

# 研究課題の取組みと成果、展望

平成27(2015)年11月6日(金)

東京大学大学院 新領域創成科学研究科  
海洋技術環境学専攻  
山口 一

<http://www.1.k.u-tokyo.ac.jp/>



2012年7月のカナダ北極海での観測航海にて撮影

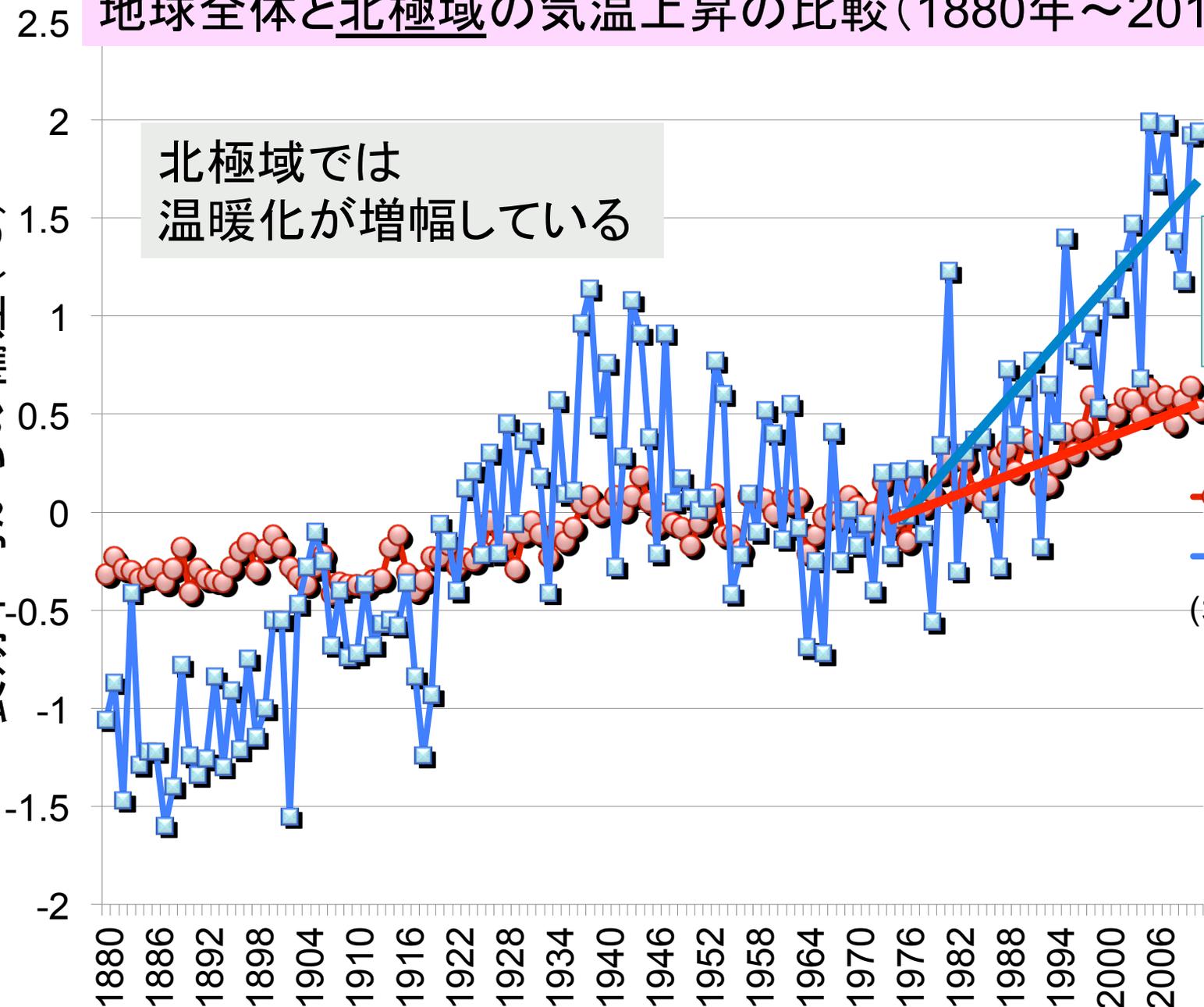
# 地球全体と北極域の気温上昇の比較(1880年～2011年)

長期平均からの偏差(°C)

北極域では  
温暖化が増幅している

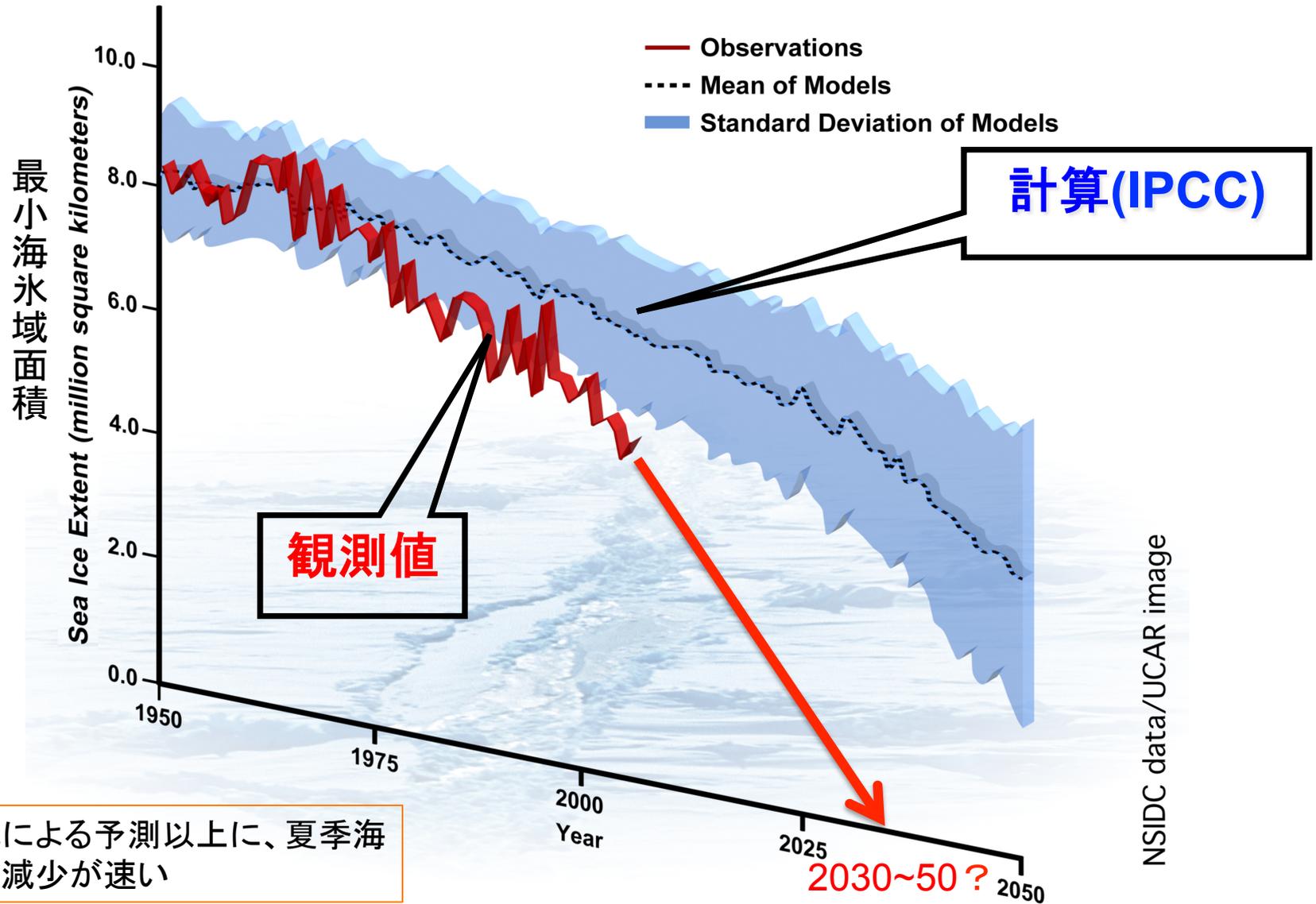
北極域の気温  
上昇は2,  
3倍大きい

● 地球の気温  
■ 北極の気温  
(北緯64度以北)



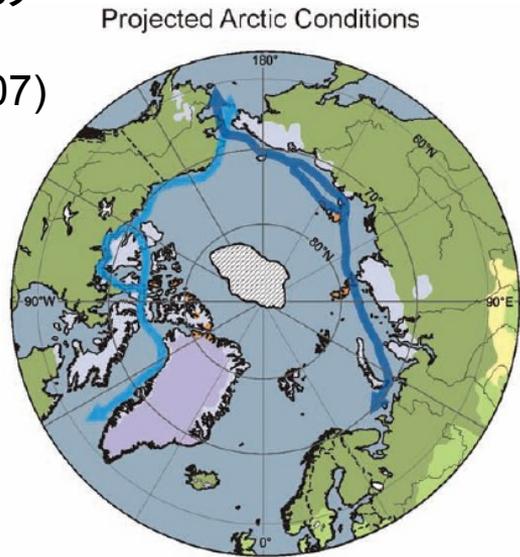
(Data from NASA, GISS)

# 北極海の夏季海水域面積の経年変化



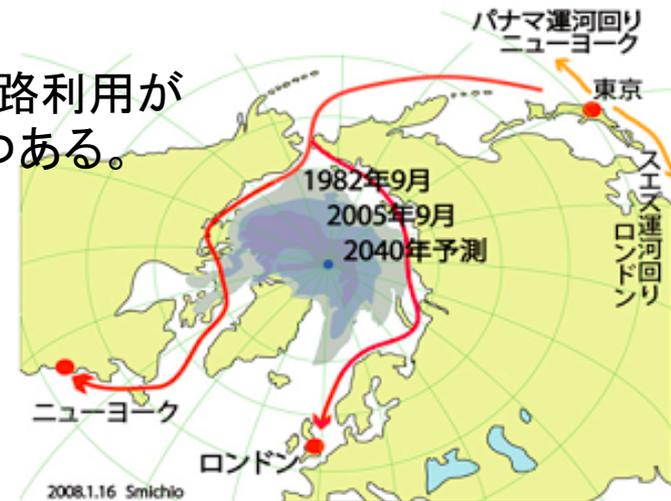
# 北極航路

IPCCによる  
今世紀末の  
夏の予測  
(AR4, 2007)



