

大気海洋物理学基礎論(海洋編)の試験

6月7日は予定通り、試験を行います。

10:30ぴったりに開始、5分前までにD201に来てください。
直前の授業などで遅れる人には時間をずらして行います。

左右には2つ、前後には1つ以上の空席を
必ず作って着席してください。

試験時間は10:30から11:35の65分

残りの25分はテスト問題を使っての解説・復習を行います。

諸事情(コロナの不安も含む)で試験を受けることができない学生は、6月7日の朝9時までに、大島まで理由を言って申し出て下さい(メールでも可)。別途レポート(試験より質・量が変わります)を課します。

第6回：基礎論（海洋編）

- 海洋の観測
- 地球温暖化と海

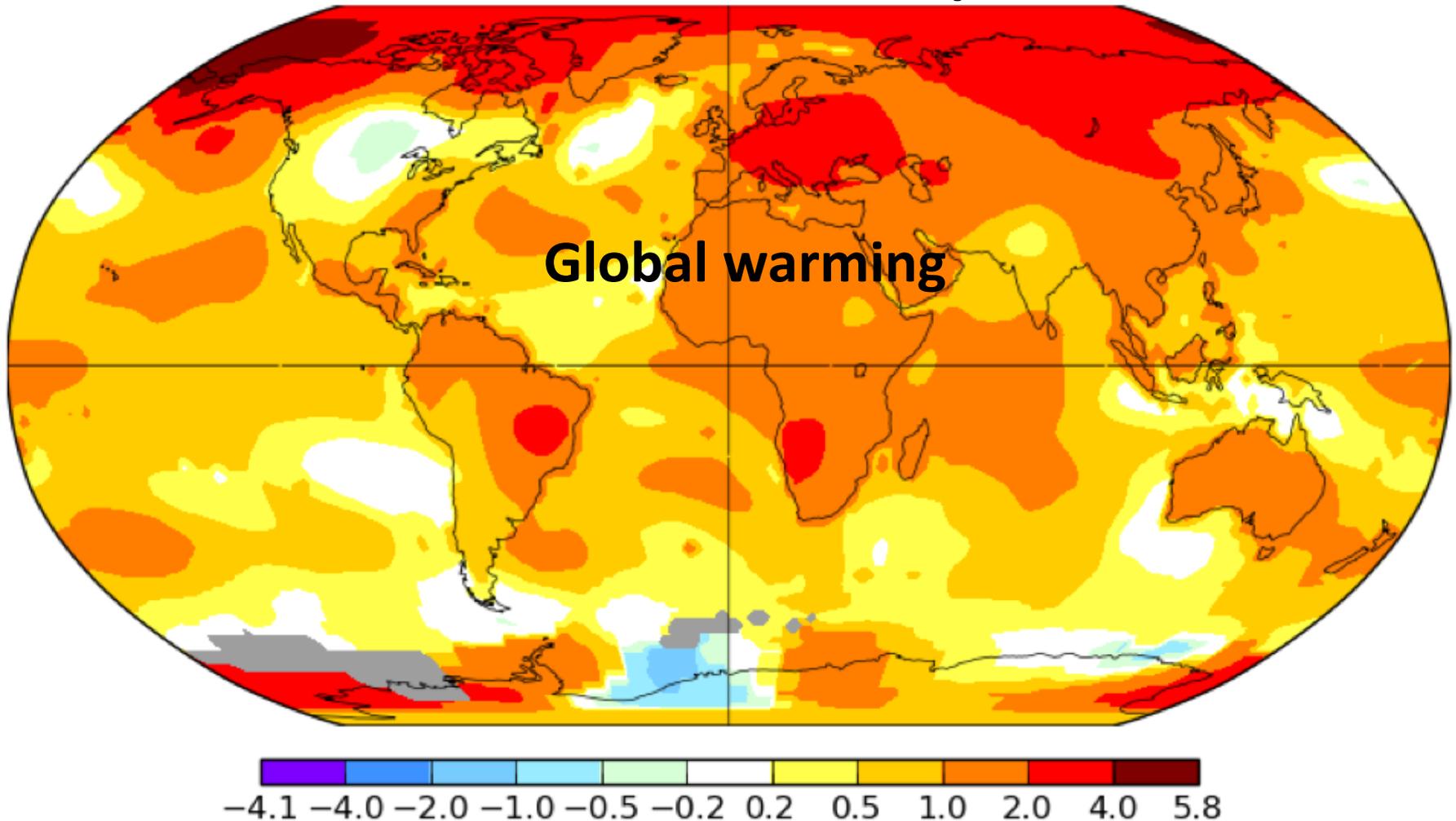
2019年の1951-1980年平均からの地上気温偏差

Annual J-D 2019

L-OTI(°C) Anomaly vs 1951-1980

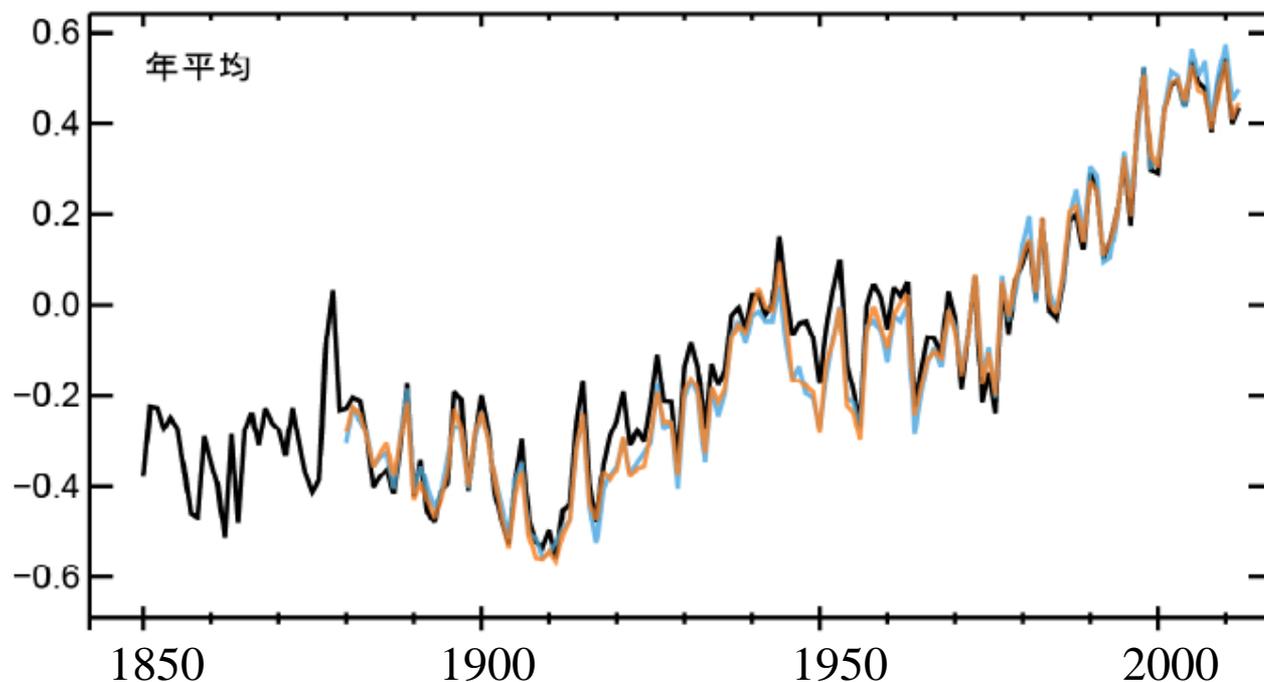
0.98

Polar amplification



The Climate Data Guide: Global surface temperature data: GISTEMP:
NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS) Surface Temperature Analysis

