

海氷予測への挑戦

長期、中期、短期予測への挑戦と実績

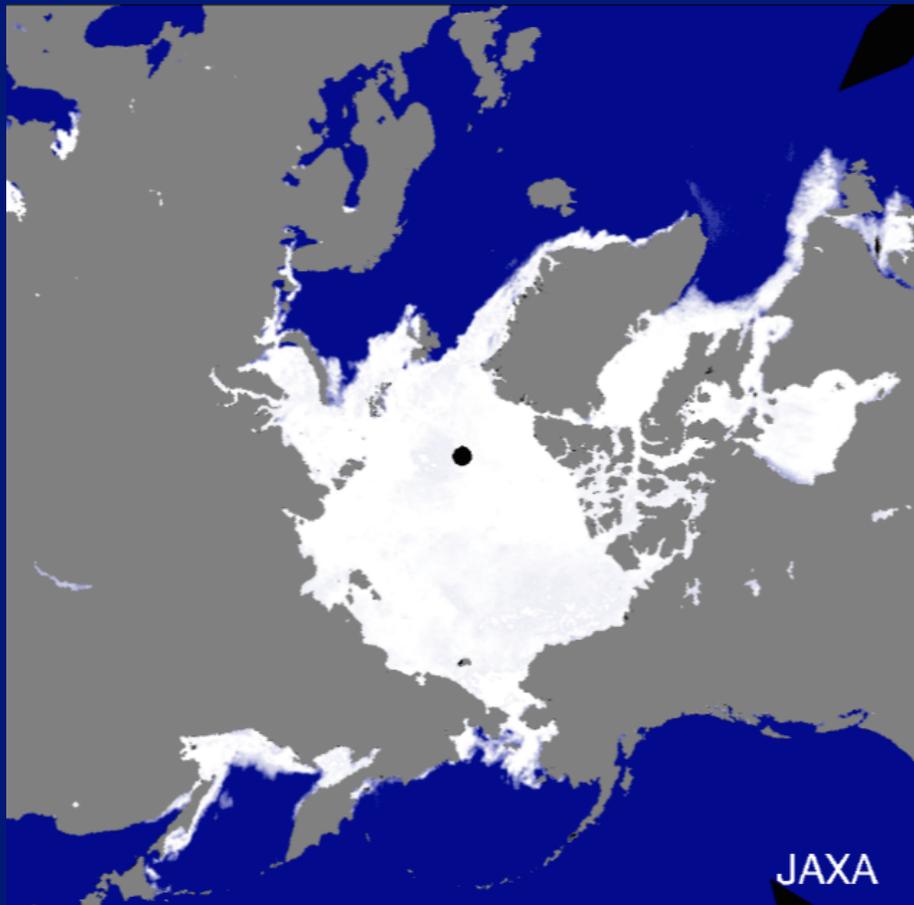
木村詞明
川崎高雄

De Silva Liyanarachchi Waruna Arampath

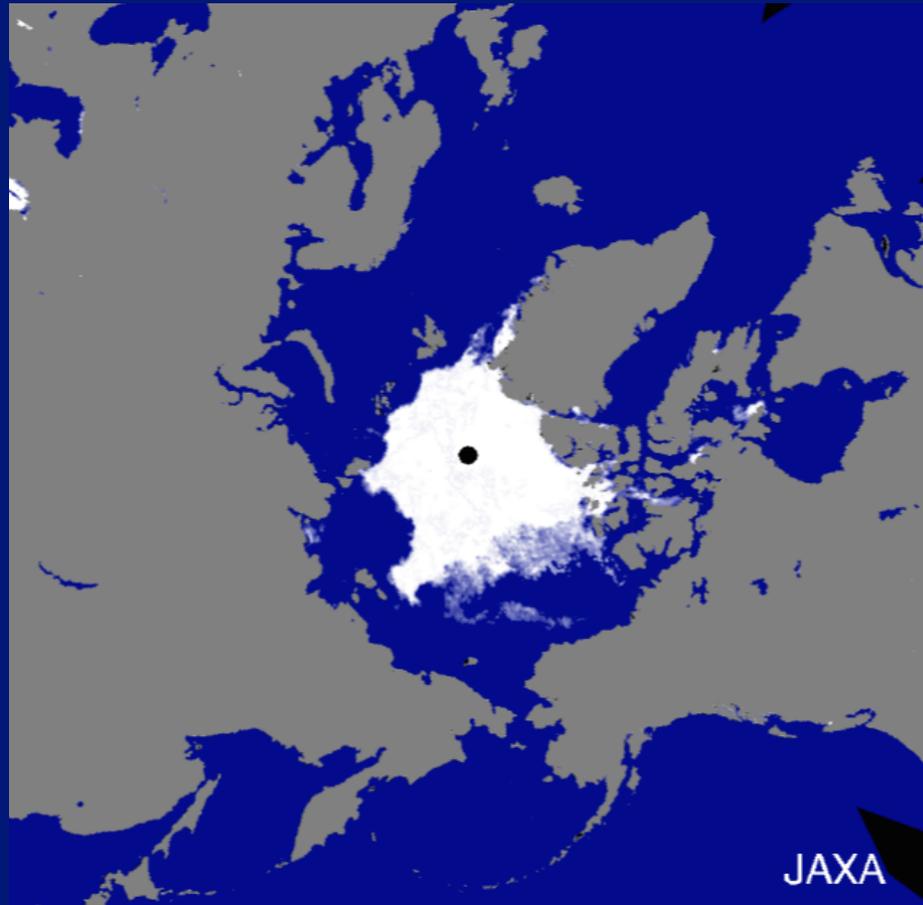
国立極地研究所/東京大学



海氷の分布：北半球



2015年3月1日



2015年9月1日

<https://ads.nipr.ac.jp/vishop/vishop-monitor.html>

北極海の航路利用



今後数十年のうちに間違いなく北極海は実用航路として使用されるようになる
— 日本と欧州の距離が4割短縮, 近年は毎年数十隻の貨物船が航行
北極海の航路利用により、もっとも恩恵を受ける国は日本
航路の利用促進と国際交渉で存在感を持つためにも、観測体制と知識が必要

北極航路利用のための海氷予測

	短期	中期	長期
時間スケール	数日-10日	数ヶ月	数年-数十年
用途	航行中の航路選択	北極航路の利用可否の判断	砕氷船の建造計画など
予測方法	数値モデル	衛星データ解析 (統計的手法)	数値モデル



ワルナ



木村



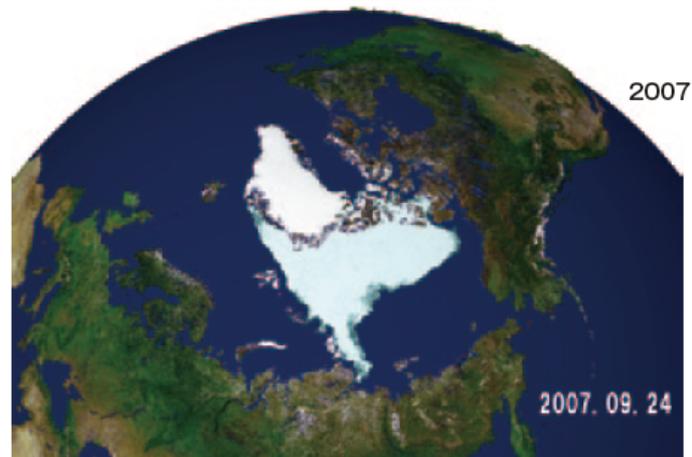
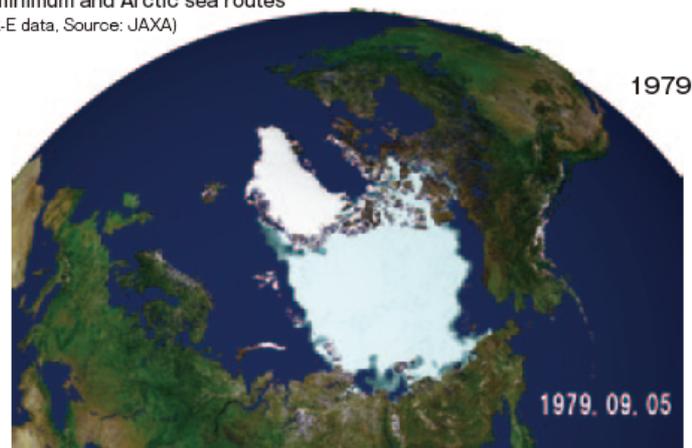
川崎

長期予測

資料作成: 川崎高雄

北極海における海氷の長期予測を行うための、
再現性の高い気候モデルの整備

Distribution of sea ice on the day when its total area of coverage is at a minimum and Arctic sea routes (AMSR-E data, Source: JAXA)



海水長期予測に用いる気候モデルの整備に向けて

A. 海水海洋観測

衛星観測に現場観測を組み合わせることで、薄氷厚・海水密接度・海面熱フラックス・海水生産量について、高精度・高分解能のデータセットを構築

B. 海水海洋モデリング

海洋内部の数十年規模変動を扱う高解像度北極海モデルを構築

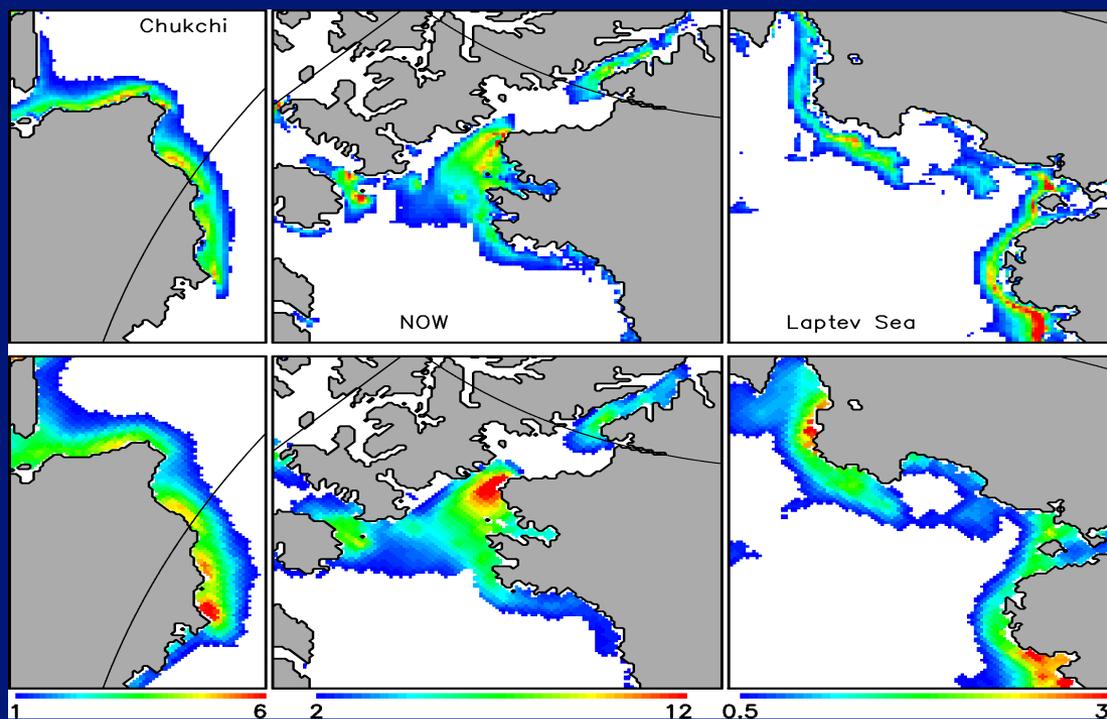
C. 海水予測システム

全球気候モデルに高解像度北極海モデルを組み込み、海水密接度・海面熱フラックスなどの高精度・高分解能のデータセットを同化することで、北極海水分布の長期的(数年～数十年)予測システムを構築

A. 海水海洋観測

- ベーリング海峡北部のチャクチ海で係留観測を実施
- 高精度衛星AMSR に対する薄氷厚算出アルゴリズムを開発
- 今後、現場観測と衛星観測の組み合わせでアルゴリズムをさらに高精度化

衛星観測データから見積もられた海氷生産量



高精度の観測データをもとに改良

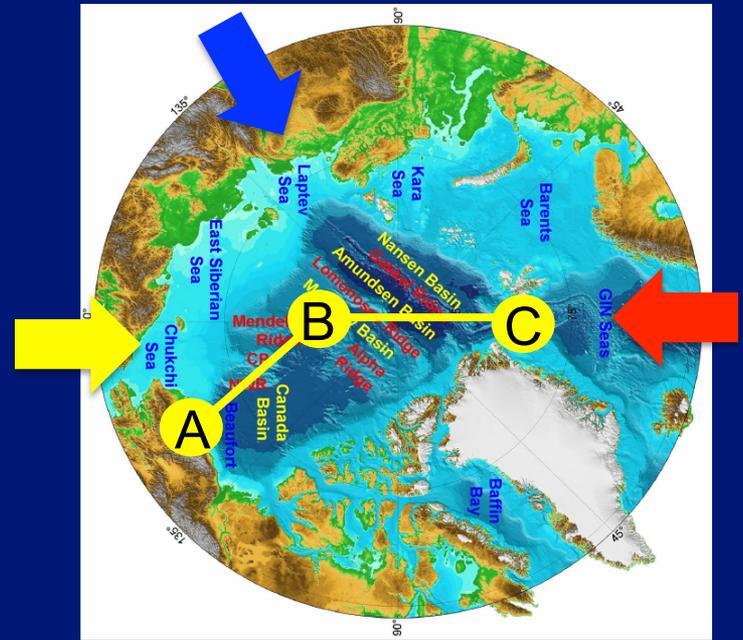
B. 海水海洋モデリング

北極海:

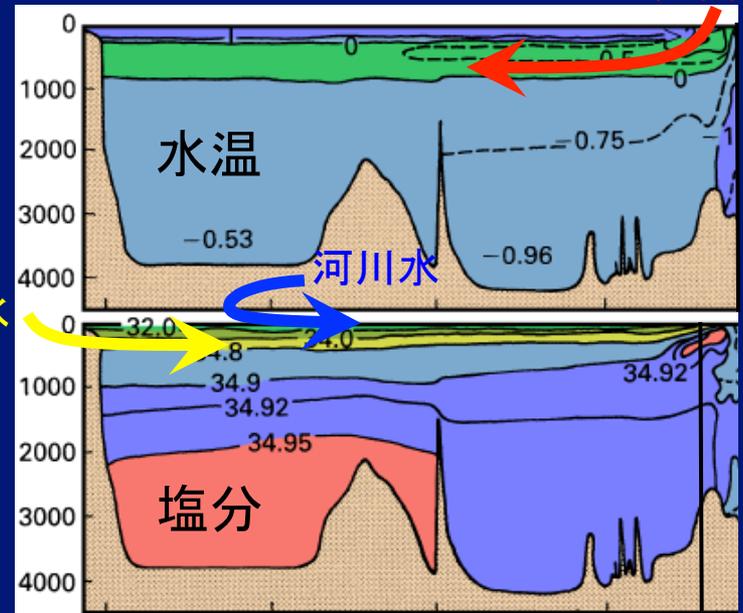
- 太平洋起源水(低塩分水)流入
- 大西洋起源水(高温・高塩分)流入
- 河川水(海盆の規模に比して大量)流入
- 北極海における海水の生成・融解・輸送
- 北極海内部での深層水形成によって、複雑な海洋構造が形成される