北極海を通れば、アジア・ヨーロッパ間とアジア・北アメリカ東海岸間の距離が、3割～5割減になる。

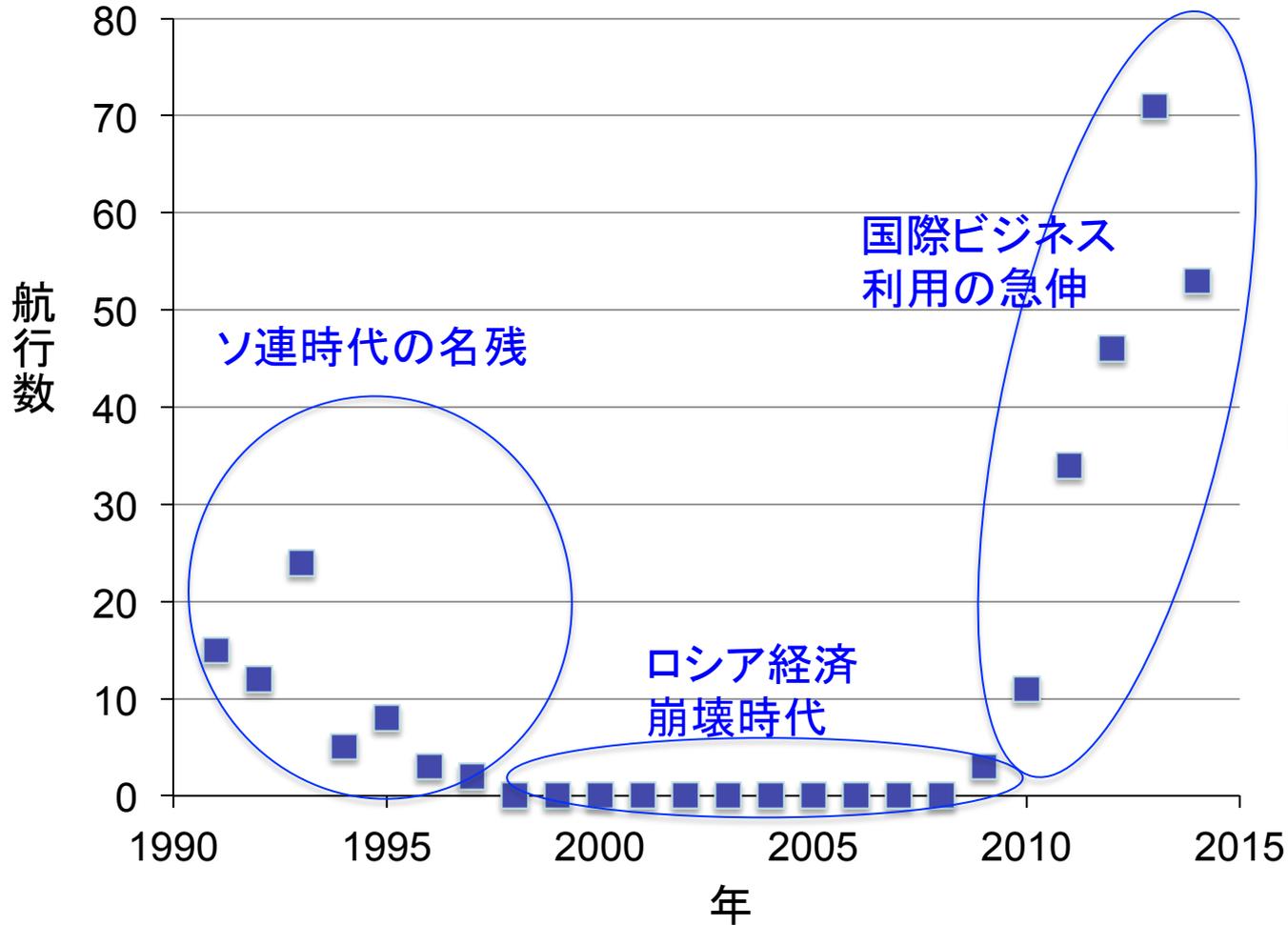
現状＝航路利用が始まりつつある。



- 国際海運のCO2排出を合計すると、ドイツ一に相当する。北極航路の利用は、地球温暖化対策にもなる。
- 持続可能な北極海利用を実現するための「科学」と「技術」の力が、日本にはある。先進国の一つとして、責任があるはず。
- 北極海に一番近いアジアの国は日本。日本にハブ港を作り、アジア物流の最上流に立つという戦略を立てれば、直接的なメリットにもなる。北海道オホーツク海沿岸に船員の訓練所を作ると共に、冬季オホーツク海を船員の訓練海域にするという考えもある。

