

日本を取り巻く海の詳細な把握に向けて －海の「天気予報」の最前線－

碓氷 典久

(気象庁気象研究所 海洋・地球化学研究部)



平成30年11月10日 一橋大学一橋講堂

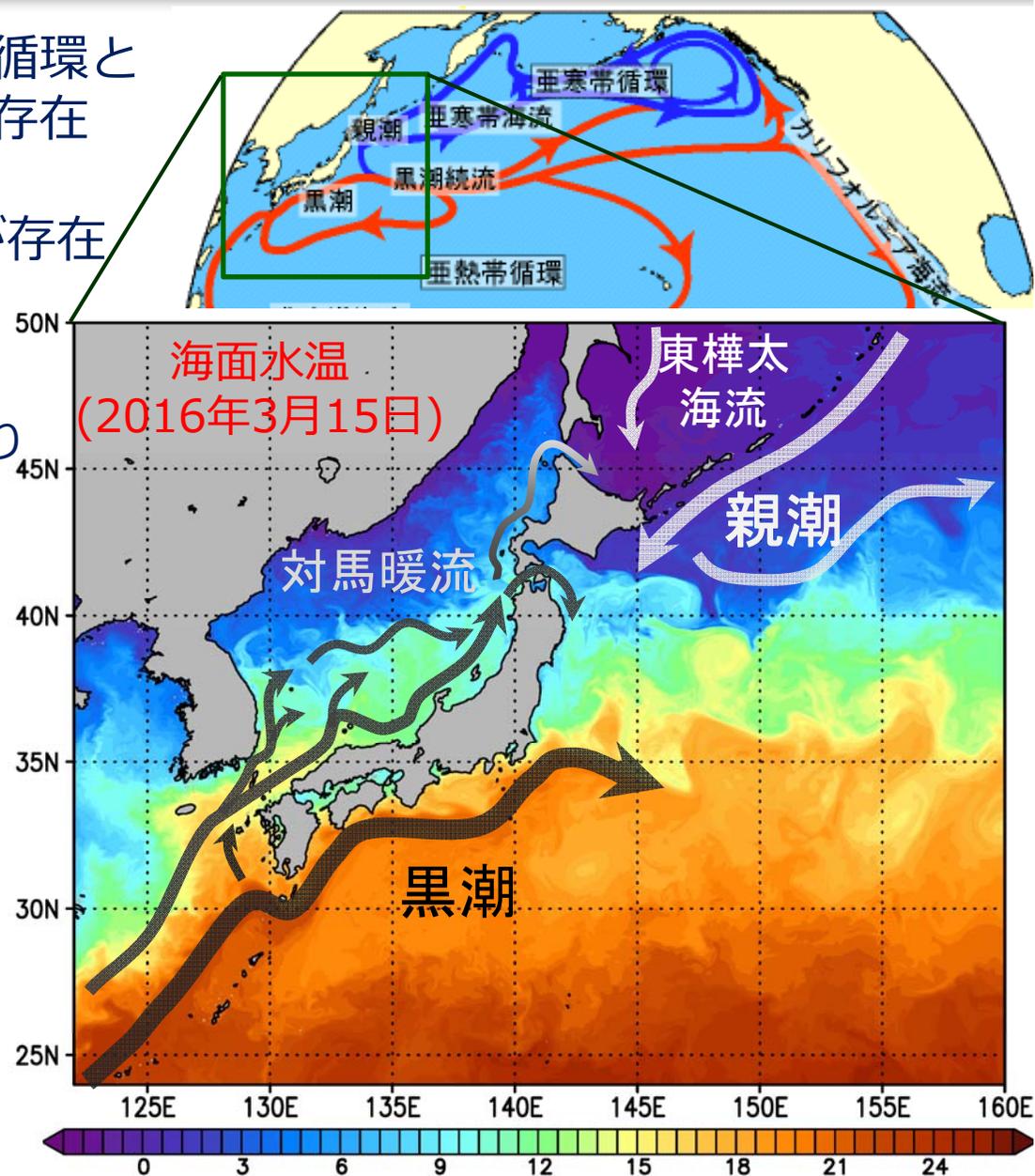


内容

- ▶ はじめに
 - ▶ 海洋情報の重要性と利用例
 - ▶ 沿岸予測へのニーズ
- ▶ 海の「天気予報」のしくみ
 - ▶ 海洋モデル
 - ▶ 海洋観測データ
 - ▶ モデルと観測を統合する「データ同化」
- ▶ 海の「天気予報」システムを用いた黒潮大蛇行の再現と予測
 - ▶ 黒潮大蛇行とは
 - ▶ 2017年に発生した大蛇行の再現と予測
- ▶ まとめ

はじめに

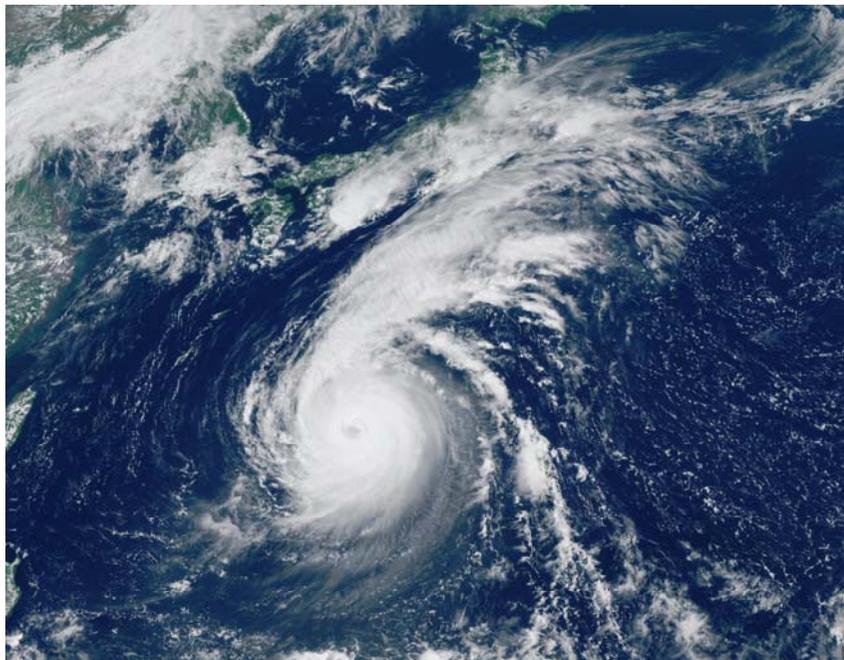
- ▶ 日本列島は北太平洋の亜熱帯循環と亜寒帯循環の境界の緯度帯に存在
- ▶ 日本の周囲には、暖流,寒流が存在
 - ▶ 変化に富む気候
 - ▶ 豊富な水産資源
 - ▶ 社会経済活動とも密接な関わり
- ▶ 海洋情報の重要性
 - ▶ 気象・気候
 - ▶ 防災
 - ▶ 地球環境問題
 - ▶ 漁業・水産資源管理
 - ▶ 海上交通
 - ▶ 海洋エネルギー
 - ▶ 海洋汚染、漂流物問題
 - ▶ … etc



海洋情報の利用例（1）

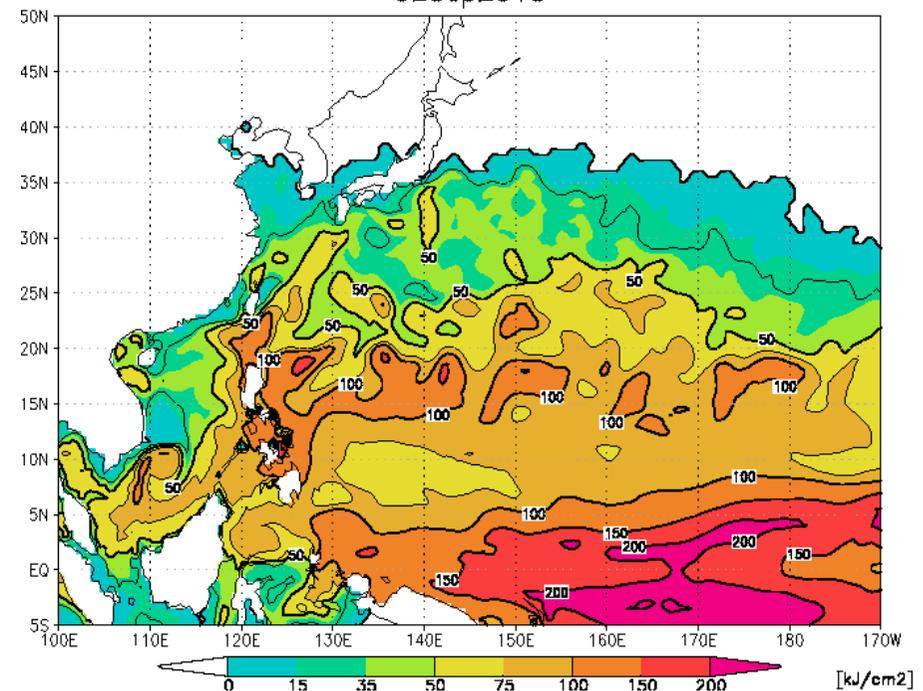
台風強度予報への利用

- 海洋表層の水溫分布から貯熱量を計算
- 貯熱量を台風強度予報に利用



台風21号のひまわり画像
(2018年9月2日03UTC)

水温が26℃より暖かい海水の熱量
02Sep2018

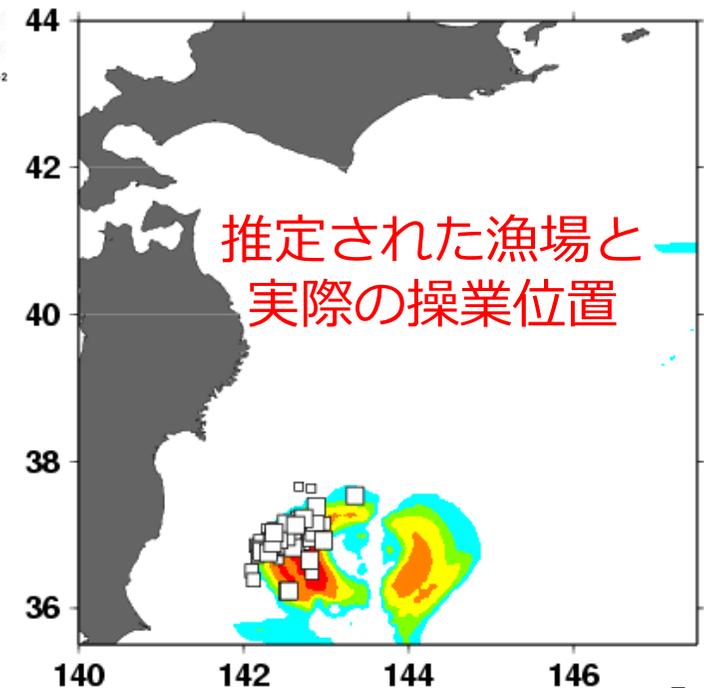
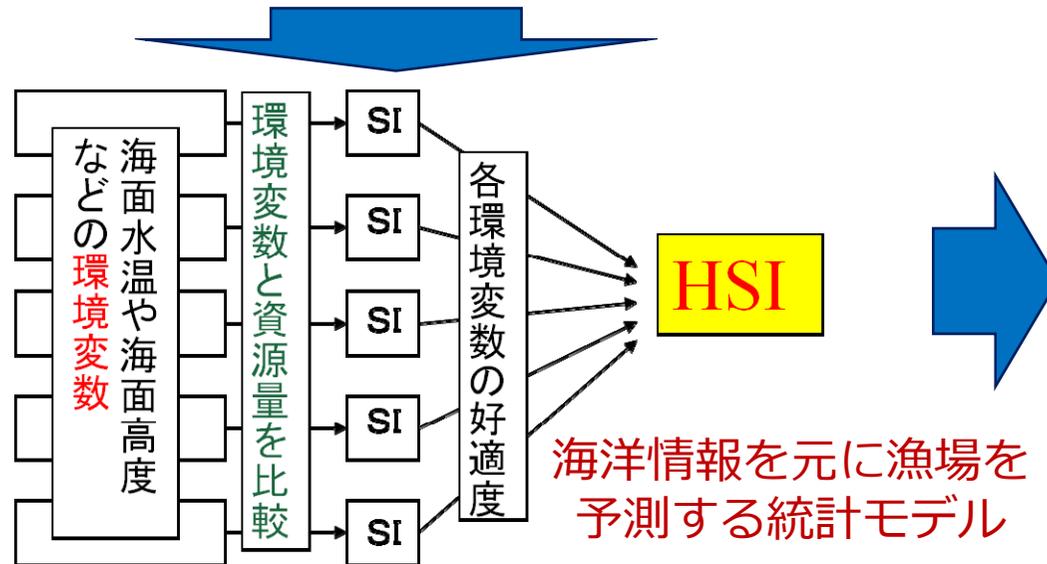
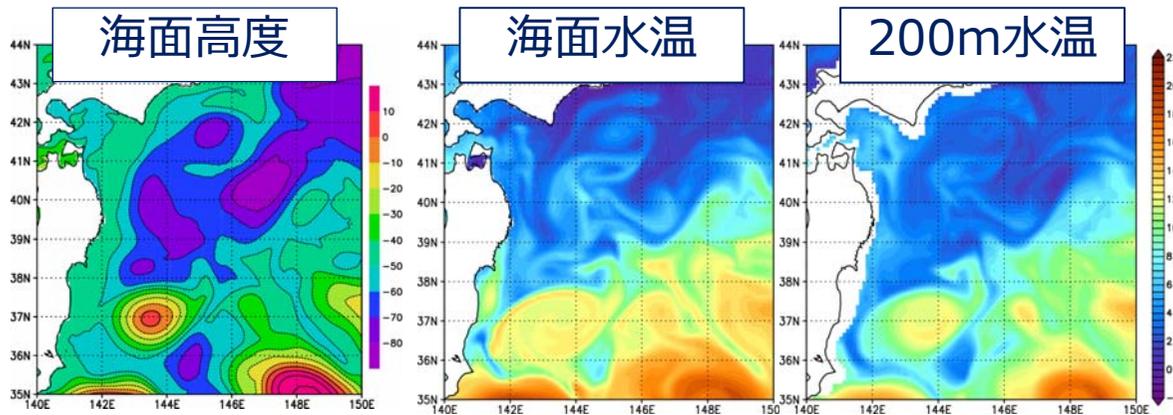


