



データ同化

-数値モデルと観測データの融合

石川洋一(海洋研究開発機構・地球情報研究センター)



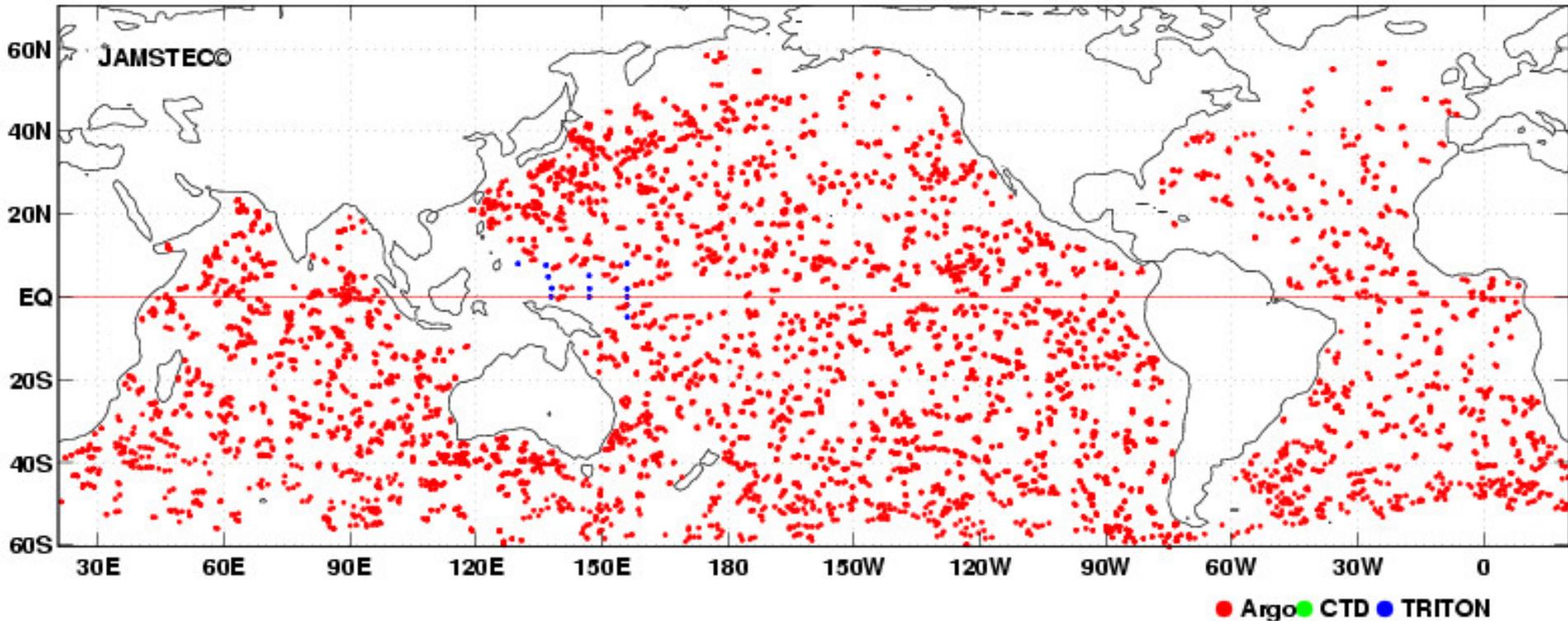
データ同化とは？

- 観測データと数値モデルを組み合わせて、現実的なデータセットを作るための手法

海洋観測データ

人工衛星リモートセンシングデータ

Observed Data Point Map for OI
[Oct. 2009 Pres.=10]



数値モデル

運動方程式、エネルギー保存則など
物理過程に従って、構築されている。

変数の時間変化項 移流、拡散、外力など

$$\frac{\partial}{\partial t}(u, v, T, S \dots) = F(x, y, z, t)$$



差分化

$$T^{n+1} = T^n + \Delta t F^n \quad (n = 1 \dots N)$$

数値モデル

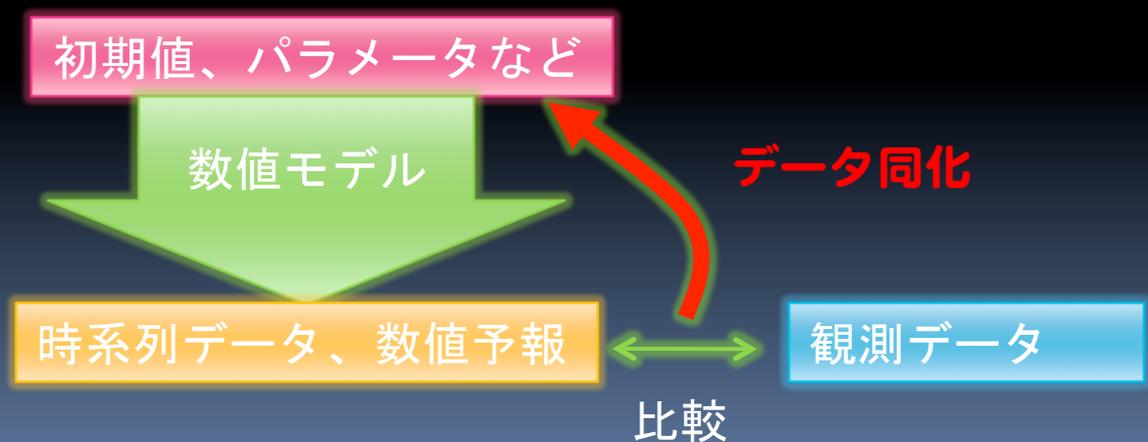
- 運動方程式、エネルギー保存則など物理過程に従って、構築されている。
 - 計算上の誤差、分解できない現象のパラメタリゼーションなど不確実性が存在している。
 - 予測のためには初期条件、境界条件が必要である。

データ同化とは？

- 観測データと数値モデルを組み合わせて、現実的なデータセットを作るための手法
 - 複数の観測データを統合した時系列データセットを作成する
 - 数値モデルで用いているパラメータなどの最適化を観測データをもとにして行う
 - 数値予報のための初期条件、境界条件を作成する
 - 観測システムの設計のための評価、改善にむけた情報提供