地上気温の変化



世界平均地上気温は
1880年から2012年まで
約 0.85°C 増加した。

この50年で
約 0.65°C 増加した。

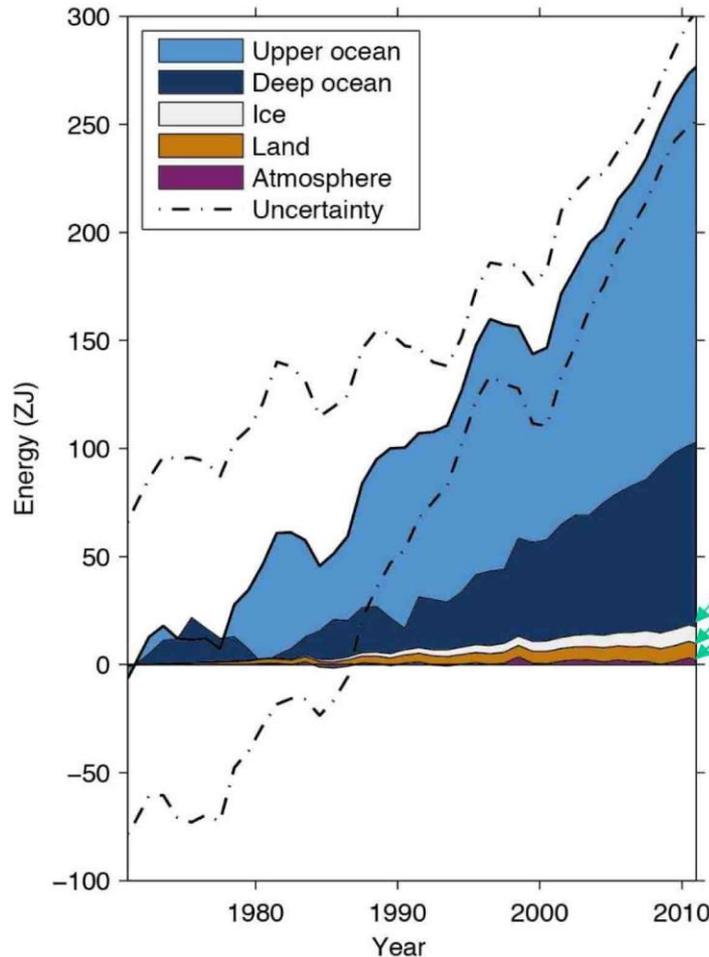
観測された世界平均地上気温(陸域+海上)の偏差(1850~2012年)

IPCC 第5次評価報告書(2013)による

1971年以降に地球が蓄えた熱エネルギーの推移

1年あたり約 7×10^{21} Jを蓄積

100万kW原子力発電所1基の年間発電電力量の20万倍以上



海洋 93%
(表層 64%)
雪氷融解 3%
陸面 3%
大気 1%

Z(Zetta)J= 10^{21} J

$274 \text{ ZJ} \rightarrow 0.42 \text{ Wm}^{-2}$

海洋が90%以上を占める
→地球温暖化は海洋温暖化！

IPCC 第5次評価報告書(2013)による

温暖化・気候変動研究とIPCC、日本の貢献

市民・科学者

国連

IPCC:気候変動に関する政府間パネル
(Intergovernmental Panel on Climate Change)

新しい研究をする組織ではなく
研究を評価する仕組み

評価報告書を通じて判断の根拠を提供。
政策関連だが、政策提言ではない。
Policy relevant, but not policy prescriptive.

アル・ゴアとともに2007年ノーベル平和賞

科学者

- IPCC創設
- IPCC第1次評価報告書
- IPCC第2次評価報告書
- IPCC第3次評価報告書
- IPCC第4次評価報告書
- IPCC第5次評価報告書
- 海洋・雪氷圏特別報告書

