

航行支援に向けた海氷短期予測

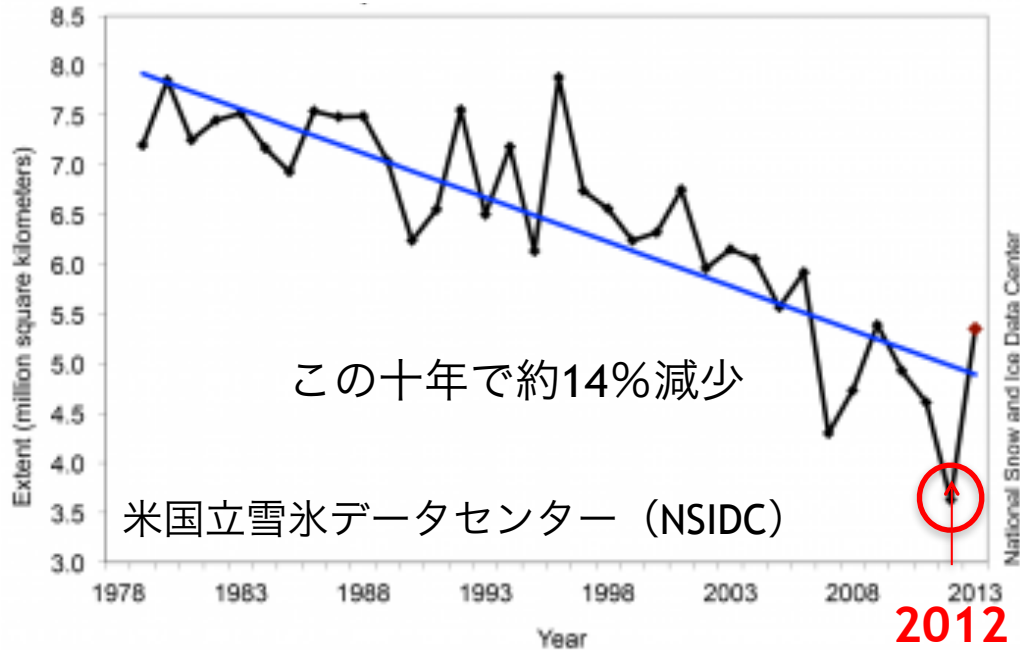
小野純 (海洋研究開発機構・特任研究員)

ディシルワー・リヤナアラッチ・ワルナ・アランパッツ^{1、2}、
山口一²、木村詞明^{1、2}、館山一孝³、猪上淳^{1、4}、山崎哲⁴、デゾロフ・クラウス⁵

1：国立極地研究所、2：東京大学大学院新領域創成科学研究科、
3：北見工業大学、4：海洋研究開発機構、5：アルフレート・ヴェーゲナー研究所

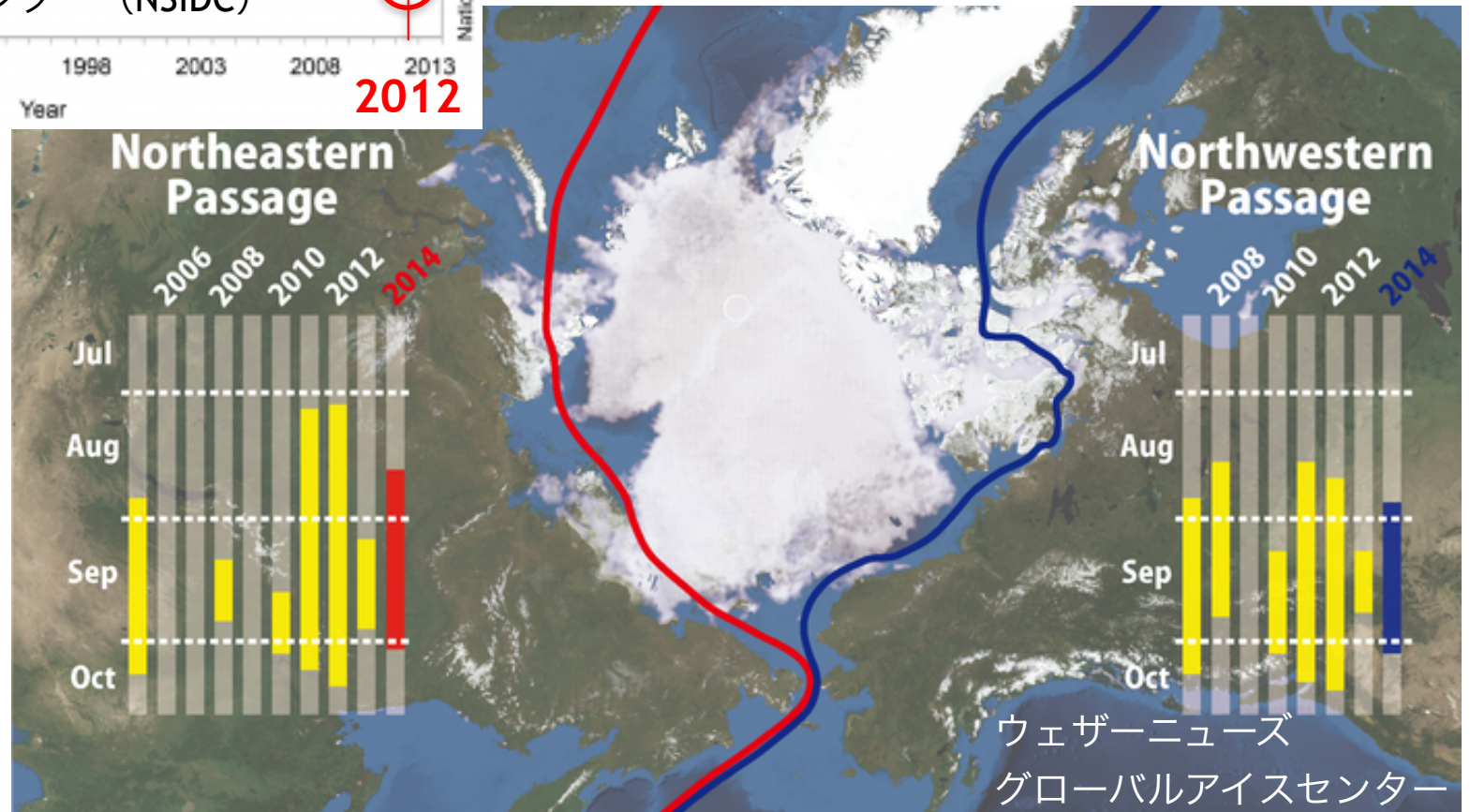
公開特別セミナー「北極海航路の利用実現に向けて」
東京海洋大学品川キャンパス楽水会館、2014年11月17日（月）

夏季の北極海海氷域面積の経年変化と北極航路



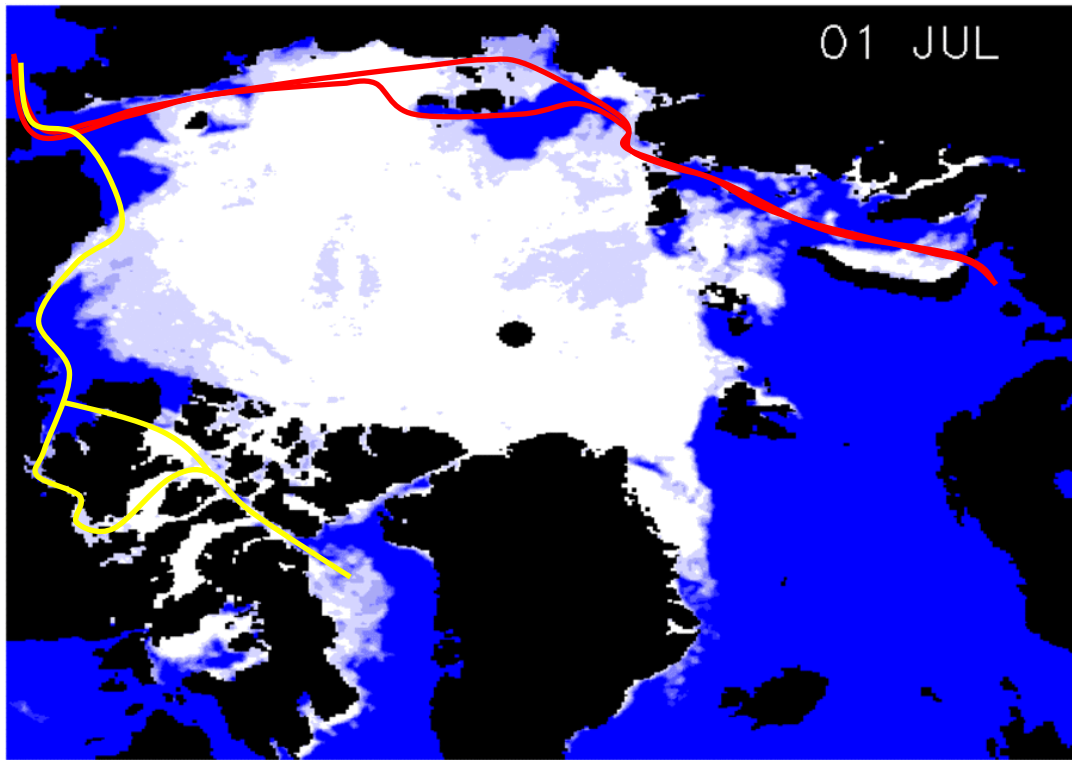
北東航路 (ロシア側)