データ同化と関連した数学

- 微分方程式
- 行列、線形代数
- 確率論(確率微分方程式)
- 統計学(誤差論)
- 最適化理論
- 最適制御
- 逆問題

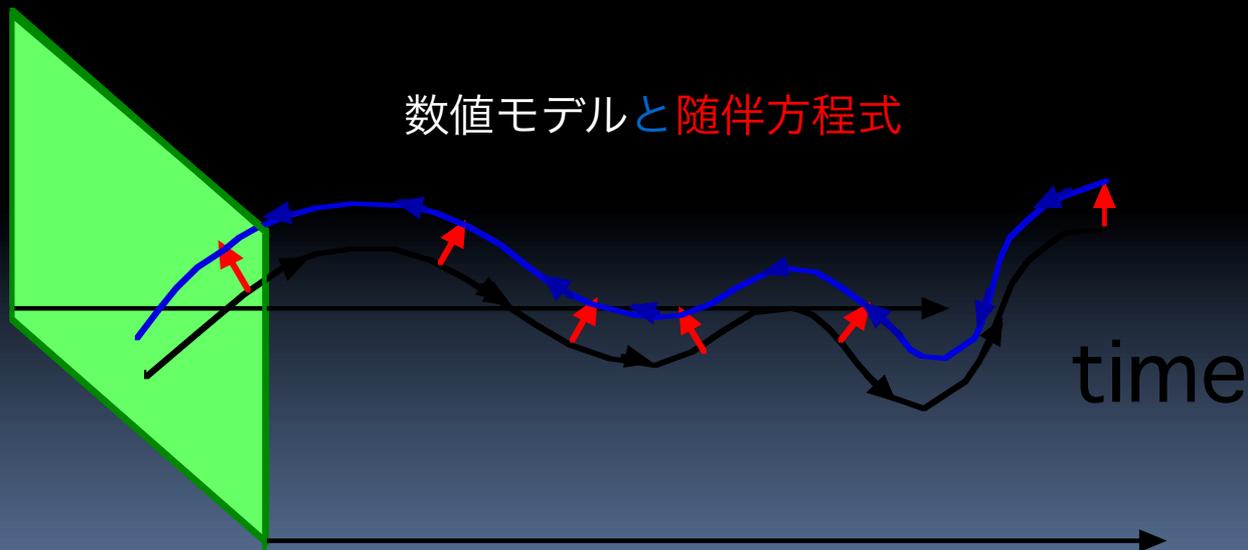


4次元変分法(adjoint法)

$$J = (c \quad c^f)^T P^{-1} (c \quad c^f) + (Hx \quad y)^T R^{-1} (Hx \quad y)$$

(制御変数 c は初期・境界条件、パラメータなど)

数値モデルの前方積分とadjoint方程式($\lambda^n = A^* \lambda^{n+1}$)
の後方積分を繰り返して、制御変数の最適解を求める。

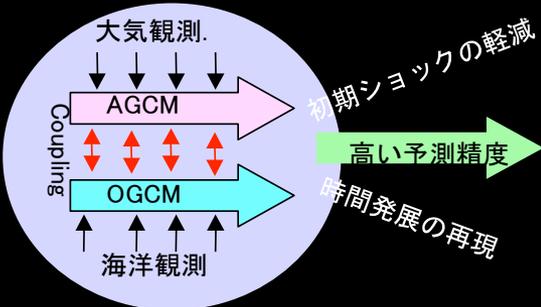


結合同化システムによる再解析データの作成と 気候変動予測

1980年代からの気候場の再現により、より多彩な経年スケールから10年スケールの現象に対する気候変動の予測研究に利用可能となった。

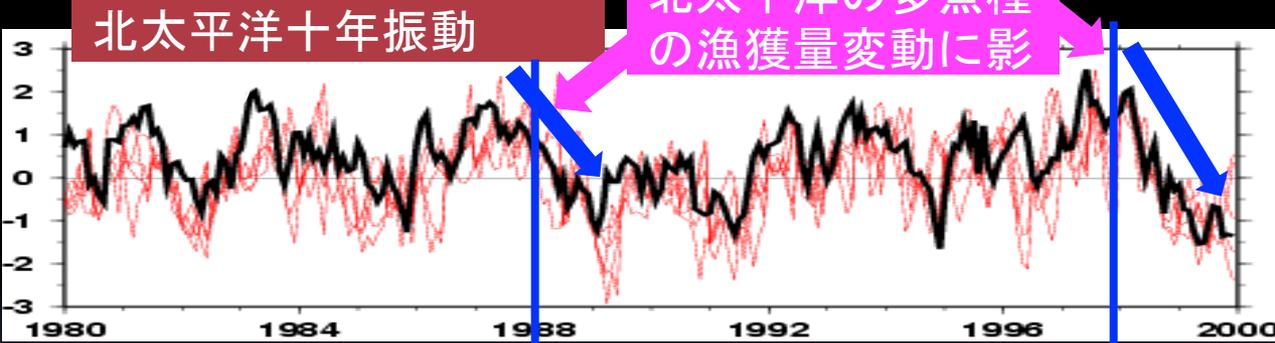
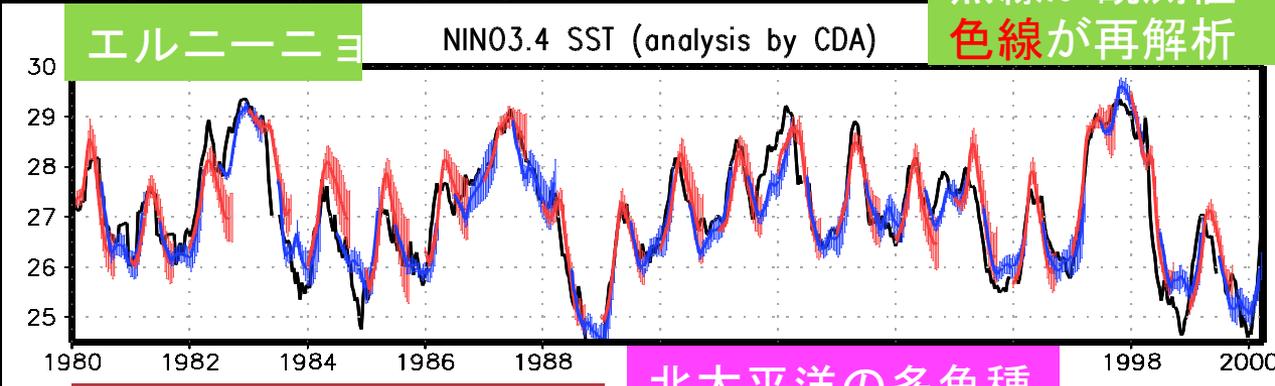
黒線が観測値
色線が再解析

