# 全球モデルを用いた寒冷圏プロセス高度化と 北極気候再現性検証による 北極気候変動メカニズムの研究

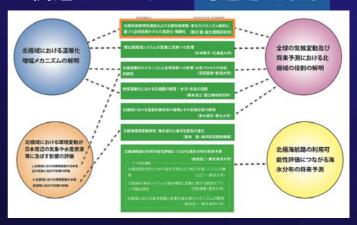
小室 芳樹(課題代表者; JAMSTEC/IACE)

参画機関:海洋研究開発機構 国立極地研究所 国立環境研究所 気象庁気象研究所

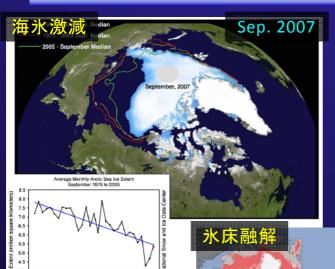
東京大学 北海道大学 新潟大学

岡山大学

関連プロジェクト: GRENE-Arctic



### はじめに:急激に変化する北極域



(左上:

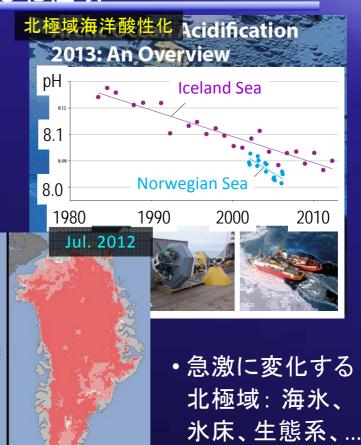
Millar et al., 2010;

右上:

AMAP, 2014;

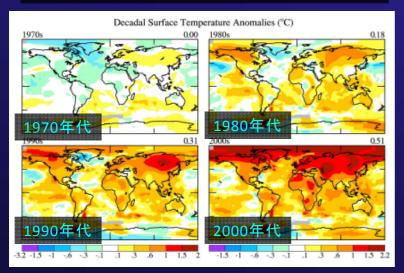
中央下:

from NASA website)



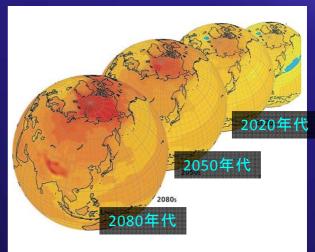
### はじめに:上昇する北極域の気温

### 過去の地上気温推移(1950年代からの差)



(Hansen et al. 2010, Rev. Geophys.)

#### 気温の将来予測の一例

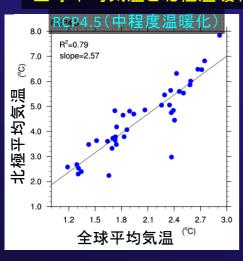


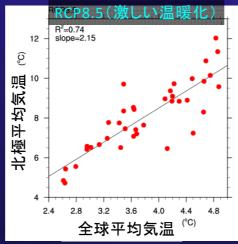
(taken from GRENE-Arctic Website)

- ・上昇傾向にある世界の気温の中でも、北極域の昇温は顕著→ かつて予測された北極温暖化増幅は実際に起きている!
- 将来の予測でも、やはり北極の高温化は激しい

### はじめに: 上昇する北極域の気温

### 全球平均気温と北極温暖化増幅(CMIP5 40モデル)





#### 地表気温上昇の予測幅 (21世紀末)

	RCP4.5	RCP8.5
全球	1.1-2.6	2.6-4.8
北極	1.6-6.9	5.2-11.4

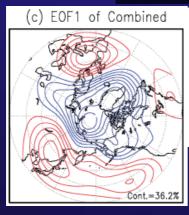
(from IPCC WG1 AR5 Table12.2)

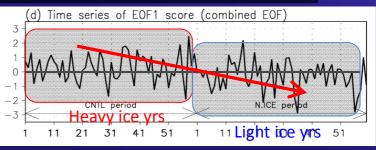
(by courtesy of Dr. Yoshimori)

