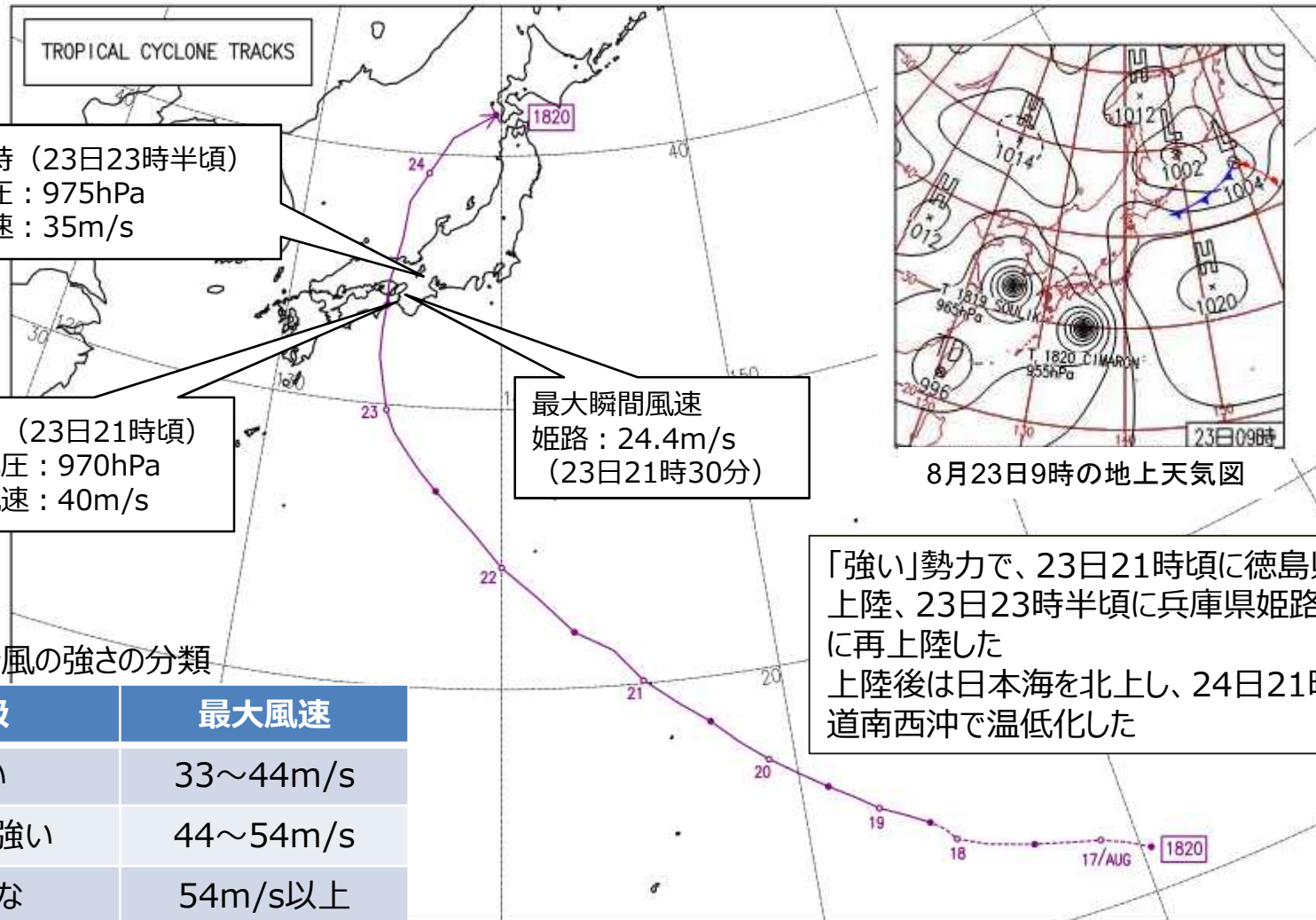
高潮ガイダンスによる高潮予測計算(潮位偏差)の統計スコア(空振り率、捕捉率)
左列は空振り率、右列は捕捉率。青線はMSM、赤線はボーガス中央コース。エラーバーは95%の信頼区
間を示す。統計期間、用いた観測値は22頁と同じ。

予測対象としていない現象

- 現状、以下の現象については、高潮モデルでも高潮ガイダンスでも考慮していない。
 - 副振動
 - 気象擾乱により潮位が振動する現象
 - 陸棚波
 - 気象擾乱等で生じた波動が等深線に沿って伝播する現象
- これらの現象については、潮位の実況監視が重要。

4. 平成30年台風事例紹介

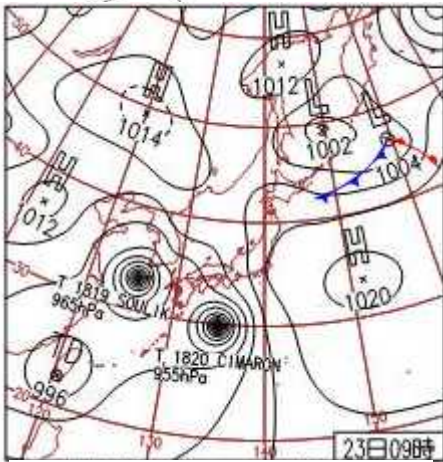
平成30年台風第20号の経路



再上陸時 (23日23時半頃)
中心気圧 : 975hPa
最大風速 : 35m/s

上陸時 (23日21時頃)
中心気圧 : 970hPa
最大風速 : 40m/s

最大瞬間風速
姫路 : 24.4m/s
(23日21時30分)



8月23日9時の地上天気図

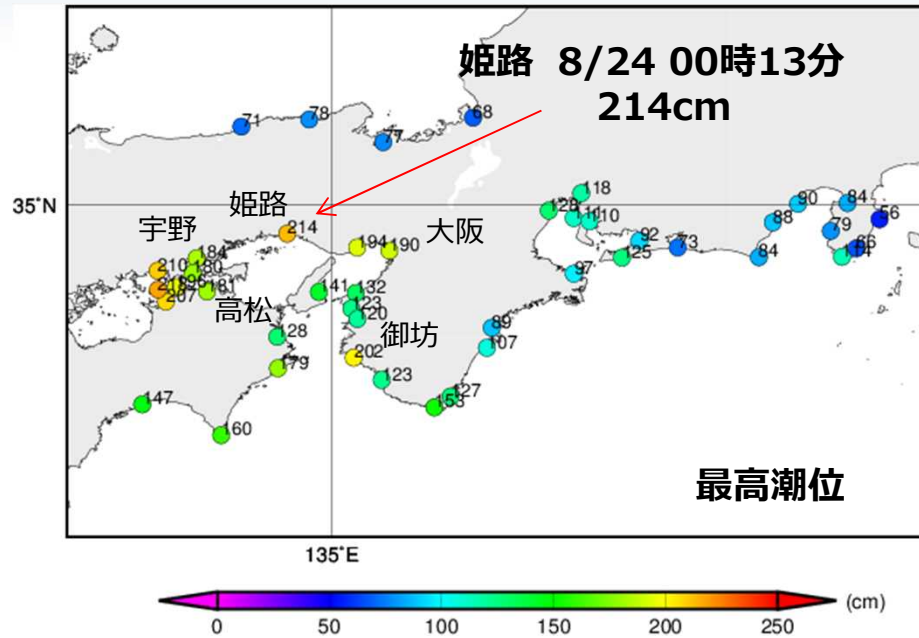
「強い」勢力で、23日21時頃に徳島県南部に上陸、23日23時半頃に兵庫県姫路市付近に再上陸した
上陸後は日本海を北上し、24日21時に北海道南西沖で温低化した

(参考) 台風の強さの分類

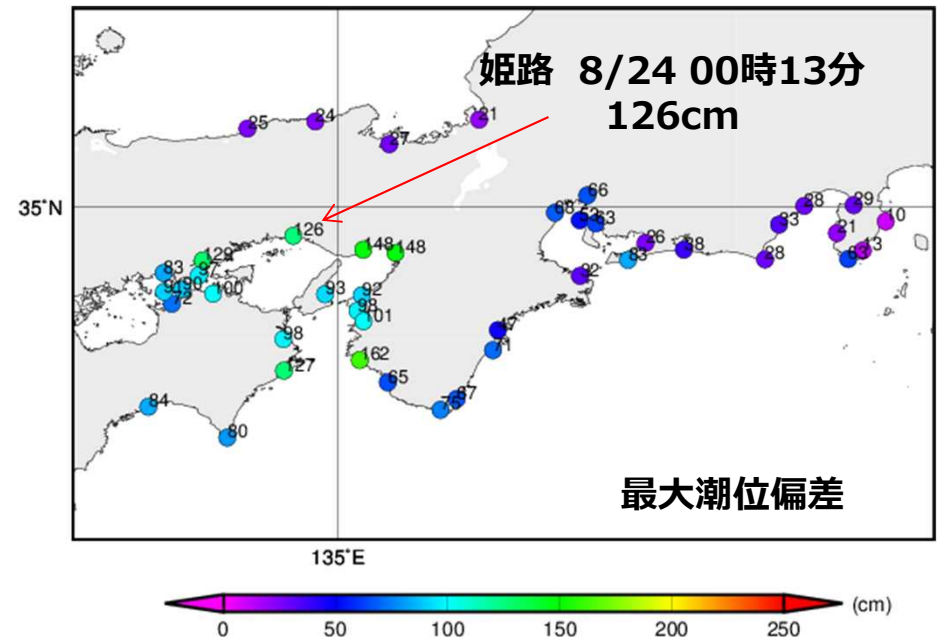
階級	最大風速
強い	33~44m/s
非常に強い	44~54m/s
猛烈な	54m/s以上