# 世界は既に動いている

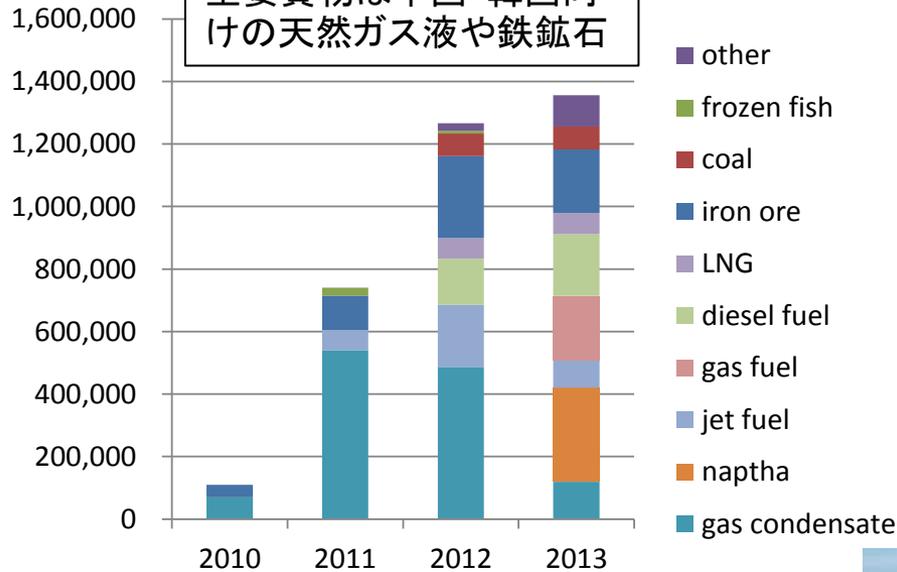
## 北極海航路(ロシア側)通過航行実績



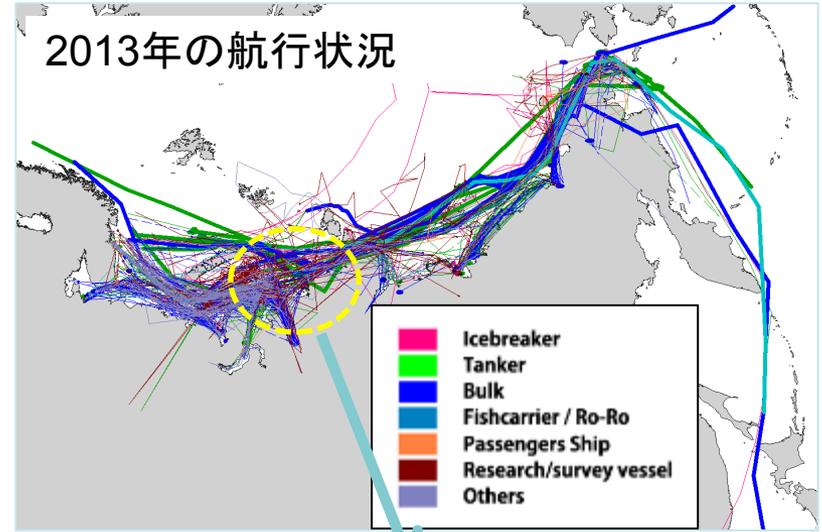
多くは中国向けの天然ガス液や鉄鉱石

# 世界は既に動いている(2)

主要貨物は中国・韓国向けの天然ガス液や鉄鉱石



2013年の航行状況



北極海での石油・天然ガス開発が拡大中



砕氷船が先導して進む



Sovcomflot: <http://www.sovcomflot.ru/npage.aspx?did=90216>

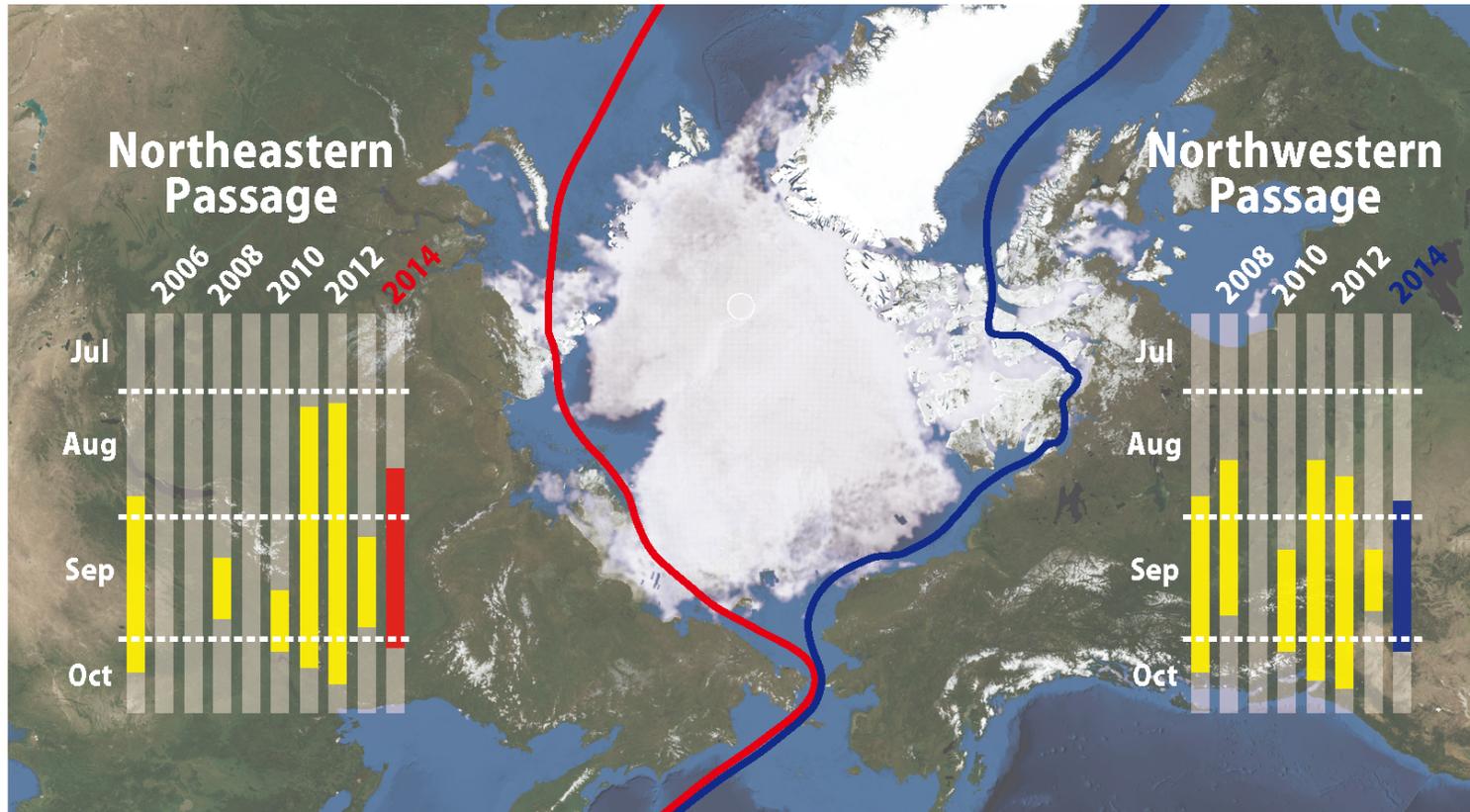


Offshore Energy Today Staff, December 23, 2013; "Gazprom Begins Oil Production from Prirazlomnoye Field"

大塚夏彦氏の調査による

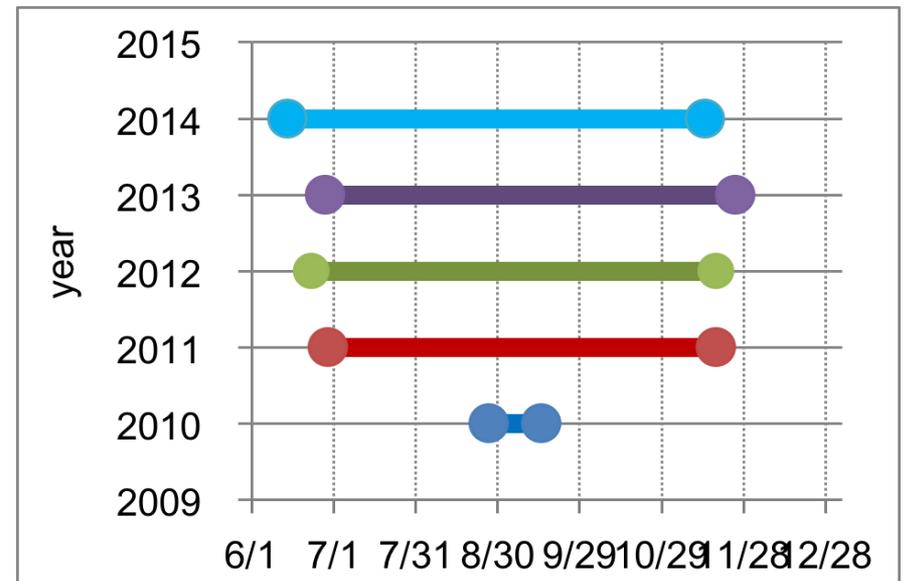
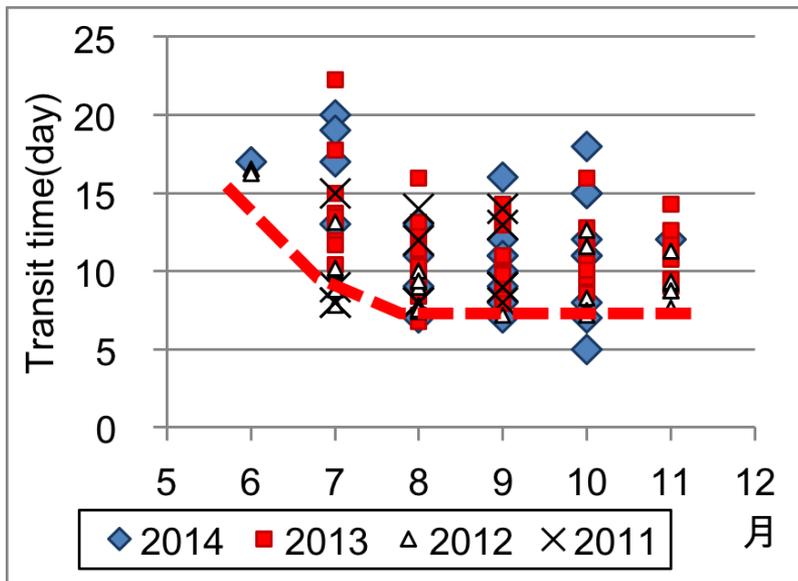
# 最近の北極航路無氷期間

黄色が、航路から海氷が完全に無くなった期間(正確には海氷密接度15%以下)  
(2014年は予報)