- 海洋観測の不足
 - 海洋構造の複雑さ
- ⇒ 気候モデルにおける北極海内部の低い再現性

大西洋水は北極海内で最も高温の海水
⇒ 急激な海水減少を引き起こす可能性



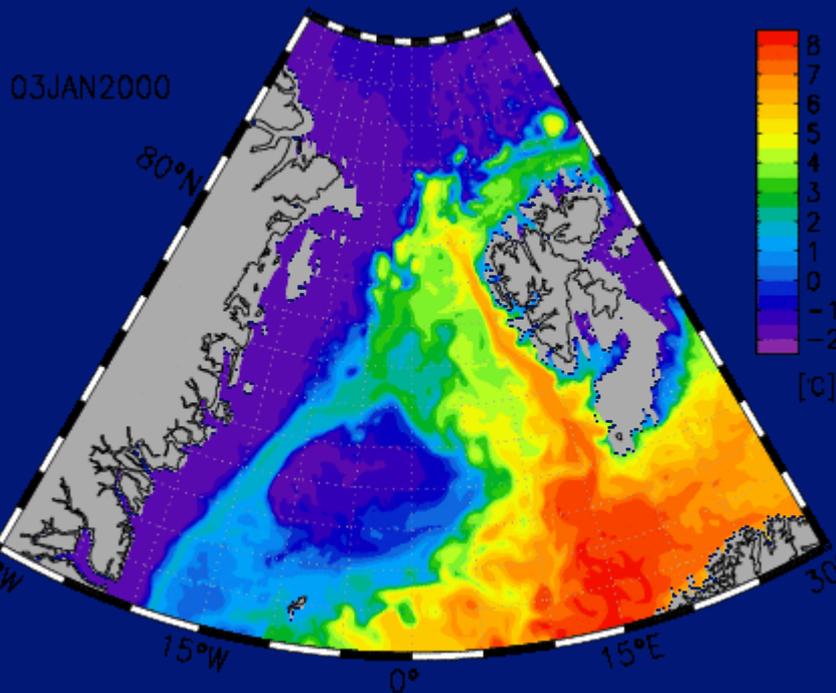
北極海内部の水温/塩分の分布 **大西洋水**



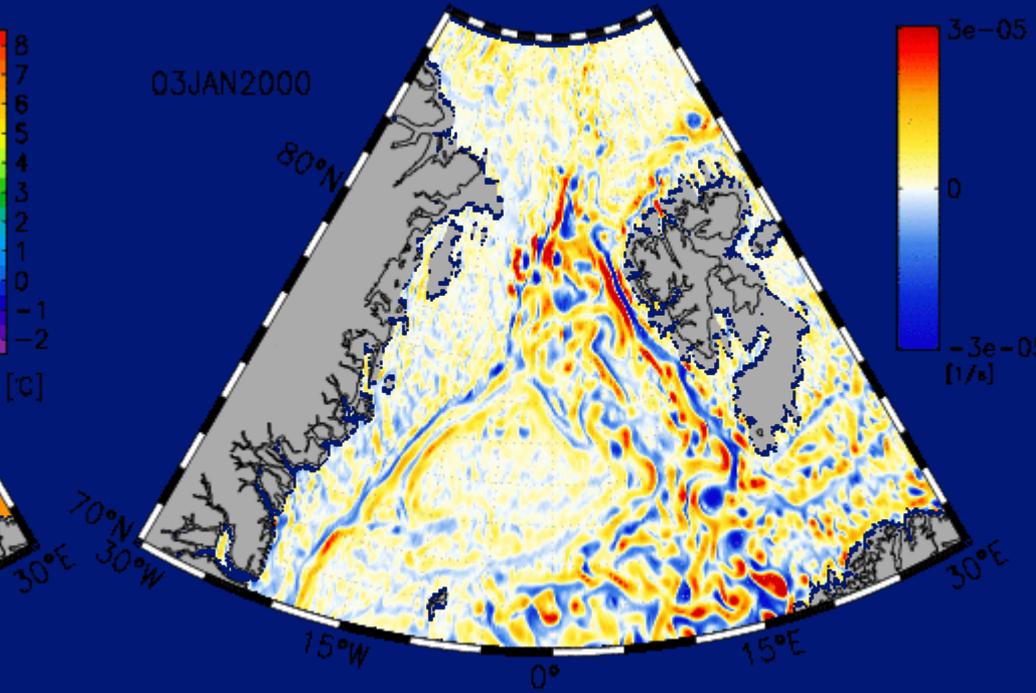
A B C

B. 海氷海洋モデリング

ポテンシャル水温(深さ100m)



渦度(100m)

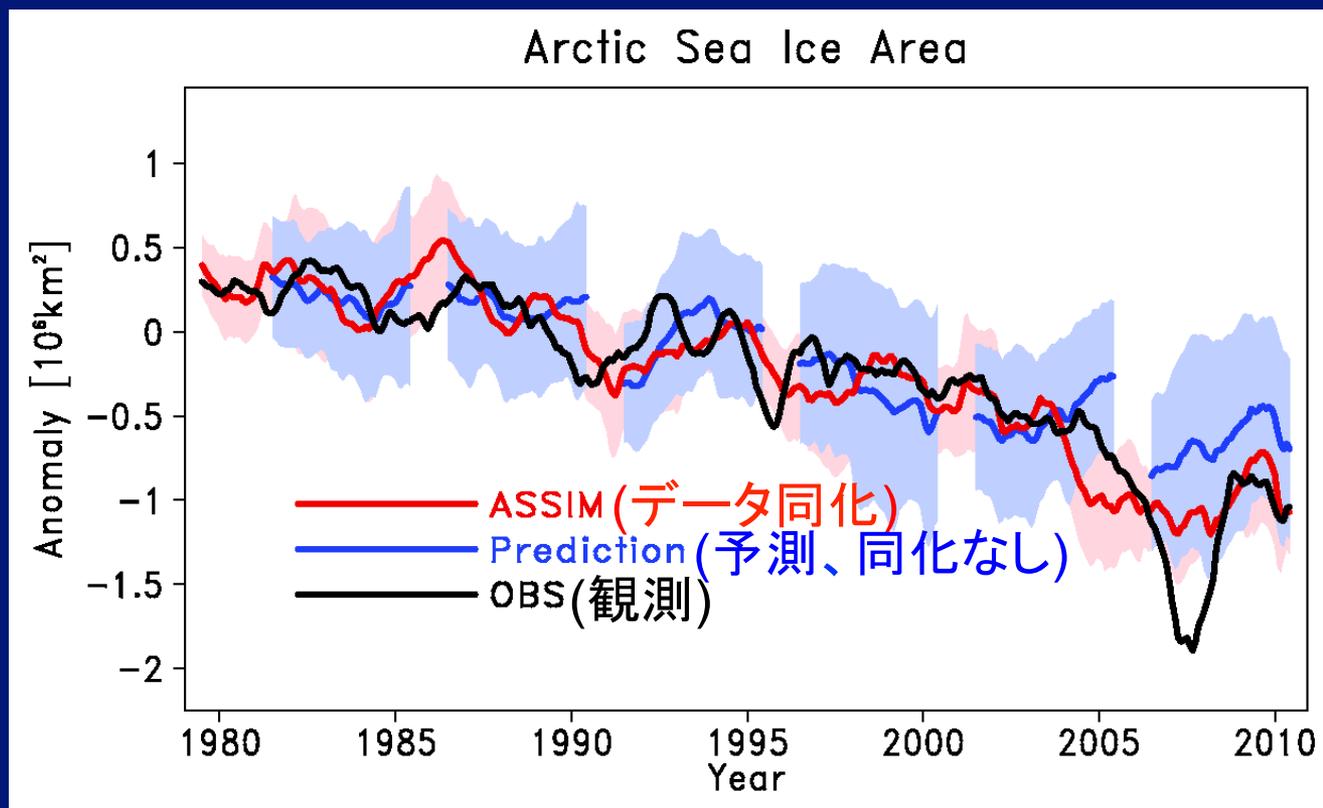


- 幅の小さい海流(西スピッツベルゲン海流)による北極海内への流入を再現
- 渦によって高温水が西方へ輸送
(海流によって北極海内へ輸送される熱を減少させる効果を再現)

高解像度化による Fram 海峡での大西洋水流入再現の高精度化

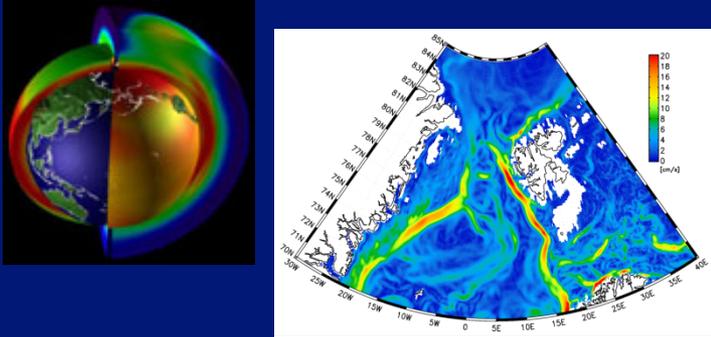
C. 海水予測システムの構築

- 地球温暖化予測モデルをベースに、大気・海洋・海水の観測データを同化し、季節～数年の海水分布予測システムを構築
- 今後、高解像度モデルと高精度化された海洋・海水観測データを予測システムに組み込み、より長期の海水分布予測の信頼性を向上

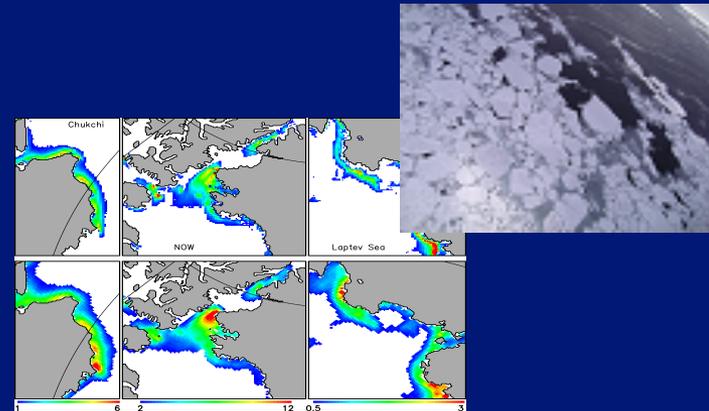


まとめ: 北極海氷の長期予測について

海水海洋モデリング
(東大大気海洋研・羽角)



海水海洋観測 (北大低温研・大島)



連携

高解像度モデル

高精度・高分解能
観測データ

海水予測システム(気象研・石井)



北極海水分布の長期
変動予測の実現

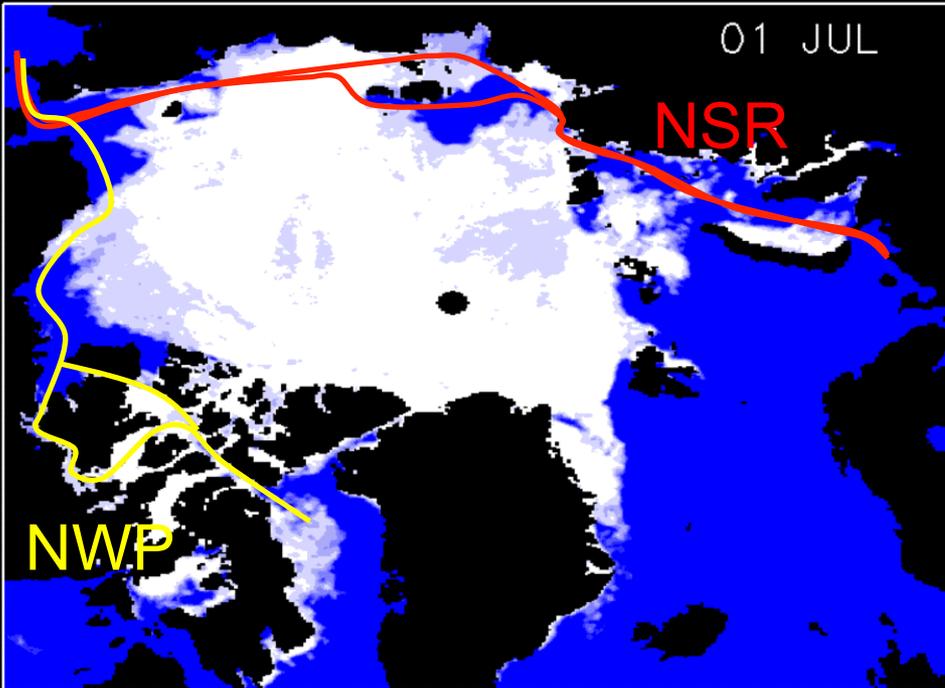
短期予測

資料作成 : De Silva Liyanarachchi Waruna Arampath

海域を限定した高解像度の海氷-海洋モデルを用いた計算

Goal of short-term prediction modeling

1st July to 31st October, 2010, when NSR and NWP opened



- Sea ice changes from hour to hour
- Precise prediction of daily ice motion
- Safe and efficient ship navigation



Short-term prediction

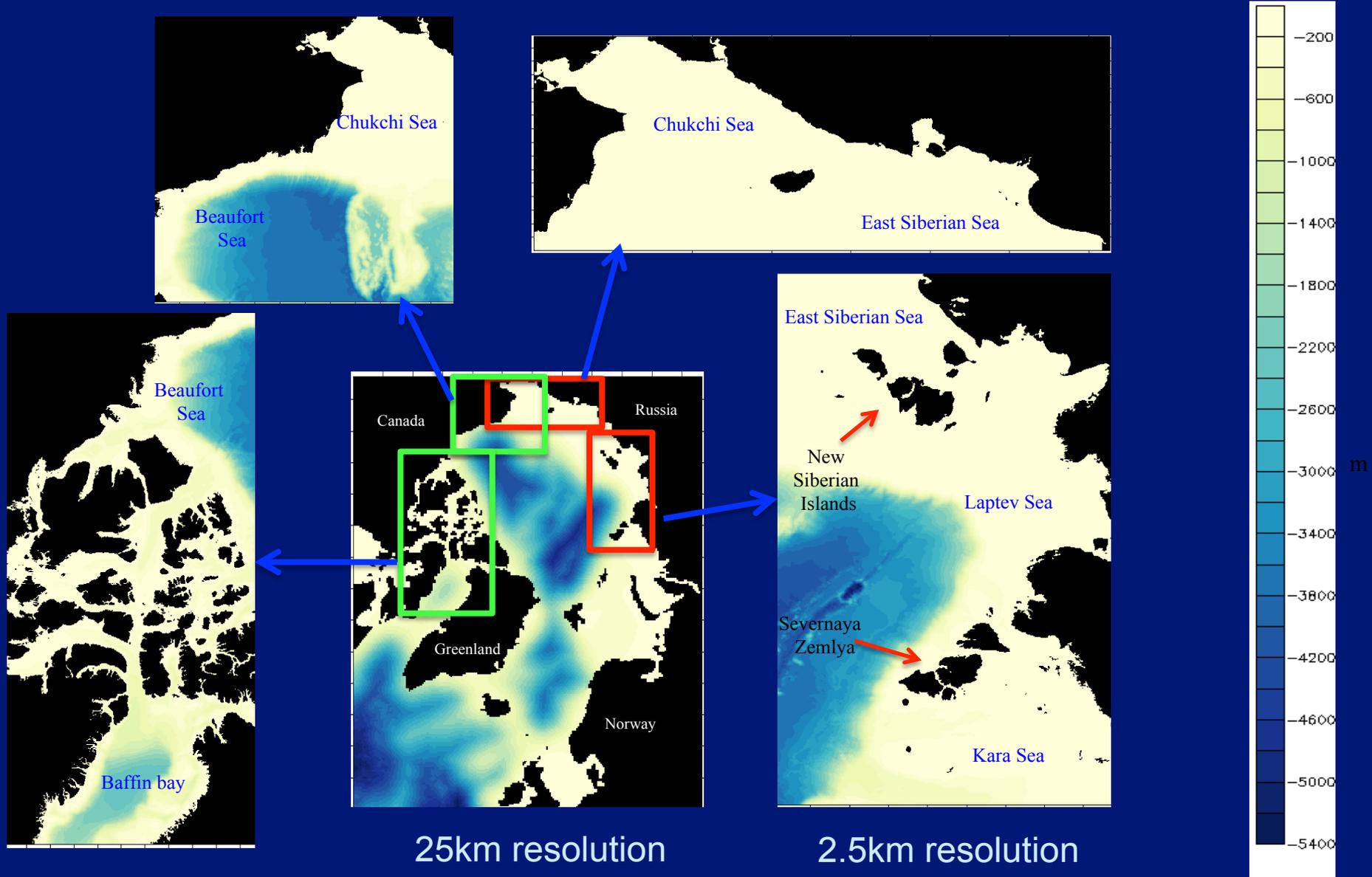


- About one week
- Over melting and freezing seasons
- Information service on daily ice conditions

