



波浪モデルの概要と 高波事例の検証

気象庁 大気海洋部
環境・海洋気象課 海洋気象情報室

令和2年度版

目次

1. はじめに
2. 波浪モデルの概要と解説
3. 令和元年台風シーズンの事例検証

1. はじめに

1. はじめに

- 気象庁では、波浪モデルを運用し、波浪警報・注意報や予報の発表に関する基礎資料として利用
- 2019年12月からは、波浪モデルの予測について解説した「波浪に関する全般解説資料」の部外提供を開始
- 2019年には、複数の台風が日本接近・上陸、各地で高波の被害が発生
- 本テキストでは、波浪モデルの概要、特性、利用上の留意点、及び波浪に関する全般解説資料について述べた後、高波による被害が発生した2019年の台風について事例検証結果を紹介

1. はじめに

気象庁では、波浪モデルを運用し、波浪警報・注意報や予報の発表に関する基礎資料として利用してきた。2019年12月からは、波浪モデルの予測について解説した「波浪に関する全般解説資料」の部外提供を開始した。

2019年には、複数の台風が日本接近・上陸し、各地で高波の被害が発生したため、本テキストでは、波浪モデルの概要、特性、利用上の留意点、及び波浪に関する全般解説資料について述べた後、高波による被害が発生した2019年の台風について実施した事例検証の結果を紹介する。

2. 波浪モデルの概要と解説

この節では、波浪に関する基礎と波浪モデルの概要及び、2019年12月より部外配信も行っている波浪に関する全般解説資料について解説する。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 1 運用中の波浪モデルの概要

	全球波浪モデル	沿岸波浪モデル	全球波浪アンサンブル
タイプ	MRI-III (第3世代波浪モデル)		
計算領域	地球のほぼ全海域 75° S~75° N 180° W~0° ~180° E (全周)	日本近海・沿岸 20° N~50° N 120° E~150° E	地球のほぼ全海域 75° S~75° N 180° W~0° ~180° E (全周)
格子間隔	緯経度0.5度	緯経度0.05度	緯経度0.5度
タイム ステップ	移流項 10分 外力項 30分	移流項 1分 外力項 3分	移流項 10分 外力項 30分
スペクトル 成分	900成分 (25周波数×36方位) 周波数成分: 0.0375~0.3Hz; 対数分割 方位成分: 10度間隔		
外力	全球モデルGSM (20km格子) 台風域内は仮想的な傾度風で補正* (*72時間先まで)		全球EPS (27メンバ) 6時間毎
予測時間	00/06/18UTC: 132時間 12UTC: 264時間	00/06/12/18UTC: 132時間	00/12UTC: 264時間



気象庁 Japan Meteorological Agency

表2.1 波浪モデル一覧表

2. 1 波浪モデル

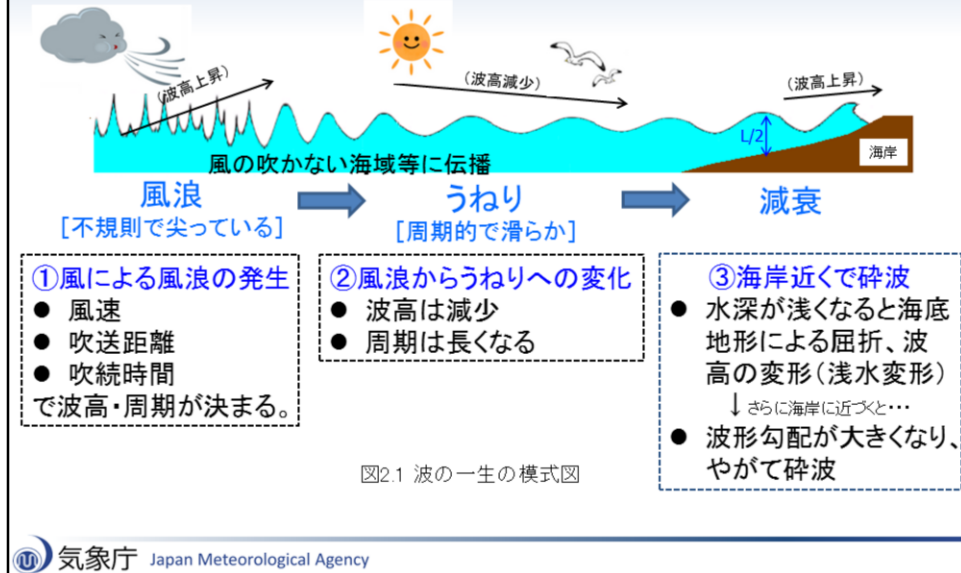
2. 1. 1 運用中の波浪モデルの概要

現在、気象庁では全球波浪モデルと沿岸波浪モデル及び全球波浪アンサンブルという3種類の波浪モデルを運用している。全球波浪モデルは、極付近を除く地球上の海のほぼ全ての海域を対象としアリューシャン近海から日本に達するうねりや、南半球から北半球に伝わるうねりの伝播も計算できる。沿岸波浪モデルは日本近海の領域のみを対象とし、細かい解像度(0.05度格子)でより詳細な計算ができる。 全球波浪モデル・沿岸波浪モデルは1日4回(00,06,12,18UTC)実行しており、外力として利用する海上風は、全球モデル(以下GSM、<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-5.html>)の予測値を使用するが、台風近傍については、GSMの風を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)を利用して作成される台風ボーガス(第2.1.9節参照)と呼ばれる仮想的な風に置き換えて使用している。

全球波浪アンサンブルは、モデル及び初期値は全球波浪モデルと同じで、初期摂動は加えていない。外力として全球アンサンブルの各メンバーを用いて、27メンバーの予測計算を1日2回(00, 12UTC)行っている。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 2 波浪の一生



2. 1 波浪モデル

2. 1. 2 波浪の一生

波浪モデルの概要について解説を行う前段として、波浪の基礎について簡単に述べる。

波浪は、一般に風浪とうねりに大別される。風浪とは海上を吹く風からエネルギーを与えられて発達しつつある波であり、風速が強いほど、また吹く距離(吹送距離)及び吹く時間(吹続時間)が長いほど発達する。個々の波の形状は不規則で尖(とが)っており、強風下ではしばしば白波が立つ。一方、風浪が風の吹かない領域まで進んだり、海上の風が弱まったり風向きが急に変化するなどして、風による発達がなくなった後に残される波をうねりと呼ぶ。うねりは周期的で丸みを帯び、正弦波に近い形状をしている。また、波が海岸に近づき、水深が波長 L の $1/2$ より浅くなると海底地形による屈折や波高の変形が起こる(浅水変形)。さらに水深が浅くなると、波高が急激に上昇、波形勾配が大きくなり、やがて砕波する。

波浪モデルでは、波浪が風浪として発生してからうねりに変化し消滅するまでの一連の現象を数式で表し、日々の波浪を計算している。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 3 波浪の表現

一般に海面は非常に複雑な形状：様々な波の重ね合わせ

不均一の波を表現することに工夫が必要

二つの表現方法

- ① 有義波(波高・周期・波向)
- ② 波浪スペクトル

これらを用いるメリット

- どれくらいの大きさ(波高)の波が
 - どの方角から
 - どれくらいの周期でやってくるか
- 定量的に把握できる。



図2.2 波の様子(気象庁観測船から撮影)

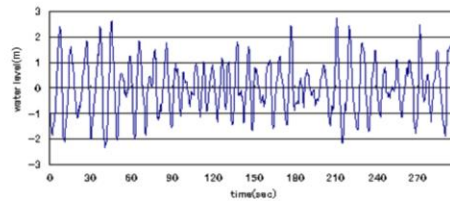


図2.3 松前沿岸波浪計における波浪観測記録の例

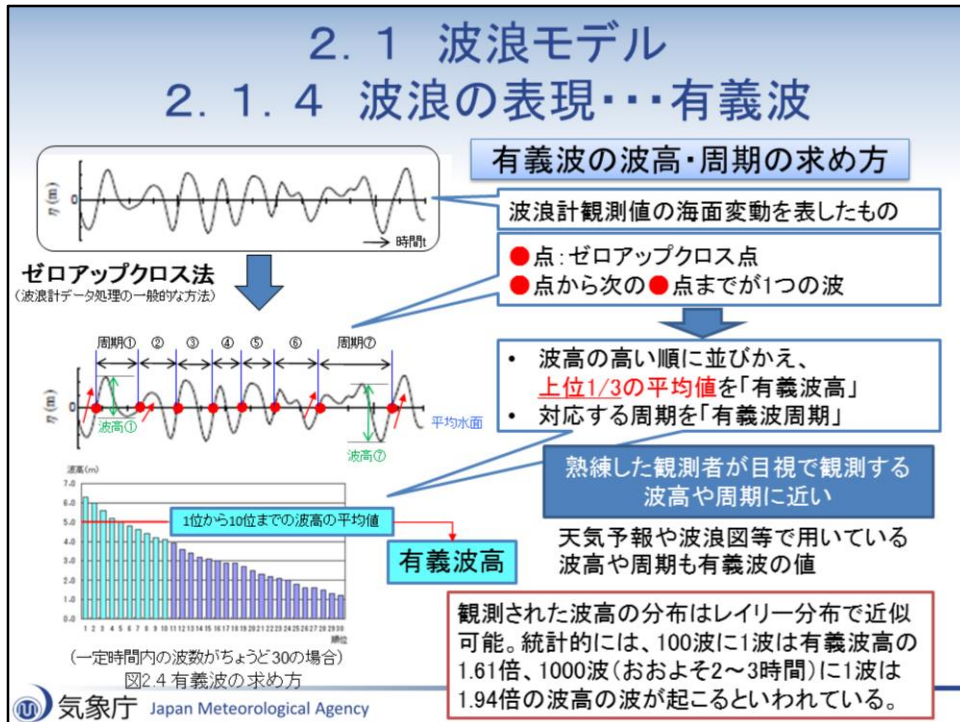
2. 1 波浪モデル

2. 1. 3 波浪の表現

海面は図2.2の写真のように複雑な形状をしている。また、図2.3は、観測点(松前)における波浪観測の記録の例であるが、正弦波のような単一の振幅、周期ではなく様々な周期及び振幅の波が混在している。このように海面の波は様々な波の重ね合わせとなっていることがわかる。こういった特徴を踏まえ、波浪の状態を表現する方法として、①有義波、②波浪スペクトルという2つの表現方法が一般に用いられている。これらの方法により、どれくらいの大きさの波が、どの方角から、どれくらいの周期でやってくるかといったことについて定量的に把握することが可能となる。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 4 波浪の表現・・・有義波



2. 1 波浪モデル

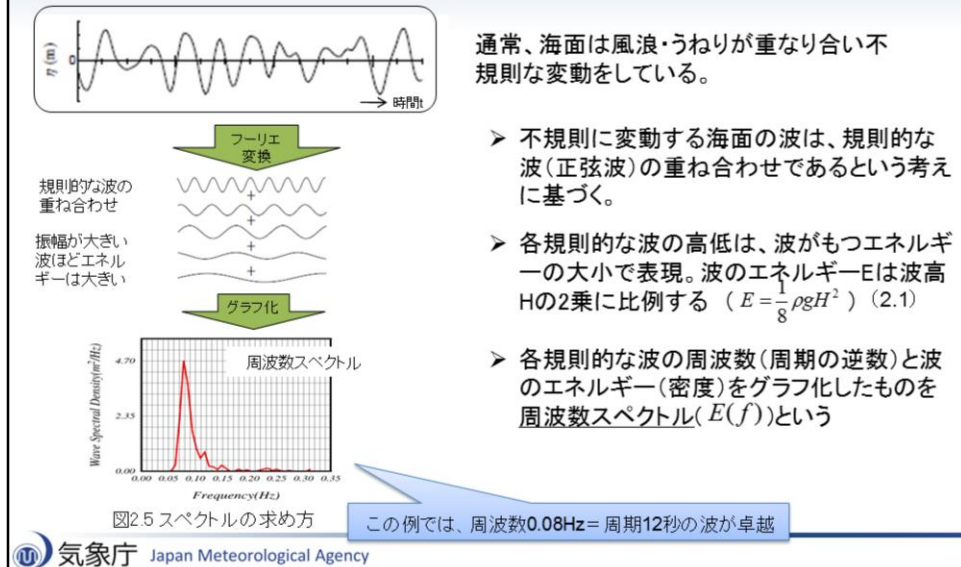
2. 1. 4 波浪の表現・・・有義波

波浪の表現方法の一つ目は、「有義波」で表す方法である。図2.4が有義波の定義を示したものである。図上の時系列図は波浪計による観測データの変動を表す。一定時間内に観測された波から平均の水位を求め、平均水位を下から上に超える点(ゼロアップクロス点)を探し、ゼロアップクロス点から次のゼロアップクロス点までを1つの波とする。個々の波の波高と周期を読み取り、これを波高の高い順に並び替えて上位1/3の波高を平均したものを「有義波高」といい、有義波高に対応する周期を「有義波周期」という。このようにして求められた有義波高は船舶等による目視観測の波高とよく合うといわれている。各種波浪計により観測される波高、および天気予報や警報・注意報で用いられている波高は有義波高を指す。

観測された波高の分布はレイリー分布で近似でき、統計的には、100波に1波は有義波高の1.61倍、1000波に1波は1.94倍の波高の波が起こるといわれている(合田・永井, 1974)。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 5 波浪の表現・・・スペクトル



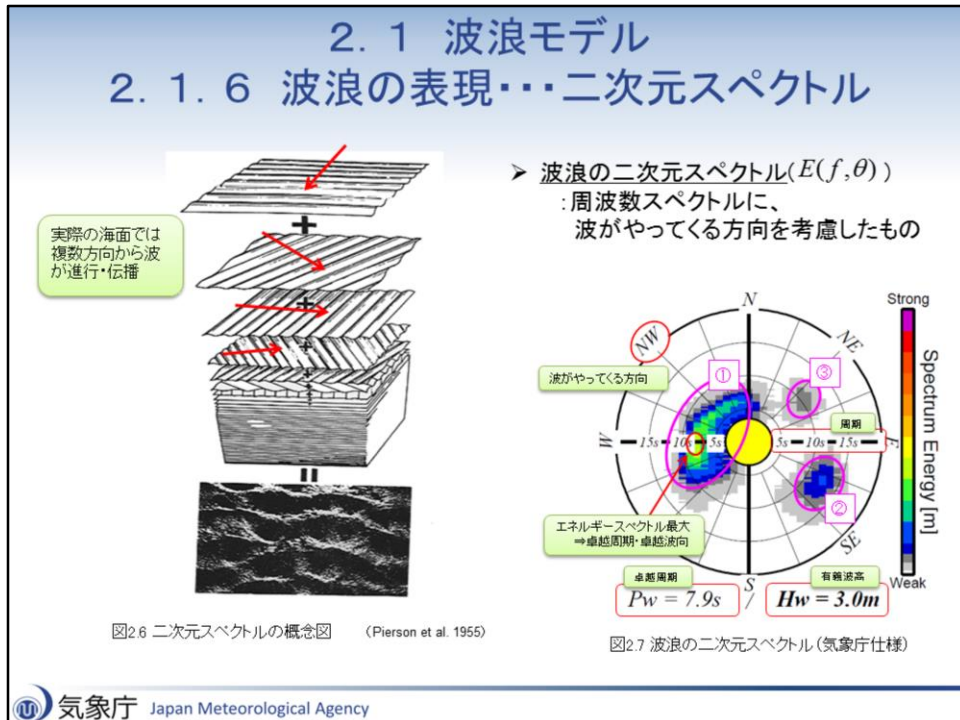
2. 1 波浪モデル

2. 1. 5 波浪の表現・・・スペクトル

波浪の表現方法の2つ目は、波浪スペクトルで表現する方法である。通常、海面は風浪とうねりが重なり合い不規則な変動をしているが、不規則に変動する海面の波は、規則的な波(正弦波)の重ね合わせであるという考えに基づき、波浪をスペクトルで表現することができる。図2.5の通り、規則的な波の高低は波がもつエネルギーの大小で表現している。なお、波のエネルギー E は波高 H の2乗に比例し、(2.1)式で表される。規則的な波の周波数(周期の逆数)と波のエネルギー(密度)の関係をグラフ化したものを周波数スペクトルという。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 6 波浪の表現・・・二次元スペクトル



2. 1 波浪モデル

2. 1. 6 波浪の表現・・・二次元スペクトル

図2.6は現実の波を二次元のスペクトルで表現した概念図である。実際の海面は単一方向からだけではなく複数方向からの波の重ね合わせとなっている。周波数スペクトルに波がやってくる方向を考慮したものを、波浪の二次元エネルギースペクトル（以下、二次元スペクトル）と呼ぶ。気象庁では、図2.7に示すようにある地点での波のエネルギーの、周波数および波向に対する分布で二次元スペクトルを表す。暖色系が濃いほどエネルギーが大きいことを表し、円周方向の角度が波の来る向き、中心からの距離が波の周波数（周期）を表す。この例では、二次元スペクトルが集中しているところが3箇所みられる。それぞれ、①周期8秒の西からの波、②周期12～13秒の東南東からの波、③周期10秒の北東からの波が伝播していることを表しており、二次元スペクトルの最も大きい①が卓越している。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 7 波浪の表現・・・スペクトルと有義波高の関係

➤ 波浪スペクトルから有義波高・卓越周期を以下の手順で算出

有義波高

$$H_w = 4.0 \sqrt{\iint E(f, \theta) df d\theta} \quad (2.2)$$

全方位、全周波数の波のエネルギーを積分し、その平方根に4.0をかけたもの

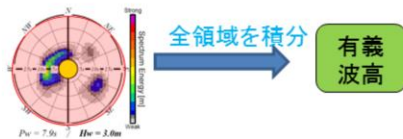


図2.8 二次元スペクトルから有義波高を算出する方法

卓越周波数・周期

$$\bar{E}(f) = \int_0^{2\pi} E(f, \theta) d\theta \quad (2.3)$$

周波数 f ごとに、全方位の波エネルギーを積分

その値が最大となる(スペクトルピーク)周波数(周期はその逆数)

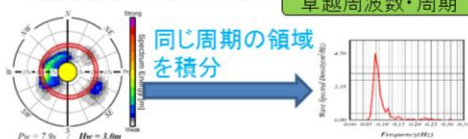


図2.9 二次元スペクトルから卓越周期を算出する方法

2. 1 波浪モデル

2. 1. 7 波浪の表現・・・スペクトルと有義波高の関係

二次元スペクトルと有義波高は(2.2)式によって関係づけられる。図2.8に二次元スペクトルから有義波高を求める方法の概念図を示す。有義波高は、二次元スペクトルの全方位、全周波数の波のエネルギーを積分し、その平方根に4.0をかけたものである。

また、図2.9に卓越周期を求める方法の概念図を示す。周波数 f ごとに、全方位の波エネルギーを積分し、その値が最大となる周波数が卓越周期である。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 8 波浪モデルの基礎方程式

波浪モデルでは、**波エネルギーの分布が時間・空間的にどのように変化するか**、下記の、エネルギー平衡方程式を基礎方程式として求める。

$$\underbrace{\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot (C_g E)}_{\text{移流項}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial \theta} (\Omega E)}_{\text{屈折}} = \underbrace{S_{net} (\equiv S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{btm})}_{\text{エネルギー外力関数}} \quad (2.4)$$

$E(f, \theta; \mathbf{x}, t)$: 波浪2次元スペクトル

$C_g(f; \mathbf{x})$: 群速度 (波エネルギーの進む速さ)

S_{net} : 波浪スペクトルに対するエネルギーの入出力を表現する外力関数。

- ① S_{in} : エネルギー入力 (風による風浪の発生・発達)
- ② S_{nl} : 非線形エネルギー輸送 (波と波の相互作用)
- ③ S_{ds} : エネルギー散逸 (逆風や砕波による波浪の減衰)
- ④ S_{btm} : 海底摩擦

全球大気モデル (GSM) の風 + 台風時は台風ボーガスを利用

波浪モデルの予測精度は大気モデルの風の予測精度にも大きく依存する。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 8 波浪モデルの基礎方程式

波浪モデルでは波浪の二次元スペクトルを予報変数とし、各格子点で定義されたエネルギーの時間変化を計算する。基礎方程式(2.4)式はエネルギーの収支を表しており、エネルギー平衡方程式と呼ばれる。ここで $E(f, \theta)$ は二次元スペクトル、 f は周波数、 θ は波向、 C_g は波の群速度を表す。右辺はソース項と呼ばれ、波浪スペクトルに対するエネルギーの入出力を表現する外力関数である。ソース項は、風からのエネルギー入力を表す S_{in} 、スペクトル間の非線形エネルギーの伝達を表す S_{nl} 、エネルギー散逸を表す S_{ds} 、海底摩擦を表す S_{btm} からなる(JMA(2019), 杉本(2007))。Sbtmと左辺の屈折項については、2017年に波浪モデルに浅海効果を導入した際に追加されたものである(配信資料に関する技術情報第455号: <https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/455.pdf>)。なお、波が水深の浅い海域(浅海域)に進入すると、海底地形の影響を受けて波高、波速、波長が変化し、副次的に屈折や砕波などの現象が発生するほか、回折や反射など波の変形を伴う現象が起こる。これらを総称して「浅海効果」と呼ぶ。

気象庁の波浪モデルでは、エネルギー入力を表す S_{in} については、全球大気モデル(GSM)の境界層過程で計算された風応力を利用する。ただし、台風付近については、台風位置と強度に応じた風場(台風ボーガス)を作成し利用している(2.1.9節)。波浪モデルの予測精度は大気モデルの風の予測精度に大きく依存する。

なお、波浪モデルによる波の予測で、地点毎の海面の高さを予報変数とするのではなく、エネルギーである二次元スペクトルを予報変数としているのは、波浪の水平スケールがたかだか数100mと小さいためである。個々の波を表現するためには数m~数10m程度の細かい水平格子間隔が必要となるため、実用的な広い領域の計算を行うには膨大な計算機資源が必要となり現実的ではない。これに対して二次元スペクトルは、統計量としての性質を持つために、数km~数100kmという比較的粗い水平解像度でも扱うことが出来る。最終的に提供される波高や周期、波向は、前述の通り、二次元スペクトルから有義波に換算される。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 9 台風ボーガスの作成

大気モデルの風を、発表される台風解析・予想情報(熱帯低気圧情報)をもとに計算した台風周辺の風(台風ボーガス:傾度風+台風の移動速度)で置き換えて、台風周辺の波を計算

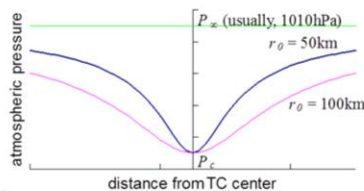
● 気圧分布

➤ 藤田の式

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

r_0 によって台風の鋭さを設定.

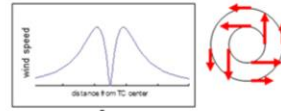
中心気圧と1000hPa半径から算出.