海洋表層の貯熱量分布
(2018年9月2日)

海洋情報の利用例（2）

漁場予測への利用

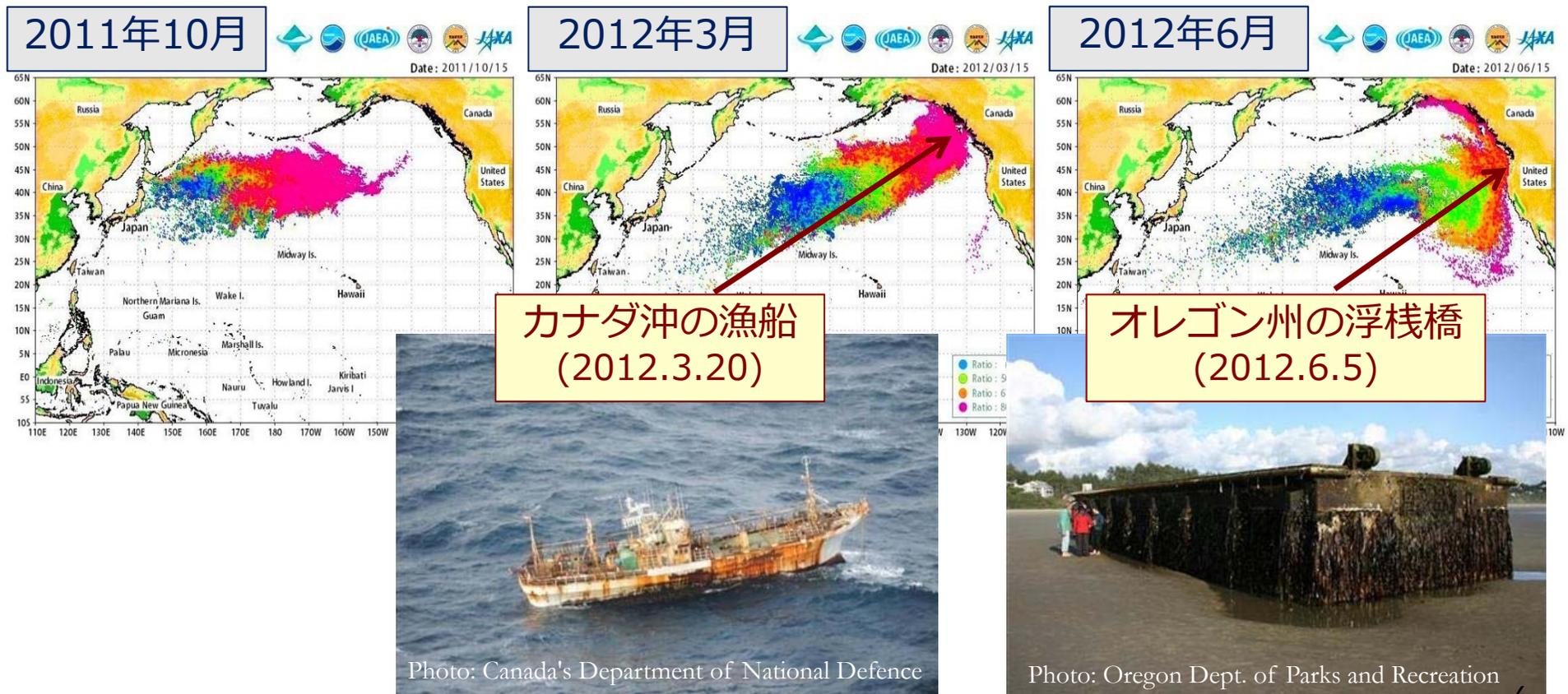
アカイカを対象とした漁場推定



海洋情報の利用例 (3)

漂流予測への利用

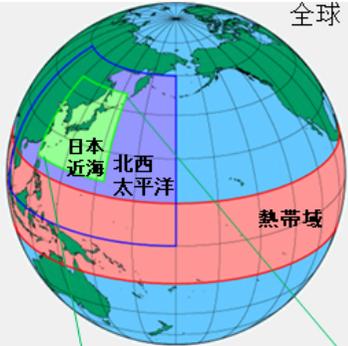
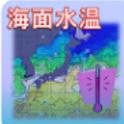
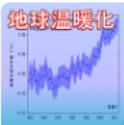
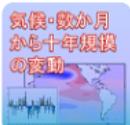
- 東日本大震災の津波で海洋に流出した漂流物の予測計算
- 海流情報を用いて漂流物を模した粒子の挙動を予測



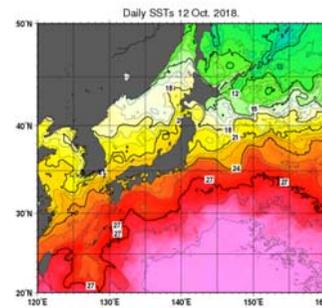
気象庁の発表する海洋情報

海洋の健康診断 (海洋の総合情報)

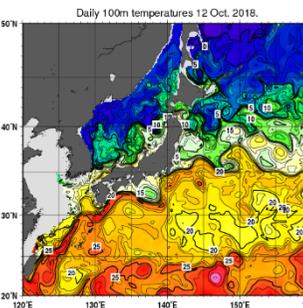
<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/index.html>

| 項目から選択 | | | 海域から選択 |
|--|--|---|---|
|  波浪 |  潮汐・海面水位 |  海水 |  <p>全球</p> <p>日本近海 北西太平洋 熱帯域</p>  <p>北海道周辺 東北周辺 関東・東海・北陸周辺 近畿・中国・四国周辺 九州・山口周辺 沖縄周辺</p> |
|  海面水温 |  表層水温 |  海流 | |
|  地球温暖化 |  気候・数か月から十年規模の変動 |  エルニーニョ・ラニーニャ現象 | |
|  二酸化炭素と海洋酸性化 |  海洋汚染 |  海洋気象観測 | |

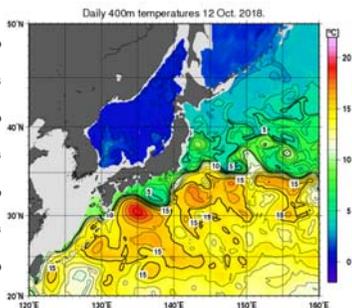
海面水温



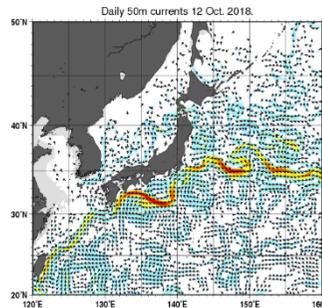
100m水温



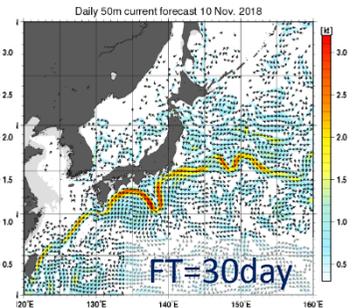
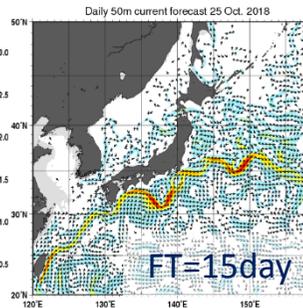
400m水温



海流 (実況)



海流予測 (1ヶ月後までを予測)



- 多くの海洋情報は、海の「天気予報」に基づいている
- 現状は「沿岸域」は予測の対象外

沿岸予測への高いニーズ

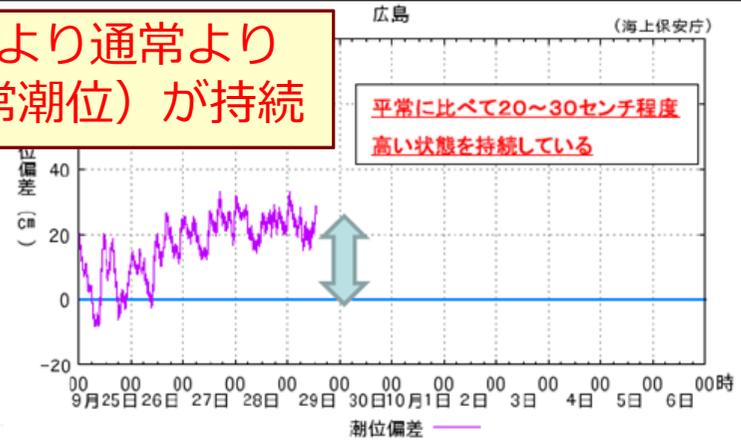
沿岸水位（異常潮位）

異常潮位に関する広島県潮位情報 第4号

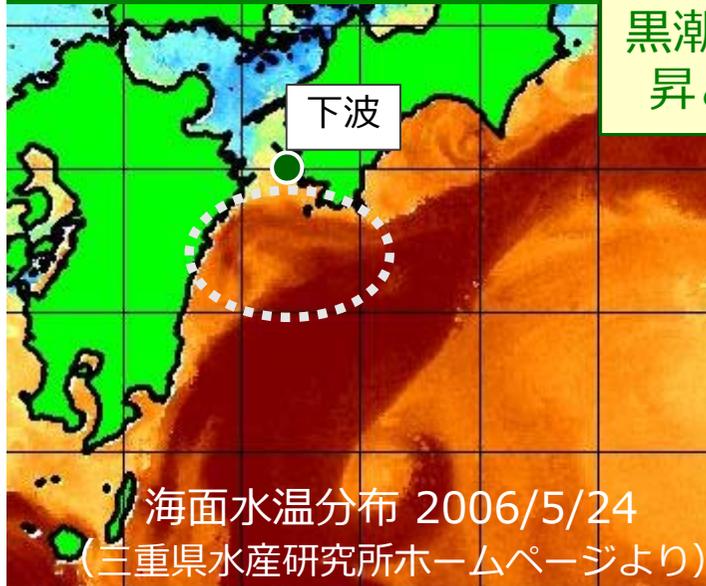
平成23年09月29日 16時14分 広島地方気象台発表

広島県沿岸では、30日昼前から昼過ぎは高潮による浸水や冠水に警戒して下さい

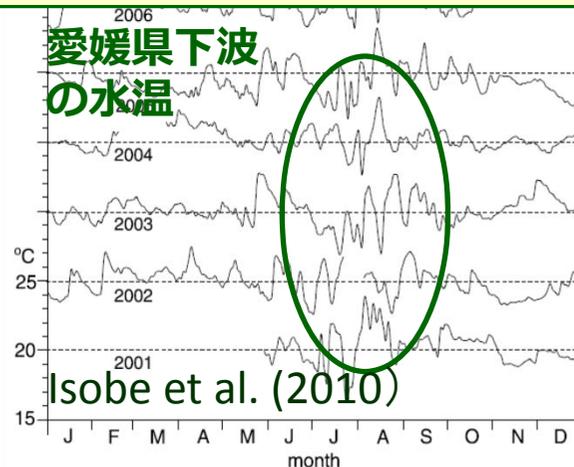
黒潮の影響により通常より
高い潮位（異常潮位）が持続



暖水波及・急潮



黒潮の一部が沿岸に侵入。水温の急上昇と強い流れ（急潮）をもたらす。



急潮被害を受けた定置網
「高知県海域における漁海況と主要魚種の資源生態(高知県水産試験場,2017年)」

沿岸予測への高いニーズ

沿岸水位 (異常潮位)

異常潮位に関する広島県潮位情報 第4号

平成23年09月29日 16時14分 広島地方気象台発表

広島県沿岸では、30日昼前から昼過ぎは高潮による浸水や冠水に警戒して下さい

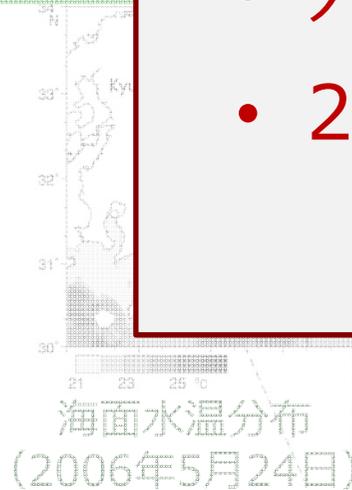
平常の潮位に比べ暴潮の潮位が20~30センチ程度高くなっています。10月1日までの退潮前後の時間帯や低気圧の接近時には海岸や低地での浸水や冠水のおそれがあります。