最高潮位及び最大潮位偏差



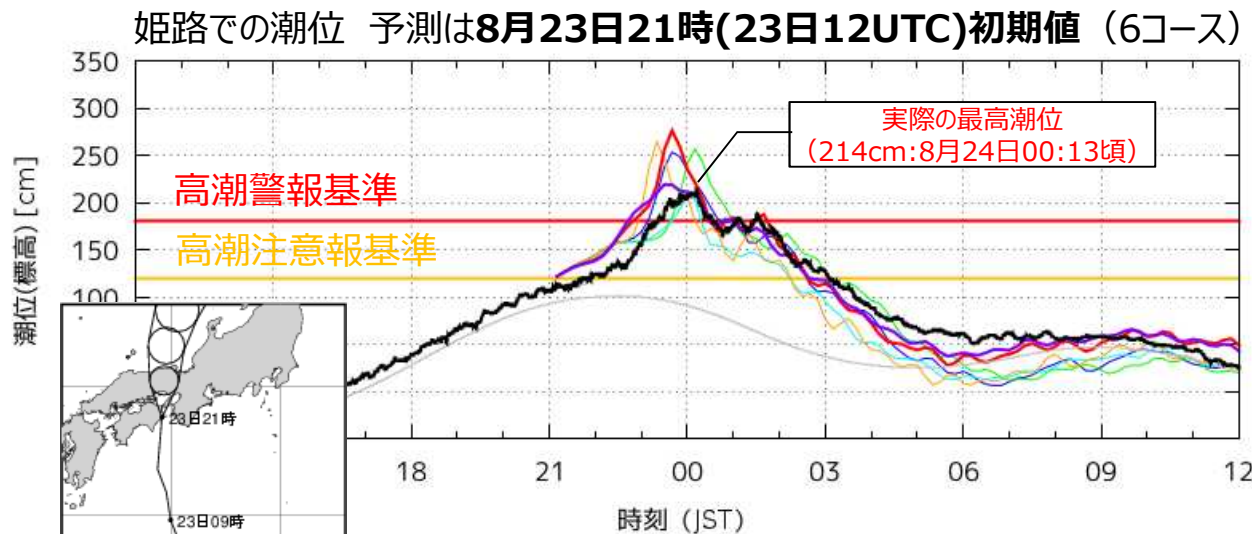
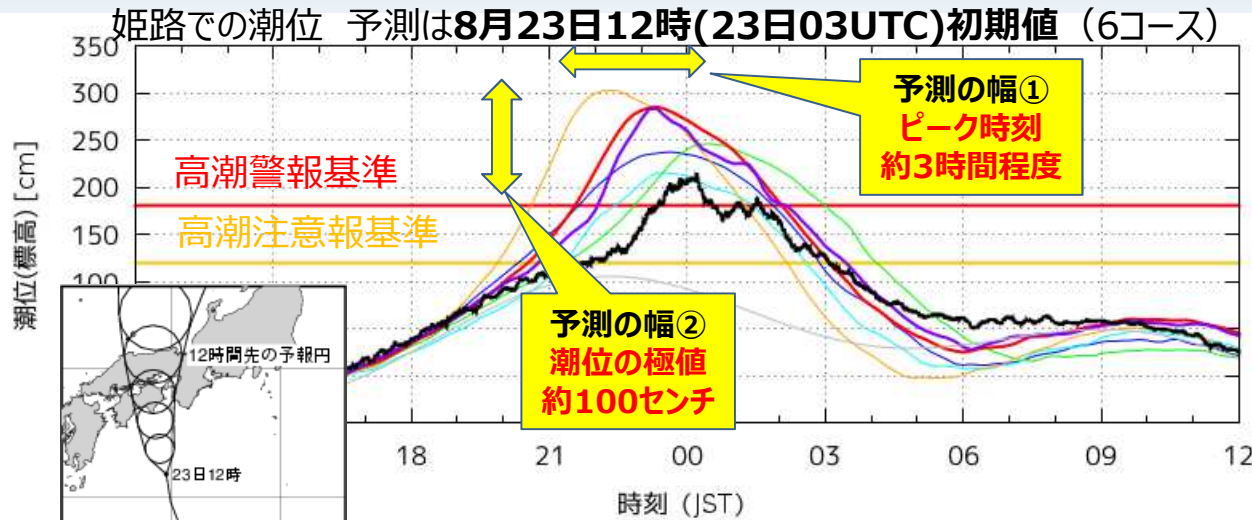
台風第20号通過前後で観測された
最高潮位(左)と最大潮位偏差(右)



・姫路で最高潮位214cmを観測した。

姫路での時系列図

注意報基準	—
警報基準	—
左	—
遅い	—
右	—
速い	—
中央	—
MSM	—
天文潮位	—
実測潮位	—

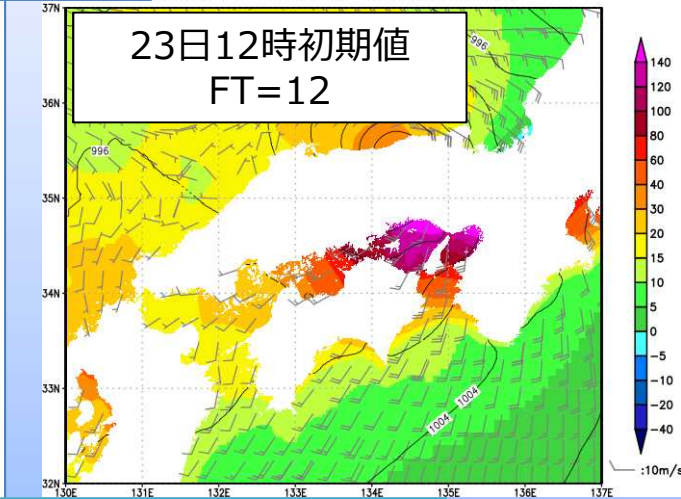


- 実況では24日00時過ぎに214cmのピークを観測。その後24日01~02時頃にも第2のピーク。
- 第1ピークの12時間前の予測（左上図）では、MSMもボーガスも過大傾向。右コースは実況に近かった（実際の台風進路は東寄りになったことと整合）。
- ピーク3時間前の予測（左下図）では、各コースの予測の幅は小さくなった。MSMコースのピーク値が実況と良く合っていたが、実況より1時間程度早く現れた。第2のピークも概ね予測できていた。

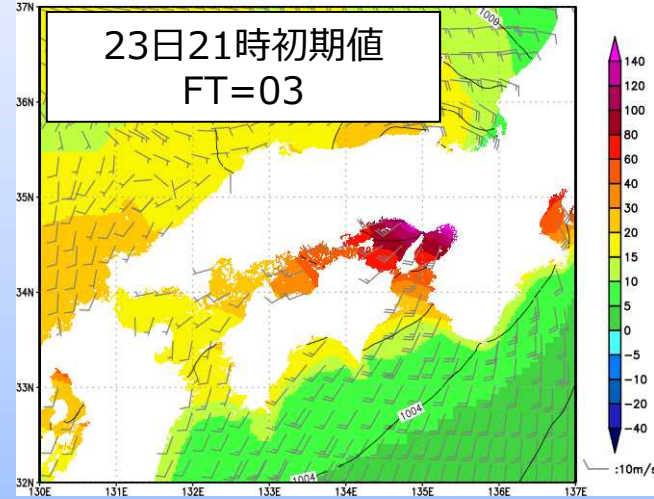
モデル分布図(初期時刻による変化)