● 風速分布

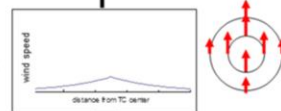
傾度風

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

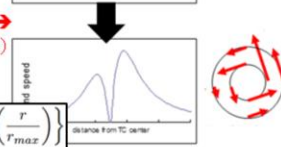


台風移動速度

(中心からの距離で重み付け)



20度内側へ向ける➡
(地上での摩擦効果)



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

V_g :傾度風(20度内側へ向いた)、 C :台風進行速度、 C_1 :パラメータ、 r_{max} :ボーガス領域の大きさ(台風中心からの距離)

図2.10 波浪モデルにおける台風ボーガスの作成方法

気象庁 Japan Meteorological Agency

2. 1 波浪モデル

2. 1. 9 台風ボーガスの作成

大気モデル内での台風は、熱帯低気圧情報と位置や強度が違う場合があるため、波浪モデルでは、発表される台風解析・予想情報(熱帯低気圧情報)をもとに計算した台風周辺の風(台風ボーガス:傾度風+台風の移動速度)で置き換えて、台風周辺の波を計算している。

気圧分布の作成には藤田の式(Fujita 1952)を用いている(図2.10左)。ここで P は任意地点の海面気圧、 r は台風中心からの距離、 r_0 は気圧分布の鋭さを表すパラメータ、 P_c は中心気圧、 P_{∞} は無限遠に仮定される海面気圧である。図2.10左は台風周辺の海面気圧分布の断面を表したもののだが、同じ中心気圧でも、 r_0 が大きいと広い範囲で気圧が低くなり、 r_0 が小さいと中心付近で急激に気圧が下がるような分布となる。台風周辺の風については、傾度風の関係から風向・風速分布を作成し、更に台風移動速度を考慮することで台風分布の非対称性を表現している(図2.10右)。ここで、 f はコリオリパラメータ、 ρ は空気の密度、 C_1 と r_{max} は定数、 v と V_g は傾度風、 C は台風の移動速度、 W は台風移動速度を加えた風速である。更に、台風中心へ吹き込む風を考慮し、 20° の吹き込み角を一律に設定している。これらは熱帯低気圧情報による情報を元に計算することができる。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 10 台風ボーガスの埋め込み方法



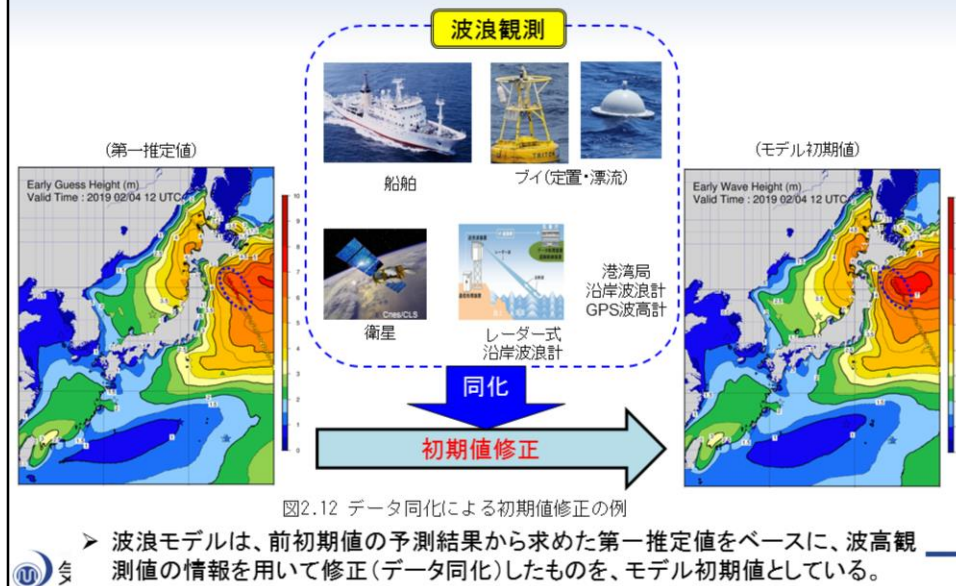
2. 1 波浪モデル

2. 1. 10 台風ボーガスの埋め込み方法

台風ボーガスの作成方法については前述の通りだが、ボーガスを適用するかどうかは次の条件による。適用条件の一つ目は、熱帯低気圧情報の中心気圧が1000hPa未満かどうかで、1000hPa以上であれば適用されない。適用条件の二つ目は適用範囲の各格子点においてボーガス風速が20m/s未満の場合は台風ボーガスとGSMを比較して台風ボーガスが強い場合に、20m/s以上の場合は無条件に台風ボーガスが採用される。該当格子点においてはGSMの海上風が台風ボーガスに置き換わる。なお、台風ボーガスの適用範囲は、(1000hPa半径+2度) × 2を1辺とする正方形の領域である。図2.11はモデルの海上風(左)とボーガス領域(右)である。台風中心付近の20m/s以上の海域はボーガスが適用されている。また20m/s未満の海域のうち台風北側の領域はGSMの方が風が強いいため適用されていない。台風南側では台風ボーガスの風がGSMより強くボーガスが適用されている。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 11 波浪モデルにおけるデータ同化



2. 1 波浪モデル

2. 1. 11 波浪モデルにおけるデータ同化

波浪モデルは、前初期値の予測結果から求めた第一推定値をベースに、波高観測値の情報を用いて修正（データ同化）したものを、モデル初期値としている。データ同化には、船舶、ブイ、衛星、GPS波高計、レーダー式沿岸波浪計などの観測データを利用している。具体的には、気象庁のブイは解析時刻の前後3時間平均値、沿岸波浪計・GPS波高計は解析時刻データ又は解析時刻データのない場合は±1時間（GPS波高計は±20分）の値の平均値、船舶は解析時刻に通報された値、衛星は解析時刻±3時間以内のデータを解析時刻の値として利用している。波浪モデルにおけるデータ同化は波高について最適内挿法を利用しているため、時間方向のずれを考慮できない。解析時刻から時間差のある衛星データを利用する際には、風浪が急発達する局面などで適切に同化されない場合があるため、注意が必要である。

なお、図2.12は2019年2月4日12UTCの波浪モデルにおける波高の修正例である。三陸沖に第一推定値より高めの衛星観測があり、適切に同化されている。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 12 波浪モデルの予測について

- 波浪モデルによる波浪現象の再現性は概して高い。
- 一方、適中しない事例もあり。その要因として、
 - 風の予測に大きく依存
- また、波浪モデルの特性による場合もある。(↓例)

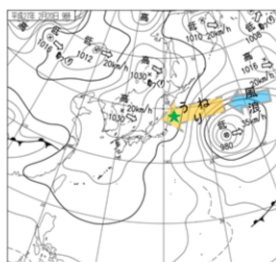


図2.13 2015年2月20日09時 実況
天気図

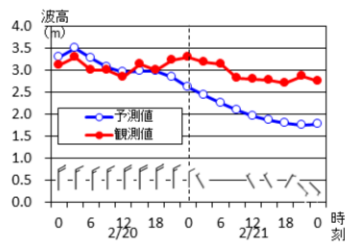


図2.14 宮城北部沖GPS波浪計(★)の波
高と風向風速の経過

東北地方では弱風場となっているが、2月21日の実況では3m近いうねりが継続(赤線)。一方、モデルの予想は2m程度と1m過小。波浪モデルではうねりを過小に予想する場合あり。

2. 1 波浪モデル

2. 1. 12 波浪モデルの予測について

波浪モデルの予測について、峯松(2009)、吉田ほか(2012)等で検証が行われているが、全体的な傾向として波浪モデルは観測値をよく再現しており、波高の急激な変化も概ね表現できる。なお、波浪モデルはその後データ同化の導入や浅海効果の導入等改良がおこなわれてきており、それらの精度検証については技術情報(<https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/455.pdf>)等で別途公表されている。

一方、適中しない事例もあるが、その要因として一番に挙げられるのは大気モデルでの風の予測誤差によるものである。また、波浪モデルの特性による場合もある。図2.13は2015年2月20日から21日に東北地方にうねりが到達した際の天気図、図2.14は宮城北部沖GPS波高計の波高と風向風速の経過を示したものである。東北地方では弱風場となっているが、2月21日の実況では3m近いうねりが継続(赤線)している一方、波浪モデルの予測(青線)は2m程度と1m過小である。波浪モデルではうねりを過小に予測する場合がある。一般に、波浪モデルにとってうねりの波高表現は非常に難しい。エネルギー散逸の機構が未解明である上、うねりの観測が不十分なためその伝播状況がよくわかっておらず、これらが波浪モデルに組み込まれていないためである。なお、波浪モデルはうねりの波高の予測が不十分な場合でも、周期や波向の予測精度は概して高い。

2.2 波浪に関する解説

2.2.1 解説の役割

専門的知識を有する担当者によるモデル結果への品質監視と補正が不可欠。モデルの特性や海域特性等を加味した補正を解説するのが主要な役割。⇒ 予報担当者へ解説資料を提供

□ 実況：

- ・ 注目すべき波高実況データ(波が高いところ、モデルと実況のずれが大きいところ)についての解説。
- ・ 高波高や、予想と実況のずれについて原因を分析。予報期間への影響継続の有無等についてコメント。

□ 予想：(うねりを中心に)

- ・ 風浪
 - － 海上風の予想次第の面はあるが、予報における風シナリオ検討時の注意点を提示。
- ・ うねり
 - － うねりが原因で、モデルの予想が外れる場合がある。波浪モデルの特性が原因なのか、うねりをもたらす波源が異なることが原因なのか。
 - － 「どのくらいの高さのうねりが、いつからいつまで続くか」という情報を提示。

2.2 波浪に関する解説

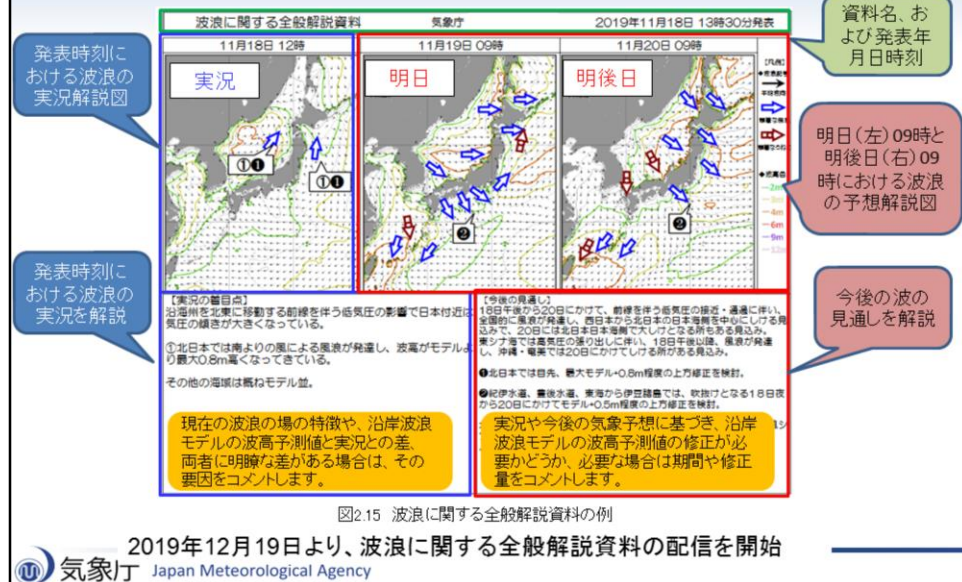
2.2.1 解説の役割

先に述べたように波浪モデルの精度は概して高いが、大気モデルの風予測の誤差や波浪モデルの誤差によりの中しない場合がある。このため専門的知識を有する担当者によるモデル結果への品質監視と補正が不可欠である。海洋気象情報室では、波浪モデルの特性や海域特性等を加味した補正について解説した資料を予報担当者へ提供している。

解説資料は実況と予測について記述しており、実況については、沿岸波浪計や漂流ブイ、衛星観測データ等を用いて、波浪モデルと観測結果のずれが大きい所についてその原因を分析しコメントする。予想については、風浪は海上風の予測結果が大きく影響するため、気象の予報における風シナリオ検討時の注意点を記述する。うねりについては、予想される高さ及び継続時間を記述する。

2. 2 波浪に関する解説

2. 2. 2 全般解説資料について



2. 2 波浪に関する解説

2. 2. 2 全般解説資料について

波浪に関する全般解説資料についての例を示す。2019年12月19日より気象業務支援センターを通じて全般解説資料の配信を開始した。

全般解説資料は沿岸波浪モデルの対象海域における波浪の状況について、実況及び明後日までの見通しを記述したもので、実況の着目点として、現在の波浪の場の特徴や、沿岸波浪モデルの波高予測値と実況との差、両者に明瞭な差がある場合は、その要因をコメントする。今後の見通しとして、実況や今後の気象予想に基づき、沿岸波浪モデルの波高予測値の修正が必要かどうか、必要な場合は期間や修正量をコメントする。

前述の通り、波浪モデルの予測は風の予測や波浪モデルの特性により適中しない場合もある。解説資料には波浪モデルの予測が十分でない部分とその根拠が示され、十分でない部分について大まかな補正量が示されるので、それらを参考に適宜該当海域の波高については補正をしてほしい。

2. 2 波浪に関する解説

2. 2. 3 解説の根拠:有義波法

解説の根拠となる、風浪の推算やうねりの予想には、**有義波法**を利用

- 有義波法の開発に貢献した、**Sverdrup**、**Munk**、**Bretschneider** の3名の頭文字をとって、**SMB法**と呼ばれる。
- 海上風の状況から有義波高や周期を推算するもので、図表を利用することで簡単に求めることができる。

2. 2 波浪に関する解説

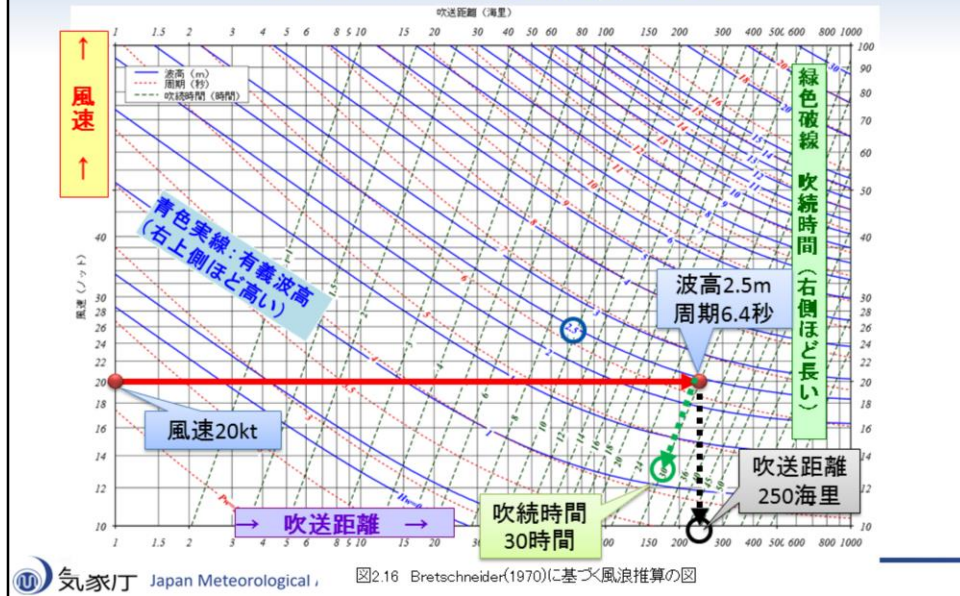
2. 2. 3 解説の根拠:有義波法

波浪に関する全般解説資料では、波浪モデルの予測が不十分な際に波高の補正量や期間等を提示していると述べたが、その解説の根拠となる風浪の推算やうねりの予想には、有義波法を利用している(高野,2011)。

有義波法については、第2次世界大戦中の上陸作戦のため、波浪の予測手法が必要になったのが始まりである。米国海軍は波浪予測手法の開発を海洋学者 Sverdrup と当時大学院生だった Munk に委託した。彼らは、実際には複雑で多彩な波の状況を、有義波という単一の代表値を導入して表現し、この有義波がどのように変化するかに着目して、最初の実用的な予測手法を作り上げた。これが有義波法である。その後 Bretschneider を初めとする多数の研究者によって改良が続けられ、1960年から1970年代にかけて精度のよい実用的波浪予測手法として確立された。3人の頭文字をとって SMB法とよばれる。有義波法(SMB法)では、海上風の状況から有義波高や周期を図表を利用することで推算することが可能である。次ページ以降で、風浪とうねりの推算図を紹介する。

2. 2 波浪に関する解説

2. 2. 4 風浪推算の図



2. 2 波浪に関する解説

2. 2. 4 風浪推算の図

図2.16 はBretschneider(1970)に基づく風浪推算の図である。横軸は吹送距離(海里)、縦軸は風速(ノット)、波高(m)、周期(sec)、吹送時間(hour)の値はそれぞれ実線、破線、長破線であらわされる。詳細については高野(2011)を参照されたい。冒頭で述べた通り、風浪は風速、吹送距離、吹送時間の3条件で決まり、これらの関係をグラフから読み取ることが可能である。一例として、衛星観測や周辺のアメダス等の風の観測により風速20ktの風が30時間程度続いたとされる場合について説明する。風速20ktの線(赤線)と吹送時間30時間の線(緑破線)の交点を求め、波高と周期の値を按分して読み取る。波高2.5m、周期6.4秒程度である。交点から垂線をおろし、横軸から交点の吹送距離を読み取る。吹送距離は250海里である。

2.2 波浪に関する解説

2.2.5 風浪の推算早見表

風速	3h	6h	12h	18h	24h	36h	48h	60h	72h
70kt	6.1m 33NM	8.9m 82NM	12.6m 201NM	15.4m 338NM					
60kt	4.9m 30NM	7.1m 74NM	10.0m 180NM	12.1m 302NM	13.8m 433NM				
50kt	3.7m 26NM	5.4m 65NM	7.6m 158NM	9.2m 264NM	10.4m 378NM	12.1m 625NM			
45kt	3.2m 24NM	4.6m 60NM	6.5m 146NM	7.8m 244NM	8.8m 349NM	10.2m 576NM	11.2m 817NM		
40kt	2.7m 22NM	3.9m 55NM	5.4m 134NM	6.5m 223NM	7.3m 319NM	8.4m 525NM	9.2m 745NM	9.7m 973NM	
35kt	2.2m 21NM	3.2m 50NM	4.4m 121NM	5.2m 202NM	5.8m 288NM	6.7m 473NM	7.3m 669NM	7.7m 873NM	
30kt	1.8m 18NM	2.5m 45NM	3.5m 108NM	4.1m 180NM	4.5m 256NM	5.2m 419NM	5.6m 591NM	5.8m 769NM	6.1m 952NM
25kt	1.3m 16NM	1.9m 39NM	2.6m 95NM	3.0m 156NM	3.3m 222NM	3.8m 362NM	4.0m 509NM	4.2m 661NM	4.3m 817NM
20kt	1.0m 14NM	1.3m 34NM	1.8m 80NM	2.1m 131NM	2.3m 186NM	2.5m 302NM	2.7m 423NM	2.8m 548NM	2.8m 676NM
15kt	0.6m 11NM	0.9m 27NM	1.1m 64NM	1.3m 105NM	1.4m 148NM	1.5m 238NM	1.6m 332NM	1.6m 429NM	1.6m 527NM
風速	3h	6h	12h	18h	24h	36h	48h	60h	72h

図2.17 風浪の推算表早見表

風速差に注目

25ktが24h → 3.3m
30ktが24h → 4.5m
35ktが24h → 5.8m

吹続時間差に注目

30ktが 6h → 2.5m
30ktが12h → 3.5m
30ktが18h → 4.1m

強風時の発達に注目

40ktが12h → 5.4m
45ktが12h → 6.5m
50ktが12h → 7.6m

5ktの違いが1m以上の波高差に
XINAVI J Japan's Meteorological Agency

= 6時間のずれが1mの波高差に

強風時はすぐ警報級

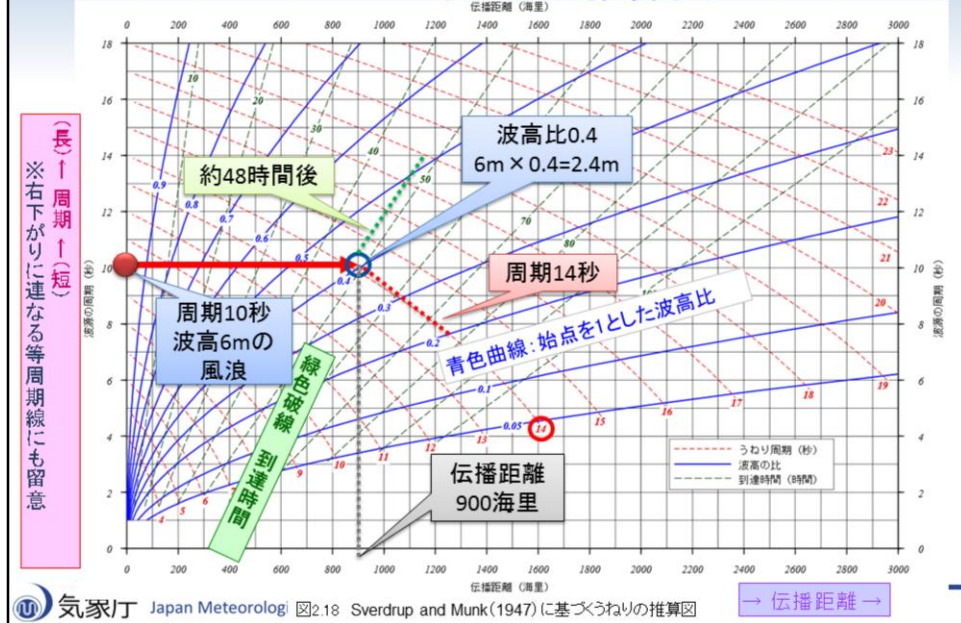
2.2 波浪に関する解説

2.2.5 風浪の推算早見表

前ページの風浪の推算図から、代表的な風速と吹続時間に対応する波高及び吹送距離を読み取った早見表を図2.17に示す。代表的な風速(15kt~70kt)に対して、吹続時間が3~72時間であった場合の、波高と吹送距離を示したものである。たとえば吹続時間が24時間の場合に、風速が25ktなら3.3m、30ktなら4.5m、35ktなら5.8mとなり、風速5ktの違いが1m以上の波高差となっていることがわかる。また、吹続時間が6時間増加するごとに波高が約1m増加することもある。風浪が卓越する場において、風の予測に幅がある場合に、この波高差に注目して波高の最悪想定を行うなどの解説を行っている。なお、表中で値がない部分は、風浪の推算表の範囲外であることを示す。

2. 2 波浪に関する解説

2. 2. 6 うねりの推算図



2. 2 波浪に関する解説

2. 2. 6 うねりの推算図

うねりについてもSverdrup and Munk(1947)に基づく推算図がある(図2.18)。横軸は伝播距離(海里)、縦軸は波源の周期(sec)である。うねりの推算では、うねりが2点間を伝播した時の各パラメータを求めることができる。図中の波高の比、到達するうねり周期(sec)、伝播時間(hour)の値はそれぞれ実線、破線、長破線であらわされる。波高比とは、うねりの発生場所における風浪の波高と、うねりとなって伝播した先で減衰した波高との比である。一例として、波源における波高及び周期がそれぞれ6m及び10秒である風浪が、900海里先の沿岸にうねりとなって到達する場合、その波高、周期及び到達時間はそれぞれ、2.4m、14秒及び48時間と推算される。詳細は高野(2011)を参照。

2. 2 波浪に関する解説

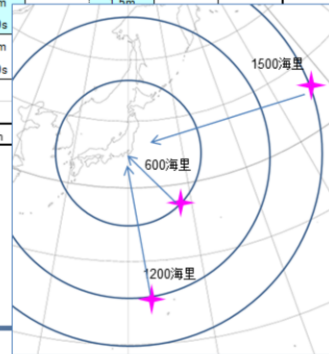
2. 2. 7 うねりの推算早見表

0h		12h		24h		36h		48h		60h		72h
14.0m		11.8m		10.0m		8.6m		7.5m		6.5m		5.7m
15.0s	282NM	16.0s	582NM	17.0s	900NM	18.0s	1237NM	19.0s	1592NM	20.0s	1965NM	21.0s
12.0m		10.0m		8.4m		7.2m		6.2m		5.3m		4.7m
14.0s	264NM	15.0s	546NM	16.0s	846NM	17.0s	1164NM	18.0s	1501NM	19.0s	1855NM	20.0s
10.0m		8.2m		6.7m		5.7m		4.8m		4.1m		3.5m
12.5s	236NM	13.5s	491NM	14.5s	764NM	15.5s	1055NM	16.5s	1364NM	17.5s	1692NM	18.5s
8.0m		6.4m		5.1m		4.2m		3.5m		3.0m		2.5m
11.0s	209NM	12.0s	437NM	13.0s	682NM	14.0s	946NM	15.0s	1228NM	16.0s	1528NM	17.0s
6.0m		4.7m		3.7m		3.0m		2.5m		2.1m		1.7m
10.0s	191NM	11.0s	400NM	12.0s	628NM	13.0s	873NM	14.0s	1137NM	15.0s	1419NM	16.0s
5.0m		3.8m		2.9m		2.3m		1.9m		1.5m		1.2m
9.0s	173NM	10.0s	364NM	11.0s	573NM	12.0s	800NM	13.0s				
4.0m		2.9m		2.2m		1.7m		1.4m				
8.0s	155NM	9.0s	327NM	10.0s	518NM	11.0s	728NM	12.0s				
3.0m		2.1m		1.5m		1.2m						
7.0s	136NM	8.0s	291NM	9.0s	464NM	10.0s						
0h		12h		24h		36h		48h				

