



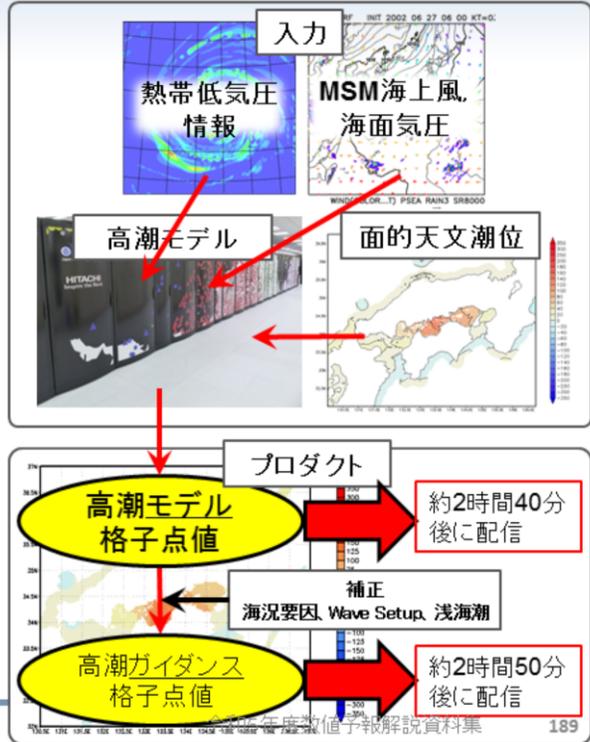
第1章 基礎編

1.7.14 日本域高潮モデル

日本域高潮モデル

高潮モデルの概要

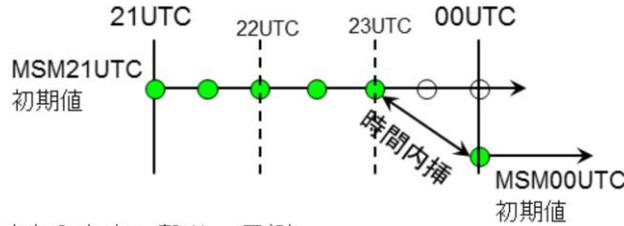
離散化手法	有限差分, 陽解法
座標系	緯度・経度座標
格子系	スタaggerド格子(Arakawa C), アダプティブメッシュ(AMR)
空間解像度	沿岸から離れるにつれ 5段階に変化(約1,2,4,8,16km)
計算領域	20N~50N, 117.4E~150E
時間差分間隔	4秒
予測時間	78時間(00,12UTC初期値) 39時間(03,06,09,15,18,21UTC 初期値)
メンバー数	台風時6(MSM+ボース×5) 非台風時1(MSM)
実行頻度	1日8回 (00,03,06,09,12,15,18,21UTC)
計算時間	NAPS10で最大約150秒 (1ノード/1メンバー)



表は高潮モデルの仕様を示す。モデル領域は日本の国土ほぼ全てをカバーしている。予報時間は00,12UTC初期値が78時間先まで、03,06,09,15,18,21UTC初期値が39時間先までで、1日8回実行する。高潮モデル計算の際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(MSM)の海上風、海面気圧を必要とする。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できるが、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。)を加算している。

日本域高潮モデル 初期値作成手法

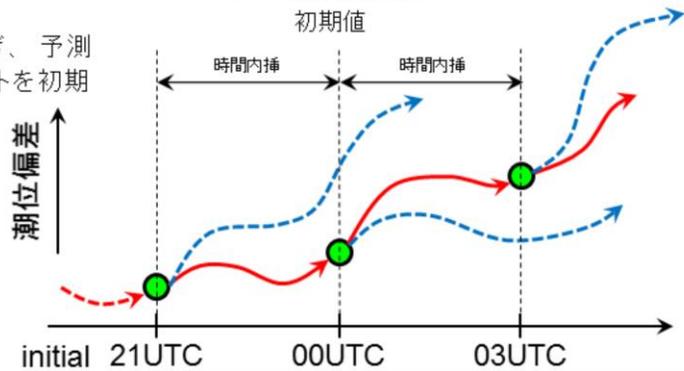
- 計算には潮位偏差の初期値が必要だが、データ同化の効果が薄いため、代わりに気象場の解析値を使って初期値を作成する(ハインドキャスト)。
 - 気象場の解析値を時間内挿して大気外力とし、過去の状態を再計算する。