- ・北極の昇温は全球の2~3倍、モデルに依らず強い関係がある → しかし、メカニズムの定量的な理解は不十分
- ・北極では昇温幅が大きい分、不確定性も大きい
  - → 予測を意志決定等に活かすためにも、モデルの改善を進め 極域の不確定性を減らすことが必要

### はじめに: 中低緯度に影響する北極域の変動

海氷減少に伴う北極域外の変動(研究の一例)





**Negative AO** 

- → Warm Arctic (accelerating the Polar amplification)
- → Cold mid-latitude (severe winters, recently observed)
  (Nakamura et al., 2015)

・近年、北極の変化が北極域外に影響を与えるとの指摘 たとえば、北極海氷減少→日本を含むユーラシアの厳冬

→ 北極-中低緯度域の気候学的つながりの更なる理解が必要 日本の気候の中・長期予測の信頼性向上にも重要

### はじめに:本年度の主な取り組みと成果

北極域の気候変動を数値モデルを通じて解明するには

- ✓ 気候モデルに残る極域での大きな不確定性の改善
  - ▶ 寒冷域に特有なプロセスの高度化・精緻化 簡易な融雪湿地スキームによる北極周辺域の 再現性改善
- ✓ 北極が全球平均より激しく温暖化する現象(北極域温暖 化増幅; Arctic Amplification)の理解
  - ▶ 切り分け実験による定量的な解析 北極温暖化増幅における大気熱輸送の役割
- ✓ 北極域変動が日本を含む中低緯度へ及ぼす影響の理解
  - ▶ 大気モデルを用いた伝播過程の研究 北極域の海氷減少が中緯度域に及ぼす影響と 対流圏-成層圏結合

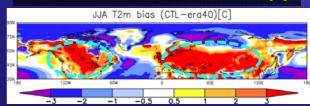
気候モデルに残る極域での大きな不確定性の改善

# 簡易な融雪湿地スキームによる 北極周辺域の再現性改善

### 融雪湿地スキームよる北極周辺域の再現性改善

- ・多くの気候モデルで、北極を囲む 中高緯度陸上が夏に暑すぎる
- ・春~夏の雪解け水は現実には季節的な湿地を形成するが、モデルでは河川を通じて流れてしまう
- →簡易な融雪湿地モデルの導入
  - ▶雪の融け水を貯める「タンク」
  - ▶融け水の一部がその場でじわじわと蒸発

#### MIROC5の夏季 2 m 気温バイアス [C]



中高緯度の陸上に高温バイアス → 多くの気候モデルに共通の課題

#### 簡易融雪湿地モデルのアルゴリズム



Parameters:  $\alpha = 0.1, \\ \tau = \max(2592000 * (1-\min(\text{grzsd},200)/200), \text{ dt}) \text{ [s]}$ 

- τは標高の標準偏差grzsdに依存
- 最大で1ヶ月に設定

### 融雪湿地スキームよる北極周辺域の再現性改善

### 結果

- 表層土壌水分増加、 特に夏に顕著
- 夏季土壤水分增加
- →潜熱増加
- →地上気温低下
- →高温バイアス改善
- 他の地域・季節のバイアスを悪化させない

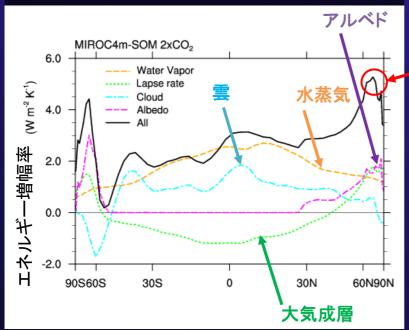
簡易な融雪湿地モデルの 導入による変化→

> 北極が全球平均より激しく温暖化する現象 (北極域温暖化増幅; Arctic Amplification)の理解

> > 北極温暖化増幅における 大気熱輸送の役割

### 北極温暖化増幅における大気熱輸送の役割

プロセス別のエネルギー増幅率 [W/m²/K] (MIROC4m大気-海洋混合層モデル, 2xCO2時)



北極は地球平均に比べて 約1.8倍正のフィードバック が強い.

(from Yoshimori et al., 2009)

- ・北極は温暖化の増幅率が高い → 北極で起こるプロセスが重要
- ・北極外の温暖化が激しいモデルは、北極の温暖化も激しい
  - → 北極外から運ばれてきた熱が、北極で増幅する?