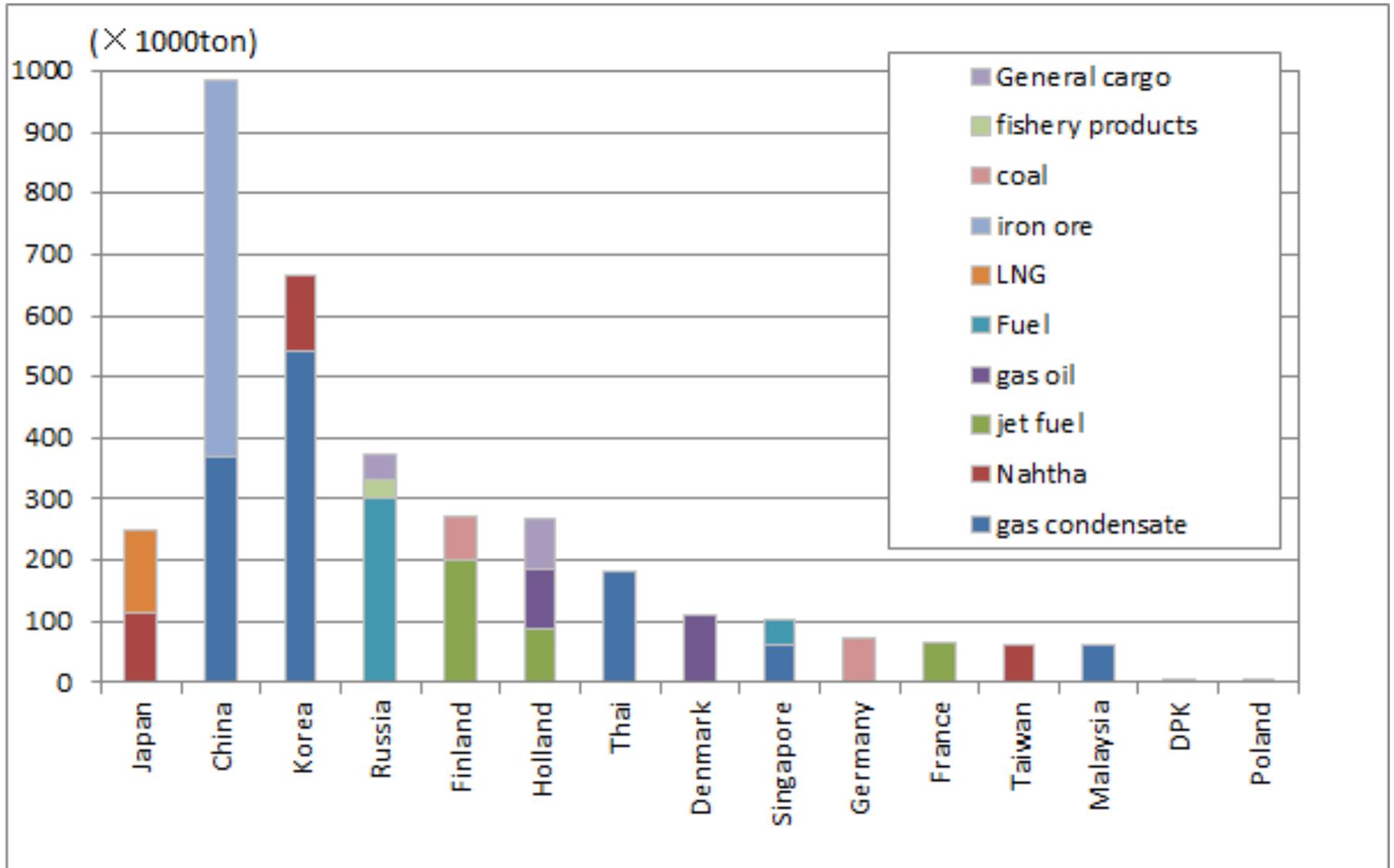


ウェザーニューズ社の解析による

# 北極海航路の実航行期間と航行日数の実績



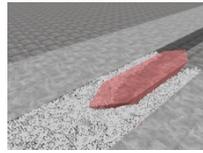
# 北極海航路通過航行の貨物到着地



2010年から2013年までのNSR通過貨物量と到着地

# GRENE北極気候変動研究事業における航行支援システム開発研究

2011年度～2015年度

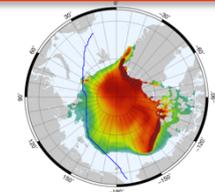


船舶水中航行性能評価  
船体着氷

氷況観測

北極航路の安全かつ効率的な利用

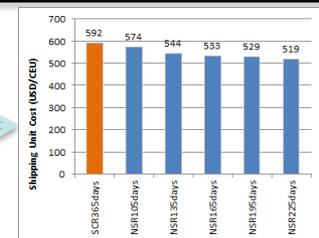
氷況予測



予報の不確かさを考慮した最適航路探索

経済性評価と運行シナリオの提案

輸送コスト評価



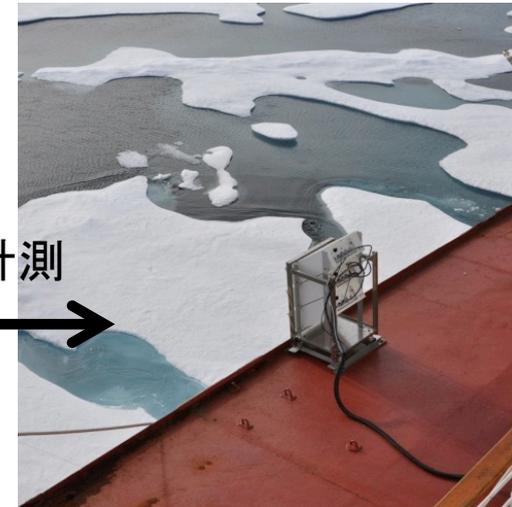
# 氷況観測研究 — 衛星観測の高度化 —

海水密接度(面積情報)は、既存技術で計測可能。

人工衛星搭載されるものと  
同型のマイクロ波放射計



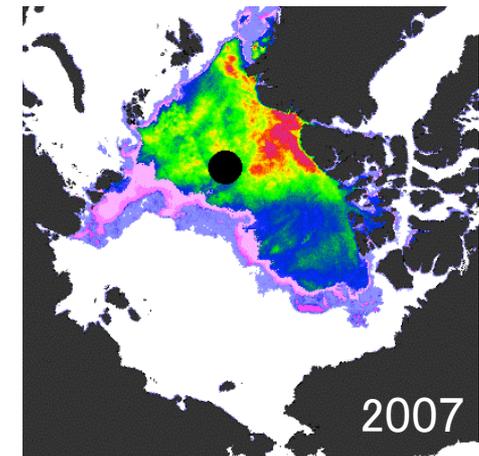
電磁誘導式氷厚計



同時計測



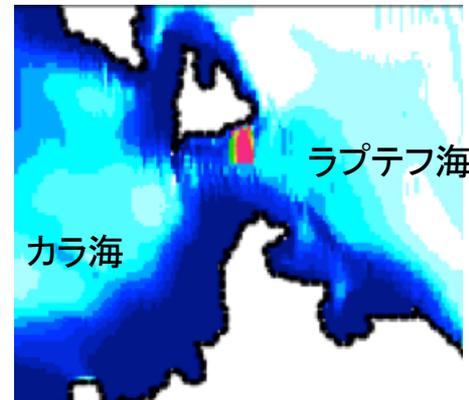
氷厚アルゴリズム、メルト  
ポンドアルゴリズムの開発



# 航路利用の観点から必要な氷況予測

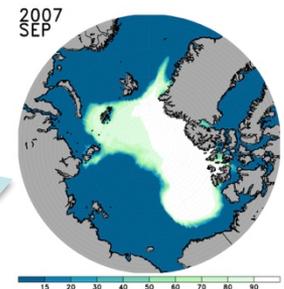
- 中期予測（春の終わりまでに、夏の氷況を予測） → 海運会社の配船計画に必要

- 短期予測（一週間程度の予測） → 個々の船舶の航路決定に必要



氷況短期予測と流出油移流拡散シミュレーション

- 長期予測（20-30年先までの予測） → 新造船発注や港湾整備等、大きな投資の意思決定に必要



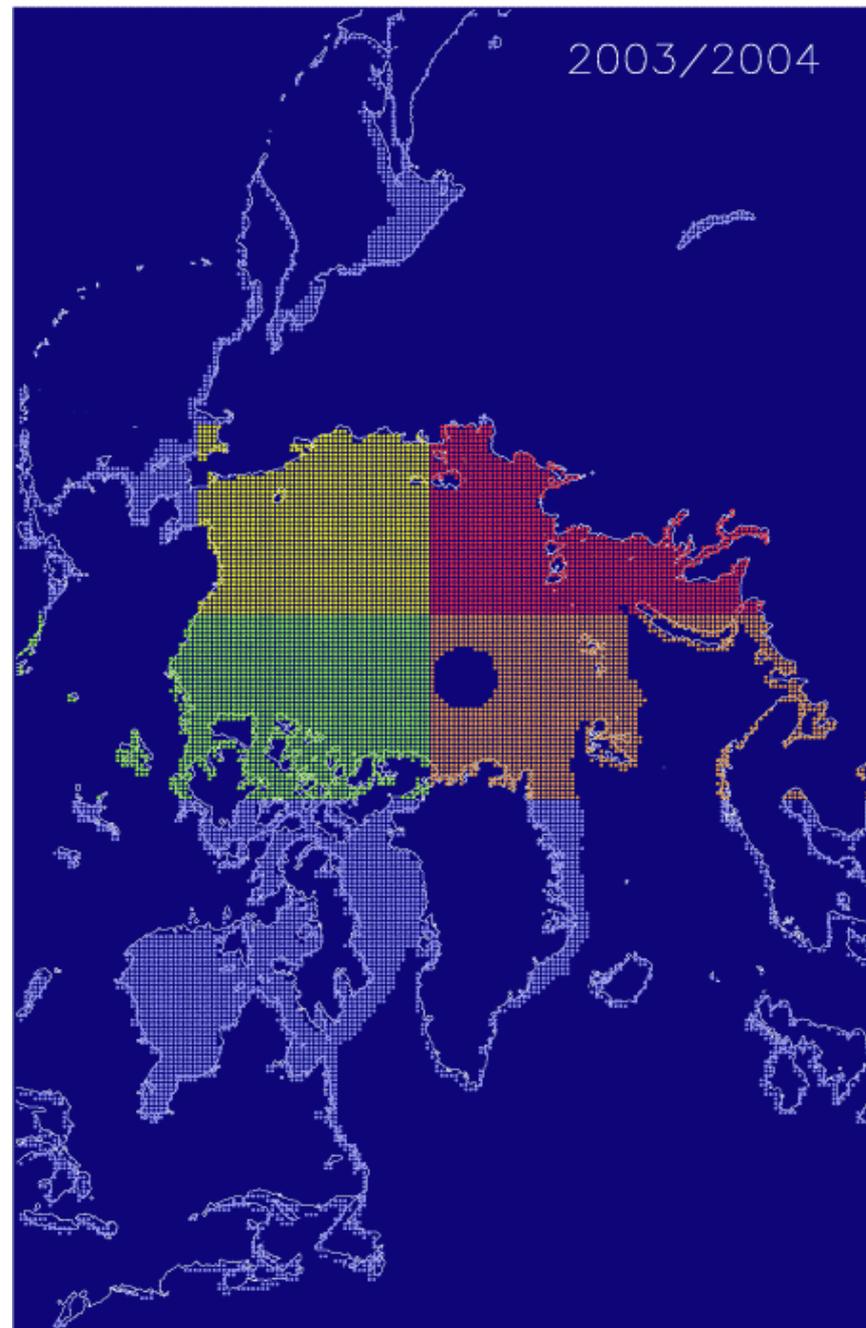
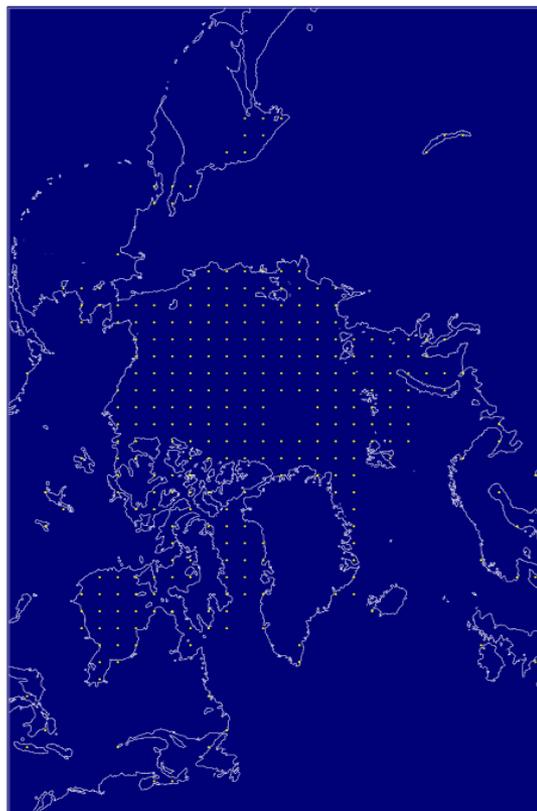
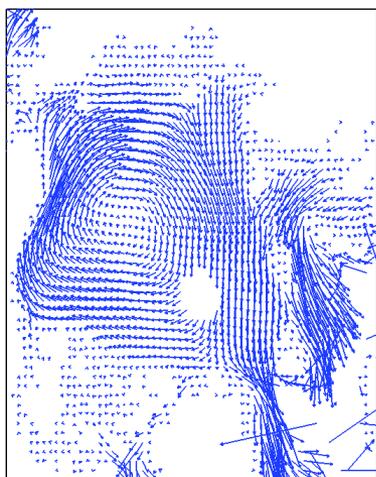
北極海全体の長期予測計算