北西航路 (カナダ側)



本研究課題の目的

2010年7月1日～10月31日



AMSR-E 海氷密接度の空間分布 (%)

最終的には、

**北極航路上において、5日先の氷縁位置を誤差 ± 10 km で
再現・予測し得る海氷短期予測モデルの構築**

- 時々刻々と変化する氷況
- 安全かつ効率的な航行支援

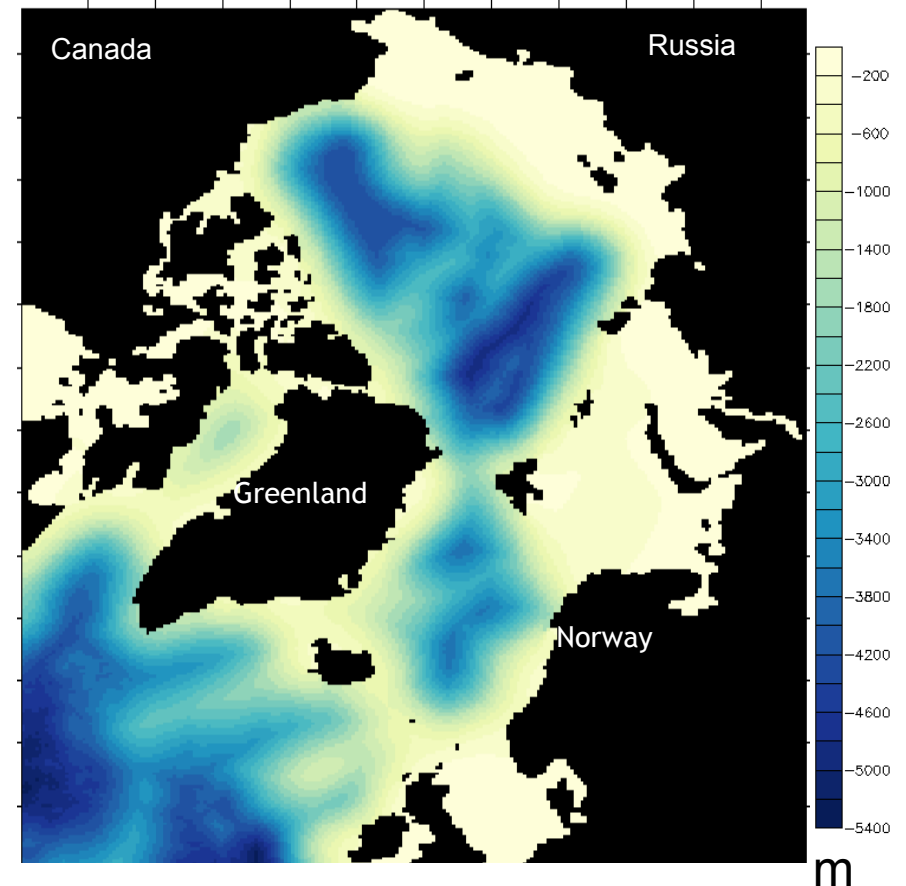


短期間の細かい氷の動きを予測

- 融解期から結氷期に着目
- 5～10日程度の短期間
- 船舶への氷況情報の提供

海洋の状態（流れ、水温、塩分）を表現する数値モデル

- プリンストン大学の海洋数値モデル（POM）
 - 3次元、静水圧近似のPrimitive方程式と連続の式
 - 水平解像度：約25 kmと約2.5 km
 - 鉛直方向に33 σ 層
 - 水平渦粘性・拡散: Smagorinsky (1963)
 - 鉛直渦粘性・拡散： Mellor and Yamada (1982)
- 側面境界条件
 - Radiation & no-slip
 - ベーリング海峡での月平均の流速、水温、塩分（Woodgate et al., 2005a）
- 海底地形： IBCAO + ETOPO1



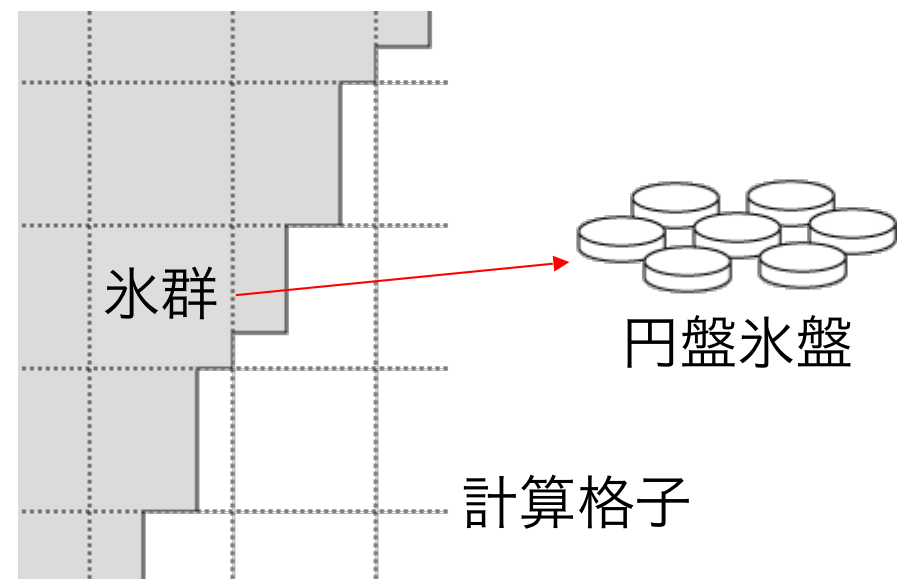
北極海全域モデルの計算領域

海氷の力学（動き）を表現する数値モデル

- Sagawa (2007), Fujisaki et al. (2010)をベース
- 海氷の運動を記述する方程式をコンピュータで計算する

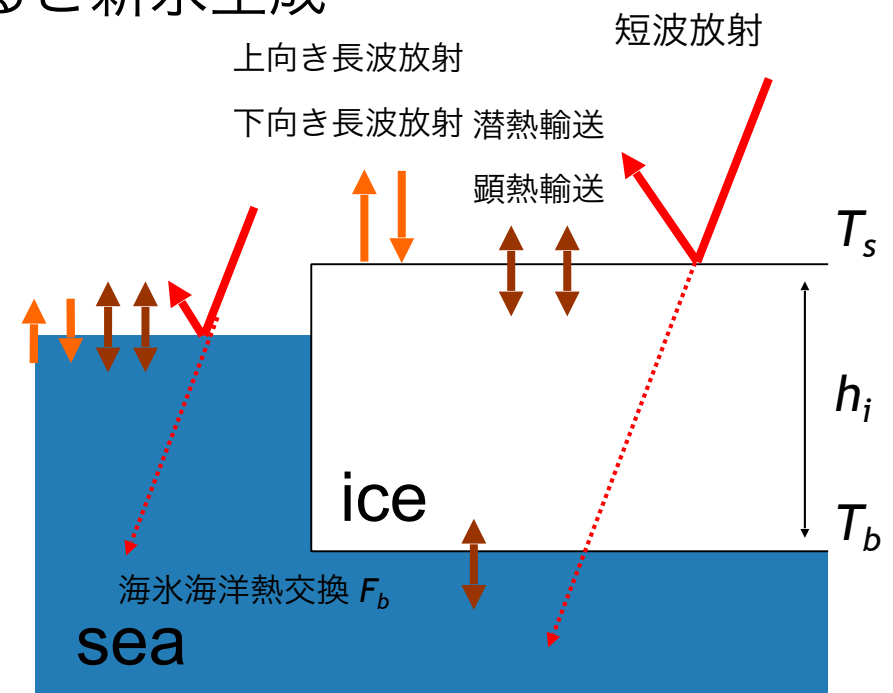
要因：内部応力、風応力、海流応力、コリオリカ、海面傾度力

- 変数：海氷密接度と平均海氷厚
- 氷群＝円盤氷盤の集合体について計算
- 海氷の格子内サブグリッド的配置
- セミラグランジュ移流
- 弾粘塑性レオロジー



海氷の熱力学（融解・結氷過程）を表現する数値モデル

- 0層モデル (Semtner, 1976)
- 各種熱フラックスの計算：Parkinson and Washington (1979)
- 海氷表面、底面における熱収支を解き、海氷厚さ h_i の変化を決定
- 海洋が過冷却状態 ($< \text{約} -1.8^\circ\text{C}$) になると新氷生成
- 雪の効果 (Zhang and Zhang, 2001)
- アルベド (海面：0.1、氷面：0.7)

