

2014年11月17日 於：東京海洋大学品川キャンパス 楽水会館
GRENE 北極気候変動研究事業 特別セミナー「北極海航路の利用実現に向けて」

北極海の海洋構造モデルと 海氷長期予測

川崎 高雄^{1,2} 羽角 博康²

1. 国立極地研究所

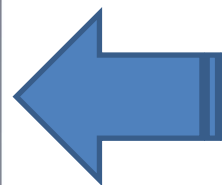
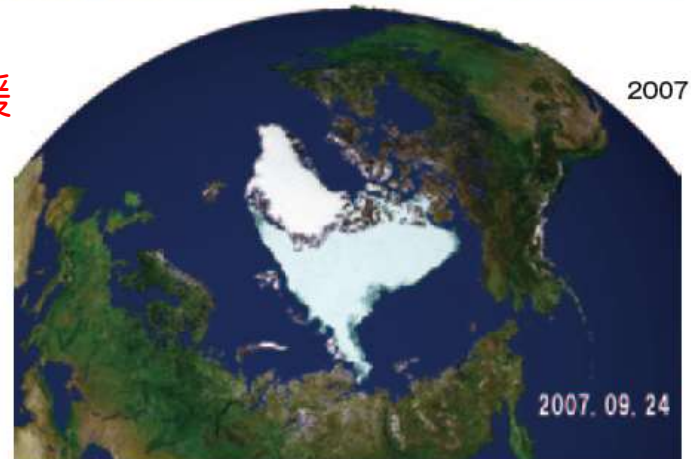
2. 東京大学 大気海洋研究所

海氷長期予測について

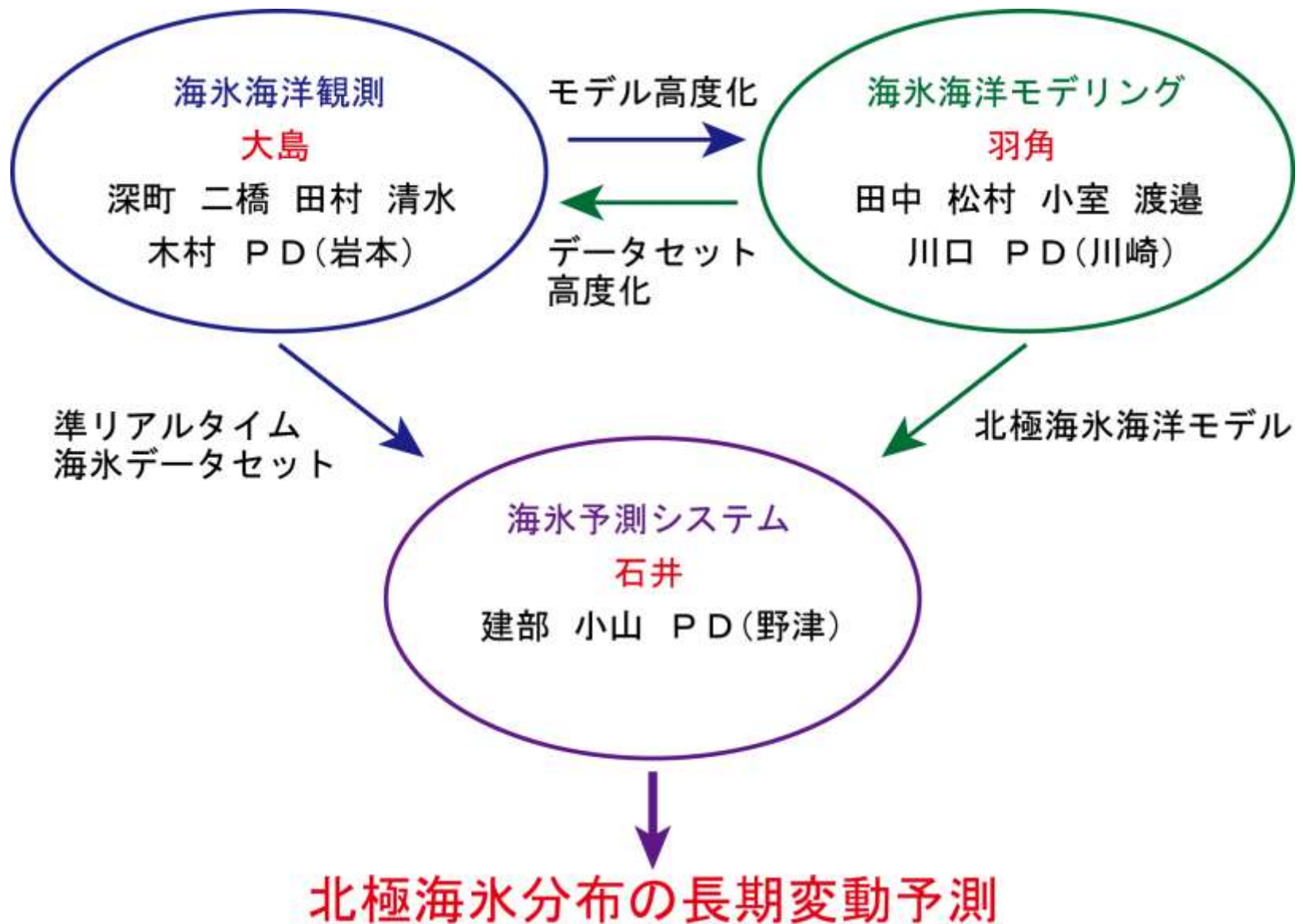
海氷予測の時間スケールと北極海航路に対する貢献

- 短期 (数日～10日): 航行の支援 ⇒ 小野さん
- 中期 (数カ月): 航行計画の支援 ⇒ 木村さん
- 長期 (数年～数十年): 長期航行計画(造船計画)の支援

北極海における海氷の長期予測を行うためには、北極海を良く再現する気候モデルの整備が必要



研究体制・グループ



海氷長期予測に用いる気候モデルの整備に向けて

A. 海氷海洋観測

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

B. 海氷海洋モデリング

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

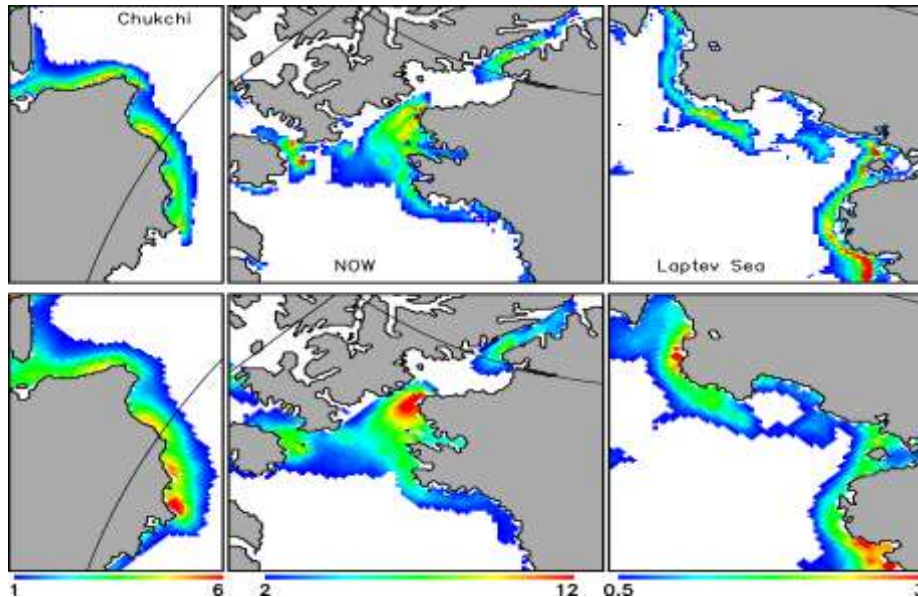
C. 海氷予測システム

全球気候モデルに高解像度北極海モデルを組み込み、海氷密度・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、北極海氷分布の長期的(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し、予備的解析を実施
- 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