# 氷況中期予測

衛星リモセンデータの高度利用と  
統計解析による予測

冬の氷の動き→氷が広がる所→冬なので  
すぐ新氷ができる→しかしその氷は  
薄いはず→夏に早く解けるはず

2003/12/01 - 2004/04/25



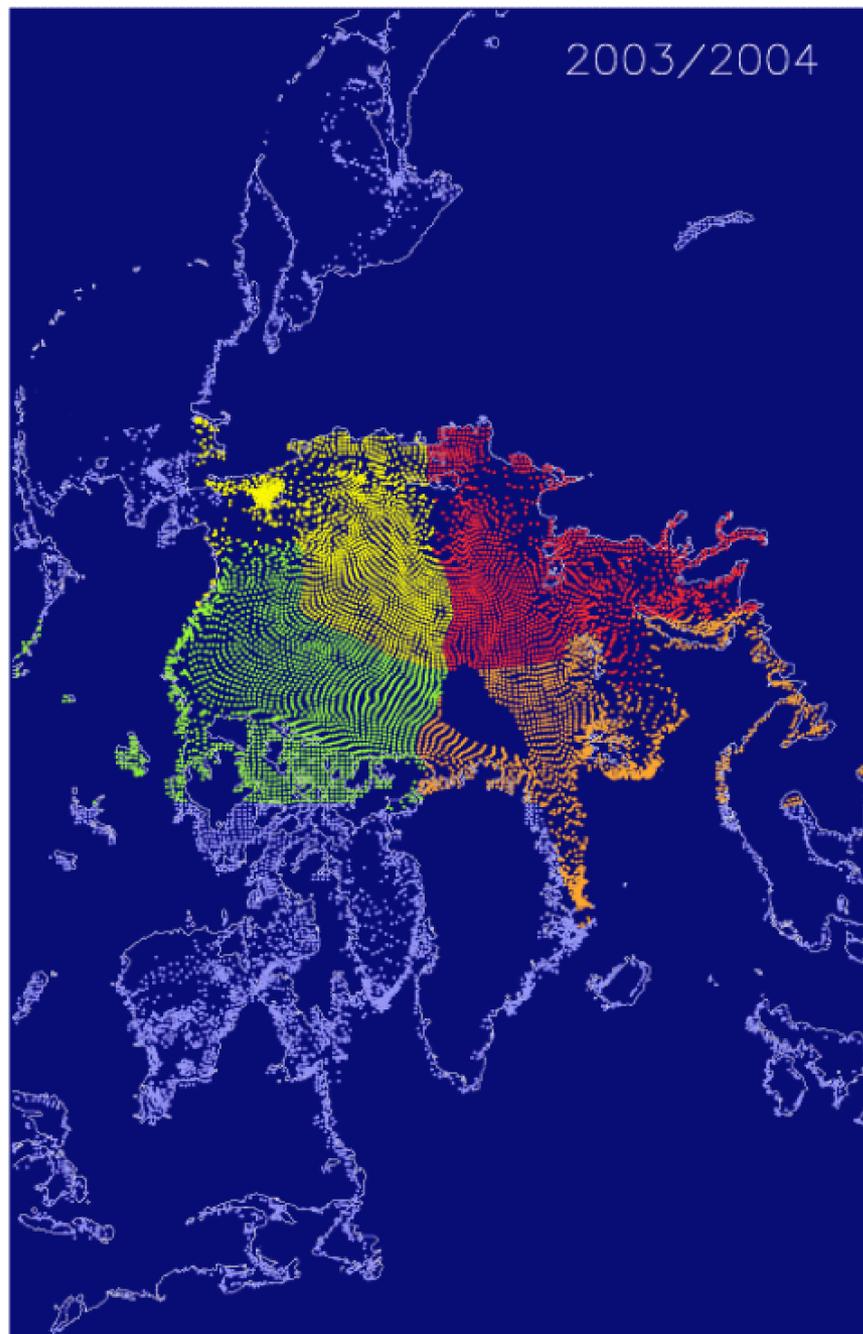
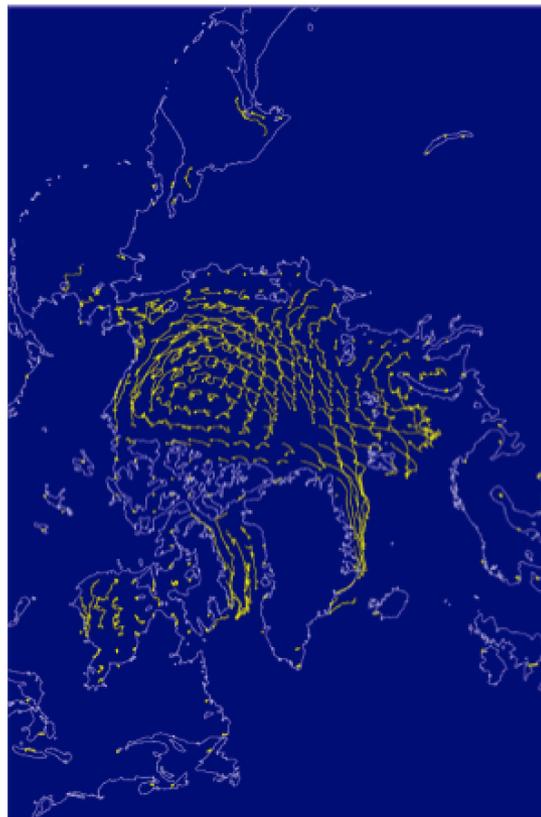
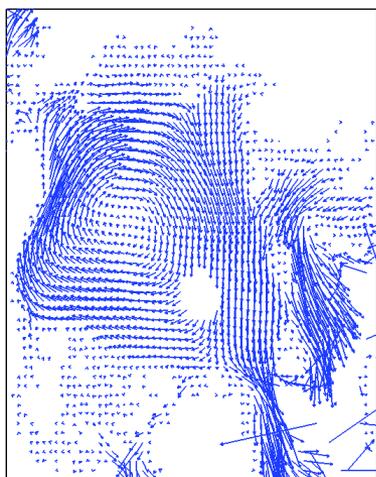
2012より毎年、中期予報を研究室webにて公開