MSM

Osaka FT=12 valid=15Z23AUG2018



Osaka FT=03 valid=15Z23AUG2018



8月24日00時
(8月23日15UTC)を
対象とした予想

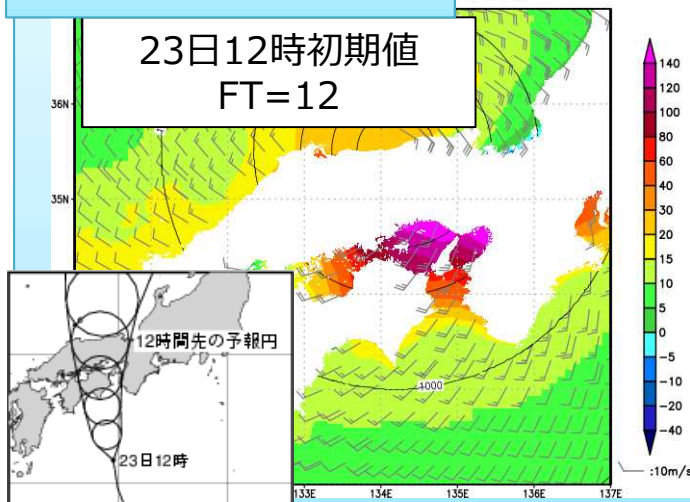
23日12時初期値(左)と、
23日21時初期値(右)で
風・気圧および高潮の予測場
を比較

MSM・中央コース共に、12
時初期値の方が、

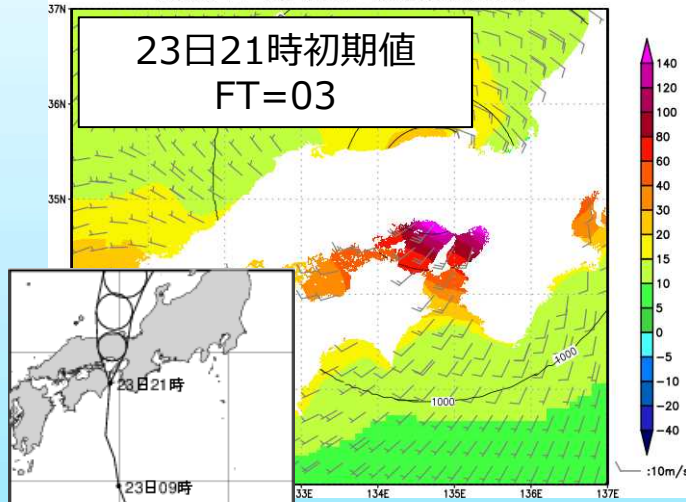
- ① 台風が強め、
 - ② 中心位置がやや西より、
 - ③ 進行がやや速め、
- であった。

ボアガス中央コース

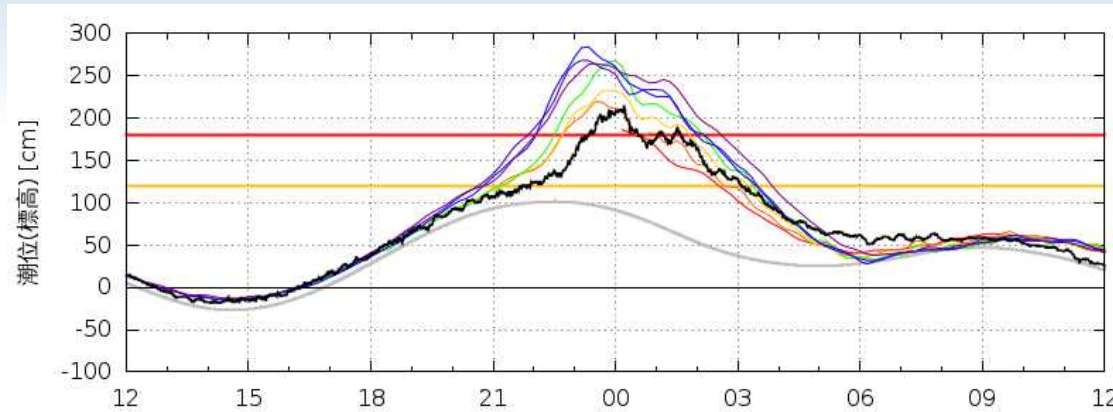
OG2018



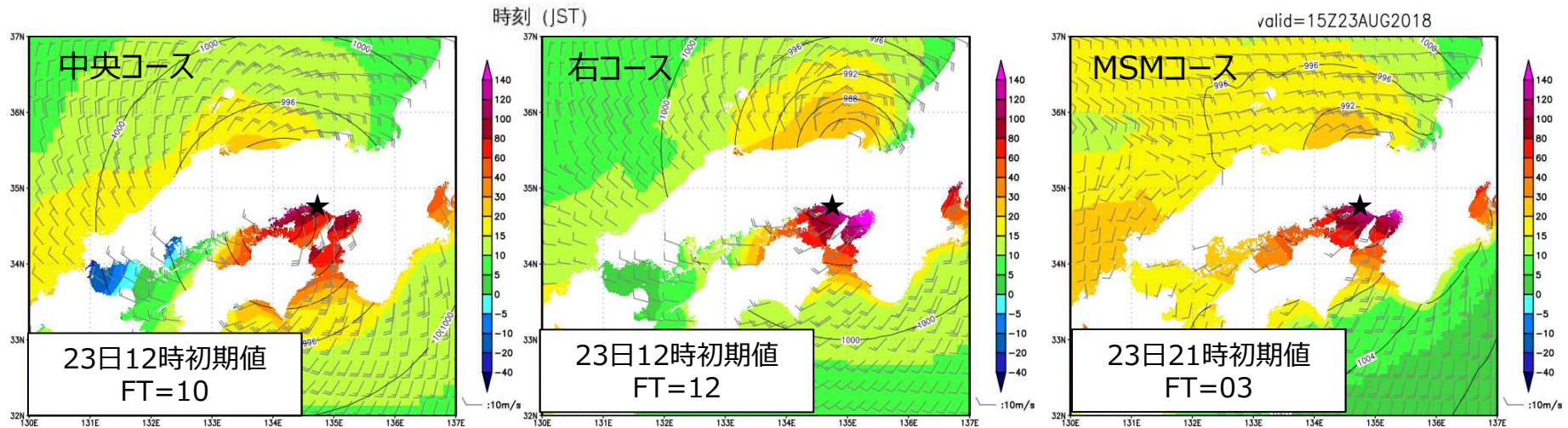
Osaka FT=03 valid=15Z23AUG2018



特記事項(台風第20号)