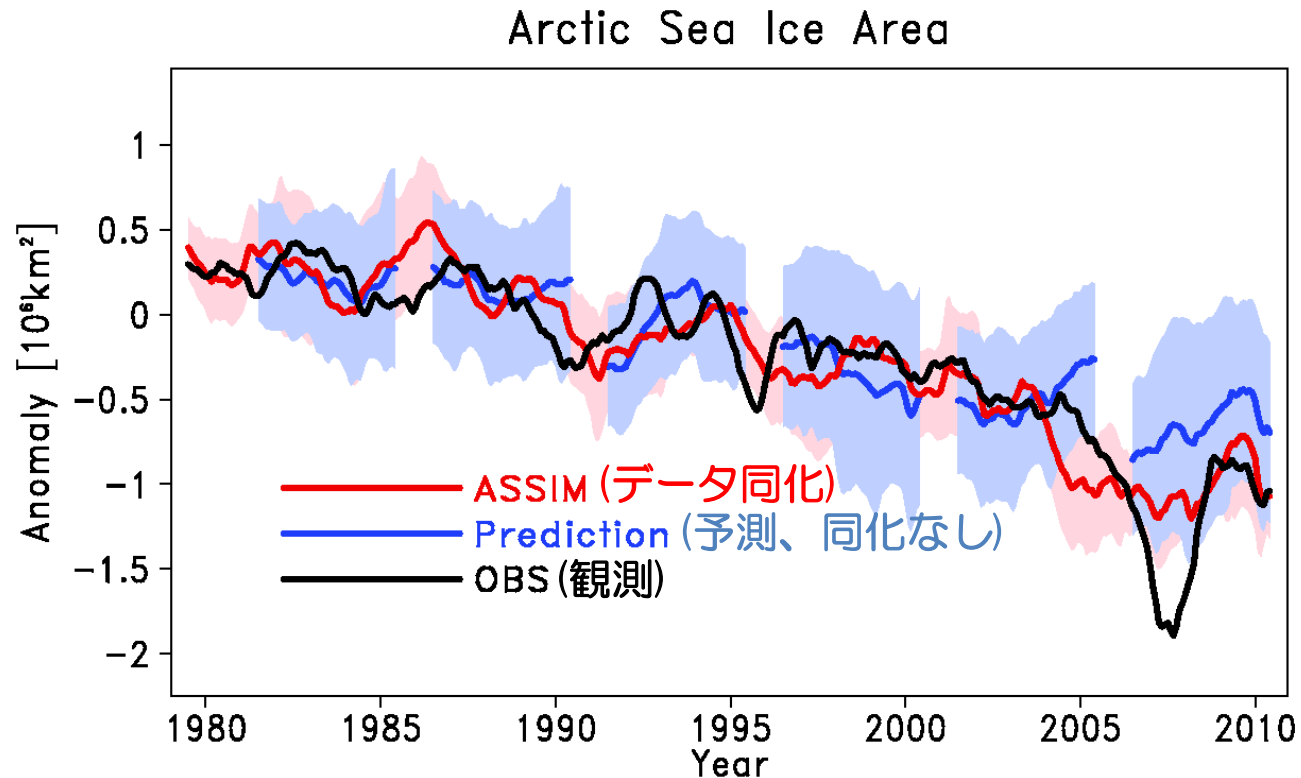
衛星観測データから見積もられた海氷生産量



高精度の観測データ
をもとに改良

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



B. 海氷海洋モデリング

研究の背景

- 数十年規模の海氷予測のためには、大気変動の予測に加えて、北極海の海洋内部の変動予測が必要
- 現状の気候モデルでは、北極海海洋内部の数十年規模変動はおろか、平年的な海洋内部構造を再現することも困難
- 他の海域に比べて北極海での海洋観測が困難であり、北極海内部構造の維持・変動メカニズムの理解が不十分
- よって、海洋モデリング手法(シミュレーション)による海洋構造の維持メカニズムの解明が必要

北極海海洋内部の複雑な構造

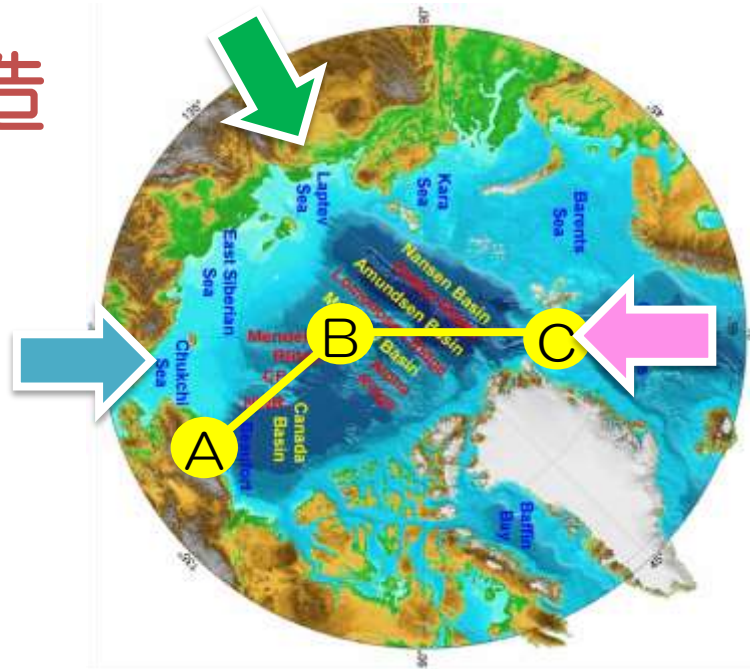
北極海:

- 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

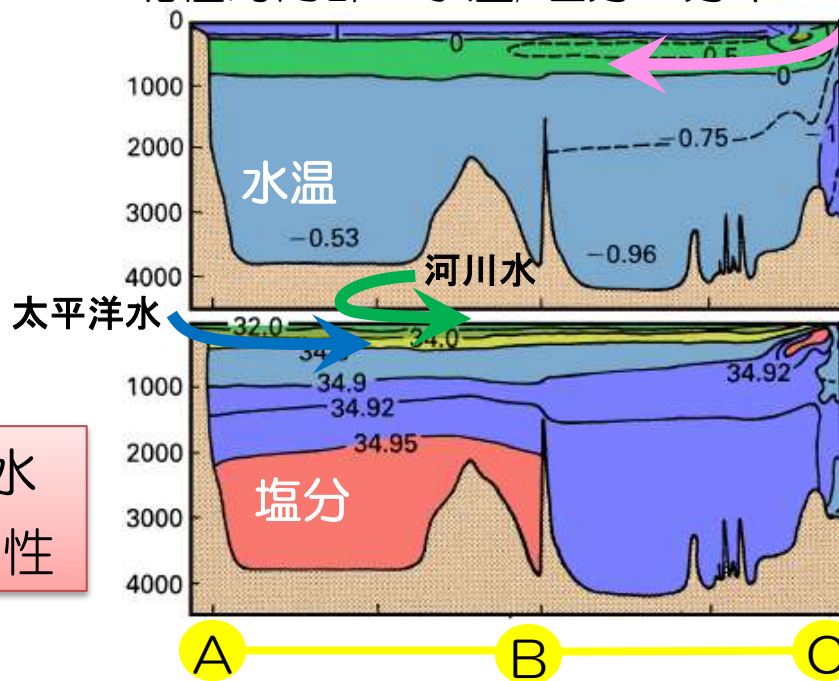
によって、複雑な海洋構造が形成される

- 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が問題になる

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

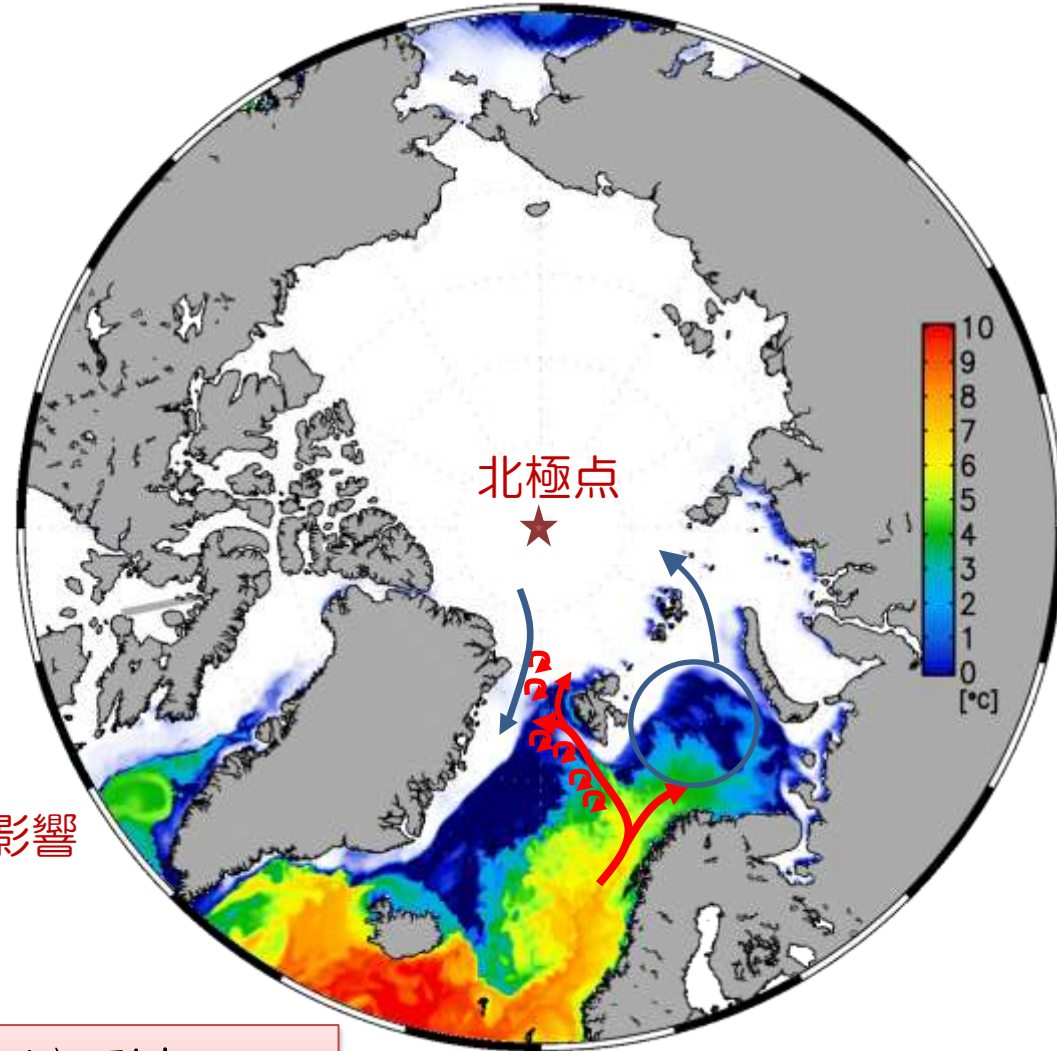


フラム海峡での大西洋水の流入

冬季SST (color) と海水密接度 (white)

- 西スピッツベルゲン海流によって高温の大西洋水がフラム海峡を通じて流入
- 近年、フラム海峡を通過する大西洋水の水温は上昇傾向 (Schauer et al., 2008)
- 西スピッツベルゲン海流の幅は約 10-20km
- 中規模渦 (< 50km) の活動が活発

→ 細かい構造が北極海への熱輸送に影響



(モデル結果)

従来の気候モデル(低解像度モデル)では大西洋水流入(幅の小さい海流)の再現に限界

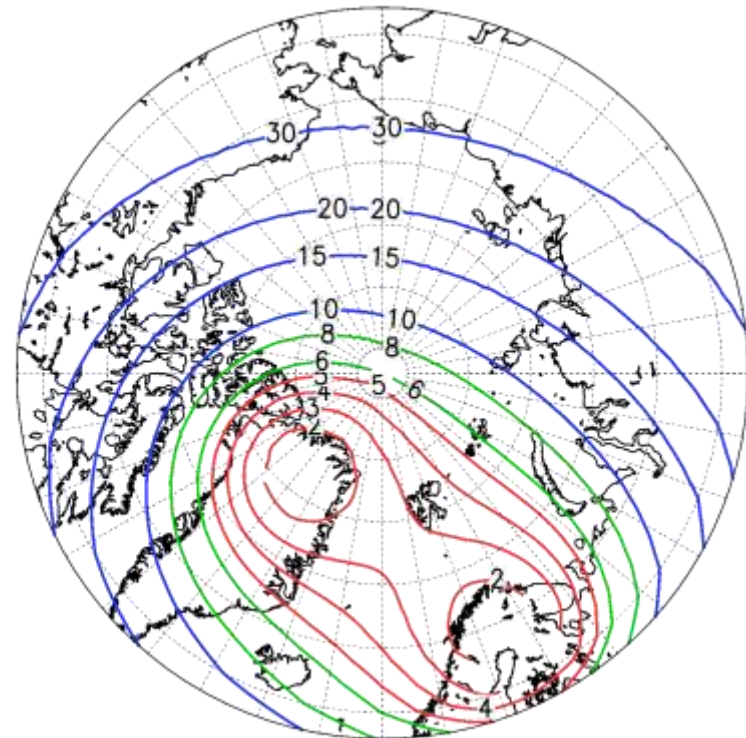
本研究の目的

- フラム海峡付近を高解像度とした海洋大循環モデルを用いて北極海への大西洋水流入を再現
- 大西洋水の流入に対する渦などの小規模現象の影響を調べる
- 北大西洋-北極海間の熱輸送量の変動要因について調べる

