

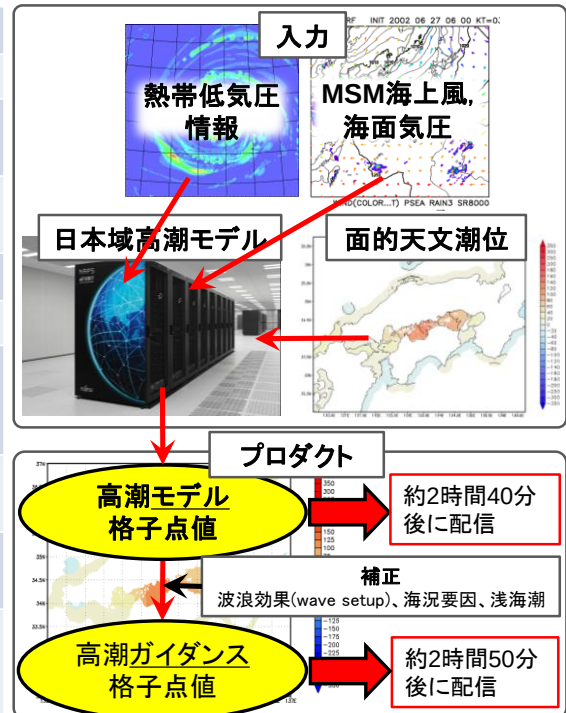


第1章 基礎編

1.7.14 日本域高潮モデル

日本域高潮モデル

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	CX2550で 最大約160秒 ×0.25ノード/1メンバー



日本域高潮モデルの仕様を表に示す。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、その他の初期値が39時間となっている。日本域高潮モデルの計算で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、海面気圧を用いている。計算された潮位偏差に天文潮位を加算して高潮モデル格子点値を作成する。

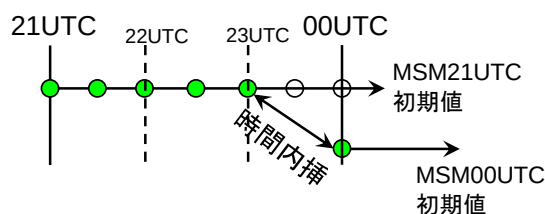
天文潮位については、一般には潮位観測値の存在する地点における調和解析により算出できるが、データ同化などの技術を用いることで、任意の地点における天文潮位を算出することができる。このように算出した天文潮位を面的天文潮位(高佐ほか2011)と呼ぶ。上述の天文潮位には面的天文潮位を用いている。

日本域高潮モデル

初期値作成手法

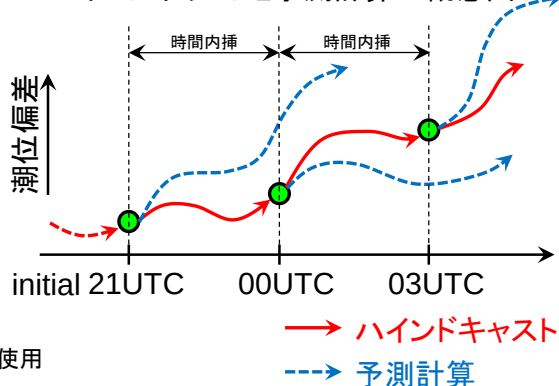
- 計算には潮位偏差の初期値が必要だが、データ同化の効果が薄いため、代わりに気象場の解析値を使って初期値を作成する(ハインドキャスト)。
 - 気象場の解析値を時間内挿して大気外力とし、過去の状態を再計算する。
 - ハインドキャストは過去から未来へ繋ぎ、予測計算はその都度最新のハインドキャストを初期値として計算する。