Ice concentration (% , AMSR-E/Aqua Daily L3)

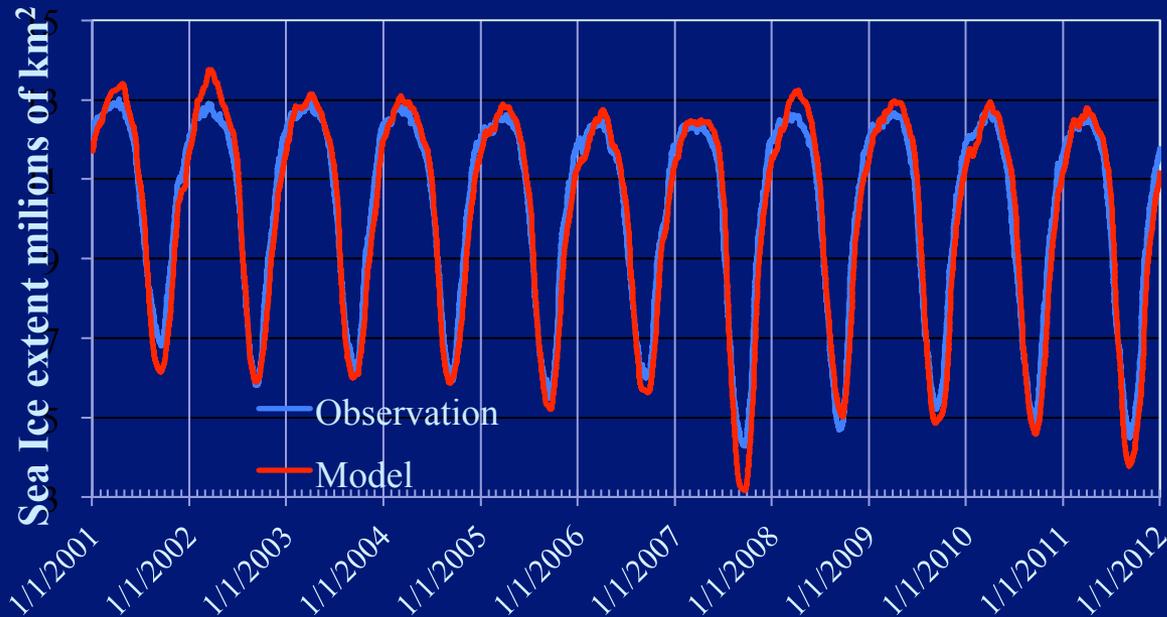
Finally, to predict ice edge zones up to 5 days ahead within errors of ± 10 km, in regions of NSR and NWP

Computational domains and model bathymetry

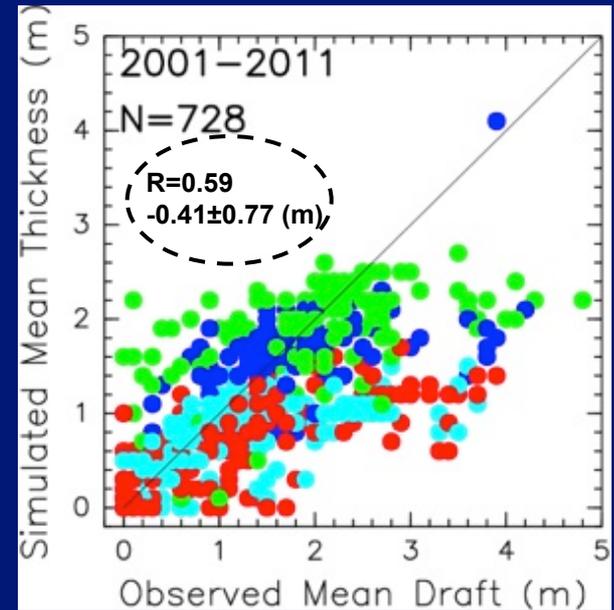


Reproducibility of the whole Arctic Ocean model

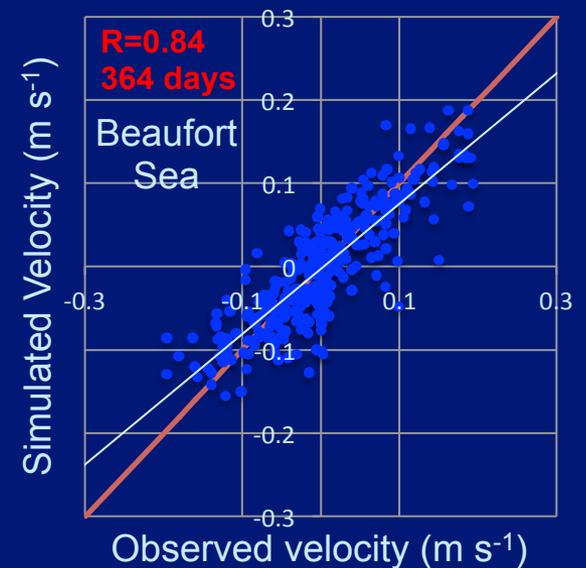
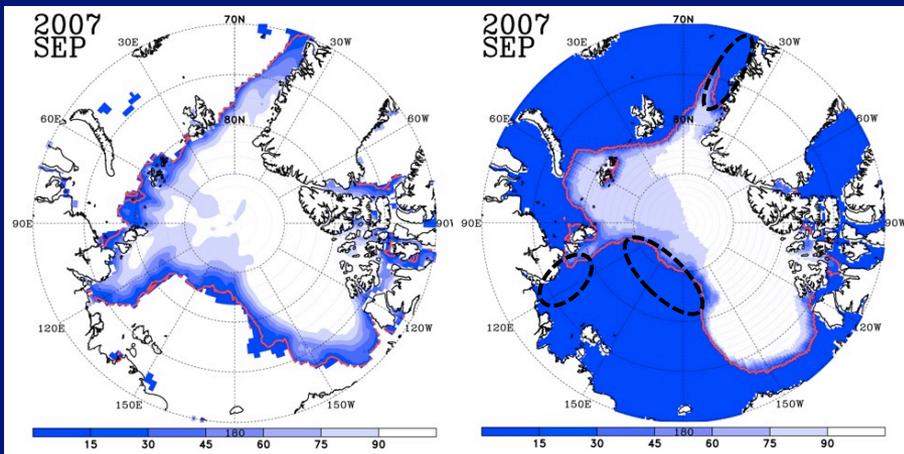
Daily time series of total ice area (km²) from AMSR-E and model in the Arctic Ocean



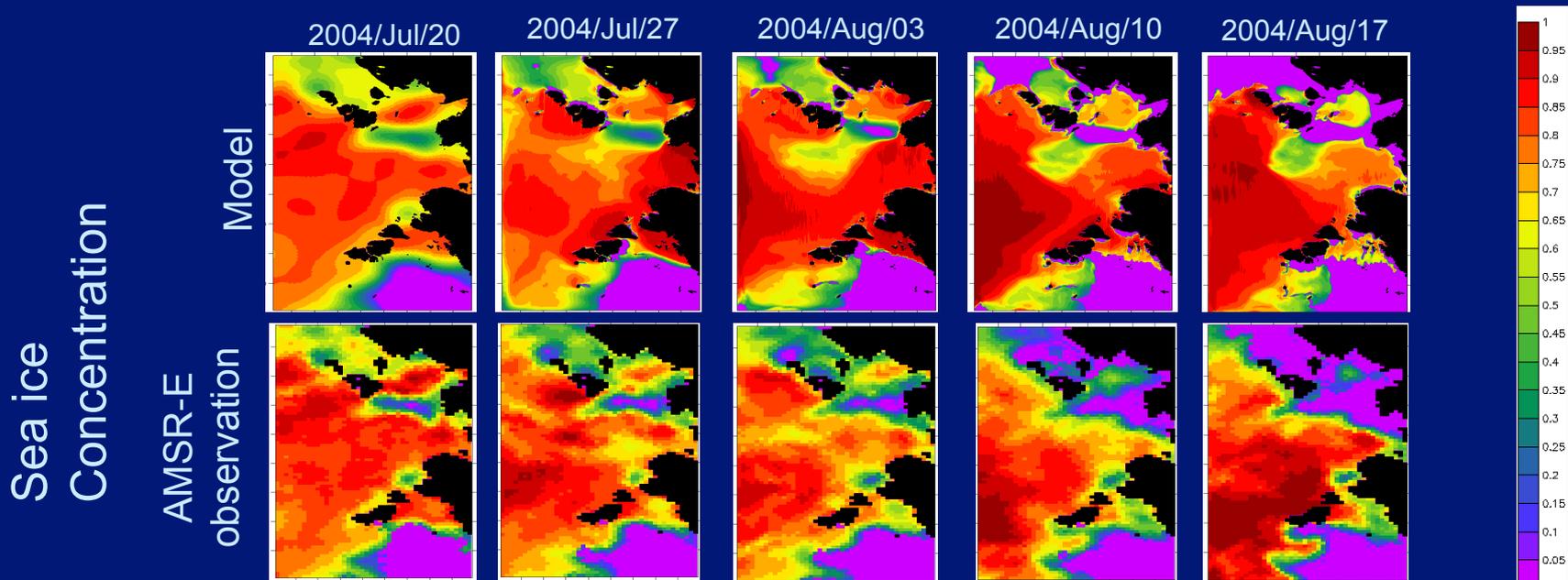
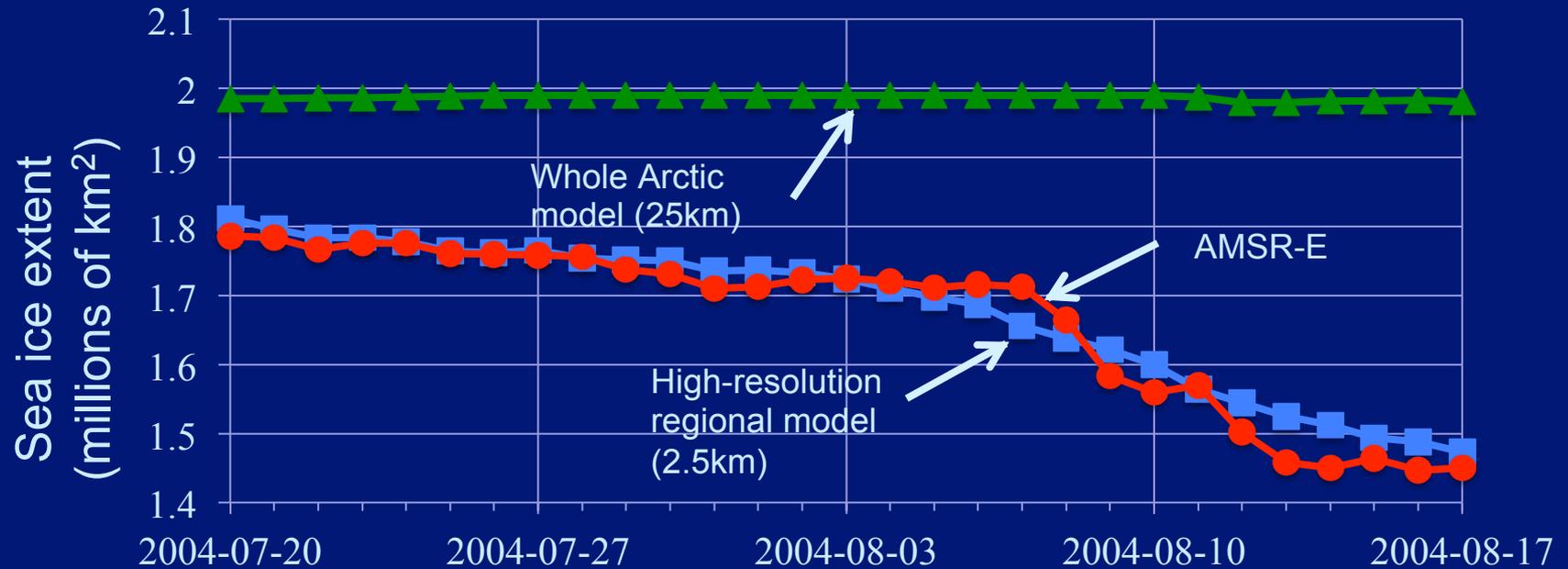
Sea-ice draft (m)



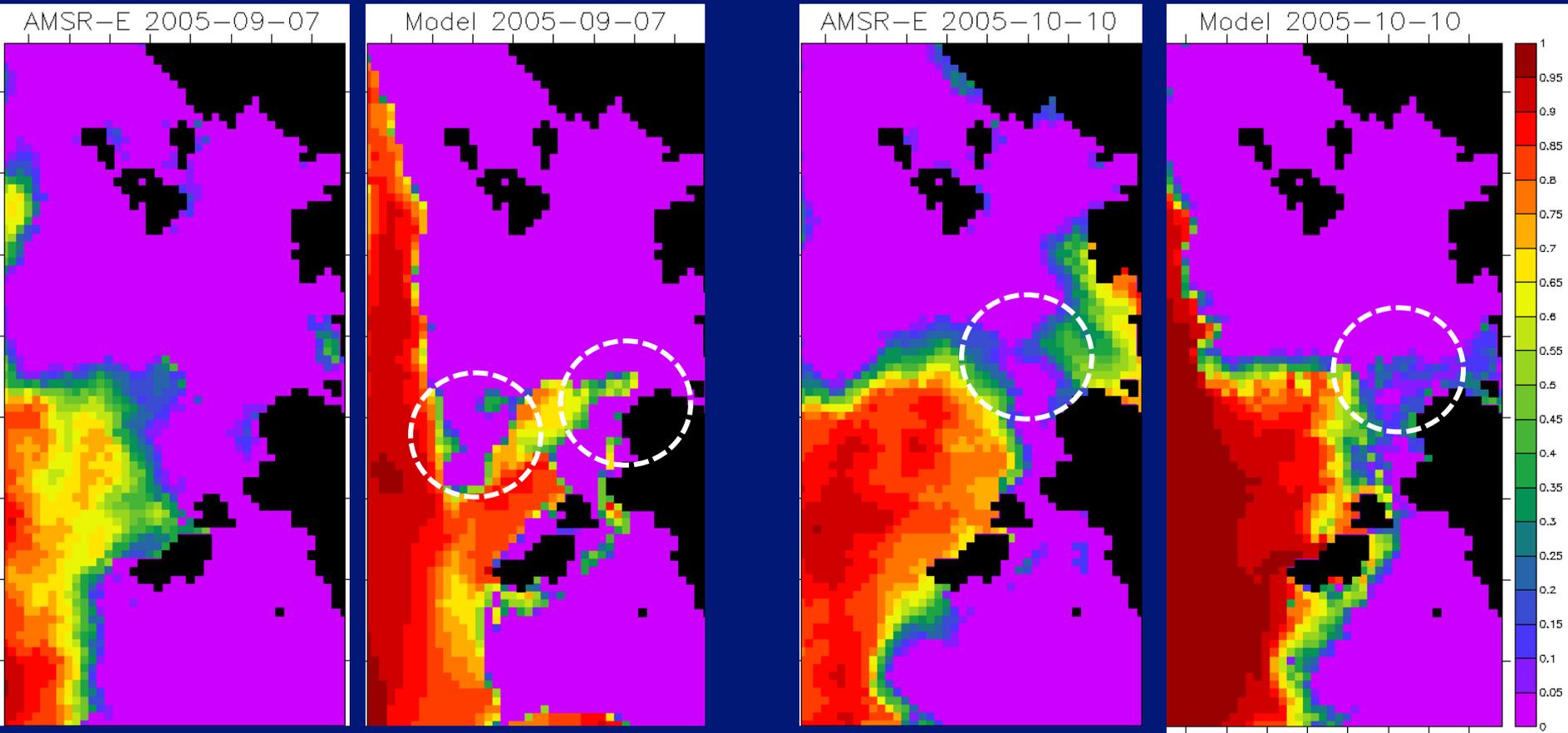
September mean sea-ice concentration (%) in 2007 from AMSR-E (left) and Model (right)