4D-VAR結合同化システムによる気候予測



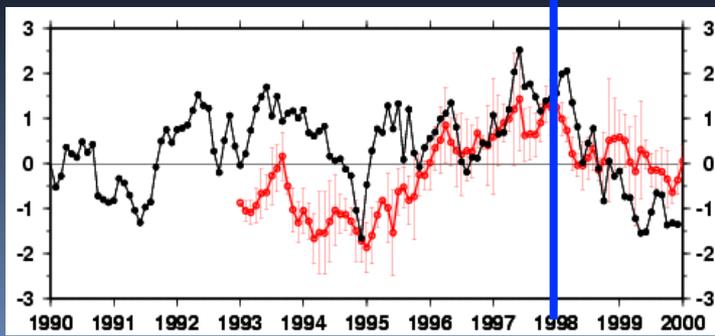
世界初の4次元変分法フル結合同化システム

4次元変分法結合同化システムは世界に先駆けてJAMSTEC/K7グループが完成させたデータ同化システムで、S-I現象予報開始時刻までの正確な時間発展再現性と初期ショックの軽減により高い予報精度を持つことが知られている。



北太平洋の多魚種の漁獲量変動に影響

1993年1月から1998年のレジームシフトを予測



CDA forecast for 2010

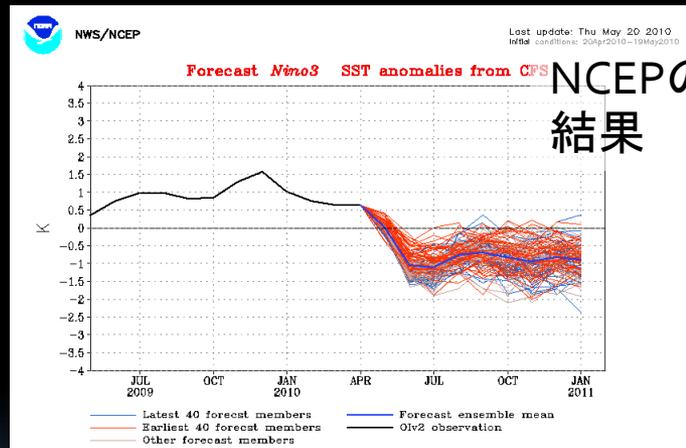
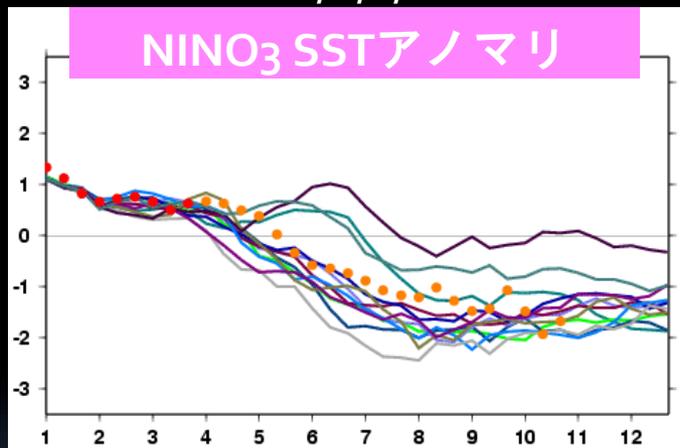


同化データ **3 month** (10-day mean)

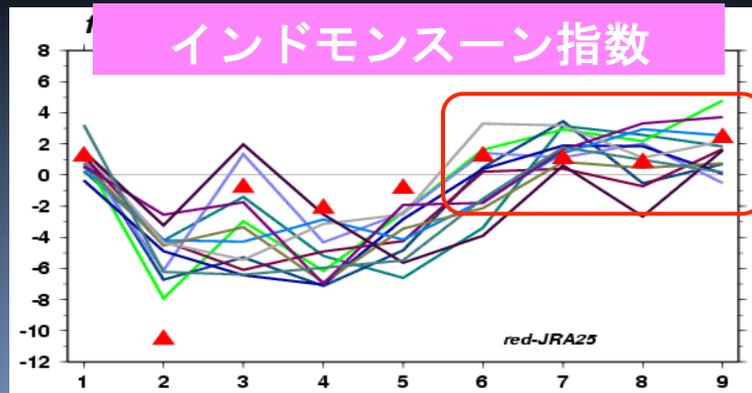
- NOAA OISST
- SSM/I wind speed * JRA25 wind direction
- NCEP PREPBUFR T,Q,U,V