大潮時のピークは過ぎましたが、30日は前線の通過で更に平常潮位との差が大きくなり、30~40センチ程度

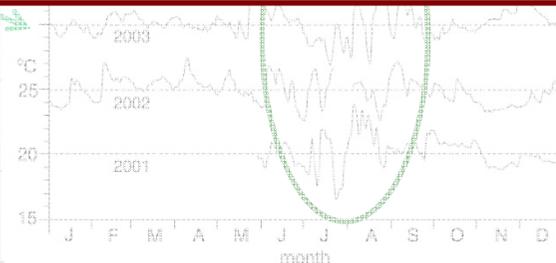
気象研究所では、海洋情報の高度化に向け、新たな海の「天気予報」システムを開発

- 外洋に加え、「沿岸域」も予測対象
- 2020年に気象庁での運用開始予定

暖水



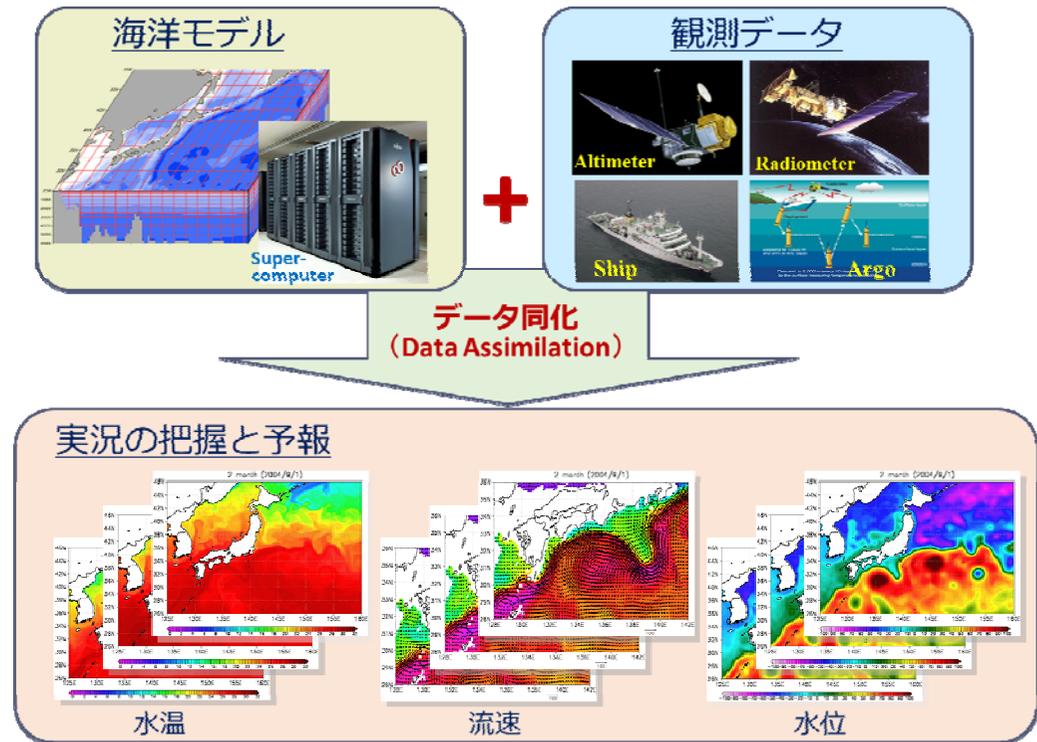
Isobe et al. (2010)



急潮被害を受けた定置網
(高知県水産試験場, 2017)

海の「天気予報」のしくみ

- ▶ 海洋モデル
- ▶ 海洋観測データ
- ▶ モデルと観測を統合する「データ同化」



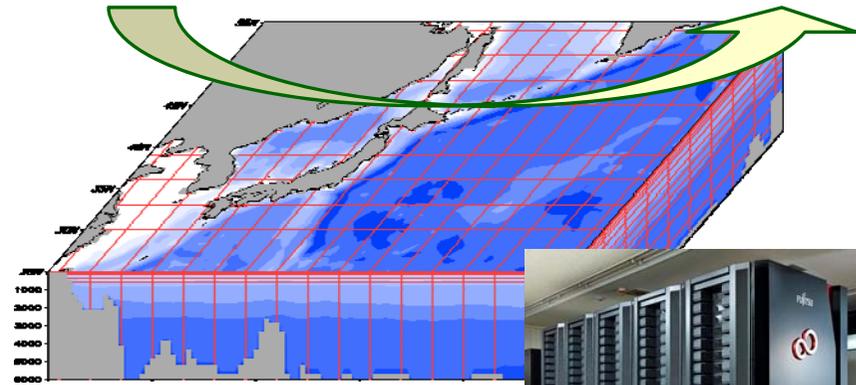
海の「天気予報」の模式図

海洋モデル

▶ 海洋モデルとは

- ▶ 海洋を細かい格子に分割
- ▶ 各格子における、流れ、水温、塩分などの時間変化を物理方程式に基づいて計算

大気外力（風、熱、淡水）



▶ 気象研究所では独自の海洋モデルを開発

▶ 気象業務への利用

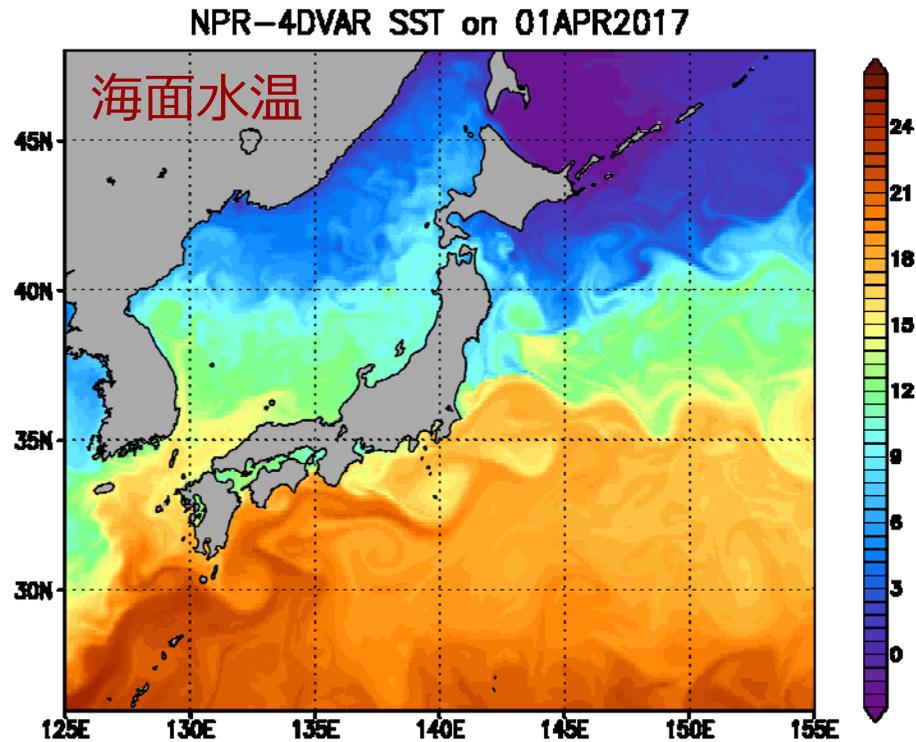
- ▶ 温暖化予測モデルの海洋部分
- ▶ エルニーニョの監視・予測
- ▶ 北西太平洋の海況監視・予測（日本周辺の海の「天気予報」）



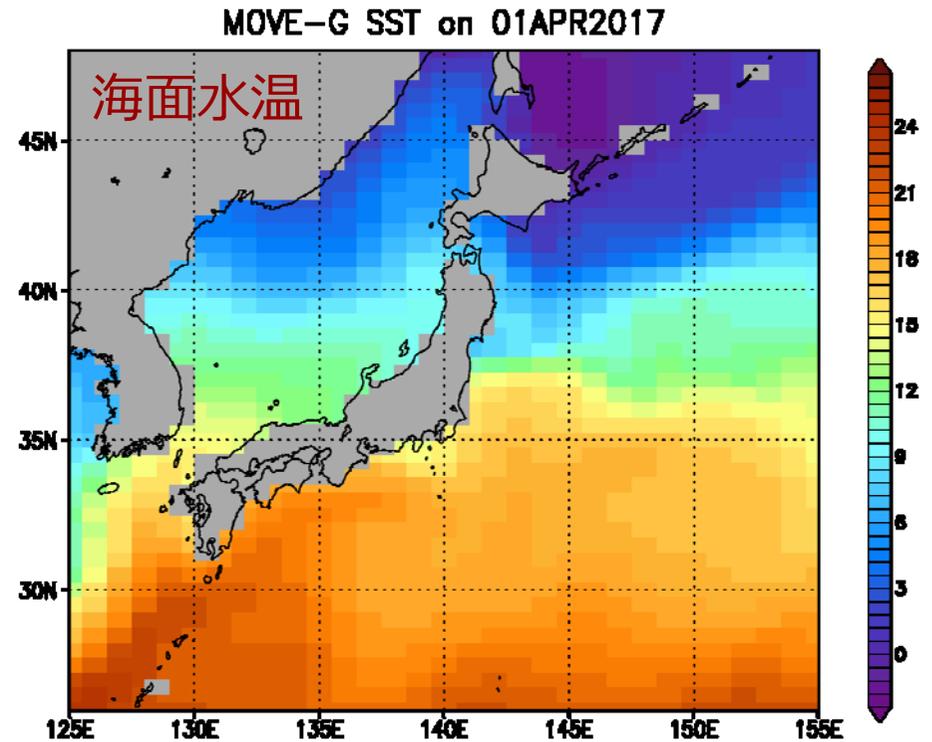
スーパーコンピュータ
(Fujitsu FX100)

水平解像度の重要性

水平解像度「10km」



水平解像度「100km」



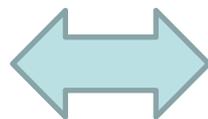
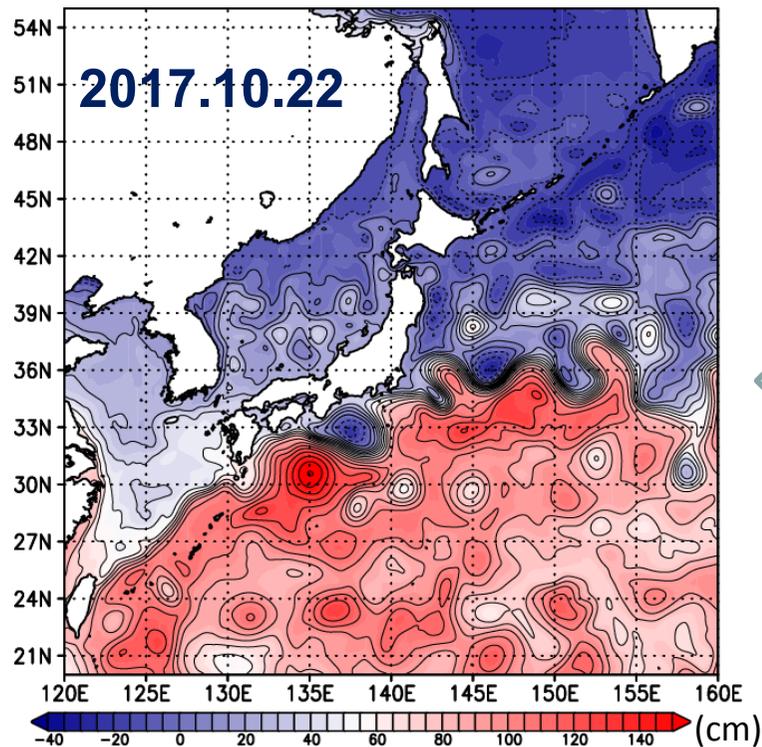
黒潮等の海流の変動が詳細に表現される

黒潮等の海流の変動は表現されない

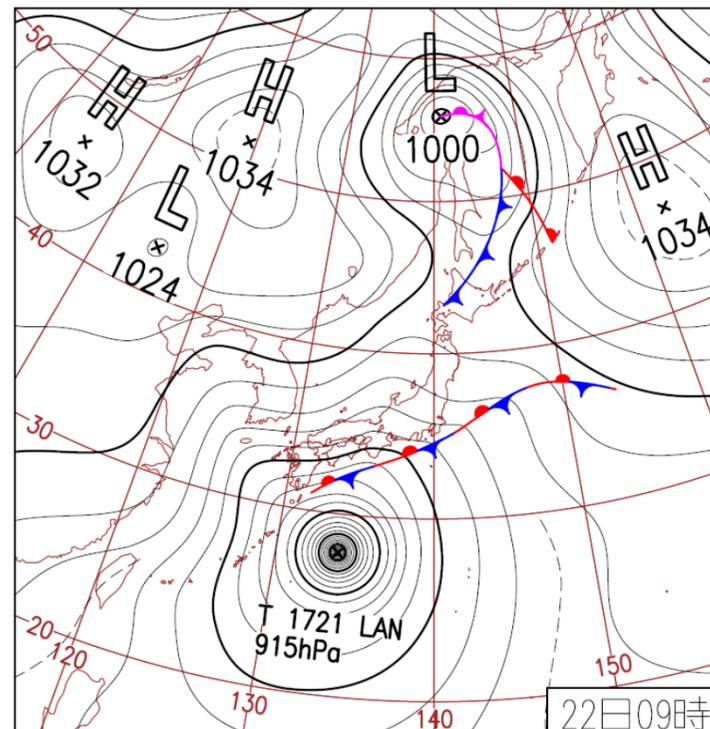
現行の気象庁の海況予報システムでは
10km解像度のモデルを使用

10km解像度で表現される「中規模渦」

10kmモデルで再現された
海面水位分布 → 海の天気図



地上天気図
(2017年10月22日09時)