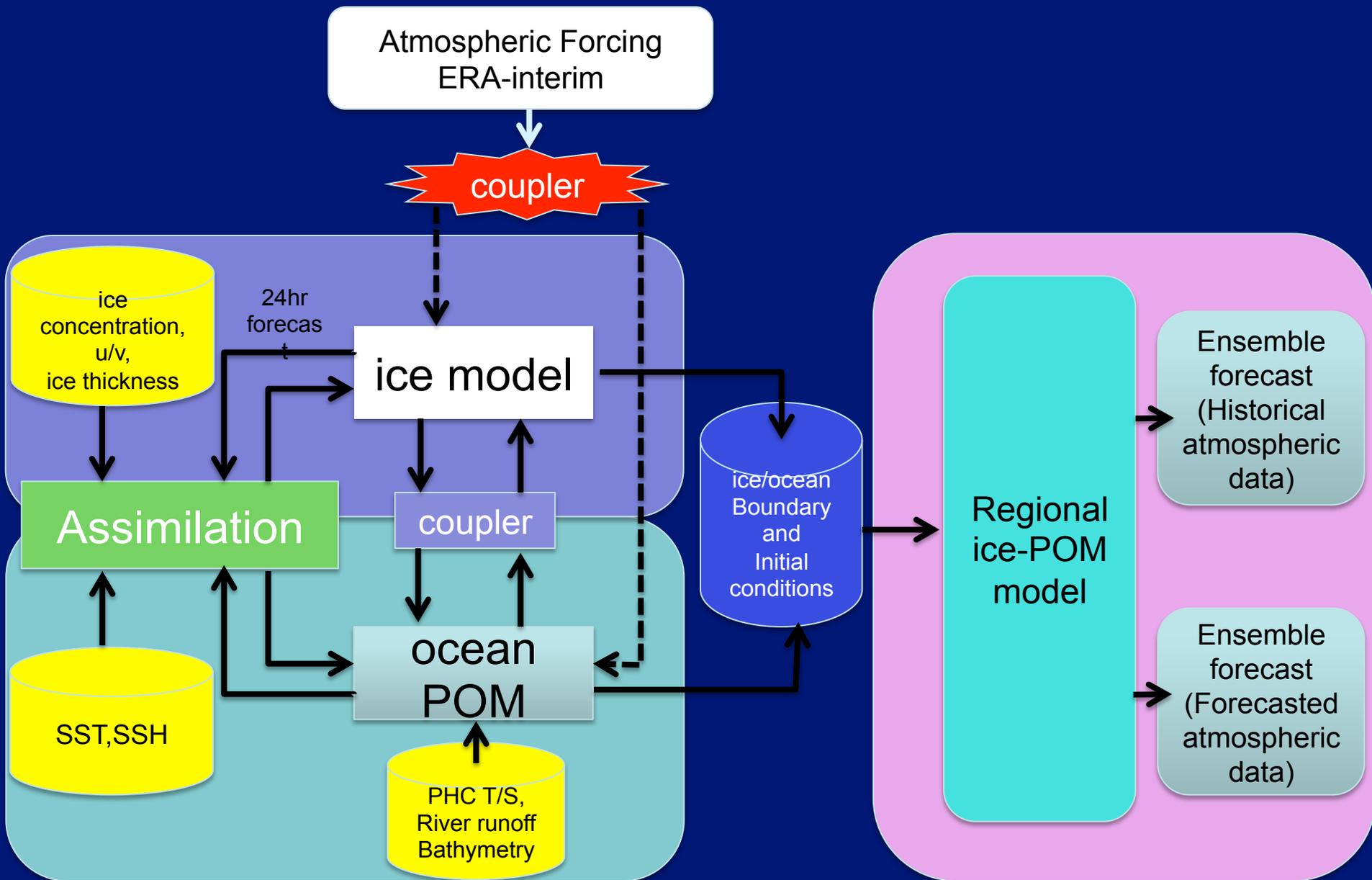
Reproducibility of the regional model (Laptev Sea)



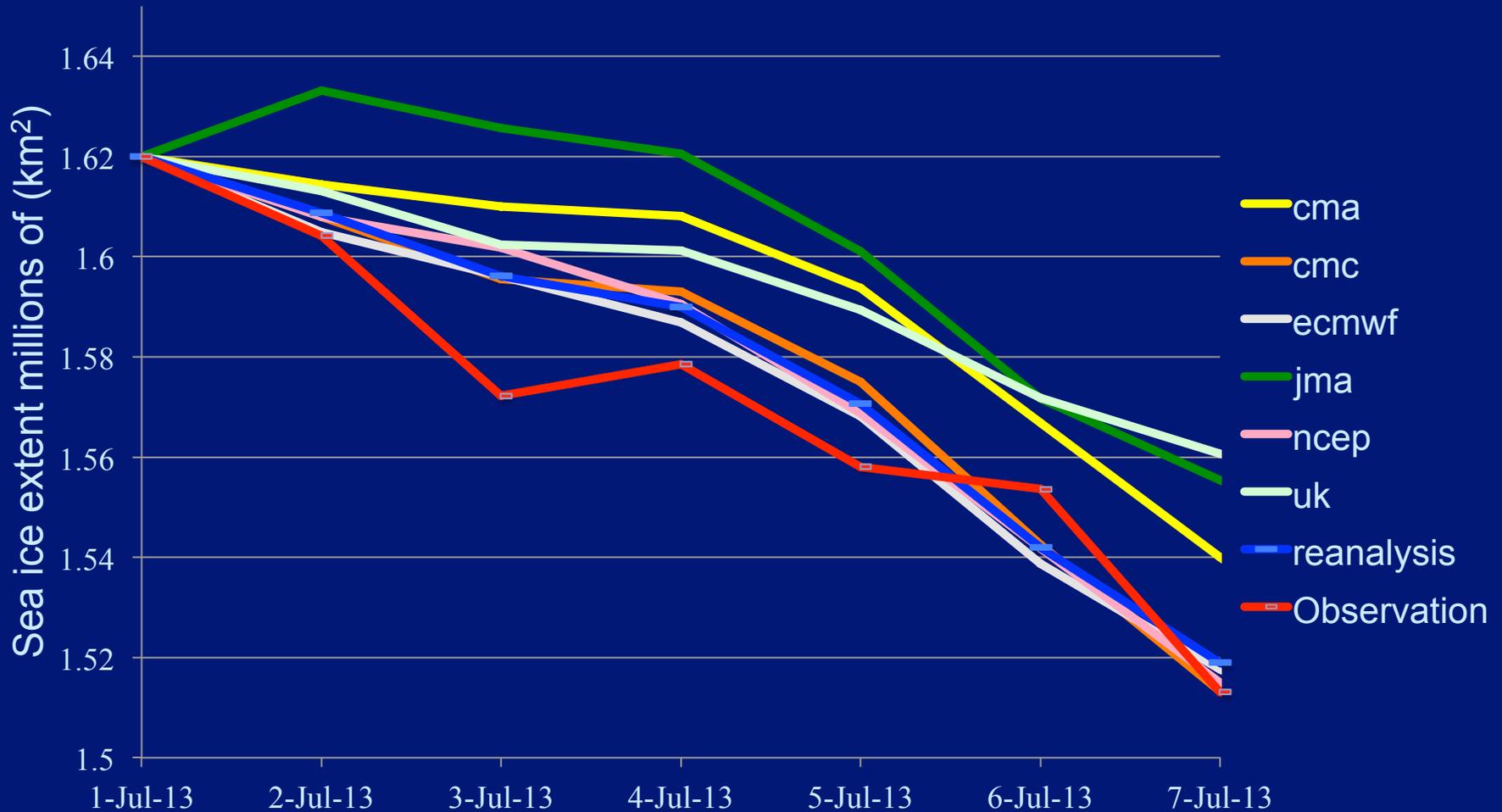
NSR open and close date determined using sea ice extent comparison (2005)



Ice-POM Nowcast/Forecast System



2013 sea ice prediction using forecasted atmospheric data



Predicted ice extent, Initialized July 1, 2013

まとめ:短期予測

北極海全域モデル(分解能25km)によって、海氷の分布や動き、厚さなど海氷変動のおおまかなようすを再現できるようになった

領域を絞った高解像度モデル(分解能2.5km)によって、海氷の変動や航路の開通時期をより正確に再現できるようになった

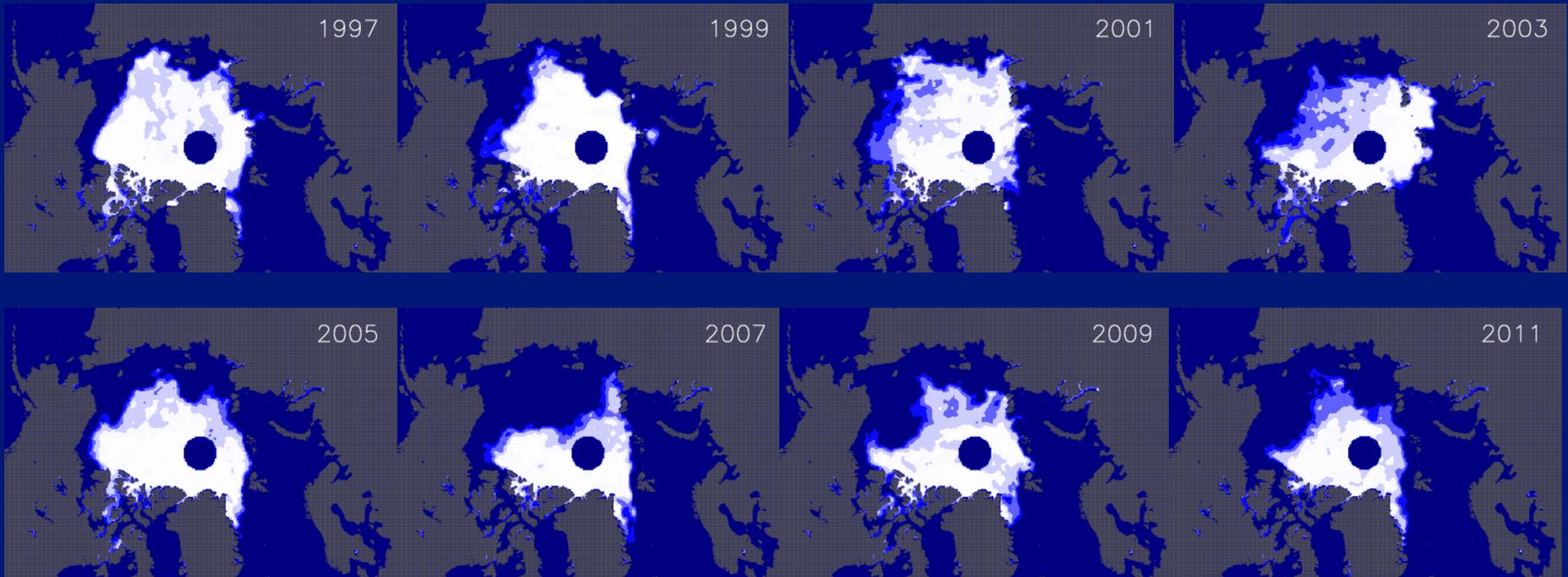
—細かい空間スケールの海氷・海洋現象(渦など)を再現できたことによる

6つの気象機関による気象予測を用いて、ラプテフ海周辺域での6日先までの海氷予測計算を試みた

中期予測

人工衛星データを用いた過去の経験則による予測

中期予測の重要性：夏季海氷分布の年による違い(9月10日の密接度)

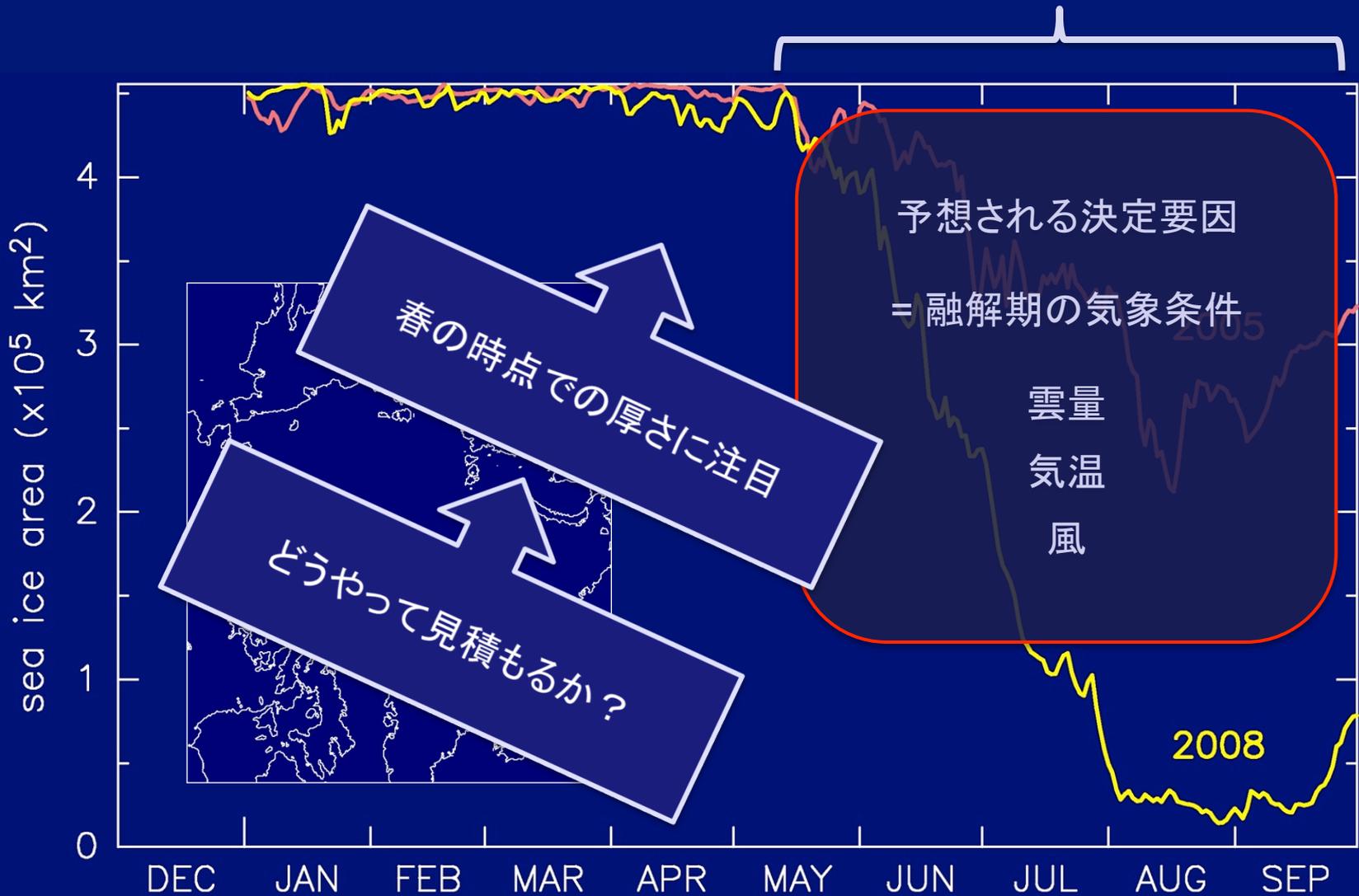


- ・ 近年、海氷面積が急速に減少してきている
- ・ 海氷域の分布パターンが年によって大きく異なる
 - 例えば2007年は海氷面積が激減したが、ロシア側の航路は開通していない

