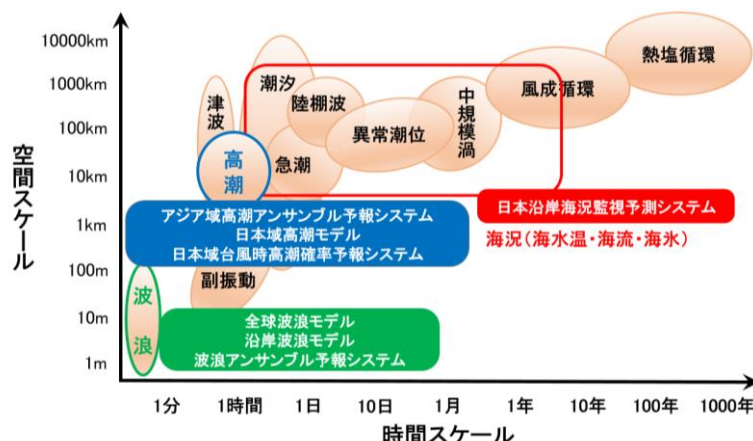




第1章 基礎編

1.4.2 海洋モデル

海洋現象の時空間スケールと 海洋モデルの予測対象



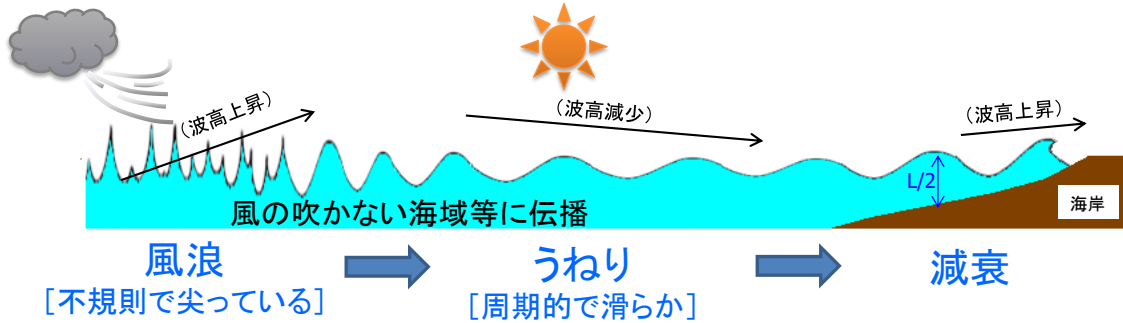
- 海洋では、数m～数100mスケールの波浪から、地球規模の熱塩循環まで、様々なスケールの現象が起きている
- 気象庁はこれらの様々な海洋現象を予測するため、「**波浪モデル**」「**高潮モデル**」「**海況モデル**」の各種モデルを運用

海洋では、図に示されるように、海上の風によって生じる数m～数100mスケールの波浪から、海水温と塩分による密度差で駆動される地球規模の熱塩循環まで、様々なスケールの現象が起きている。

気象庁では、これらの様々な海洋現象を予測し海洋起源の災害を軽減するために、予測対象ごとに「波浪モデル」、「高潮モデル」、「海況モデル」といった各種の海洋に関する数値予報モデルを運用している。

波浪モデル

波浪の一生



①風による風浪の発生

- 風速
 - 吹送距離
 - 吹続時間
- で波高・周期が決まる。

②風浪からうねりへの変化

- 波高は減少
- 周期は長くなる

③海岸近くで砕波

- 水深が浅くなると海底地形による屈折、波高の変形(浅水変形)
↓ さらに海岸に近づくとき...
- 波形勾配が大きくなり、やがて砕波

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。

波浪モデル

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

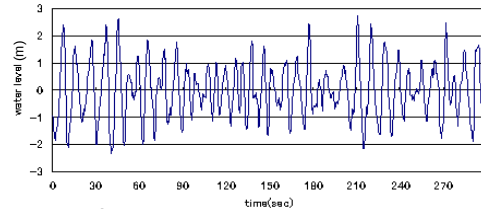
- ① 有義波(波高・周期・波向)
- ② 波浪スペクトル

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。



波の様子(気象庁観測船から撮影)