# 氷況中期予測

衛星リモセンデータの高度利用と  
統計解析による予測

冬の氷の動き→氷が広がる所→冬なので  
すぐ新氷ができる→しかしその氷は  
薄いはず→夏に早く解けるはず

2003/12/01 - 2004/04/25



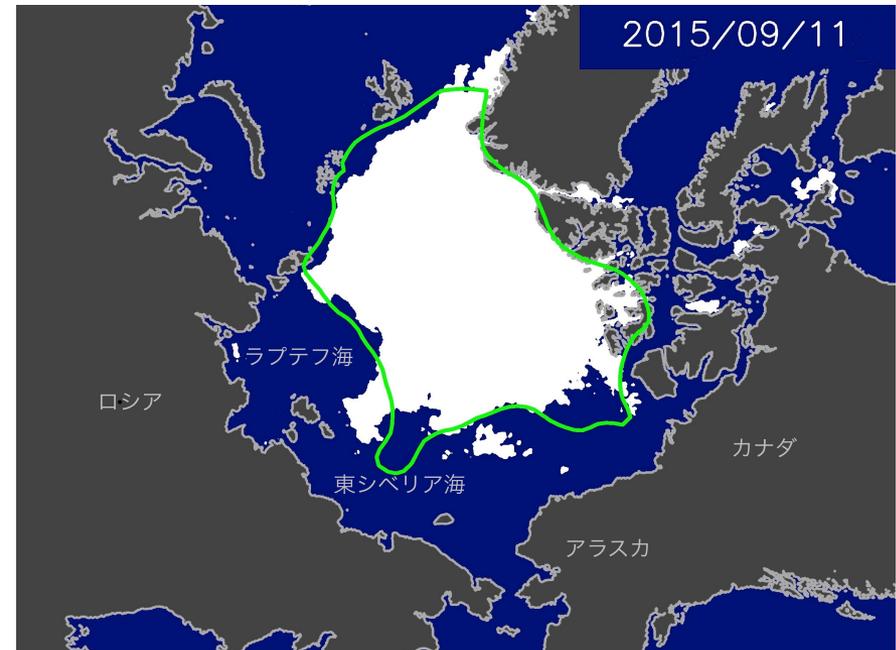
2012より毎年、中期予報を研究室webにて公開

# 氷況中期予測 – 2015年



5月末にweb公開

国立極地研究所の北極域データセンター  
<https://ads.nipr.ac.jp/>  
に移植され、ViSHOPで毎日チェック可能。



海氷最小期(2015年9月11日)の  
海氷分布の比較。緑が予報、白  
が衛星観測。

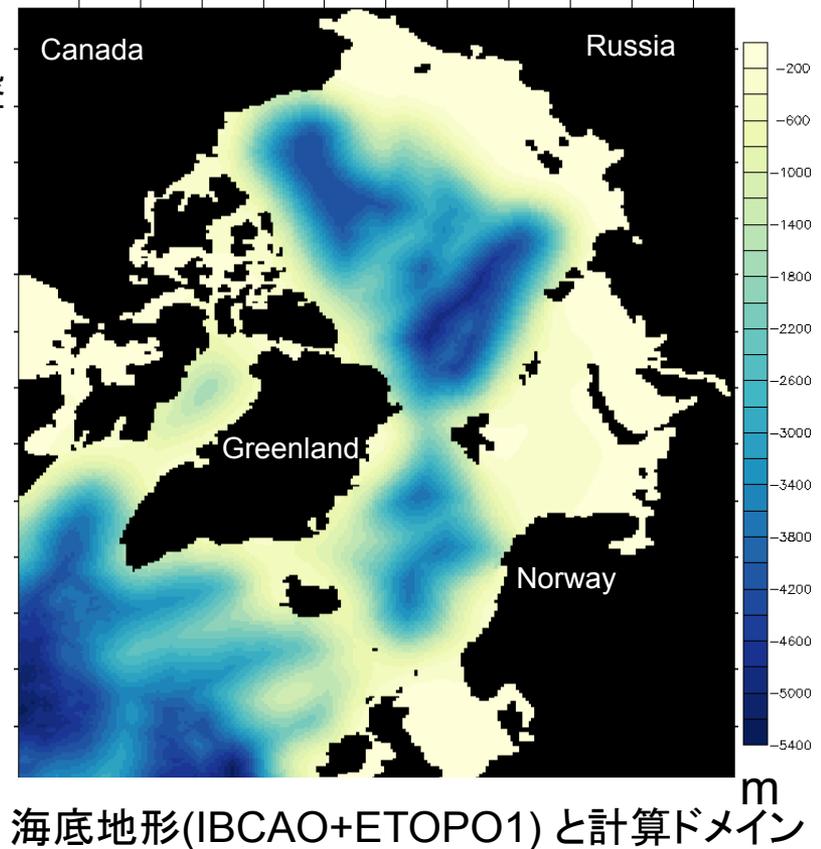
海氷分布、航路の無氷開通日と  
も、ほぼ正確に予測できた。

# 氷況短期予測のための 数値モデル開発

# 海洋／海氷結合モデル, Ice-POM

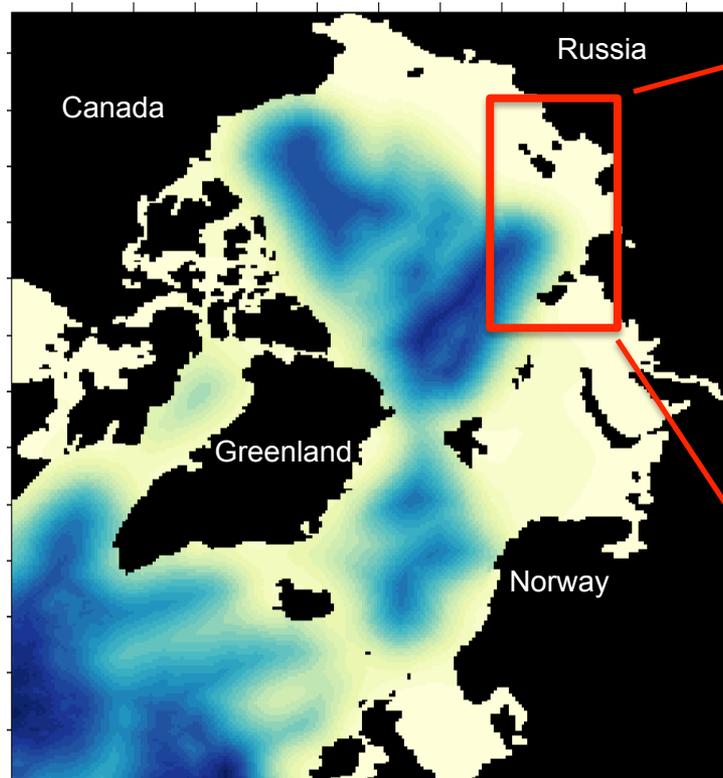
(Sagawa, 2007; Fujisaki et al., 2010; De Silva, 2013)

- 海氷力学モデル
  - 弾粘塑性体 (Hunke and Dukowicz, 1997) + 氷盤衝突レーロギー (Sagawa2007)(氷縁近傍で重要)
  - 氷盤群 + semi-Lagrangian移流
- 海氷熱力学モデル
  - 0層モデル (Semtner, 1972) + 積雪
- アルベド (海表面0.1、海氷0.7、雪0.9)
- 海洋モデル
  - Princeton Ocean Model
  - 静水圧近似3次元NS方程式
  - 水平解像度Horizontal resolution:
    - 北極全域モデル: **25km**、領域モデル: **2.5 km**
  - 鉛直方向 $\sigma$ -H33層
  - 水平方向渦粘性係数:
    - Smagorinsky (1963)
  - 鉛直方向渦粘性係数:
    - Mellor and Yamada (1982)