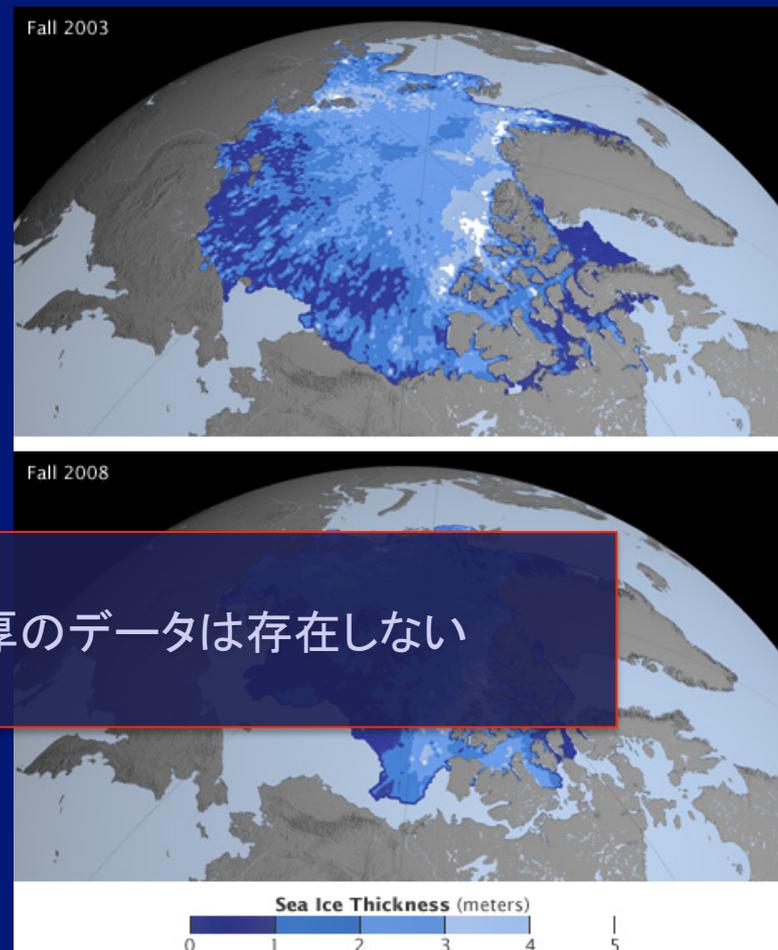
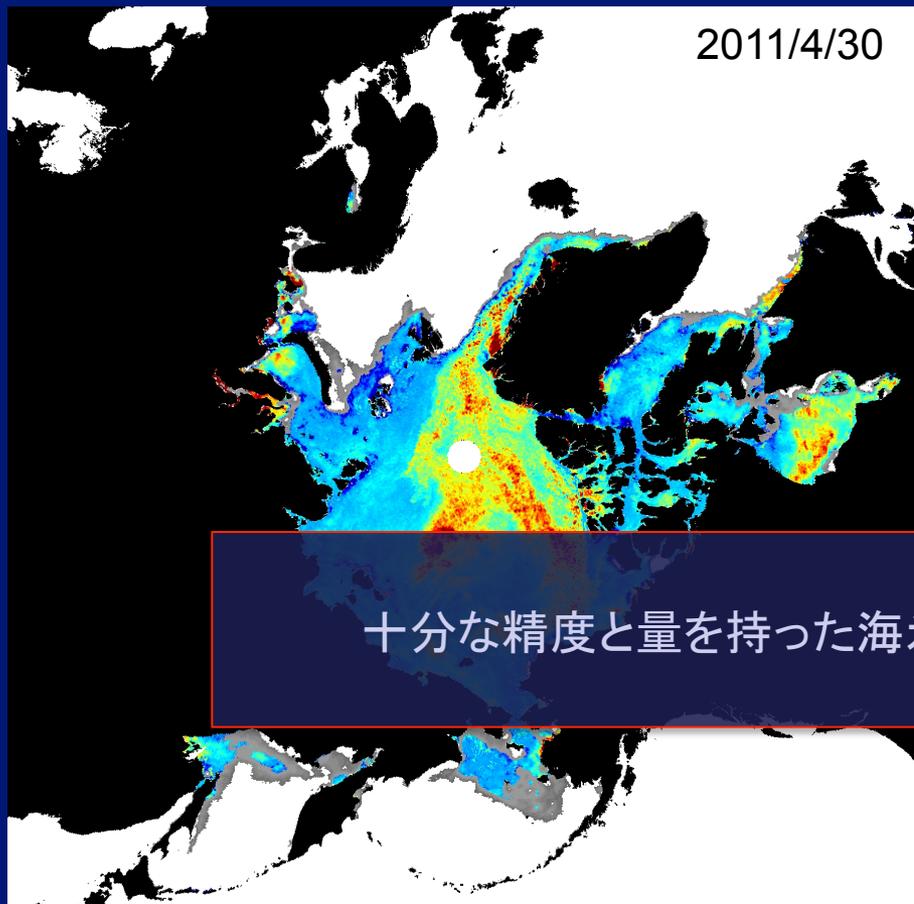
→ 海氷分布がどう変化していくか予測が必要

夏季海水分布の年々変化は何によって決まるか

年による違いは融解期に顕著になる



人工衛星による広範囲の海氷の厚さの観測



十分な精度と量を持った海氷厚のデータは存在しない

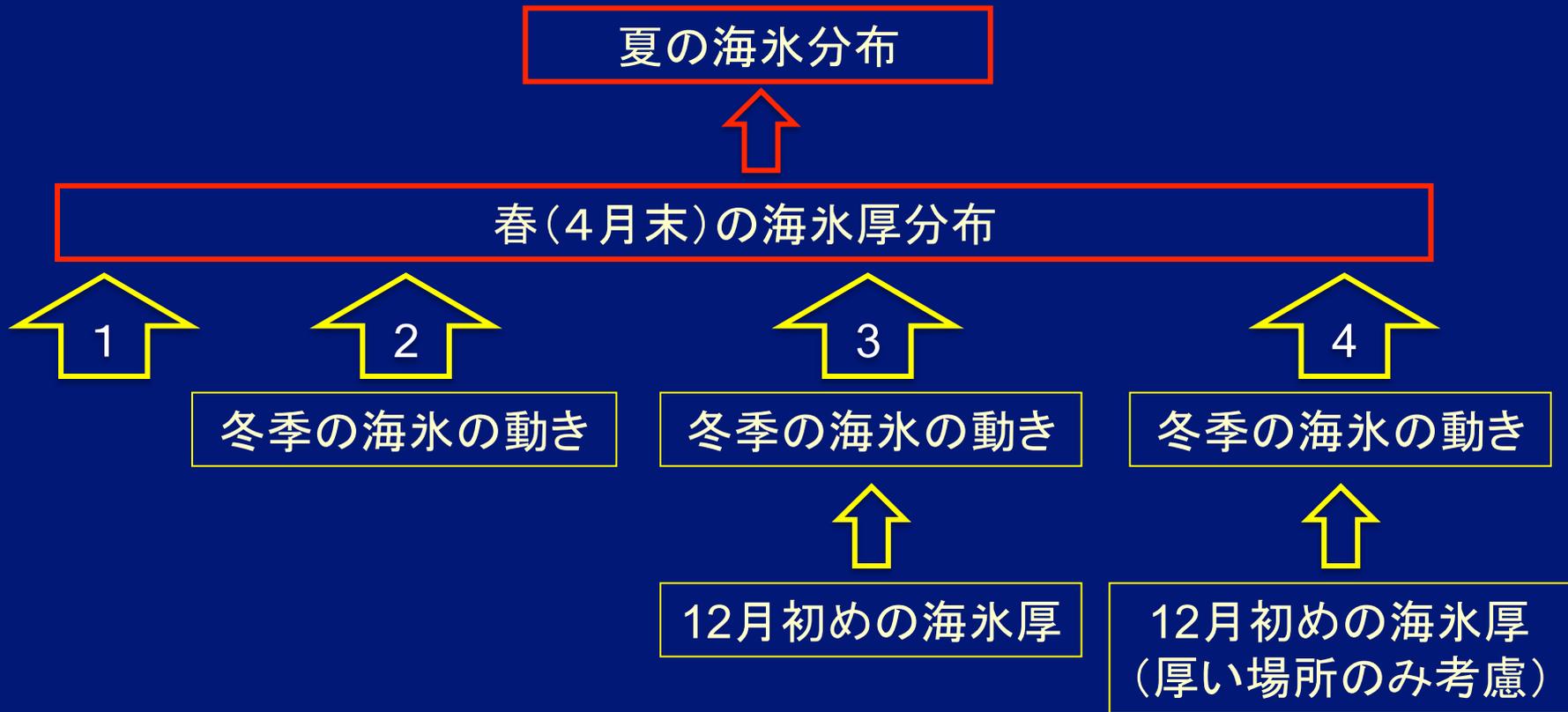
マイクロ波放射計による観測 (北見工大・館山氏)

薄い海氷の識別は可能だが、厚い場所だと正確な推測は困難

高度計(ICESat)による観測
(NASA GSFC)

精度, 頻度ともに不十分

春の海氷厚分布をどう見積もるか

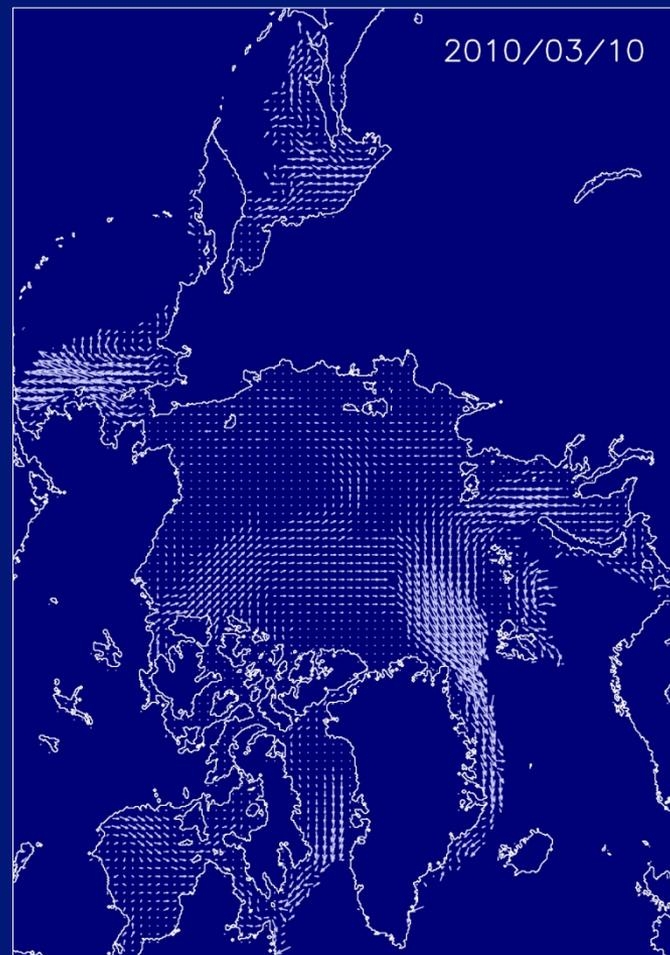
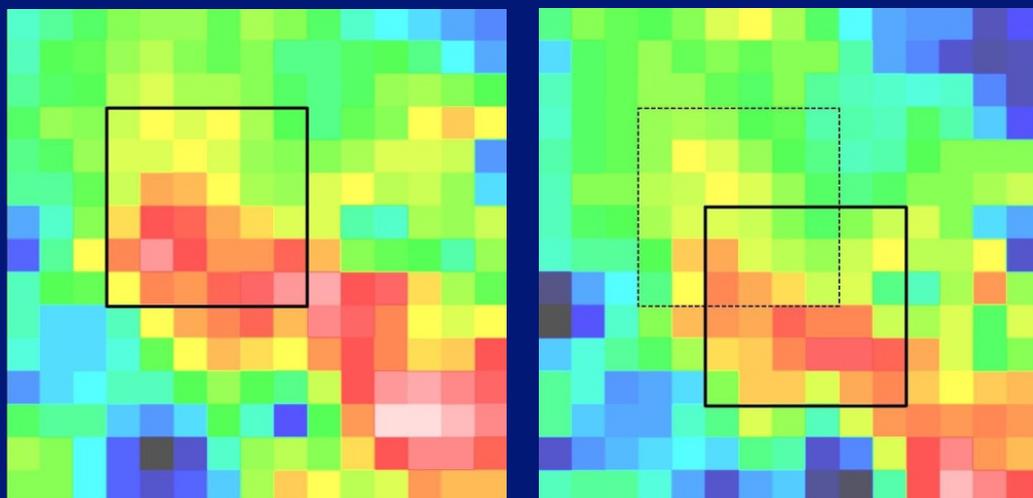


1. マイクロ波放射計AMSR2による4月の海氷厚観測値そのまま
2. 12月から4月までの海氷の動きから
3. 12月1日の海氷厚観測値とその後の4月までの海氷の動きから
4. 12月1日の海氷厚観測値(厚い海氷のみ)とその後の海氷の動きから

海氷の動きの検出

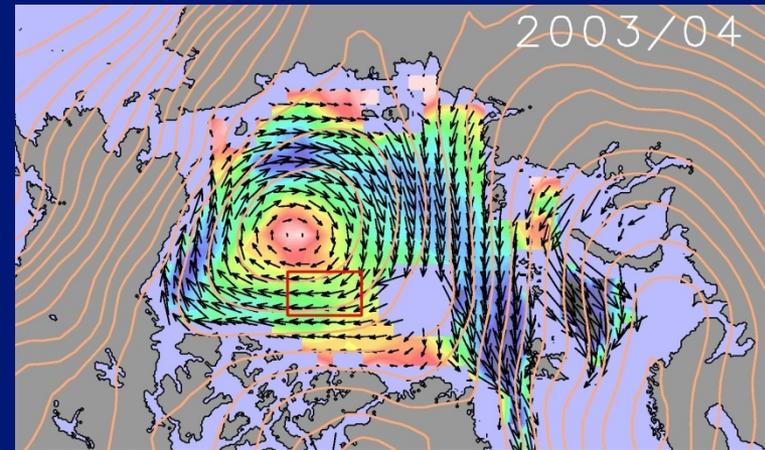
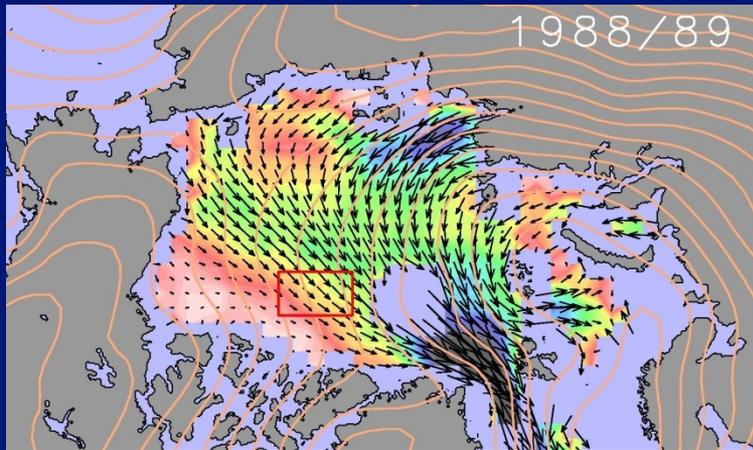
マイクロ波放射計SSM/IとAMSR-E, AMSR2による
観測画像から面相間法で計算