松前沿岸波浪計における波浪観測記録の例

波浪モデルは、海の各格子点において②波浪スペクトルの時間変化を計算し、①有義波に換算することで、波浪の各種情報の発表に繋げる。



気象庁 Japan Meteorological Agency

令和6年度数値予報解説資料集

61

海面は写真のように複雑な形状をしている。また、グラフは、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。

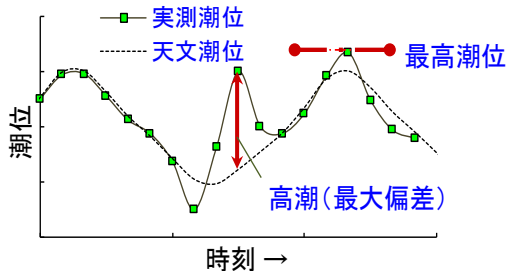
波浪モデルでは、計算対象となる海領域を水平方向に離散化し、各格子点に大気モデルで計算された風や熱帯低気圧情報に基づく風を与えて、エネルギー平衡方程式を解くことで波浪スペクトルの時間変化を計算する。警報・注意報や天気予報で用いる波高や周期は有義波で表現した値であるため、求めた波浪スペクトルを有義波に換算することで波浪の各種情報の発表に繋げている。

高潮モデル

高潮の基礎

- 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

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



潮位 Storm tide: 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。

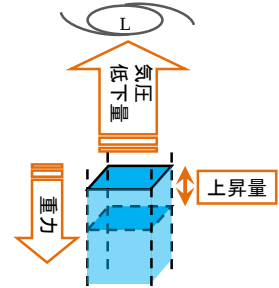
天文潮位 Astronomical tide: 気象の影響は含まれない。月や太陽の引力等により生じる海面の変動。

潮位偏差 Storm surge: 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。

吸い上げ効果

海面水位と気圧の静的バランスを考える。

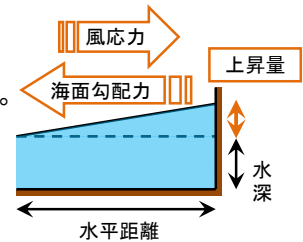
1hPaの気圧低下
≒1cmの海面上昇



吹き寄せ効果

風が海水を引きずる力を考える。

吹き寄せ効果による水位の上昇量は、**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。**



続いて、高潮モデルの概要について解説を行う。その前段として、高潮の基礎について簡単に述べる。左図には潮位、天文潮位、潮位偏差の概念図を示す。それぞれの用語の意味は下記の通りである。

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

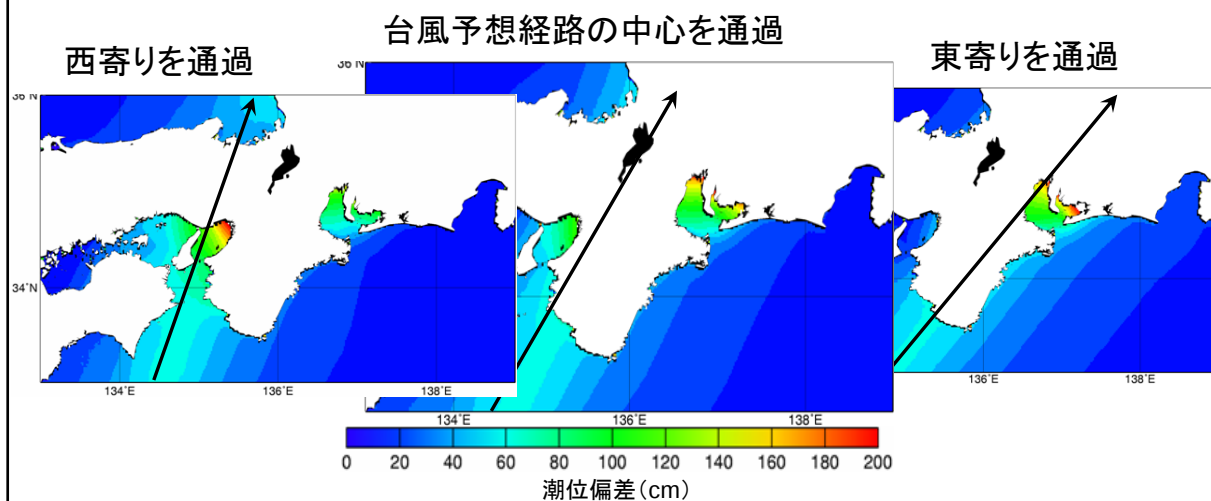
高潮の主な原因として、「吸い上げ」と「吹き寄せ」の2つの効果が挙げられる。前者は台風等が接近して気圧が低下すると海面を押さえつける力が小さくなるため、海面が盛り上がる効果で、この大きさは1hPa当たり約1cmである。一方後者は、海上風が沖合から海岸に向かって吹くことにより海面の海水が引きずられて海岸に吹き寄せられ、その結果海水が海岸に蓄積されて海面が上昇する効果である。この大きさは風速の2乗に比例し、水深に反比例する。このように高潮は風や気圧といった外力による上述の効果で海水が移動することによって生じることから、海水の運動を支配する方程式を電子計算機上で数値的に解くことにより、その時間的な変化を予測することができる。気象庁の高潮モデルでは、大気モデルや熱帯低気圧情報による風や気圧を外力として潮位偏差を予測した値に、別途算出した天文潮位を加算している。