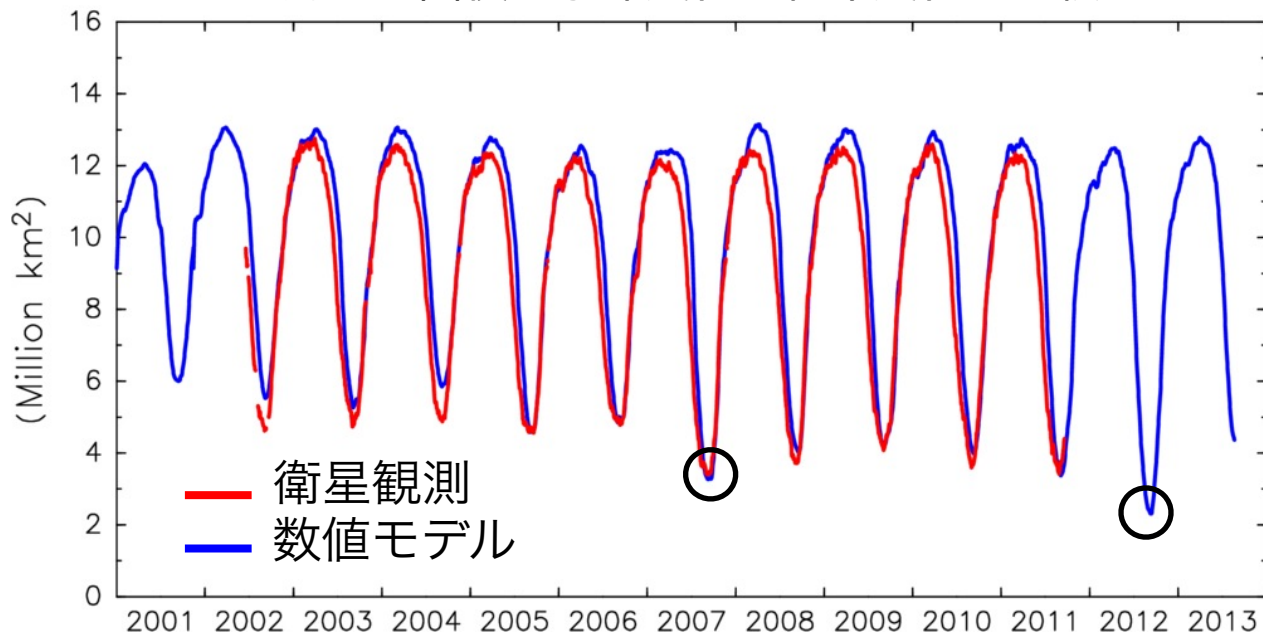


数値モデルの初期条件・境界条件

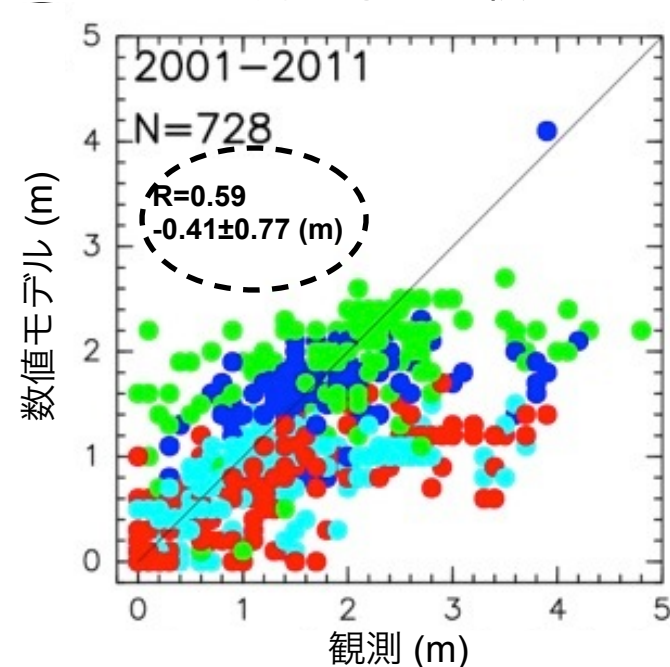
- ・ 海洋静止
- ・ 水温・塩分：気候学的平均データ（PHC3.0、Steel et al., 2001）
- ・ 海氷なし
- ・ 気象データ：ヨーロッパ中期予報センター（ERA-Interim）の6時間毎の再解析（気温・露点温度・風・海面気圧・雲量）から計算した風応力・熱フラックス
- ・ スピンアップ：10年間（2000年データ、水温・塩分の緩和）
- ・ 計算・解析期間：2001年～2013年9月

観測と数値モデルの比較 (北極海全域)

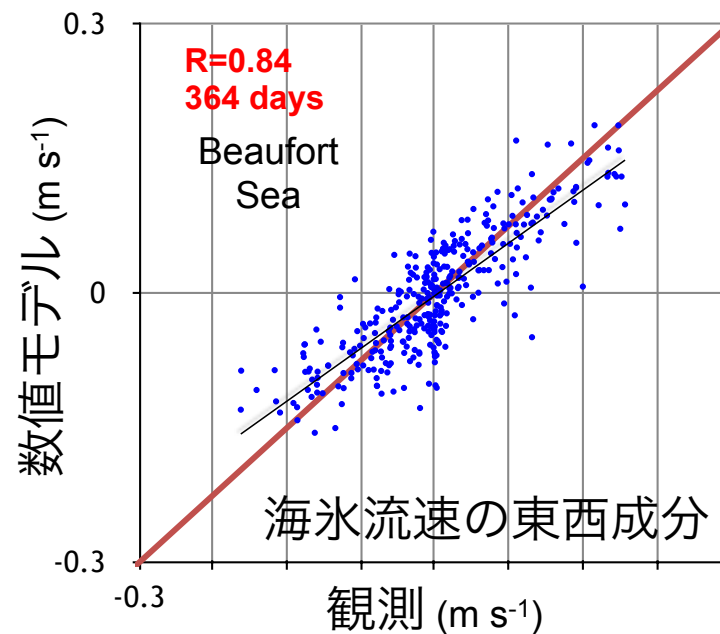
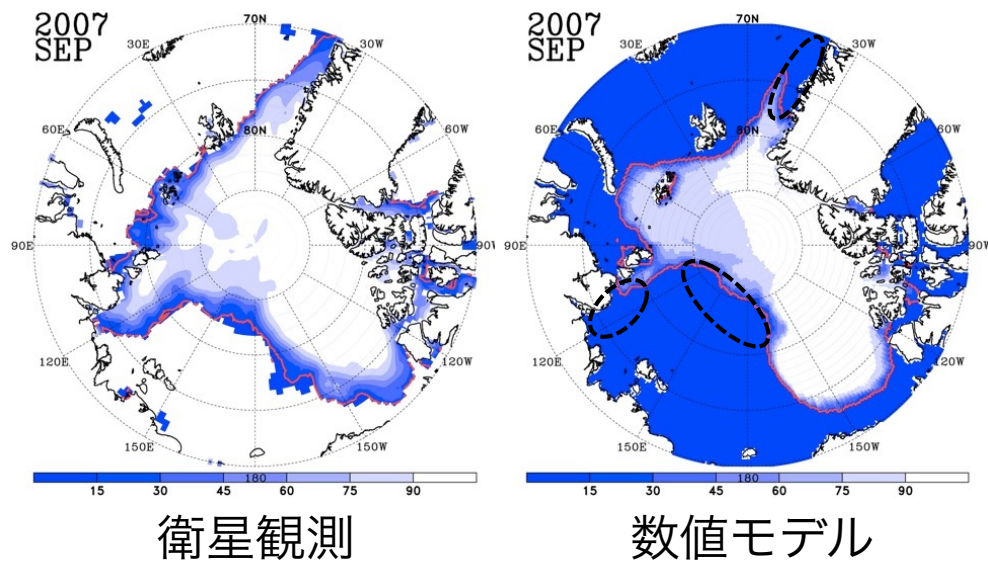
海水域面積の季節変化・経年変化の比較