初期条件

- 50年海洋長期再解析から2010年に似たケース(Jan.1995)を使用



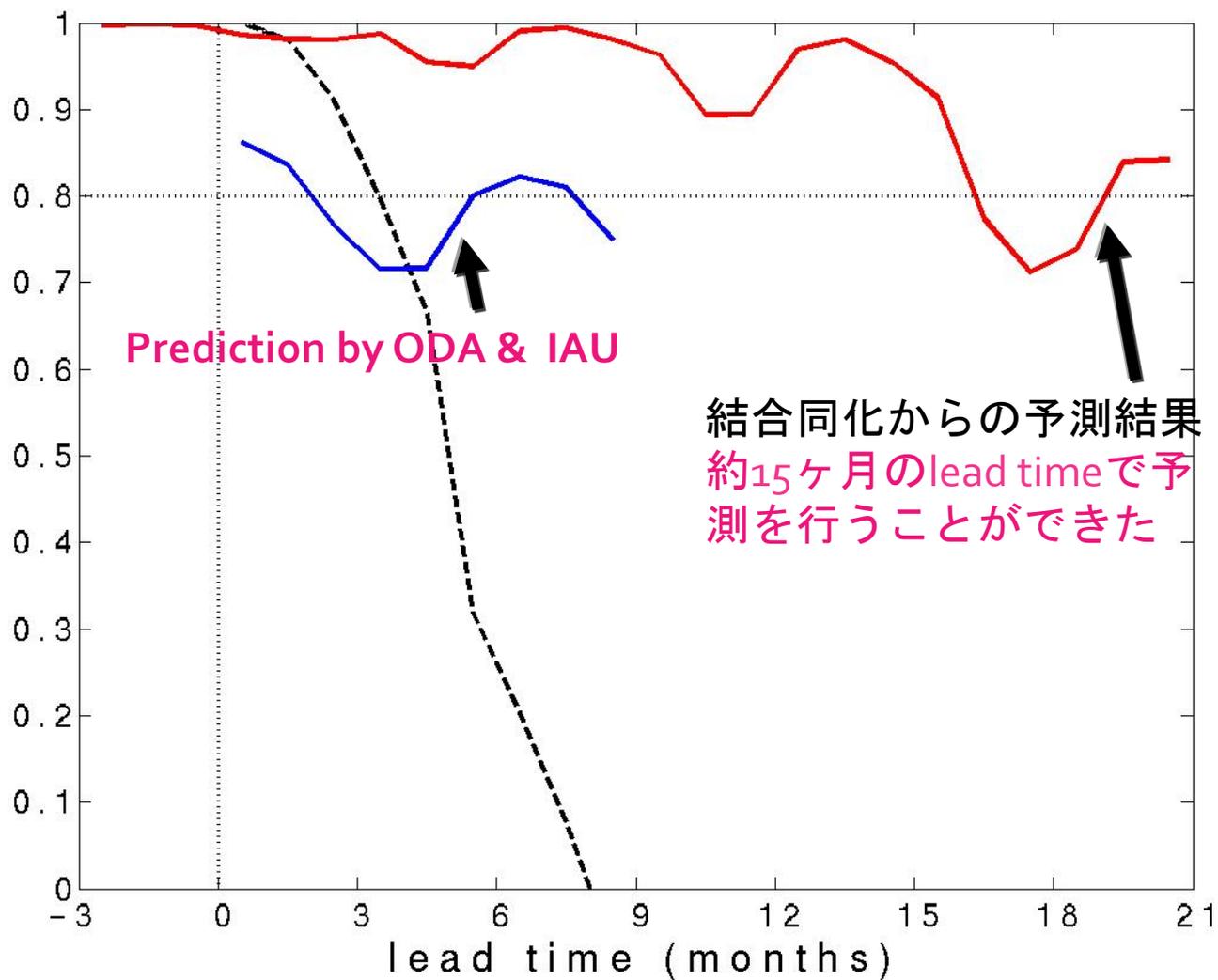
NCEPの予報
結果



結合4DVARによる4月初旬の初期値化予測は、夏季モンスーンの観測結果を7割程度予測できた。

NINO3.4

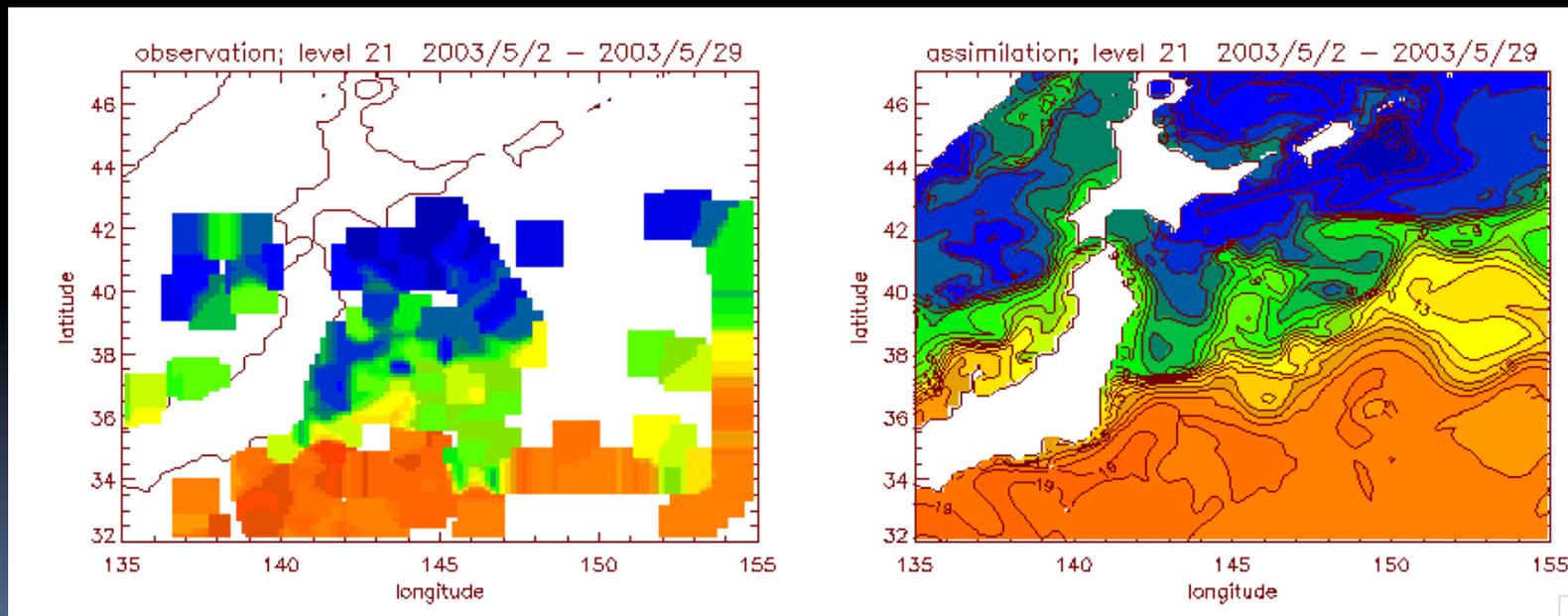
Anomaly Correlation Score in 1990s



渦分解海洋データ同化システム

海洋大循環モデル、4次元変分法(adjoint法)を用いたデータ同化システム(Ishikawa et al. 2009)

高分解能渦解像モデルに対しadjoint法を適用した世界で初めてのシステム



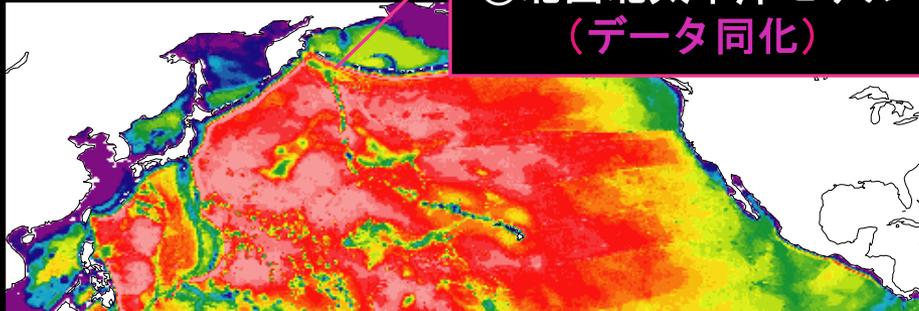
2003年5月の100m深水温分布(左：観測データ、右：同化結果)

階層的ダウンスケーリング

流れの場

2008/1/25

②北西北太平洋モデル
(データ同化)