Kimura and Wakatsuchi (2000)
Kimura et al. (2013)

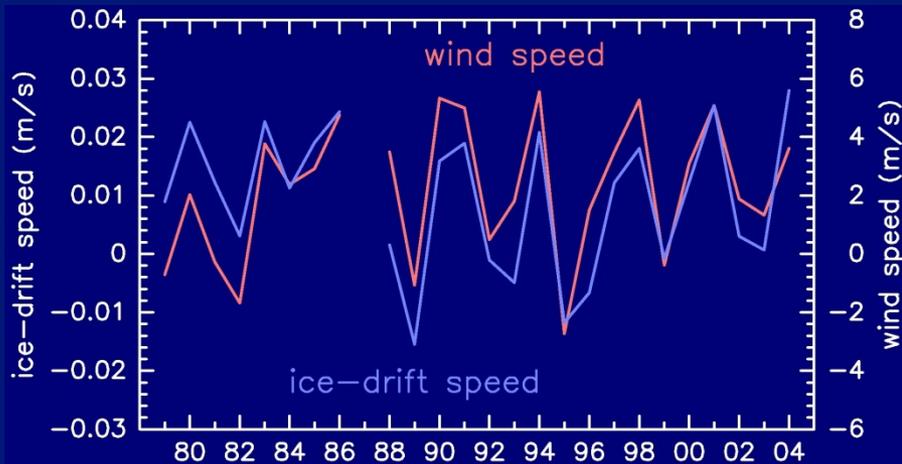


期間	1994 - 2012	2003 - 2011		2012 - 2013
季節	冬(12-4月)	冬(12-4月)	夏(5-11月)	冬(12-4月)
センサー	SSM/I 85.5 GHz	AMSR-E 36GHz	AMSR-E 19GHz	AMSR2 36GHz
データ間隔	75 km	60 km	60 km	60km
時間間隔	毎日	毎日	毎日	毎日

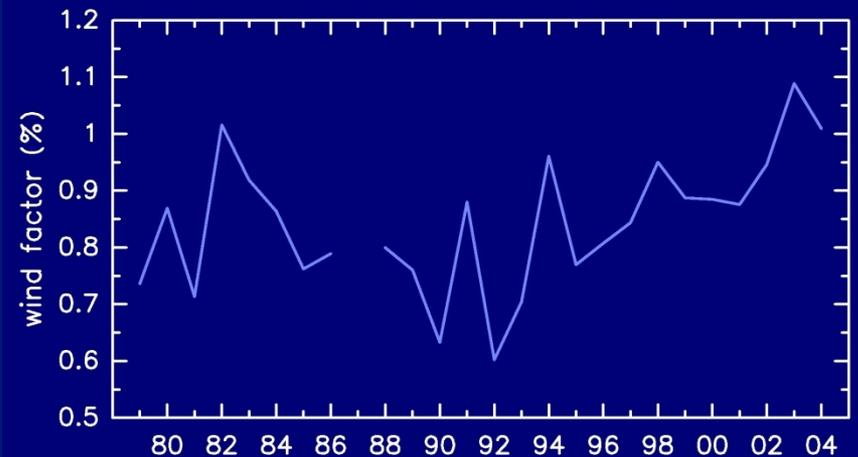
北極海の海氷の動きの年変化と風との関係



冬季の漂流速度場と地上気圧(左:1988/89年、右:2003/04年)



赤枠内の東向き風速と海氷漂流速の年変化



風速に対する漂流速の比率の年変化

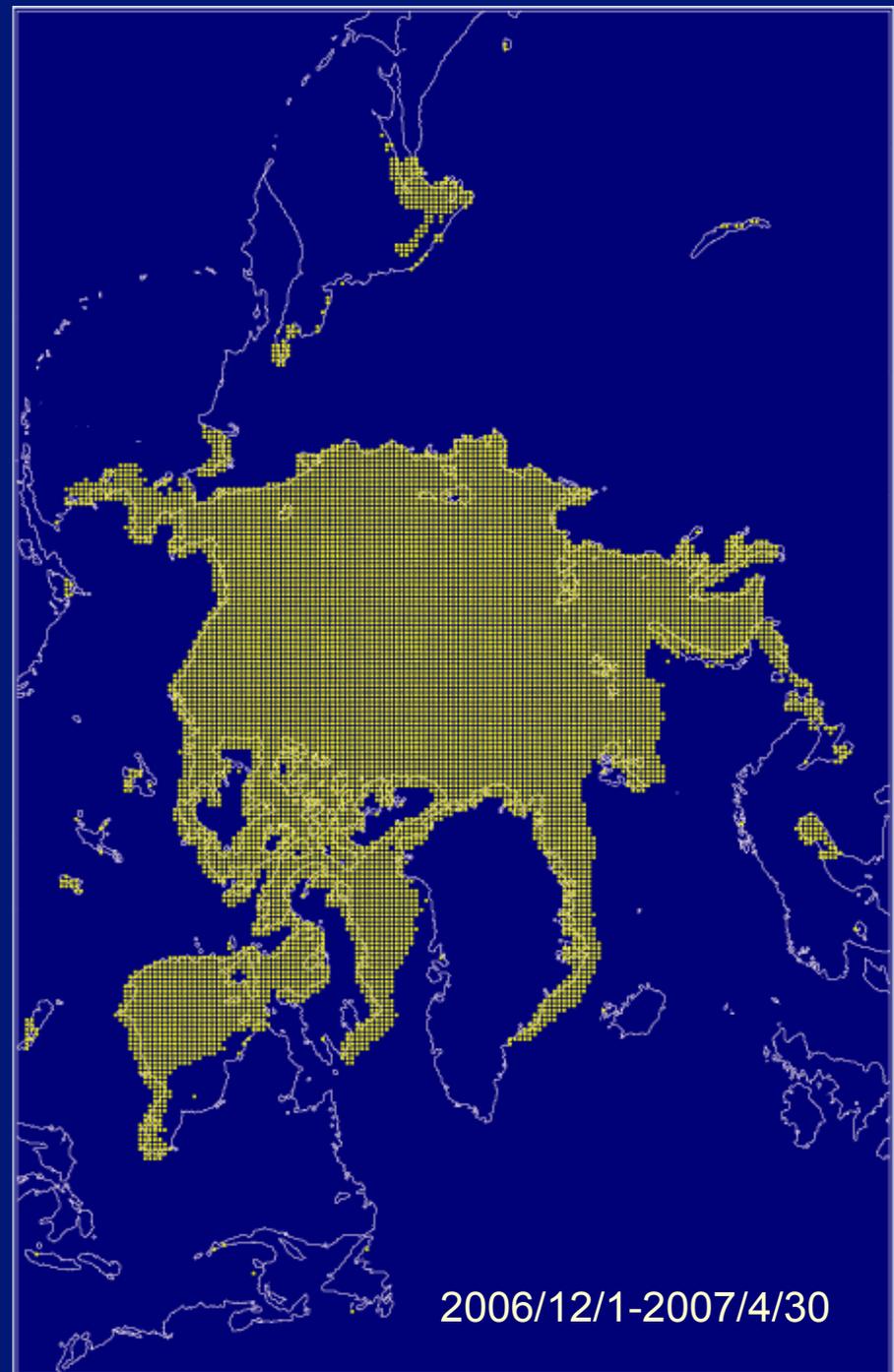
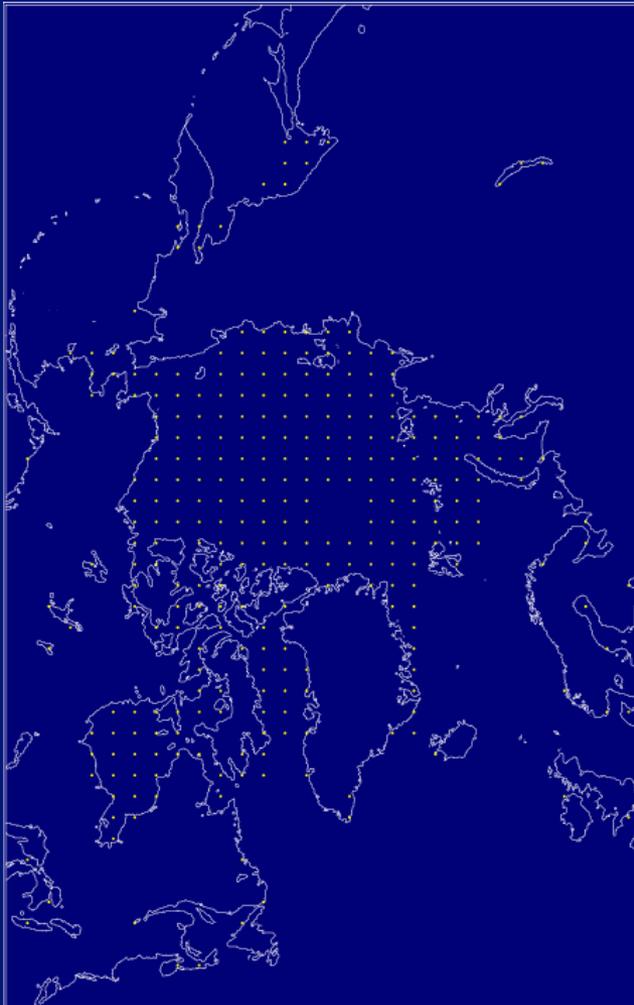
海氷の動きは風速変化に強く影響され、風速に対する比率が近年大きくなっている

海水の動きに注目

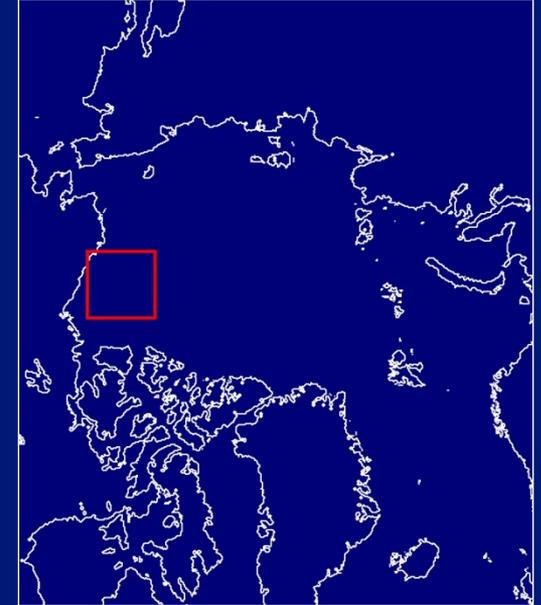
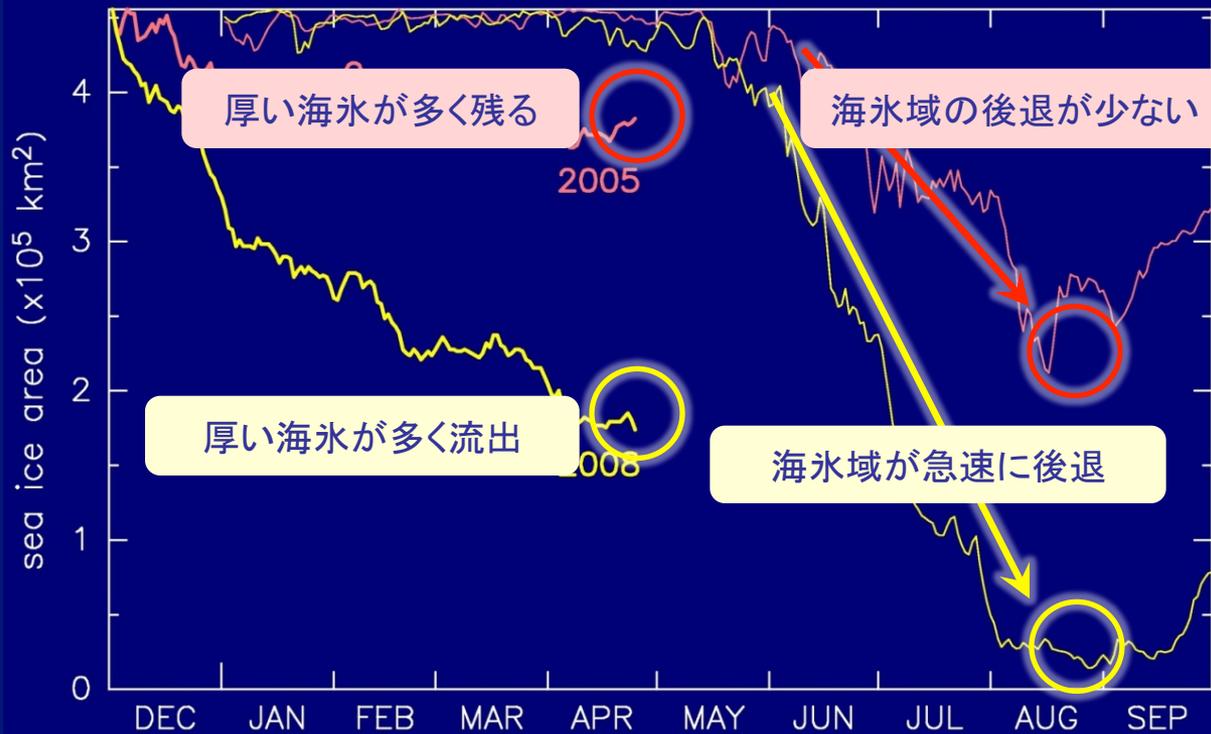
12月1日の海水域上に30km間隔で配置

毎日の漂流速度データを用いて計算

期間:2003/2004年から2013/2014年まで



冬季の海氷の動きと夏季海水面積との関係



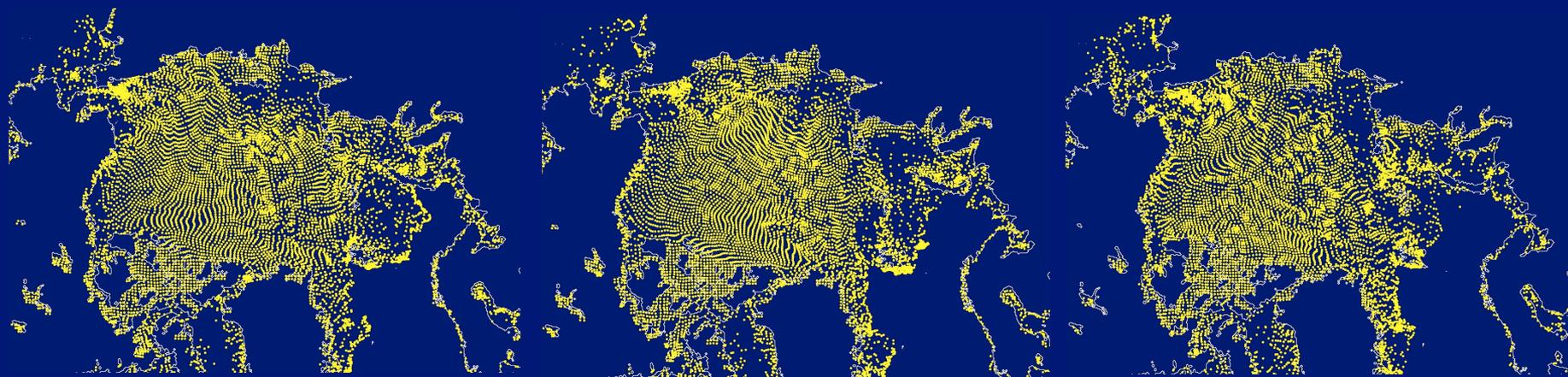
2008年: 12月以前からある海氷が半分以上流出 → 5月以降海水域が急速に後退