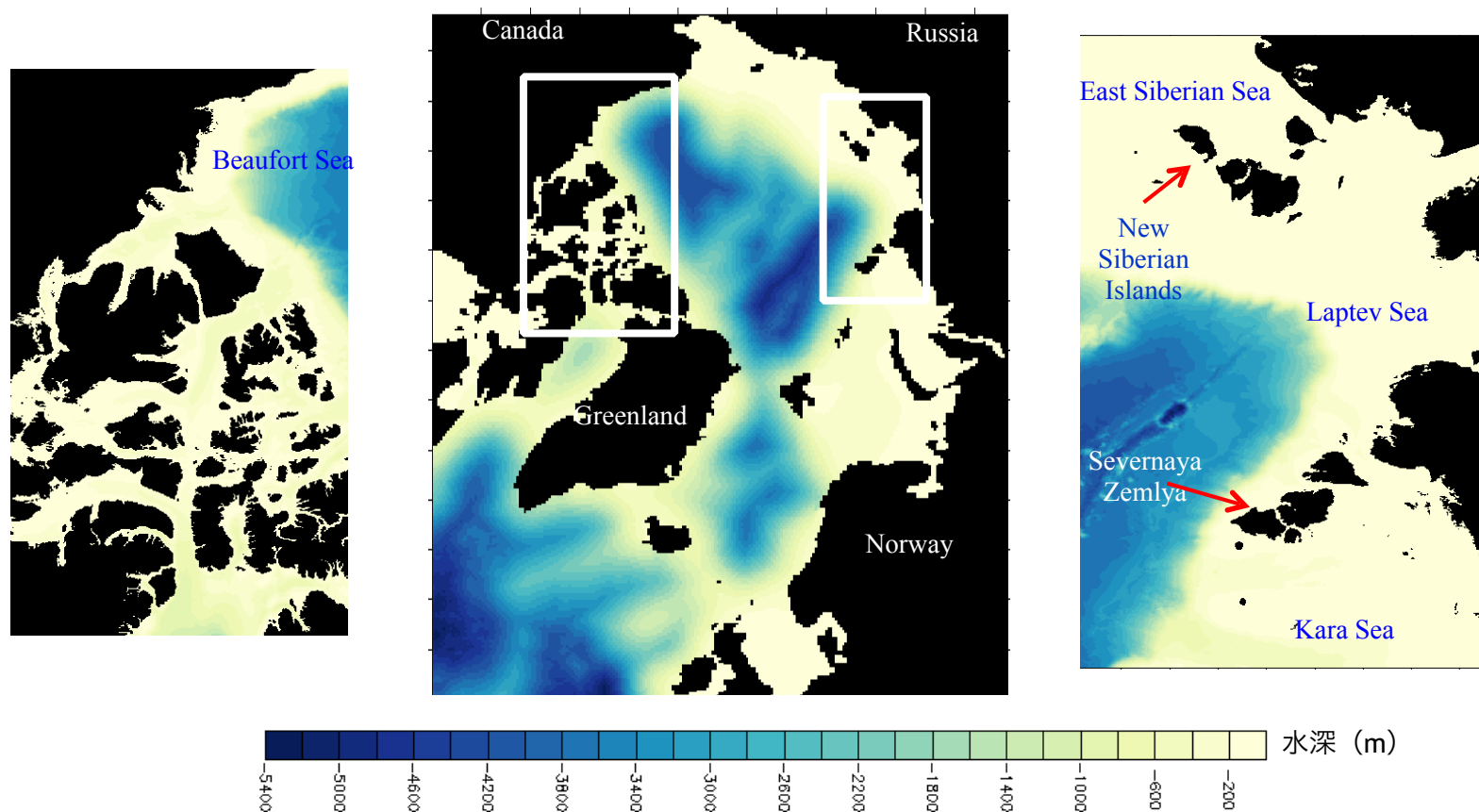
海氷厚の比較



海氷密接度の空間分の比較



北極航路領域モデルによる海氷再現・予測シミュレーション



- 大気強制データ：ヨーロッパ中期予報センター（ERA-Interim） 6時間毎の大気再解析データ（0.75度）
- 初期・境界条件：北極海全域モデルの結果を内挿
- 対象期間：

北東航路：2004年・2005年7月20日～12月31日（中期・再現実験）

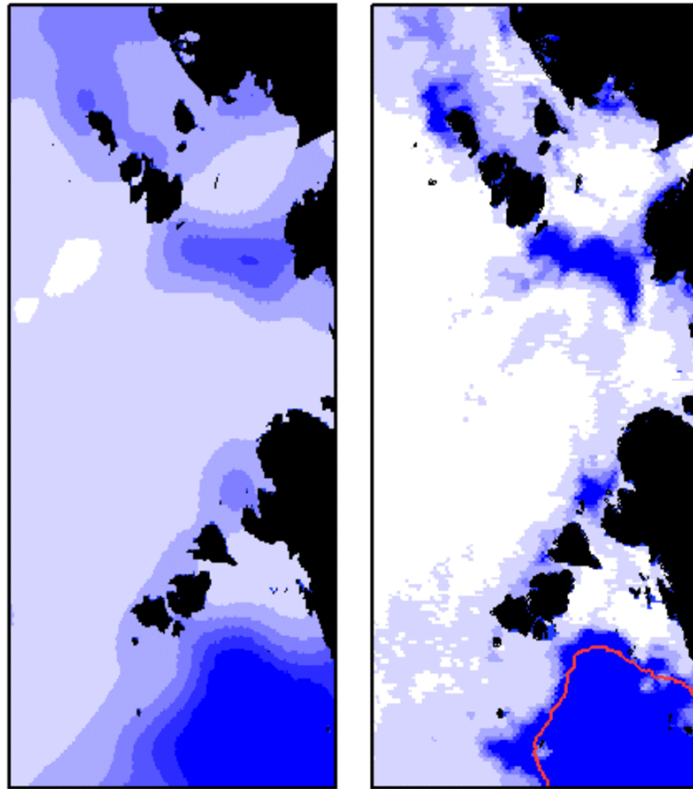
北西航路：2013年8月26日～9月1日（短期・予測実験）

北東航路域の海氷分布の比較（中期・再現実験）

7月20日～12月31日（165日間）

2004年（開通しなかった年）

20 JUL



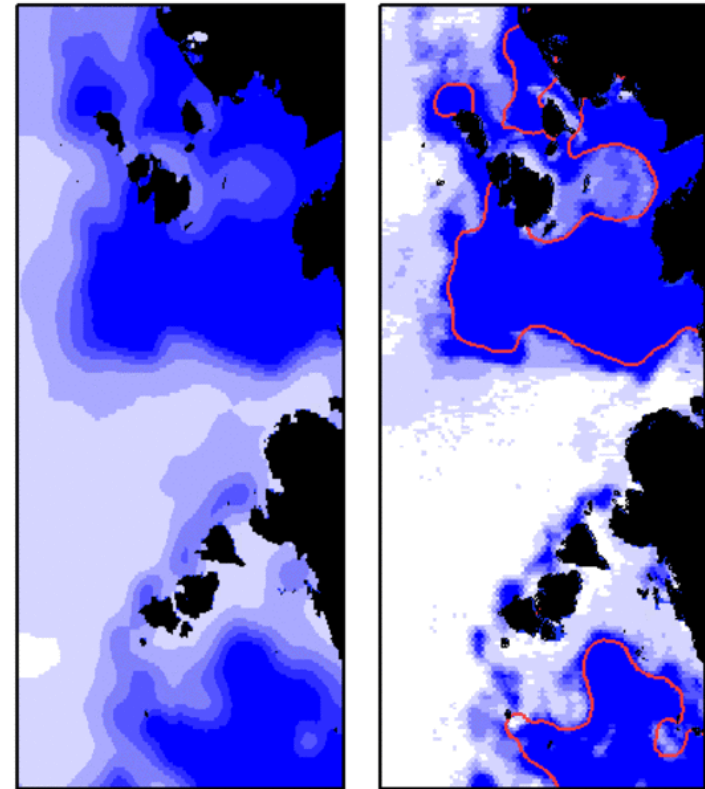
15 30 45 60 75 90

海氷密接度（%）

数値モデル 衛星観測

2005年（開通した年）

20 JUL



15 30 45 60 75 90

海氷密接度（%）

数値モデル 衛星観測

— 数値モデルの
密接度15%

2005年、北東航路の開通・不通の再現性

開通日 (モデル: 4日遅れ)

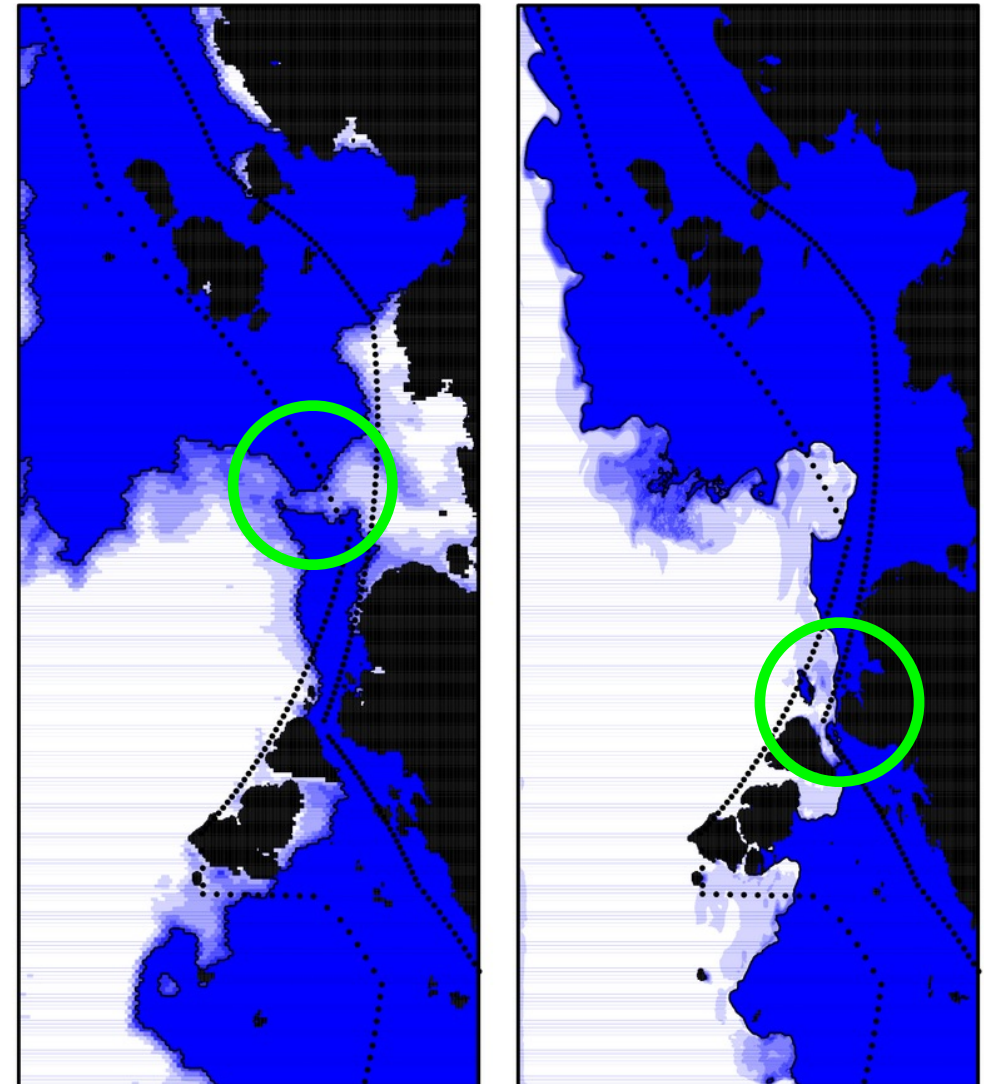
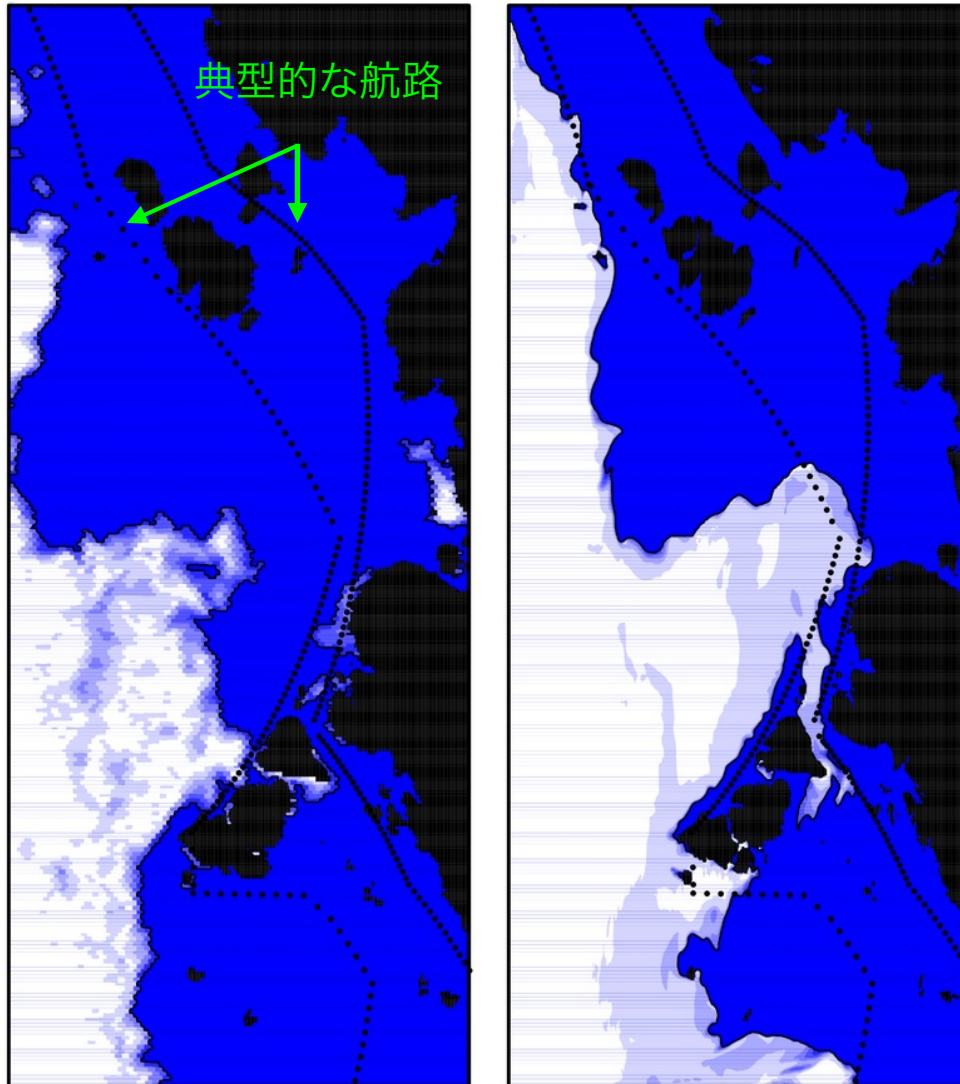
不通日 (モデル: 3日遅れ)