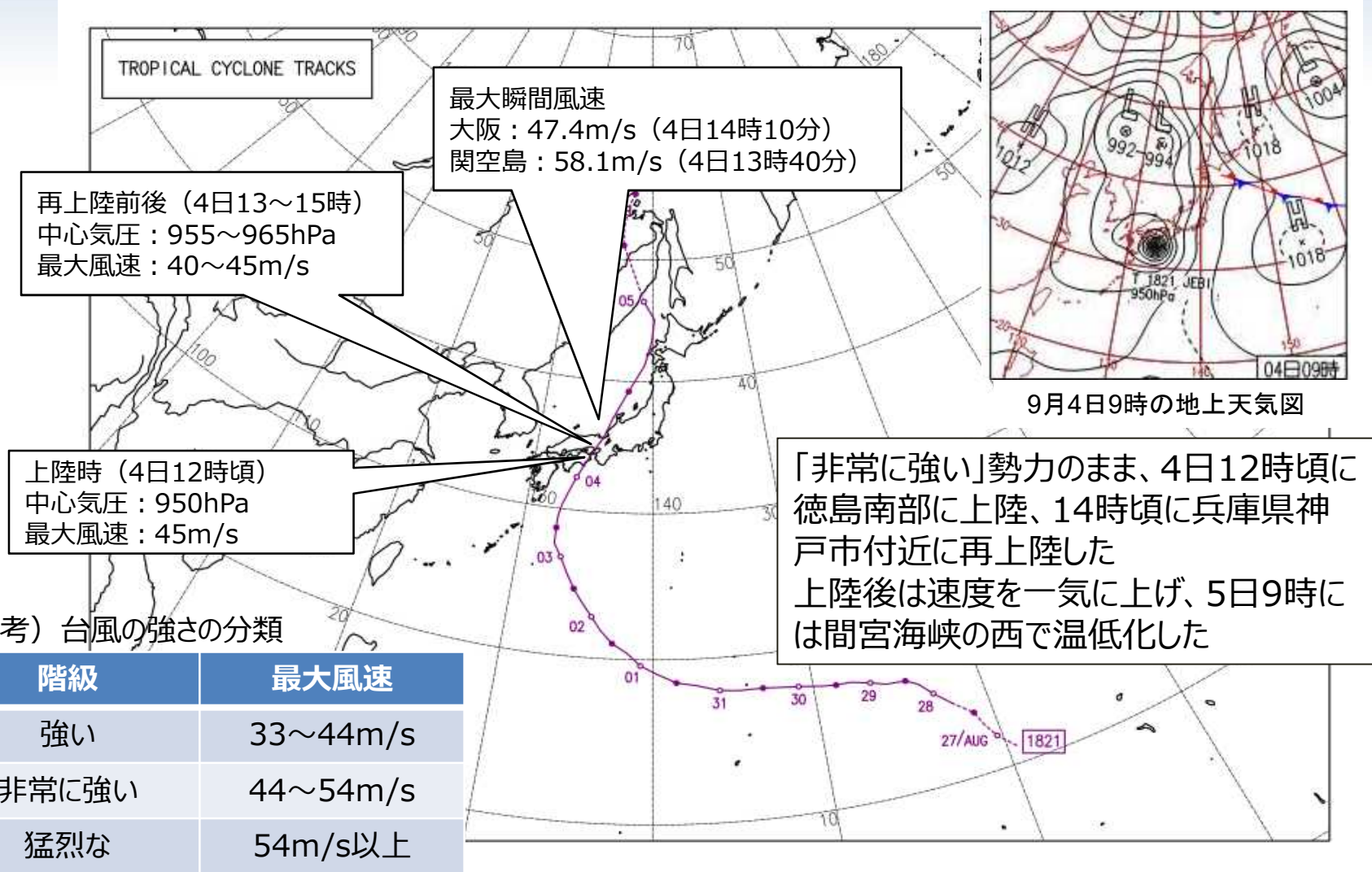


姫路でのMSMによる潮位予想 初期値別



- 23日12時初期値の時点では、岡山県付近に上陸と予想していた。そのため、姫路は台風の東側にあたり、吹き寄せ効果が強く見積もられたと考えられる。強度も実況より強めだったことで、更に過大な潮位が予想された。また、予報での台風移動速度が実況に比べ速く、高潮のピークが満潮に近い時刻に予測されたため、予測最高潮位が実況よりも更に過大になったと考えられる。

平成30年台風第21号の経路

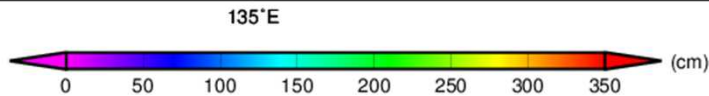
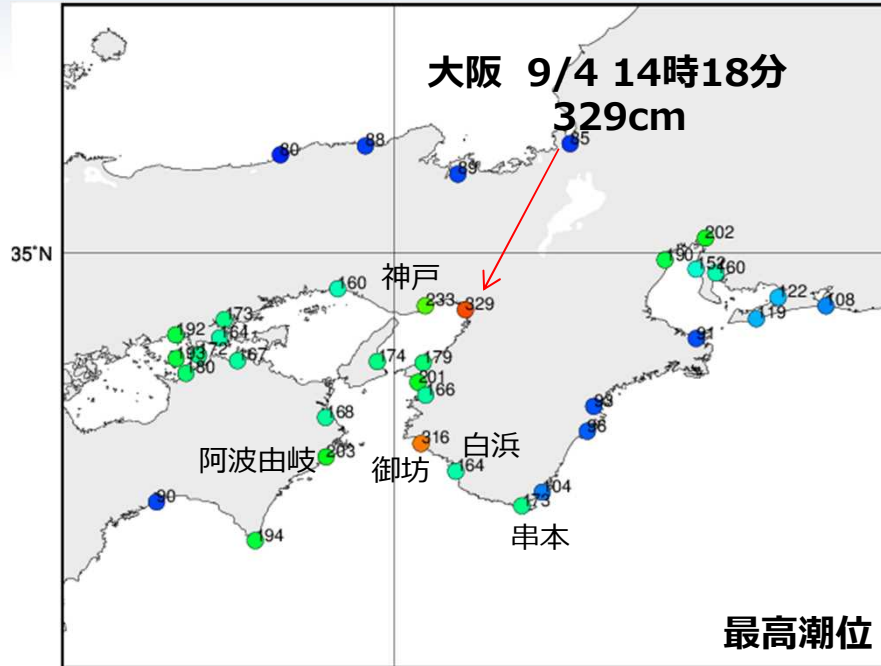


(参考) 台風の強さの分類

階級	最大風速
強い	33~44m/s
非常に強い	44~54m/s
猛烈な	54m/s以上

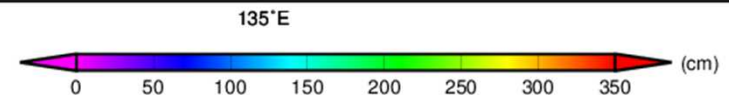
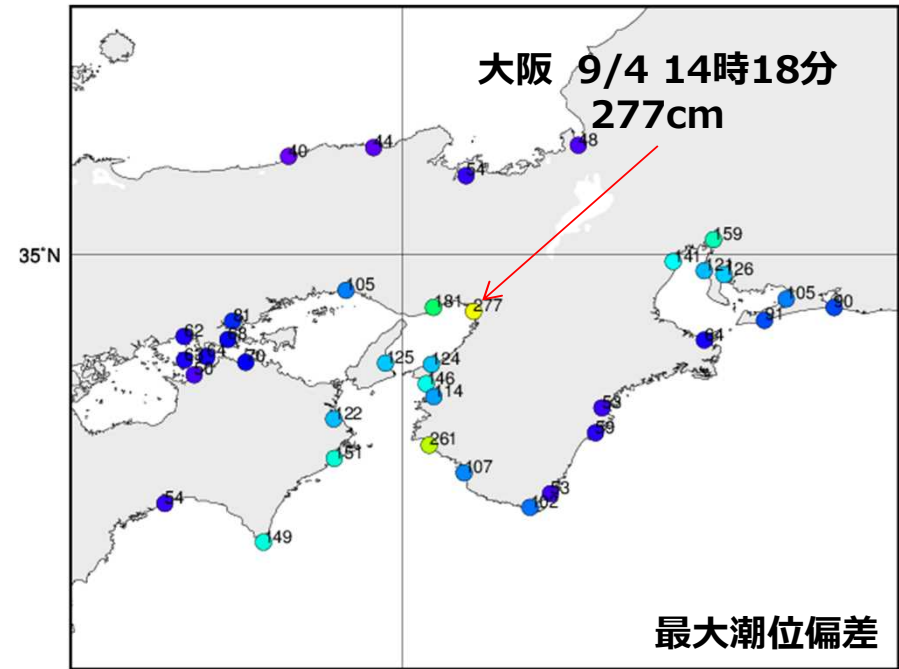


最高潮位及び最大潮位偏差



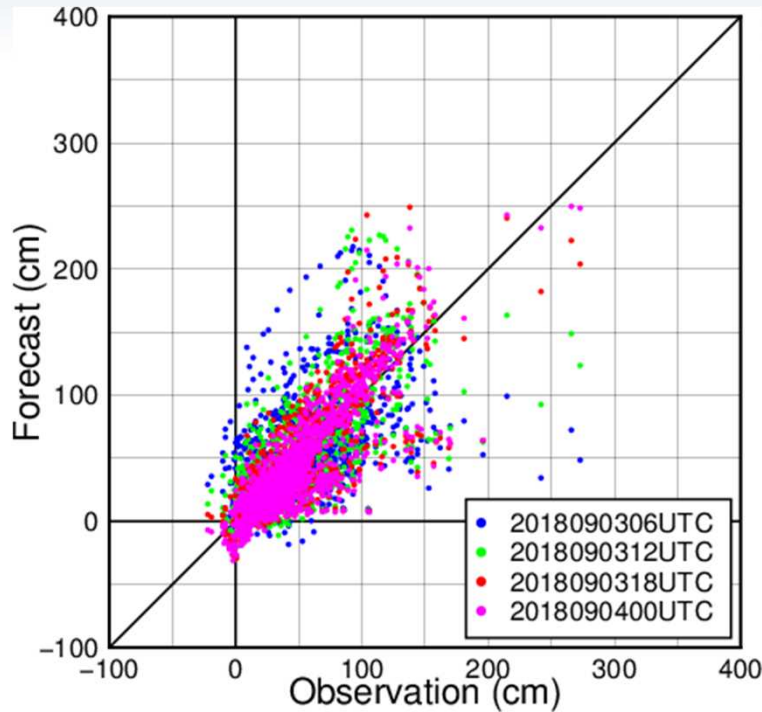
台風第21号通過前後で観測された、
最高潮位(左)と最大潮位偏差(右)