1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020

ストックホルム 地球サミット

国連環境計画
(UNFCCC)採択創設

ナイロビ

リオ 気候変動に関する枠組み条約
(UNFCCC)採択

COP1 ベルリン UNFCCC COP
COP3 京都 京都議定書

ヨハネスバーグ

COP15 コペンハーゲン 2050年までに

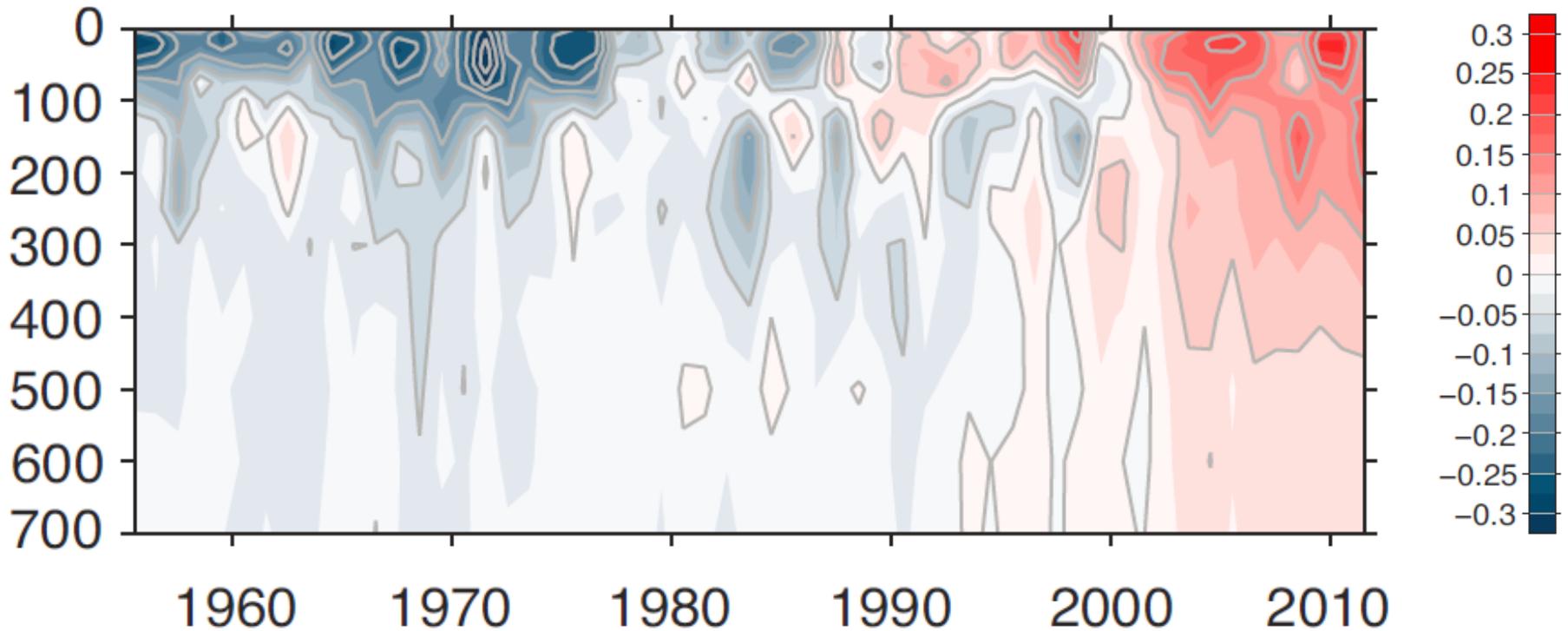
リオ+20

COP21 パリ パリ協定

COVID-19で延期

IPCC 第6次評価報告書 2021→2022

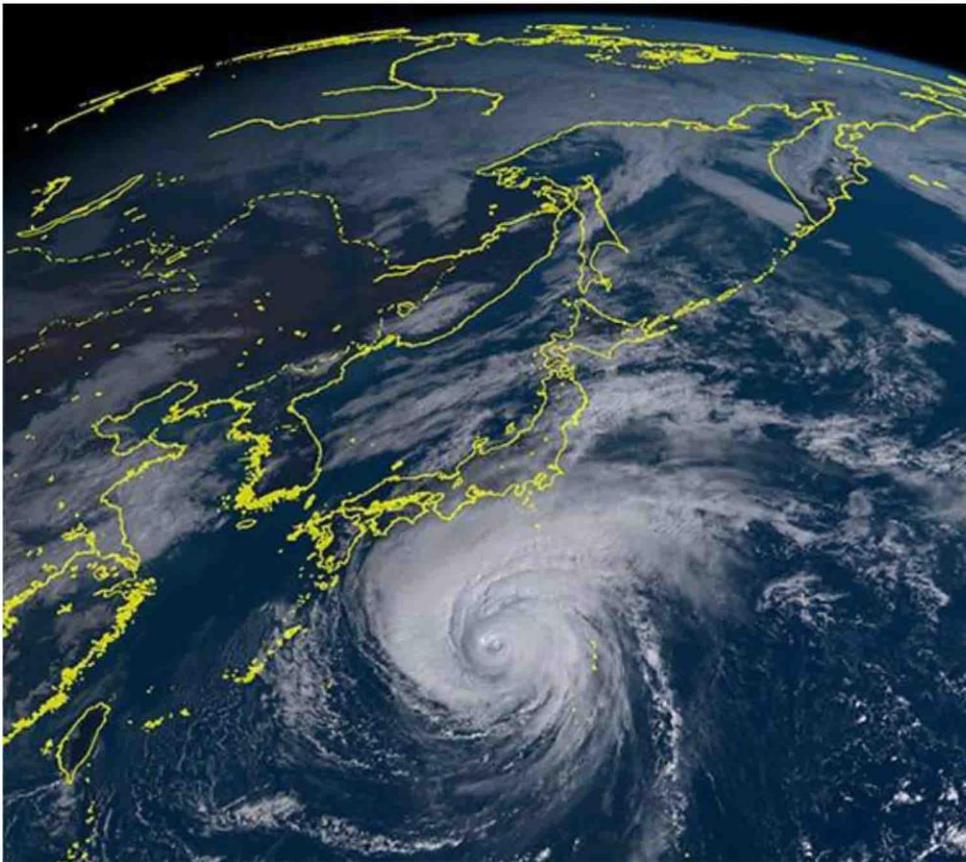
1971年から2010年において、海洋表層(0~700m)で水温が
上昇したことは ほぼ確実



世界平均海水温の偏差 (1971年-2010年平均からの差)

IPCC 第5次評価報告書(2013)による

令和元年 台風19号 “スーパー台風”



