



# 第1章 基礎編

## 1.7.16 日本沿岸海況監視予測システム

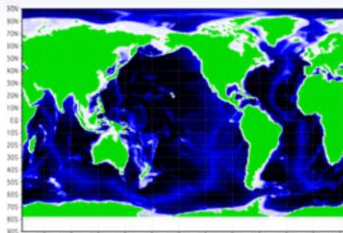
# 日本沿岸海況監視予測システムの特徴

## 解析システム(潮汐・気圧応答なし)

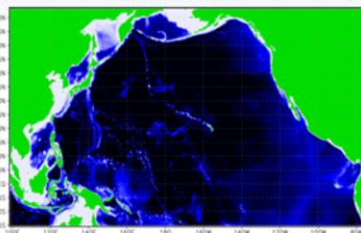
Hirose et al.(2019)に詳しく

全球3D-Var解析(約100km)(GLB)

北太平洋4D-Var解析(約10km~可変)(NPR)



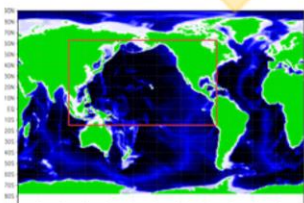
単方向  
ネスティング  
(オフライン)



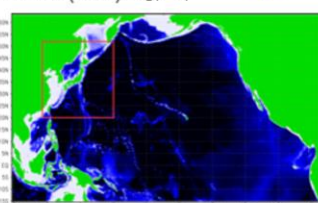
メノスケール

## 予測システム(潮汐・気圧応答あり)

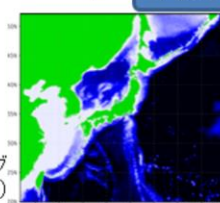
Sakamoto et al.(2019)に詳しく



双方向  
ネスティング



単方向  
ネスティング  
(オフライン)



IAU法による  
初期化

サブメノスケール

全球モデル(約100km)  
(GLB)

北太平洋モデル(約10km)  
(NP)

日本近海モデル(約2km)  
(JPN)

海水と海氷の総和の体積が保存

水位の信頼性が向上

気象庁では沿岸域におけるより詳細な海流・海水温が把握可能な日本沿岸海況監視予測システム(JPNシステム)を開発し、令和2年10月28日(10月27日00UTC初期値)から運用を開始した。

日本沿岸海況監視予測システムの構成図を示す。解析システムである海洋データ同化システム MOVE/MRI.COM (Usui et al. 2015; Hirose et al. 2019) と、予測システムである気象研究所共用海洋モデル MRI.COM (Sakamoto et al. 2019; Sakamoto et al. 2023) から構成される。予測システムの一部では、双方向オンラインネスティングが採用されている。これにより、親モデルと子モデルの場が滑らかに繋がり、側面境界の不連続性が解消、ノイズの発生も抑制される。

# 日本沿岸海況監視予測システム 解析システム概要

モデル	全球モデル GLB	北太平洋モデル NPR
水平解像度	東西1度×南北0.5度 (北極域:一般座標) (赤道域:南北0.3度)	日本近海:東西1/11×南北1/10度 その他:1/7度~0.3度
対象海域	全球	北太平洋
遅延解析	1週間かけて実行(大気外力: JRA-3Q)	
速報解析	10~1日前(大気外力: GSM)	
同化手法	3D-Var (3次元変分法)	4D-Var (4次元変分法)
同化ウィンドウ	5日×2	10日
潮汐過程	なし	
対象とする現象	黒潮、親潮、中規模渦 (数日スケールの変動を同化)	

解析システムは、全球モデル(GLB)と北太平洋モデル(NPR)から構成される。GLBを用いて3次元変分法による解析を行った後、子モデルのNPRを用いた4次元変分法による解析を行う。

# 日本沿岸海況監視予測システム

## 解析(NPR) : 4次元変分法による同化

- 同化ウィンドウは実行日(◎)の前10日間(□■)
- 7日前～1日前(■)の観測データと前方積分結果を比較
- 後方積分: 評価関数を最小化するような初期修正量を求める
- 前方積分(2回目): 最初の3日間(□)をIAUにより修正
- 後方積分(2回目): 初期修正量を求める
- ⋮
- 所定の条件をみたすまで、前方・後方積分を繰り返す