図2.19 うねりの推算早見表

波源6mに注目

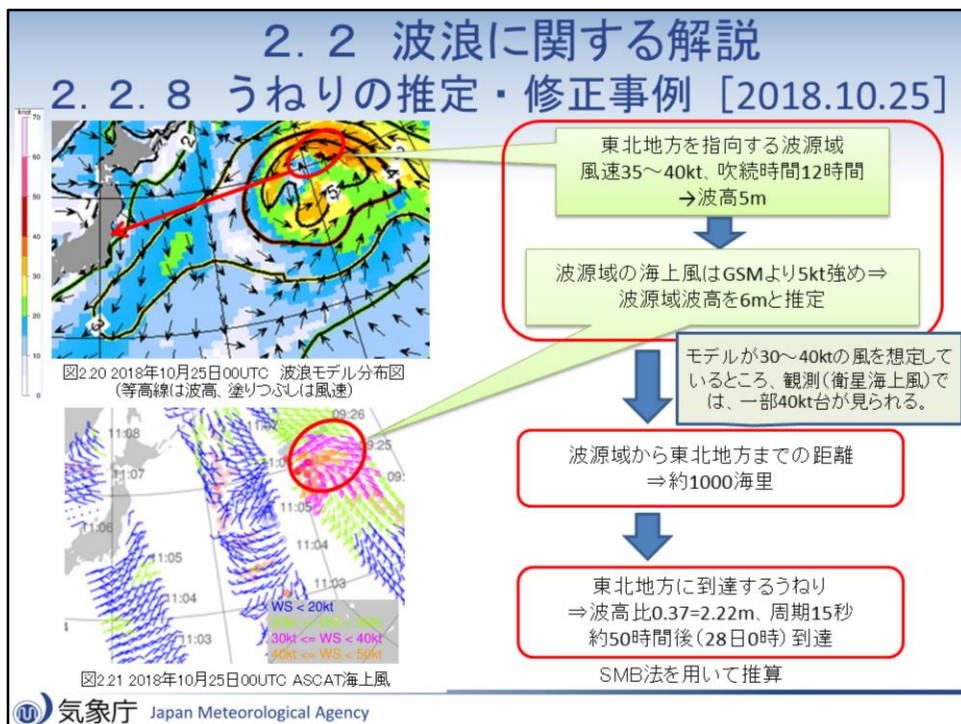
- 36時間後、628海里離れた場所に、3.0m
- 60時間後、1137海里離れた場所に、2.1m



2. 2 波浪に関する解説

2. 2. 7 うねりの推算早見表

図2.19にうねりの推算早見表を示す。表の左側に波源における代表的な波高と周期の組み合わせがあり、それらがうねりとなって伝播した場合の波高と周期の変化を、前ページのグラフから読み取り12時間おきに示している。なお、伝播時間の左側にはその時間に対応する伝播距離が記載されている。伝播速度が周期に依存することから、同じ伝播時間においても周期によって伝播距離は異なっている。例えば波源の波高6m、周期10秒の風浪は、36時間後には628海里離れた場所に、波高3m、周期13秒のうねりとなって到達し、60時間後には1137海里離れた場所に、波高2.1m、周期15秒のうねりとなって到達する。



2. 2 波浪に関する解説

2. 2. 8 うねりの推定・修正事例[2018.10.25]

解説資料を提供するにあたり、波浪モデルによるうねりの過小評価等を補正するために、有義波法(SMB法)を利用してうねりの推算を行っているので、その具体例を示す。2018年10月25日、日本のはるか東の低気圧近傍で風浪が発達し、波浪モデルでは低気圧周辺で東北地方を指向する波高5m程度の風浪を予測していた。一方、海上風の実況をみると大気モデル(GSM)より5kt程度強めの風を観測していたため、波浪モデルで予測された波高5mは過小であると判断し、波源域の波高をSMBの風浪推算表により6mと推算した。今後、この風浪を波源としたうねりが東北地方に到達すると予想される。

この波源域から東北地方までの距離は約1000海里であるため、約50時間後の28日0時に東北地方に周期15秒で波高2.2mのうねりが到達すると推算した。この推算結果と波浪モデルが予測した東北地方における波高とを比較して、波浪モデルの予測結果に修正が必要であれば、解説資料に修正量を提示している。

2.3 波浪モデル開発計画

短期計画(数年以内)

- 全球波浪モデル・沿岸波浪モデルの高解像度化・高頻度化
- 近海波浪モデル(北西太平洋域)の導入
- 台風ポーガスの改善

中長期計画

- 将来のスーパーコンピュータを活用したさらに高解像度の波浪モデル開発
- データ同化の改善
- 潮汐効果、潮流・海流効果の導入

2.3 波浪モデル開発計画

気象庁では、現業波浪モデルとして、全球波浪モデル、沿岸波浪モデル及び波浪アンサンブルを運用している。

これらの予報精度向上を目指して、高解像度化・高頻度化、台風ポーガスの改善や、北西太平洋域を対象とした現在の沿岸波浪モデル並の解像度を持った近海波浪モデルの導入を数年以内に計画している。

また、中長期計画としては、将来のスーパーコンピュータによる計算性能向上を活用した沿岸域でのさらなる高解像度化や、データ同化の改善、潮汐効果、潮流・海流効果の導入等の開発を行う計画である。

参考文献

- 峯松宏明(2009): 気象庁で現業運用している波浪モデル. 天気, 56, 669-674.
- 合田良実, 永井康平(1974): 波浪の統計的性質に関する調査・解析, 港湾空港技術研究所報告, 13, 3-37.
- 杉本悟史(2007): 新波浪モデルの概略と特性. 平成19年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 28-40.
- 吉田久美・三浦大輔・高野洋雄(2012): 沿岸波浪モデルの統計的検証と改善について. 測候時報, 79, 特別号, S73-S82.
- 高野洋雄(2011): 有義波法による波浪推算 — 現業での利用を目的として —. 測候時報, 78, 185-201
- Bretschneider, C. L.(1970): Forecasting relations for wave generation. Look Lab. Hawaii, 1(3), 31-41
- Fujita, T., 1952: Pressure Distribution within Typhoon. Geophys. Mag., 23, 437-451.
- JMA(2019): OUTLINE OF THE OPERATIONAL NUMERICAL WEATHER PREDICTION AT THE JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY
- Pierson, W. J., Jr., G. Neumann, and R. W. James (1955): Practical Methods for Observing and Forecasting Ocean Waves by Means of Wave Spectra and Statistics, H. O. Publication No. 603, U. S. Navy Department, 284 pp.
- Sverdrup, H. and Munk, W. H. (1947): Wind, Sea, and Swell: Theory of relations for forecasting. U.S. Navy Hydrographic Office, Washington, No.601

3. 令和元年台風シーズンの事例検証

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 1 令和元年台風第15号の経路

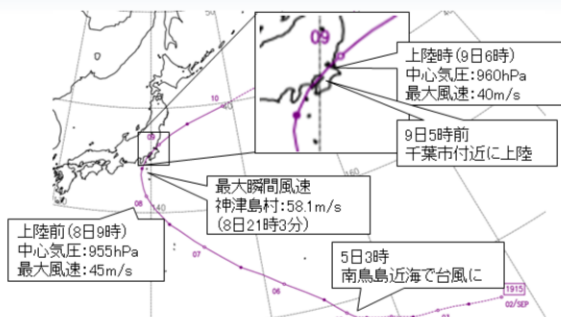


図3.1.1 台風第15号の経路図

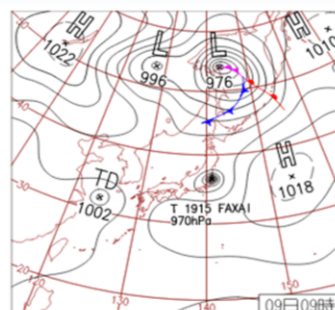


図3.1.2 9月9日9時の地上天気図

- ・ 非常に強い勢力となって伊豆諸島に接近後、東京湾を北上。強い勢力で9日5時前に千葉市付近に上陸
- ・ 房総半島を中心とした各地で暴風等による甚大な被害が生じ、顕著な災害をもたらした台風として「令和元年房総半島台風」と名称が定められた

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 1 令和元年台風第15号の経路

令和元年9月5日に南鳥島近海で発生した台風第15号は、7日午後には強い勢力で小笠原諸島に接近した後、8日午後には非常に強い勢力となって伊豆諸島に接近した。その後、東京湾を北上し、強い勢力で9日5時前に千葉市付近に上陸した。上陸時の中心気圧は960hPa、最大風速は40m/sであった。この台風の接近・通過に伴い、房総半島を中心とした各地で暴風等による甚大な被害が生じ、顕著な災害をもたらした台風として「令和元年房総半島台風」と名称が定められた。

最大風速は神津島村で43.4m/sを観測するなど伊豆諸島と関東地方南部の6地点で最大風速30m/s以上の猛烈な風を観測し、関東地方を中心に19地点で最大風速の観測史上1位の記録を更新した。最大瞬間風速は神津島村で58.1m/sを観測するなど伊豆諸島と関東地方南部の3地点で最大瞬間風速50m/s以上を観測し、関東地方を中心に19地点で最大瞬間風速の観測史上1位の記録を更新した。

(出典)

気象庁 | 報道発表資料 令和元年に顕著な災害をもたらした台風の名称について
参考資料:

https://www.jma.go.jp/jma/press/2002/19a/20200219_typhoonname.html

台風経路図: <https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1915.png>

台風位置表: <https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1915.pdf>

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 2 全般情報で高波の嚴重警戒を呼びかけ

令和元年 台風第15号に関する情報 第56号
令和元年9月8日17時08分 気象庁予報部発表

強い台風第15号は、強い勢力を維持し暴風域を伴って8日夜遅くから9日明け方にかけて関東地方または静岡県に上陸し、9日昼前にかけて関東甲信地方を通過する見込みです。首都圏を含め、記録的な暴風となるおそれがあります。暴風やうねりを伴った高波に嚴重に警戒し、土砂災害、低い土地の浸水、河川の増水や氾濫に警戒してください。

9月8日17時時点の予想

		8日				9日							
		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	
		少	多	波高	波高	波高	波高	波高	波高	波高	波高	波高	波高
大雨・洪水 最大1時間雨量 (mm)	関東甲信地方 (伊豆諸島を除く)	30	30	30	20	30	35	30	20	20			
	伊豆諸島	30	30	30	20	30	35	30	20	20			
	関東地方	30	30	30	20	30	35	30	20	20			
	東北地方												
暴風 最大風速 (メートル)	関東甲信地方 (伊豆諸島を除く)	15	25	40	40	35	35	25	15	12			
	伊豆諸島	30	40	40	20	20	15	15	15	15			
	関東地方	30	40	40	20	20	15	15	15	15			
	東北地方												
波浪 (メートル)	関東甲信地方 (伊豆諸島を除く)	3	4	5	5	6	7	7	6	6	4	3	
	伊豆諸島	6	7	9	9	8	6	6	5	4	3	2	
	伊豆諸島	10	10	10	8	7	5	4	3	3			
	伊豆諸島	7	9	9	8	6	4	3	3	3			
高波	関東甲信地方 (伊豆諸島を除く)												
	伊豆諸島												
	伊豆諸島												
	伊豆諸島												

次の「令和元年 台風第15号に関する情報（総合情報）」は8日23時頃に発表する予定です。

図3.13 8日17時発表の「令和元年 台風第15号に関する情報（総合情報）」

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 2 全般情報で高波の嚴重警戒を呼びかけ

8日17時予報部発表の「令和元年 台風第15号に関する情報（総合情報）」（図3.1.3）では、台風が強い勢力を維持したまま関東地方または静岡県に上陸する見込みであり、暴風とともにうねりをともなった高波にも嚴重に警戒するよう呼びかけていた。

また、8日11時予報部発表の「令和元年 台風第15号に関する関東甲信地方気象情報」では、より細かな地域区分で関東甲信地方の予想波高について記載しており、相模湾では最大波高7m、東京湾（神奈川県三浦半島）では7m、東京湾（千葉県君津）では6m、東京湾では4mを予想するとともに、全般情報と同じくうねりをともなった高波にも嚴重に警戒するよう呼びかけていた。

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 3 波高の観測値

表3.1.1 東北・関東・東海 最大波高3m以上の観測
(2019年9月8日0時～9日24時)

地点名	観測日時(JST)	波高(m)
福島県沖	2019/9/9 10:40	6.91
三重尾鷲沖	2019/9/8 20:20	6.06
御前崎	2019/9/8 19:20	5.73
小名浜	2019/9/9 10:00	4.91
石廊崎	2019/9/8 19:00	4.74
下田	2019/9/8 20:40	4.64
宮城中部沖	2019/9/9 15:00	4.10
第二海堡	2019/9/9 2:40	3.27
岩手南部沖	2019/9/9 17:40	3.09
宮城北部沖	2019/9/9 16:40	3.04
岩手中部沖	2019/9/9 5:20	3.04

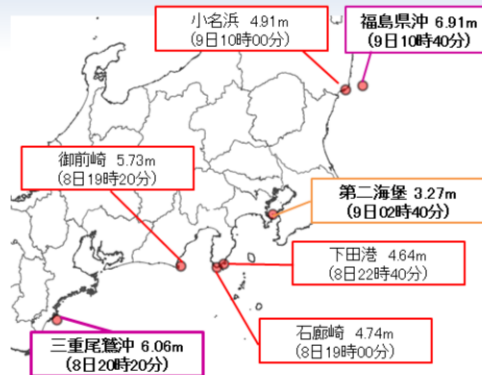


図3.1.4 表3.1.1の観測地点と最大波高
(地図:地理院地図(電子国土Web)を加工して作成)

- 東京湾に設置されている第二海堡(1991年1月観測開始)では、最大波高3.27mを観測。これは2017年の全国港湾海洋波浪観測年報記載の既往最大有義波高2.78mを上回る値となった。

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 3 波高の観測値

台風が接近・通過した2019年9月8日から9日において、東北地方、関東地方、東海地方で最大有義波高3m以上を観測した地点を表3.1.1に示す。観測地点は、石廊崎のみ気象庁所管、その他は港湾局所管の地点であり、各地点の位置関係は図3.1.4に示す。なお、気象庁の波浪データは確定値、港湾局の波浪データは速報値である(2020年7月15日時点)。

台風第15号の接近・通過に伴い、東北地方、関東地方、東海地方では、7地点で最大有義波高4m以上を観測し、特に三重尾鷲沖(6.06m)と福島県沖(6.91m)の2地点では波高6m以上を観測した。また、東京湾内に設置されている第二海堡でも、台風第15号が東京湾を北上した8日未明に最大波高3.27mを観測しており、これは2017年の全国港湾海洋波浪観測年報記載の既往最大有義波高2.78mを上回る値となった。

(出典)

全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2017):

<https://www.pari.go.jp/unit/kaisy/files/items/6102/File/No.1357.pdf>

過去データ | リアルタイムナウファス: 国土交通省港湾局 全国港湾海洋波浪情報網: <https://nowphas.mlit.go.jp/pastdata>

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 4 現地調査の推測波高(東京湾)

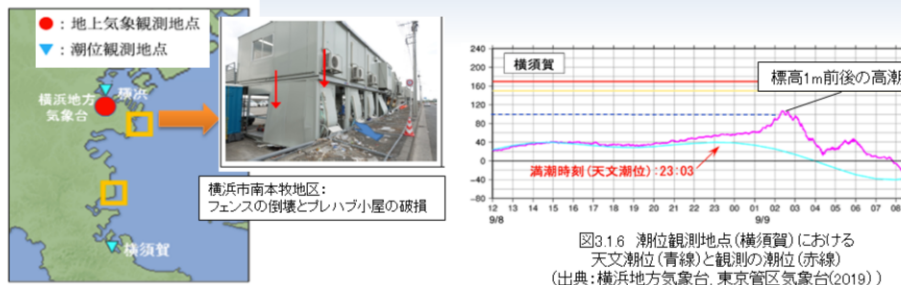


図3.1.5 横浜市臨海部での現地調査地点(橙枠)と被害写真
(出典:横浜地方気象台, 東京管区気象台(2019))

図3.1.6 潮位観測地点(横須賀)における
天文潮位(青線)と観測の潮位(赤線)
(出典:横浜地方気象台, 東京管区気象台(2019))

- ・ 高波による浸水の痕跡や護岸の測定高から高波が標高4mを超える高さであったことを確認

- ・ 台風が最も接近していた時刻に近い9日午前3時前後には標高1m前後の高潮を観測
- ・ 沿岸波浪モデルの解析値から、東よりの強風により有義波高で3m近い高波と推測

→ これらの高潮・高波が合わさって、標高4mを超える高さに

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 4 現地調査の推測波高(東京湾)

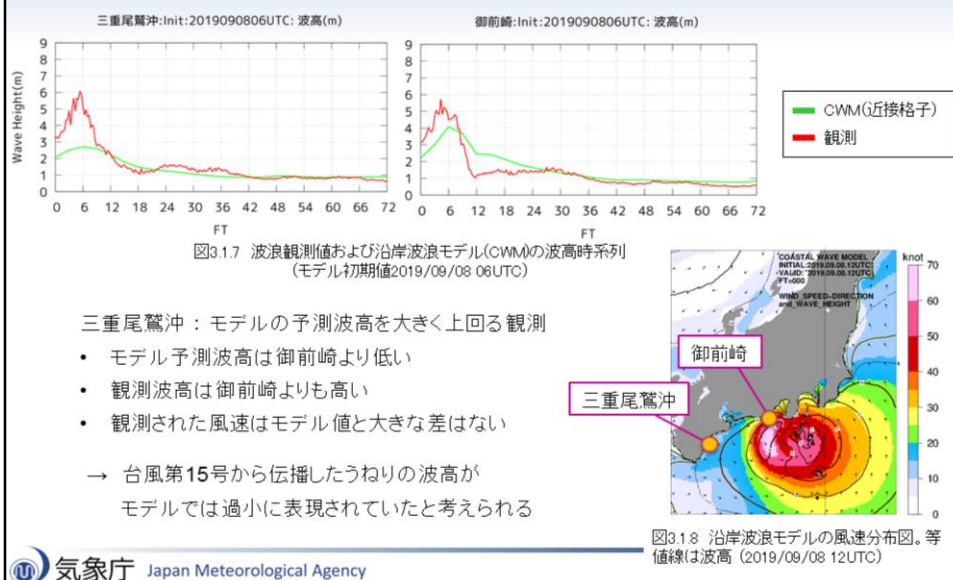
台風第15号が東京湾を通して千葉県に上陸したことにより、内湾にあたる横浜市臨海部でもフェンスの倒壊、プレハブや護岸の損傷、浸水など顕著な沿岸波浪害が発生した。図3.1.5は現地調査地点と付近の地上気象および潮位観測点、横浜臨海部での被害写真である。

今後の波浪予報における知見を得るために、台風通過後の2019年9月13日と19日に横浜地方気象台および東京管区気象台により、高波による浸水痕跡の高さの測定、聞き取り等の現地調査が行われた(横浜地方気象台, 東京管区気象台(2019))。

浸水の痕跡や護岸の測定高から、横浜市臨海部に到達したと考えられる高波は標高4mを超える高さであったことが確認された。今回の台風が最も接近していた時刻に近い9日午前3時前後には、付近の潮位観測地点で標高1m前後の潮位が観測されていた(図3.1.6)。また、沿岸波浪モデルの解析値により東よりの強風により有義波高で3m近い高波になっていたと推測される。痕跡や測定高より確認された標高4mの高波は、これらの高潮・高波が合わさって発生したものと考えられる。

3.1 令和元年台風第15号

3.1.5.1 東海地方での時系列図



3.1 令和元年台風第15号

3.1.5 東海地方での時系列図

東海地方での波高観測値及び沿岸波浪モデル(CWM)による予測値の時系列図を図3.1.7に示す。観測地点は三重尾鷲沖(図3.1.7(左))および御前崎(図3.1.7(右))の2地点である。赤の実線で観測波高(速報値)、緑の実線でモデル近接格子の予測波高を示している。モデルの初期時刻は、両地点の期間最大波高起時(9月8日20時前後)のおおむね6時間前にあたる2019年9月8日06UTCである。

2019年9月8日から9日にかけての期間最大波高は、三重尾鷲沖では6.06m(2019/9/8 20:20)、御前崎では5.73m(2019/9/8 19:20)であった(表3.1.1)。三重尾鷲沖付近のモデル格子の予測値では、9月7日00UTC以降の初期値では期間最大波高3m程度と、いずれも観測値よりも3m程度低い予測であった。御前崎付近のモデル格子では、初期値によってやや差はあるものの期間最大波高としては概ね4m～4m後半の値を予測しており、9月8日06UTC初期値では期間最大波高4m程度と観測よりも1m程度低い波高を予測していた。

三重尾鷲沖は御前崎よりも台風中心から離れており、台風第15号が日本へ上陸する前の8日にはモデルの地点予測は御前崎よりも三重尾鷲沖のほうが概ね低い波高を予測している。しかし、波浪の観測では、御前崎よりも三重尾鷲沖の方が高い波高を観測していた。モデルの風速分布図(図3.1.8)を見ると、モデルでは御前崎付近では北よりの風40kt前後、対して三重尾鷲沖付近では北また西よりの風10～20kt程度が表現されていたことが分かる。

なお、両地点付近の地上気象観測地点である尾鷲と御前崎での9月8日および9日の日最大風速は、尾鷲で10m/s弱、御前崎で10m/s強と、三重尾鷲沖付近の地上風は御前崎、そしてモデルに比べて顕著に風速が強いわけではない。

また、三重尾鷲沖と御前崎付近でのモデルの海上風の差は20kt以上あるが、地上観測では5m/s程度(おおそ10kt程度)の差に留まっていた。海上における風速と地上での風速を同一として比較することは難しいものの、地上気象観測地点が2地点とも沿岸付近に設置されており地表による風への影響が比較的少ないであろうことを考慮すると、御前崎では付近のモデルの海上風が実況より強く表現されていたために風浪の予測が過大となっていた可能性がある。

周期を見てみるとは両地点ではモデル・観測とも周期10秒以上の周期の長いうねりが表現されており、三重尾鷲沖付近での実況風がモデルに比べて顕著に強いわけではなかったことを踏まえると、台風第15号から三重尾鷲沖へ伝播したうねりの波高がモデルでは過小に表現されていたと考えられる。

(出典)

気象庁 | 過去の気象データ検索 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 5. 2 波浪実況図

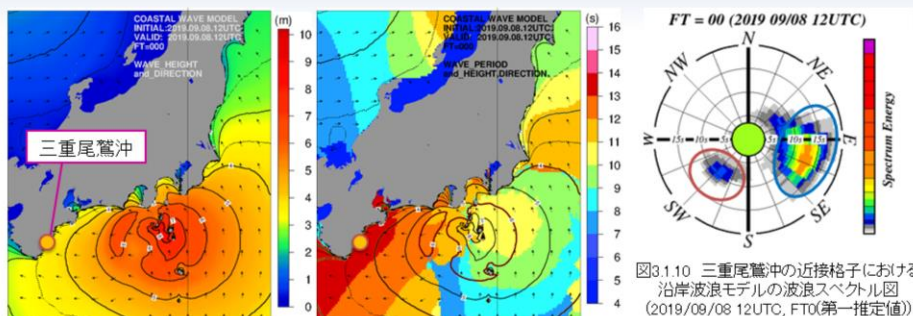


図3.1.9 沿岸波浪モデルの波高(左図)および周期(右図)分布図。ともに等値線は波高。(2019/09/08 12UTC解析値)

図3.1.10 三重尾鷲沖の近接格子における沿岸波浪モデルの波浪スペクトル図(2019/09/08 12UTC, FT0(第一推定値))

- ・ 台風の西側である東海地方では台風第15号からの東～南東からの周期の長いうねりが伝播
- ・ 三重尾鷲沖では、南西の周期の短い風浪に比べ、うねりが卓越していた様子が分かる

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 5. 2 波浪実況図

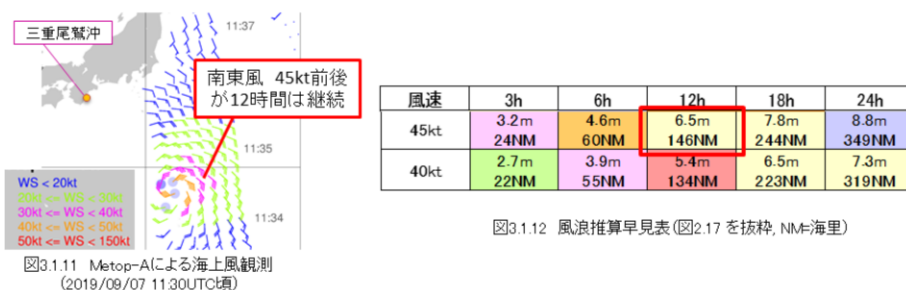
図3.1.9は9月8日12UTCのモデル解析値による波高および周期の分布図である。風速の分布図については、図3.1.8を参照されたい。

波浪の分布図をみると台風中心では波高5m以上の領域が広がっており、この図の波向きを見ると台風の東側では南からの波、台風の西側では東からの波が卓越していることが分かる。図3.1.8で示した風速分布図を見ても、台風の東側では南よりの風による風浪が卓越していると考えられる。一方、台風の西側では図に示される波向きは東である。ここで周期の分布図を見ると、台風西側を中心に周期11秒以上の波が表現されており、台風の西側では台風第15号から伝播した周期の長いうねりが卓越していることが分かる。図3.1.10の三重尾鷲沖にある波浪計のモデル近接格子における波浪スペクトル図を見ても、三重尾鷲沖では東～南東から周期の長いうねりが伝播し(図中青楕円部)、この時の南西風による風浪(図中赤楕円部)に比べると、うねりが卓越している様子が表現されていた。なお、波浪スペクトル図については、解析値ではなく第一推定値である。