なお、実際に生じる潮位の変動は、これらの要因以外にも、波浪効果(wave setup)、海況要因、浅海潮の影響により発生する場合がある。これらの効果は高潮モデルでは考慮されておらず、別途見積もっている。

高潮モデル

複数の台風コースを計算

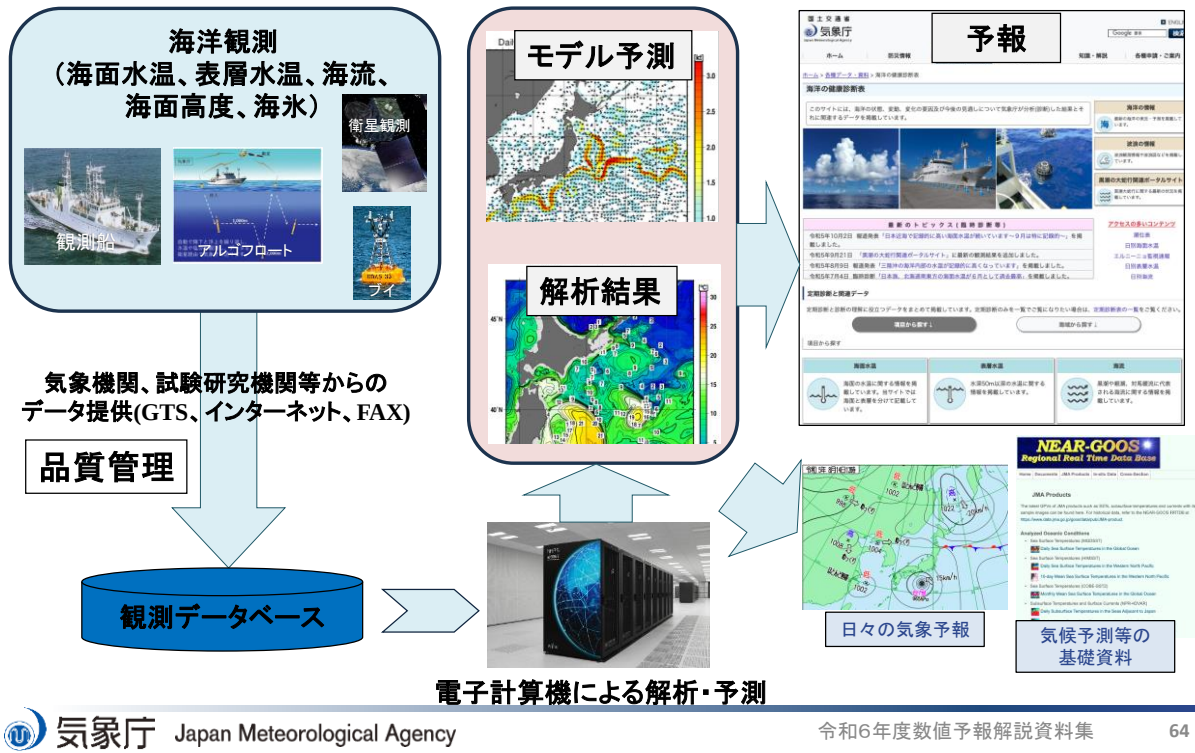
- ・ 高潮が発生する場所・規模は台風コースに強く依存。
- ・ 台風進路の予報誤差がある場合、大きな誤差が発生しうる。
 - － 複数のシナリオを用意し、最悪パターンを考慮して使い分ける。