◎: 実行日

■: 観測データと前方積分結果を比較する、実行日◎の7日前～1日前

□: IAUにより修正される、最初の3日間

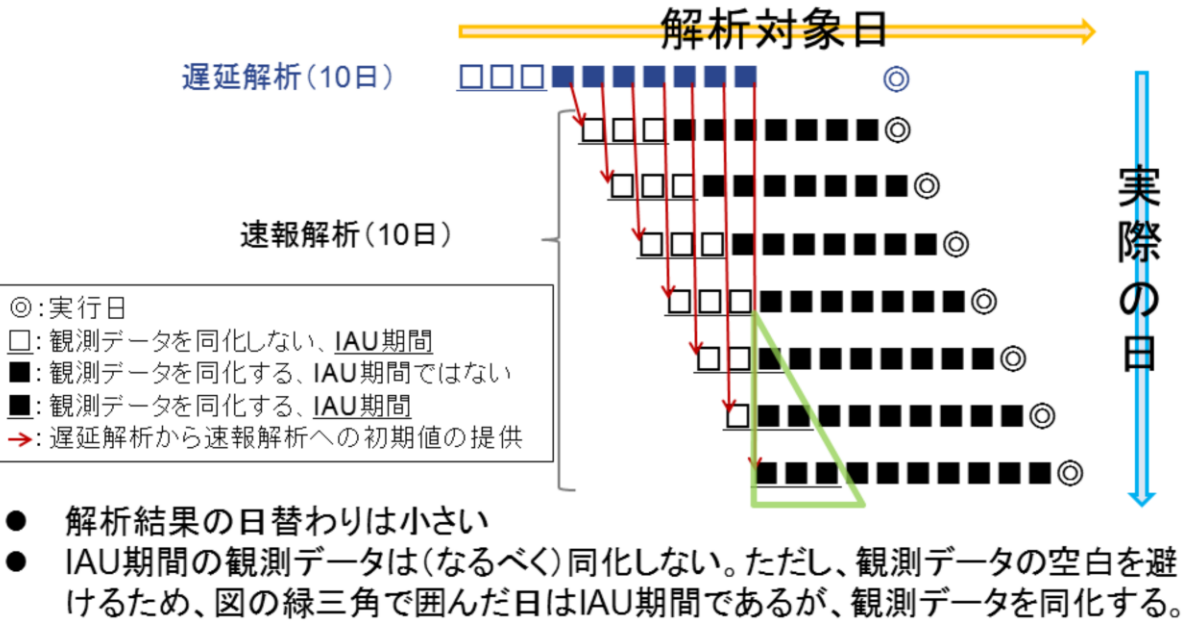


日本沿岸海況監視予測システムの北太平洋モデル(NPR)では、4次元変分法によるデータ同化を行う。前方積分と後方積分を行って、評価関数を最小化するような初期修正量を求めるが、求まった修正量の構造は、4次元変分法といえどもモデルの力学を満たしているわけではなく、このような修正量を1ステップで前方計算用のモデルに与えると、重力波などの高周波ノイズを生じさせる原因となる。そのため、Bloom et al.(1996)の Incremental Analysis Update (IAU) の手法を用いて、解析対象期間の最初の3日間において、前方計算用のモデルで修正量をタイムステップごとに加えながら積分することにより、高周波ノイズの除去を図っている。評価関数の修正量に関する勾配と初期勾配との比が所定の値以下になるまでこの手続きを繰り返す。

# 日本沿岸海況監視予測システム

## 解析:速報解析

初期値は遅延解析の結果から



基本的にIAU期間の観測データは同化しないが、観測データの空白を避けるため例外的に同化する場合もある。(図の緑三角で囲んだ日)

# 日本沿岸海況監視予測システム

## 解析: 遅延解析

解析対象日



- 遅延解析を毎日実行し、1週間かけて過去40日以上解析を行う。  
対象日はつねに水曜から翌週金曜
- 木曜実行の対象期間が最古
- 実行日に近づいた遅延解析の結果に接続して速報解析を実行

遅延解析を毎日実行し、速報解析に接続する。1週間かけて過去40日以上解析を行い、定線観測データ等を確実に同化する。木曜日実行の遅延解析結果は以後書き換えられることなく確定する。赤矢印は遅延解析から遅延解析への、青矢印は遅延解析から速報解析への、緑矢印は速報解析から速報解析へ(バックアップとして)の、リスタートファイルの引継ぎを示す。