手法: 高解像度海洋モデル

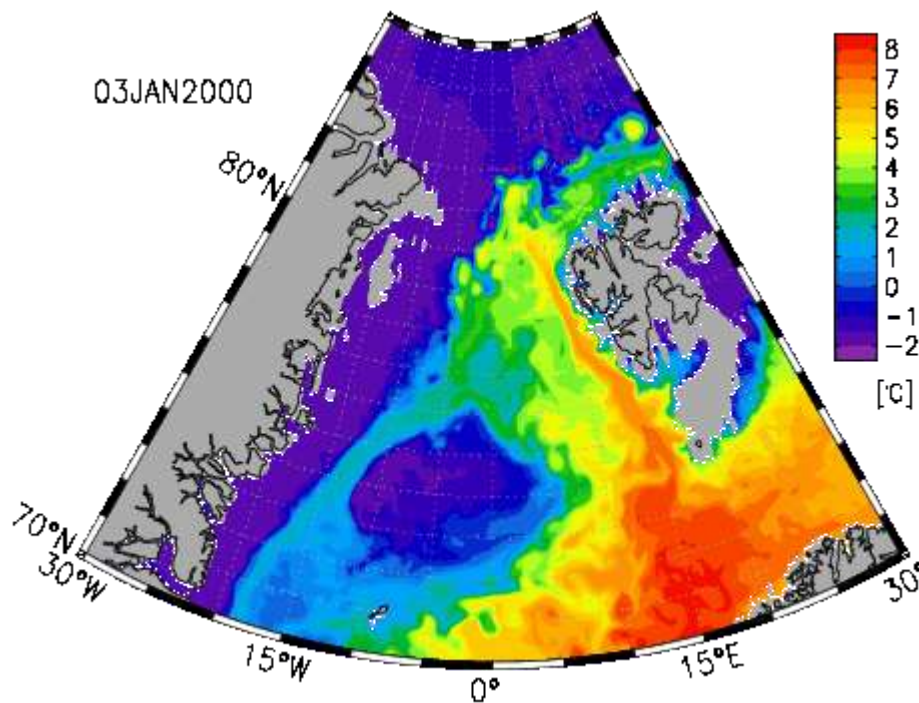
- 海氷-海洋大循環モデル COCO 4.5
- 海面境界条件: 再解析大気データの経年変動(CORE日平均)
- 水平格子をフラム海峡付近で格子幅 2-3kmと最小に設定

水平格子幅(km)

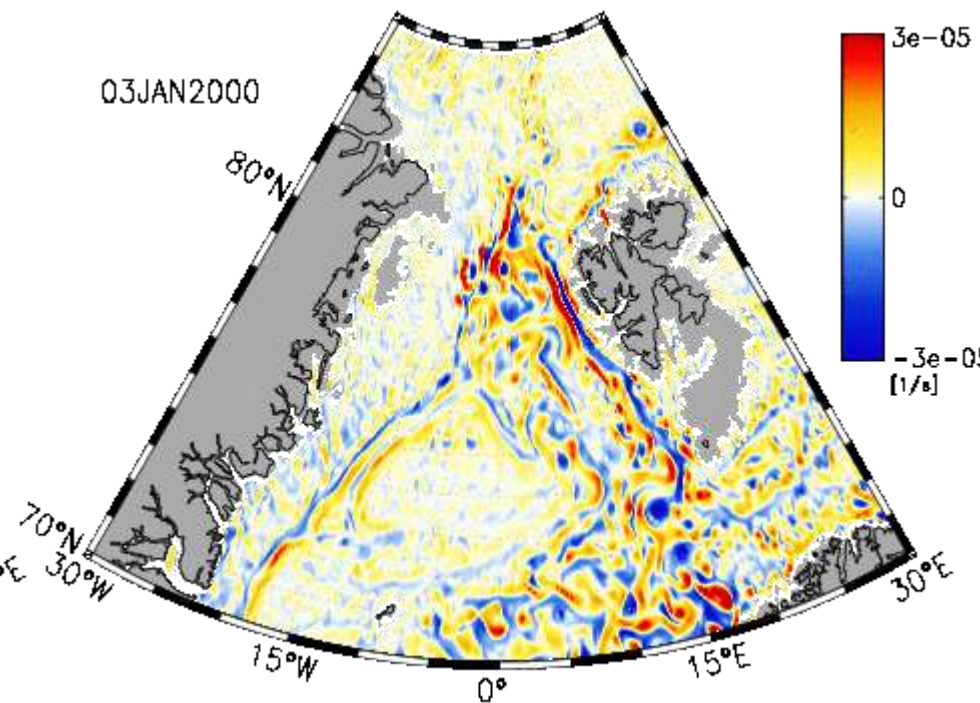


結果: フラム海峡での大西洋水流入と渦活動

ポテンシャル水温(100m)



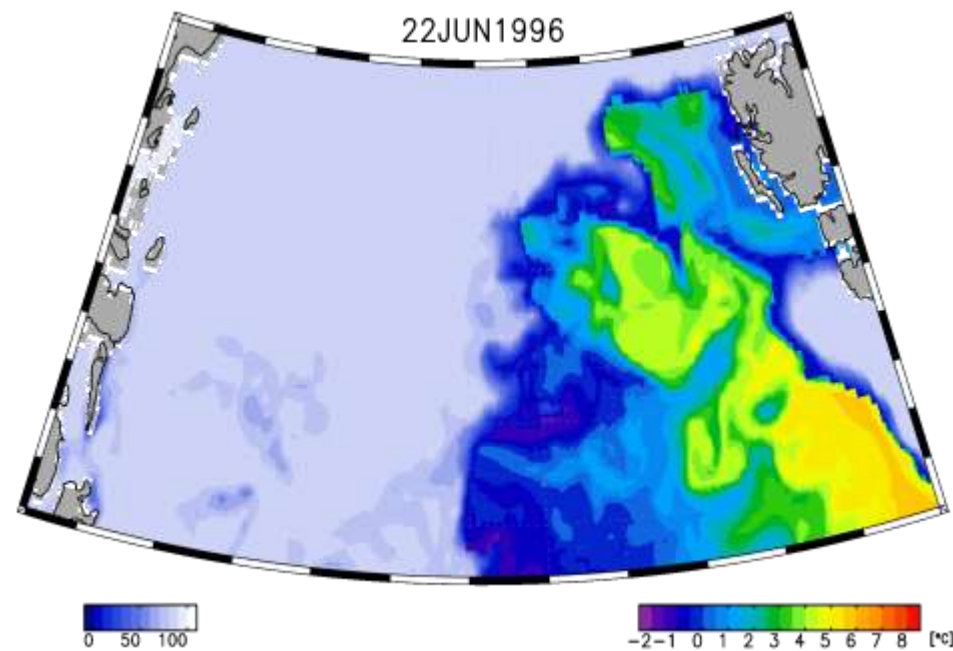
渦度(100m)