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。

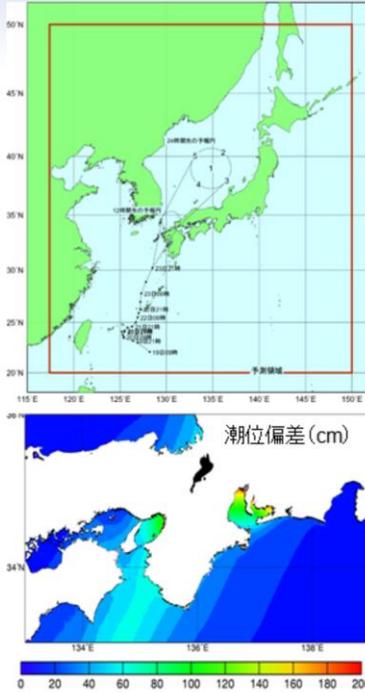
ハインドキャストと予測計算の概念図

→ ハインドキャスト
 ----> 予測計算



高潮モデルの計算には潮位偏差の初期値が必要だが、大気モデルと比較してデータ同化の効果が薄いため、気象場の解析値を使った計算により初期値を作成している。これをハインドキャストと呼んでいる。上図は00UTC初期値の例である。ハインドキャストでは、前初期値21UTCのMSMによるFT=2までの予測値と対象初期値00UTCのMSMによるFT=0の予測値を使用して、過去の状態を再計算することで00UTCにおける潮位偏差の初期値を作成する。高潮モデルは、大気からの外力(大気モデルや台風ポーガス)に依存する部分が大きく、高潮モデル自身の初期値にはあまり敏感ではない。加えて、同化に利用できるデータが限られていることや、日本沿岸域の地形特性(浅い海域が比較的少ない)のため同化の効果が小さい、といった理由から、高潮モデルにおけるデータ同化は行っていない。

日本域高潮モデル 台風ボーガス



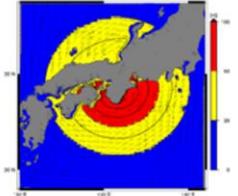
<日本域高潮モデル>

- 非台風時
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)
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>

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

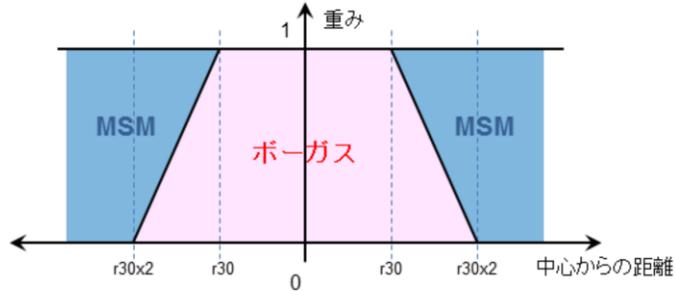


ボーガス中央コースはMSMにボーガスを埋め込む。
ボーガス周辺コースは台風周辺のみボーガスによる気象場を与える。

日本域高潮モデルは、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通りの計算に加えて、台風進路予報(予報円)の誤差を考慮し、5通りの台風ボーガスによる計算を行う。

日本域高潮モデル 台風ボーガス(埋め込み)

- 埋め込む範囲は、中心から同心円状の範囲
 - ボーガス中央コース: 中心からの距離により、強風半径(以下、 r_{30})の2倍の範囲内で、ボーガスとMSMの重み付き平均をとる。
 - r_{30} の範囲内ではボーガスを完全に採用。



台風ボーガスの埋め込み

埋め込む範囲は台風中心から同心円状の範囲。ボーガス中央コースの場合、中心からの距離により、強風半径(以下、 r_{30})の2倍の範囲内で、ボーガスとMSMの重み付き平均をとる。 r_{30} の範囲内ではボーガスを完全に採用。