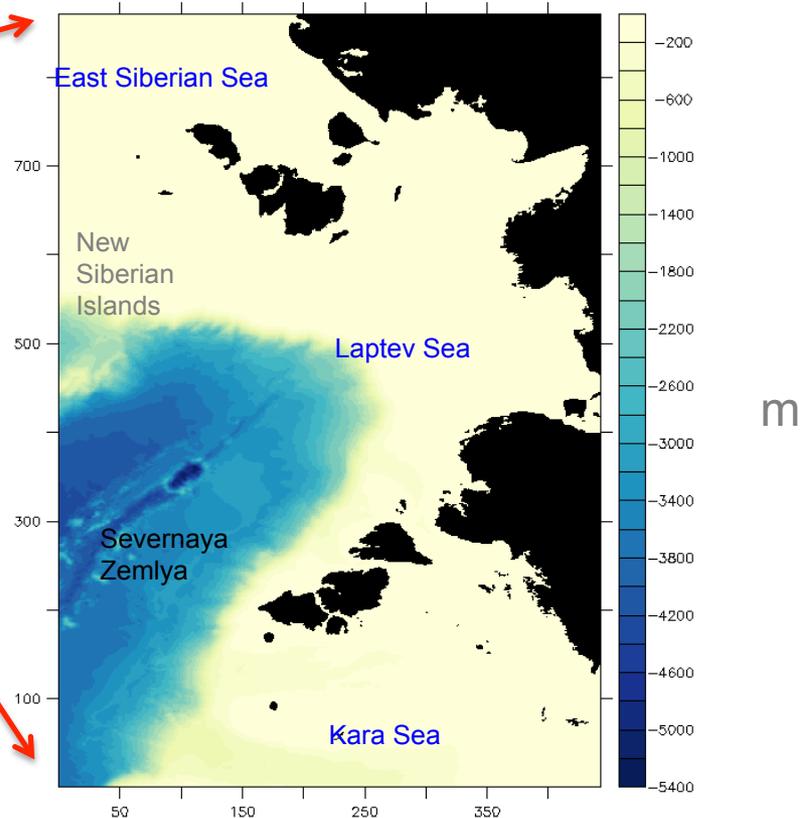


# 短期予測計算：高解像度領域モデル

## 計算ドメインと海底地形



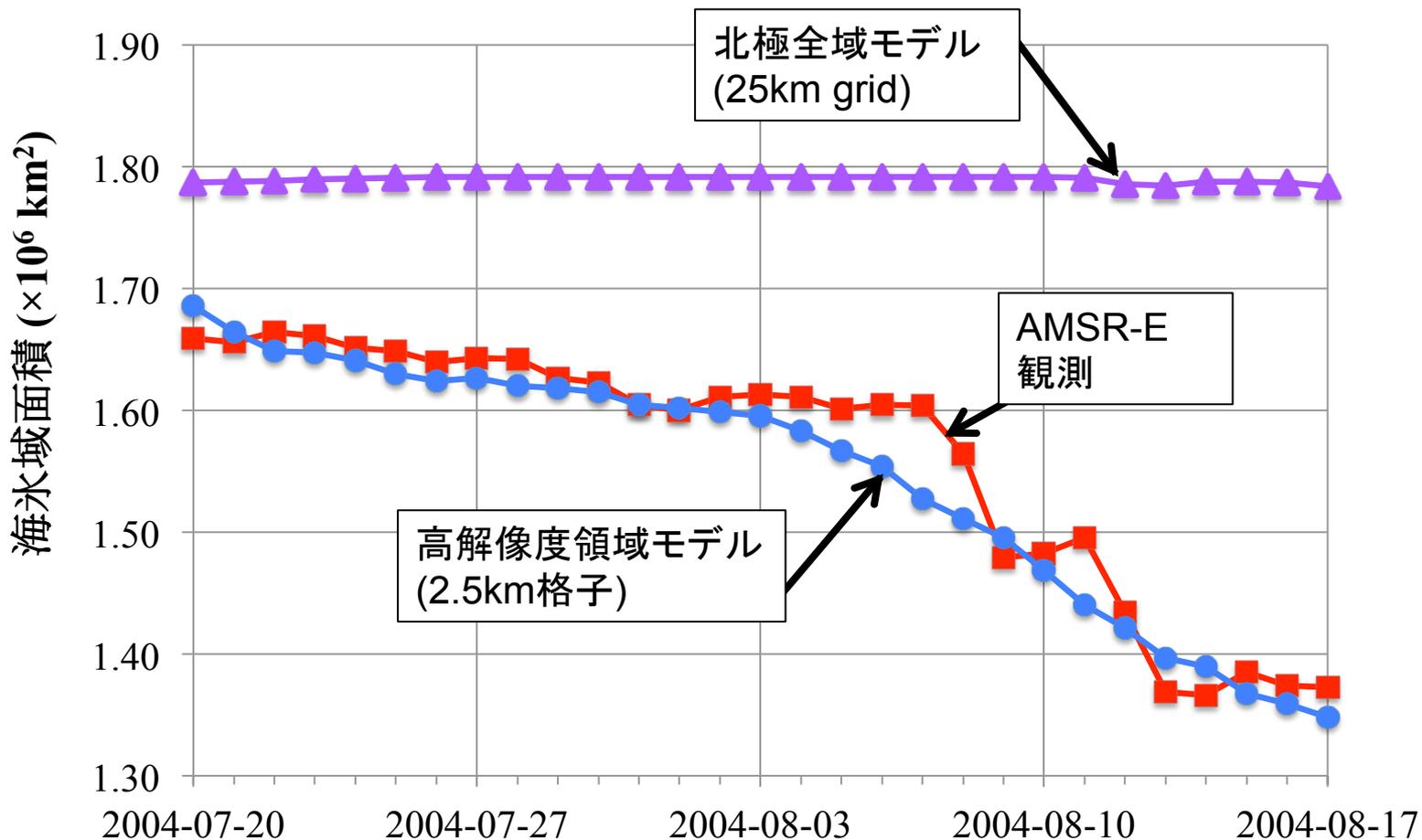
25km格子



2.5km格子

# 高解像度領域モデル(2.5km格子)

## 海水域面積の比較(2004)





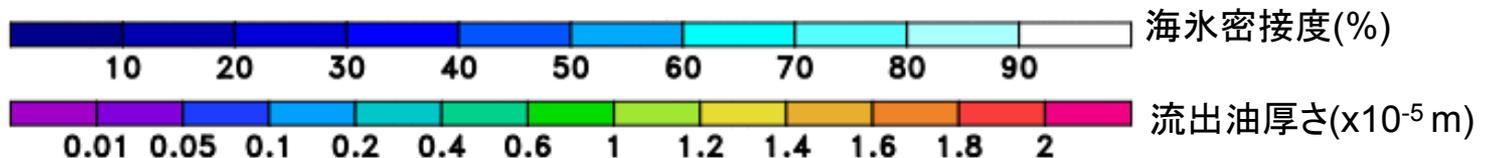
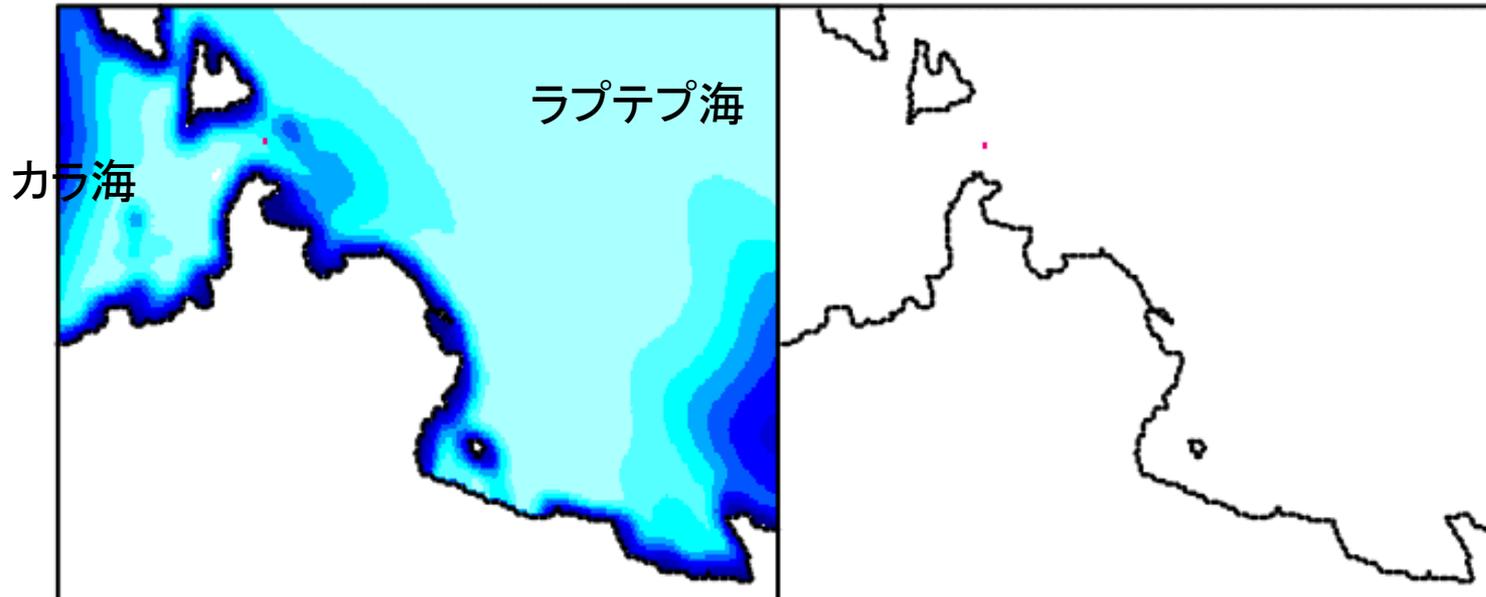
# 氷海流出油の移流・拡散シミュレーション

2004年7月20日 - 8月31日

03Z 21 JUL

氷海中

海氷のみ取り去った同条件の計算



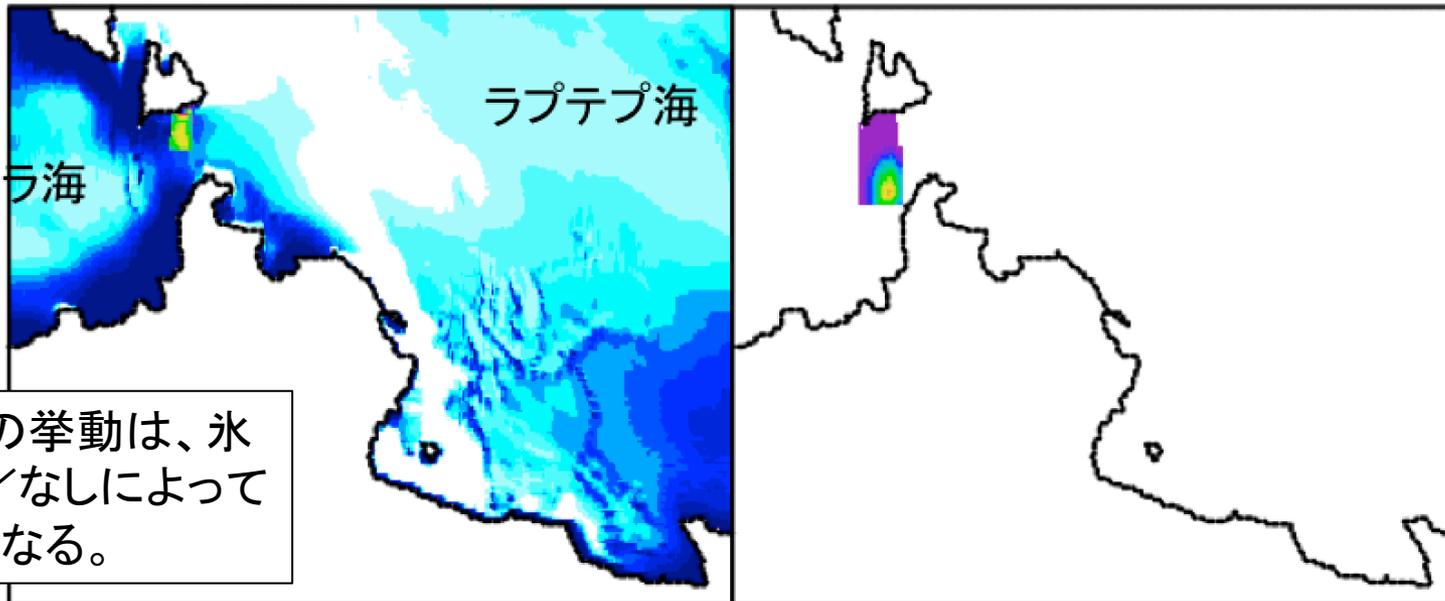
# 氷海流出油の移流・拡散シミュレーション

2004年7月20日 - 8月31日

18Z 11 AUG

氷海中

海氷のみ取り去った同条件の計算



流出油の挙動は、氷のある／なしによって大きく異なる。



海氷密接度(%)

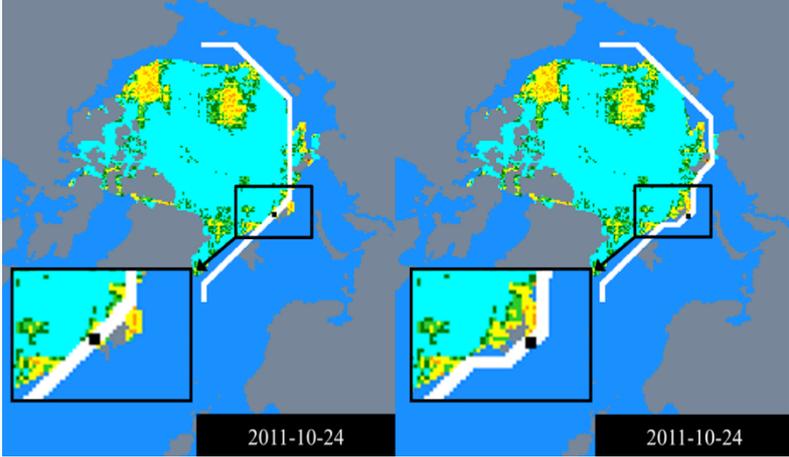
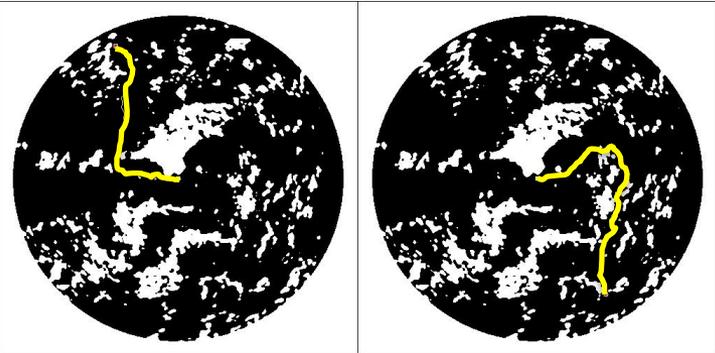
10 20 30 40 50 60 70 80 90



流出油厚さ( $\times 10^{-5}$  m)

0.01 0.05 0.1 0.2 0.4 0.6 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2

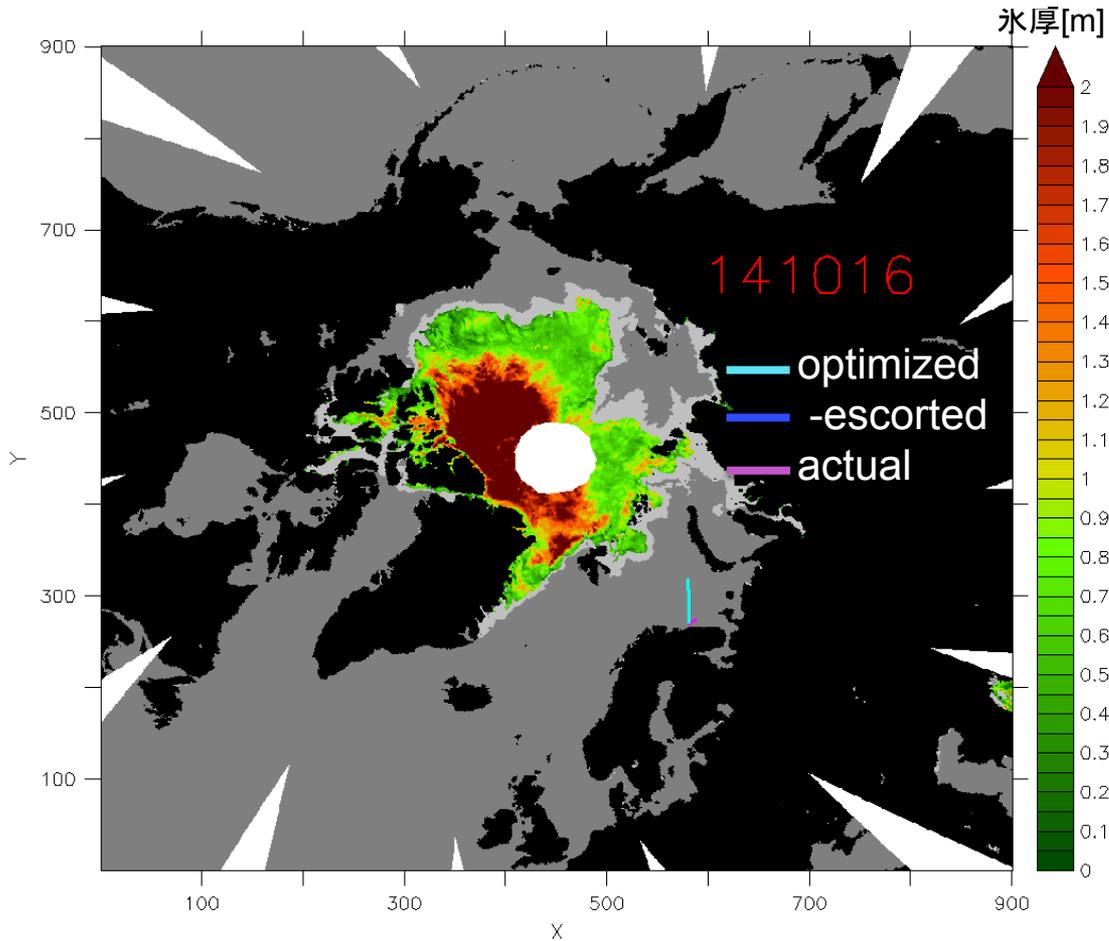
# 最適航路探索

	全体航路の最適化	近傍航路観測
手法	A*アルゴリズム探索。10回のアンサンブルシミュレーションによる氷況予報の不確かさ情報を取り入れた最適化。	Dijkstraアルゴリズム。船舶レーダーの2値化画像に対して適用。
結果例	<p>Objective : Distance + Time      Objective : Distance + Time + FailureRate</p>  <p>2011-10-24      2011-10-24</p>	<p>個船の航路選択を支援</p>  <p>■ start ■ goal</p>
目的	最も安全かつ効率的な航路を提示	船舶への大容量通信はまだ制限が多いため、個々の船舶にシステムを積み込む。