図は、台風進路が少し変わった場合に、顕著な高潮の発生する場所がどのように変化するかを示している。この例では、台風が予報円西寄りを通過した場合は大阪湾、予報円中心を通過した場合は伊勢湾、予報円東寄りを通過した場合は三河湾で顕著な高潮が発生することがわかる。このように、高潮が発生する場所や規模は台風進路に大きく影響を受け、進路予報の誤差は高潮予測にも大きな誤差をもたらす。そのため気象庁の高潮モデルにおいては、台風時は複数のシナリオを用意し、状況に応じて使い分けているほか、予測の不確実性や潜在的なリスク評価にも用いている。

海況モデル

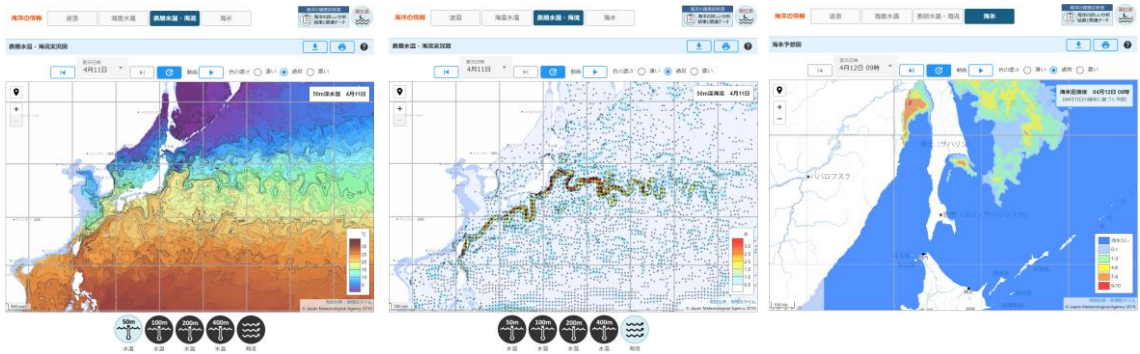
海況情報の収集から提供まで



気象庁では、北西太平洋の海況監視や日本周辺の詳細な海況情報を提供するため、海況モデルを運用しており、図は海況情報の収集から海況モデルによる解析・計算、情報提供までの一連の流れを示している。海洋観測船や海洋ブイ、衛星観測、海洋フロートなどの観測結果は、品質管理を経て海洋観測データベースに蓄積される。この蓄積されたデータを海洋モデルに同化し、解析値や予報値を作成する。解析値や予報値は、日々の天気予報や気象予報の基礎資料として活用されている。

海況モデル

海況情報の利用



表層水温

海流

海氷

海況モデルにより、海流や水温、
海水等の情報・予測を提供



- 安全で経済的な船舶の運航や捜索
- 水産業
- 沿岸防災
- レジャー・スポーツ
- 流出油・津波デブリの漂流予測
- 汚染物質の移流・拡散予測

海況情報は、安全で経済的な船舶の運航や捜索、水産業、沿岸防災、レジャー・スポーツ、流出油・津波デブリの漂流予測、汚染物質の移流・拡散予測などに利用されている。漂流予測は、海面に浮いたものが対象で、風の応力を直接受ける一方、移流・拡散予測は海水に溶けたものが対象で、海水とともに鉛直方向にも移動する。