00UTC初期値の計算例



- MSM21UTC初期値のFT=2までの予測値と対象初期値00UTCのMSM00UTC初期値のFT=0の予測値を使用

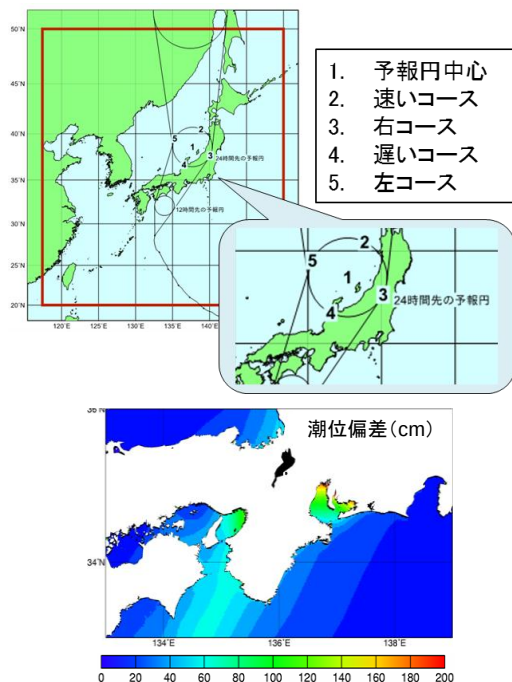
ハインドキャストと予測計算の概念図



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。左図は00UTC初期値の計算例である。ハインドキャストでは、前初期値21UTCのMSMIによるFT=2までの予測値と対象初期値00UTCのMSMI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(大気モデルや台風ボーガス)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

台風時は6通りの高潮計算を実施



- 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、台風ボーガスを利用した5通りの風・気圧場による計算を行う(計6通り)。

<ボーガスによる計算>

- 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. 予報円中心を通過
 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。

ボーガス中央コース

ボーガス周辺コース

日本域高潮モデルは、非台風時はMSMによる1通りの計算を行い、台風時(日本付近に台風が存在する場合)は計6通りの計算を行う。計6通りの計算については、非台風時と同じMSMによる1通りの計算に加えて、台風進路予報の誤差(予報円)を考慮した台風ボーガスによる5通りの計算を行う。複数コースの計算を行う理由は、高潮が発生する場所・規模は台風進路に強く依存し、台風進路の予報誤差がある場合、高潮の分布に大きな誤差が発生し得ることから、進路にずれが生じた場合でも高潮の最大値を見積もることができるよう、防災上複数のケースを想定しておく必要があるためである。

台風ボーガスを用いた5通りの計算は以下のとおりで、予報円中心を通るコース(ボーガス中央コース:下記1)と、予報円周辺を通る4コース(ボーガス周辺コース:下記2～5)の計算を実施する。

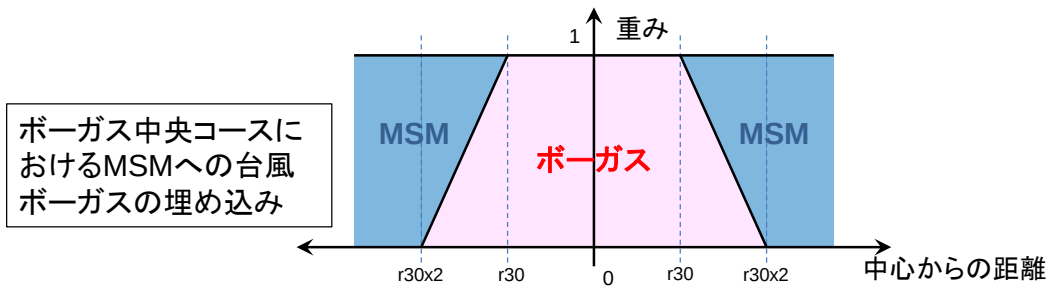
1. 予報円中心を通過
2. 最も速く通過
3. 予報円右側を通過
4. 最も遅く通過
5. 予報円左側を通過

ボーガス中央コースではMSMの気象場にボーガスを埋め込んで計算を行う一方、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て計算を行う。詳細は次ページを参照。

日本域高潮モデル

台風ボーガスの埋め込み

- 台風ボーガスは、台風中心から同心円状に埋め込む
 - 中心から r_{30} (強風半径; 風速30kt以上) の範囲内では、ボーガスを利用。
 - r_{30} の2倍の範囲内では、ボーガスとMSMの重み付き平均をとる。
 - ボーガス中央コース: 中心から離れるほどMSMの割合が大きくなる。
 - ボーガス周辺コース: 図中「MSM」の領域は無風・平年値(海面気圧)となり、中心から離れるほど無風・平年値(海面気圧)に近づく。



図はボーガス中央コースにおいて、台風ボーガスをMSMの風・気圧場に埋め込むときの模式図を示す。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・気圧場をそのまま利用する。それよりも外側では、強風半径の2倍の範囲まではボーガスとMSMの加重平均を利用し、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方法を採用している。

ボーガス周辺コースの場合、模式図で「MSM」と記載された領域は無風・平年値(海面気圧)となる。

日本域高潮モデル 台風ボーガスの作成手法

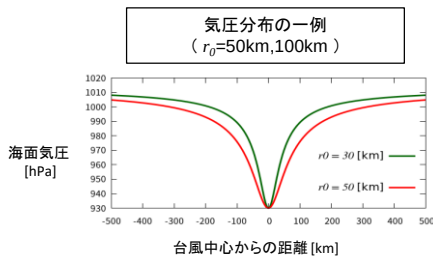
・ 気圧分布

藤田の式 (Fujita, 1952)