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 5. 3 うねりの推算

三重尾鷲沖ではモデル予測(約3m)よりも観測(約6m)が高い実況



台風第15号の波源推定(9月7日21時)

- ・ 台風の南東側で45ktが12時間以上継続
- ・ 波浪推算表より三重尾鷲沖を指向する風浪波源は6～7m程度

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 5. 3 うねりの推算

三重尾鷲沖では、図3.1.7から分かるようにモデルの地点予測の3m程度に比べて観測では6m程度と、モデルで予測された波高は実況に対し不足していた。

第2節で述べた通り、海上での風の実況や台風の強度の経過等をもとに、発達した風浪(波源)の位置、高さを推定することで、SMB法により波源から伝播するうねりの到達時刻やうねりの高さ、周期を推定することができる。

台風が太平洋を北西進していた9月7日21時には台風周辺で南東風45kt前後が衛星により観測されていた(図3.1.11)。その後8日9時にかけて台風の南東風域で衛星観測はなかったものの、台風の強さの階級が「強い」から「非常に強い」に上がっており南東風45ktは継続していたであろうこと、また台風がこの期間北西進しており南東風による吹送距離が十分に取れていたことを考慮すると、図3.1.12の風浪推算表より三重尾鷲沖を指向する風浪波源は6～7m程度はあったと推算される。

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 5. 3 うねりの推算

三重尾鷲沖ではモデル予測(約3m)よりも観測(約6m)が高い実況

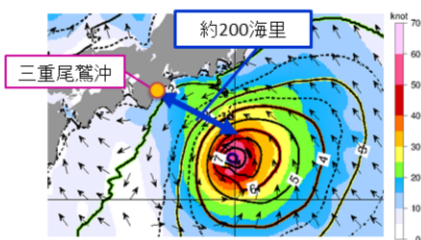


図3.1.13 沿岸波浪モデルの風速分布図。等値線は波高 (2019/09/08 00UTC 解析値)

0h		12h		24h
8.0m		6.4m		5.1m
11.0s	209NM	12.0s	437NM	13.0s
6.0m		4.7m		3.7m
10.0s	191NM	11.0s	400NM	12.0s

図3.1.14 うねりの推算早見表 (図2.19を抜粋, NM=海里)

台風第15号からのうねり推定

波源波高が6～7mの場合、12時間後(9月8日9時頃)には
推算表より、波高5m前後、周期11～12秒のうねりが三重尾鷲沖に到達

3. 1 令和元年台風第15号

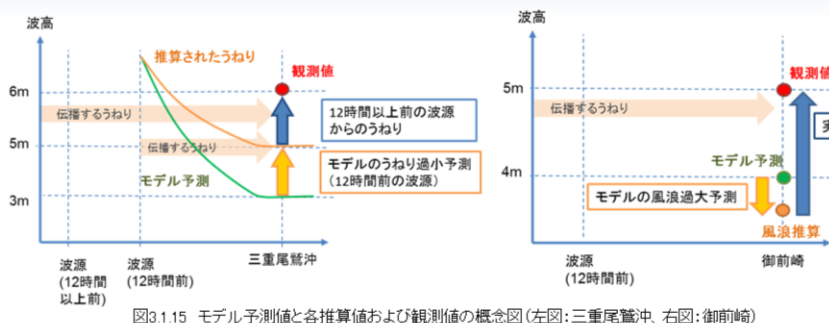
3. 1. 5. 3 うねりの推算

図3.1.13は8日00UTCのモデルで解析された波高の分布図であるが、解析された波高と前述した三重尾鷲沖を指向する風浪波源の推定波高(6～7m程度)に大きな差はない。

推定した波源をもとに図3.1.14でうねりの推算を行うと、波源波高が6～7mの場合は、12時間後には波高5m前後、周期11～12秒のうねりが波源から約200海里に到達すると考えられる。

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 5. 3 うねりの推算



モデル予測よりも観測が高い実況となった要因

- ・ 三重尾鷲沖：今回推算した時刻 + その前の時刻の波源からのうねりがモデルで過小予測
- ・ 御前崎：モデルの風浪は過大予測であったが、実際のうねりはそれを上回っていた

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 5. 3 うねりの推算

三重尾鷲沖では8日から9日の最大有義波高は8日20時20分に観測された波高6.06mであり、このときの周期13.1秒であった。台風第15号からのうねり波高として比べると、推定した波高5mは観測波高に対してやや不足する。しかし、周期の長さから考えると、推定した波源の時刻(8日9時)よりも前時刻の波源からのうねりも三重尾鷲沖に到達していた可能性があり、実況では今回推定したうねり波高とそれより前時刻の波源から伝播してきたうねりが重なり合ったために、推定したうねりの波高5m前後よりも観測波高の方が高くなっていると考えられる。

第2節でモデル特性として弱風時のうねり過小について述べたが、この事例についても三重尾鷲沖では北よりの風が10～20kt程度と、うねりの波向きとは異なりかつ弱風場であったために、台風第15号からのうねりが過小に表現されていたと考える。なお、御前崎では、3. 1. 5. 1にて述べた通りモデルの風浪が過大であった可能性がある一方、三重尾鷲沖と同様にモデルで表現された台風第15号からのうねりが過小に表現されており、モデルで過大となった風浪波高を大きく上回るうねり波高が観測では到達していたため、モデル予測よりも観測の波高が高くなっていたと考えられる。両地点のモデル予測値と各推算値および観測値の概念図を図3.1.15に示す。

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 6. 1 東京湾西部での時系列図

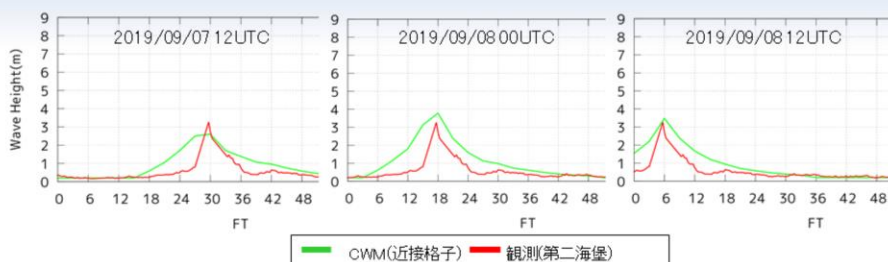


図3.1.16 波浪観測値(第二海堡)および沿岸波浪モデル(CWM)(東京湾西部)の波高時系列



図3.1.17 東京湾西部と第二海堡の位置
(地図:地理院地図(電子国土Web)を加工して作成)

各初期値の最大波高について比較

- ・ 7日12UTC: 第二海堡での観測波高よりも不足
- ・ 8日00UTC: モデルの最大波高が3m後半、観測より+0.5m程度
- ・ 8日12UTC: 前初期値に比べてモデルと観測の差は減少

→ モデルの予測波高がより実況に合うように改善されている

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 6. 1 東京湾西部での時系列図

図3.1.16は、第二海堡で観測された波高とその付近のモデル格子(以下東京湾西部)における予測波高の時系列である。両者の位置関係は図3.1.17に示す。

東京湾西部におけるモデル予測を複数の初期値についてみると、9月7日12UTC初期値では期間最大波高が第二海堡での観測値(3.27m)よりも不足していたが、12時間後の8日00UTC初期値では最大波高が3m後半とこれらを+0.5m程度上回る予測となった。その12時間後の8日12UTC初期値では、8日00UTC初期値の予測よりはやや下がり、前初期値に比べてモデルと観測の差は小さくなっている。このような初期値による予測波高のブレは、初期値ごとに最新の台風情報を基にした海上風および台風進路がモデルに取り入れられるとともに、ブイや船舶、衛星といった波高の観測値をモデルに同化することでモデルの予測波高がより実況に合うように改善されることによるものと考えられる。

また、この事例では波高が最も高くなる時刻がおよそ30時間前から上手く予測できていた一方で、いずれの初期値も観測より半日程度早く波高が上昇し始めており、最大波高の観測後も波高が1m程度まで低下する時刻も観測よりも半日程度遅いという特徴があった。

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 6. 2 波浪実況図(東京湾)

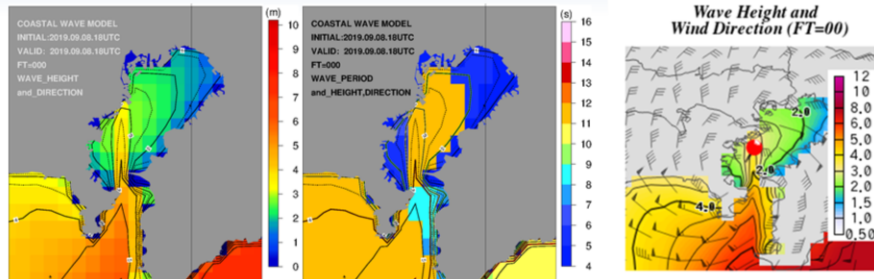


図3.1.18 沿岸波浪モデルの波高(左図)および周期(右図)分布図。ともに等値線は波高。(2019/09/08 18UTC解析値)

図3.1.19 沿岸波浪モデルの風速および波高分布図 (2019/09/08 18UTC解析値)

東京湾における実況図

- ・ 浦賀水道から東京湾内へと周期の長いうねりが伝播
- ・ 第二海堡の観測値とも整合

3. 1 令和元年台風第15号

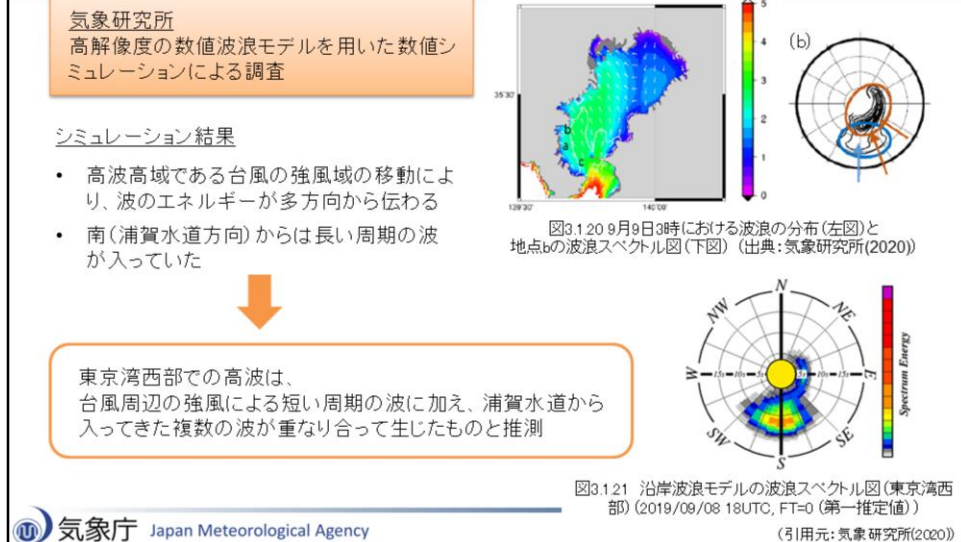
3. 1. 6. 2 波浪実況図(東京湾)

東京湾付近の波高および周期の分布図を図3.1.18に、風速風向を矢羽根で示した分布図を図3.1.19に示す。時刻はいずれの図も9月8日18UTCの解析値である。

波浪および周期の分布図をみると周期の11秒以上のうねりが浦賀水道から東京湾内へと伝播している様子が分かる。この時の風の分布図を見ると、台風中心はちょうど東京湾に進んだところで、東京湾西部の周辺では北～西、または南よりの風が表現されている。東京湾西部よりやや南に位置する第二海堡でも、同時刻に観測された周期は8秒程度とそれまでの時刻での周期4～6秒程度の観測周期に比べ周期は長くなっており、モデルは観測と同じく台風周辺のうねりが東京湾内へも伝播してきた様子をうまく表現できていたと考える。

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 6. 3 気象研究所によるシミュレーション調査



3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 6. 3 気象研究所によるシミュレーション調査

気象研究所では台風第15号による東京湾西部での高波の発生要因を明らかにするために、高解像度(東京湾における格子間隔は400m)の数値波浪モデルを用いた数値シミュレーションによる調査が行われている(気象研究所(2020))。この調査によると、東京湾西部(神奈川県海岸部)での有義波の波高は2~3m、周期は6~7秒といずれも湾内では大きな値であったと推定されている。また、シミュレーションによる波浪スペクトル図の解析により、東京湾西部では高波時には台風の強風域の移動により波のエネルギーが多方向から伝わるとともに、南(浦賀水道方向)から長い周期の波が入っていたことが明らかになった(図3.1.20)。このことより、台風第15号による東京湾西部での高波は、浦賀水道からの長い周期の波に加えて、複数の方向からくる台風周辺の強風による短い周期の波が合わさったためであると推定されている。

図3.1.21に示した沿岸波浪モデルの東京湾西岸における波浪スペクトル図でも、気象研究所のシミュレーション調査の報告とおおむね同様に、浦賀水道から入った台風第15号からのうねり(長い周期の波)と、台風周辺の強風による風浪(短い周期の波)が表現されていた。

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 7 沿岸防災解説資料

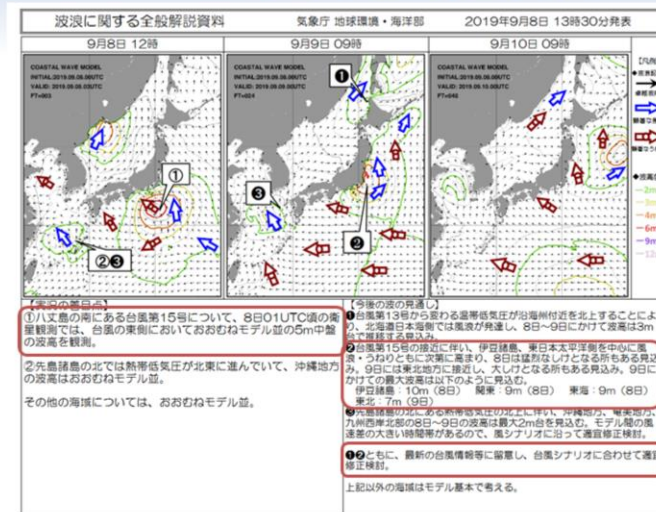


図3.1.22 2019年9月8日 13時30分発表 波浪に関する全般解説資料

3. 1 令和元年台風第15号

3. 1. 7 沿岸防災解説資料

海洋気象情報室が2019年9月8日13時30分に提供した「波浪に関する全般解説資料」(図3.1.22)では、台風第15号に関して、実況の着目点として衛星観測による台風周辺の波高を記載(①部)し、今後の波の見通しとして台風第15号の接近に伴う翌日9日にかけて各地方で見込まれる最大波高のシナリオを示し、本文においてはこの台風のシナリオに合わせてモデルを修正するようコメントしていた。

特に台風時の予報作業においては、台風周辺から伝播するうねり波高の影響が大きいことが多いため台風が沿岸から離れている時刻に観測される波高にも留意すること、波浪モデルの初期値は6時間ごとの予測のため、全般情報で発表される台風の位置や中心気圧などの台風のシナリオに合わせてモデルを随時修正していく必要があることに注意が必要である。

(留意点)

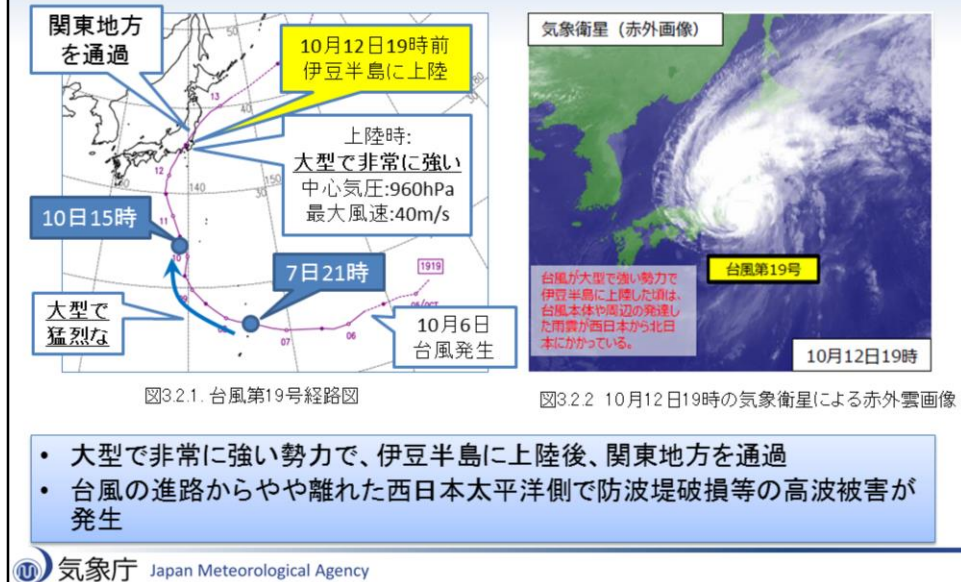
図3.1.22の「波浪に関する全般解説資料」は、気象支援センターへ提供開始する以前より、気象庁内の担当者向けに提供していた資料です。(<https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/524.pdf>)

参考文献

- 川口浩二, 末廣文一, 藤木峻, 田村仁, 2019: 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 2017), 港湾空港技術研究所資料 No.1357
- 横浜地方気象台, 東京管区気象台, 2019: 令和元年台風第15号による9月9日の神奈川県横浜市における高波に関する現地調査, https://www.jma-net.go.jp/yokohama/koumoku/20191003_takanamichosa.pdf
- 気象研究所, 2020: 令和元年房総半島台風による東京湾西部での高波について, https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R01/020330/oshirase_seika200330-1.pdf

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 1 令和元年台風第19号の経路



3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 1 令和元年台風第19号の経路

図3.2.1は、台風第19号の経路図を示し、図3.2.2は、10月12日19時の気象衛星赤外雲画像を示している。

10月6日に南鳥島近海で発生した台風第19号は、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時に日本の東で温帯低気圧に変わった。上陸時における中心気圧は960hPa、最大風速は40m/sであった。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 2 全般情報で高波について言及

令和元年 台風第19号に関する情報
2019年10月11日05時18分発表

【防災事項】
＜暴風・高波・高潮＞
小笠原諸島では11日夕方にかけて非常に強い風が吹き、11日夜にかけて猛烈なしけとなるでしょう。また、東日本から西日本の太平洋側では11日夕方から非常に強い風が吹き、台風が接近・上陸する東海地方や関東地方を中心に猛烈な暴風の吹くでしょう。
12日には、東日本を中心に広い範囲で猛烈な風が吹き、東北地方から南西諸島にかけて広い範囲で猛烈なしけや大しけとなるおそれがあります。

12日にかけて予想される最大風速（最大瞬間風速）は、
東海地方 4.5メートル（6.0メートル）
関東甲信地方 4.0メートル（6.0メートル）
近畿地方 3.0メートル（4.5メートル）
東北地方 2.5メートル（4.0メートル）
北海道地方、四国地方、小笠原諸島 2.5メートル（3.5メートル）
中国地方 2.3メートル（3.5メートル）
九州北部地方 2.2メートル（3.5メートル）
北海道地方、九州南部 2.0メートル（3.0メートル）

12日にかけて予想される波の高さは、
東海地方、関東地方、伊豆諸島 1.3メートル
近畿地方、小笠原諸島 1.0メートル
東北地方、四国地方 0.9メートル
北海道地方、中国地方、九州北部地方、沖縄地方 0.6メートル
九州南部、奄美地方、沖縄地方 0.4メートル

です。
暴風やうねりを伴った高波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
2019年10月12日04時57分発表

【防災事項】
＜暴風・高波＞
東日本から西日本の太平洋側の海上では、非常に強い風が吹いています。12日から13日にかけて、北日本から西日本にかけての広い範囲で非常に強い風や猛烈なしけが吹き、台風が接近・上陸する東海地方や関東地方を中心に猛烈な暴風の吹くでしょう。
東日本の太平洋側から沖縄地方にかけては、うねりを伴った大しけとなっており、伊豆諸島や東海地方から四国地方にかけては、猛烈なしけとなっています。12日から13日にかけて、北日本から西日本の太平洋側の広い範囲で、大しけや猛烈なしけとなる所があるでしょう。

13日にかけて予想される最大風速（最大瞬間風速）は、
東海地方、関東甲信地方 4.5メートル（6.0メートル）
東北地方 3.5メートル（5.0メートル）
近畿地方 3.0メートル（4.5メートル）
北海道地方 2.5メートル（4.0メートル）
北陸地方 2.7メートル（4.0メートル）
四国地方、九州北部地方 2.5メートル（3.5メートル）
九州南部地方 2.2メートル（3.5メートル）

13日にかけて予想される波の高さは、
東海地方、関東地方、伊豆諸島 1.3メートル
東北地方 1.1メートル
近畿地方、四国地方 1.0メートル
北海道地方、北陸地方、沖縄地方 0.6メートル
小笠原諸島、中国地方、九州北部地方、沖縄地方 0.4メートル

です。
暴風やうねりを伴った高波に厳重に警戒してください。

10月12日から13日にかけて、広い範囲で6mを超える高波高を予想し、警戒を呼び掛け

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 2 全般情報で高波について言及

11日および12日に発表された令和元年台風第19号に関する全般台風情報では、13日にかけて、北日本から西日本の太平洋側の広い範囲で、6mを超える大しけや9mを超える猛烈なしけとなる所があると予想され、暴風やうねりを伴った高波への厳重な警戒が呼びかけられていた。12日から13日にかけて各地で予想されていた波の高さは、東海地方、関東地方、伊豆諸島で13m、東北地方で11m、近畿地方で10mであった。台風周辺だけでなく、北海道地方や沖縄地方など台風の進路からやや離れた地域においても、6mを超える波高が予想されていた。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 3 波高の観測値

10月12日21時

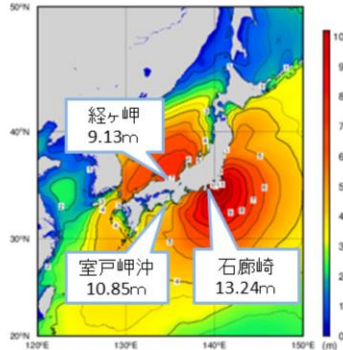


図3.2.3 沿岸波浪実況図
等値線、色は波高の分布を示す。

都道府県	地点名	有義波高	観測日時
静岡県	石廊崎	13.24m	12日 18時00分
高知県	高知室戸岬沖	10.85m	12日 3時20分
福島県	福島県沖	10.01m	13日 0時00分
静岡県	下田港	9.21m	12日 17時40分
京都府	経ヶ岬	9.13m	13日 1時00分
静岡県	御前崎港	8.96m	12日 15時00分

表3.2.1 台風接近時に高波を観測した地点の
有義波高の最大値

- ・ 北日本～西日本太平洋側、日本海側で9mを超える波高を観測
- ・ 経ヶ岬で既往最大有義波高を超える9.13mを観測(観測開始年月:2010年2月)

気象庁 Japan Meteorological Agency

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 3 波高の観測値

図3.2.3に10月12日21時の沿岸波浪図及び沿岸波浪計の観測値を示す。また、表3.2.1は、台風が接近・通過した2019年10月12日から13日において、高波を観測した地点の有義波高の最大値とその観測日時である。観測地点は、石廊崎、経ヶ岬は、気象庁所管、その他は港湾局所管の地点である。なお、気象庁の波浪データは確定値、港湾局の波浪データは速報値である(2020年8月14日時点)。