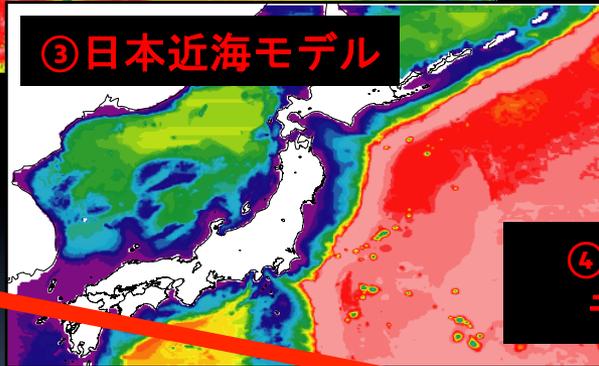


①北太平洋モデル

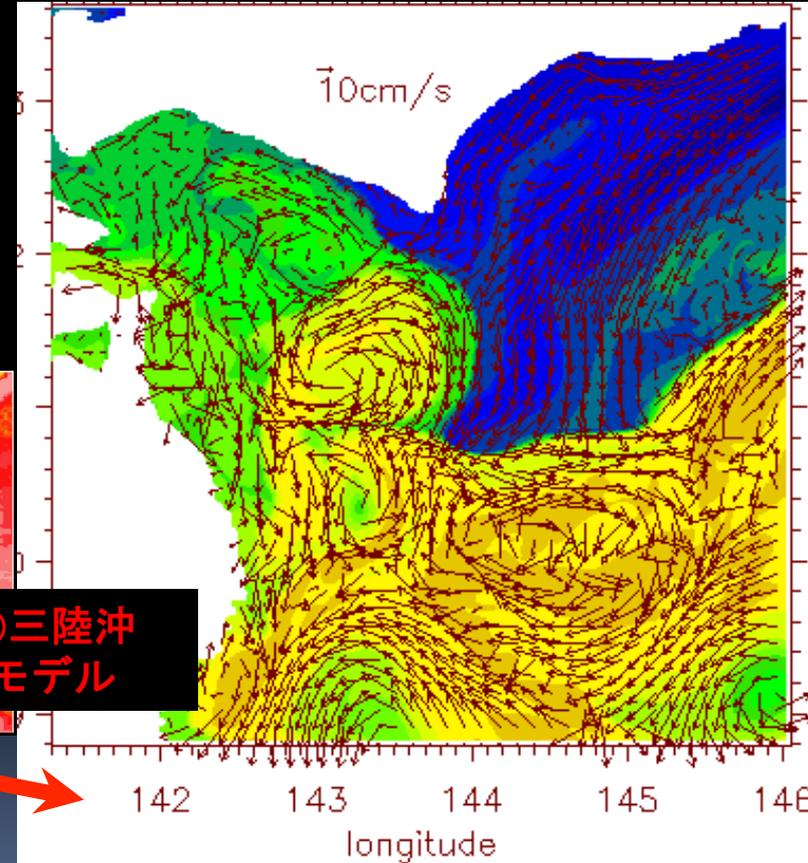
空間分解能
1/6度 x 1/8度

気候値が更新され
ない限り一度計算すればよい。

③日本近海モデル



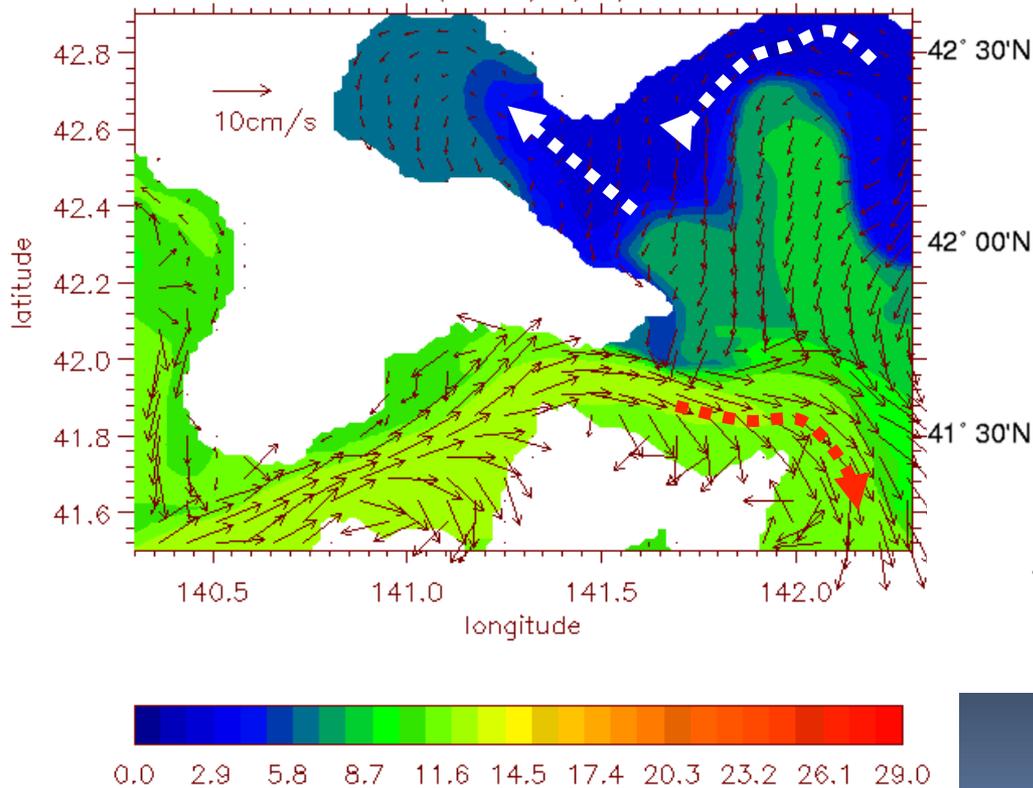
④三陸沖モデル



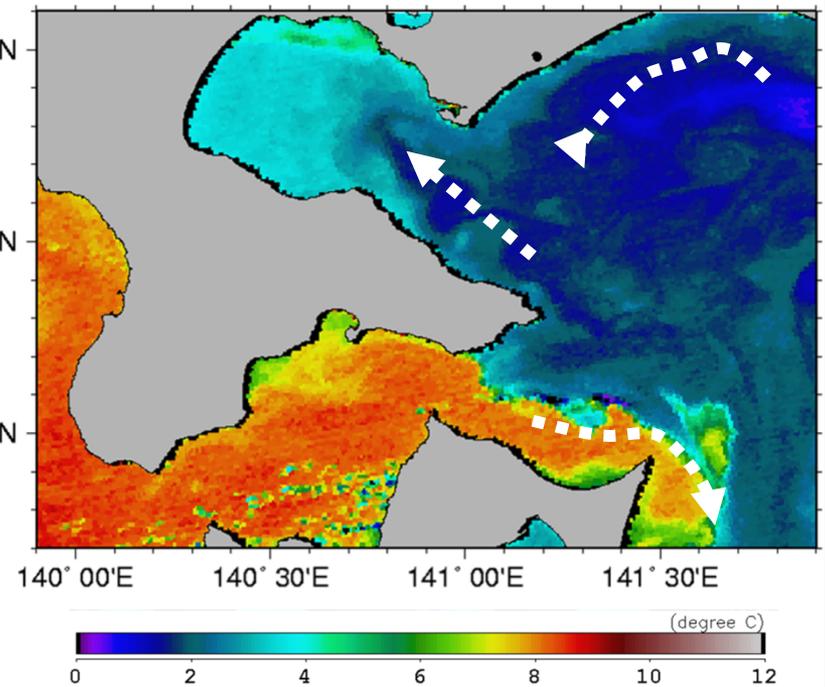
②の計算結果を受け取り、
③と④を計算する

沿岸域での観測データとの比較

Temperature at 2 m
(2008/3/8)