衛星観測: 9/7

数値モデル: 9/11

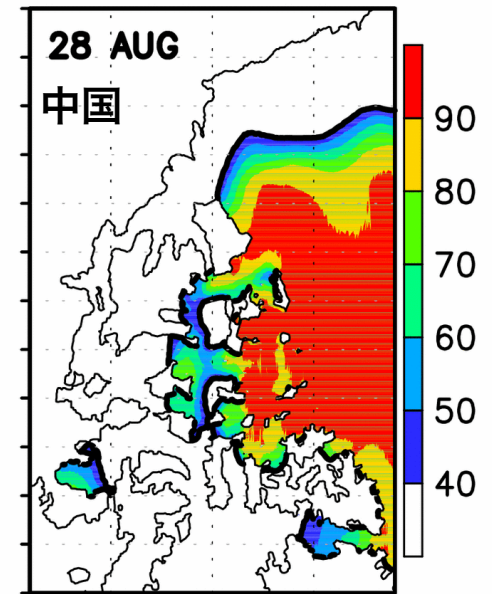
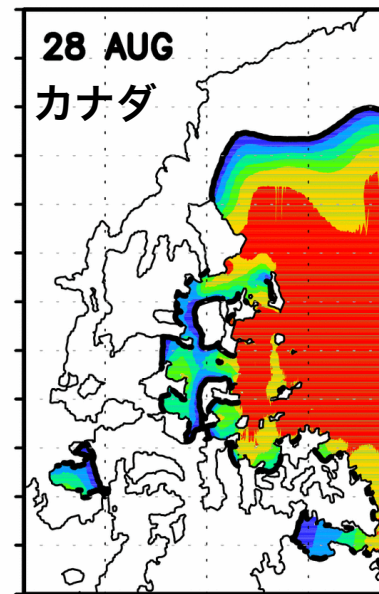
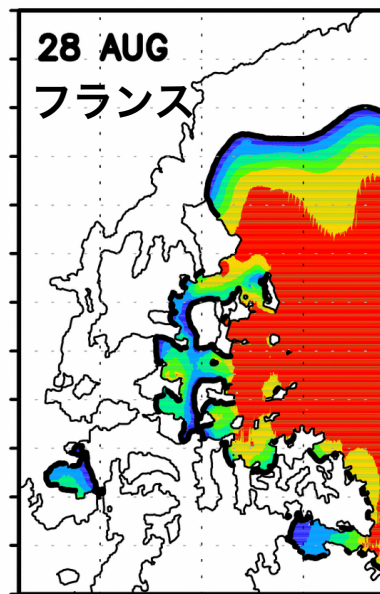
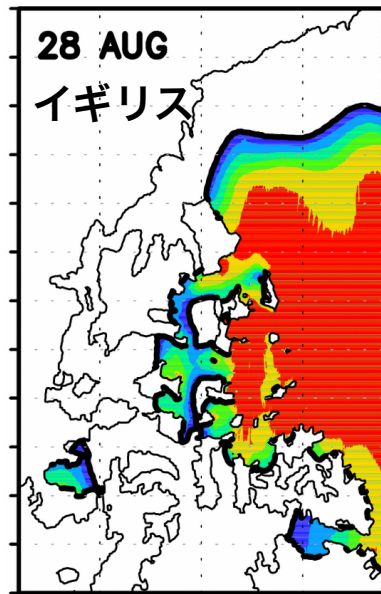
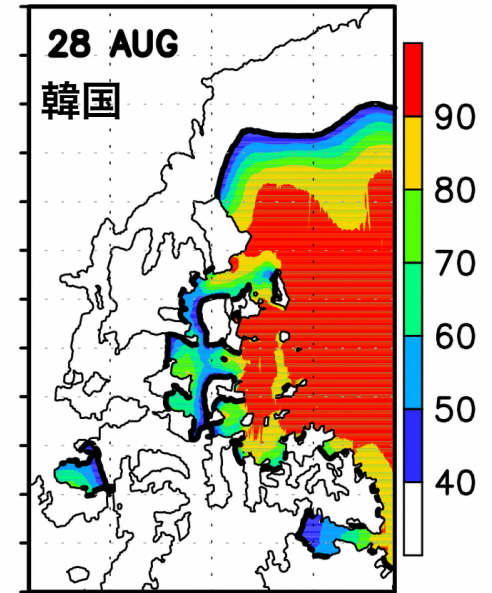
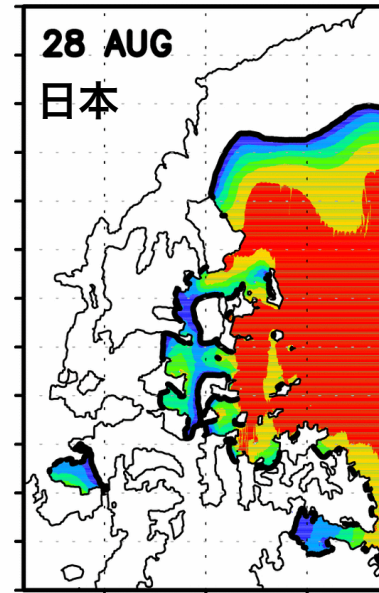
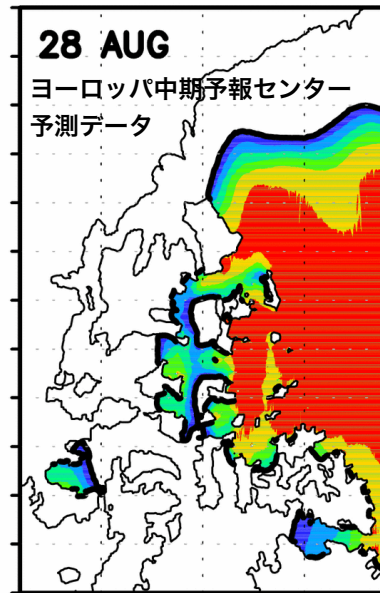
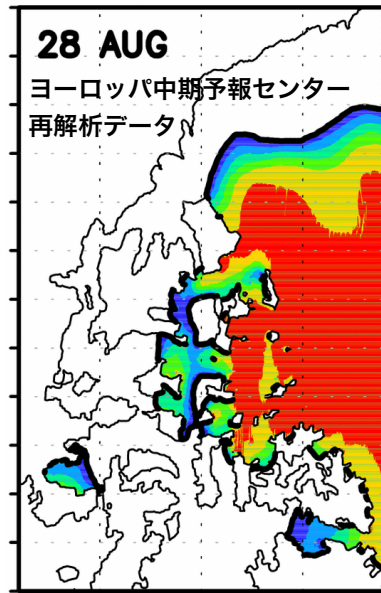
衛星観測: 10/10