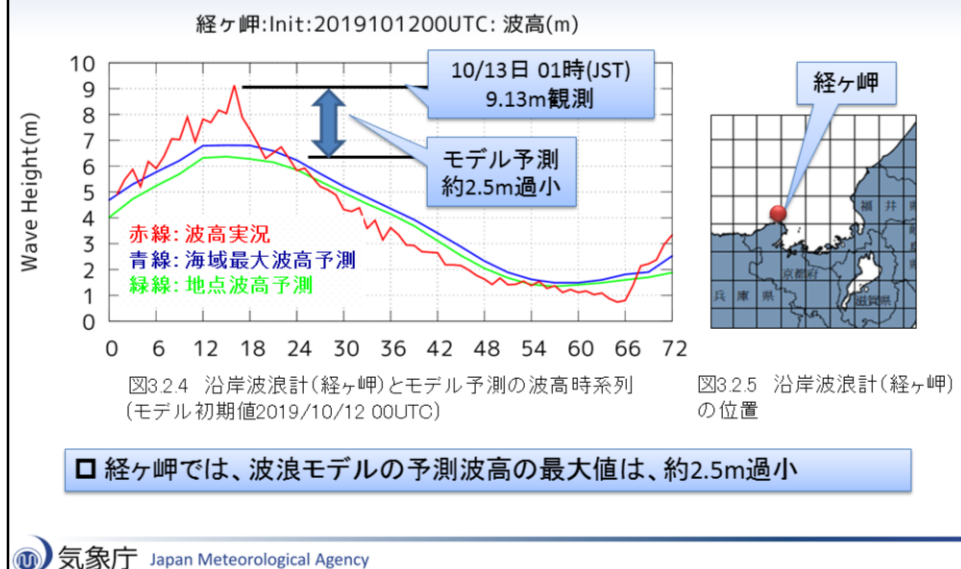
台風が最も接近した静岡県石廊崎では、台風第19号による観測有義波高のうち、最も高い13.24mを観測した。またこれは、既往最大有義波高14.65m(2017/10/23台風第21号)に次ぐ波高である。また、台風の進路からやや離れた西日本の太平洋側でも高波となり、高知県室戸岬沖では10.8mの波高を観測した。また、日本海側においても高波となり、京都府経ヶ岬で12日、既往最大有義波高8.45m(2017/10/23台風第21号)を超える9.13mを観測した。

(出典)

過去データ | リアルタイムナウファス: 国土交通省港湾局 全国港湾海洋波浪情報網: <https://nowphas.mlit.go.jp/pastdata>

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)



3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)

既往最大有義波高を観測した経ヶ岬での波高観測値及び沿岸波浪モデル(CWM)による予測値の時系列図を図3.2.4に示す。赤の実線で観測波高、緑の実線でモデル近接格子の予測波高、青の実線で京都日本海側における予報対象海域の最大波高を示している。モデルの初期時刻は2019年10月12日00UTCである。経ヶ岬では13日01時に9.13mの波高を観測したが、波浪モデルの予測波高は最大6.5mであり、約2.5m過小だった。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)

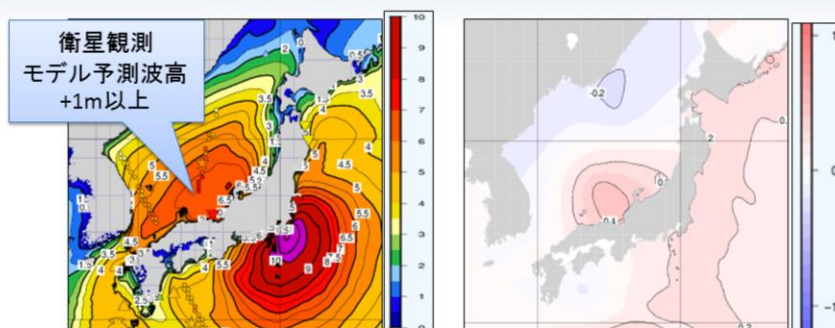


図3.2.6 2019年10月12日12UTCモデル波高第一推定値(左)とデータ同化による修正量(右)(左図の○は衛星観測データ、▽は沿岸波浪系データ、☆はブイデータ)

衛星観測でもモデル予測値+1m以上高い波高を観測
(経ヶ岬付近で局地的に高かったのではない)

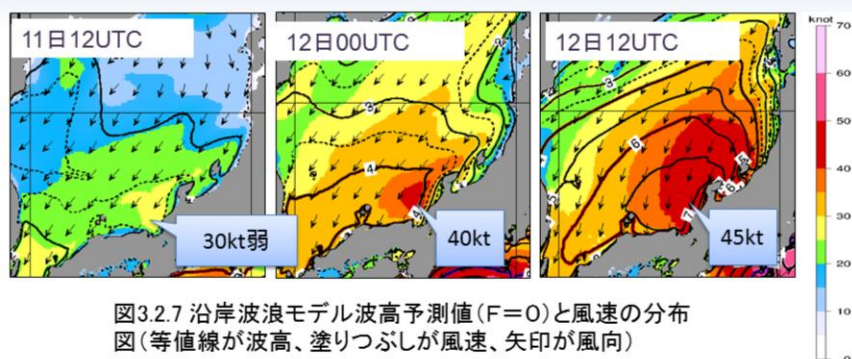
3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)

図3.2.6は、2019年10月12日12UTC初期値のモデルの波高第一推定値(左)とデータ同化による修正量(右)の図である。左図の○は極軌道衛星に搭載された海面高度計で観測された波高である。山陰沖ではモデルより1m以上高い値が観測されており、右図によると経ヶ岬の沿岸波浪計やこれらの衛星データの同化により日本海側で広く上方修正されていた。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)



日本海側は、北よりの強い風が継続し風浪が発達しやすい場

モデルの予測波高過小の要因は、海上風予測の差によるものと推測

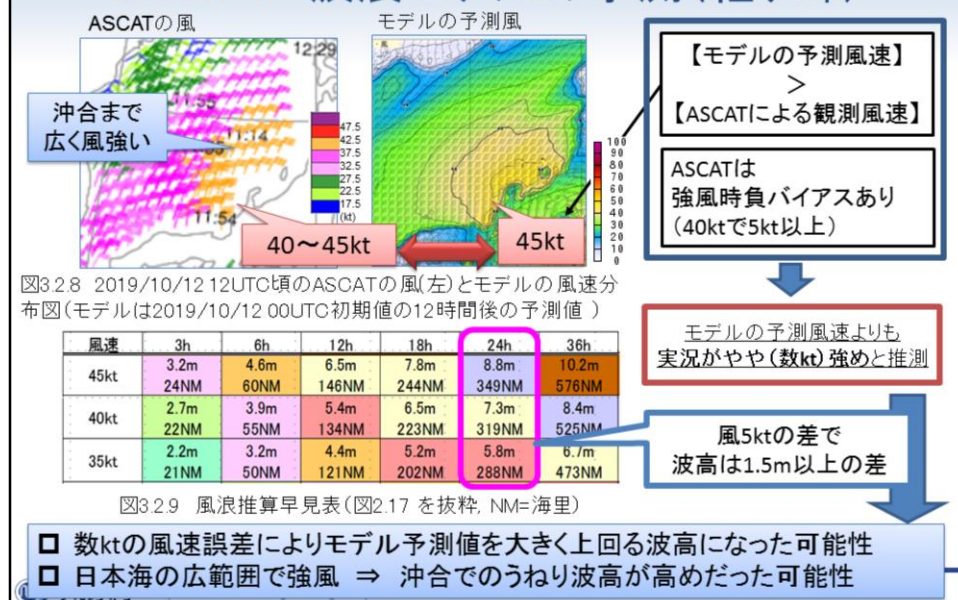
3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)

図3.2.7に、沿岸波浪モデルの初期時刻の波高と風速の分布図を示す。日本海側は11日昼過ぎから北よりの風が吹き始め、11日夜には30kt、12日朝には40kt、12日夜には45kt前後の海上風が予測されており、風が強く、吹続時間も長く風浪の発達しやすい場であった。波浪モデルによる波浪現象の再現性は概して高い一方、精度は海上風の予測に大きく依存する(第2.1.12節参照)ことから、モデルの予測波高が過小となった要因は海上風の予測の差によることが推測されるため、海上風のデータを確認する。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)



3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)

図3.2.8は2019年10月12日12UTC頃のASCATとモデルの風速分布図である。この時間帯のASCATの海上風観測では、40ktを超えているが、モデルは45ktの風を予測しており、モデル予測よりやや弱めとなっている。一方、Chou et al.(2013)によると、ASCATは強風時に負バイアス(40ktで5kt以上)があり、かつ約50kt以上の観測は難しいことが報告されている。この点を考慮すると、モデル予測値よりも観測波高のほうが高めとなった要因は、実際の海上風がモデル予測より強めだったためと考えられる。図3.2.9は、図2.17の風浪推算早見表を抜粋した図である。この表によると、例えば風速40ktの風が24時間続くと風浪の波高は7.3m、35ktの風が24時間続くと風浪の波高は5.8mとなり、5ktの差で波高は1.5mの差となることがわかる。このように、風が強く、吹続時間が長い場合、風速の差に対する波高の差が大きい。今回の事例に関しても北よりの風が長時間続いており、数ktの風速誤差によりモデル予測値を大きく上回る波高となった可能性がある。なお、今回は図3.2.8の通り、沿岸だけではなく日本海の広い範囲で強風となっており、これらの風もモデル予測より強めだった場合、沖合で発達した風浪からのうねりも高めとなった可能性もある。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)

舞鶴市【継続】暴風、波浪警報 大雨、雷、高潮注意報

舞鶴市		今後の推移(●警報継続 ●注意継続)										備考・関連する現象	
発表中の警報・注意報等の種別		12日		13日		14日		15日		16日		17日	
1時間最大雨量(ミリ)		50	50										
大雨	(浸水害)												
	(土砂災害)												
暴風	陸上												
	海上												
波浪	浪高(メートル)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	
	潮位(メートル)	0.8	0.8	0.8									
雷													

図3.2.10 京都府日本海側に位置する舞鶴市における警報・注意報時系列

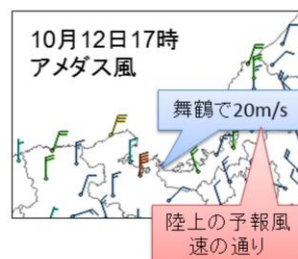


図3.2.11 10月12日17時のアメダス風速

✓ 京都府日本海側の舞鶴市では、海上でモデル予測より強めの25m/sを予想

✓ SMB法による風浪推算表を参考に波高のピークの予想を高めに考えることも可能

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 4 波浪モデルの予測(経ヶ岬)

図3.2.10に10月12日13時21分に京都府日本海側に位置する舞鶴市に対して発表された注意報・警報の時系列を示す。これによると、海上の予想風速は25m/s(50kt)となっており、モデルの予測風速(45kt)より強めの予想となっている。また、陸上の予想風速は20m/sとなっているが、12日17時には京都府舞鶴のアメダスで20m/sを観測しており、実況は、モデル予測値よりやや海上風が強めとなるという予報シナリオに沿って経過しているものと考えられる。このように、モデルの風の予測に対して予報で風を強めに考える場合や、実況で風がモデル予測よりも強めに経過している場合には、図2.17の風浪推算表を参考に波高の予想も合わせて修正を検討する必要がある。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 5 波浪モデルの予測(高知室戸岬沖)

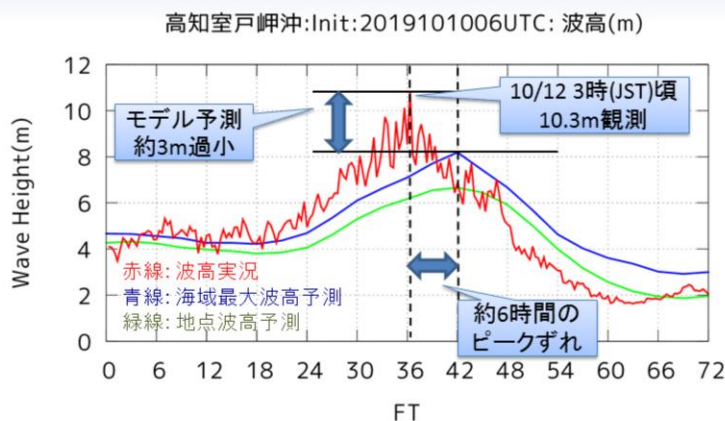


図3.2.12 沿岸波浪計(室戸岬沖)とモデル予測の波高時系列

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 5 波浪モデルの予測(高知室戸岬沖)

続いて、高知室戸岬沖での波高観測値及び沿岸波浪モデルによる予測値の時系列図を図3.2.12に示す。赤の実線で観測波高(速報値)、緑の実線でモデル近接格子の予測波高、青の実線で高知県の予報対象海域の最大波高を示している。モデルの初期時刻は高知室戸岬沖での観測波高ピークにあたる11日18UTC(12日03時JST)頃の1日半前にあたる10日06時UTCである。高知室戸岬沖では、12日03時JST頃に10mを超える波高を観測しているが、モデル予測よりも波高のピークが6時間程度早く、最大波高よりも3m程度高かった。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 5 波浪モデルの予測(高知室戸岬沖)

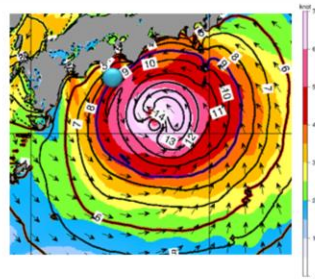


図3.2.13 2019/10/11 18UTC沿岸波浪モデル初期時刻の風と波高分布図

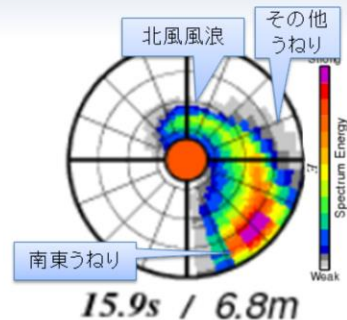


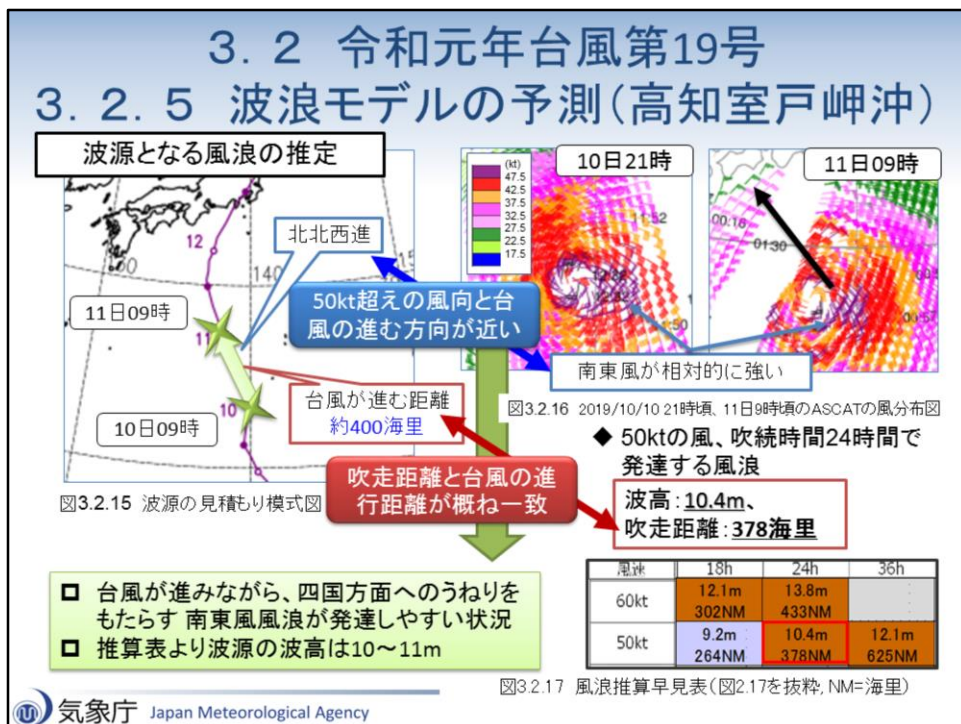
図3.2.14 2019/10/11 18UTC、室戸岬沖(図3.2.13の●地点)における沿岸波浪モデルの波浪二次元スペクトル図(18時間予報値)

- 風浪はモデル予測と実況で同等と推定(約4~5m)
- 南東からのうねりがモデル予測より高めであると推測される

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 5 波浪モデルの予測(高知室戸岬沖)

図3.2.13は2019年10月11日18UTC沿岸波浪モデル初期時刻の風と波高分布図である。モデル予測値分布図から、台風は紀伊半島沖にあり、高知室戸岬沖付近は40ktを超える北よりの風が強まっていることがわかる。また、図3.2.14は2019年10月11日00UTC初期値の11日18時UTCにおける波浪二次元スペクトルである。スペクトルの図から、北よりの風による風浪と台風第19号の中心付近を波源とする南東からの周期の長いうねり等が予測されており、相対的に南東からのうねりが卓越していることがわかる。高知室戸岬沖付近の風の実況は、衛星観測等によると概ねモデル予測並みに経過していたため(図略)、風浪はモデル予測と実況で同等と考え、南東からのうねりが高めだったと推測される。このうねりが四国沿岸に早め・高めに到達した要因を検討する。



3. 2 令和元年台風第19号

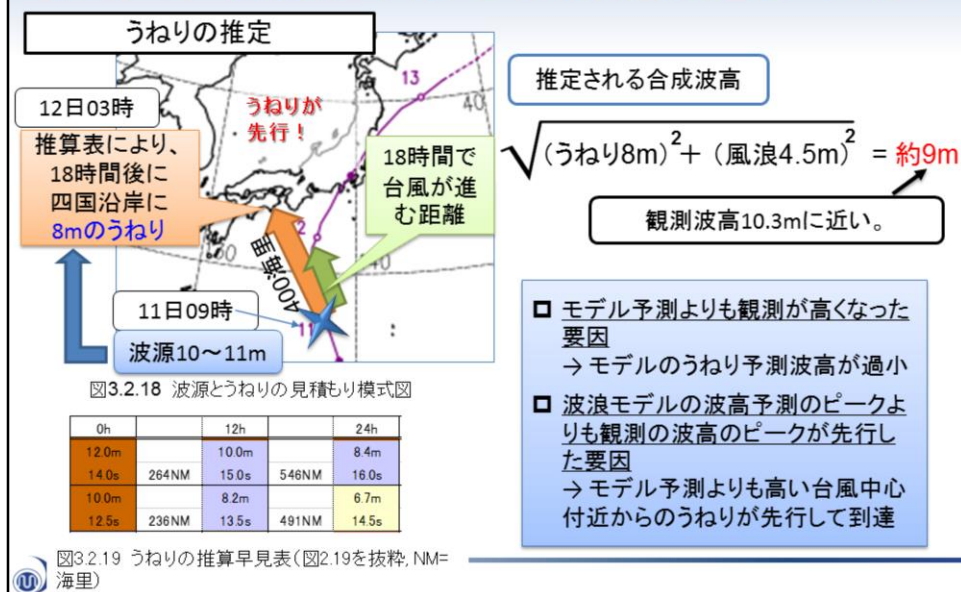
3. 2. 5 波浪モデルの予測(高知室戸岬沖)

前述のとおり、四国沿岸には台風中心付近を波源とする南東からのうねりが高めに到達したとみられる。第2節や第3.1節でも述べた通り、海上での風の実況や台風の強度の経過等を基に、発達した風浪(波源)の位置、波高を推定することで、SMB法により波源から伝播するうねりの到達時刻や波高、周期を推定することができる。

まず、波源となる風浪の波高を推定する。図3.2.15の通り、台風第19号は10日から11日にかけて日本の南の海上を北北西進していたが、この間、図3.2.16に示したASCATで観測された海上風分布によると、台風の周辺で特に南東風の風が強く、広い範囲で50k以上の風が吹いていることがわかる。10日朝から11日朝にかけて50kt前後の風が24時間吹き続けたと仮定すると、11日朝における風浪の波高は、図3.2.17の風浪推算表によると10～11m程度と見積もられる。また、このときの吹送距離は378海里であるが、台風は10日から11日にかけての24時間で、約400海里進んでいる。吹走距離と台風の進行距離がほぼ一致かつ台風の進路と風の吹く方向が一致しており、台風が北上しながら、南東風による風浪が発達しやすい状況だったと考えられる。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 5 波浪モデルの予測(高知室戸岬沖)



3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 5 波浪モデルの予測(高知室戸岬沖)

こうして推測された11日朝における10~11mの風浪を波源とするうねりは、図3.2.18に示した通り波源の位置から四国沿岸までの距離約400海里のため、うねりの推算表(図3.2.19)によると約18時間後の12日未明に波高8m、周期15秒程度で到達すると見積もられる。前述の通り、四国沿岸では北よりの風による風浪が4~5m程度あったと考えられるため、今見積もった台風中心付近からのうねり8mと風浪4~5mを合成すると(すなわち、 $\sqrt{(8(m))^2 + 4.5(m)^2}$)を計算すると、9m程度となり、観測波高の10.3mに近い値となる。1m程度不足しているが、台風周辺域からのうねりの混在、うねりの波源が先に推定した波高よりも高かった可能性等が考えられる。以上より、今回四国沿岸でモデル予測より高い波高を観測したのは、波浪モデルにおけるうねりの予測波高が過小だったものと考えられる。また、図3.2.18の橙色の矢印は11日09時から18時間かけてうねりの進んだ距離、緑色の矢印は同じ時間を台風が進んだ距離を表し、台風の進行速度よりもうねりの伝播速度の方が早いことがわかる。今回モデルのピークよりも波高の高まりが6時間程早かったが、これは、モデルより高いうねりが先行して到達したためと考えられる。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 6 波浪モデルの予測(石廊崎)

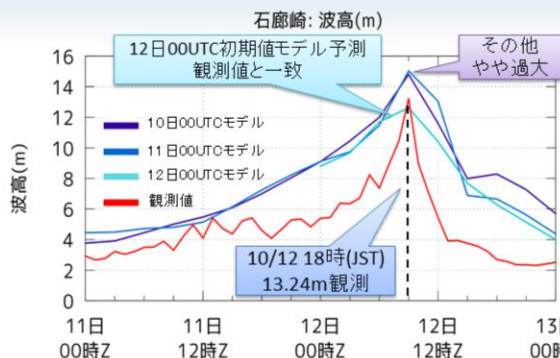


図3.2.20 沿岸波浪計(石廊崎)と波浪モデルの静岡
予報海域の有義波高最大値時系列図



図3.2.21 台風経路図と
石廊崎観測点の位置

- 石廊崎では、直近の初期時刻における波浪モデルの予測波高は概ね観測と一致
- 古い初期時刻のモデル予測はやや過大

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 6 波浪モデルの予測(石廊崎)

続いて、台風が伊豆半島に上陸する1時間前の10月12日に最大波高13.2mを観測した石廊崎での波高観測値及び沿岸波浪モデルによる予測値の時系列図を図3.2.20に示す。赤の実線で観測波高(速報値)、図に示した色で、10日00UTC初期値、11日00UTC初期値、12日00UTC初期値の波浪モデルの静岡県の予報海域における有義波高の最大値を示している。有義波高の最大値を観測した直前の12日00UTC初期値の波浪モデルの有義波高の最大値は概ね観測値と一致している。一方、10日00UTC初期値、11日00UTC初期値の波浪モデルの有義波高の最大値は、やや過大となっている。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 6 波浪モデルの予測(石廊崎)

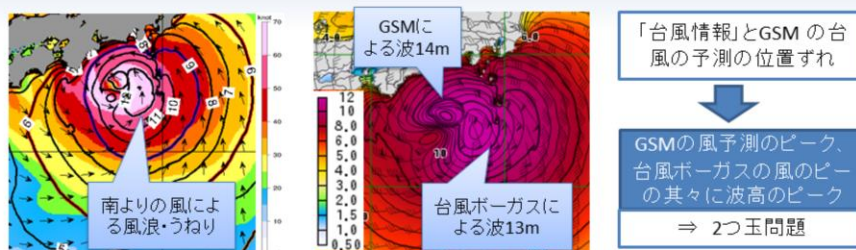


図3.2.22 12日12時JSTにおける風と波高の沿岸波浪モデル予測分布図。12日00UTCを初期値とした3時間予測値(左)及び11日00UTCを初期値とした15時間予測値(右)。

□ 12日00UTC初期値のモデル:
台風中心の南よりの風による風浪・うねりを適切に予測

11日00UTC初期値のモデル:

- GSMの風予測値による波高値が採用され、観測に対し過大
- 台風ポーガスの風による波高値を採用する必要あり

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 6 波浪モデルの予測(石廊崎)

図3.2.22は12日12時JSTにおける風と波高のモデル予測分布図である。左が12日00UTC初期値の波浪モデルの3時間予測値である。石廊崎では、台風右側の南よりの風による風浪が発達しており、台風接近に伴いこの風浪及びうねりによって波高が高まったとみられ、適切に予測されているものと考えられる。

一方、11日00UTC初期値のCWMでは、第2節で述べた台風ポーガス(台風情報を基に作成)とGSMの進路予想に若干の差があり、GSM風予測値の風速ピークに対応する波高ピークと台風ポーガスによる波高のピークがそれぞれ現れている。この状態を「2つ玉」と呼んでいる。今回の場合、発表された「台風情報」よりもGSMの風予測値のほうが強くなっている。10日00UTC初期値のCWMも同様である(図略)。第2節で示したように、波の予想は「台風情報」に基づいて行うため、GSMの風予測値による波高値ではなく、台風ポーガス風による波高値を採用する必要がある。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 7 東京湾での波の状況