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

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

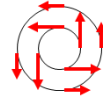
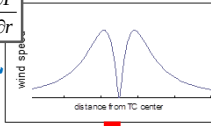
r_0 : 気圧降下の鋭さを決めるパラメータ
→ 強風域の範囲を左右
現業では30ktまたは50kt半径から算出している。



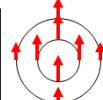
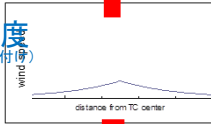
・ 風速分布

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

傾度風

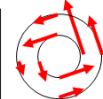
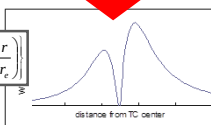


台風移動速度
(中心からの距離で重み付け)



吹き込み角を考慮→

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



$v, \mathbf{V}_g$: 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, $\mathbf{C}$: 台風進行速度, $\mathbf{W}$: 風速

日本域高潮モデルでは、藤田の式 (Fujita 1952) を用いて台風ボーガスの気圧・風分布を決定する。この式では、パラメータ r_0 が台風中心の気圧降下の鋭さに関係しており、 r_0 によって強風域の範囲が左右されることになる。現在気象庁では30ktまたは50kt半径から r_0 を算出している (詳細は次ページ)。

藤田の式から算出した気圧分布から傾度風を算出し、台風移動速度と吹き込み角を考慮することで、台風ボーガスの気圧・風分布を決定する。

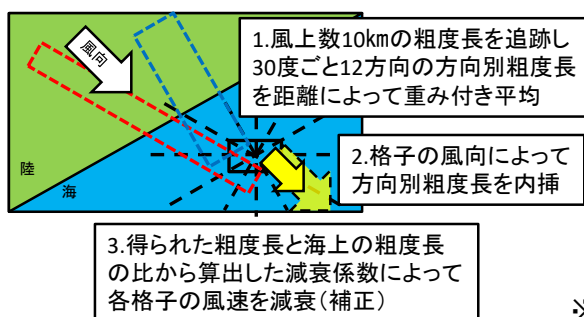
日本域高潮モデル

台風ボーガスの作成手法(2021年の改善)

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(Westerink et al, 2008)。

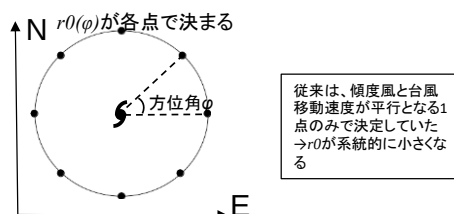
これにより陸の影響がある程度考慮され、特に内湾域の高潮予測値の過大を抑制できる。



r0決定法

50kt半径の円上に複数個の分点を取り、各点において風速50ktを満たすよう r_0 を決める。それらの平均値を採用する。(台風に暴風域が存在しない場合は、同じ処理を強風円半径(30kt半径)に対して行う。)