himawari8.nict.go.jp/ja/himawari8-image.htm



水の暴威

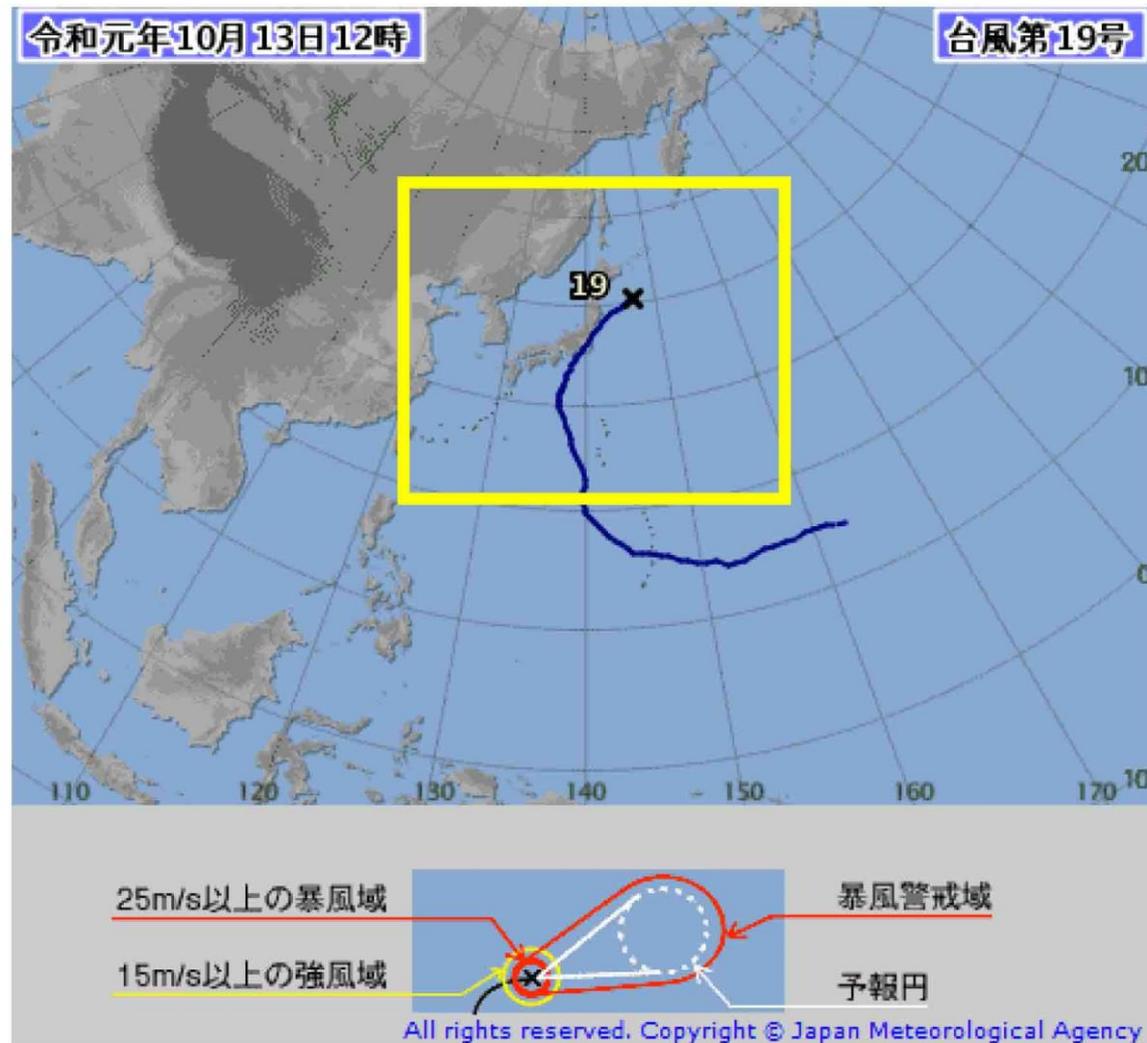
東日本を直撃し、未曾有の被害をもたらした

令和元年東日本台風（台風第19号）による大雨、暴風等

2019年10月10日～10月13日