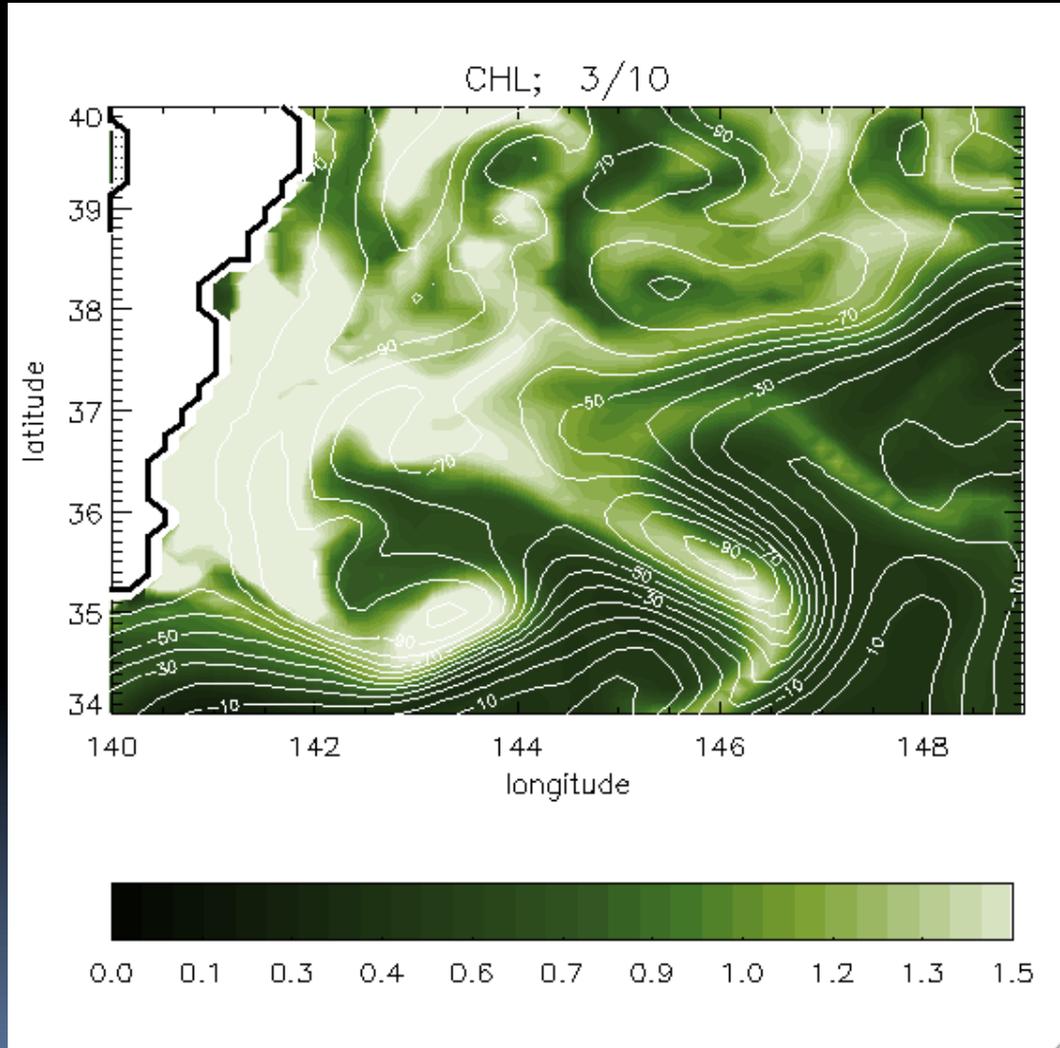
Sea Surface Temperature
(2008/3/8)



Model Temp.(2m)

MODIS SST

海洋低次生態系モデルとの結合

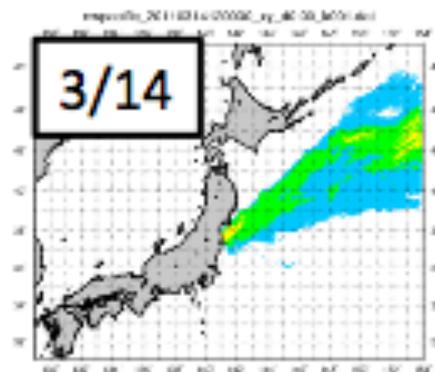


データ同化結果の利用

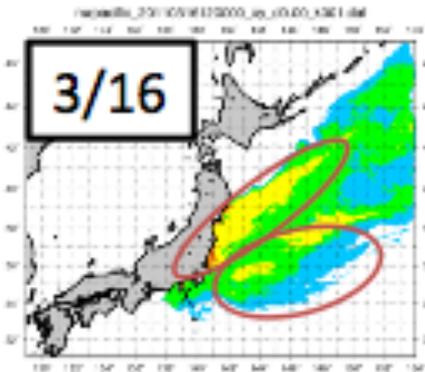
- 数値予報：海の天気予報、気候変動予測
- 変動現象の解析、物理過程の理解に向けての利用
- 環境モニタリング、海運業、水産業への貢献
 - 生態系モデルとのカップリング
 - プランクトン変動の予測