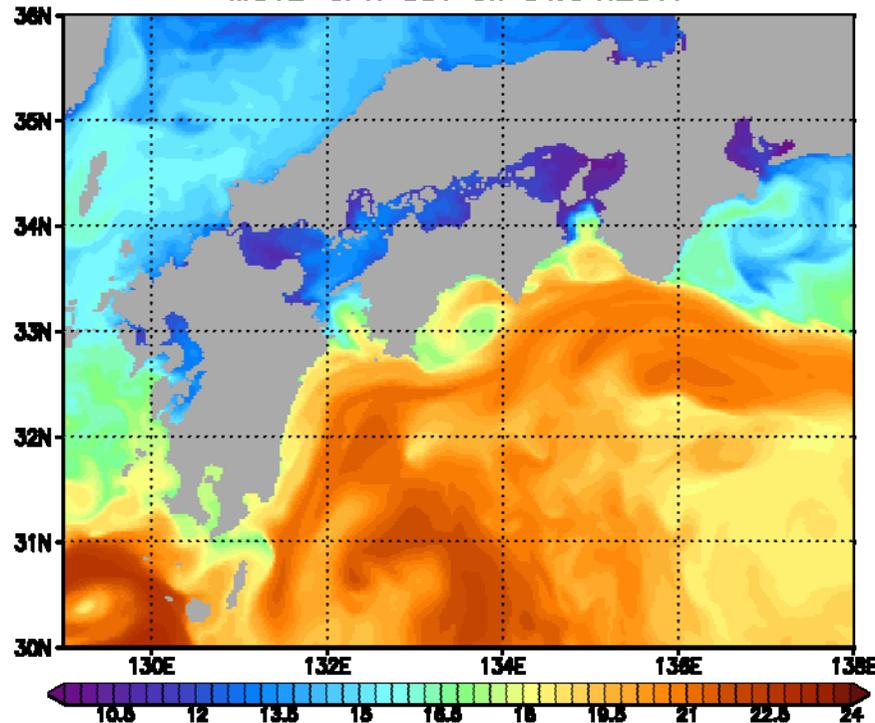


- 100kmスケールの「中規模渦」が多数存在
- 海洋中規模渦は大気の高気圧に対応
- 大気の高気圧と比べて水平スケールが圧倒的に小さい
海洋 (~100km) << 大気 (~1000km)

沿岸予測のための更なる高解像度化

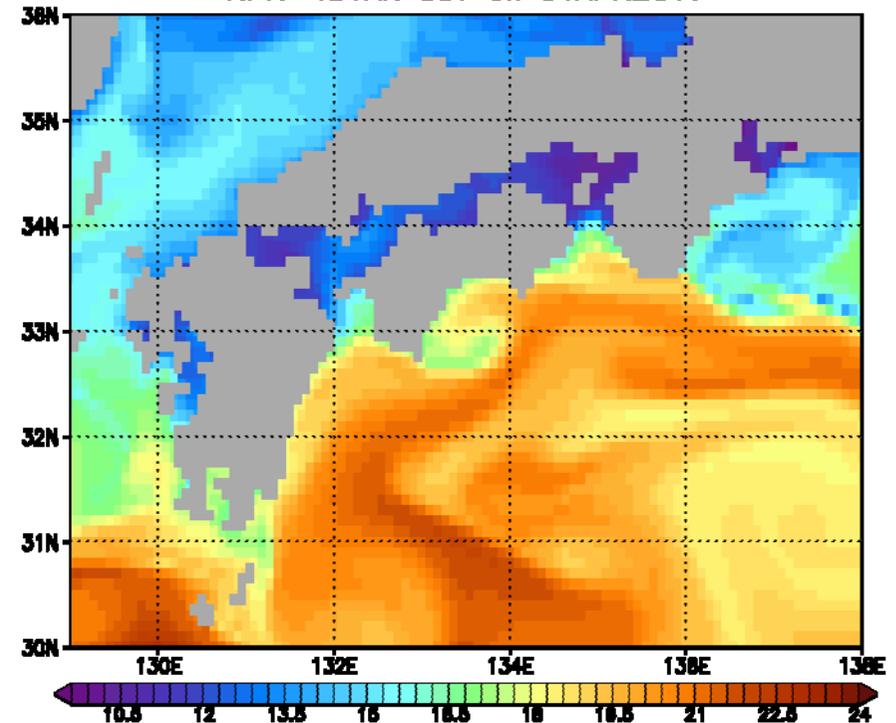
水平解像度「2km」

MOVE-JPN SST on 01APR2017



水平解像度「10km」

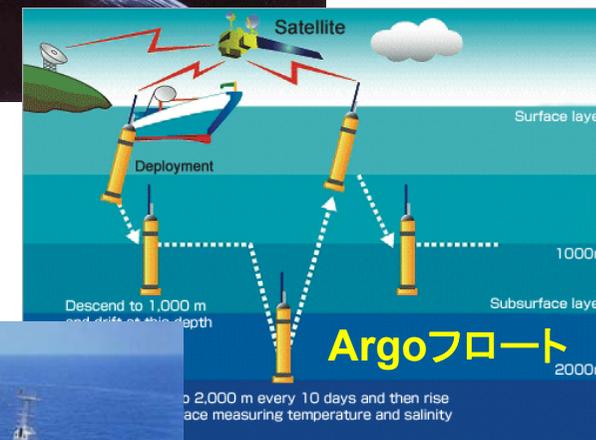
NPR-4DVAR SST on 01APR2017



- 地形の表現が格段に向上
- 黒潮から間欠的に暖水が沿岸域へ入り込む暖水波及が表現される

実況把握に用いている海洋観測

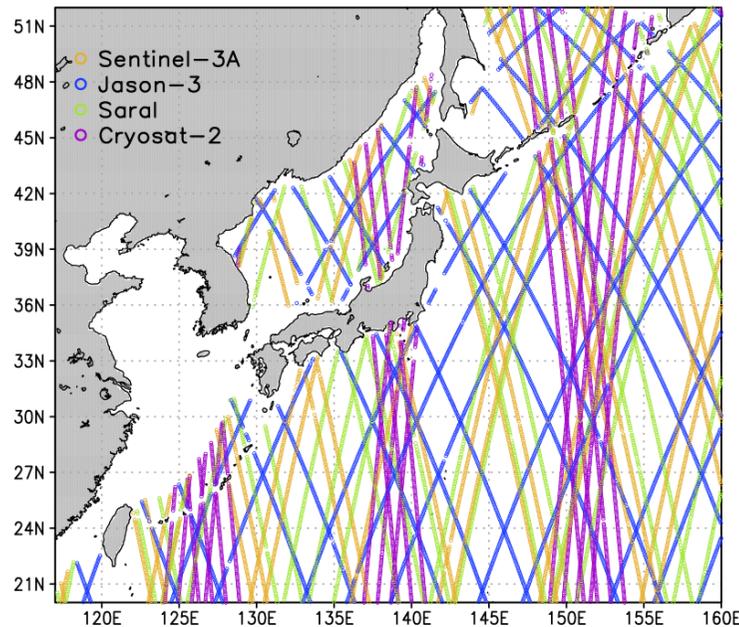
- ▶ 衛星による海面高度（水位）
 - ▶ 海面のみの観測であるが、水位は海洋内部の水温分布と良い対応
 - ▶ 海面付近の流れも知ることができる
- ▶ 衛星による海面水温
 - ▶ 海面のみではあるが、密な水温情報を提供
- ▶ 現場水温・塩分
 - ▶ Argoフロート
 - 海面から水深2000mまでの水温塩分を自動観測
 - 現在、4000弱のフロートが世界中で観測
 - ▶ 船舶
 - ▶ ブイ
 - ▶ … etc



海洋観測データの空間分布

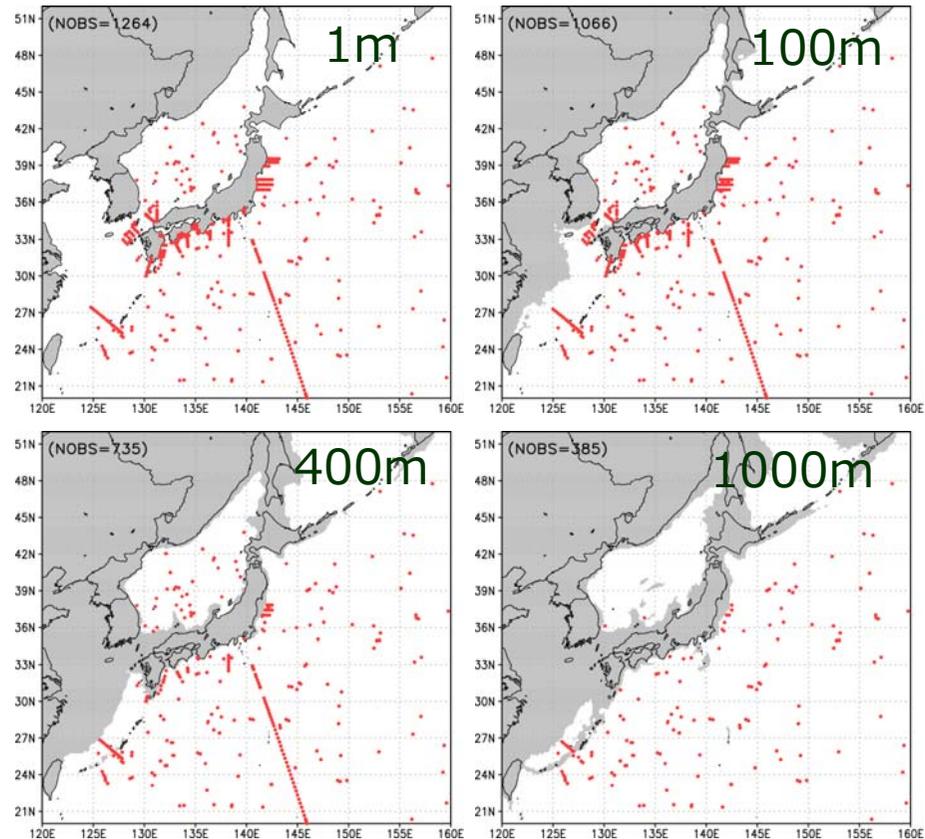
2017年10月31日～11月6日の期間（7日間）に得られた観測

衛星高度計（水位の観測）



- 現在4衛星のデータが利用可
- 軌道に沿って密なデータ

水温観測

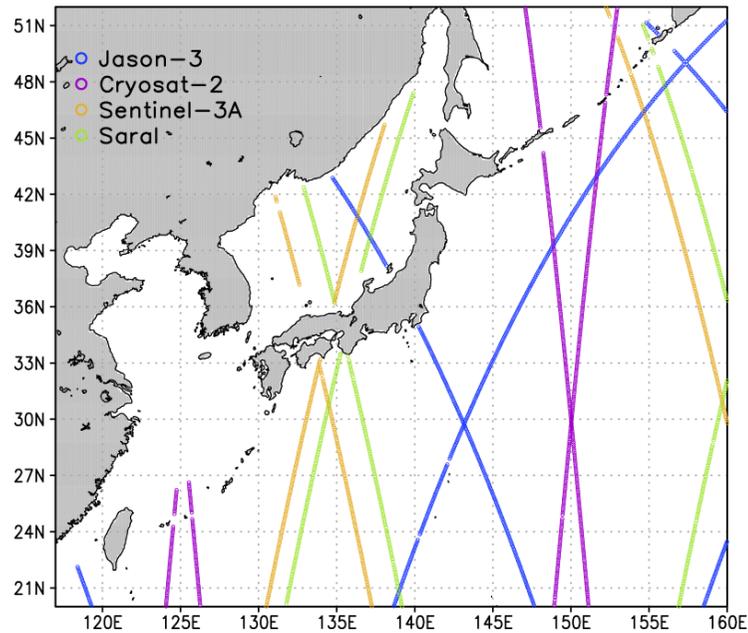


- 外洋はほぼアルゴフロートによる観測
- 沿岸域は主に水産試験場等による観測（期間によるデータ数の偏りが大きい）

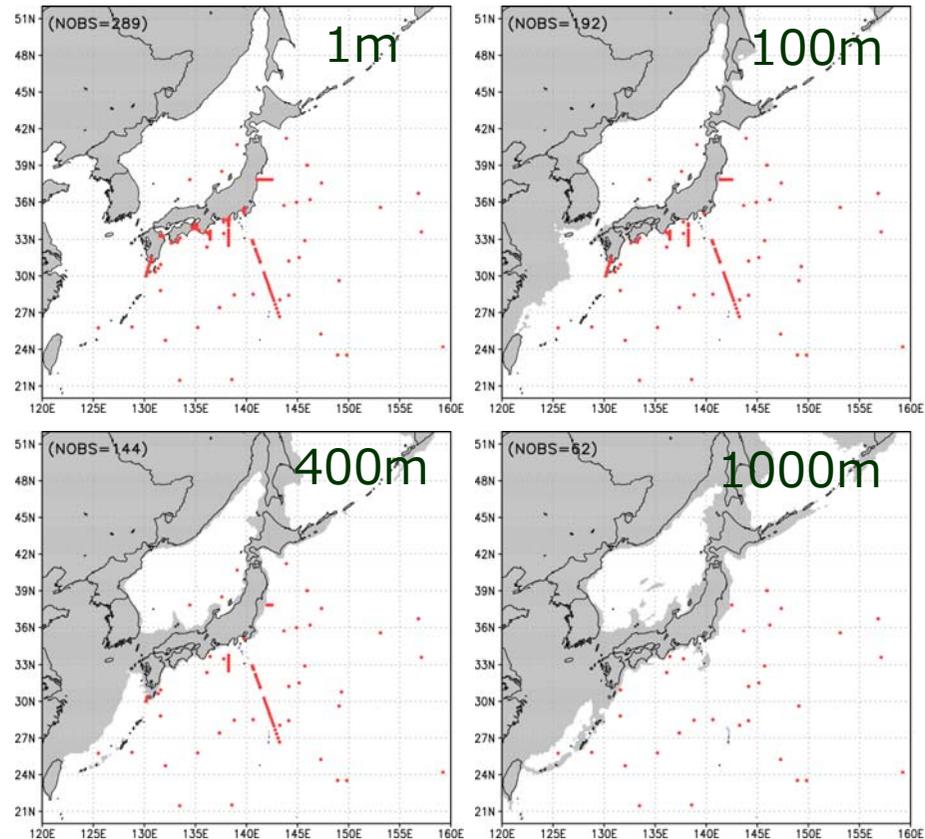
海洋観測データの空間分布

2017年11月6日の「1日」で得られる観測

衛星高度計 (水位の観測)