令和元年台風第19号と令和元年台風第15号の比較

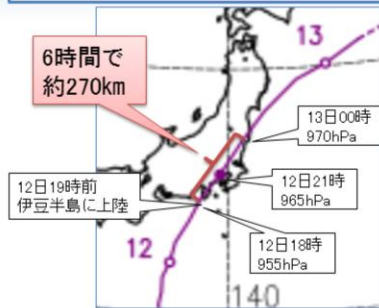


図3.2.23 台風第19号の台風経路図

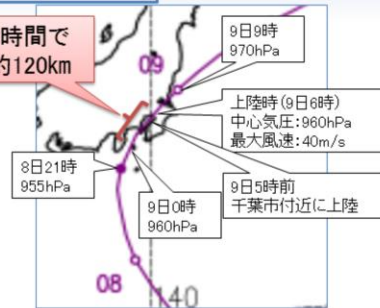


図3.2.24 台風第15号の台風経路図

	台風第19号	台風第15号
関東付近の通過地点	主に陸上	東京湾上
関東付近での北上速度	270km/6h	120km/6h
被害状況	台風19号<台風15号	

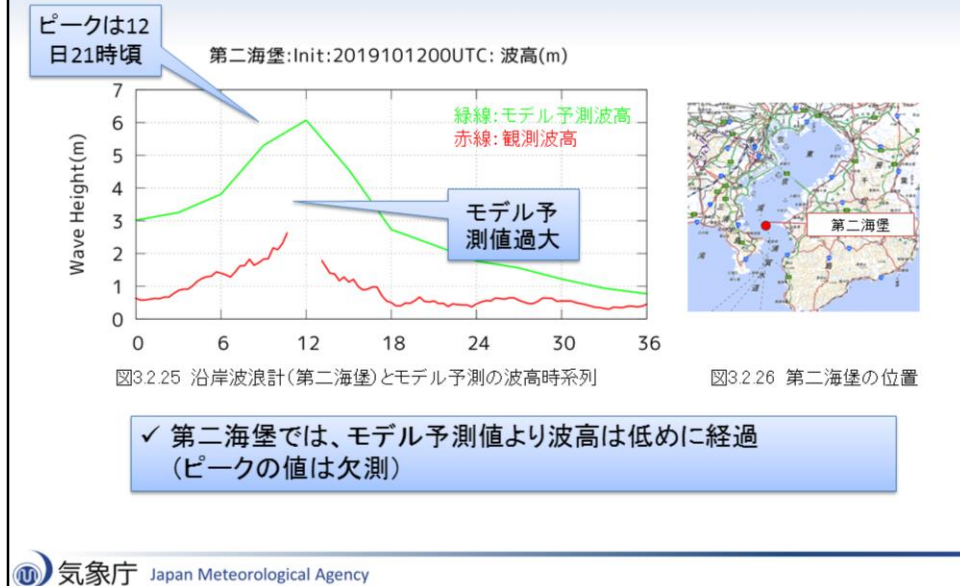
3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 7 東京湾での波の状況

続いて、東京湾での波の状況について述べる。湾内の波は台風の経路の違いによる風の吹き方の違いで大きく予測が変わりうるため、図3.2.23 の通り台風経路図を同じように関東地方に上陸した令和元年台風15号と比較しながら確認する。台風第15号と第19号は台風上陸・通過時の勢力は似通っているが、経路は異なり台風第15号は東京湾を通過、台風第19号は神奈川、東京など陸上を通過している。また、台風第15号が約6時間で伊豆大島から千葉市付近まで約120kmを北上しているのに対し、台風第19号は約6時間で伊豆半島付近から茨城県まで約270kmを北上しており、台風第19号は足早に関東地方を抜けている。港湾局(2019)の台風第15号及び第19号による港湾の被害状況資料によると、台風第19号接近時の東京湾における港湾施設の被害は台風第15号ほど顕著ではなかったとのことである。台風第15号については、浦賀水道からの長周期のうねりに加えて、台風周辺の強風による短い周期の波が重なって高波となったと考えられるが(第3.1節)、台風第19号においてどのような波の状況となっていたのかを確認する。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 7 東京湾での波の状況



3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 7 東京湾での波の状況

また、図3.2.25は、港湾局所管の第二海堡における観測波高と近接格子点の10月12日00UTC初期値の波浪モデルの時系列図である。ちょうど波高ピークを迎えるころに欠測となっているが、全体的に見てモデル予測値より低めの値を示しており、モデル予測が過大であったことが分かる。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 7 東京湾での波の状況

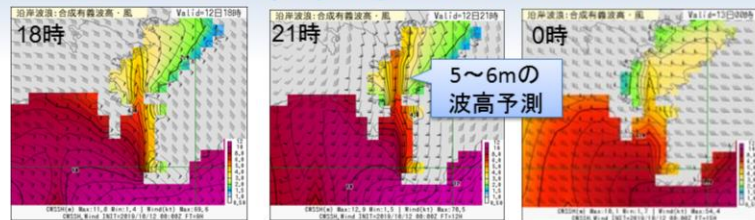


図3.2.27 12日00UTC初期値モデルの風予測と波高予測分布図(関東地方周辺)

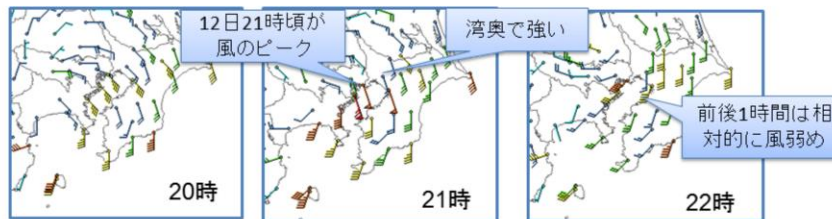


図3.2.28 関東地方周辺のアメダス風

- ✓ モデルの波高の予測は過大。
⇒ 風予測が過大＋風の急激な変化や局地的変化の表現が不足
- ✓ 台風第15号と異なり、複数方向の波の混在は見られない。

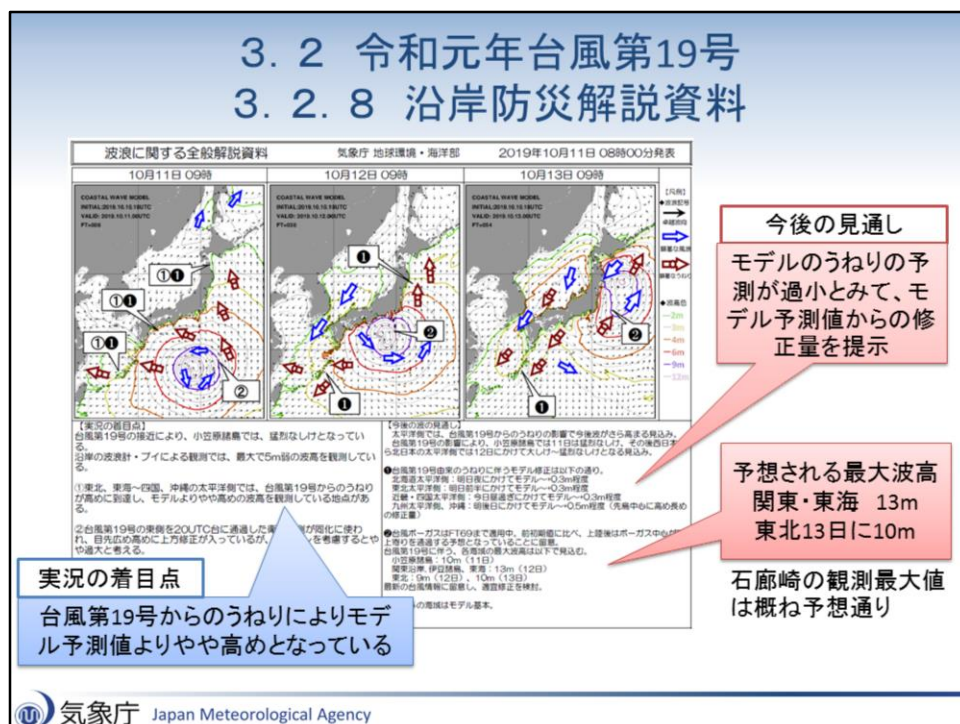
3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 7 東京湾での波の状況

図3.2.27 は10月12日00UTC初期値の沿岸波浪モデルにおける12日18時、21時、13日0時の波高と風の分布図である。東京湾沿岸では、台風接近に伴い南東後南よりの風が急激に強まり、波が高まり、湾内で5～6mの波高が予測されている。図3.2.28はアメダスの時系列である。最接近時の12日21時頃に、羽田で10/12 20:59に最大風速34.8m/s(南南東)、江戸川臨海で10/12 21:18に最大風速32.6m/s(南)を観測するなど、東京湾の湾奥で南よりの風が急激に強まるが、湾口や、前後1時間の風は相対的に弱くなっている。波高のモデル予測値が過大であった原因は、台風ボーガスの風予測が実況より強かったこと、解像度の問題等により風の急激な変化や局地的変化を表現できなかったことだと考えられる。なお、台風第15号のように複数方向の波が混在したといった特徴(第3.1.6節参照)はみられなかった。

3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 8 沿岸防災解説資料



3. 2 令和元年台風第19号

3. 2. 8 沿岸防災解説資料

11日8時発表の波浪に関する全般解説資料では、実況の着目点で、東北、東海～四国、沖縄の太平洋側では、台風第19号からのうねりが高めに到達し、モデル予測値よりやや高めの波高を観測している地点があると記載されている。今後の波の見通しにおいて、高めのうねりが到達すると見込まれる地点においてのモデル予測値からの修正量が記載されている。これまで述べてきたように、モデル予測でうねりが過小となっていると推定されるため、予想される波の高さは、関東沿岸、伊豆諸島、東海地方で12日に13m、東北地方で13日に10mと書かれていた。石廊崎の沿岸波浪計で観測された有義波高の最大値は13.24mであったため、この予想は概ね適切だったと考えられる。

(留意点)

ここで示した「波浪に関する全般解説資料」は、気象支援センターへ提供開始する以前より、気象庁内の担当者向けに提供していた資料です。
<https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/524.pdf>

参考文献

- 気象庁, 2019: 台風第19号による大雨、暴風等, 災害をもたらした気象事例, 59-61
- 気象庁, 2019: 台風第19号の事例における雨量等の予測と実際の状況等について(速報)
- 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所, 2017: 港湾空港技術研究所資料, 全国港湾海洋波浪観測年報
- Chou, K.-H., et al., 2013: Assessment of the ASCAT wind error characteristics by global dropwindsonde observations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **118**, 9011-9021, doi:10.1002/jgrd.50724.
- 港湾局, 2019: 令和元年台風第15号及び19号による港湾の被害状況, 令和元年11月19日交通政策審議会第77回港湾分科会 参考資料
https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/port01_sg_999999.html

気象庁, 2019: 台風第19号による大雨、暴風等, 災害をもたらした気象事例.1、59-61
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun_sokuji20191010-1013.pdf

気象庁, 2019: 台風第19号の事例における雨量等の予測と実際の状況等について(速報).2
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/jirei/sokuhou/R011012.pdf#search=%27JMA+%E5%8F%B0%E9%A2%A819%E5%8F%B7%E3%81%A8%E3%82%8A%E3%81%BE%E3%81%A8%E3%82%81%27>

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所, 2017: 港湾空港技術研究所資料, 全国港湾海洋波浪観測年報.6
<https://www.pari.go.jp/unit/kaisy/files/items/6102/File/No.1357.pdf>

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 1 令和元年台風第9, 10号の経路

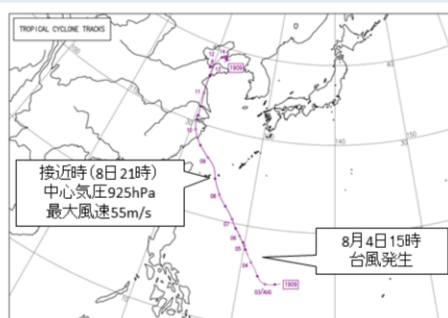


図3.3.1 台風第9号の経路図

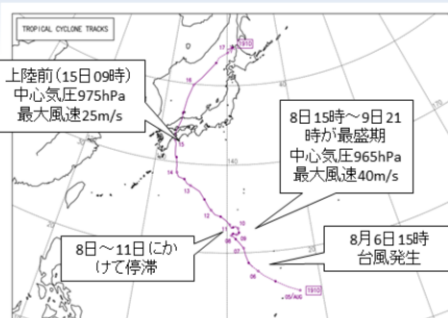


図3.3.2 台風第10号の経路図

- ◆ 台風第9号と第10号が、8月上旬に沖縄の南～日本の南を進む。
- ◆ 北日本～西日本の太平洋沿岸に2つの台風からのうねりが先行して伝播
- ◆ 台風接近前の8月11日～12日に関東～東海を中心に各地で海難事故が多発

3. 3 令和元年台風第9, 10号

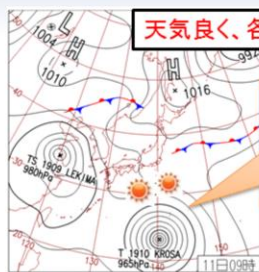
3. 3. 1 令和元年台風第9, 10号の経路

令和元年8月4日にフィリピンの東で発生した台風第9号は、発達しながら沖縄の南に進み、先島諸島に接近した8日夜には中心気圧925hPa、中心付近の最大風速55m/sの猛烈な勢力となった。また、令和元年8月6日にマリアナ諸島近海で発生した台風第10号は、発達しながら北西進した後、8日～11日にかけて小笠原の南の海上で停滞した。停滞していた8日～9日かけて最盛期を迎え、中心気圧は965hPa、最大風速40m/sで大型で強い台風となった。

本州の太平洋側では、この2つ台風が日本から離れた位置にあった8月8日～12日頃にかけて3～4mのうねりを観測した。特に連休中の8月11日～12日にかけて、関東地方から東海地方を中心にうねりにより各地で海難事故が多発した。

3.3 令和元年台風第9, 10号

3.3.2 気象・波浪の概況



天気良く、各地で猛暑日

11日の天気 & 最高気温
 大阪 晴れ 36.7℃
 名古屋 晴れ 35.6℃
 東京 晴→曇 35.6℃

11日(日)台風第10号停滞

北日本は気圧の谷の影響で所々雨。その他は概ね晴れて、西日本中心に気温上昇。京都府福知山で38.2℃の猛暑日。台風第10号は小笠原近海で停滞。父島で最大瞬間風速31.3m/s。

図3.3.3 8月11日09時天気図

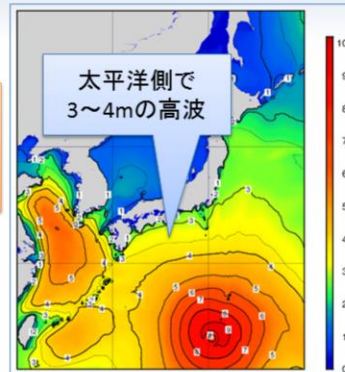


図3.3.4 8月11日09時の沿岸波浪実況図

2019年8月、台風第9号、第10号が日本の南に停滞・北上
 8月10～12日(山の日を含む3連休)に、太平洋側に3～4mのうねりが伝播

3.3 令和元年台風第9, 10号

3.3.2 気象・波浪の概況

台風が日本の南に停滞し、うねりが本州の太平洋沿岸に伝播していた時期は8月10日～12日の山の日を含む三連休と重なった。三連休中は概ね晴れて各地で猛暑日となり、海は海洋レジャーを楽しもうと繰り出した多くの人で賑わっていたとみられる。一方、図3.3.4に、連休中日の11日09時における沿岸波浪実況図を示すが、東日本～西日本太平洋側では、台風第9号及び台風第10号からのうねりで3～4mの高波となっていた。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 3 台風からのうねり被害

<第三管区海上保安本部海難速報(8/5-12)>

■海難発生状況(速報値)

	先週の発生状況 (8/5~8/12)	発生状況累計 (7/1~8/12)
船舶海難(隻)	15(9)	50(42)
内死亡・行方不明者	2(1)	2(2)
人身海難(人)	36(27)	87(97)
内死亡・行方不明者	14(8)	28(32)

※ () 内は平成30年同時期の事故数

図3.3.5 8/5~12の海難発生状況

- 「週末の8月10日~8月12日には、海岸では台風の影響による高波が発生しており、大波や離岸流により沖に流される事故が多発し、死亡・行方不明者は10名」との記述も。

(第三管区所管の海岸のある県: 茨城、千葉、東京、神奈川、静岡)

- この他、愛知県や岩手県でも海難事故が発生

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 3 台風からのうねり被害

図3.3.5に第三管区海上保安本部発表の海難速報を示す。第三管区が所管する茨城、千葉、東京、神奈川、静岡の各都県において、8月5日~12日にかけての1週間で海難事故にあった人は36人、このうち死亡・行方不明者は14人となっており、前の年を大きく上回っている。また同速報には、特に「週末の8月10日~8月12日には、海岸では台風の影響による高波が発生しており、大波や離岸流により沖に流される事故が多発し、死亡・行方不明者は10名」との記述もある。この他、愛知県や岩手県など太平洋側の広い範囲で海難事故が発生した。

昔から、夏から秋にかけて太平洋に面した海岸に押し寄せる高い波(うねり)を「土用波」と呼んで高波に対する注意を促してきた。この時期の台風が南の海上を停滞又はゆっくり進むため、台風がまだ遠くにあり人々の警戒心が薄いうちから高波となることを言ったものである。こういった通常の強風による風浪とは異なるうねり主体の高波による被害は、天気予報や注意報・警報等で「うねりを伴う」という表現を用いることにより、予め海の状況を伝えて防災上の注意喚起を行うことも有効である。一方で、台風接近前の台風による高波による海難の発生状況は台風のコースやそのときの状況で大きく異なるといわれている。この節では、今回の台風について、うねりによる高波の特徴、波浪モデルの予測精度、その補正の方法等について紹介するとともに、今回海難事故が多発した要因について考えてみる。

3.3 令和元年台風第9, 10号

3.3.4 地方気象情報での言及

予報「約1」の予報
令和元年 台風第10号に関する関東甲信地方気象情報 第1号
令和元年8月9日17時33分 気象庁予報部発表

(見出し)
大型で強い台風第10号の接近により、小笠原諸島の海上では、10日から12日頃にかけて猛烈なしけとなるでしょう。高波に厳重に警戒し、土砂災害、低い土地の浸水、河川の増水に注意・警戒してください。伊豆諸島では11日から大しけとなり、関東地方でもしけるでしょう。高波に警戒・注意してください。

【防災事項】
小笠原諸島の海上では、台風の影響で強い風が吹き、うねりを伴い大しけとなっており、伊豆諸島や関東地方の海上でもうねりを伴って波が高くなっています。
台風接近に伴い、次第に風が強まり、小笠原諸島の海上では非常に強い風が吹き、10日から12日頃にかけて猛烈なしけとなる見込みです。
伊豆諸島の海上では11日からうねりを伴って大しけとなり、関東地方の海上でもうねりを伴ってしけるでしょう。小笠原諸島では高波に厳重に警戒し、強風に注意してください。伊豆諸島と関東地方では、高波に警戒・注意してください。また、小笠原諸島では11日を中心に、台風周辺の発達した雨雲がわかり大雨となるおそれがあります。土砂災害、低い土地の浸水、河川の増水に注意・警戒してください。

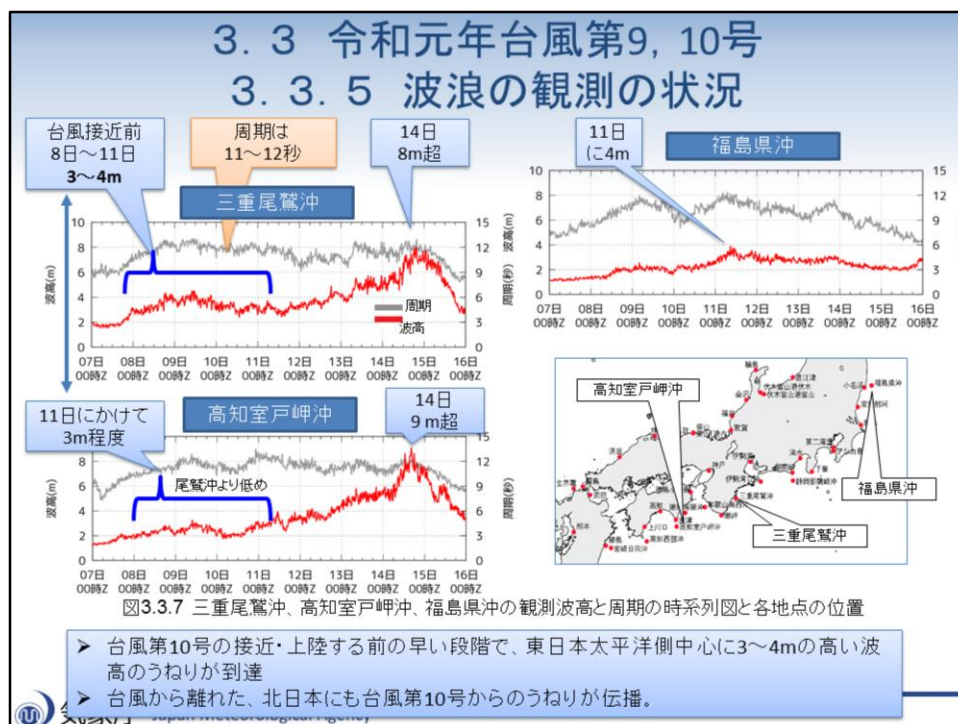
関東・伊豆諸島に関しては、連休前の8月9日に高波への警戒・注意を呼びかける情報が出されている。

図3.3.6 9日17時発表の台風第10号に関する関東甲信地方気象情報 第1号

3.3 令和元年台風第9, 10号

3.3.4 地方気象情報での言及

3連休前の9日17時の気象庁予報部発表の「令和元年 台風第10号に関する関東甲信地方気象情報第1号」では、小笠原諸島が10日から12日にかけて猛烈なしけとなるという情報に加えて、伊豆諸島や関東地方の海上でもうねりを伴って波が高くなっており、伊豆諸島の海上では11日からうねりを伴って大しけ(6mを超える)となり、関東地方の海上でもうねりを伴ってしける(4mを超える)見込みで、高波への警戒・注意を呼びかけていた。



3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 5 波浪の観測の状況

台風第9号からのうねりが本州沿岸に到達し始めた8月7日から、台風第10号が西日本に上陸・接近した15日頃を含む8月16日にかけての、港湾局所管の三重尾鷲沖、高知室戸岬沖、福島県沖のGPS波高計の有義波高及び周期の時系列及び各地点の位置関係を図3.3.7に示す。各時系列図の赤線が波高(左軸)、灰色の線が周期(右軸)を示している。なお、各観測データは速報値である。

台風第10号が西日本に接近・上陸した14日~15日にかけて、高知室戸岬沖で9m、三重尾鷲沖で8mを超える波高を観測した。一方で、台風上陸の1週間前には、三重尾鷲沖で8日朝に3m、9日は4mを超える波高を観測、12日頃にかけて周期11~12秒、波高3~4mの高いうねりが継続した。なお、西日本各地にもうねりは伝播したが、高知室戸岬沖や宮崎日向沖(図省略)では11日頃にかけて3m程度で経過しており、台風より先行するうねりは三重尾鷲沖より1mほど低かった。また、台風から離れた北日本の太平洋側にもうねりが伝播した。福島県沖では11日午後4mに迫る波高を観測した。

(出典)

過去データ | リアルタイムナウファス: 国土交通省港湾局 全国港湾海洋波浪情報網: <https://nowphas.mlit.go.jp/pastdata>

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 6 波浪実況(解析)の時系列図

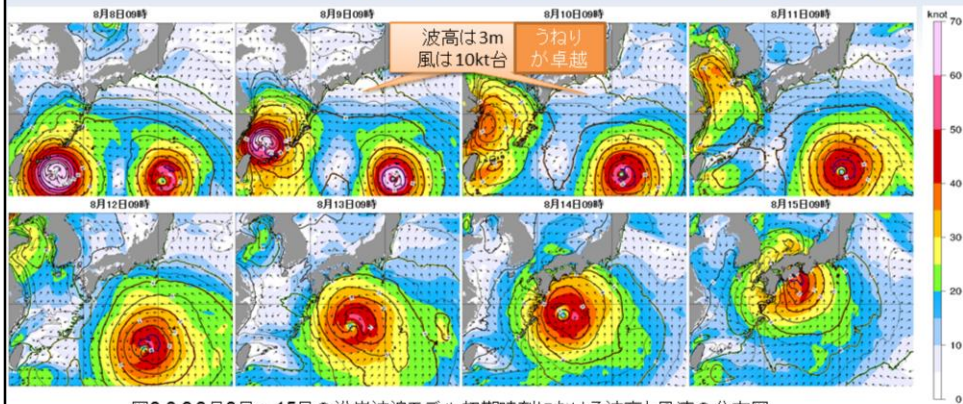


図3.3.8 8月8日～15日の沿岸波浪モデル初期時刻における波高と風速の分布図
(等値線が波高、塗りつぶしが風速、矢印が風向)