- ・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）の影響も大きいと考えられる。

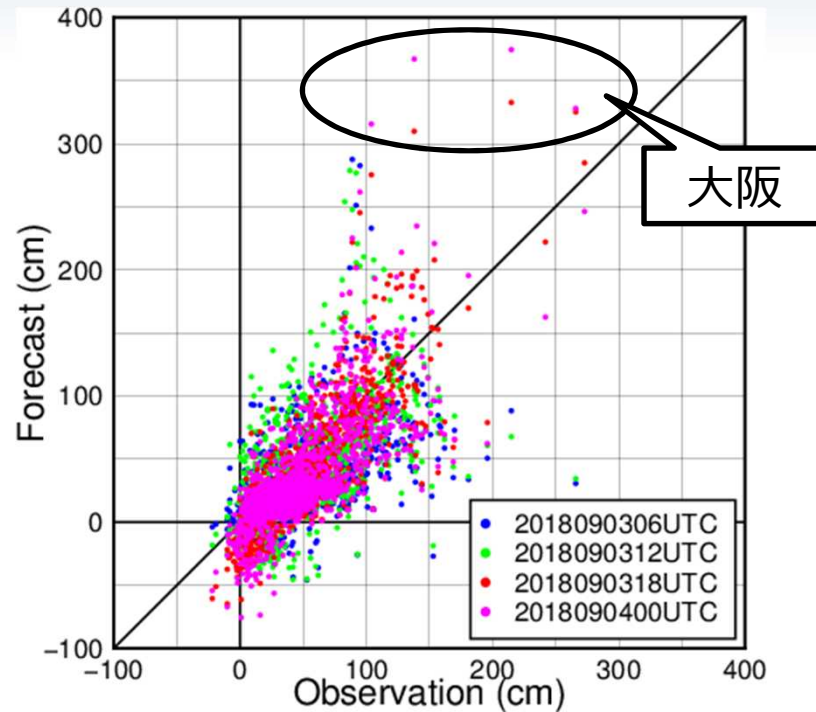


潮位偏差 実況-モデル散布図

MSMコース



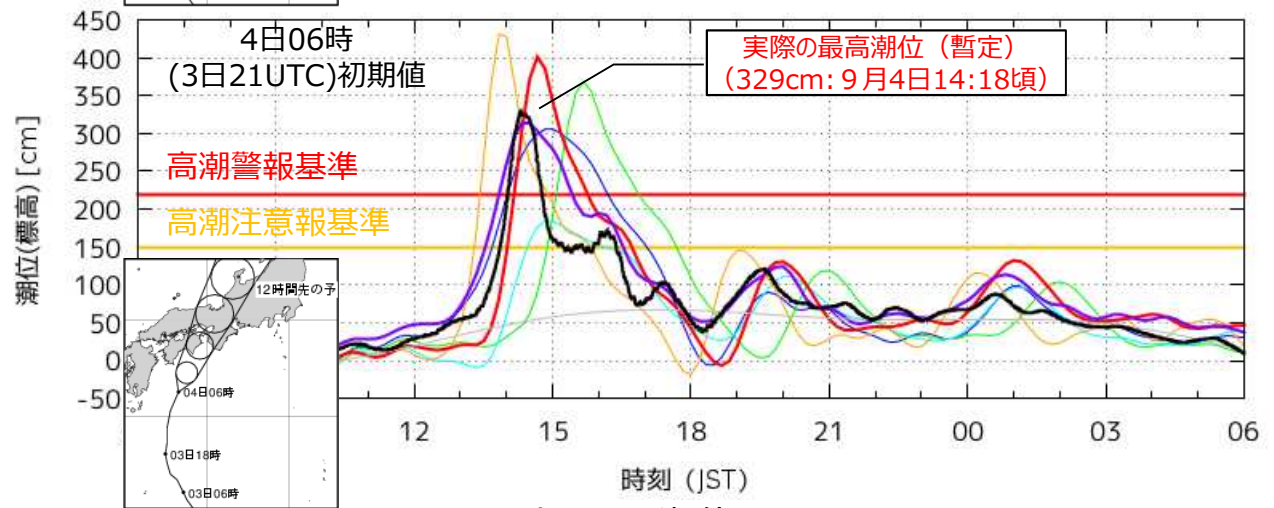
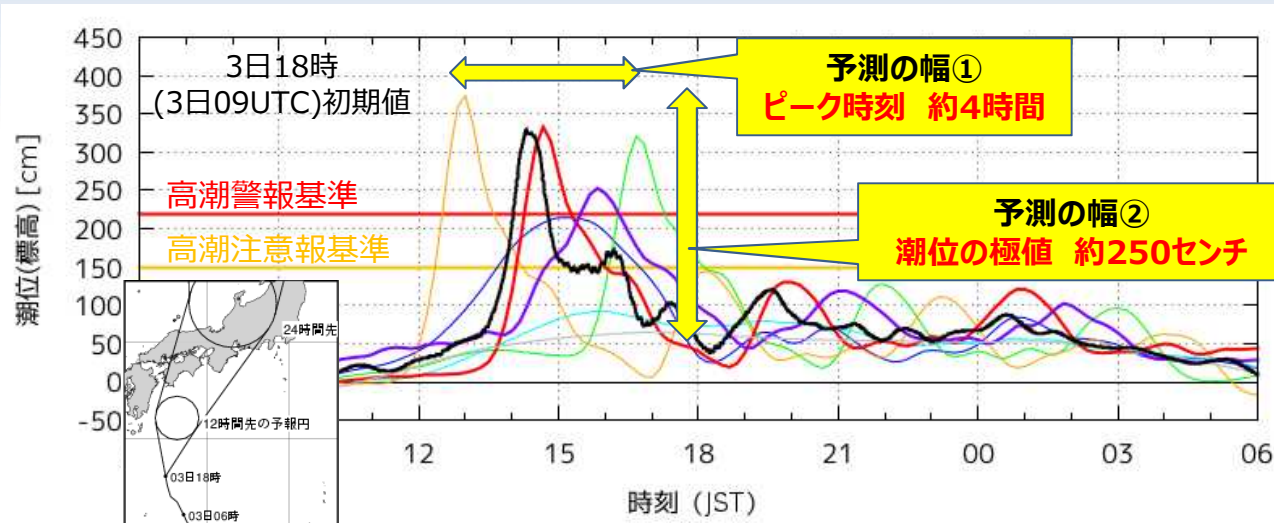
ボーガス中央コース



近畿～東海地方周辺の3日15時（06UTC）～4日9時（00UTC）まで6時間ごとの初期値のプロット。
 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

- ボーガス中央コースでは、台風接近・上陸間際の初期時刻の予報で、大阪で過大評価。

大阪での時系列図

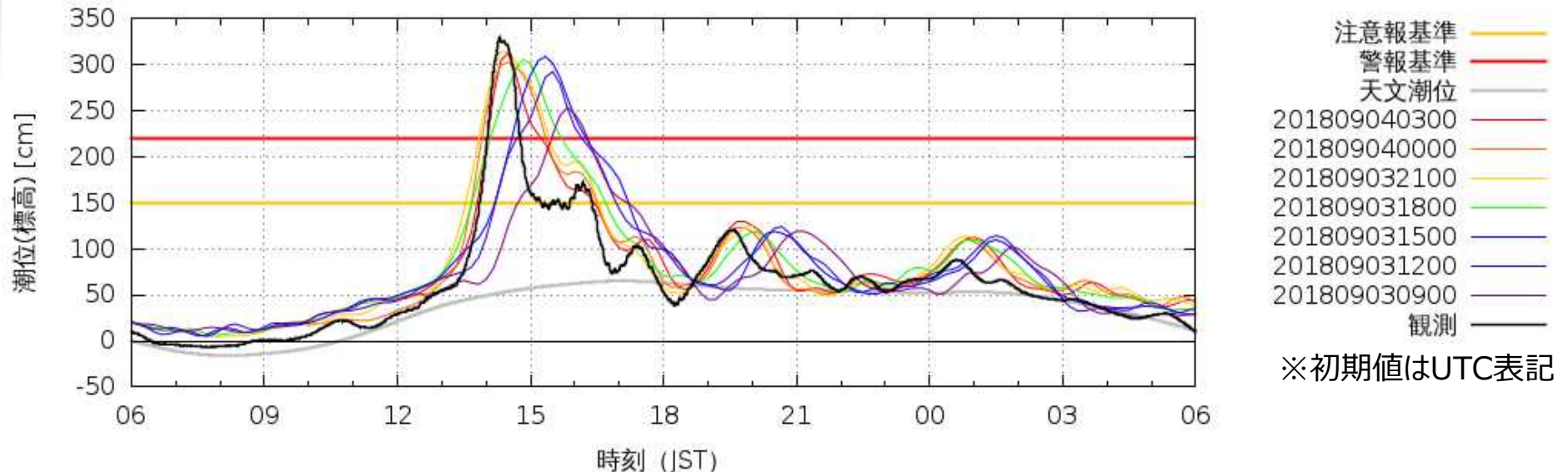


大阪での潮位 6コース

上図は3日18時(3日09UTC)、下図は4日06時(3日21UTC)初期値

- 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、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は小さくなったが、依然ばらつきは大きい。

特記事項(台風第21号)