図はボーガス中央コースについて、台風ボーガスをMSMの風・気圧場に埋め込む時の模式図である。強風半径、つまり風速30kt以上の範囲では、ボーガスによる風・気圧場をそのまま使う。一方その外側では、強風半径の2倍の範囲までボーガスとMSMの加重平均を使い、台風中心から離れるにしたがってMSMの割合を大きくしていく。ボーガス周辺コースでは、図のMSMのところが無風・平年値(海面気圧)になる。

日本域高潮モデル

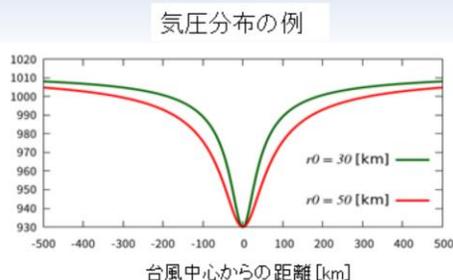
台風ボーガス(パラメータ r_0 決定法)

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

P_c : 中心気圧 P_{∞} : 無限遠での気圧

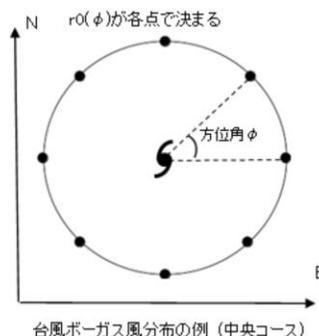
r_0 : 気圧降下の鋭さを決めるパラメータ

- r_0 が小さいなら中心付近の気圧勾配は大
→ 強風域の範囲を左右



改良版での計算手順

1. $r = r_0$ の円上に任意個の分点を取る (右図は8個)
2. 各分点ごとにボーガスの風速を計算
3. 条件“ $r=r_0$ で風速50kt”を満たすように各分点で r_0 を決定 (r_30 を使用するときも同じ操作)
4. 平均した r_0 の値を計算に使用 (方位角ごとに r_0 を変えることはしない)



台風ボーガスの風分布は藤田の式(Fujita, 1952)で決定している。この式では、 r_0 のパラメータによって強風域の範囲が左右される。これまでの台風ボーガスには強風域の狭い系統誤差があるため、強風域が適切な範囲となるように、この r_0 の計算手順を見直した。

日本域高潮モデル 台風ボーガス(方向別粗度長法)

- 各格子ごとに、風上領域の粗度長を考慮することで
離岸風を減衰させる手法

- 減衰係数の計算手順

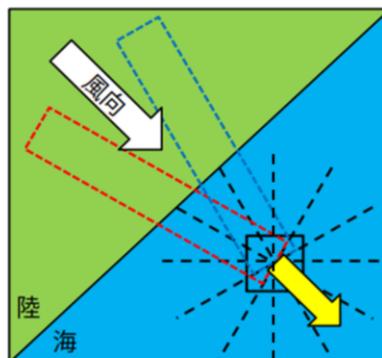
- 12方向に対し、風上側30km分の粗度長を
格子からの距離で重み付け平均

重みは
Gaussian : $w(i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{[-d(i)^2/2\sigma^2]}$

2. 格子での実際の風向に応じて
方向別粗度長を内挿

3. 海上の粗度長との比から減衰係数を算出

$$f_{r\text{-directional}-k} = \left(\frac{z_{0\text{marine}}}{z'_{0\text{land-directional}-k}} \right)^{0.0706}$$