- 8月8日～11日頃にかけて、東日本～西日本太平洋側では、波高3～4mのうねりが卓越

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 6 波浪実況(解析)の時系列図

8月8日から15日にかけての、波浪モデルの初期時刻における波高(等値線)及び風(矢印及び塗りつぶし)の分布図を図3.3.8に示す。3～4mのうねりが伝播していた8月8日から11日にかけての東日本、西日本の太平洋側では、海上風は10日までは10kt以下、11日も15kt以下となっており、波の高さに対して海上風は弱いため、この期間は風浪はほとんどなくうねりが卓越していたとみられる。その後台風の接近に伴い、風・波ともに強まり、15日の台風上陸時には、四国の太平洋側を中心に高波のピークが見られる。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 7 波浪モデルの予測(三重尾鷲沖)



図3.3.9 三重尾鷲沖沿岸波浪計及び沿岸波浪モデル予測の波高時系列

三重尾鷲沖では、うねりが到達し始めた8日以降波浪モデルの予測が過小

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 7 波浪モデルの予測(三重尾鷲沖)

三重尾鷲沖で観測された波高と、三重尾鷲沖の近接格子における沿岸波浪モデル予測の波高の時系列図を図3.3.9に示す。観測波高(速報値)を赤の実線で、また、07日00UTC、08日00UTC、09日00UTCの波浪モデルの予測波高を図の凡例の通り描画している。

前述の通り、三重尾鷲沖では8日09時頃には3m、9日には4mを超える波高を観測した。8月7日00UTC初期値の波浪モデルの予測値をみると、8日朝の観測波高3mに対し予測波高1.5m、9日の観測波高4m程度に対し予測波高2.5m程度となっており、モデルの予測は1.5m~2m過小となっている。

また、08日00UTC、09日00UTCの波浪モデルの予測波高をみると、モデルの初期値が新しくなると観測データを同化し上方修正されているが、効果は目先のみとなっている。なお、09日00UTC 初期値においては、台風第9号の中心付近で衛星波高を同化し大幅に下方修正された(図略)。このため、台風中心付近から伝播するうねりの予測も低くなり、前初期値の予測と比べて後半の波高の予測が低くなっているものと考えられる。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 7 波浪モデルの予測(三重尾鷲沖)

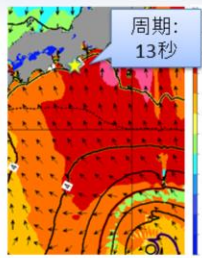


図3.3.10 10日00UTC沿岸波浪モデルFT=0:波高&周期

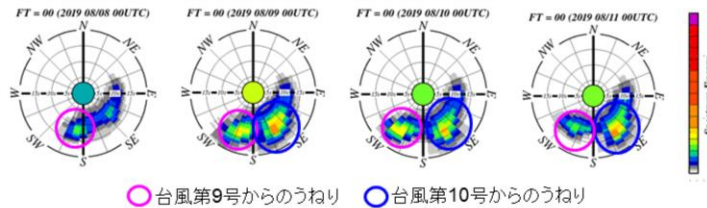


図3.3.11 図3.3.10 ★地点の波浪スペクトル(各初期値の第一推定値)

- ✓ モデルでは周期の長いうねりを予測
- ✓ スペクトル図によると、南南西及び南東からの2方向からのうねりあり。それぞれ台風第9号、第10号からのうねりと考えられる。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 7 波浪モデルの予測(三重尾鷲沖)

図3.3.10に10日00UTCの波浪モデルの初期時刻の波高と周期の予測図を示す。波浪モデルにおいては、モデルの予測は過小ではあるがうねりそのものは表現されており13秒台の長い周期となっている。また、図3.3.11に三重尾鷲沖の近接格子におけるスペクトル図を示す。08日00UTC、09日00UTC、10日00UTC、11日00UTCの各初期値の第一推定値のスペクトルを表示している。前述の通りモデルのうねりの予測は過小ではあるがうねりそのものは表現されているため、スペクトル図を見ることによりどの方向からの波が相対的に卓越するかを確認できる。8日は、南南西と南東の方向からの2つの波が見られるが、南南西からの波は周期の長い一方で南東成分はそれほど周期は長くない。この時間帯は台風第9号からのうねりは到達し始めているものの、台風第10号からのうねりはあまり到達していないことがわかる。9日から10日になると、南西成分・南東成分共に周期が長くエネルギーも大きくなっており、台風第9号、台風第10号からのうねりが混在する場となっていることがわかる。11日は引き続き南東成分は大きいものの南南西成分の弱まりが見られる。台風第9号からのうねりは9日から10日をピークに11日は次第におさまる様子が表現されている。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 8 波浪モデルの予測(高知室戸岬沖)

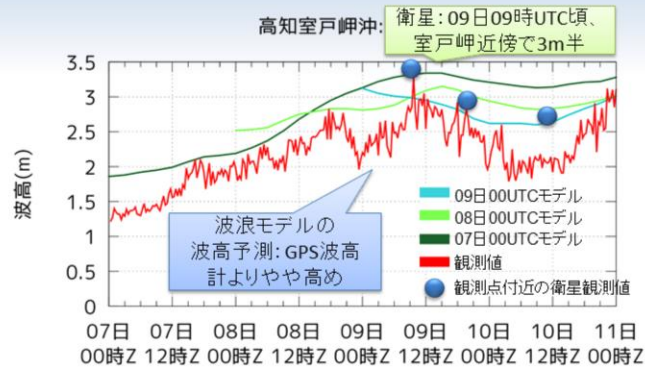


図3.3.12 高知室戸岬沖の観測値と波浪モデル予測波高時系列図

西日本太平洋側の他の海域ではモデル予測値並かやや低めに経過した地点もあるが・・・

- ・ 高知室戸岬沖や宮崎日向沖など、沖合のGPS波高計の観測点においてほぼモデル予測値並。衛星観測も近い値が多い。
- ・ 東日本よりはややうねり低かった？

3. 3 令和元年台風第9, 10号

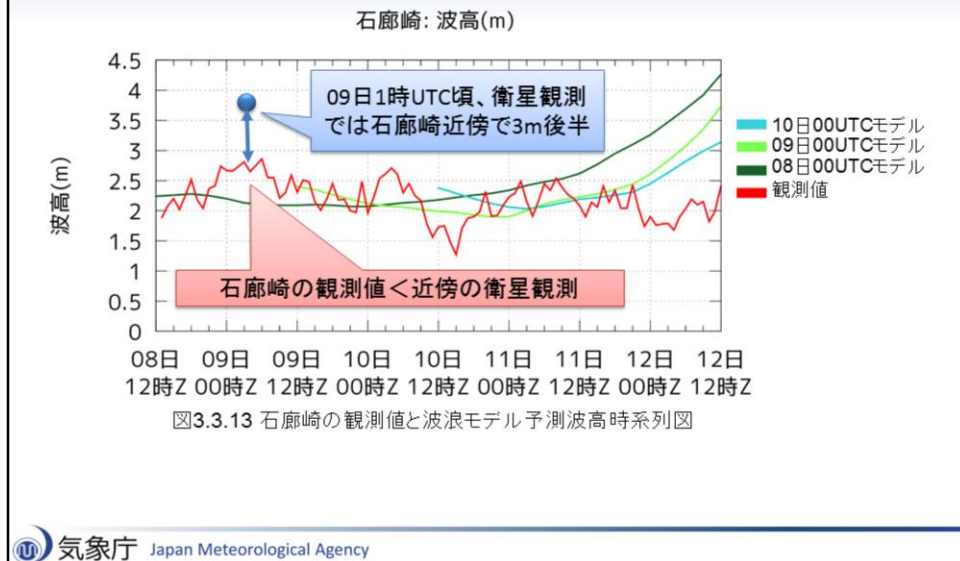
3. 3. 8 波浪モデルの予測(高知室戸岬沖)

三重尾鷲沖ではモデル予測値を大きく上回る波高が観測されたが、西日本や東日本の太平洋側の他の観測点ではモデル予測並かモデル予測値より高くても三重尾鷲沖ほどの差は出なかった地点が多かった。ここでは、高知室戸岬沖GPS波高計の波高の時系列図を示す。

図3.3.12は、高知室戸岬沖の観測波高と波浪モデルの予測波高系列図である。三重尾鷲沖と同様に観測波高(速報値)を赤の実線で、また、07日00UTC、08日00UTC、09日00UTCの波浪モデルの予測波高を図の凡例の通り描画している。また、衛星による付近の観測による波高を○でプロットしている。波浪計による観測波高は各初期値の波浪モデルの予測波高をやや下回っていることがわかる。また、宮崎日向沖においても同様の傾向となっていた(図略)。なお、時系列図にプロットした室戸岬上空付近を通過した衛星によって観測された波高と波浪計の観測値を比較すると、観測値が衛星よりも低くなっている場合もあったが、概ね両者が近い値をとっていた。高知室戸岬沖等のGPS波高計は沖合約20kmの位置に設置されており、台風第9号や10号からのうねりは波向きからも地形等によって影響を受ける可能性は小さい。以上から、高知室戸岬沖の観測値データは概ね適切で、西日本の太平洋沿岸は総じて東日本よりはやや低めでモデルに近い値で経過していたものと考えられる。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 9 波浪モデルの予測(石廊崎)



3. 3 令和元年台風第9, 10号

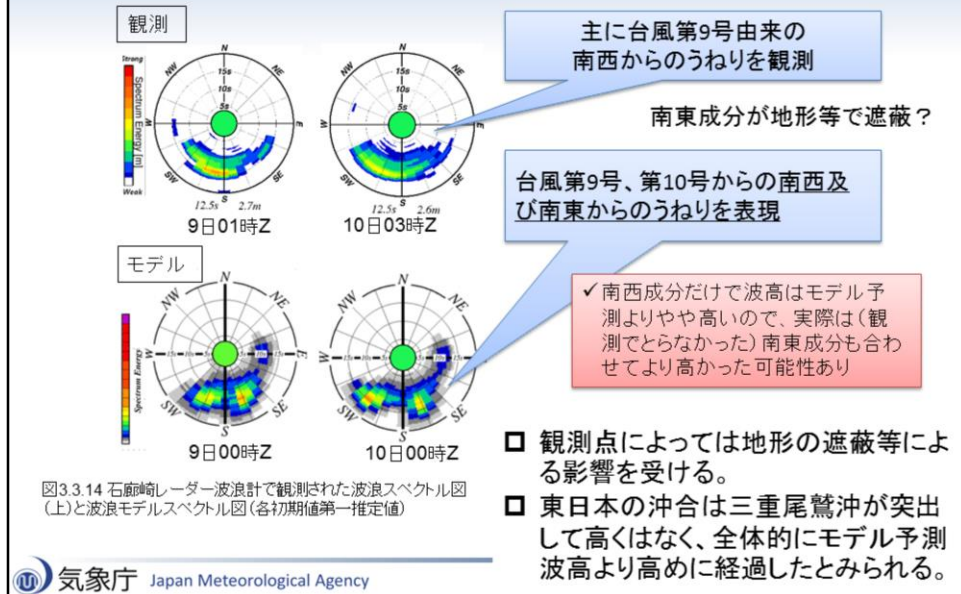
3. 3. 9 波浪モデルの予測(石廊崎)

三重尾鷲沖ではモデル予測値を大きく上回る波高が観測されたが、東日本の太平洋側の他の観測点においてもモデル予測値並かモデル予測値より高くても三重尾鷲沖ほどの差は出なかった地点が多かった。ここでは、気象庁の観測点である石廊崎の波高の時系列図を示す。

図3.3.13に、石廊崎の観測波高と波浪モデルの予測波高時系列図を示す。観測波高(速報値)を赤の実線で、また、08日00UTC、09日00UTC、10日00UTCの波浪モデルの予測波高を図の凡例の通り描画している。9日～10日に2m後半の波高を観測しており、波浪モデルの予測値よりも最大で+0.5mほど高めとなっている。一方、図の○で示した9日1時UTC頃の衛星観測によると、波高は石廊崎近傍で3m後半程度あり、波浪計の観測値より1mほど高い。石廊崎の波浪計の波高が地形等の影響を受けて沖合の波高より低めとなっていた可能性がある。

3.3 令和元年台風第9, 10号

3.3.9 波浪モデルの予測(石廊崎)



3.3 令和元年台風第9, 10号

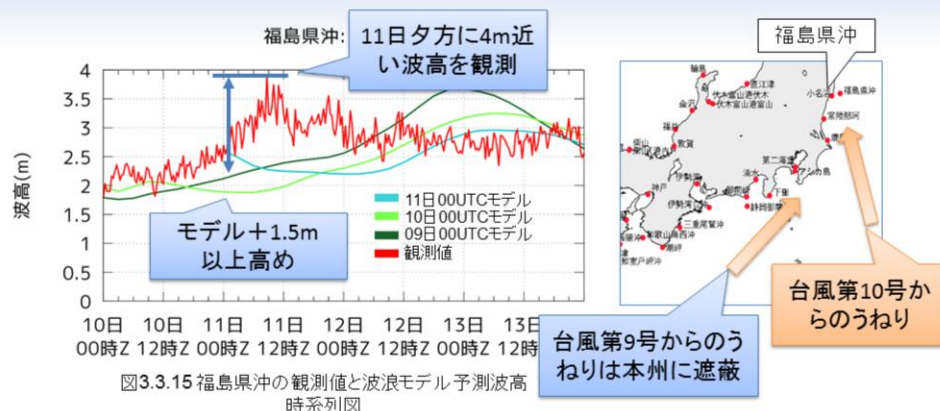
3.3.9 波浪モデルの予測(石廊崎)

ここで、気象庁のレーダー波浪計では、波浪のスペクトルを観測している(池田ほか、2014)。図3.3.14に観測のスペクトル(上段)と波浪モデルのスペクトル(下段)を示す。なお、ややモデルと観測の描画時間がずれているが、観測のスペクトルは時間とともに変動しており、9日00UTC、10日00UTCの前後で主観的に見て代表的な分布となっている時刻のスペクトルを示している。観測のスペクトル図を見ると9日、10日ともに、台風第9号からと思われる南西からのうねり成分は見られるが、台風第10号由来の南東からのうねり成分はほとんどない。一方で、モデルでは南西及び南東からの波を予測しており、レーダー波浪計は今回のうねりに関しては南東成分を取りづらかった可能性がある。実際観測でとらえられなかった南東成分があると仮定すると、石廊崎の周辺の波高はさらに高めだったと考えられる。

石廊崎と同様に、東日本太平洋側の港湾局等の沿岸波浪計においても、三重尾鷲沖ほどの波高は観測されずモデル予測波高に近い線で推移した観測点もあったが、寒河江ほか(2006)にもあるように、沿岸波浪計は波向きによっては地形の影響を大きく受けて沖合の波高より低く観測されたものと考えられる。予報対象となる海域内の沿岸波浪計の値だけではなく、卓越する波向きによっては周囲の沿岸波浪計の観測値や衛星等の観測値を参照する必要がある。今回の事例についても同様で、東日本の太平洋沿岸については、衛星観測データ等も考慮すると三重尾鷲沖が単独で高かったわけではなく、東日本の太平洋側は広く三重尾鷲沖と同程度の台風第9号及び台風第10号からのうねりが到達していたものと考えられる。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 10 波浪モデルの予測(福島県沖)



台風第10号の影響を受ける東北太平洋側のうねりの状況は？

- 福島県沖では、11日夕方に4m近い波高を観測。モデル予測波高+1.5m

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 10 波浪モデルの予測(福島県沖)

福島県沖で観測された波高と、福島県沖の近接格子における沿岸波浪モデルの予測波高の時系列図を図3.3.15に示す。観測波高(速報値)を赤の実線で、また、09日00UTC、10日00UTC、11日00UTCの波浪モデルの予測波高を図の凡例の通り描画している。前述の通り、福島県沖では11日夕方に4m近い波高を観測した。9日00UTC初期値のモデルを見ると、この時間の波高は2.5m程度であり、モデルの予測は1.5mほど過小である。台風第9号からのうねりは本州に遮られるため、台風第10号からのうねりの予測が過小だったと考えられる。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 11 観測と波浪モデルの予測のまとめ

- 東日本太平洋側:
 - ✓ 台風第9号、第10号からのうねりが混在し、台風が接近する数日前から4m前後の波高を観測、モデル予測値+1.5m以上高めに経過
- 西日本太平洋側
 - ✓ 3m前後の波高を観測、おおむねモデル予測値並
- 東北太平洋側
 - ✓ 台風第10号からのうねりで11日には4m近い波高、モデル予測値+1.5m以上高めに経過

波浪モデルの特性や波源となる台風中心の風浪の予測誤差による。波浪に関する解説資料の根拠となるSMB法を用いて、誤差の要因を考える。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 11 観測と波浪モデルの予測のまとめ

ここで、これまでの各海域の観測及び波浪モデルの予測についてまとめる。東日本太平洋側は、台風第9号、第10号からのうねりが混在し、台風が接近する数日前から4m前後の波高を観測、モデル予測値+1.5m以上高めに経過した。西日本太平洋側では3m前後の波高を観測、おおむねモデル予測値並だった。東北太平洋側では、台風第10号からのうねりで11日には4m近い波高、モデル予測値+1.5m以上高めに経過した。波浪モデルの予測波高が過小となったのは、波浪モデルの特性や波源となる台風中心の風浪の予測誤差によるものと推測される。波浪に関する解説資料の根拠となるSMB法を用いて、次ページ以降誤差の要因を考える。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 12 台風からのうねりの推定の例

(例) 三重県尾鷲沖における6日9時頃からの3mのうねりをSMB法で見積もる

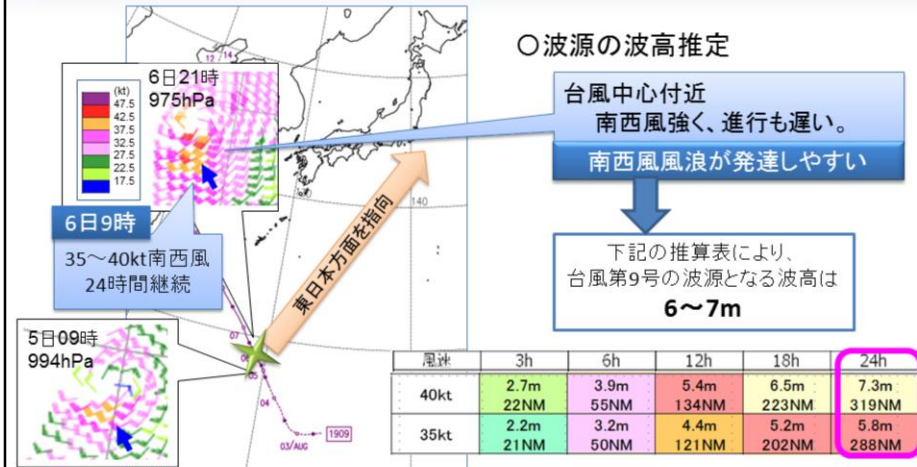


図3.3.16 台風第9号の経路と
ASCATによる海上風の観測

図3.3.17 風浪推算早見表(図2.17を抜粋, NM=海里)

3. 3 令和元年台風第9, 10号

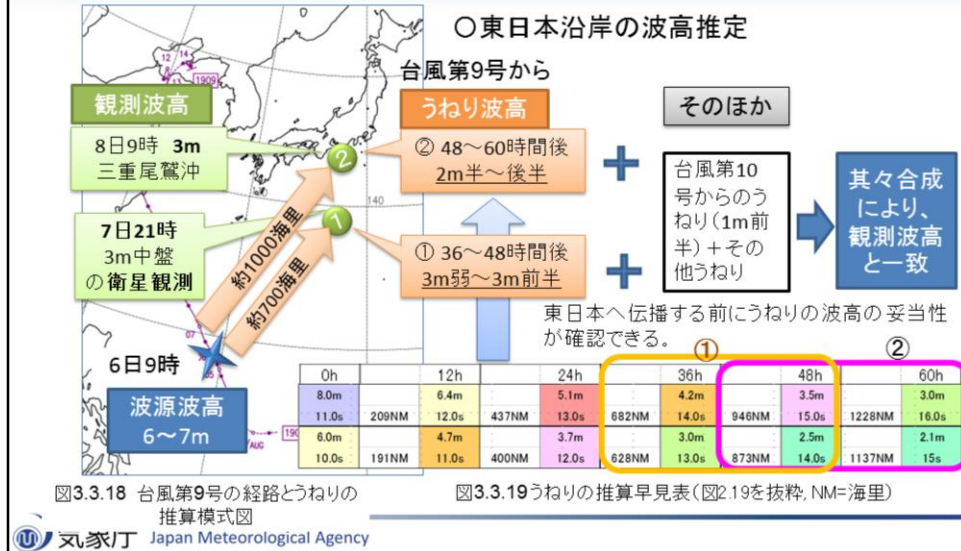
3. 3. 12 台風からのうねりの推定の例

前述の通り、三重県尾鷲沖では、モデルで予測された波高は実況に対して大きく不足していた。第2節で述べた通り、海上での風の実況や台風の強度の経過等を基に、発達した風浪(波源)の位置、波高を推定することで、SMB法により波源から伝播するうねりの到達時刻やうねりの高さ、周期を推定することができる。ここでは一例として三重尾鷲沖に到達した6日9時頃からの3mのうねりをSMB法で見積もることができるかを検討する。図3.3.16によると、台風第9号がフィリピンの東の海上にあった8月5日09時には衛星により40ktに近い南西の風が観測されていた。また、6日21時には衛星により45ktを超える南西風が観測されていた。この期間台風の進行は遅く、発達傾向であったため6日09時点で35~40kt程度の南西風が24時間程度継続していたと考えられ、図3.3.17の風浪推算表により波源は6~7m程度はあったと考えられる。また、台風中心付近において南西風が相対的に強かったため、東日本方面へ進むうねりの波源となる風浪が発達しやすい場であった。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 13 台風からのうねりの推定の例

(例) 三重県尾鷲沖における8日9時頃の3mのうねりをSMB法で見積もる



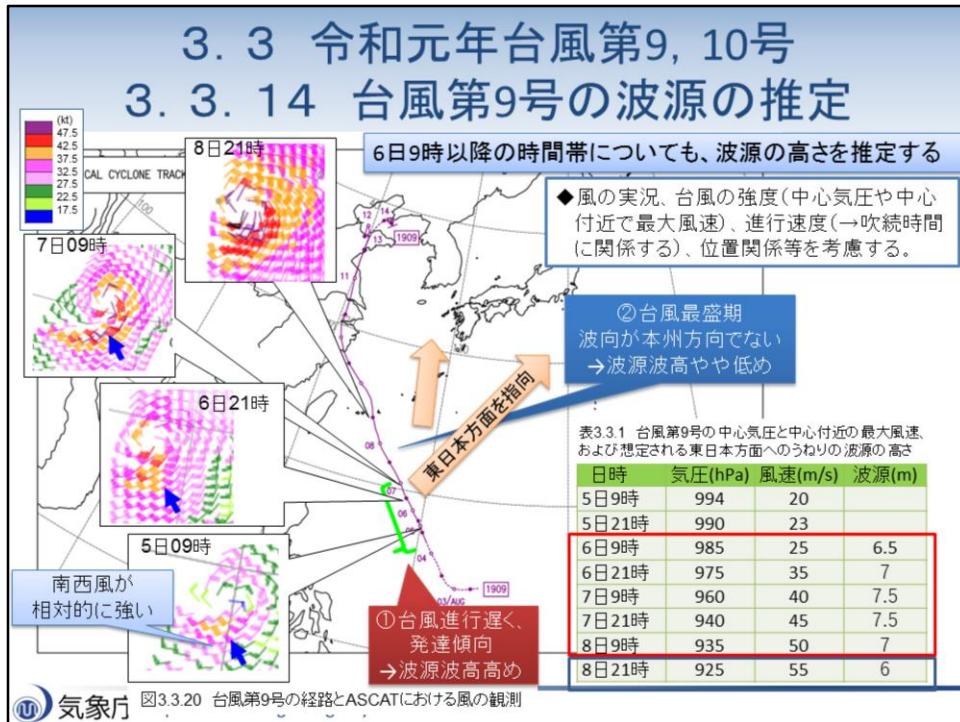
3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 13 台風からのうねりの推定の例