掲載の画像・写真の著作権を尊重し、すべての写真に日本の著作権法及び国際条約により保護されています。

なぜ台風19号はあれほど強烈だったのか？



台風が発達し、維持されるためには、海面水温がある程度以上高い必要がある。

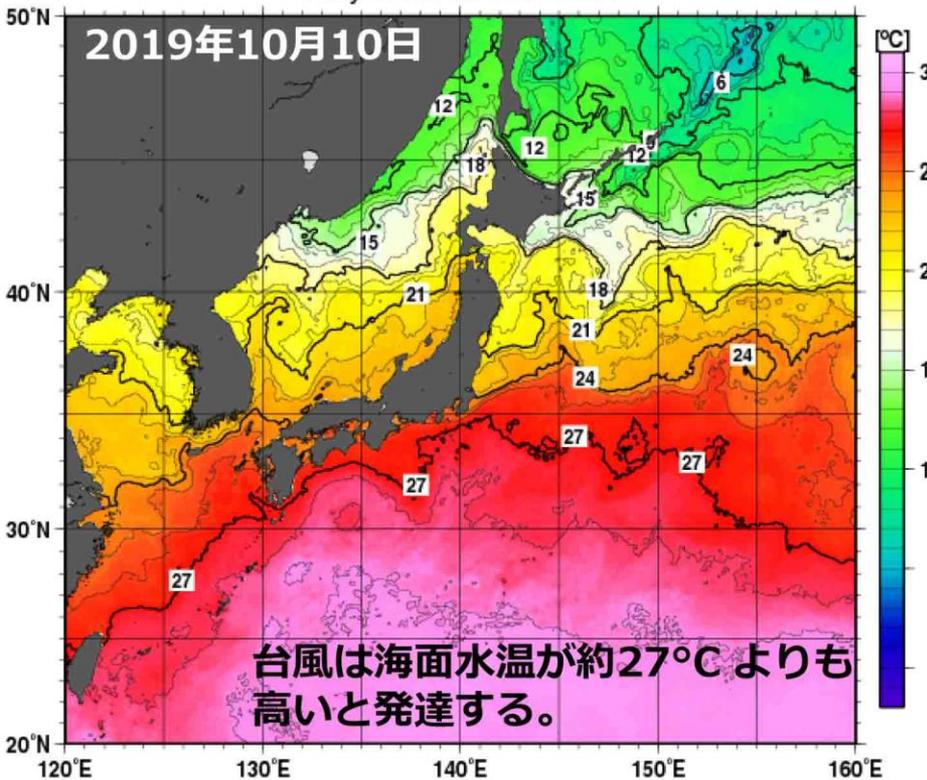
10月の日本付近の海面水温は十分に低いため、台風は日本に接近するまでに勢力を弱めるのがふつう。