2005年: 海氷の流出が少なかった → 5月以降の

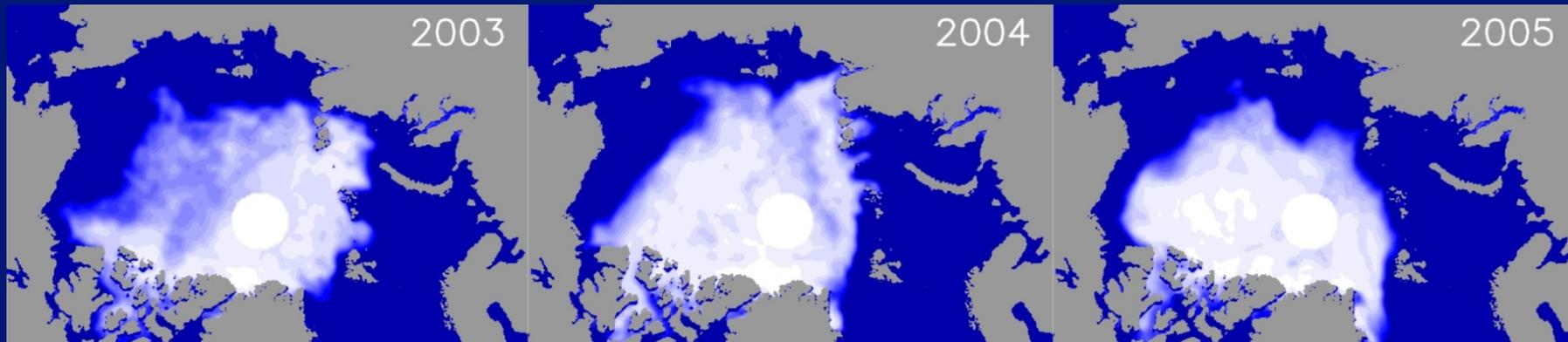
1. 春の海氷厚分布は冬の海氷漂流速度場に影響を受ける
2. 夏の海氷分布は春の海氷厚分布に影響を受ける

冬季の海水移動とその夏の海水分布

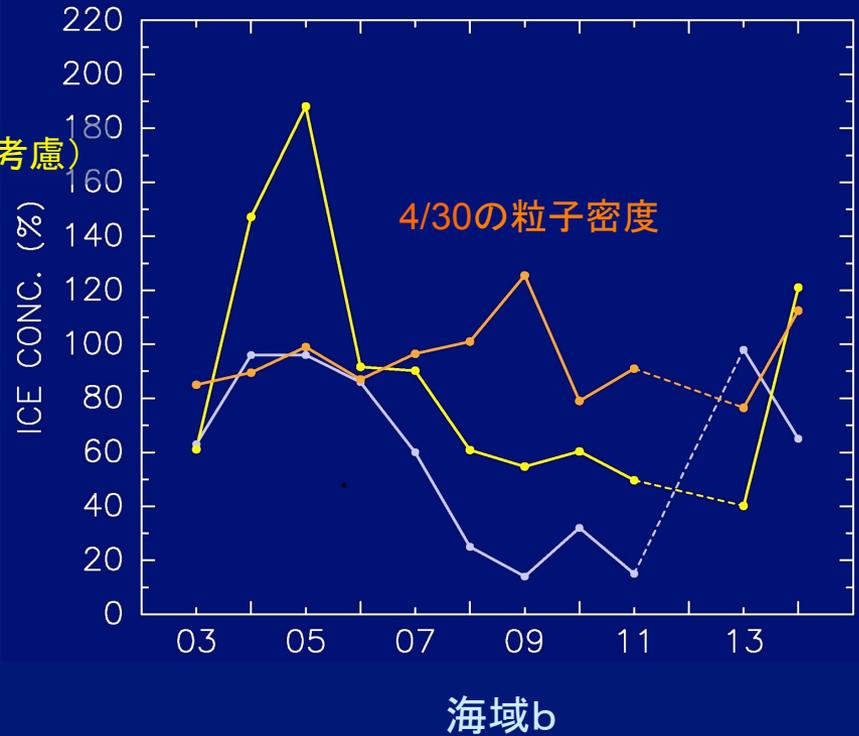
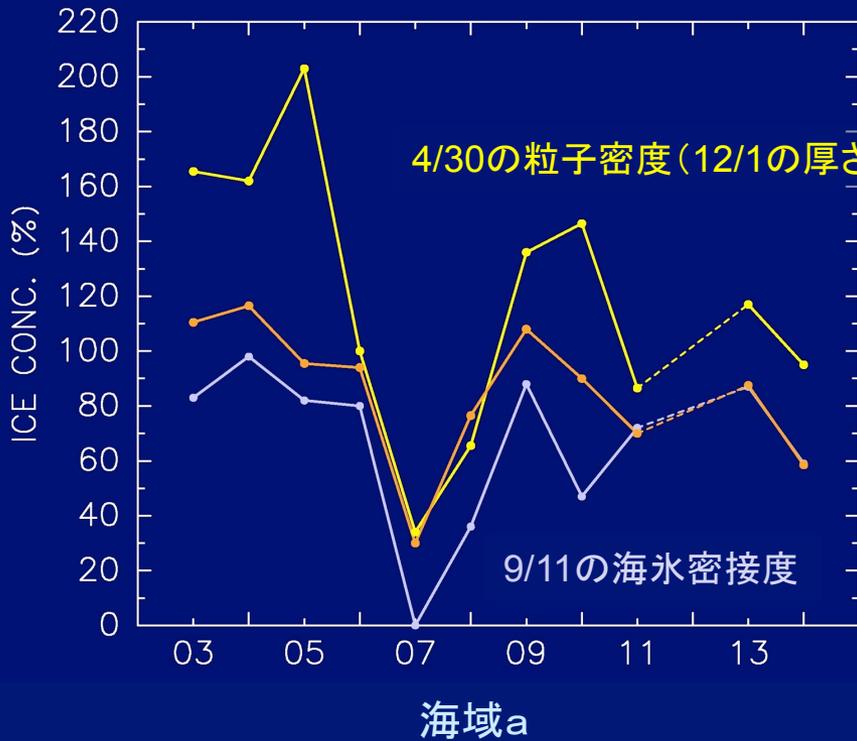
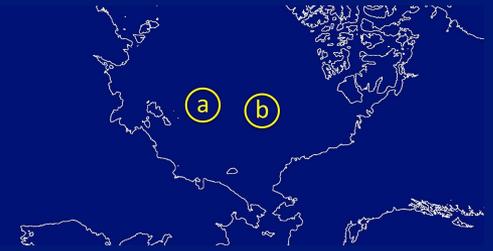
12月1日に等間隔に配置した粒子の4月30日の分布



9月1日の海水分布



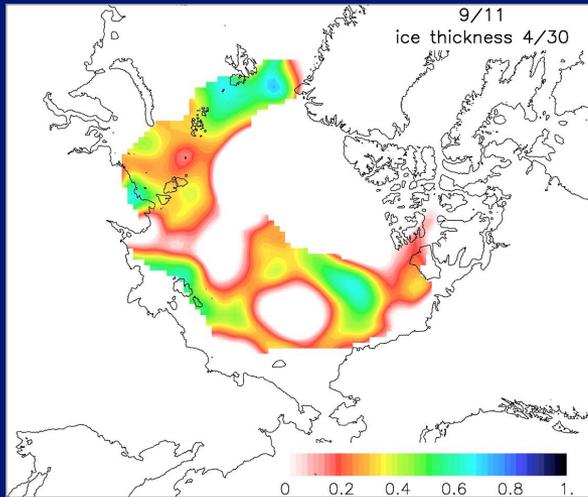
4月末の推定海氷厚(粒子密度)と 9月の海氷密接度の年変化



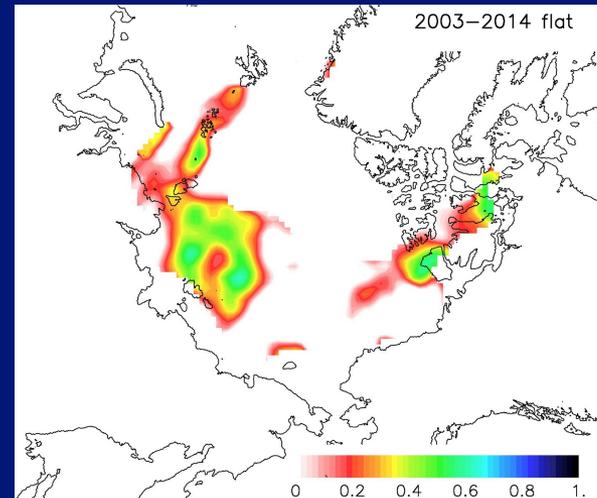
春の推定海氷厚と夏の海氷密接度の年変化傾向は似ている

12月の海氷厚を考慮することで、長期的な変化も再現できるようになる

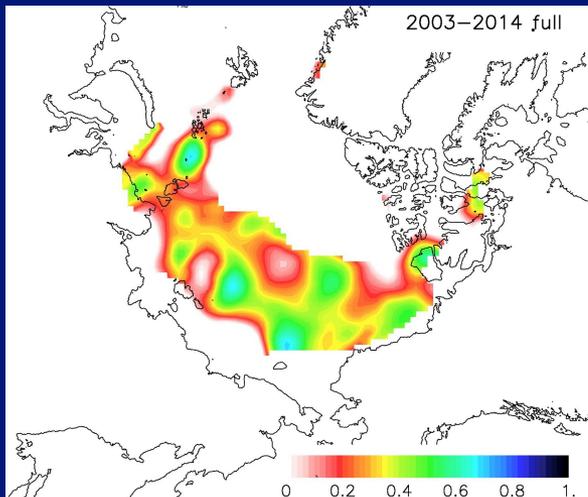
4月末の海氷厚推定値と9月11日の海氷密接度との相関係数



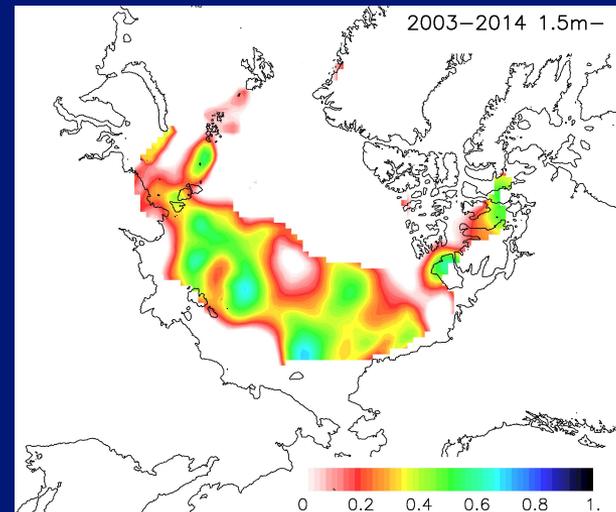
1. 4月30日の厚さをそのまま使う



2. 冬季の海氷の動き(4/30の粒子分分布)