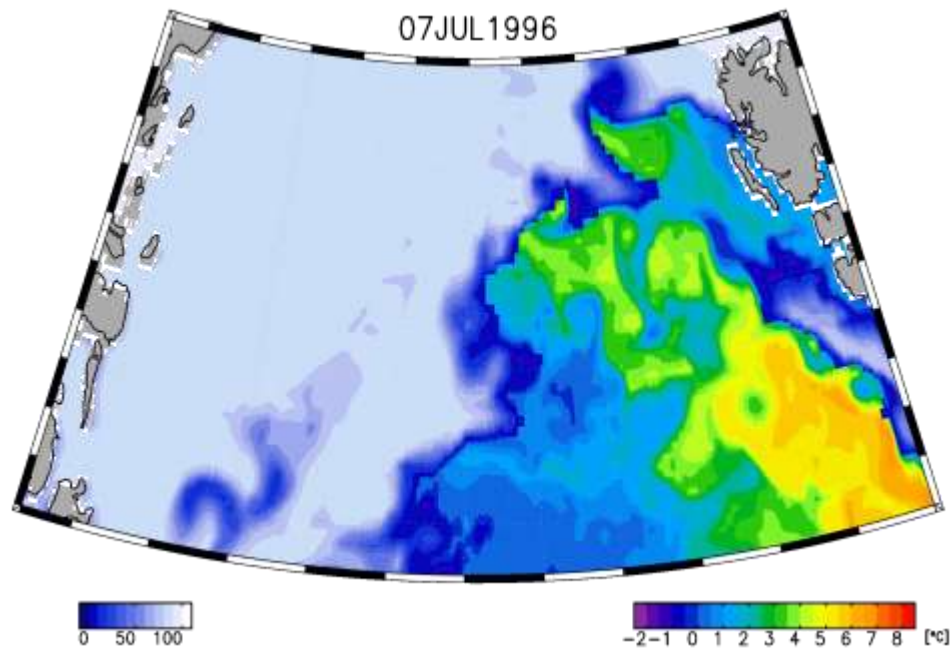
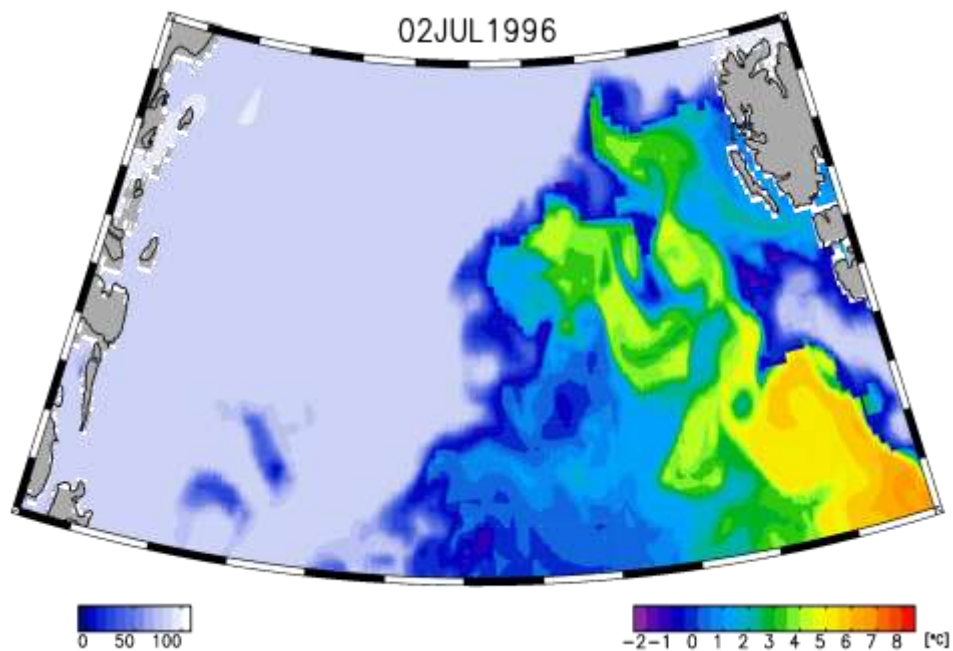
- 西スピッツベルゲン海流による北極海内への流入を再現
- 渦によって西スピッツベルゲン海流の高温水が西方へ輸送 (平均流によって輸送される熱を減少させる効果が期待される)

海面水温と海水密接度

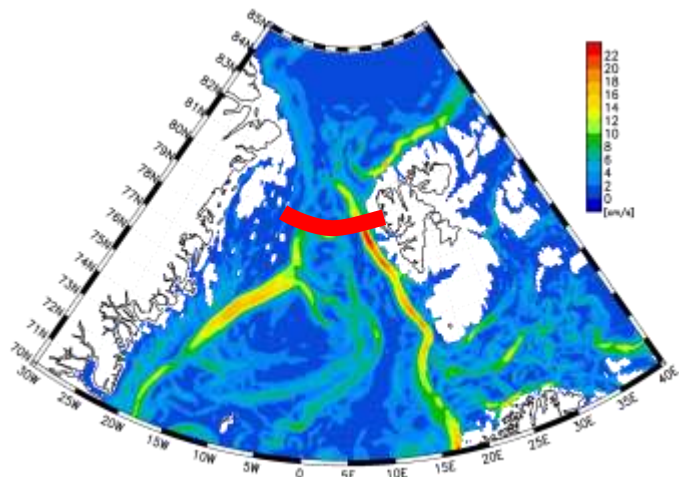
衛星観測.



(Johannessen et al., 1987)