これにより、強風域の範囲が適切になる。



※これらの改善は2021年4月より適用された。

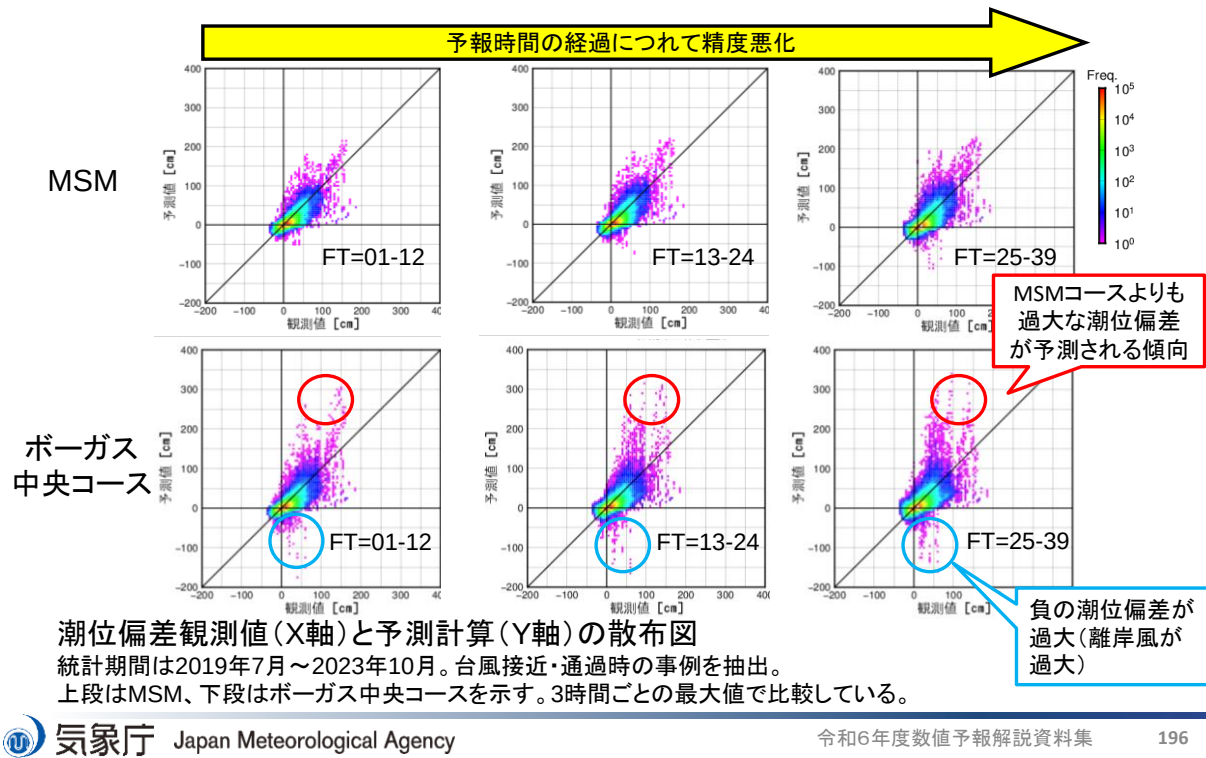
2021年4月に日本域高潮モデルにおける台風ボーガスの作成方法を改善した(気象庁 2021)。以下に改善内容を述べる。

高潮モデルでの従来の台風ボーガスは、藤田の式のパラメトリックな気圧・風分布を仮定しており、陸地の影響による海上風の減衰を考慮していなかった。そのため湾内や内海での高潮の過大予測の原因となっていた。これを改善するため、方向別粗度長法(Westerink et al. 2008)を導入した。この手法は、沿岸付近の各海格子ごとに、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。この手法を導入することで、陸地の影響が考慮されるようになり、内湾等での過大な風速を適切な風速に弱める効果が確認できた。

また、パラメータ r_0 の決定手法を見直した。従来のパラメータ決定法では、台風進行方向右側の風速が最大となる方向で、熱帯低気圧情報の暴風円半径(50kt半径)で風速が50ktとなるように r_0 を決定していたが、2021年4月の改善後は、(1)暴風円半径の円状に任意個の分点を取り、(2)各分点で「50kt半径で風速50kt以上」を満たすように r_0 を決定し、(3)平均した r_0 を採用、の手順に変更した。この見直しにより、台風中心から離れた領域での風速が熱帯低気圧情報や観測に整合するよう改善された。なお、台風に暴風域が存在しない場合は、同じ処理を強風円半径(30kt半径)に対して行う。

日本域高潮モデルの予測精度と特性

MSMと台風ボーガスを利用した場合の相違



図は、2019年7月～2023年10月の台風接近・通過時における、日本域高潮モデルによる潮位偏差の予測値と観測値との予報時間別の散布図を示す。上段はMSMコース、下段はボーガス中央コースの予測に関する検証結果である。本精度検証では、日本域高潮モデルによる1549初期値の潮位偏差の予測値と、日本国内207の潮位観測点で観測された潮位偏差のデータを使用した。

ボーガス中央コースの散布図では、実測値100cm前後に対して200cmを超える過大予測が見られる。MSMコースの散布図でも過大予測は見られるものの、全体的にはボーガス中央コースの方が過大傾向であり、MSMコースの方が実況に対する誤差が小さいといえる。このように台風ボーガスの方が予測誤差が大きくなる主な要因として、台風ボ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や、台風が中緯度まで北上するときに典型的な台風構造からの変化を考慮していないことが考えられる。また、MSMコース、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ことが読み取れる。これは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

- 気象庁, 2021: 日本域高潮モデルの台風ボーガス手法改善. 数値予報開発センター年報(令和3年), 34-35.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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ダンスによる調査-, 平成23年度海洋気象技術検討会要旨.
- Fujita, T., 1952: Pressure Distribution within Typhoon. *Geophys. Mag.*, **23**, 437-451.
- JMA, 2024: Outline of the operational numerical weather prediction at the Japan Meteorological Agency, 262pp., (Available online at <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2024-nwp/index.htm>).
- 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.