放射性物質の拡散シミュレーション

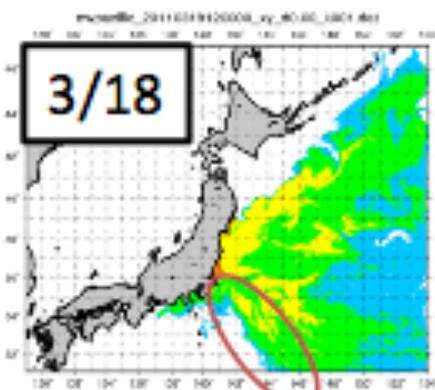
- 日本原子力研究開発機構が中心となって、京都大学、海洋研究開発機構、日本海洋科学振興財団の共同研究で海洋中の放射性物質の拡散シミュレーションを行った。
- データ同化結果を利用して、より細かな分解能のシミュレーション結果をもとめるダウンスケーリングという手法を用いて、福島県沖の詳細なデータセットを作成した。



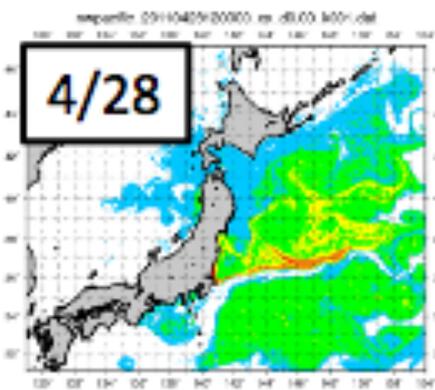
3月12-16日
降雨による沈着



3月16日
降雨による沈着



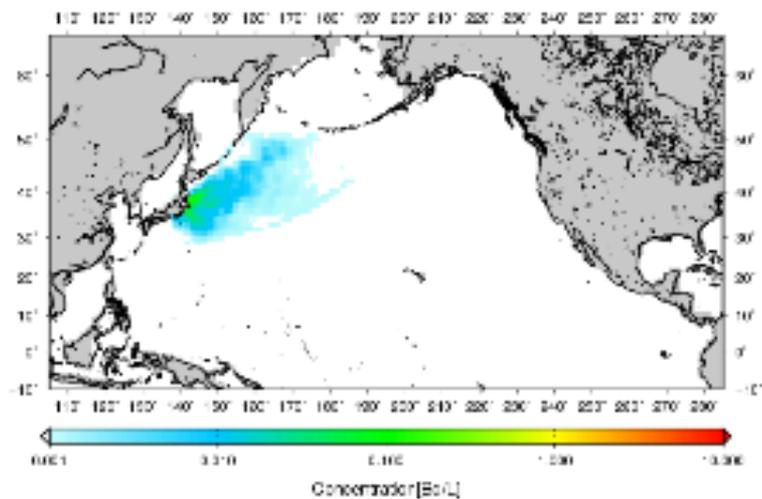
3月18日
降雨による沈着



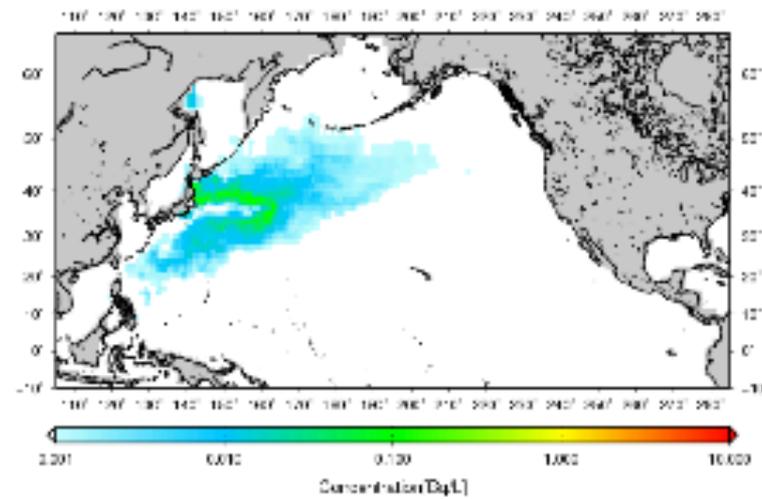
黒潮続流による
東方への輸送

公開ワークショップ
福島第一原子力発電所事故による
環境放出と拡散プロセスの再構築
[http://nsed.jaea.go.jp/ers/
environment/envs/
FukushimaWS/index.htm](http://nsed.jaea.go.jp/ers/environment/envs/FukushimaWS/index.htm)