大阪でのMSMによる潮位予想 初期値別

- 進路予報が安定しており、多少の強度やタイミングの違いはあったものの、MSMコースでは初期値により高潮予測が大きく変わることはなかった。3日18時初期値の予想（上陸約20時間前）では中央コース、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。
- 台風ボーガス中央コースは、初期時刻によっては予測が1m近く過大なものもあった。

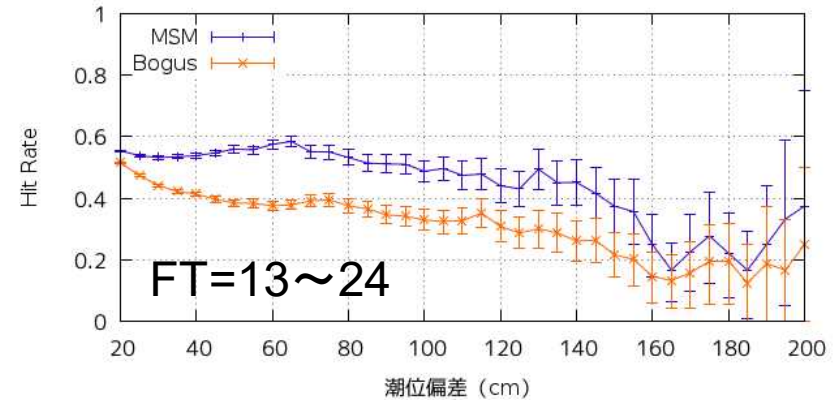
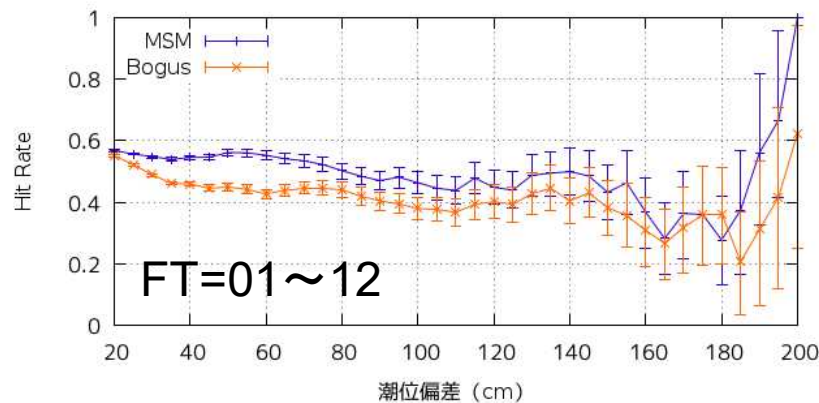
平成30年台風事例のまとめ

- 第20号
 - 台風進路予報が実際より西寄りだったことなどから、姫路などでやや過大な高潮予測となった。右コース予報は実況と整合的であった。
⇒ 台風進路の誤差を考慮することの重要性
- 第21号
 - 大阪をはじめ6地点で過去最高潮位を更新。
 - 上陸約20時間前の予測では中央コースが、上陸約8時間前以降の予測ではMSMが、最も実況と整合していた。
⇒ 1つのコースの予測だけでなく、全てのコースの予測結果を使った、リスクを事前に評価する使い方の重要性。

5. 高潮モデル/ガイダンス解釈の ポイント

最新の高潮モデル・ガイダンスを利用

- 高潮モデル・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。
- 高潮モデル・ガイダンスは先の予想ほど予測誤差が大きい。
 - 特に顕著な高潮の場合、12時間以内の予想なら比較的、捕捉率は良いが、13時間以降では捕捉率が低くなる。



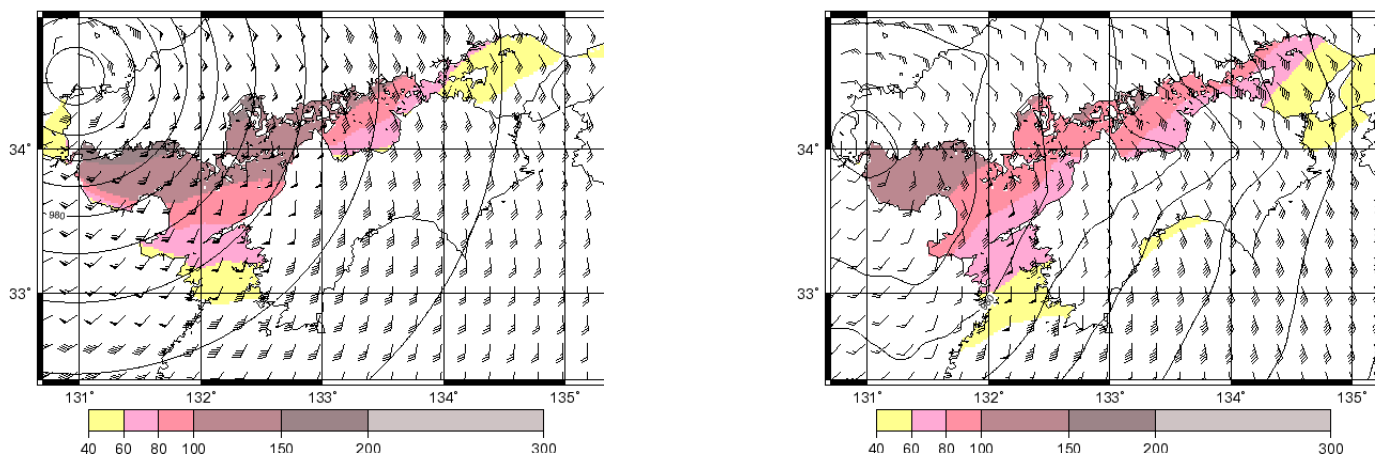
高潮ガイダンスによる高潮予測の捕捉率

(青線:MSM、橙線:台風ボガス中央、エラーバーは95%の信頼区間を示す。

統計期間、用いた観測値は22頁と同じ。)

台風時のコース選択の考え方

- MSMの方が台風ボーガス中央コースよりも各種統計スコアが良い。
 - 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、台風ボーガスは、それらが表現されていない等が理由として考えられる(下図)。
- このため、高潮の予測においては、まずはMSMコースの予測を参照する。
- ただし、MSMと、気象庁の発表する台風予報との差が大きい場合は、ボーガス中央コースの予測も参照する。



台風ボーガス中央コース(左)とMSM(右)の風・気圧

台風の進路及び強度の予測誤差に留意

- 予報円が大きいうちは高潮予測の不確実性も高い。
 - MSM及び台風ボ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、台風ボ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。

高潮ガイダンスの特性に留意

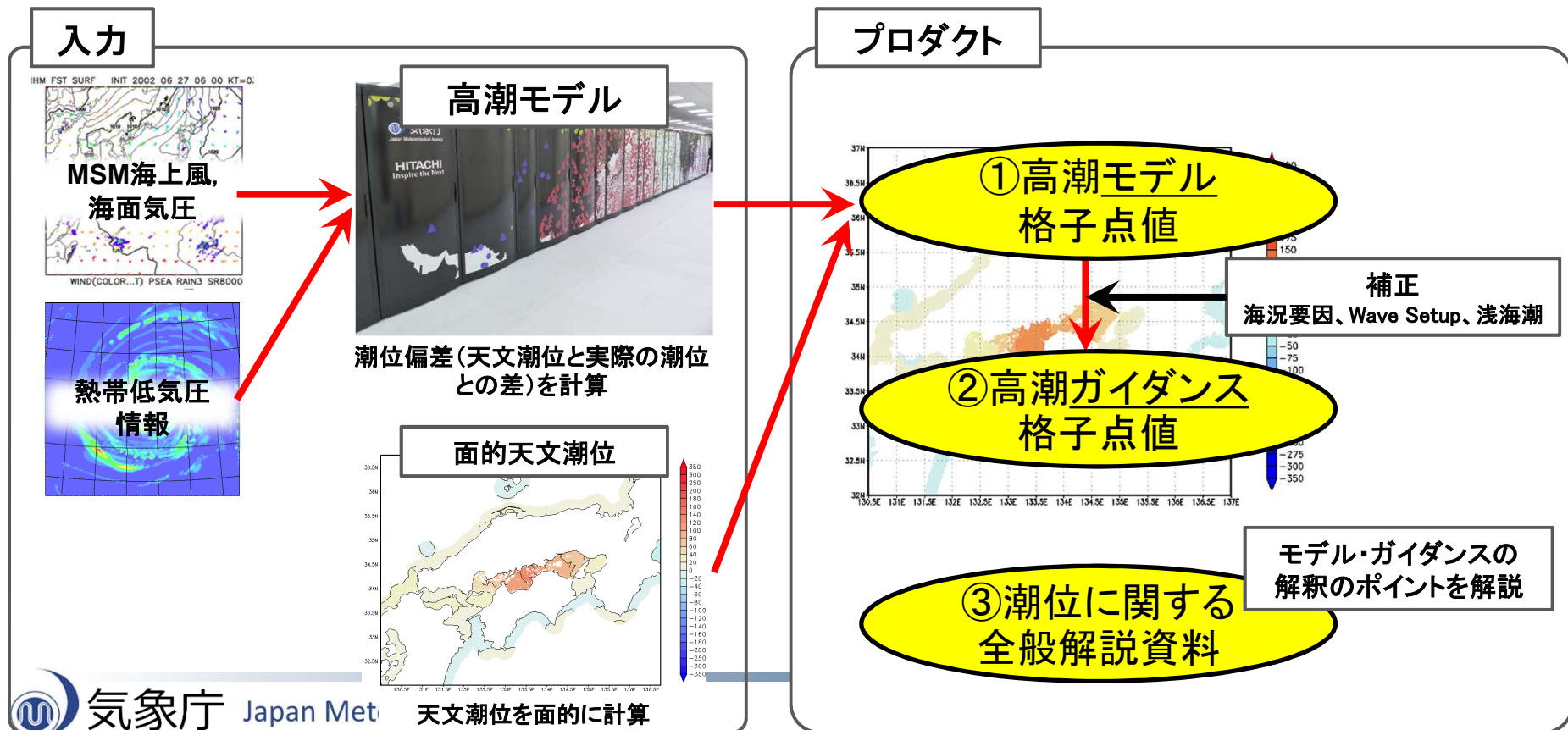
高潮ガイダンスは、高潮モデルでは表現されない下記、高潮の要因を補正している。これらの特性を踏まえた利用が必要。