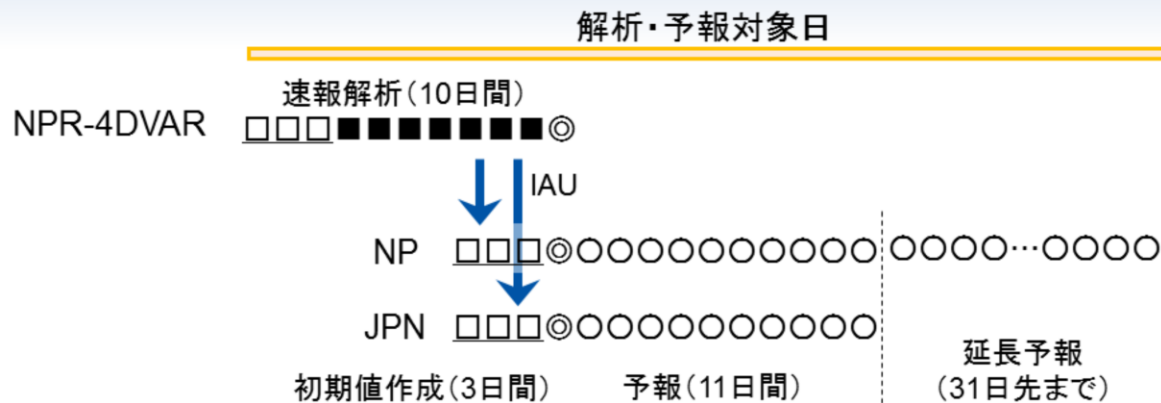
# 日本沿岸海況監視予測システム 予報システム概要

モデル	全球モデル GLB	北太平洋モデル NP	日本近海モデル JPN
水平解像度	1×0.3-0.5度	1/11×1/10度	1/33×1/50度(約2 km)
対象海域	全球	北太平洋	日本近海
外力	11日まで: GSM 12日以降: GEPS・JRA-55気候値		GSM
初期値(参照)	GLB-3DVAR	NPR-4DVAR	
IAU期間	3日間		
予報期間	11日間		
延長予報	1か月(GEPS)		なし
潮汐過程	あり		
河川水	JRA55気候値		
対象とする現象	黒潮、親潮、中規模渦		小規模渦、ストリーマ、沿岸波、 沿岸湧昇 (詳細な海岸・海底地形)

予測システムは、水平解像度2kmの日本近海モデル(JPN)を核として、北太平洋モデル(NP)、全球モデル(GLB)から構成される。予報期間は、JPNについては11日間、NPおよびGLBは1か月である。NPおよびGLBの1か月延長予報は、気象庁が毎旬発表する海面水温・海流1か月予報の基礎資料等の用途で使用するために実行される。

# 日本沿岸海況監視予測システム

## 予報: 初期値作成と予報期間



### 初期値作成

- NP、JPNの第一推定値(平滑化)と NPR-4DVAR 解析値を比較する。
- 求めた修正量を IAU によりNP、JPNに入れて初期値とする。

### 予報期間

- JPN の予報は11日間。
- NP は31日(1か月)先まで延長予報を行う。



予測システムの初期値は、IAUを用いて、予報開始前の3日間に対して海洋モデルを実行しながらモデルの水温・塩分場を速報解析の水温・塩分に近づけるよう修正することで作成される。作成した初期値にもとづき、JPNでは11日間の予報を行い、NPではさらに1か月先まで延長予報を行う。

なお、GLBについては図には示していないが、初期値を作成するには GLB-3DVAR 解析値を用いる。また、GLBの予報期間はNPと同じく31日(1か月)先まで行なう。

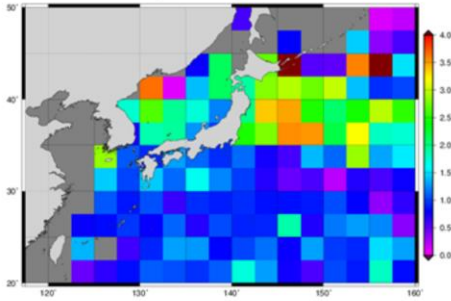
。



# 日本沿岸海況監視予測システム

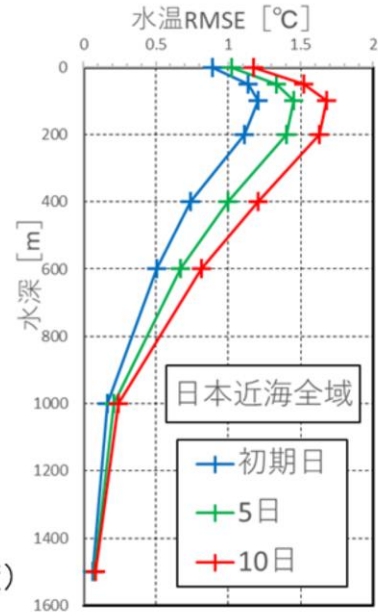
## 解析・予報精度(水温)