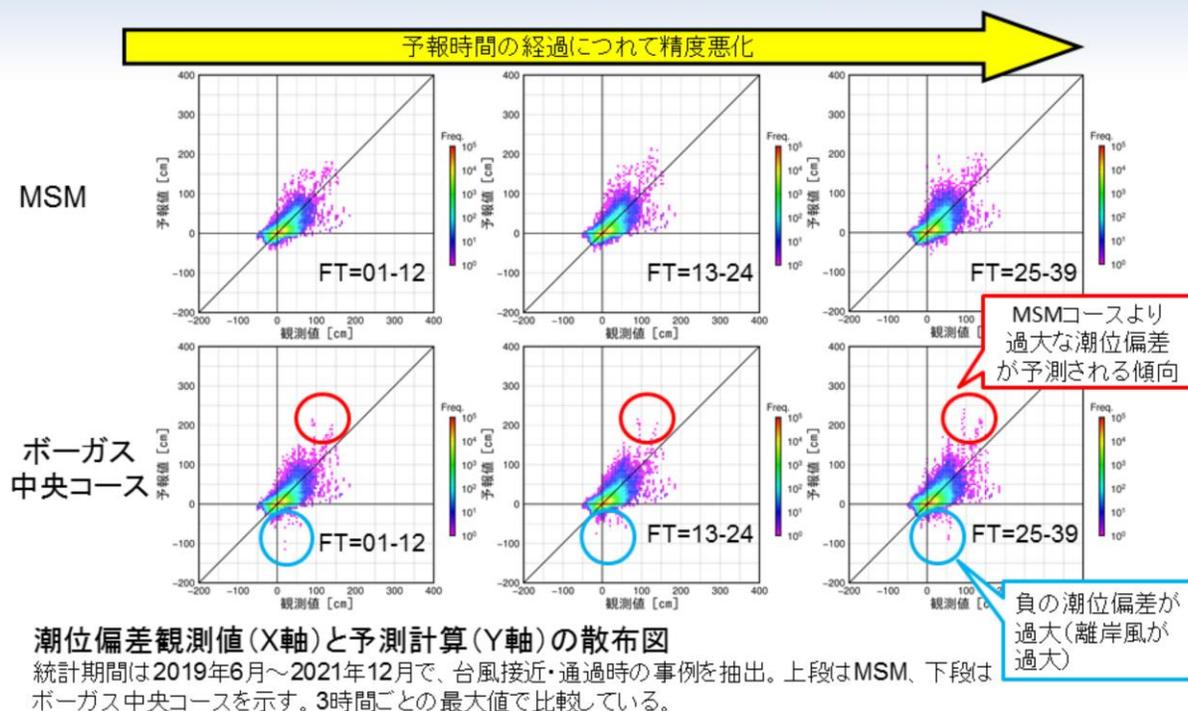


分子: 海上の粗度長
分母: 方向別粗度長

方向別粗度長法 (Westerink *et al.*, 2008) とは、各格子ごとに風上領域の粗度長を考慮することで、離岸風を減衰させる手法である。この手法を新たに導入することで、地形の影響を考慮して内湾域の過大な風速を適切な風速に弱める効果がある。

日本域高潮モデルの精度と特性

MSMと台風ポーガスを利用した場合の相違



図は、2019年6月～2021年12月に台風が接近・通過したときに(全922初期値)、高潮モデルにより予測された潮位偏差(MSM、ポーガス中央コース)と、日本国内207地点の潮位観測点の観測値による潮位偏差の散布図を示す。ポーガス中央コースの散布図には、実測値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。MSMコースの散布図においても過大となる箇所は見られるものの、全体的には台風ポーガスの方が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。このように台風ポーガスによる高潮の予測誤差が大きいのは、台風ポーガスで仮定している風の場の推定法では方向別粗度長法の導入以後も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。MSM、ポーガスともに予測時間後半に精度が悪化するの、潮位偏差のピーク出現時刻の予測誤差の影響もあると考えられる。

参考文献

- 林原 寛典, 2011: 気象庁の高潮数値予測モデルについて, *天気*, **58**, 235-240.
- Japan Meteorological Agency, 2022: Outline of the operational numerical weather prediction at the Japan Meteorological Agency.
- 高佐 重夫, 近澤 昌寿, 森 裕之, 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.
- 森 裕之, 小林 健作, 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ドンスによる調査-, 平成23年度海洋気象技術検討会要旨.
- 小西 達男, 1997: 外洋に面した港湾で発生する高潮の成因について, *海と空*, 73, 3-12.
- Fujita, T., 1952: Pressure Distribution within Typhoon. *Geophys. Mag.*, **23**, 437-451.
- Westerink, J. J. et al., 2008: A Basin- to Channel-Scale Unstructured Grid Hurricane Storm Surge Model Applied to Southern Louisiana. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 833.