- 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。
- 異常潮位
 - 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. 提供開始するプロダクトの概要

全体概要(再掲)

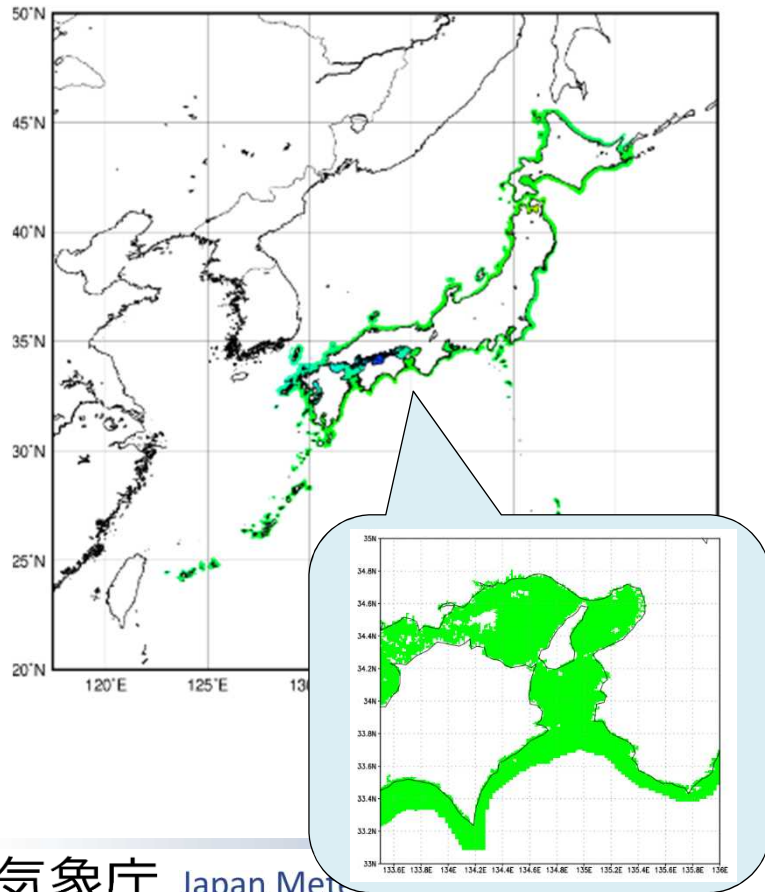
- 令和元年12月17日(火)より、以下の製品の提供を開始。
 - ① 高潮モデル格子点値 (潮位(潮位偏差+天文潮位)の予測値を提供)
 - ② 高潮ガイダンス格子点値 (海況要因、波浪効果(Wave Setup)、浅海潮を補正)
 - ③ 潮位に関する全般解説資料 (①及び②の解釈のポイントを解説したもの)



格子点値の配信領域

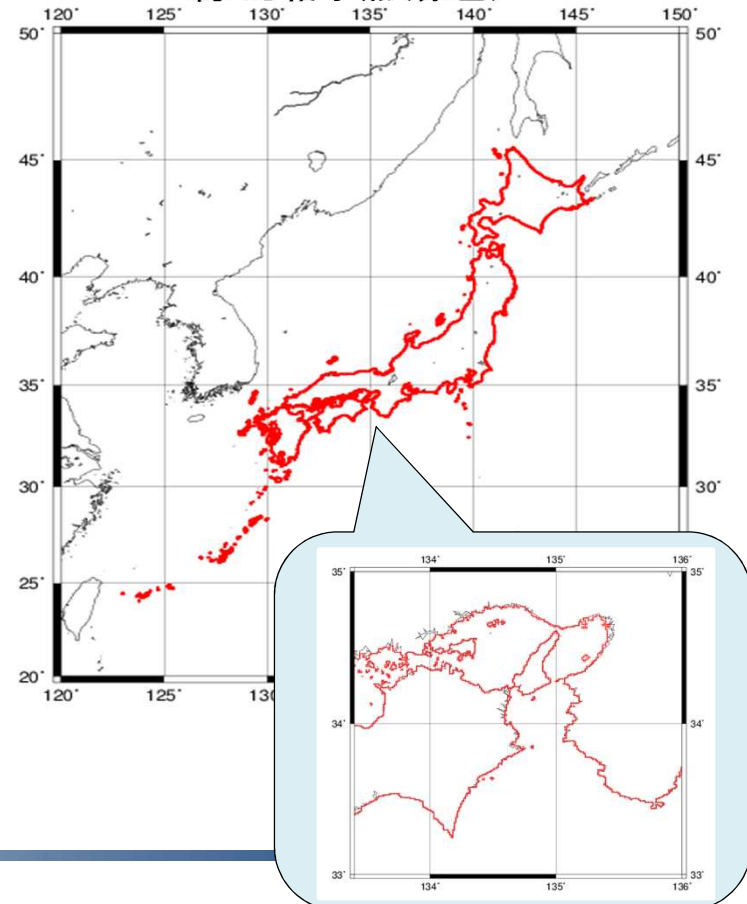
高潮モデル格子点値

日本沿岸から約20km以内の1km格子
約21万格子点(緑色)



高潮ガイダンス格子点値

日本沿岸の海岸に沿った1km格子
約2万格子点(赤色)



高潮モデル格子点値の概要

ファイル形式	GRIB2
格納要素※1	予測潮位(予測潮位偏差+天文潮位)[m] ※2、天文潮位[m]※2、海上風(東西成分、南北成分)[m/s]、海面気圧[hPa]
格子間隔	日本沿岸から約20km以内の1km格子
予報時間等	1時間後～39時間後までの1時間ごとの予想※3
初期時刻	00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC (1日8回)
配信時刻	「初期時刻+2時間40分」頃 (1日8回)
ファイル名	Z_C_RJTD_yyyyMMddhhmmss_SGM_GPV_Rjp_Ggis1km_FH01-39_EM@@_grib2.bin (@@=00-05)※4
ファイルサイズ	非台風時:約60MB/回×8回/日=約480MB/日 台風時:約300MB/回×8回/日=約2,400MB/日

※1 天文潮位は、@@=00のメンバーのみに含む。

※2 予測潮位及び天文潮位は、東京湾平均海面(TP)からの高さ(標高)。

※3 予測潮位、天文潮位は過去1時間の予想の最大値、海上風、海面気圧は毎正時の予想値を配信。

※4 非台風時は@@=00の1ファイル、台風時は@@=00-05の6ファイルを配信。

@@=00:MSM、@@=01:予報円中心(中央コース)、@@=02:速いコース、

@@=03:右コース、@@=04:遅いコース、@@=05:左コース

高潮ガイダンス格子点値の概要

ファイル形式	GRIB2
格納要素	予測潮位(高潮モデル格子点値の予測潮位+補正量※1)[m] ※2
格子間隔	日本沿岸の海岸に沿った1km格子
予報時間等	1時間後～39時間後までの1時間ごとの予想※3
初期時刻	00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC (1日8回)
配信時刻	「初期時刻+2時間50分」頃 (1日8回)
ファイル名	Z_C_RJTD_yyyyMMddhhmmss_SGM_GUID_Rjp_Ggis1km_FH01-39_EM@@_grib2.bin (@@=00-05)※4
ファイルサイズ	非台風時:約2MB/回×8回/日=約16MB/日 台風時:約12MB/回×8回/日=約96MB/日