水温観測



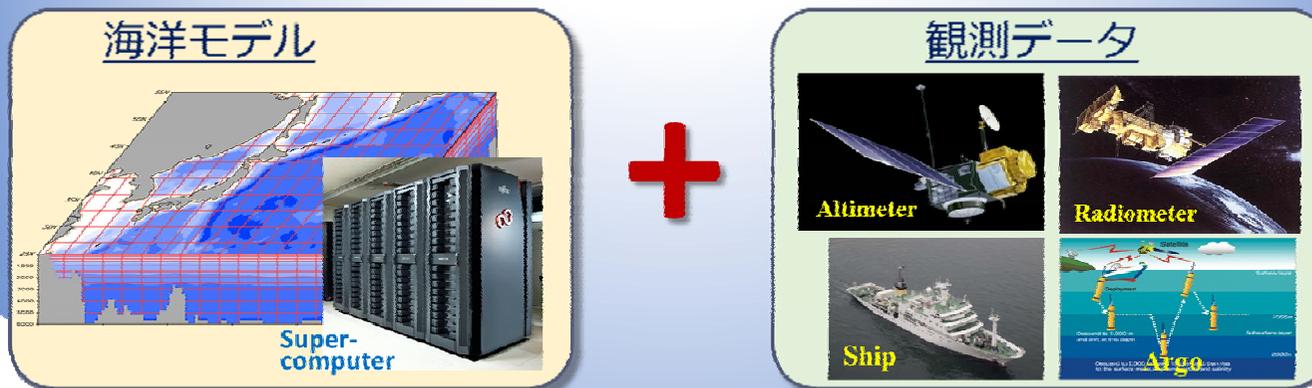
数日で変化するような短周期の現象は観測のみでは捉えることができない

モデルと観測を統合する「データ同化」

データ同化とは？

- 観測と数値モデルを組み合わせて、実際の場を推定する方法
- 数値予報の初期値を作成する際に用いられる

データ同化 (Data Assimilation)

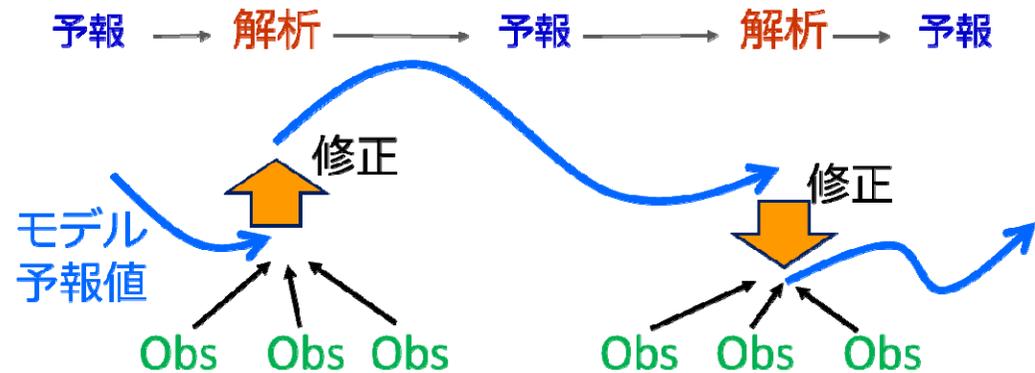


データ同化手法の高度化

現行システムの同化手法 (3次元変分法)

- ▶ ある解析時刻の場を推定
- ▶ 解析値は数日毎に得られる

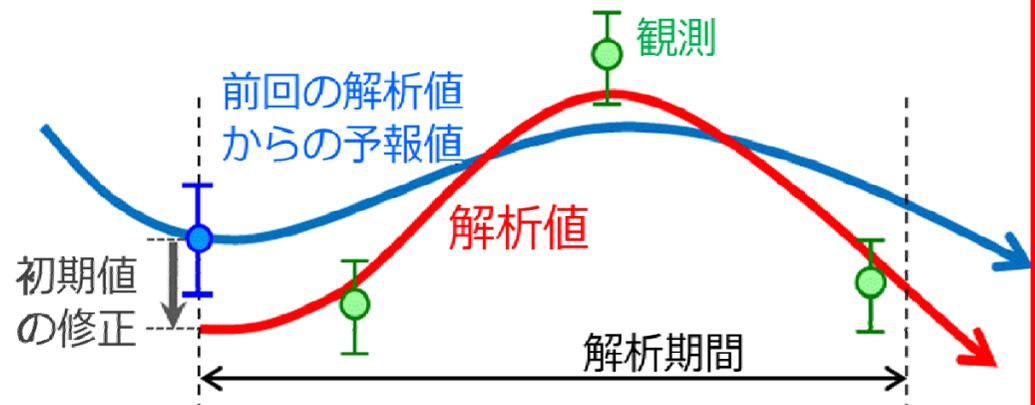
現行システムでは、5日毎に予報、解析のサイクルが繰り返される



次期システムの同化手法 (4次元変分法)

- ▶ 解析期間内の海洋変動の時間発展を推定
- ▶ 時間的に連続した解析値が得られる

解析期間は、10日程度

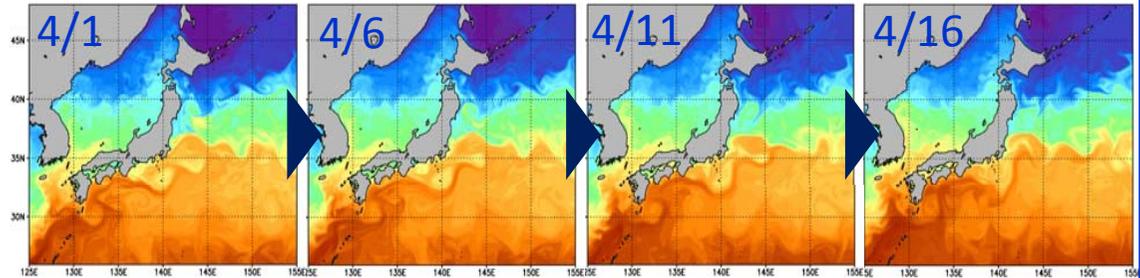


データ同化手法の高度化

現行システムの同化手法 (3次元変分法)

- ▶ ある解析時刻の場を推定
- ▶ 解析値は数日毎に得られる

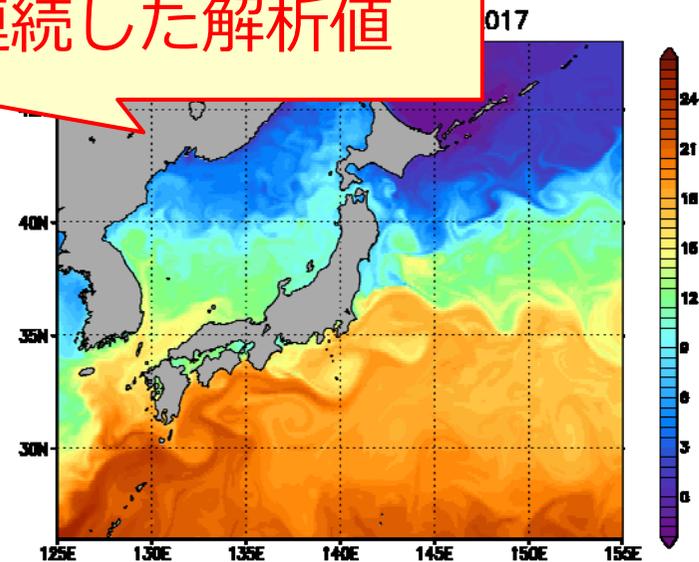
解析値は5日毎（不連続）



次期システムの同化手法 (4次元変分法)

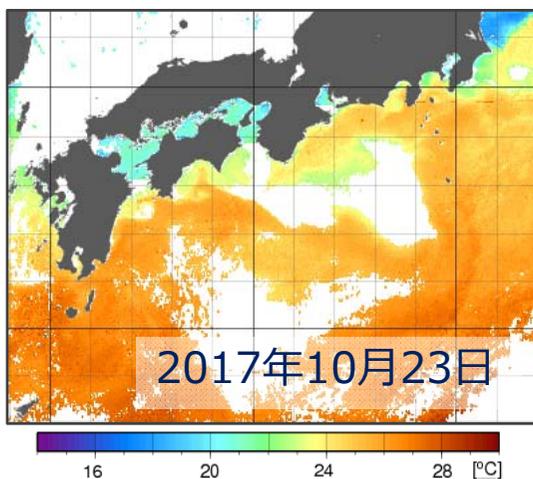
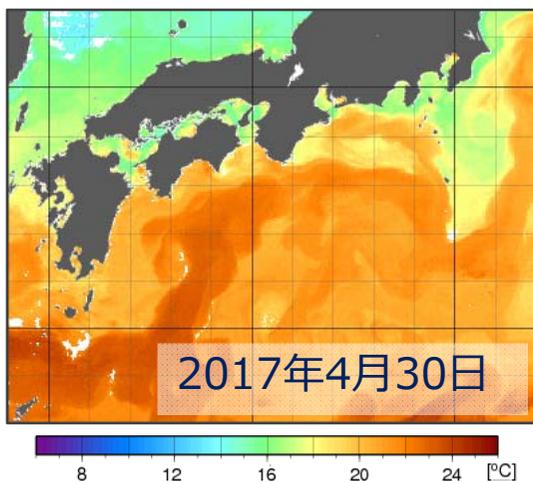
- ▶ 解析期間内の海洋変動の時間発展を推定
- ▶ 時間的に連続した解析値が得られる

連続した解析値



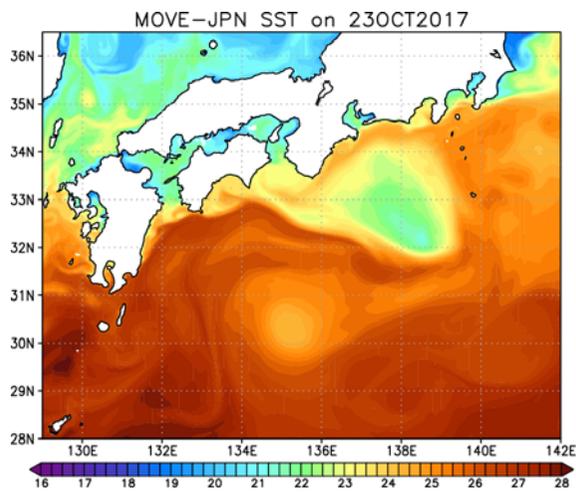
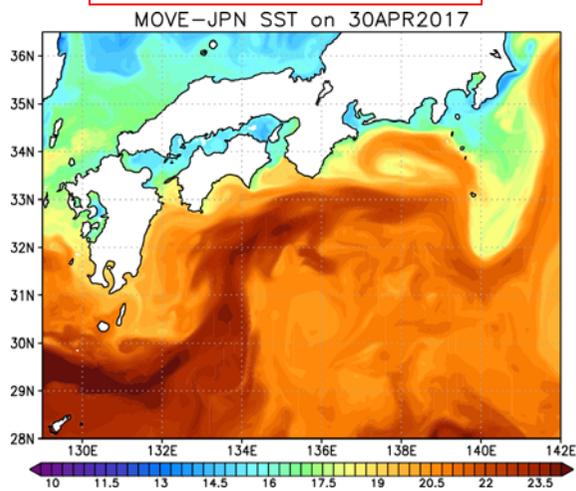
実況解析の再現性

観測
(ひまわり海面水温)