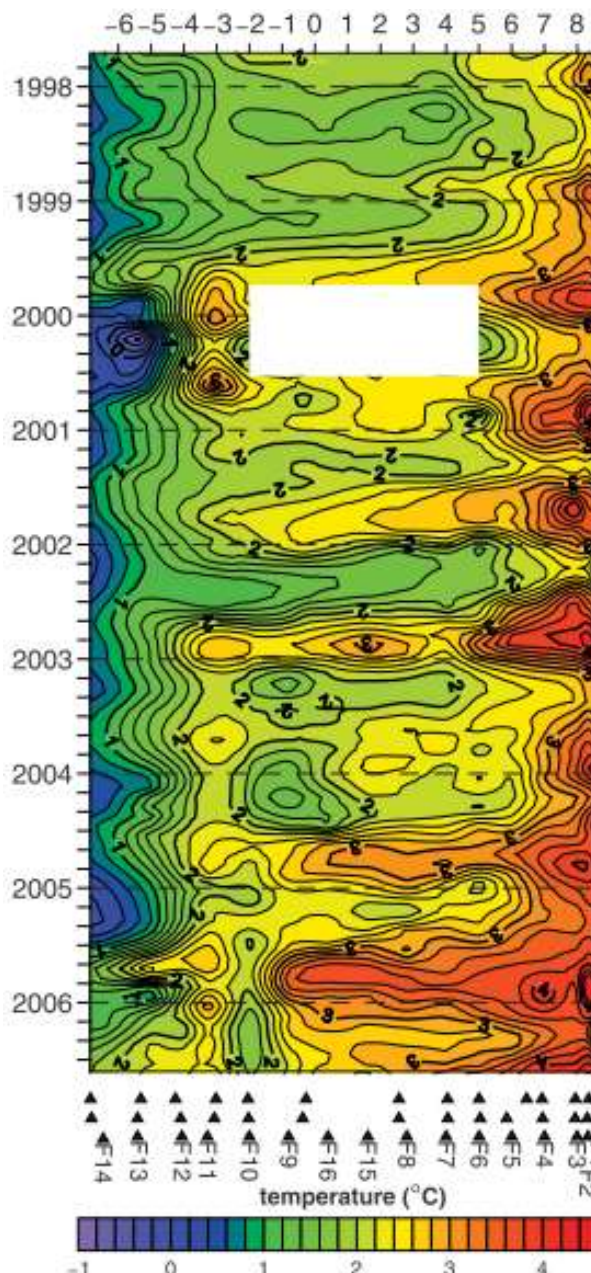


フラム海峡での 水温経年変動

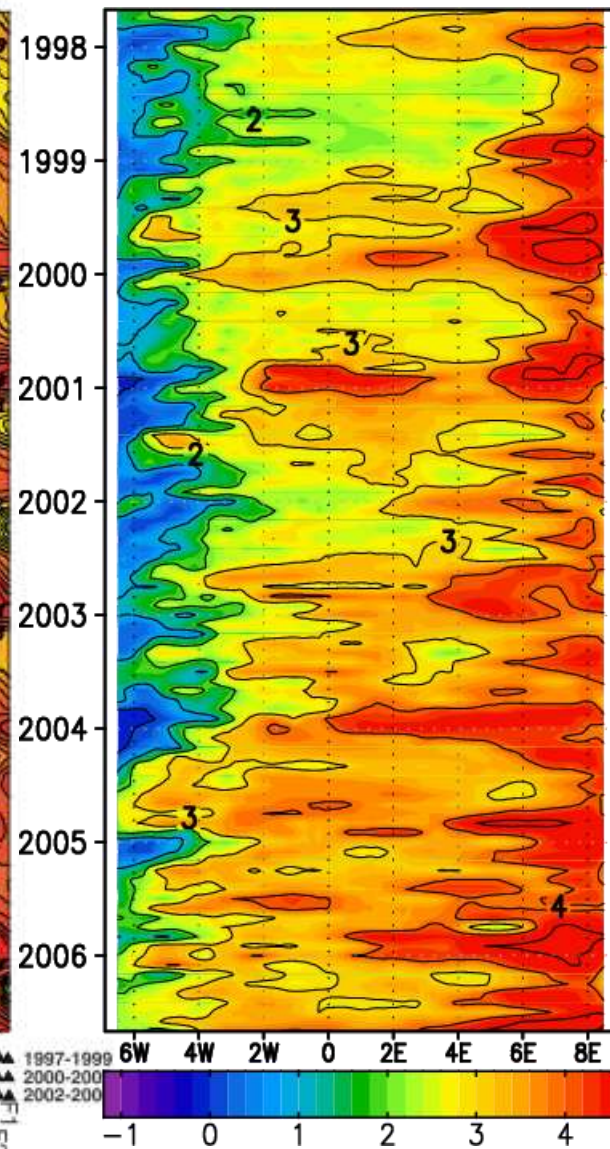


- 昇温トレンド等、実際の経年変動を表現
- フラム海峡を通過する熱量をよく再現
 - モデル: 57 TW
 - 観測値: 30-50 TW

係留系観測



モデル結果

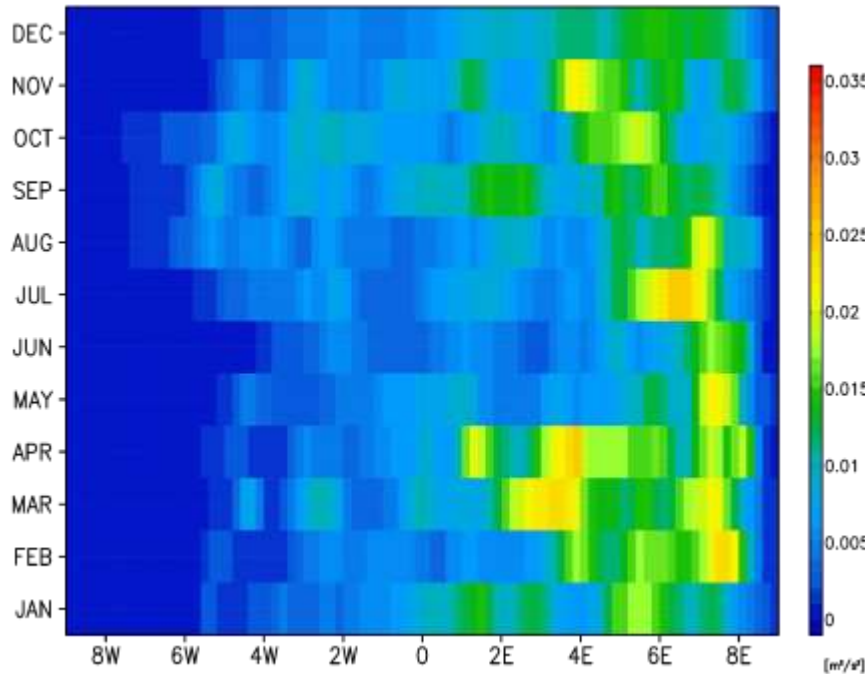


Schauer (2008)

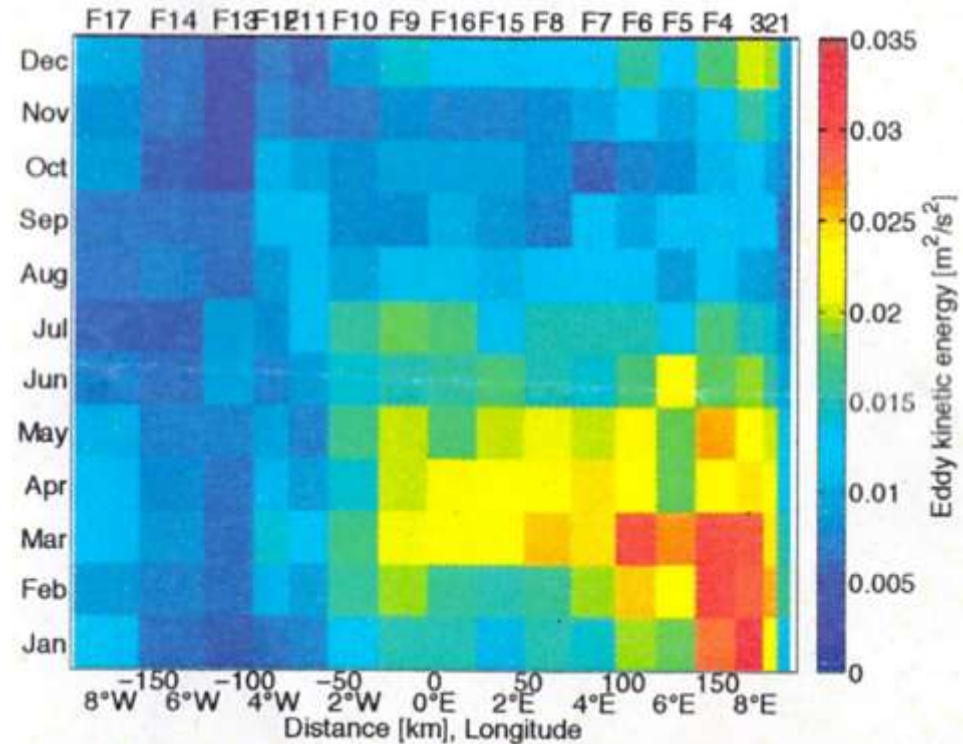
フラム海峡(北緯79度)での渦エネルギー

$$\text{渦エネルギー} = \frac{1}{2} \left[(u - \bar{u})^2 + (v - \bar{v})^2 \right]$$

モデル結果(1997-2010年平均)