数値モデル: 10/13

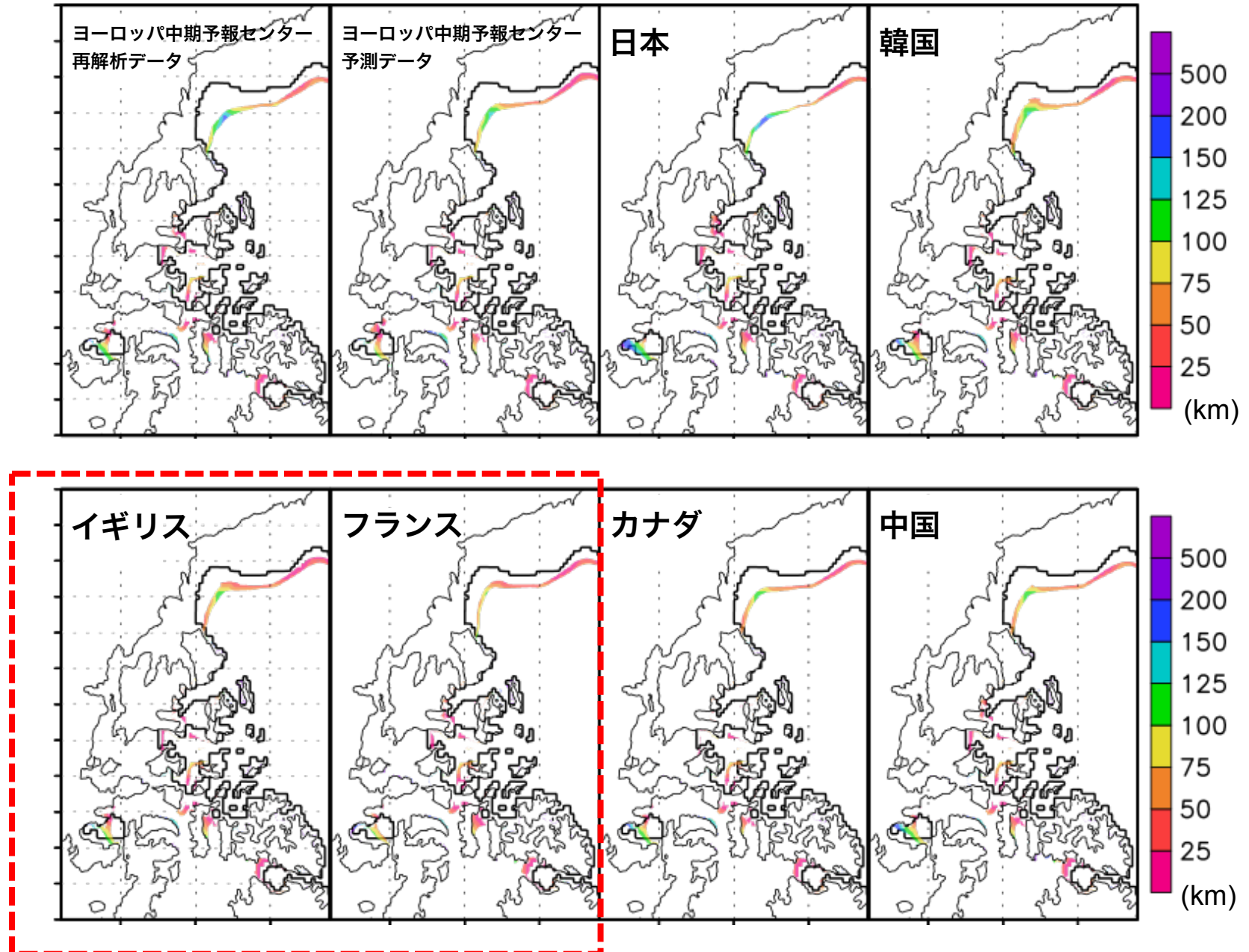


北西航路域の海氷分布の再現 (ERA) & 予測 (7機関) 実験

2013年8月28日~9月1日 (5日間)



5日後の氷縁位置の再現 (ERA) & 予測 (7機関) 実験



イギリスとフランスの気象予報データが比較的良い精度を示す

前半のまとめ

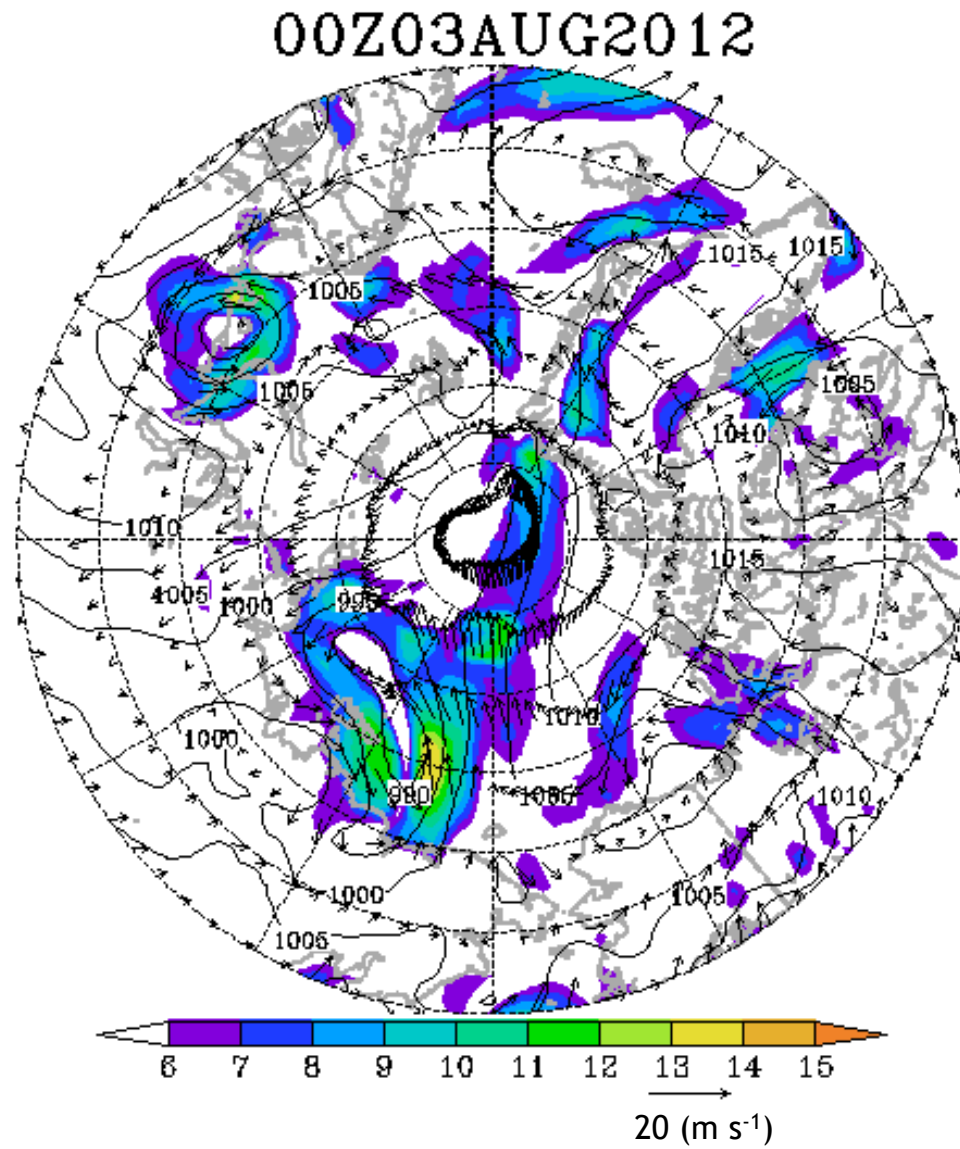
北極海全域モデル (25 km)