※1 補正量として、波浪効果(Wave Setup)、海況要因、浅海潮を考慮

※2 予測潮位は、東京湾平均海面(TP)からの高さ(標高)。

※3 過去1時間の予想の最大値を配信。

※4 非台風時は@@=00の1ファイル、台風時は@@=00-05の6ファイルを配信。

@@=00: MSM、@@=01: 予報円中心(中央コース)、@@=02: 速いコース、

@@=03: 右コース、@@=04: 遅いコース、@@=05: 左コース

潮位に関する全般解説資料の概要

ファイル形式	PDF(カラー・A4横・複数ページの場合あり)
資料の構成	潮位の実況、高潮モデルによる予想、今後の着目点及び潮位情報の発表状況を記載。また、高潮ガイダンスによる期間最高潮位と警報・注意報基準の差を表す図を掲載。
発表時刻(日本時間)	01時00分、10時00分、12時30分頃 (1日3回)
ファイル名	Z_C_RJTD_yyyyMMddhhmmss_TID_CHT_JCIchouikaisetu_image.pdf
ファイルサイズ	約100KB/回 × 3回/日 = 約300KB/日

- 本解説資料は、気象事業者等が、気象庁の提供する潮位に関する予報の根拠を理解するための補助資料です。そのままの形で一般に提供することを想定したものではありません。
- 高潮警報・注意報を超過する可能性がある地域や、高潮ガイダンス期間最高潮位と警報・注意報基準の差は、高潮ガイダンスの予想から機械的に判断し記載するものであり、実際の高潮警報・注意報の発表とは必ずしも一致しません。
- 資料の訂正がある場合は、資料中に訂正箇所を明記したうえで再配信します。ファイル名は訂正前のものと同じです。

潮位に関する全般解説資料の例

潮位に関する全般解説資料

資料名及び発表
年月日時刻

気象庁地球環境・海洋部
20 年9月4日10時00分発表

潮位の状況を解説。

(実況)
・潮位偏差(単位:センチ)

北海道	東北	関東・東海・北陸 (鳥しよ部を除く)	近畿・中国・四国	九州	沖縄
-30~0	-30~-5	-30~+10	-20~-5	-25~0	-25~+15

・東日本で最大74センチ程度(三宅島(坪田):18.49)、西日本で最大74センチ程度(土佐清水(08.23)、南西諸島で最大66センチ程度(中之島:20.26)の副振動を観測。実況に留意。

高潮モデルによる潮位偏差の予想を解説。

(モデル) 台風ボーガス(中央コース)の場合は以下のとおり

- ・高潮モデルによる潮位偏差の予想(単位:センチ)
- ・予想期間は、04日昼過ぎ~05日夜のはじめ頃まで
- ・最下段は偏差が最大となる時間帯

北海道	東北	関東・東海・北陸	近畿・中国・四国	九州	沖縄
-5 ~ +45	0 ~ +30	-25 ~ +190	-30 ~ +360	-25 ~ +35	0 ~ +10
05日未明	04日夜遅く	名古屋:04日夕方	堺:04日昼過ぎ	04日夜遅く	04日昼過ぎ

台風時は、主にMSM又はボーガス中央コースのメンバーの予想を記載。

今後の全般的な着目点を解説。

(今後の着目点)

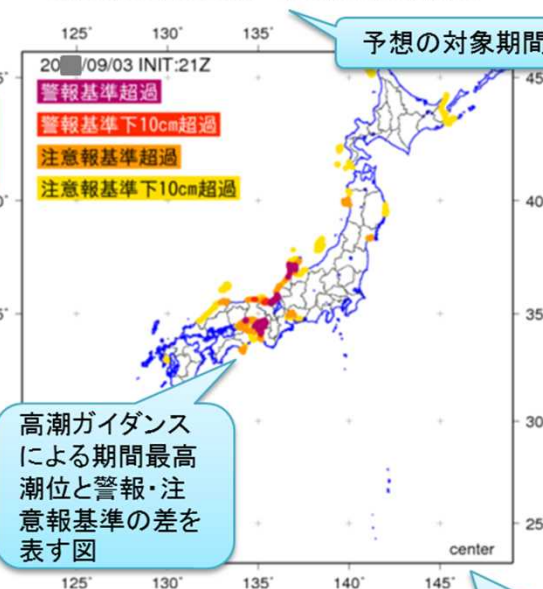
- 波浪効果による潮位上昇が見込まれている。
- 日本海側:05日未明~06日朝に+5~+10センチ(男鹿:05日未明)
- 太平洋側:04日昼過ぎ~05日夜のはじめ頃に+5~+25センチ(赤羽根:04日昼過ぎ~04日夜のはじめ頃)

「モデル」の項で記載したメンバーの予想による着目点を解説。

- 高潮警報基準を超過する可能性がある地域(ガイダンス補正を考慮)
 - ・北陸西部|石川県(04日夕方~夜のはじめ頃)
 - ・北陸西部|福井県(04日夕方)
 - ・紀伊水道|和歌山県(04日昼過ぎ)
 - ・瀬戸内海|大阪府(04日昼過ぎ~夕方)
 - ・瀬戸内海|兵庫県南部(04日昼過ぎ~夕方)
 - ・瀬戸内海|岡山県(04日夕方)
- 高潮警報基準下10センチを超過する可能性がある地域(ガイダンス補正を考慮)
 - ・近畿北部|京都府(04日夕方)
 - ・近畿北部|兵庫県北部(04日昼過ぎ~夕方)
- 高潮注意警報基準を超過する可能性がある地域(ガイダンス補正を考慮)
 - ・東北太平洋側(04日夜のはじめ頃~夜遅く)
 - ・東北日本海側(04日夜遅く)
 - ・東海地方(04日昼過ぎ~夕方)

複数ページの場合あり。

高潮ガイダンス期間最高潮位と警報・注意警報基準の差
(予想期間:04日昼過ぎ~05日夜のはじめ頃まで)



高潮ガイダンスによる期間最高潮位と警報・注意警報基準の差を表す図

高潮ガイダンスのメンバー(図の例はボーガス中央コース)

「モデル」の項で記載したメンバー以外の予想による着目点を解説。

潮位情報の発表状況を解説。

台風ボーガス(中央コース)以外の場合は以下のとおり

- ・中央コースでは北陸西部(04日夕方~夜のはじめ頃)、紀伊水道(04日昼過ぎ)、瀬戸内海(04日昼過ぎ~夕方)で高潮警報基準を超過する可能性がある。
- ・MSMでは北陸西部(04日夕方)、瀬戸内海(04日昼過ぎ~夕方)で高潮警報基準を超過する可能性がある。
- ・速いコースでは北陸西部(04日昼過ぎ~夜のはじめ頃)、近畿北部(04日昼過ぎ)、紀伊水道(04日昼過ぎ)、瀬戸内海(04日昼過ぎ~夕方)で高潮警報基準を超過する可能性がある。
- ・右コースでは東北太平洋側(04日夜遅く)、東北日本海側(04日夜遅く)、東海地方(04日昼過ぎ~夕方)、北陸西部(04日夕方)で高潮警報基準を超過する可能性がある。
- ・遅いコースでは北陸西部(04日夕方~夜のはじめ頃)、瀬戸内海(04日昼過ぎ~夜のはじめ頃)で高潮警報基準を超過する可能性がある。
- ・左コースでは近畿北部(04日昼過ぎ~夕方)、紀伊水道(04日昼過ぎ)、瀬戸内海(04日昼過ぎ~夜のはじめ頃)で高潮警報基準を超過する可能性がある。

・潮位情報の発表状況
-大潮による高い潮位に関する潮位情報を発表中
府県(水戸、神戸、熊本)

7. 本日のまとめ

全般事項

- 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。
- 本年12月17日より、高潮予測プロダクト(高潮モデル格子点値・高潮ガイダンス格子点値・潮位に関する全般解説資料)の提供を開始。モデル及びガイダンスの特性や利用上の留意点等を踏まえ、気象庁の高潮モデル及び高潮ガイダンスを活用頂きたい。

プロダクト利用上の留意点

- 最新の予測資料を用いる。
- 台風時は基本的にMSMコースの利用を検討する。
- 台風の進路及び強度の予測誤差に留意する。一つのコースの予測だけでなく、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望ましい。
- 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。
- 高潮モデル及び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。

ご清聴ありがとうございました。



参考リンク集

- 技術情報第521号(高潮予測プロダクトの提供について)
 - <https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/521.pdf>
- 技術情報第524号(波浪に関する全般解説資料の提供について)
 - <https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/524.pdf>
- 配信資料に関するお知らせ(高潮予測プロダクトの提供開始日について)(発行日R1.11.12)
 - <https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/oshirase/pdf/20191112b.pdf>
- 気象庁ホームページ(潮汐・海面水位の知識)
 - <https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/knowledge/index.html>