係留系観測(1997-2014年平均)



Appen et al. (2014; OSM poster #739)

渦エネルギー(活動強度)は定量的に概ねよく再現

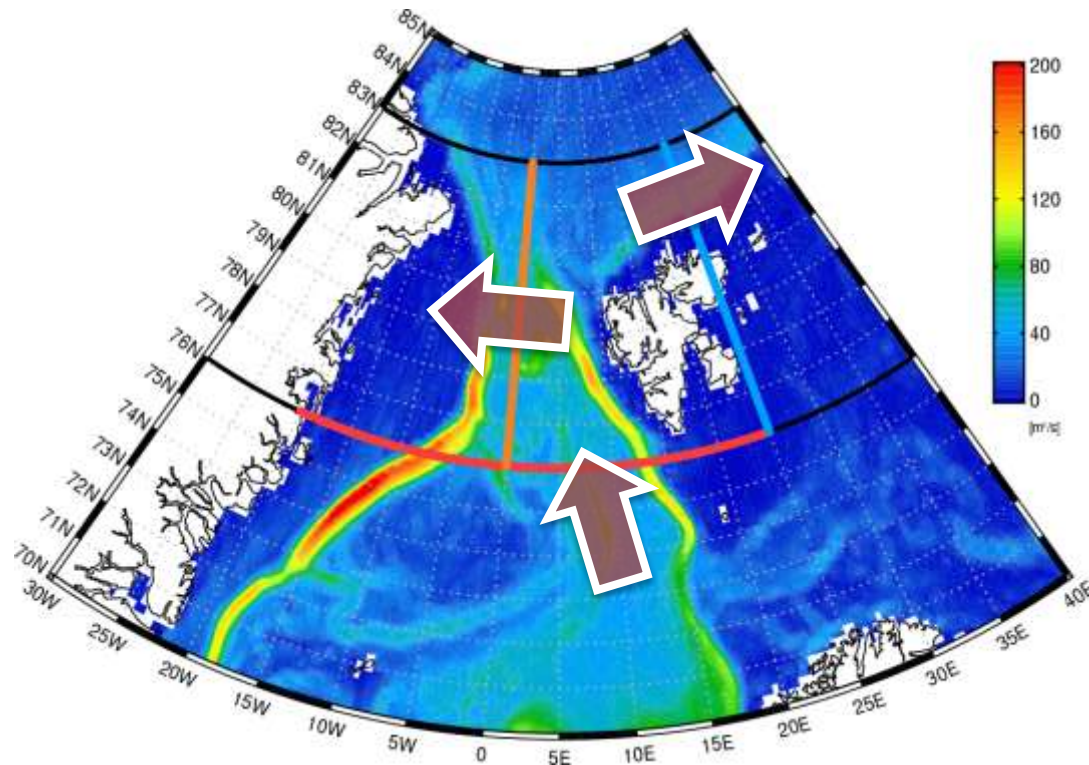
熱輸送量の見積もり

平均流・渦による北極海内への流入熱量・大西洋へ戻る熱量はどの程度か？

$$\text{熱輸送量: } \rho c_p \int_A [\theta - \theta_{\text{ref}}] v dA$$

$\theta_{\text{ref}} = -1.8^\circ\text{C}$ (結氷点): 海水融解への寄与

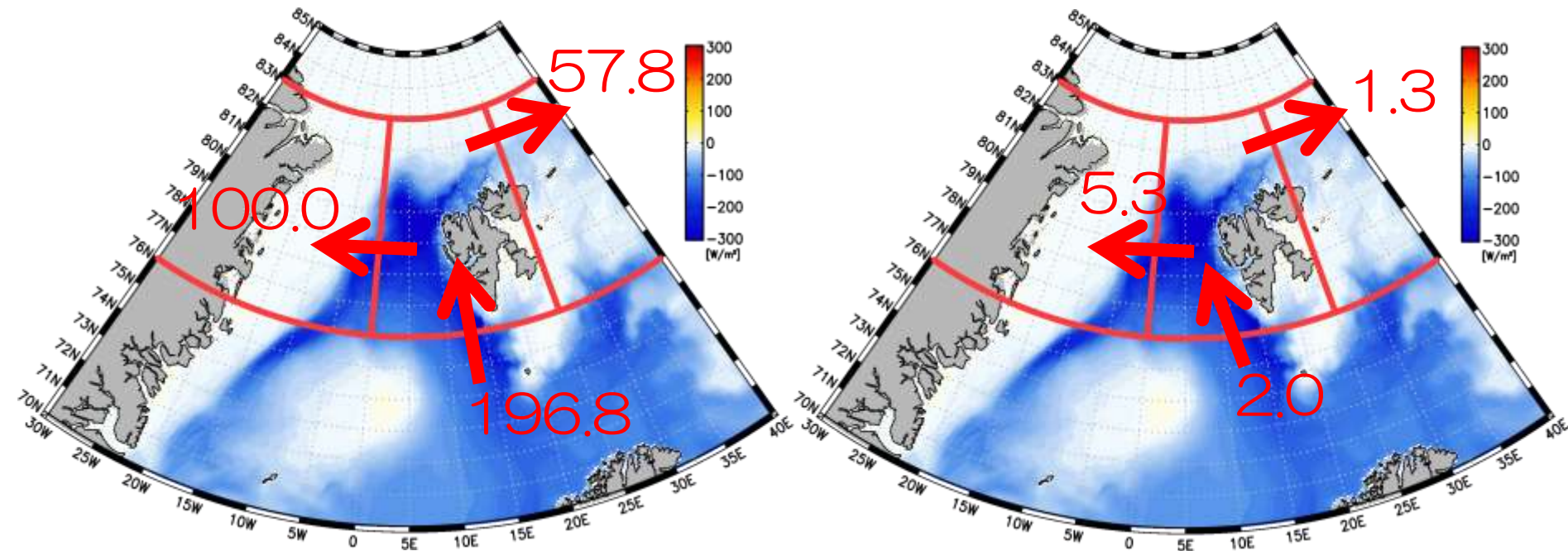
深さ0-100mでの水平流速



結果: 熱収支解析

平均流

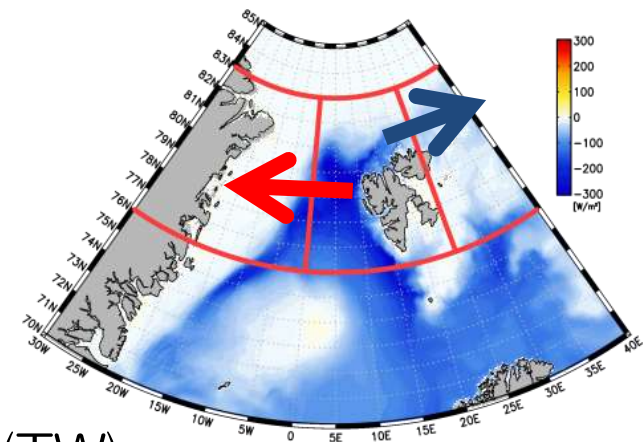
渦輸送



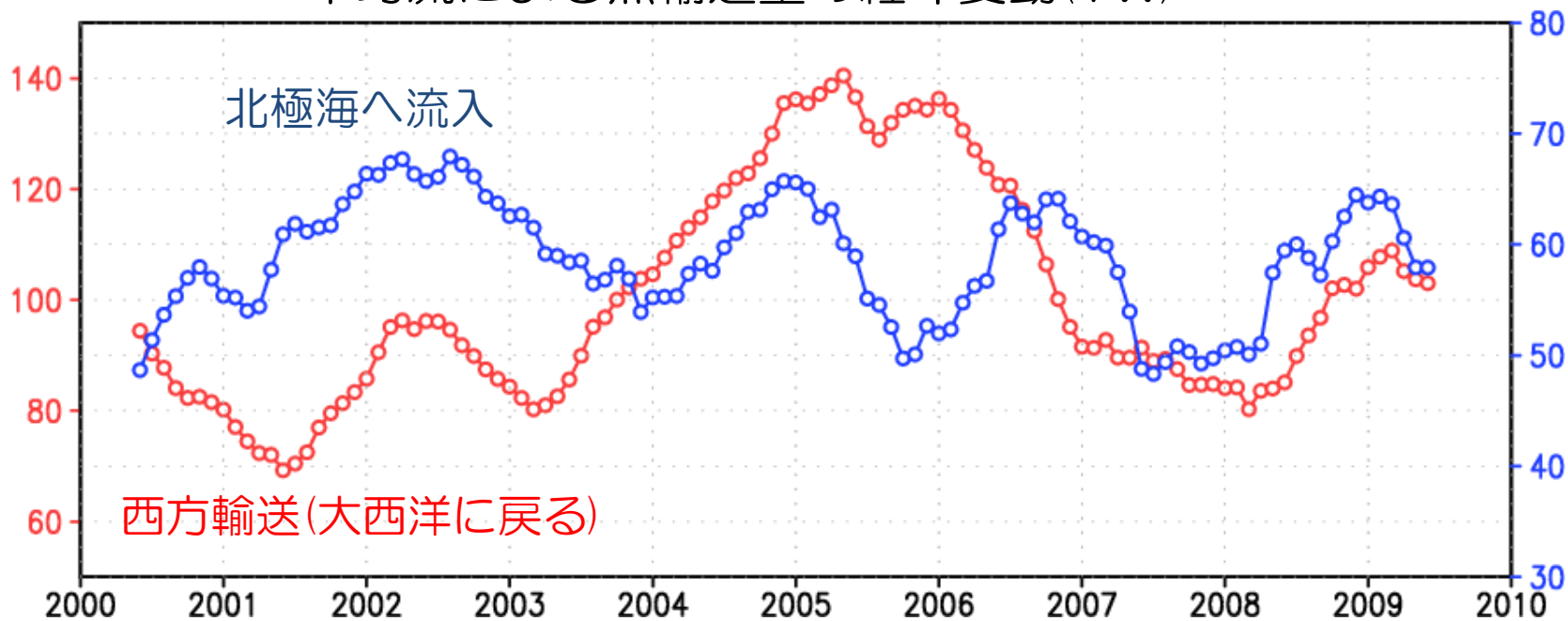
(単位: $TW=10^{12}W$)