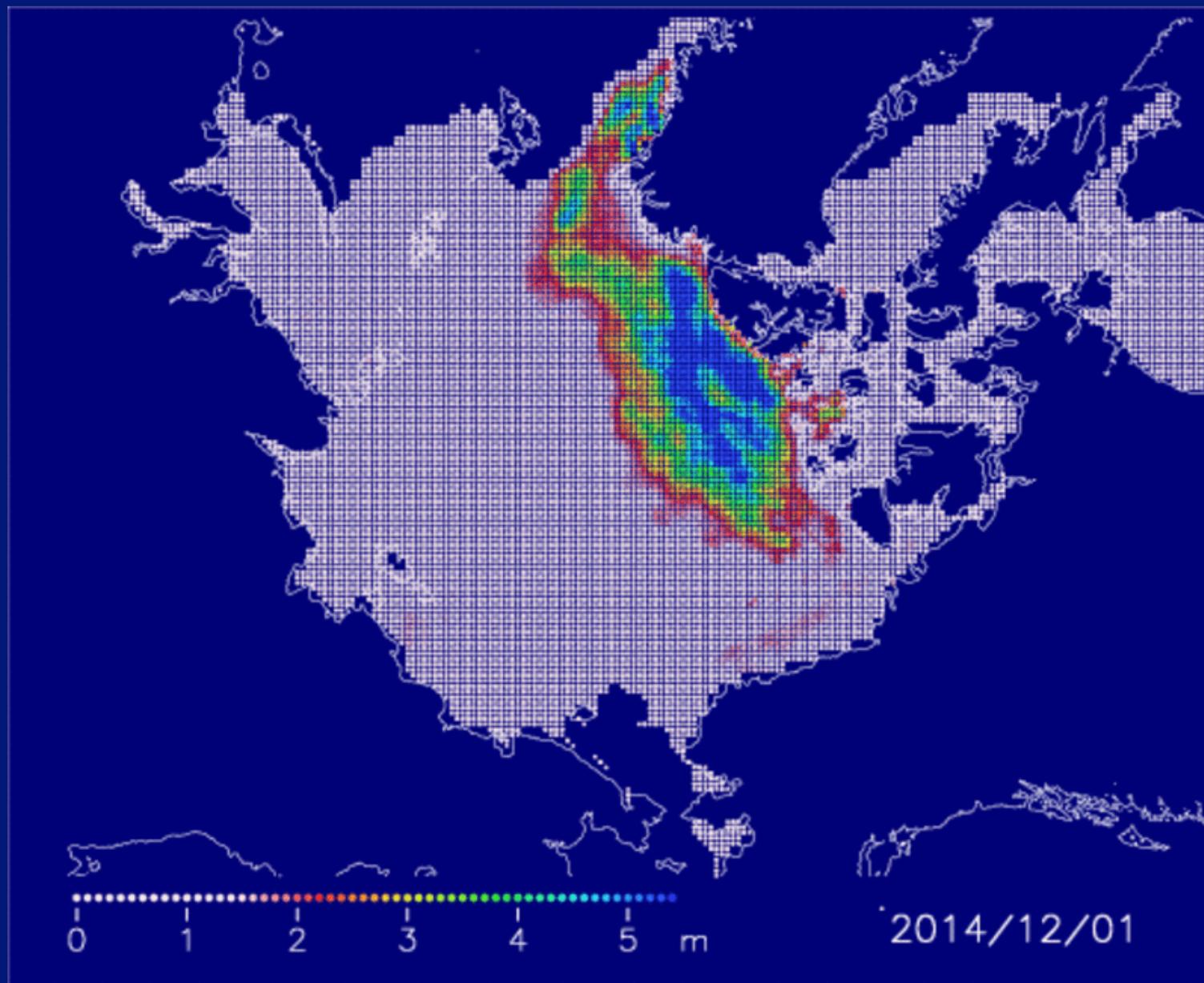


3. 12/1の厚さと冬季の海氷の動き



4. 12月1日の厚さを1.5mより厚い場所のみ考慮+冬季の海氷の動き

1.5m以上のみ厚さを考慮した海氷の動き

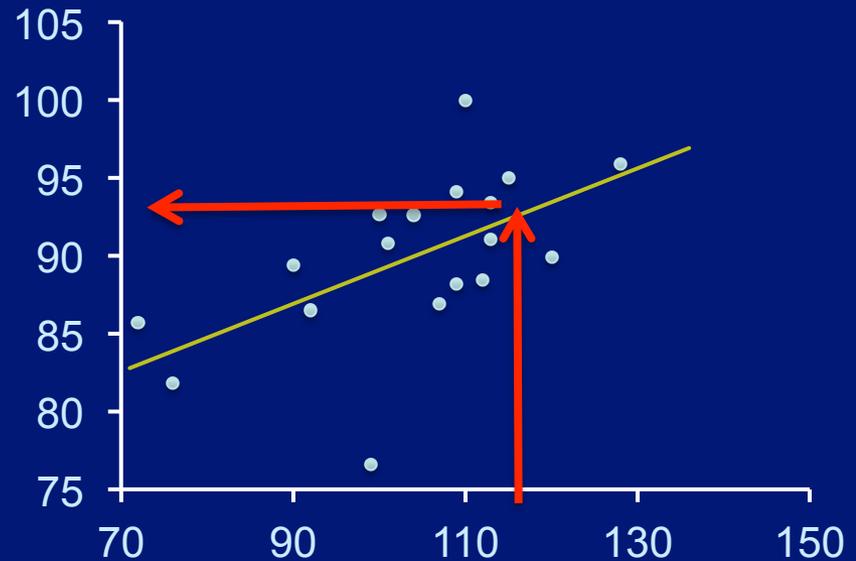


予測の方法: 過去10年間のデータから関係式を導出

夏季の任意の日の海水密接度

周囲半径150kmの円内の
平均密接度を計算

範囲内の海水密接度



範囲内の粒子数

半径150kmの円内の粒子数

4月30日の粒子分布

12月1日に粒子を配置し追跡

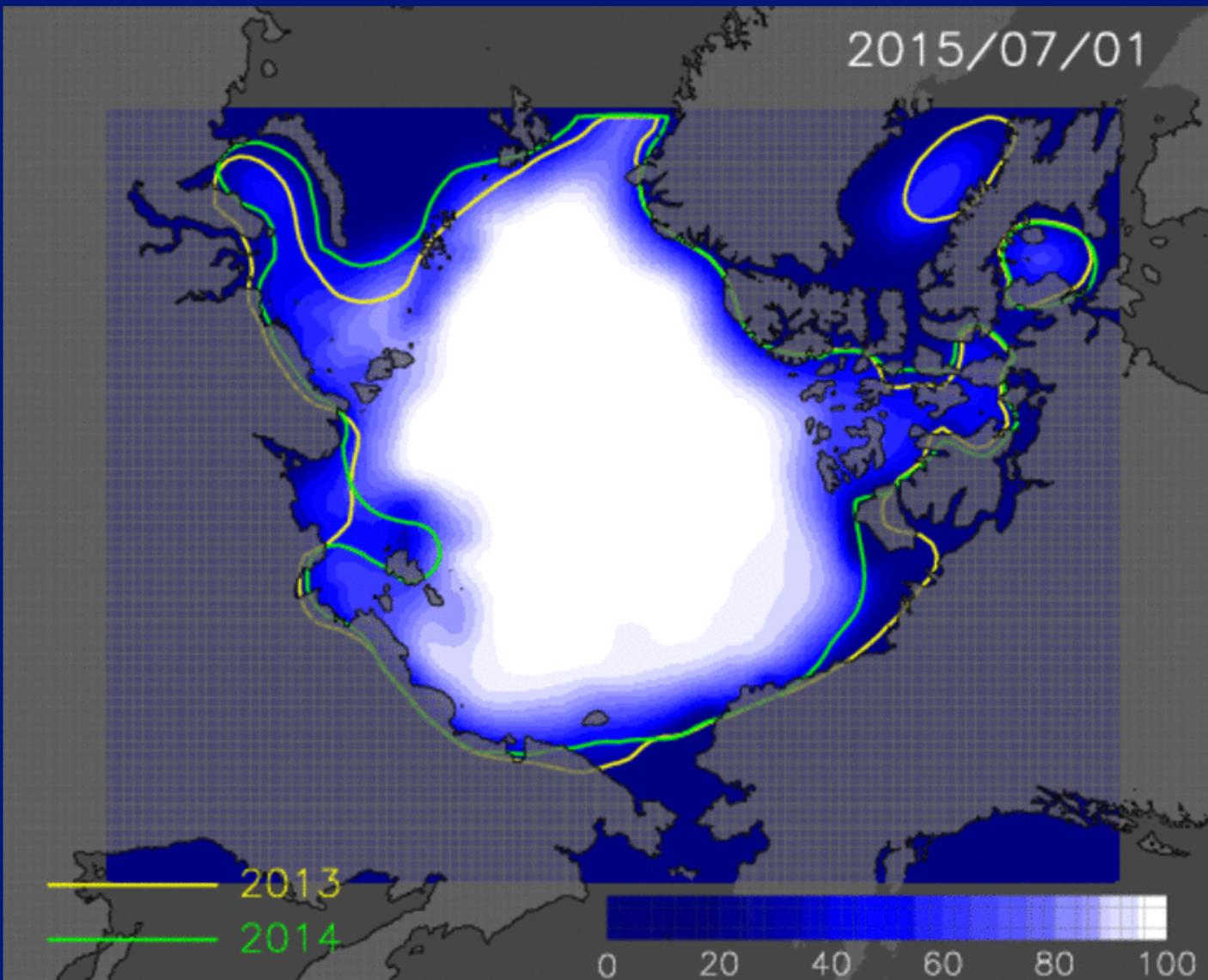
12月から4月までの海水漂流速度

1. 過去のデータから両者の関係式を導出

2. 4月30日の粒子数から、各セクターで予測される密接度を算出

4月末までの海氷の動きから予測された夏の海氷分布

線は過去2年の氷縁位置(密接度15%)



[第一報はこちら]
[第二報はこちら]

[English]

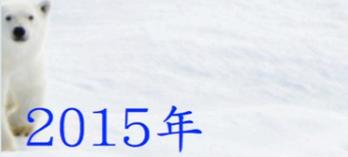


2015年 夏の海水分布予報 第三報

2015年7月30日

木村詞明, 山ロー
永川圭介, 福馬智生, 宮田佳祐

[English]



2015年 夏の海水分布予報 第二報

2015年6月30日

木村詞明, 山ロー
永川圭介, 福馬智生, 宮田佳祐

[English]



海水分布予報

2015年5月28日

木村詞明, 山ロー
福馬智生, 宮田佳祐



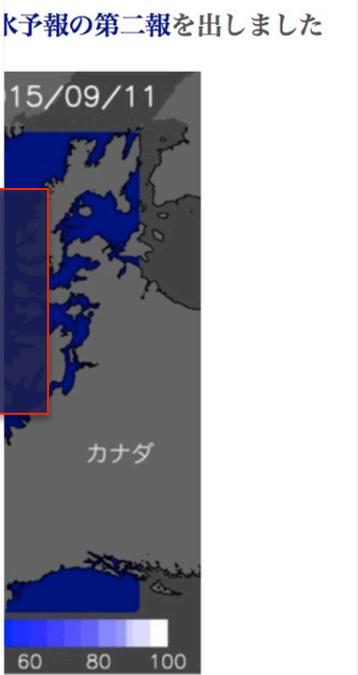
図1：今年9月11日の海水分布予測図。色は海水密度、単位は%。

北極海の海水面積は昨年より減少し、9月の最小面積は約434万平方キロメートルになる見込みです。これは過去2番目に小さい面積だった2007年



図。色は海水密度、単位は%。

9月の最小面積は約460万平方キロ去4番目に小さい面積です。

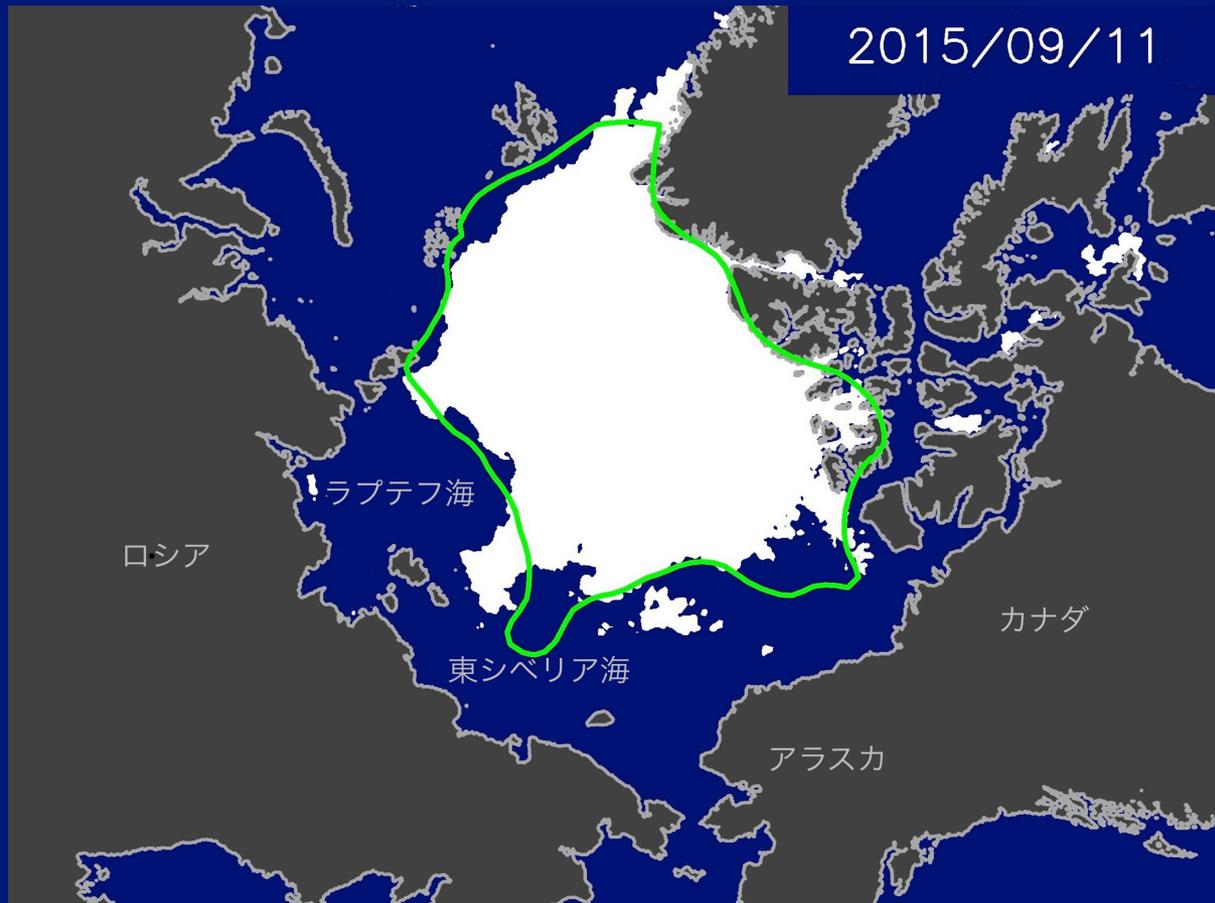


図、単位は%。

予測結果をウェブで公開
<http://www.1.k.u-tokyo.ac.jp/YKWP/2015arctic.html>

海水分布予報の第二報を出しました

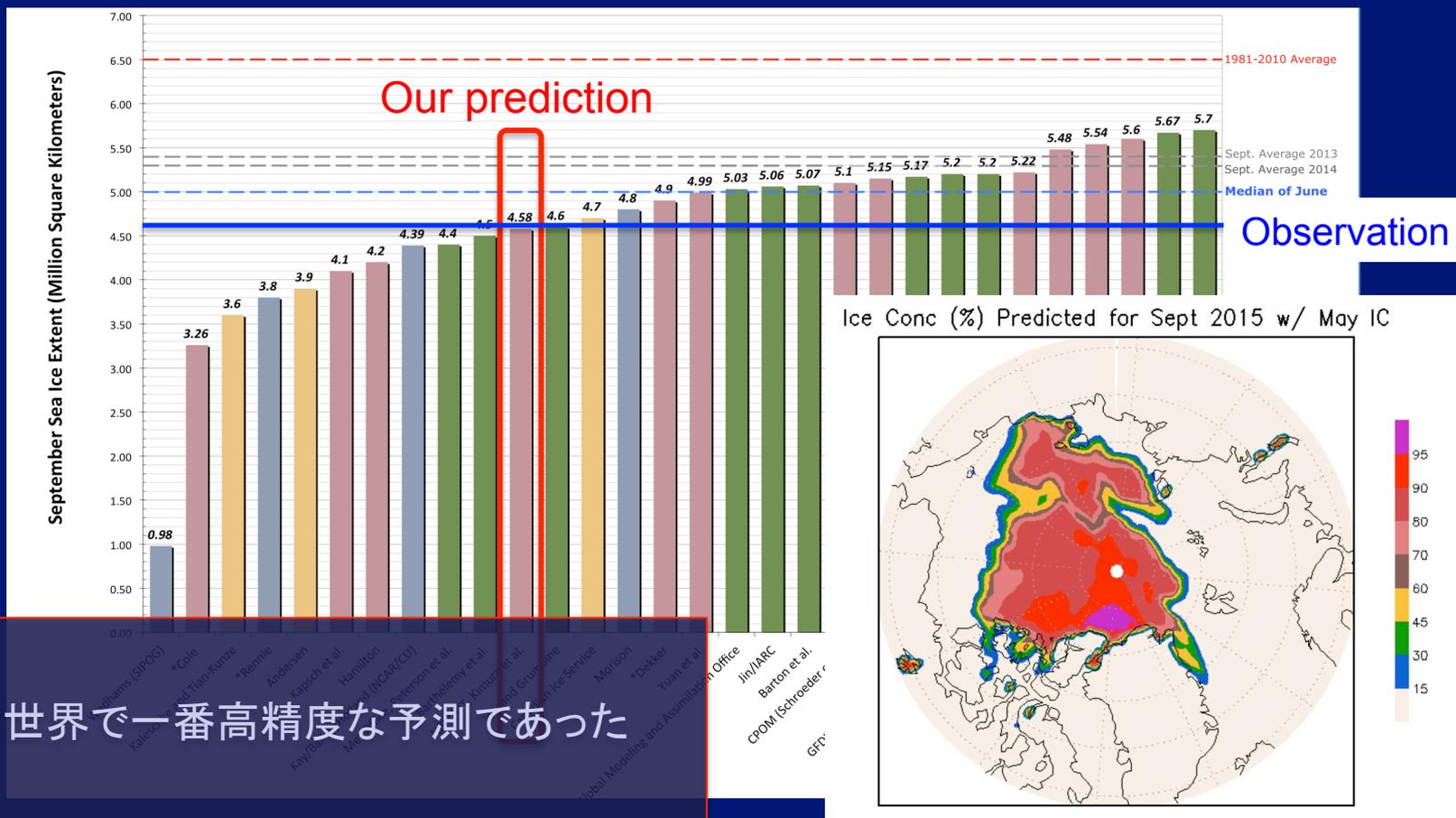
予測は当たったか？



9月11日の海水分布：予測と観測

海水域の後退の様子、最小期の分布、最小面積ともにほぼ的中

世界の各機関・個人の予測値 (Sea ice outlook: June Report)



世界で一番高精度な予測であった

9月の月平均海氷域面積 予測値 4.58×10^6 km² 観測値 4.63×10^6 km²
 我々の予測がもっとも高精度だった

まとめ: 中期予測について

1. 北極海の春の海氷厚分布は冬から春にかけての海氷の動きに大きく依存する
 2. 北極海の夏の海氷分布は冬から春の海氷厚分布に大きく依存する
 3. 冬から春にかけての海氷の動きから夏の海氷分布を予測できる
- ・ 第一段階としての海氷中期予測の手法は完成した

今後すべきこと

1. 海氷の厚さデータセットの作成
 - 海氷厚観測値と海氷の動きとの組み合わせによる厚さ計算
 - 海氷厚の力学的な変化を再現するための数値モデルの改良
 - 新しい地球観測衛星
2. 夏季の気象条件の中期予測