こうして推定した波源をもとに図3.3.18でうねりの推算を行うと、波源波高が6~7mの場合は、約48~60時間後の8日中には波高2m半~後半で約1000海里離れた東日本沿岸(図3.3.18の②)に到達することが推算できる。一方台風第10号については、8日に届く波源となる5~6日頃の波は未発達で高くても4m程度であり、到達するうねりは1m前半程度である。観測値の3mには不足するが、これらと台風第9号のうねりの合成で3m程度の波高を観測したものと推測される。また、図3.3.18の①においては7日21時に衛星による波高の観測が得られ、3m後半の波高が観測されていた。先の見積もりによると台風第9号からのうねりは36時間~48時間で3m弱~3m前半程度となるため、他のうねりの合成も考えると概ね妥当な値となっている。波源の推測が上述のように少ない観測データを用いて行われているため、伝播経路上の観測データが得られた場合には、波源の見積もりが適切かを都度確認することが可能である。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 14 台風第9号の波源の推定



3. 3 令和元年台風第9, 10号

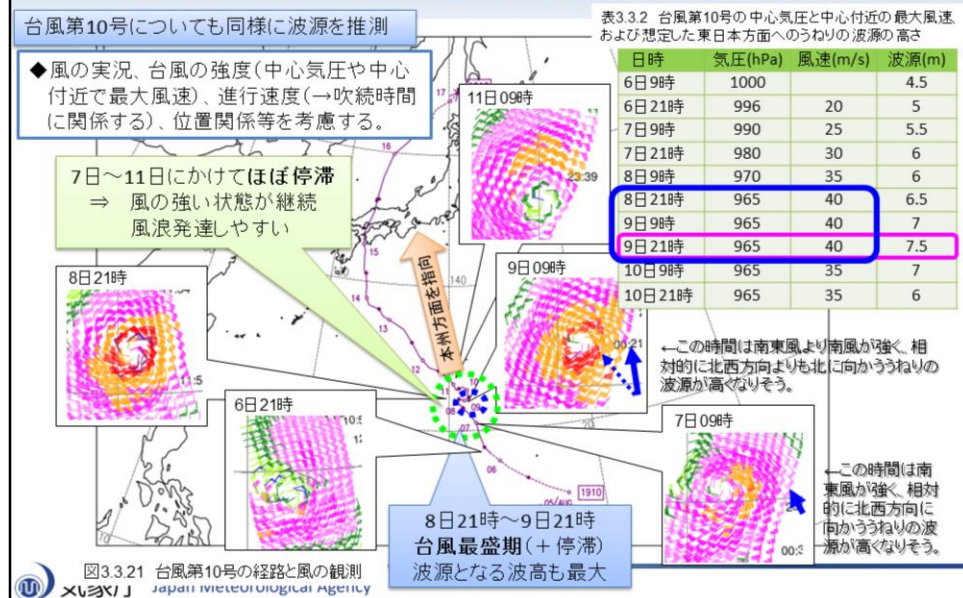
3. 3. 14 台風第9号の波源の推定

前述の通り台風第9号の6日9時の波源は6～7m程度と推測し、これを波源とするうねりが8日に三重尾鷲沖に到達すると推測したが、これ以降に到達するうねりを見積もるために、6日9時以降の波源の高さも同様に推定する必要がある。波源の高さを見積もる際には、衛星観測による風や波の実況に加えて、台風の強度(中心気圧や中心付近の最大風速)、進行速度、予想対象海域との位置関係などを考慮する。このため、表3.3.1に台風の中心気圧と最大風速を記載した。図3.3.20の台風の経路を見ると台風は7日頃までは発達しながら比較的ゆっくりと北上しており、かつ衛星観測から南西風が相対的に強く東日本方面へのうねりをもたらす風浪が発達しやすい場となっている。また、表3.3.1の台風の中心気圧・最大風速をみると、台風は7日夜にかけて発達傾向となっていることがわかる。以上から、6日から7日にかけて波源の高さは次第に高めとなると考えた。その後、台風は8日にかけて中心気圧が下がり最盛期を迎えるが、この頃には北上して先島に接近かつ南西成分よりも南風成分が強まっており、波源は東日本方面を直接指向しなくなっている。このため、7日が東日本方面への波源ピークで8日はやや低めに考えて、表3.3.1の通りの波源とした。なお、現業作業においては、このように大まかに波源を見積もったあと、うねりの伝播経路上の観測をもとに波源の調整を行っているが、このスライドにおいてはその作業は省略する。

なお、台風第9号においては、衛星による風の観測をいくつか見ると相対的に南西風が強かったため、東日本方面がうねりの主方向であり、西日本方面は台風第9号からのうねりがやや届きにくかったのかもしれない。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 15 台風第10号の波源の推定



3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 15 台風第10号の波源の推定

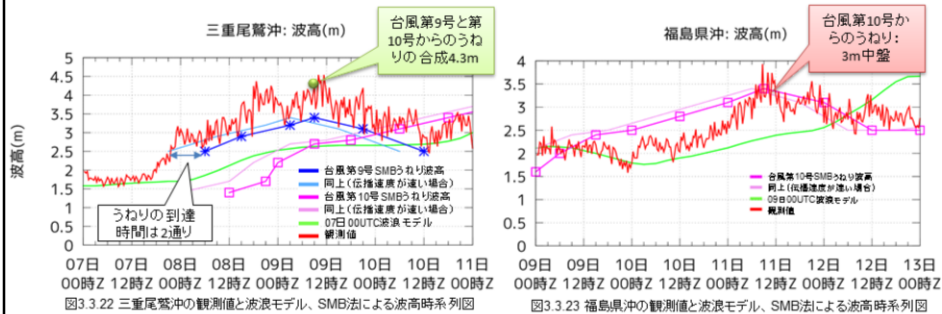
続いて、台風第10号についても同様に波源を推測する。台風第10号は、7日～11日にかけて台風が停滞かつ表3.3.2の台風の中心気圧及び中心付近の最大風速によると、8日夜～9日に最盛期を迎えた。その際、衛星観測によると中心付近では50ktを超える南寄りの風が吹き、広い範囲で40ktを超える南寄りの風が継続し、日本沿岸を指向するうねりの波源となる波が発達しやすい場となった(図3.3.21)。このため、最盛期のうち吹続時間が最も長くなると考えられる9日夜の波源をSMB法を用いて7m半程度と見積もった。その他の時刻においても、表3.3.2の台風の中心気圧や風速及び台風の進行速度や進路から推測される吹続時間等を考慮して、表3.3.2の右列の通り推測した。

なお、台風は中心の風が強いので、長い吹続時間でなくても風浪が発達しやすい。中心付近の風の特に強い領域は図に示した衛星による風の観測図を見ても刻々と変わるため、波源となる波向きも刻々と変わる。そうすると、うねりの進む主方向も刻々と変わる。その結果、比較的近い観測点で差が生じたり、同じ地点でも波高の変動が大きくなる。また、台風が今回のように沿岸から遠く離れた位置で発達している場合は、うねりの主方向が10度異なるだけで到達先が大きく変わる可能性もある。波浪計や衛星観測で今回の三重尾鷲沖のように単発的に高い観測がとらえられた場合も、異常値扱いはせず、台風からのうねりが到達した可能性を波源の状況等を基に検討することが大切である。また、三重尾鷲沖で高ければ周辺の東日本～西日本の太平洋側においては同規模のうねりが到達する可能性が十分に高いこと、高くなることを想定することも重要である。さらに、うねりが卓越する場合に観測点の波高時系列でみると振幅が大きくなることを述べたが、振動の中央を見るのではなく、高いほうを採用すべきである。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 16 台風からのうねりの推定

二つの台風について推定した波源から、見積もられる波高をプロット



SMB法で推定した波高は、観測値に近い波高が見積もられた。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

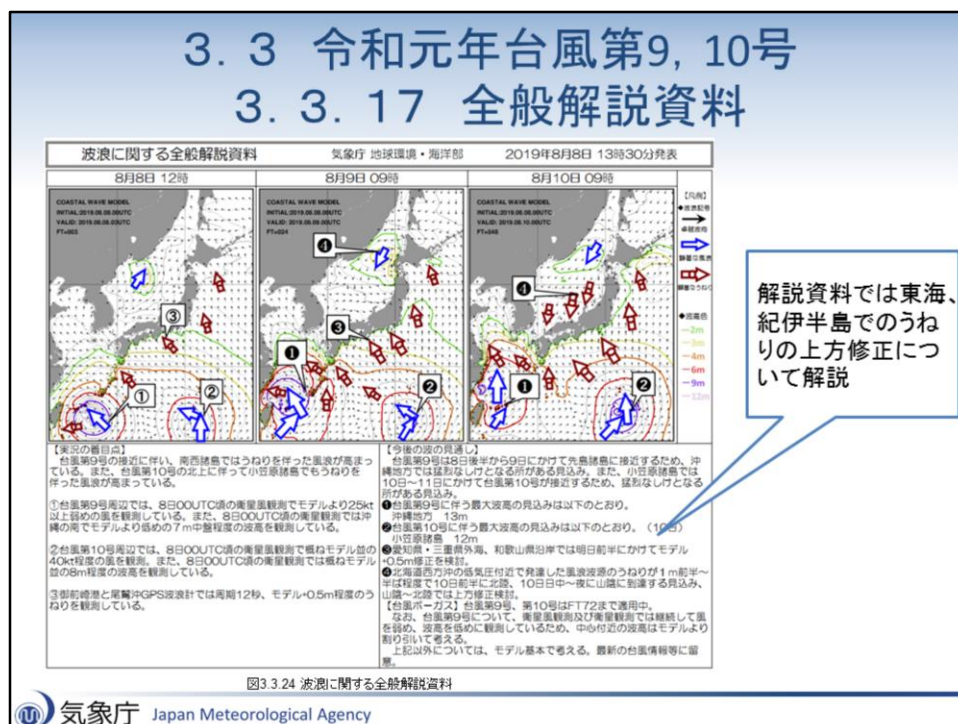
3. 3. 16 台風からのうねりの推定

推定した波源をもとにSMB法で見積もった三重尾鷲沖及び福島県沖のうねりの波高をプロットした時系列図が図3.3.22と図3.3.23である。図3.3.22の赤線が観測波高、黄緑の線が07日00UTCの波浪モデルの予測波高、青い線と点が台風第9号のSMB法で見積もったうねりの波高、ピンクの線と点が台風10号のSMB法で見積もったうねりの波高である。なお、高野(2011)によると、うねりの到達時間については、2通りの計算方法がある。「うねりは伝播すると周期が長くなるため、伝播経路上の周期に相当する群速度で伝播すると仮定した場合」と「到達地点における周期に相当する群速度で伝播する場合」の2通りである。定義の仕方から後者のほうが伝播速度は速い。早いほうの速度で到達した場合を、図上に薄い線でプロットしている。現業作業においては普段前者(遅い方)を利用しているが、どちらが良いかは議論があり、到達時間はこの両者の到達速度くらいの幅を持って考えるほうがよい。今回の三重尾鷲沖の8日09時の3m(見積上は2m後半)のうねりの到達は、早いほうの到達速度で計算した場合にタイミングが合っているようにもみえる。

三重尾鷲沖の台風第9号及び台風第10号からのうねりを合成すると、例えば、09日09時UTC頃であれば緑のポイントの4.3mとなり、観測値に近い波高が見積もられた。福島県沖においては11日に台風第10号からのうねりによる4m近い波高が見積もられた。解説資料においても各種観測データから波源を推定してこのようにうねりを見積もっている。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 17 全般解説資料



3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 17 全般解説資料

海洋気象情報室が2019年8月8日に提供した波浪に関する全般解説資料(図3.3.24)では、実況の着目点として、御前崎港と尾鷲沖GPS波高計で周期12秒、モデルの波高予測値+0.5mのうねりを観測しており、今後の波の見通しとして、愛知・三重・和歌山県沿岸(外海)で9日前半にかけてうねりによりモデルの波高予測値+0.5mの上方修正を検討するよう解説を行っている。なお、解説における修正量は+0.5m程度で、実際の実況とモデル予測波高との差+1.5mと比べて小さい。この解説資料を作成した8月8日時点では、図3.3.18の①に示した衛星観測値の他はうねりの上流側で高めの観測データが得られておらず、波源を高めに考えるには迷う事例であったため、+0.5mで様子を見たものと考えられる。また南の海上に台風があるからと言って必ずしも顕著なうねりが到達しない場合もある。過去の台風事例について到達するうねりと台風の勢力(強さ及び大きさ)、進行速度、位置等の関係の整理を行うなどが必要と思われる。

(留意点)

図3.3.24の「波浪に関する全般解説資料」は、気象支援センターへ提供開始する以前より、気象庁内の担当者向けに提供していた資料です。
(<https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/524.pdf>)

3.3 令和元年台風第9, 10号

3.3.18 うねりに注意が必要となる場合

○風は強くないが、うねりの波高が高い時(風浪が高い場合を除く)

天気とは無関係に、突然高波がやってくる。

⇒特に好天時は気が緩みがちで被害に遭い易い

具体例 → 台風のうねり(土用波), 寄り回り波など

意義 → 天気が良くても波は高い, という**注意喚起、不意打ちの予防**

○波の周期が長く、海岸でその影響が大きいと予想される時

風浪に比べ長周期で、長波長。

⇒**浅水変形**等により、波高が増大し易い。

具体例 → 越波による被害, 海岸構造物への衝撃

意義 → 沖合の波高が低くても**遠浅の海岸での危険性を示唆**

※浅水変形: 浅いところでは、海底の影響を受け、波高・波速・波長に変化が現れる

今回の事例は、好天+台風からの高いうねりが到達+海岸では浅水変形等により波高が増大等、うねりに注意が必要な条件が揃っていた。

3.3 令和元年台風第9, 10号

3.3.18 うねりに注意が必要となる場合

ここで、今回の事例については、高野(2011)にも記載されている“うねりに注意が必要となる場合”によくあてはまるため、転載する。

1. 風は強くないが、うねりの波高が高い時(風浪が高い場合を除く)

風浪と異なり穏やかな気象条件のため、気が緩みがちで災害にあいやすい。特に、遠方の台風から来るうねり(いわゆる土用波)のように、台風接近前で風がまだ強くないのに高波が来る場合、あるいは、富山の寄り回り波のように、荒れた天気が収まって安心したところに突然高波が来る場合等、危機意識の低い場合の注意喚起は、不意打ちの予防という観点から重要である。なお、風がある程度吹いていて風浪も共存している場合、ことさうねりを強調する必要はない。通常これらの場合は、単に波浪として、注警報等の注意喚起を行えばよい。

2. 波の周期が長く、海岸でその影響が大きいと予想される時

うねりは比較的長周期の波なので、浅水変形等により海岸で波高が増大する場合があるほか、越波が起こりやすくなる。波高が低いからといって油断していたら防波堤で波にさらわれた、というような災害が起きやすい。また、周期の長い波は海水の変動も大きくなるので、遊泳中の人々が流されるということも起きやすい。さらに、周期の長い波は構造物へ与える衝撃が大きくなるので、周期が長く波高が大きい場合は構造物のダメージにも注意が必要となる。

今回の事例は、好天+台風からの高いうねりが到達+海岸では浅水変形等により波高が増大等、うねりに注意が必要な条件が揃っていた。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 19 そのほかの注意点

今回は台風第9号、第10号からの2方向からのうねりが伝播

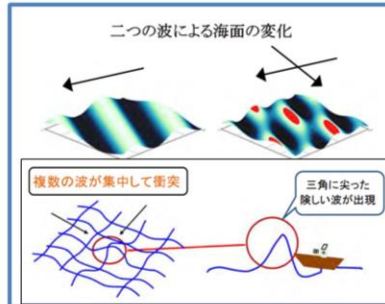


図3.3.25 二つの波による海面の変化
(赤い部分は単一の波の最大より高い部分、図は内閣府(2017)を引用)

- 複数方向から波が来ると波の重なりで海面が複雑に
- 山と山が重なる等で、大波が発生しやすくなる

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 19 そのほかの注意点

今回の事例に関してのそのほかの注意点を2点挙げる。今回東日本の太平洋側を中心に、台風第9号及び第10号からの南西成分、南東成分の2成分が混在した。図3.3.25の通り、複数の方向から波が来ると波の重なりで海面が複雑になり、山と山が重なる等で大波が発生しやすくなることがある。今回も2方向からのうねりが混在し大波が発生しやすい海面状態となっていた可能性がある。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 19 その他の注意点

急な大波にさらわれる事故が起きているが・・・



図3.3.26 沖縄県南大東島で打ち上がる平成19年台風第15号に伴ううねりによる波しぶき
(赤矢印は平穏時に停車していた自動車)

これまでの波高は有義波高:

- 波は様々な波の重ね合わせ
- 1000波に1波は(2~3時間に1度)は有義波の2倍に近い波が起こる可能性がある。

3. 3 令和元年台風第9, 10号

3. 3. 19 その他の注意点

また、これまで波高については有義波高で述べてきており予報などでは使われる波高は有義波高だが、第2節でも述べたように波は様々な波の重ね合わせで色々な波が混在している。統計的には1000波に1波すなわち2~3時間に1回は有義波の2倍に近い波が起こる可能性がある。図3.3.26は平成19年に台風第15号からのうねりによる波しぶきであり、隣の平穏時の自動車の写真と比較して非常に高い波が打ち寄せていることがわかる。このような突然の波が発生することについても注意が必要である。

参考文献

- 海上保安庁, 2019: 海難速報(8月5日～8月12日) 第三管区海上保安本部海の安全推進室
- 寒河江俊昭・木村未夏・杉本悟史・舘輝仁(2006): 港湾局波浪計の観測波高と沖合での波高の相関調査. 測候時報, 73, S137-S155.
- 池田 雅也・鈴木 啓介・永井 千春(2014): レーダー式波浪計の概要について, 測候時報, 81, S93-S100..
- 高野洋雄(2012): 波浪情報について. 平成23年度予報技術研修テキスト(第4章, 第1節), 68-77
- 内閣府(2017): 海洋の状況及び海洋に関して講じた施策, 第一部 海洋この1年, 19
https://www8.cao.go.jp/ocean/info/annual/h29_annual/pdf/h29_annual_1_3.pdf

3. 4 令和元年台風事例の検証結果のまとめ

3. 4. 1 台風第15号

- 東京湾に設置された「第二海堡」で、2017年の全国港湾海洋波浪観測年報記載の既往最大有義波高2.78mを上回る値(3.27m)を観測
- 横浜市臨海部において顕著な沿岸波浪害が発生
 - ✓ 台風周辺の強風による短い周期の波に加え、浦賀水道から入ってきた複数の波が重なり合って生じたものと推測
- 外洋では、三重尾鷲沖で、波浪モデルより3m程度高い6mを超える波高を観測。
 - ✓ SMB法によってうねりの波高を推定→波浪モデルでは、台風からのうねりの波高が過小に表現。

3. 4 令和元年台風事例の検証結果のまとめ

3. 4. 1 台風第15号

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、台風第15号では、東京湾に設置された第二海堡で2017年の全国港湾海洋波浪観測年報記載の既往最大有義波高2.78mを上回る値(3.27m)を観測するなど、東京湾西部で顕著な高波となり、横浜市の臨海部などを中心に沿岸波浪害が発生した。この高波は、台風周辺の強風による短い周期の波に加え、浦賀水道を抜けて入ってきた複数の波が重なり合って生じたものと推測した。外洋では、三重県尾鷲沖のGPS波高計で波浪モデルより3m程度高い6mを超える波高を観測した。SMB法を用いて台風の中心付近の波源の高さを推定し、沿岸に到達するうねりの波高を見積もり、その他の先行するうねりなど合成すると観測波高に近い波高が想定され、波浪モデルでは、台風第15号からのうねりが過小に表現されていたと考えられる。

3. 4 令和元年台風事例の検証結果のまとめ

3. 4. 2 台風第19号

- 経ヶ岬で既往最大有義波高(9.13m)を観測。
 - ✓ 風速が大きく、吹続時間の長い風浪発達場で、風予測の僅かな差による波高の予測差が大きかった。
- 高知室戸岬沖で、波浪モデルより3m程度高い10.85mを観測。波高のピークも6時間ほど早かった。
 - ✓ 台風からのうねりの波高がモデルで過小に表現。
 - ✓ 台風の近傍で、四国沿岸へのうねりをもたらす風向きが相対的に強い＋台風の進路・進行速度と風向・吹送距離が一致、十分な吹送距離を確保
⇒ うねりの波源となる風浪が十分に発達
- 東京湾では、湾奥を中心に極値を更新する南風を観測し風浪が発達したものの、港湾施設への被害は、台風15号ほど顕著ではなかった。
 - ✓ 台風の進行速度が台風15号と比べて速く、強い風が長時間継続しなかった。
 - ✓ 第19号は神奈川～東京の中央付近を通過。台風第15号は東京湾を通過。
✓ これにより、主に南よりの風による風浪が卓越、第15号のような複数方向からの波が混在する場とはならなかった。

3. 4 令和元年台風事例の検証結果のまとめ

3. 4. 2 台風第19号

次に、台風第19号では全国的に広い範囲で高波を観測した。日本海の経ヶ岬では既往最大有義波高(9.13m)を観測。北よりの強い風が長時間継続する風浪発達場となっていたが、こうした場においては、風予測の僅かな差による波高の予測差が大きくなるため注意が必要である。また、台風の進行方向からやや外れた高知室戸岬沖で、波浪モデルより3m程度高い10.85mを観測した。波高のピークも6時間ほど早かった。台風の近傍で、四国沿岸へのうねりをもたらす風向きが相対的に強い＋台風の進路・進行速度と風向き・吹送距離が概ね一致し十分な吹送距離を確保でき、うねりの波源となる風浪が十分に発達した。推定した波源の波高を基にSMB法を用いてうねりを見積もったところ、現地の風浪等を合成すると観測波高に近い波高が想定され、台風からのうねりが過小に表現されていたと考えられる。また、東京湾では、湾奥を中心に極値を更新する南風を観測し風浪が発達したが、第15号ほど、港湾施設への被害は顕著ではなかったとみられる。第15号と比べて台風の進行速度が速く、強い風が長くは継続しなかった点、第15号が東京湾を通過したのに対し第19号はやや西よりの神奈川県～東京都の中央付近を通過することにより主に南よりの風による風浪が卓越し第15号のような複数方向からの波が混在する場とはならなかった点が可能性として挙げられる。

3. 4 令和元年台風事例の検証結果のまとめ

3. 4. 3 台風第9, 10号

- ❑ 台風第9号及び第10号からのうねりで、台風が接近する前に本州沿岸で3～4mの波を観測。東日本の太平洋側を中心に海難事故が多発。
- ❑ 波浪モデルではうねりの予想が過小。SMB法で波源を設定し、うねりの見積りを行った。
- ❑ 下記の諸条件が重なり海難事故が多発した可能性あり
 - ✓ 好天＋猛暑＋お盆前の三連休
 - ✓ 台風が停滞し台風が遠方にある頃からうねりが到達
 - ✓ 波高は3～4mと高い
 - ✓ 二方向からのうねりで大波が発生した可能性

3. 4 令和元年台風事例の検証結果のまとめ

3. 4. 3 台風第9, 10号

最後に台風第9号及び台風第10号では、台風が接近する前に本州沿岸で3～4mの波を観測し、東日本の太平洋側を中心に海難事故が多発した。波浪モデルではうねりの予想が過小であり、SMB法で波源を設定し、うねりの見積りを行った。当時は、好天＋猛暑＋お盆前の三連休だったことに加え、台風が停滞し台風が遠方にある頃からうねりが到達したことで、人々のうねりへの警戒心が希薄だったこと、そこに、3～4mと高い波高で周期の長いうねりが到達したこと、さらに台風第9号、第10号を波源とする二方向からのうねりが混在し大波が発生しやすい場でもあったことなど、複数の要因が重なり合って海難事故が多発したと考えられる。

3. 4 令和元年台風事例の検証結果のまとめ

3. 4. 4 まとめ

□今回取り上げた波浪モデルの波高予測誤差の要因

- 海上風の予測誤差
- 波浪モデルの、うねりの予測が過小となる特性

□うねり予測過小に対して、うねりの波高はSMB法により推定可能

- 台風の進行速度や進行方向、強度、中心付近の風の分布等をもとに、波源の風浪の波高を推定
- 波源特定⇒到達するうねりの波高・周期・時期はSMB法により見積もられる。

□波浪に関する解説資料では、こうして見積もったうねりの波高を基に、波浪モデルの予測波高に対する修正量を提示

3. 4 令和元年台風事例の検証結果のまとめ

3. 4. 4 まとめ

今回取り上げた波浪モデルの波高予測誤差の要因には海上風の予測誤差、波浪モデルにおけるうねりの予測が過小となる特性が挙げられる。うねりの予測過小については、うねりの波高はSMB法により推定可能である。台風の進行速度や進行方向、強度、中心付近の風の分布等をもとに、波源の風浪の波高を推定したら、到達するうねりの波高・周期・時期はSMB法により見積もることが可能である。波浪に関する解説資料では、担当者がこうして見積もったうねりの波高を基に、波浪モデルの予測波高に対する修正量を提示しているため、参考にしてほしい。