しかし、このときは違った。

台風19号襲来時の 日本付近の海面水温は異常に高かった。

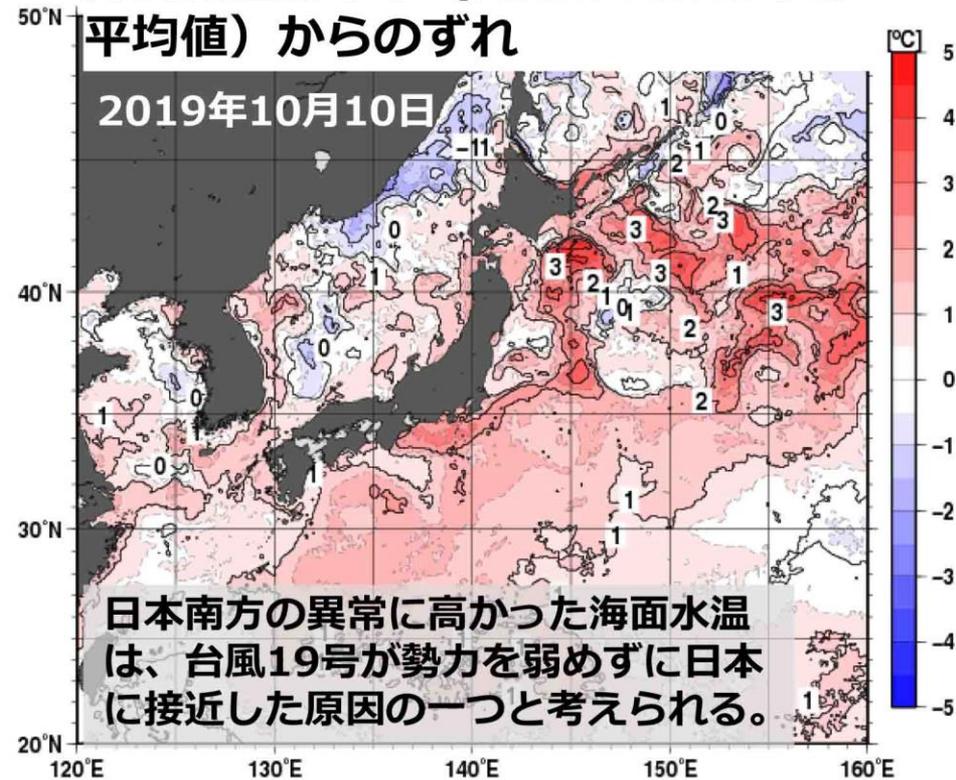
海面水温

Daily SSTs 10 Oct. 2019.