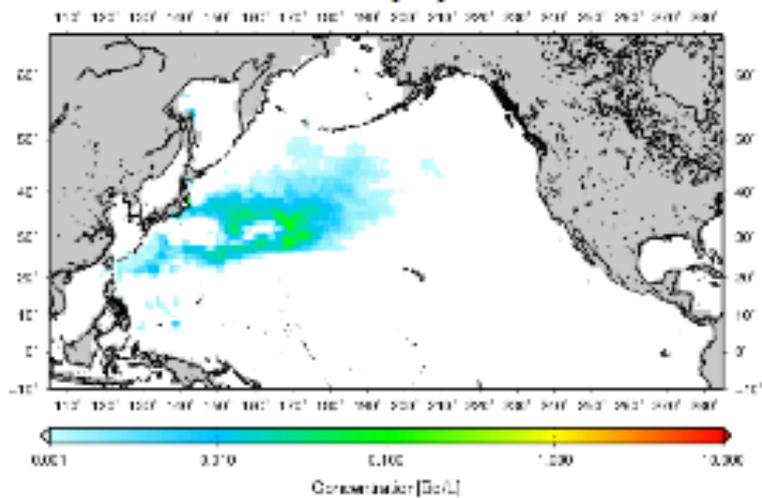
2011/3/22



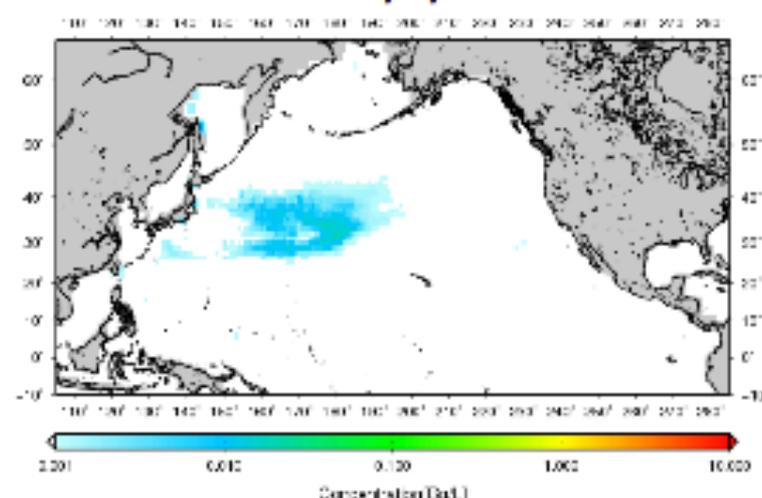
2011/9/18



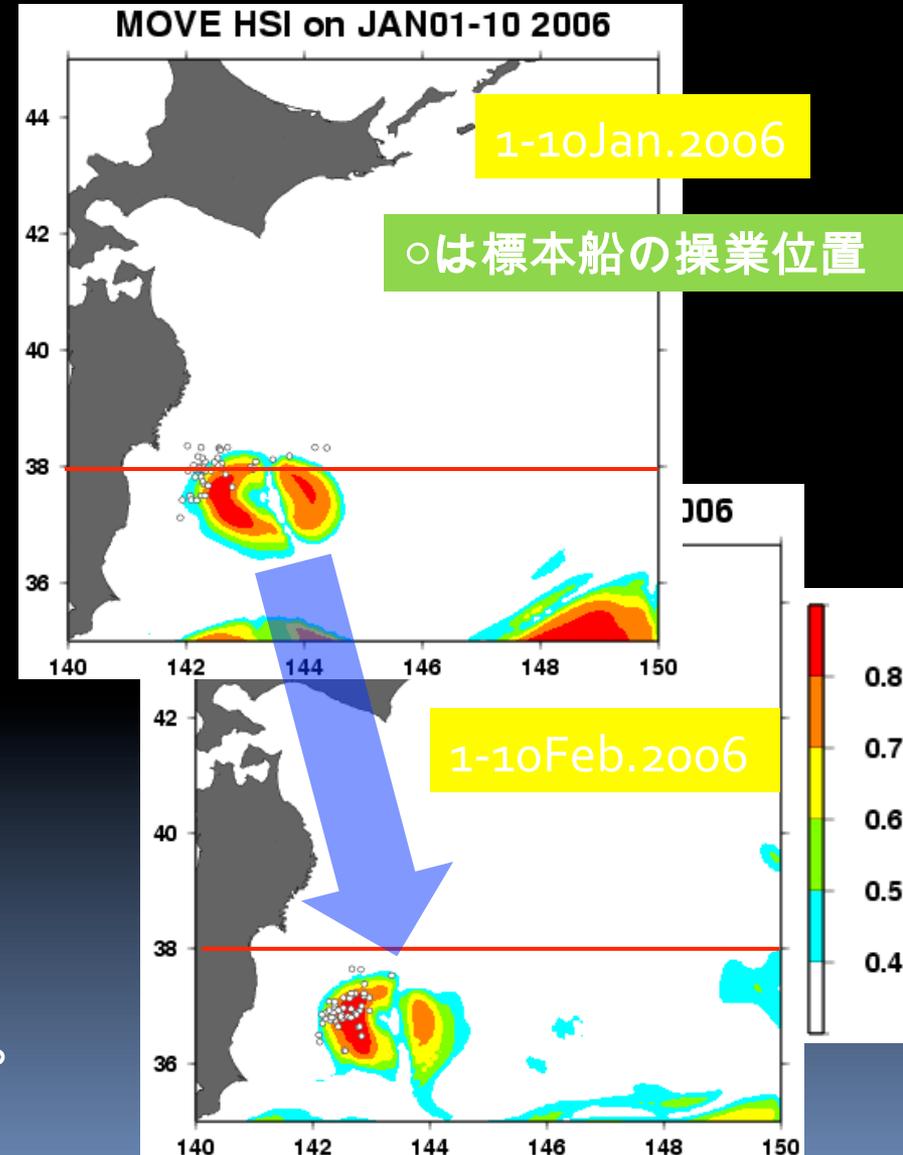
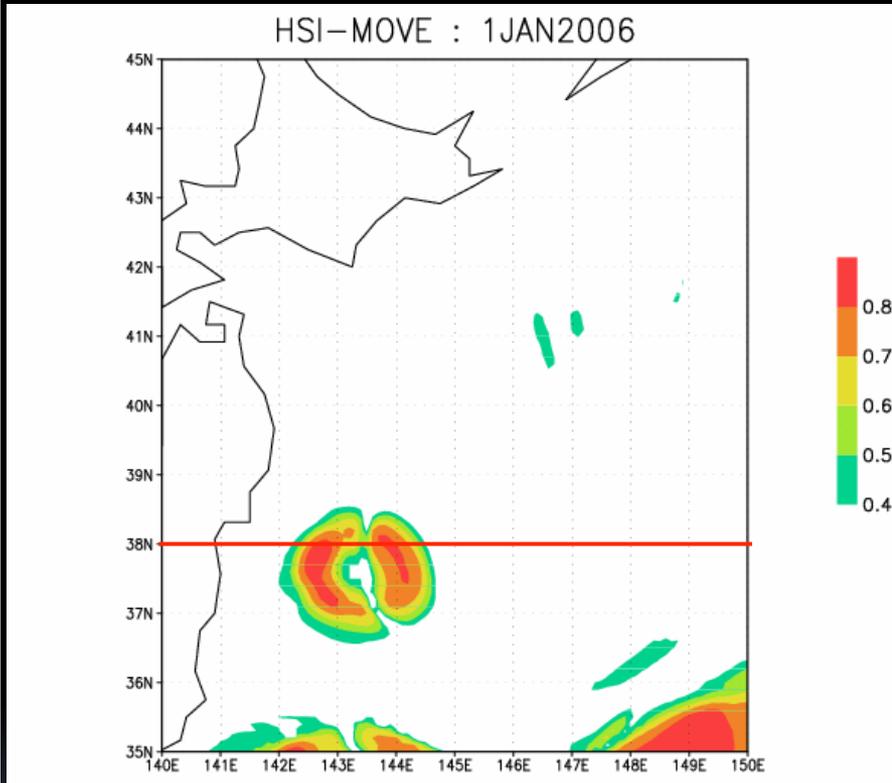
2012/3/6



2012/9/12



アカイカ漁場推定への適用



daily HSI分布図 (2006年
1/1-2/28)

高気圧性渦の南下に伴う標本船の操業位置の移動がよく再現されている。

2006年1月第2-3旬