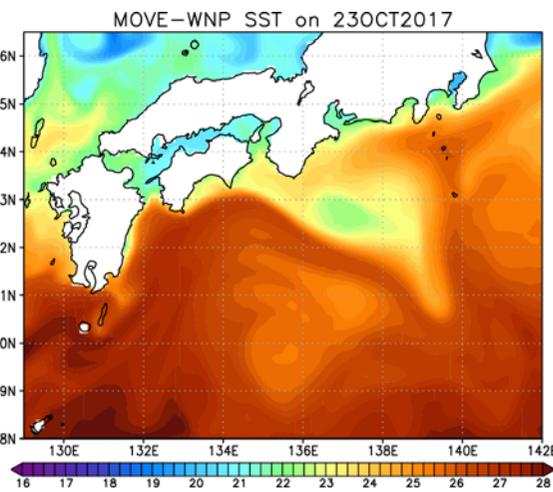
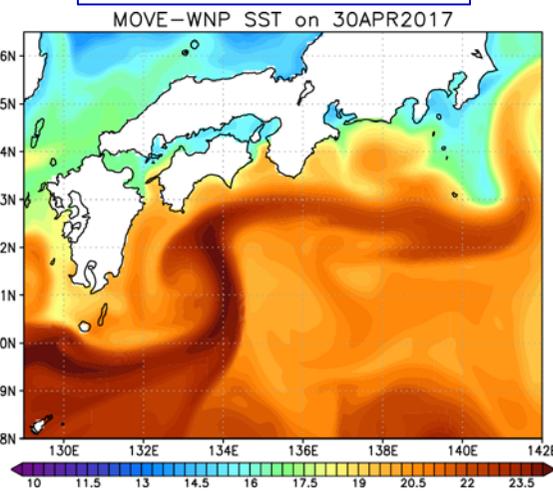
開発中の次期システム

2kmモデル
4次元変分法



現行の気象庁システム

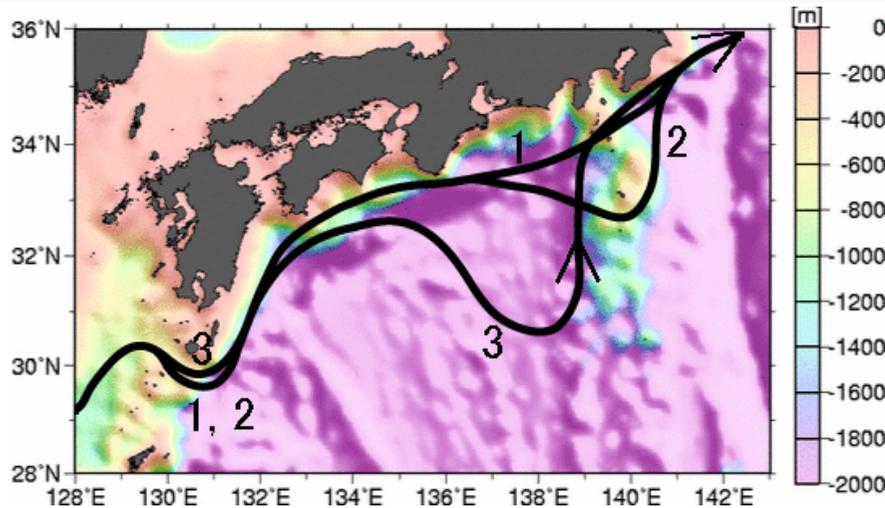
10kmモデル
3次元変分法



海の「天気予報」システムを用いた 黒潮大蛇行の再現と予測

- ▶ 黒潮大蛇行とは
- ▶ 2017年に生じた黒潮大蛇行の再現と予測

黒潮大蛇行について



http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/sougou/html_vol2/2_2_2_vol2.html

安定した黒潮流路の型

1. 非大蛇行接岸流路
2. 非大蛇行離岸流路
3. 「大蛇行」流路

報道発表資料 (2017.9.29)

報道発表資料
平成 29 年 9 月 29 日
気 象 庁
海 上 保 安 庁

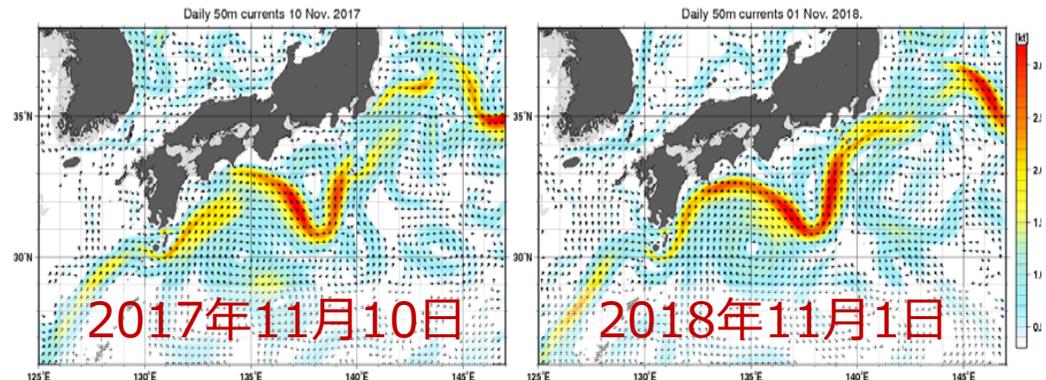
2017年黒潮大蛇行

- ▶ 2017年8月下旬に12ぶりに発生
- ▶ 発生から1年2ヶ月経過した現在も継続中

黒潮が12年ぶりに大蛇行

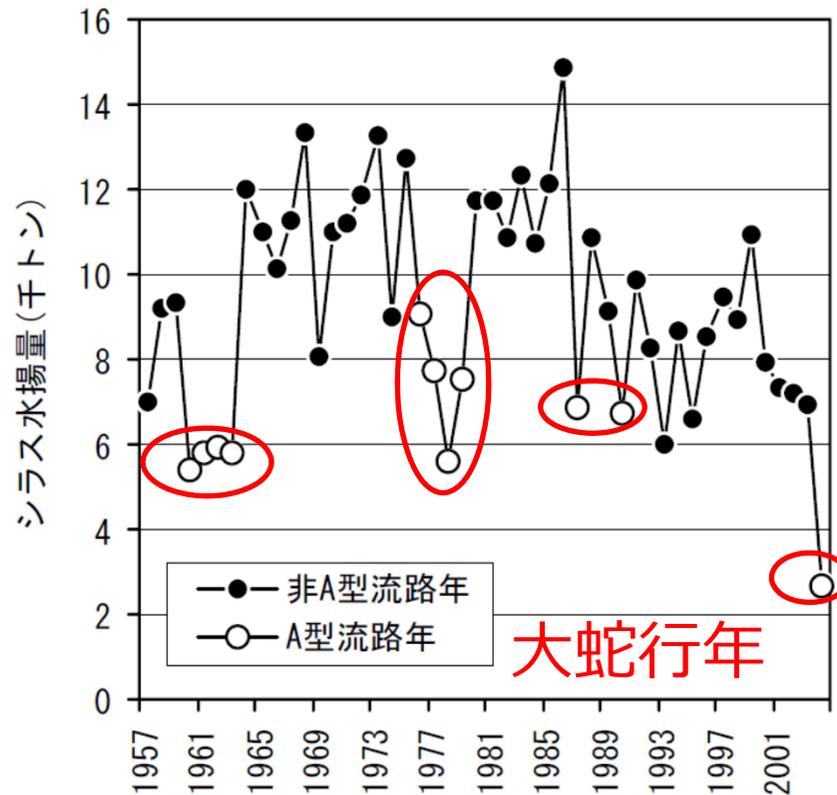
黒潮は、8月下旬から、紀伊半島から東海中で大きく離岸して流れる状態が続いており、12年ぶりに大蛇行しているとみられます。この状況は、海上保安庁の測量船による観測データからも確認されました。

黒潮の流路の変動は、船舶の運航や漁業に影響があるほか、潮位が上昇することで、沿岸の低地で浸水などの被害が生じる可能性があるため、注意が必要です。



黒潮大蛇行が社会に及ぼす影響

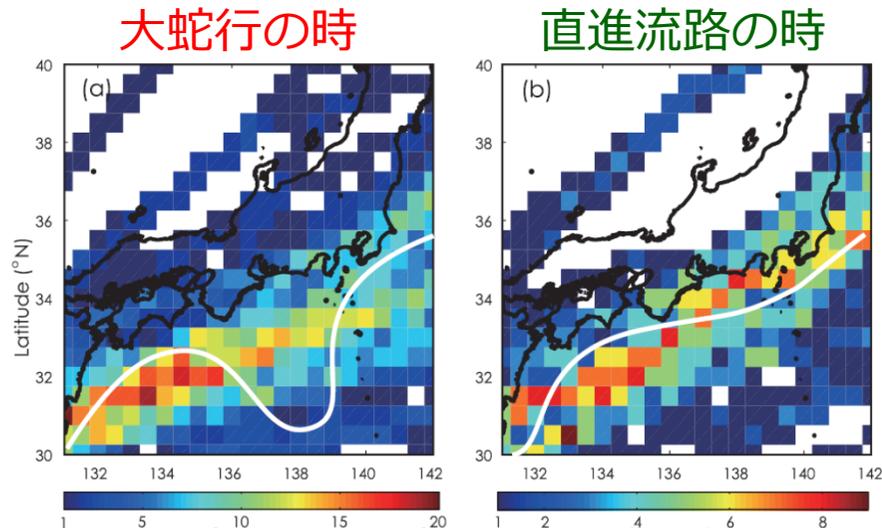
- ▶ 海流や水温の変化が漁業に影響



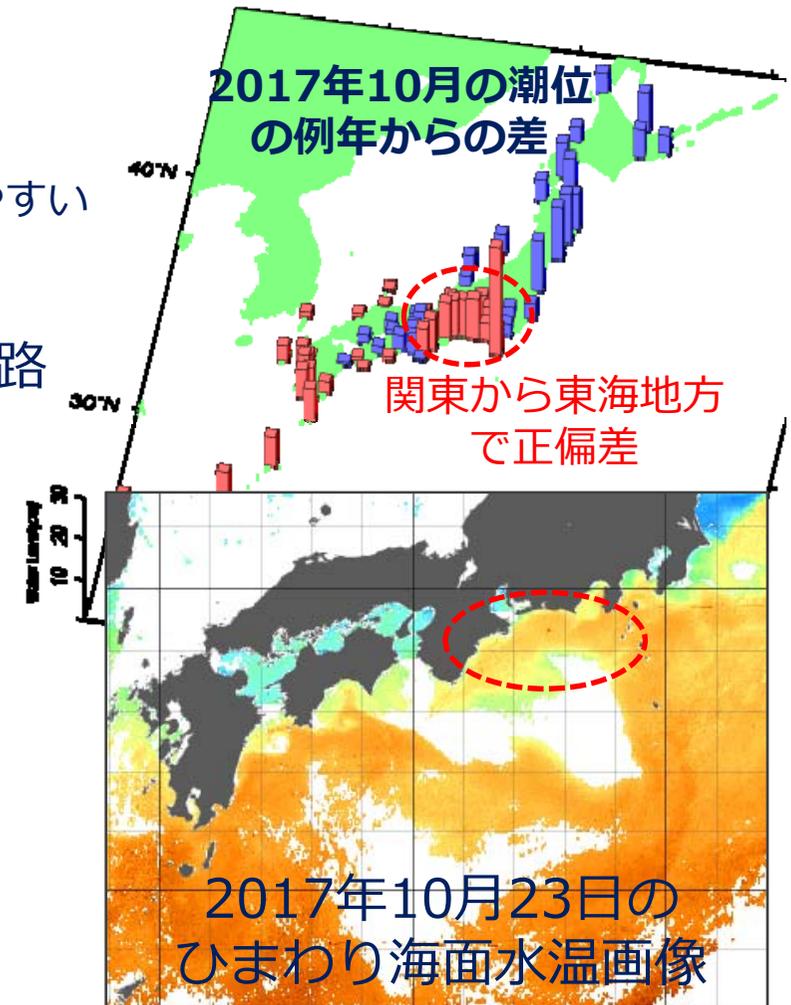
静岡県シラス年間水揚量の推移
(鈴木・海野,2005)

黒潮大蛇行が社会に及ぼす影響

- ▶ 海流や水温の変化が漁業に影響
- ▶ 沿岸の潮位に影響
 - ▶ 関東～東海地方では、大蛇行時に潮位が上昇しやすい
 - ▶ 黒潮の影響で20-30cm潮位が変化
- ▶ 関東地方に降雪をもたらす南岸低気圧の進路に影響を与えているとの研究もある (Nakamura et al. 2012)

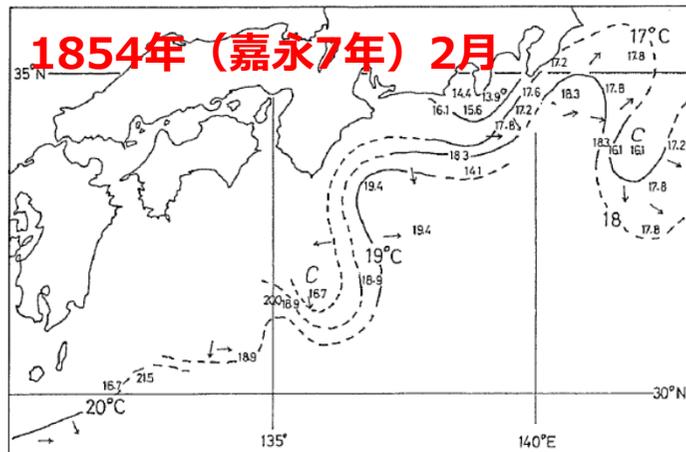


大蛇行と直進流路の時の南岸低気圧のコースの違い (Nakamura et al. 2012)