JPN: 水温11日予測値のRMSE  
(水深100m)



- 本州東方でRMSEが大きい(解析と同様)
- RMSEが最大となるのは水深100m付近。
- 水深100m付近では、10日予測値のRMSEは初期日の約1.4倍大きい(他の水深でも同程度)

JPN: 予報日ごとの水深別RMSE

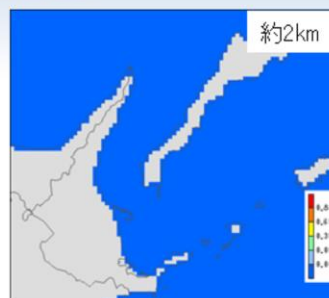


水温のRMSEは水深100メートル付近で最大となる。水深100メートルでの10日予測値のRMSEは初期日の約1.4倍で、他の水深でも同程度である。

# 日本沿岸海況監視予測システム

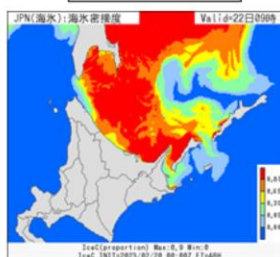
## 予報: 海氷予測の概要

日本近海モデル(JPN)	
水平格子間隔	約2km
領域	北緯20度～52度 東経117度～160度
予報時間	11日間
予報時間間隔	3時間
予報頻度	毎日、通年

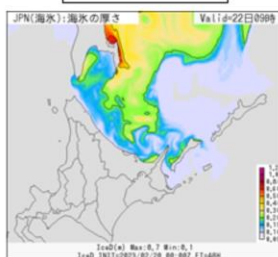


モデル格子

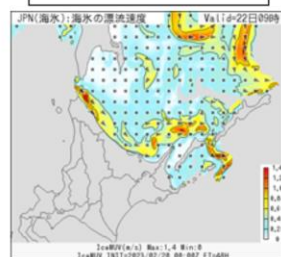
海氷密接度



海氷の厚さ



海氷の漂流速度



初期値: 2023年2月20日00UTC、FT=48時間

JPNシステムの日本近海モデル(JPN)には、従来の海氷モデルを高度化した2kmの海氷モデルも組み込まれている。下図にJPNから得られる海氷予測の各要素を示す。海氷密接度だけでなく、海氷の厚さや海氷の漂流速度についても、詳細に把握することが出来る。

# 日本沿岸海況監視予測システム

## 解析: 海氷密接度の同化

- JPNモデルでは火・金曜の海水速報解析から作成される日々の海氷密接度にナッジング



海氷密接度同化は、JPNでは海水速報解析を、GLBとNPIはマイクロ波放射計による客観解析値を参照してナッジングすることで、海氷の実況を初期値に反映している。JPN実行日(予報1日目)の海水速報解析値を利用可能である。

# 参考文献

- Usui, N., Y. Fujii, K. Sakamoto, M. Kamachi, 2015: Development of a four dimensional variational assimilation system toward coastal data assimilation around Japan. *Mon. Wea. Rev.*, **143** 3874–3892.
- Hirose, N., N. Usui, K. Sakamoto, H. Tsujino, G. Yamanaka, H. Nakano, S. Urakawa, T. Toyoda, Y. Fujii, and N. Kohno, 2019: Development of a new operational system for monitoring and forecasting coastal and open ocean states around Japan. *Ocean Dyn.*, **69**, 1333–1357.
- Sakamoto, K., H. Nakano, S. Urakawa, T. Toyoda, Y. Kawakami, H. Tsujino, and G. Yamanaka, 2023: Reference Manual for the Meteorological Research Institute Community Ocean Model Version 5 (MRI.COMv5), *Tech. Rep.*, **87**, Meteorological Research Institute, Japan.
- Sakamoto, K., H. Tsujino, H. Nakano, S. Urakawa, T. Toyoda, N. Hirose, N. Usui, and G. Yamanaka, 2019: Development of a 2km-resolution ocean model covering the coastal seas around Japan for operational application. *Ocean Dyn.*, **69**, 1181–1202.
- Bloom, S. C., L. L. Takacs, Silva A. M. D., and Ledvina D., 1996: Data assimilation using incremental analysis updates. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 1256–1271.
- ISHII, M., SHOUJI, A., SUGIMOTO, S., MATSUMOTO, A., 2005: Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using icoads and the KOBE collection. *Int. J. Climatol.* **25**: 865–879 (2005)