- **観測された海氷（密接度、氷厚、流速）の特徴をよく再現**

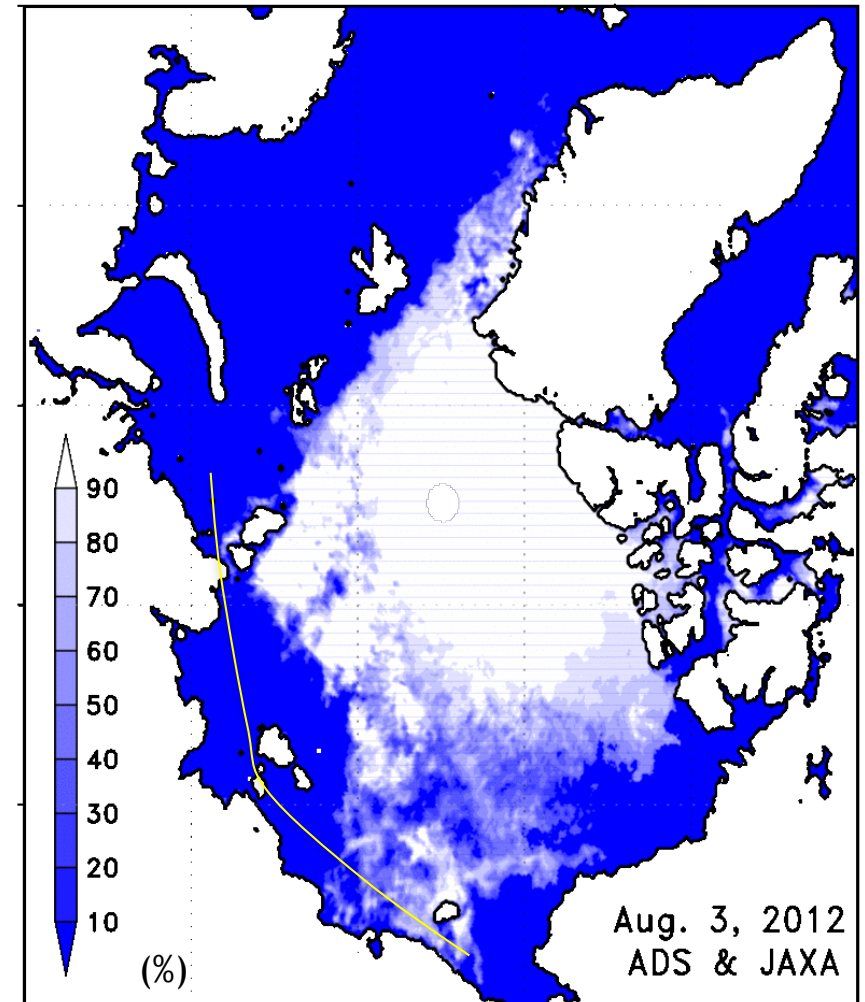
北東航路／北西航路の領域モデル (2.5 km)

- **北東航路側の2005年の開通日・不通日を3・4日遅れで再現**
- **氷縁位置の精度は20km程度までは可能、10km以内は今後の課題**
- **各国の気象予報データの精度にはある程度のばらつきがあり、2013年8～9月のケースではイギリスとフランスが良いデータ**

2012年8月に発生した巨大低気圧と北東航路域の海水分布

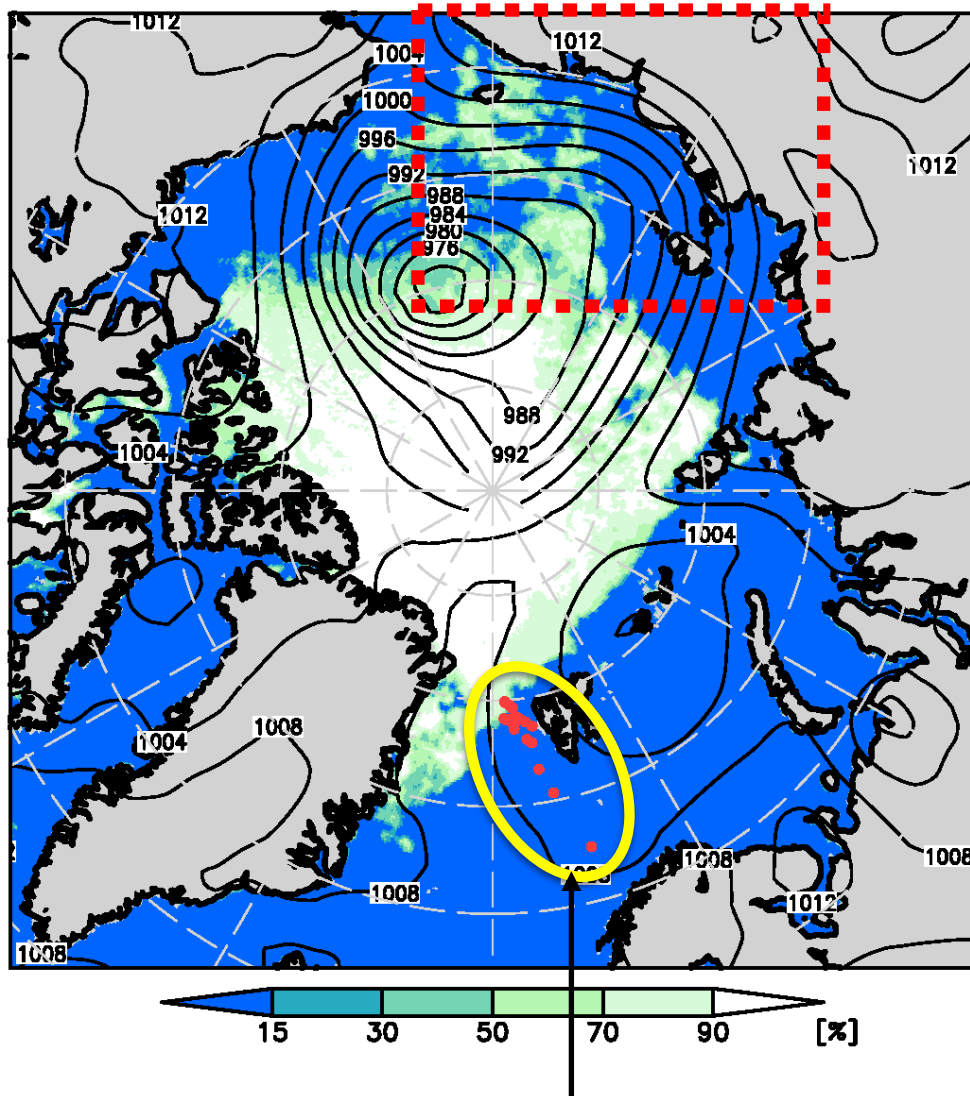


海面気圧 (hPa)、風速 (m/s)、風向



海水密接度の空間分布 (AMSR2)

数値実験の設定

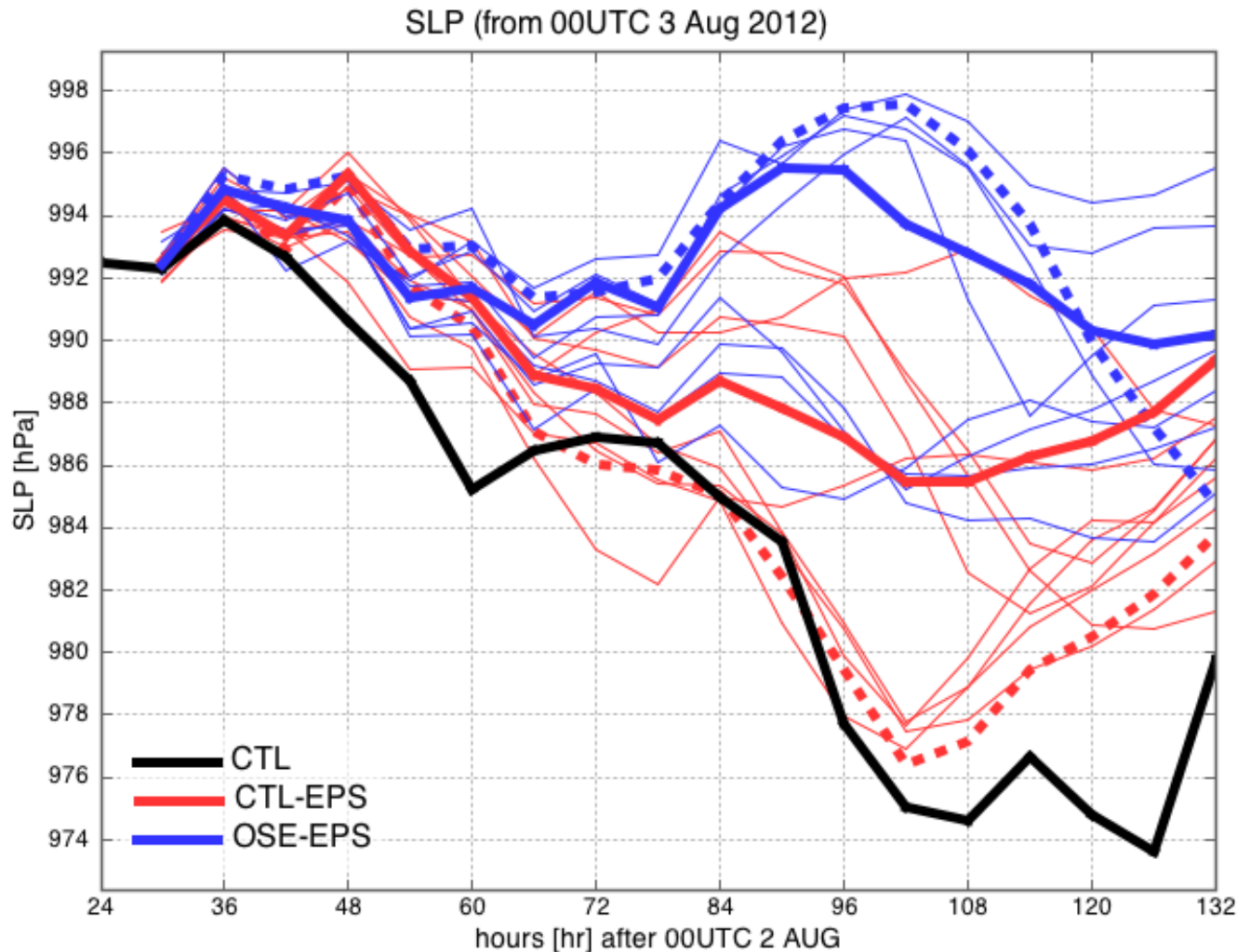


- ・ 海氷海洋結合数値モデル
- ・ 水平解像度：**2.5 km**
- ・ 鉛直解像度：33シグマ層
- ・ 物理パラメータはこれまでと同様
- ・ 実験期間：**2012年8月3日～8日**
- ・ 気象データ：**ALERA2の同化実験システムデータ**
- ・ モデル領域：赤い点線内