### 北極温暖化増幅における大気熱輸送の役割

先行研究: MIROC4m-SOM(大気大循環・海洋混合層モデル)を用いて平衡実験 (Yoshimori and Abe-Ouchi, in prep.)

本研究: MIROC4m(大気海洋結合モデル)を用いて過渡応答を調査

#### 実験設定

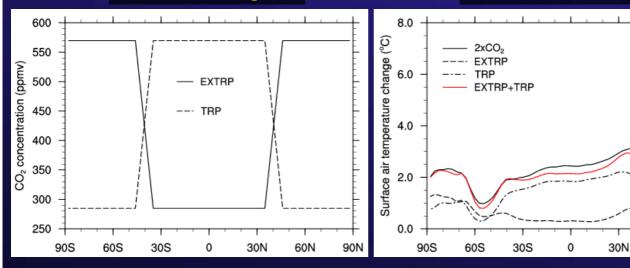
### 緯度依存するCO。濃度

#### 解析結果

地上気温変化(81-100年)

60N

90N

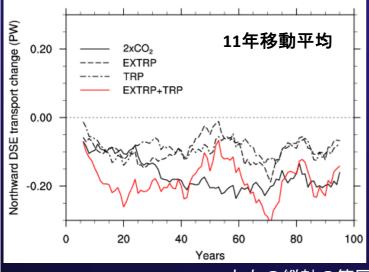


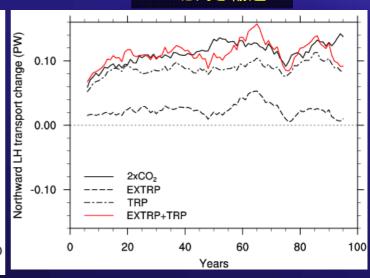
・低緯度のCO2を増やしても中高緯度のCO2を増やしても、 北極は同程度に温暖化する

### 北極温暖化増幅における大気熱輸送の役割

解析結果

60Nにおける乾燥静的 エネルギーの北向き輸送 60Nにおける潜熱 の北向き輸送





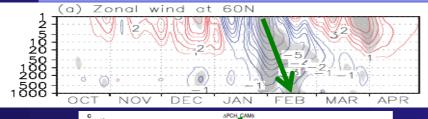
左右の縦軸の範囲の違いに注意!

・60Nにおける大気の北向き全熱輸送(乾燥静的+潜熱)は減少 →北極外から運ばれてきた熱が、北極で増幅するのではない 水蒸気が運ばれてくることによる温室効果によって増幅?

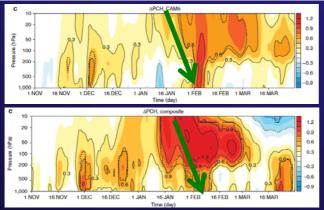
北極域変動が日本を含む中低緯度へ及ぼす影響の理解

北極域の海氷減少が中緯度域に及ぼす影響と 対流圏-成層圏結合

## 北極海氷減の中緯度域影響:対流圏-成層圏結合

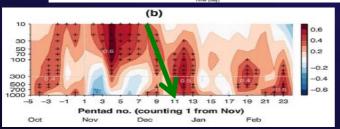


ΔU, **Simulation** *Nakamura et al., 2015, JGR* 



ΔPCH, **Simulation** *Kim et al., 2014, Nat. Commun.* 

ΔPCH, **Observation** *Kim et al., 2014, Nat. Commun.* 



ΔU, **Observation** *King et al., 2015, Clim. Dyn.* 

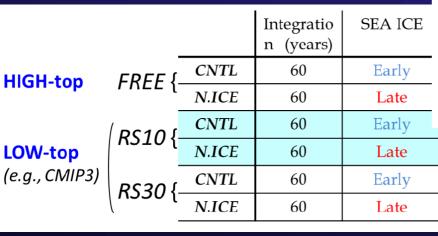
Arctic sea-ice reduction -> polar vortex weakening and negative AO

北極と中緯度域は大気の上層(成層圏)を通じてつながっている?