黒潮大蛇行の歴史

- ▶ 前回の蛇行は2004～2005年
- ▶ 1970年代後半～1990年代初めまでは頻繁に発生
- ▶ 1970年前代以前にも多数の観測報告
- ▶ 最も古い記録は、ペリー艦隊（黒船）による観測



ペリー艦隊が観測した海面水温 (岡田,1978)

東海沖における黒潮の最南下緯度 (気象庁ホームページより)

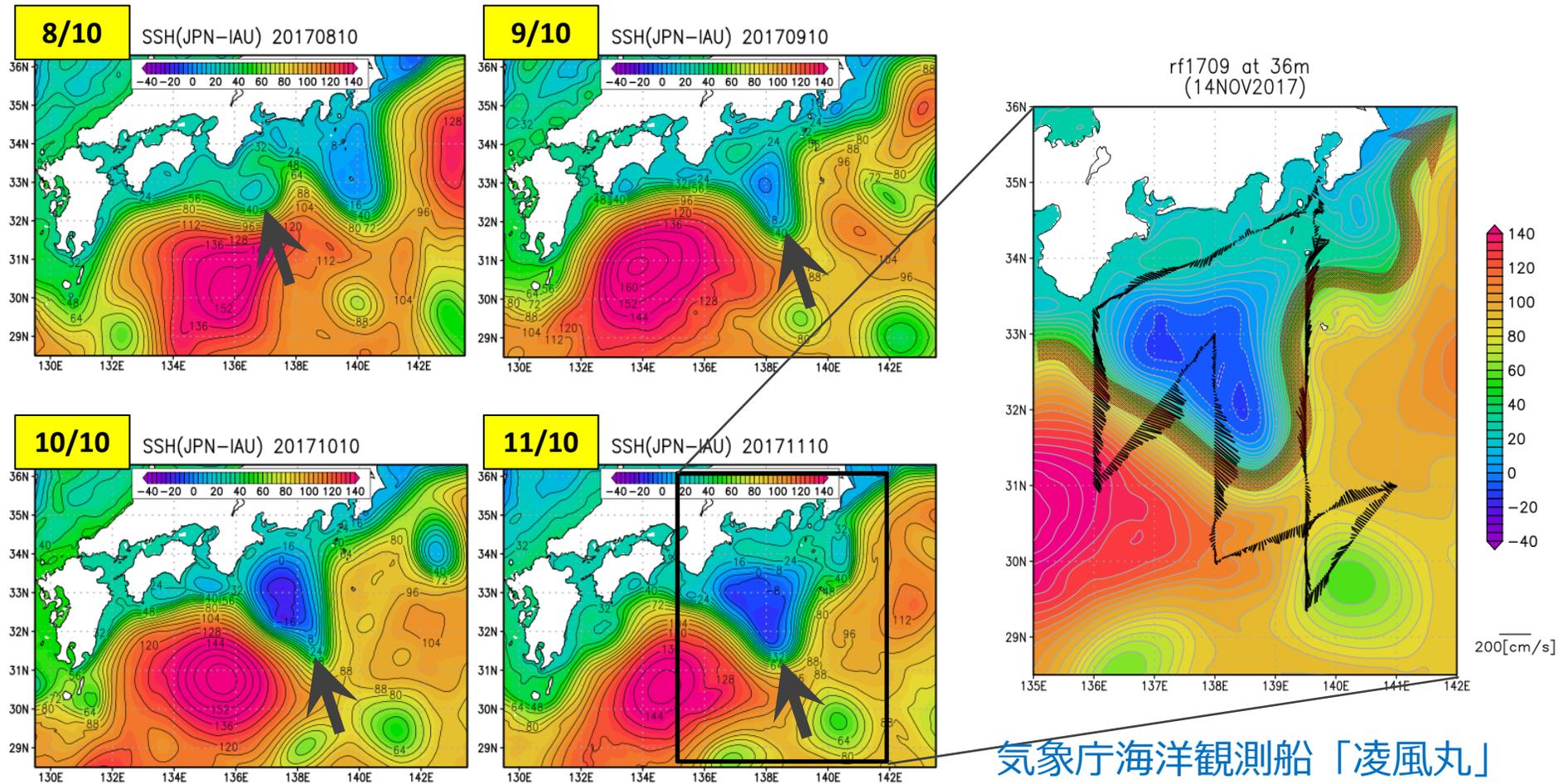


黒潮大蛇行の歴史 (岡田,1978)

| 年月日 | 内容 | 年月日 | 内容 |
|---------------|---------------------|--------------|----------------------------------|
| 1854 I-VII | ペリー艦隊による観測。大冷水塊あり? | 1944 XII 7 | 東南海地震 } 舞阪検潮所地盤変動 三河地震 } 受ける? |
| 1870 | 大蛇行発生* | 1945 I 13 | |
| 1875 IV-VI | チャレンジャー号による観測。大蛇行あり | 1946 | 冷水塊あり (B型?) |
| 1875 | 大蛇行消滅* | 1946 XII 21 | 南海地震 土佐清水検潮所 約42cm隆起 |
| 1890 | 大蛇行発生* | 1951 VIII 9頃 | 準大冷水塊発生 |
| 1891 | 大蛇行消滅* | 1952 IV 頃 | 〃 消滅 |
| 1901 VII | (準)大冷水塊発生 | 1953 VII 9頃 | 大冷水塊発生 |
| 1902 V頃 | 〃 消滅 | 1955 XII 頃 | 〃 消滅 |
| 1906 IV | 大冷水塊発生 | 1959 V 19頃 | 大冷水塊発生 |
| 1912 IX頃 | 〃 消滅 | 1953 V 頃 | 〃 消滅 |
| 1917 II | 大冷水塊発生 | 1969 III | 準大冷水塊発生 |
| 1922 III頃 | 〃 消滅 | 1969 XII 頃 | 〃 消滅 |
| 1923 IX 1 | 関東大地震、油壺の検潮所約1.4m隆起 | 1975 VII 26頃 | 大冷水塊発生 |
| 1934 III 1頃 | 大冷水塊発生 | 1977 V | 大冷水塊切離、沖合の冷水渦に「はるかぜ」と命名 |
| 1936 VIII-IX頃 | 大冷水塊の切離・再結合 | 1977 VIII前半 | 冷水塊再結合 |
| 1944前半? | 大冷水塊消滅 | | |

2017年黒潮大蛇行の再現実験

- ▶ 最新の2kmモデルとデータ同化手法を用いて2017年の大蛇行を再現

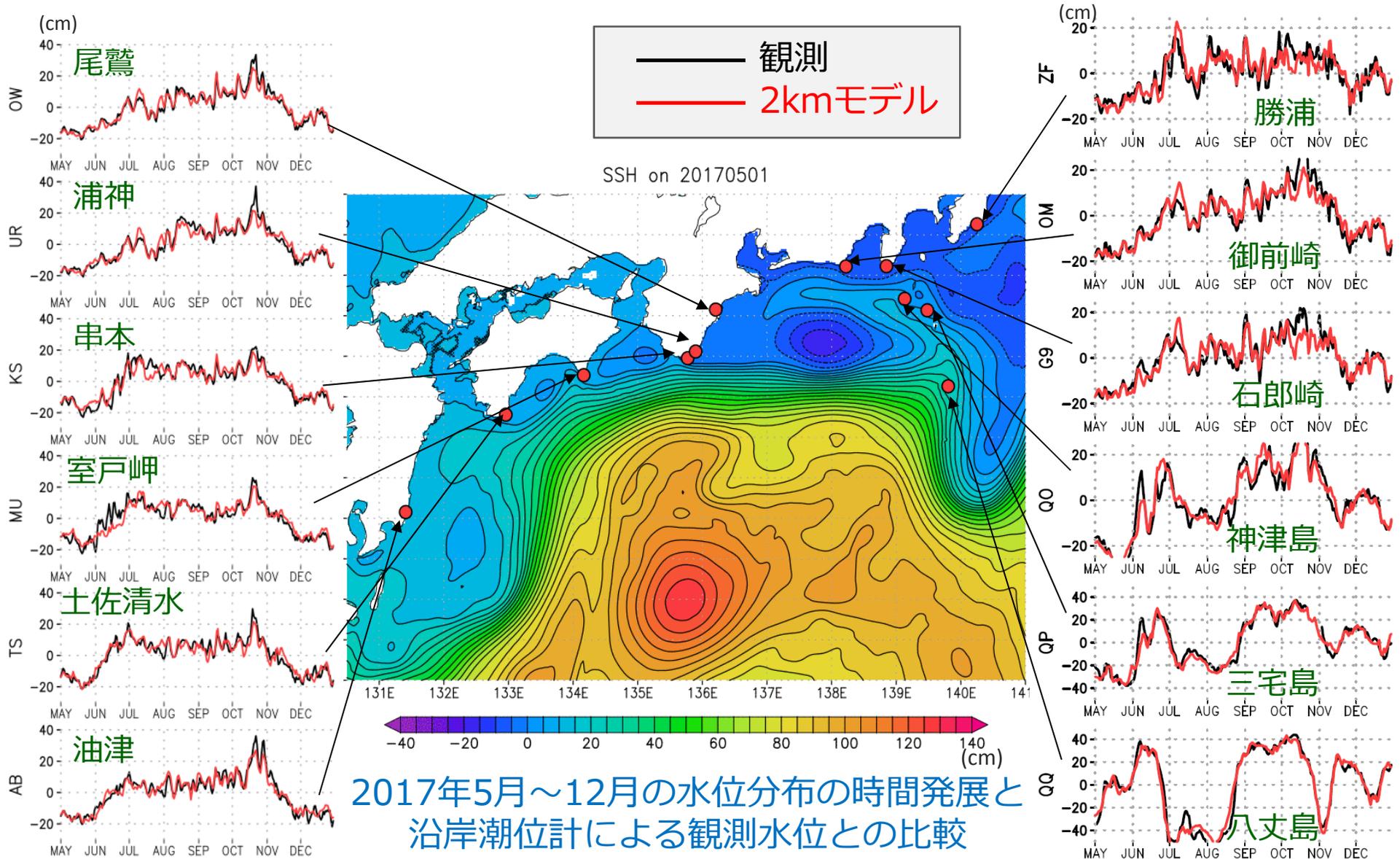


2017年8月10日から11月10日にかけての水位分布の時間発展

気象庁海洋観測船「凌風丸」による表層流速観測との比較

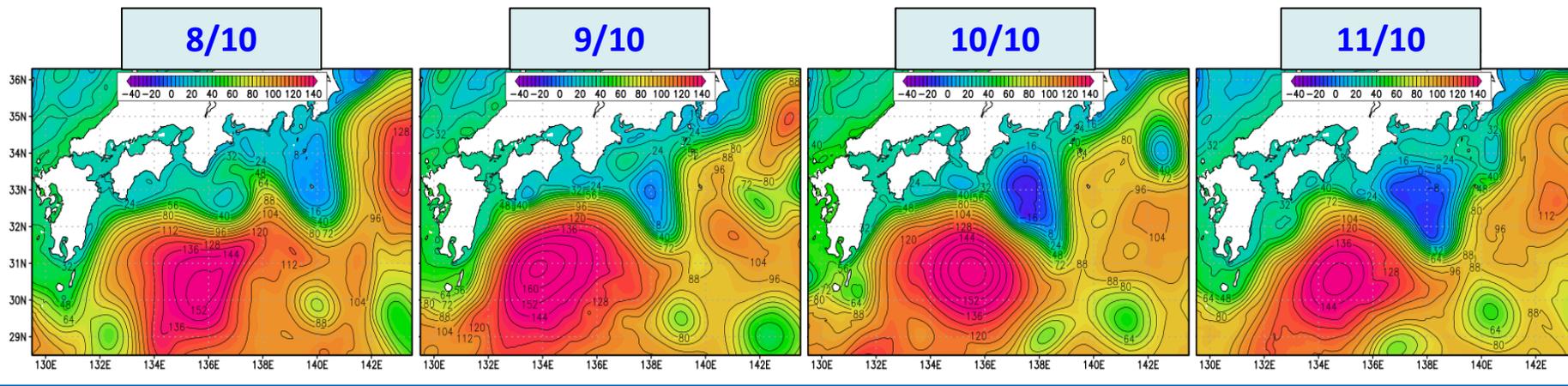
沿岸水位の再現

(モデル、観測とも潮汐と気圧による水位変化を除去してある)