Choi et al., 2014

Takagi, 2014

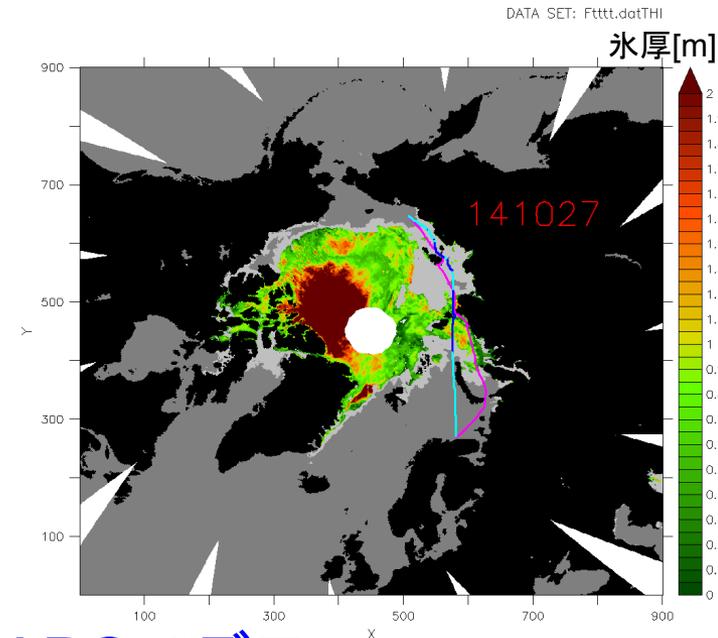
# 最適航路と実航路の比較例



- Icebreaking cap. : 0.6 m
- Ice Index < 18 : 1.5 m
- Depth needed : 10.5 m

$$v = 0.768I - 3.84 \quad (I \geq 15)$$

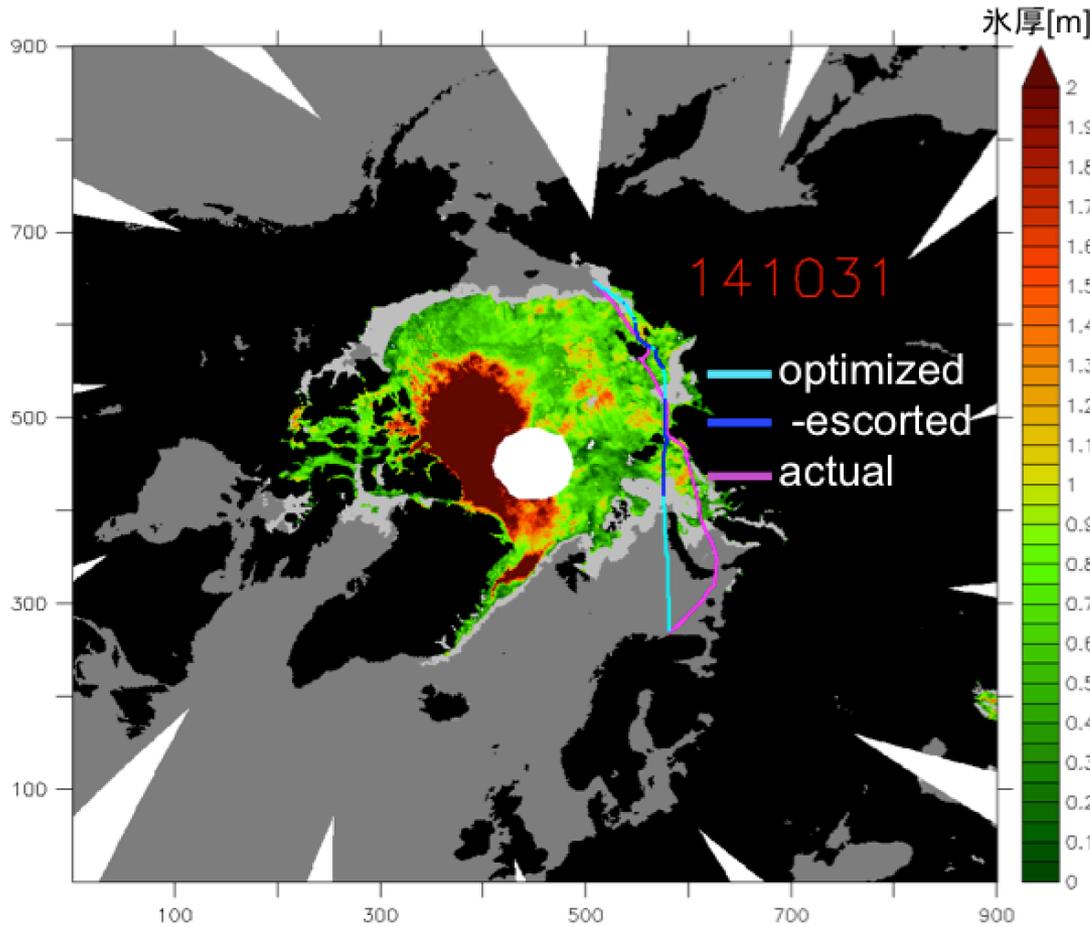
$$v = 0.1647I - 5.209 \quad (I < 15)$$



cost function =  $1 \times (\text{travel distance}) + 100 \times (\text{travel time})$

	actual route	optimized route
distance	2422 nm	2275 nm (-6.1%)
time	285.1 hours	241.5 hours (-15.3%)

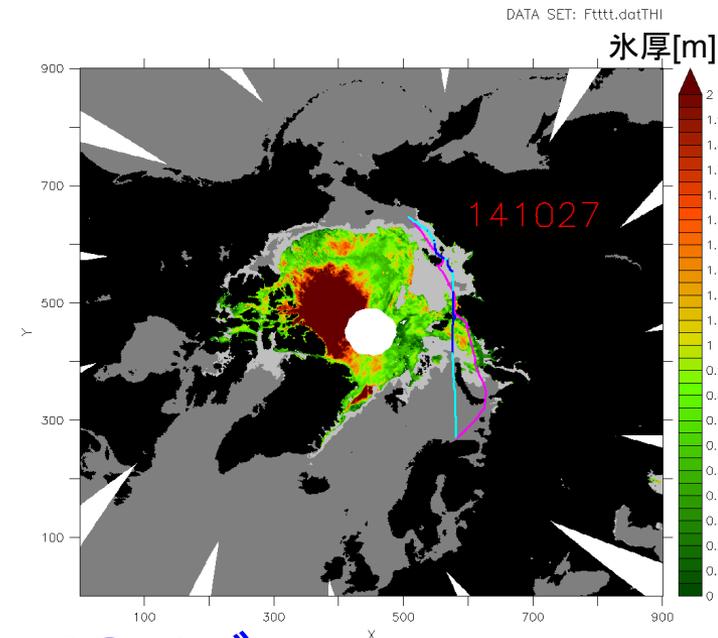
# 最適航路と実航路の比較例



- Icebreaking cap. : 0.6 m
- Ice Index < 18 : 1.5 m
- Depth needed : 10.5 m

$$v = 0.768I - 3.84 \quad (I \geq 15)$$

$$v = 0.1647I - 5.209 \quad (I < 15)$$

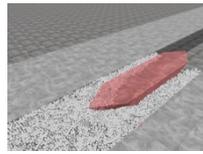


cost function =  $1 \times (\text{travel distance}) + 100 \times (\text{travel time})$

	actual route	optimized route
distance	2422 nm	2275 nm (-6.1%)
time	285.1 hours	241.5 hours (-15.3%)

# 航行支援システム開発研究: GRENEからArCSへ

2011年度～2015年度  
↓  
2015年度～2020年度



船舶水中航行性能評価  
船体着氷

大気と気象

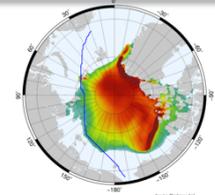
氷況観測

北極航路の安全かつ効率的な利用

氷厚



氷況予測



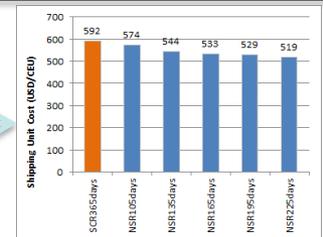
予報の不確かさを考慮した最適航路探索

経済性評価と運行シナリオの提案

波浪

ロシア側のデータ取得とロシアとの協力を、より力を注ぐ。

輸送コスト評価



A photograph of three polar bears on a fragmented ice floe in dark water. The bears are white with black noses and claws. Two bears are on a higher ice section, and one is on a lower section. Three blue speech bubbles with white text saying "Thank you" are positioned around the bears. The top bubble points to the upper bear, the middle bubble points to the middle bear, and the bottom bubble points to the lower bear.

Thank  
you

Thank  
you

Thank  
you

GRENE-Arctic

Photo by Yamaguchi, 2012