### 北極海氷減の中緯度域影響:対流圏-成層圏結合

### 成層圏の役割を切り出すための感度実験

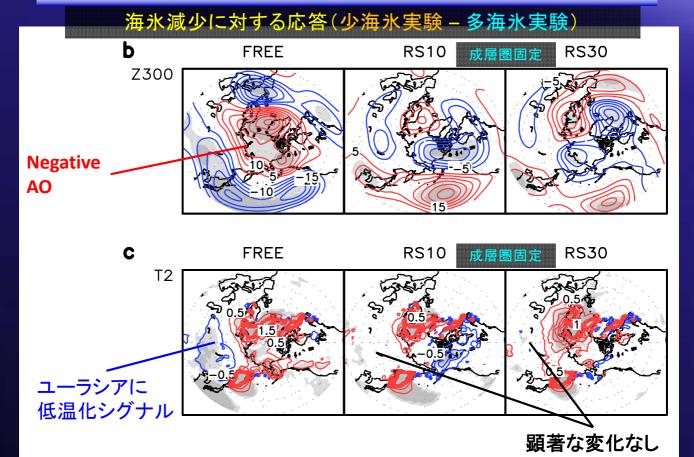
- AGCM For Earth Simulator (AFES4.1) T79L56/60km top 使用
- ある高度(10 hPa/30 hPa)より上の風を気候値に固定(緩和)
  - → 成層圏をシグナルが伝わらないようにしたら、何が変わる?



(d) ICE(cm) JAN Recent - Past

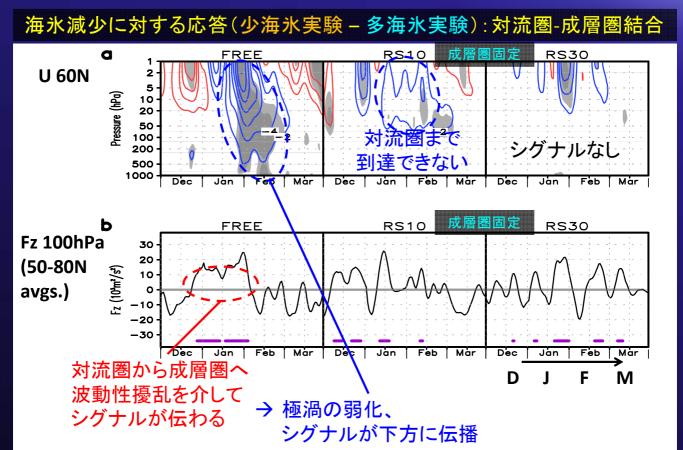
Winter

## 北極海氷減の中緯度域影響:対流圏-成層圏結合



少海氷実験: 2005-2009 の海氷 多海氷実験: 1979-1985 の海氷

## 北極海氷減の中緯度域影響:対流圏-成層圏結合



Contour: Anomaly of N.ICE - CNTL Shade: Statistical significance of 95/99%

9 / 10

### 本年度のまとめ

- ✓ 気候モデルに残る極域での大きな不確定性の改善
- ▶ 簡易融雪湿地スキームによる北極周辺域の再現性改善 融雪などで生じる季節的な水たまりを表現することで、 ユーラシア高緯度の夏季高温バイアスを低減
- ✓ 北極域温暖化増幅の理解
- ▶ 北極温暖化増幅における大気熱輸送の役割 低緯度からの温暖化増幅は直接的な熱輸送の結果では なく、輸送された水蒸気と雲の温室効果によることを示唆
- ✓ 北極域変動が日本を含む中低緯度へ及ぼす影響の理解
- ▶ 北極域の海氷減少が中緯度域に及ぼす影響と 対流圏-成層圏結合 近年の北極海氷減少と頻発する中緯度の厳冬について、 成層圏過程が重要な役割を持つことを示した

## 新ESの資源を活かして:来年度に向けて

▶ 高解像度化と多メンバー化 モデルの潜在的予測可能性を より高精度に定量化する

(by courtesy of Drs. Nishii and Nakamura)

> 詳細な感度実験 将来まで見据えた幅広い海氷 変動に対する中緯度の応答

(by courtesy of Drs. Nakamura and Ukita)

▶ 北極海ネスティング 全球気候モデルに高解像度の 北極海を埋め込む