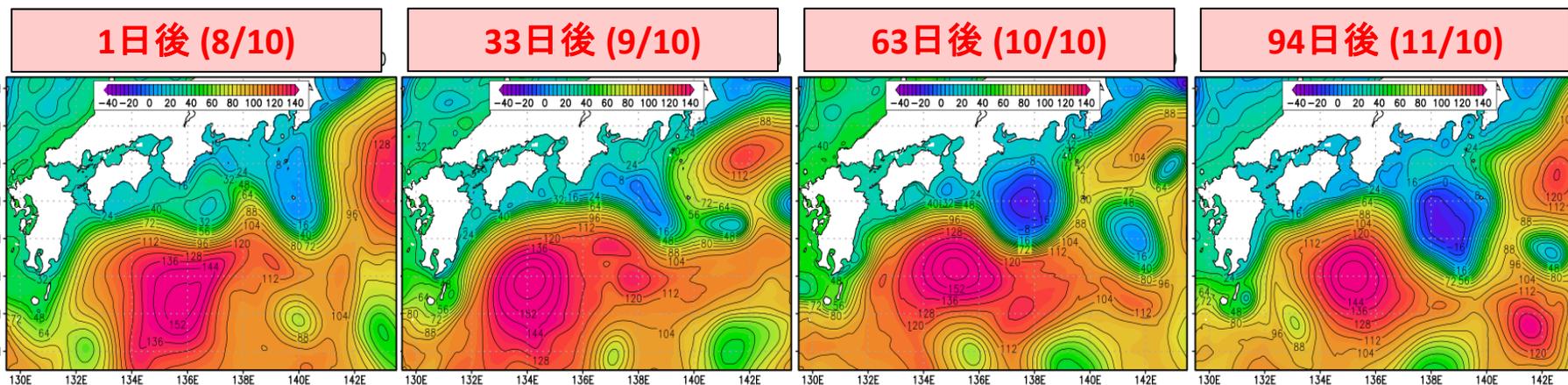


2017年黒潮大蛇行の予測実験：黒潮流路の3ヶ月予測

実況の推移



予測結果 (8/9初期値)



2017年黒潮大蛇行の予測実験：沿岸域の1ヶ月予測（1）

初期値

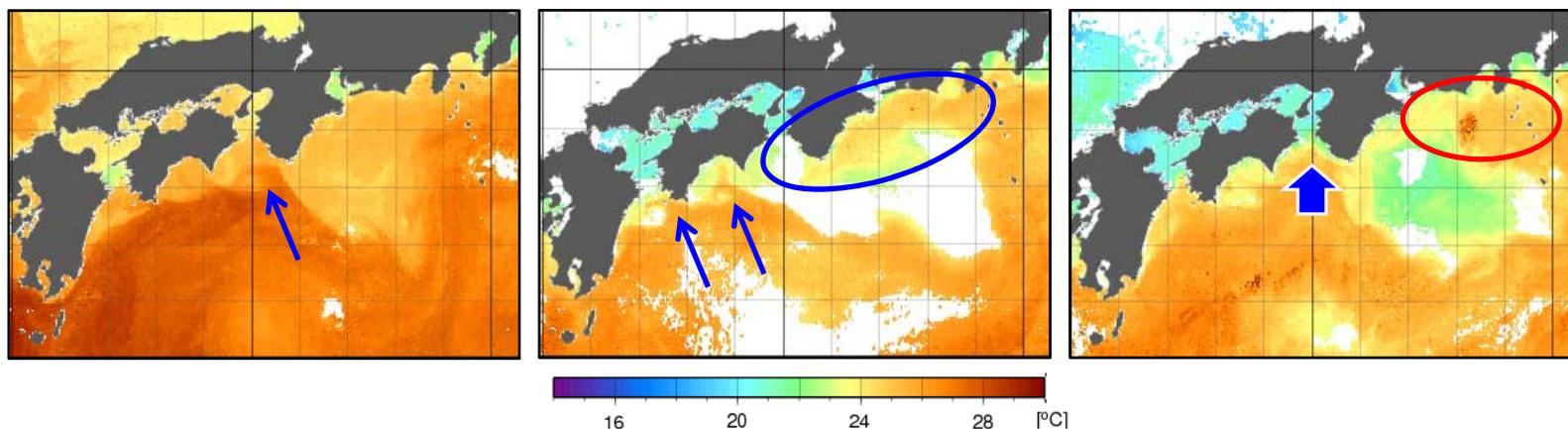
10/3

7日後
(10/10)

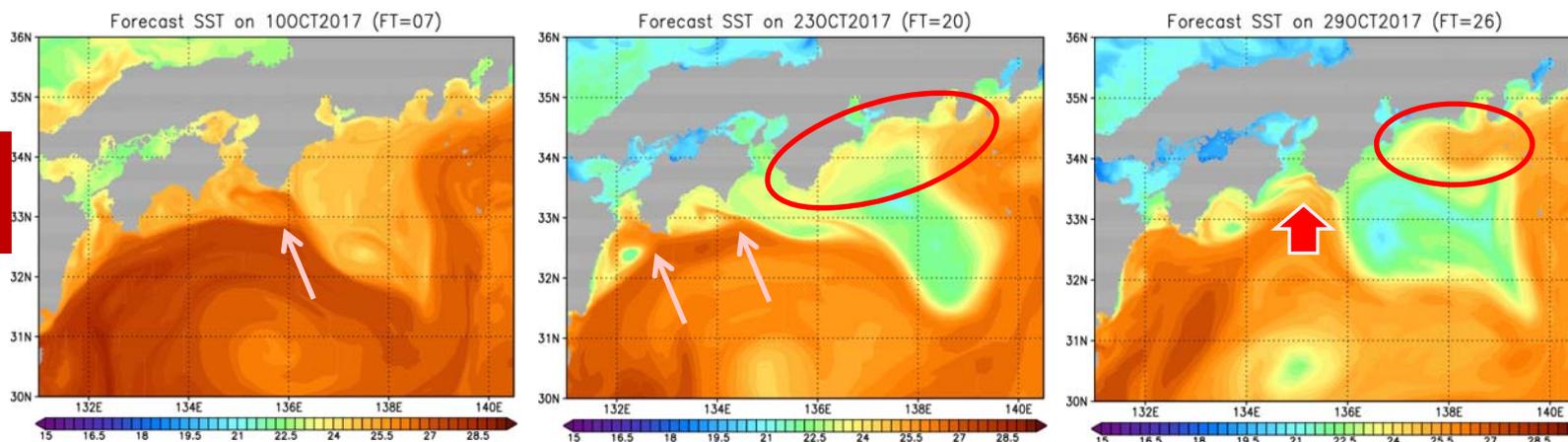
20日後
(10/23)

26日後
(10/29)

ひまわり
海面水温



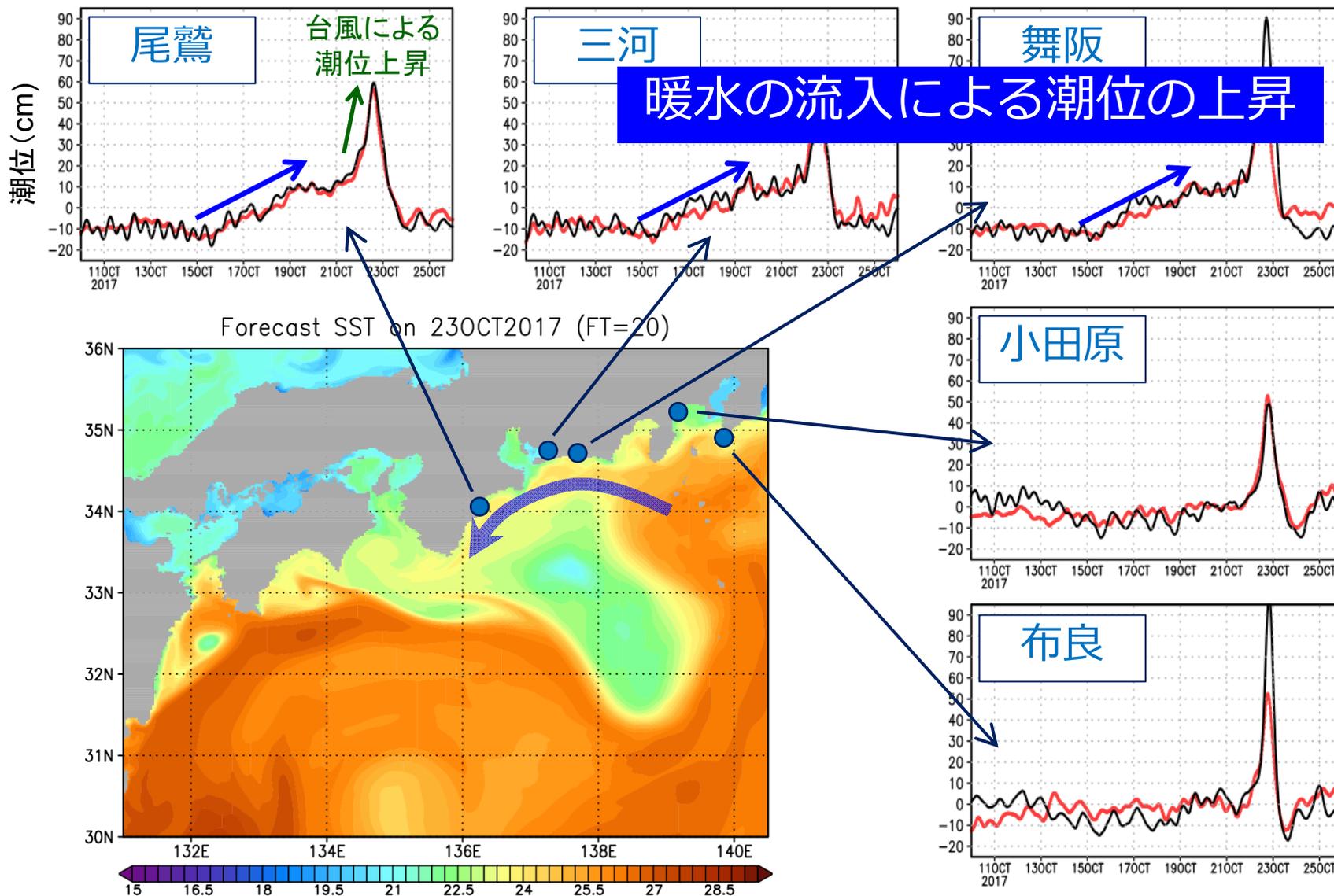
予測結果
(海面水温)



2017年黒潮大蛇行の予測実験：沿岸域の1ヶ月予測（2）

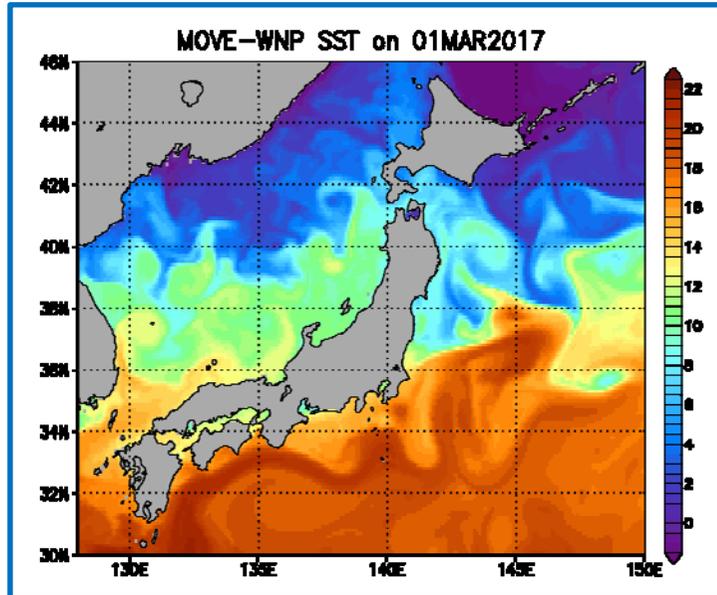
— 観測 — モデル予測結果

予測計算に用いた大気データは、解析値であり、風や気圧はほぼ現実通りの値が含まれている。

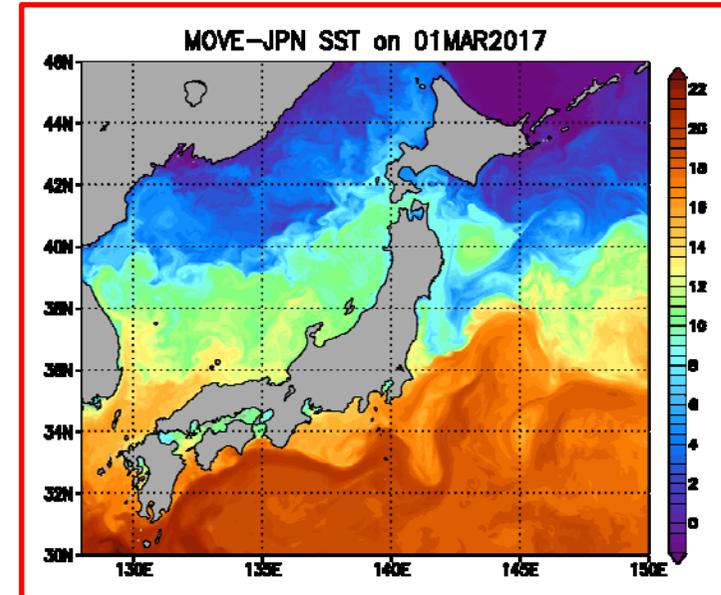


まとめ

現行システム



次期システム



2020年度に運用開始予定

- ▶ 新しい海の「天気予報」システム
 - ▶ 2kmモデルを用いることにより沿岸域も予測対象
 - ▶ 4次元変分法による実況解析
- ▶ 今後の課題
 - ▶ モデル、データ同化手法の更なる高度化
 - ▶ 海洋現象のメカニズムの理解