ドイツ砕氷船ポーラシュテルン号
によるラジオゾンデ観測点

数値モデルと実験設定：大気強制データ

地球シミュレータセンターのデータ同化システム（ALERA2、Yamazaki et al., 2014）による、低気圧（海面気圧 [hPa] の強さ）の時間変化



観測データで初期値化
しない場合の予報結果
11メンバー

観測データで初期値化
した場合の予報結果
11メンバー

正解

8/4

8/5

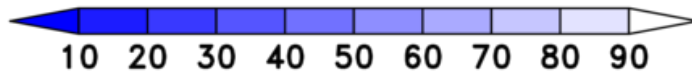
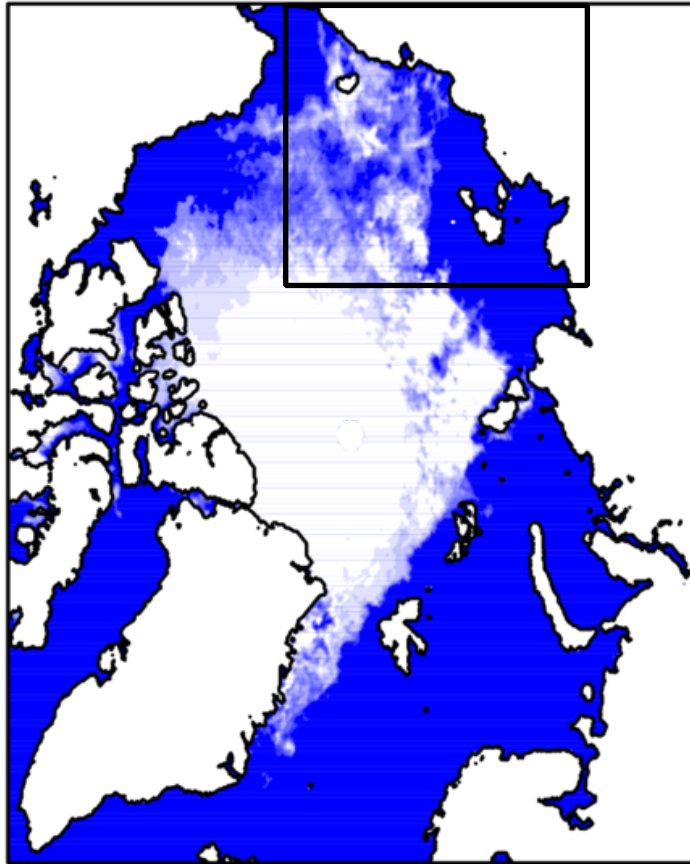
8/6

8/7

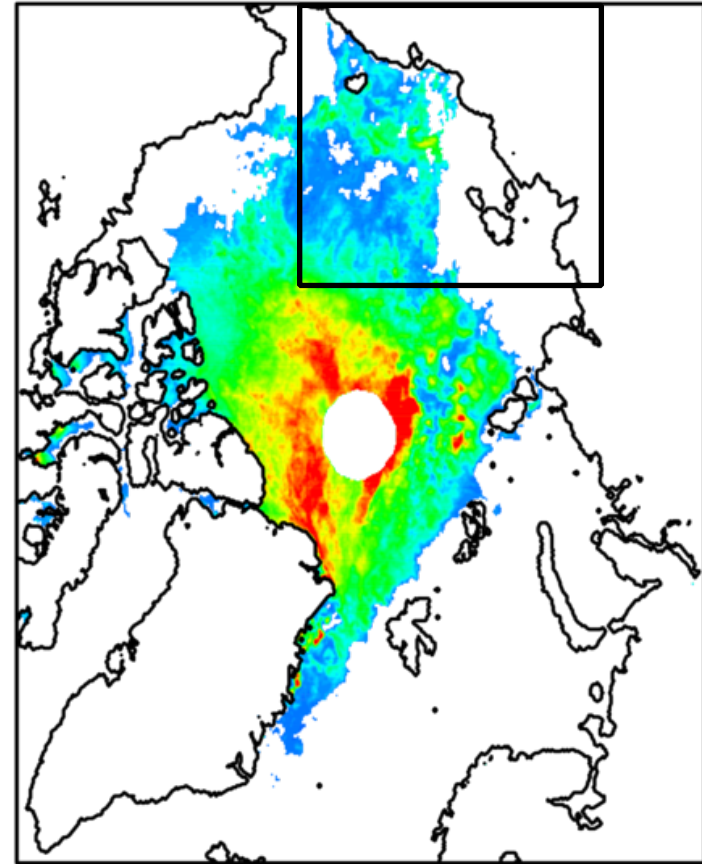
8/8

数値モデルと実験設定

2012年8月3日の海氷密接度と海氷厚の空間分布



海氷密接度 [%]

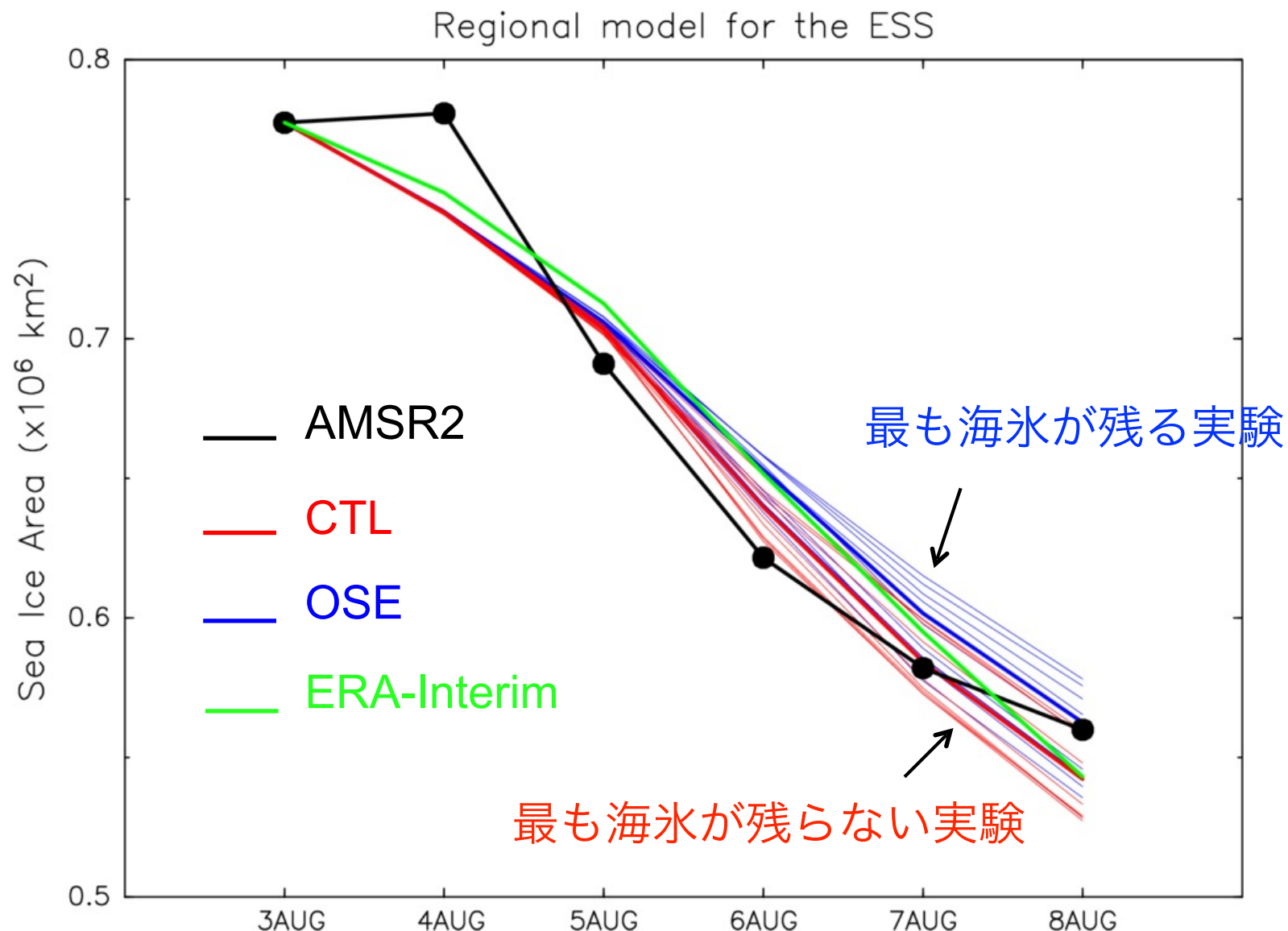


海氷厚 [cm]

Krishfield et al. (2014)のアルゴリズム
より算出 (木村詞明 博士)

2012年8月3日から8日までの東シベリア海における海氷域面積

(海氷密接度15%以上のグリッド面積に海氷密接度を掛けた値の積分値)



どのアンサンブルメンバーおよびERA-Interimの大気データで駆動しても、モデルは観測された海氷域面積の時間変化をよく捉えている。

海氷密接度差 (%)

最大で40%以上の差が出る