- 渦による熱輸送量は平均流による熱輸送量より小さい
- フラム海峡付近へ流入する熱のうち約1/2は西方輸送、約1/4が北極海内に流入(残りは海面冷却によって消失)

結果: 北極海への熱流入量と 西方への熱輸送量の変動



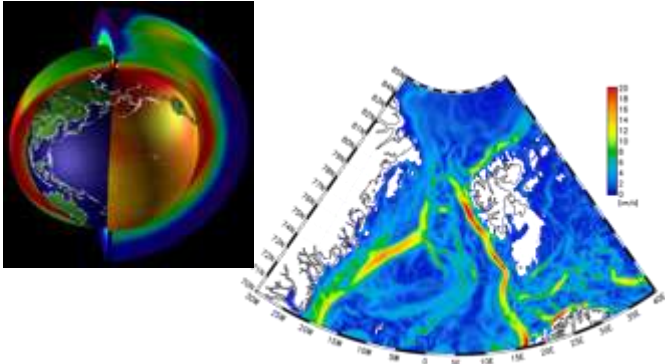
平均流による熱輸送量の経年変動(TW)



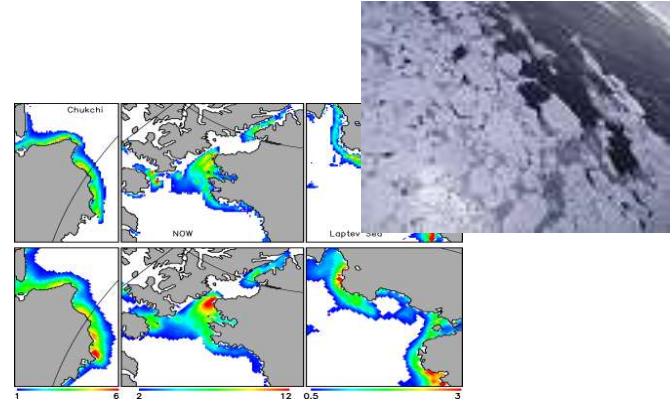
- 大西洋へ戻る熱量の変動は大きい(北極海への熱流入量は比較的安定)
- 両者の相関は低い(0.2以下) → それぞれ異なるメカニズムによって変動?

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 (羽角)



海水海洋観測 (大島)

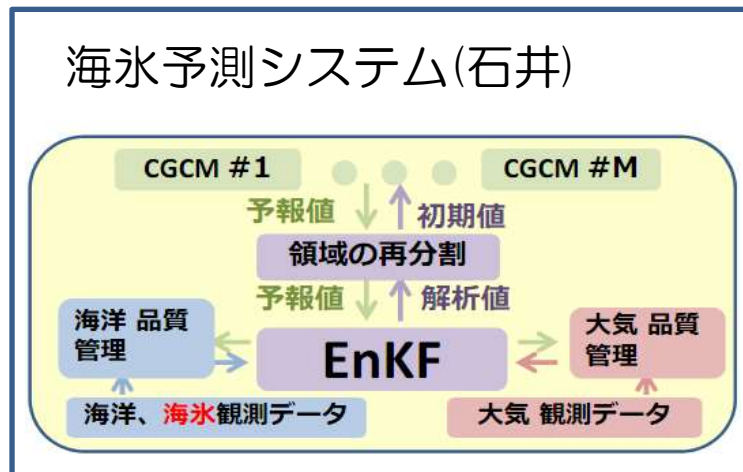


連携

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 (石井)



北極海氷分布の
長期変動予測