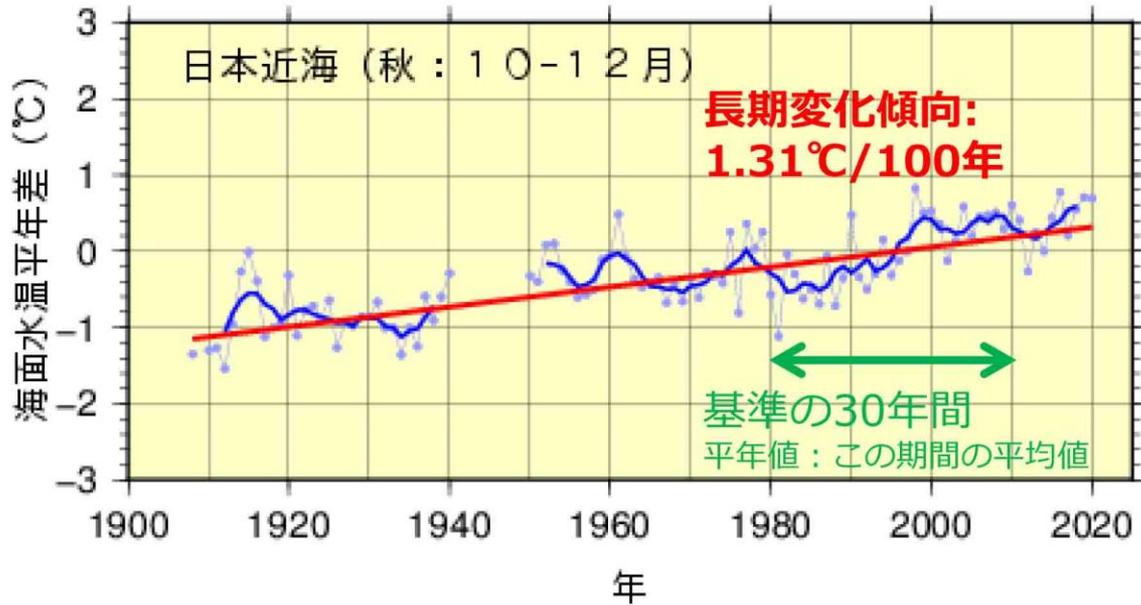
www.jma.go.jpの図に基づく

海面水温の平年（1981-2010年の 平均値）からのずれ



www.jma.go.jpの図に基づく

日本の周辺の海面水温の変動と長期変化傾向



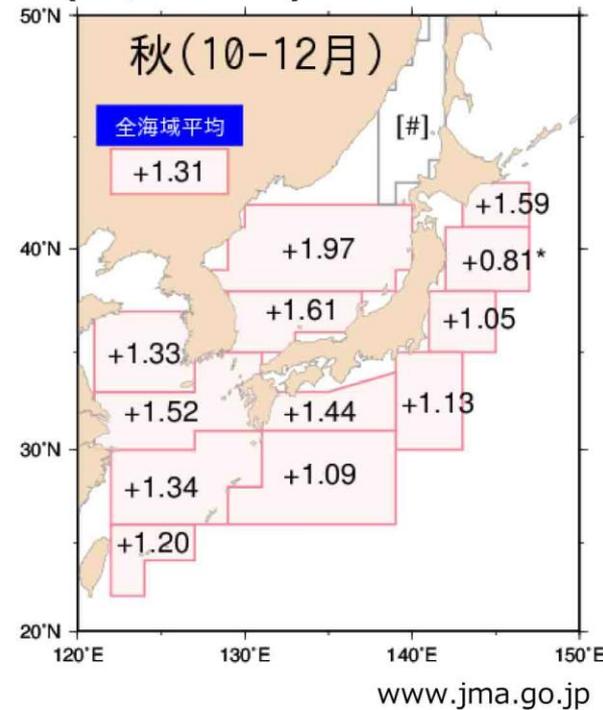
www.jma.go.jpの図に基づく

海面水温は毎年的高低差が大きいものの、**長期的な上昇傾向**が明らかである。

海面水温が長期的に上昇した結果、10月の日本付近に約27°Cより高い海面水温が出現する可能性は高まったといえる。

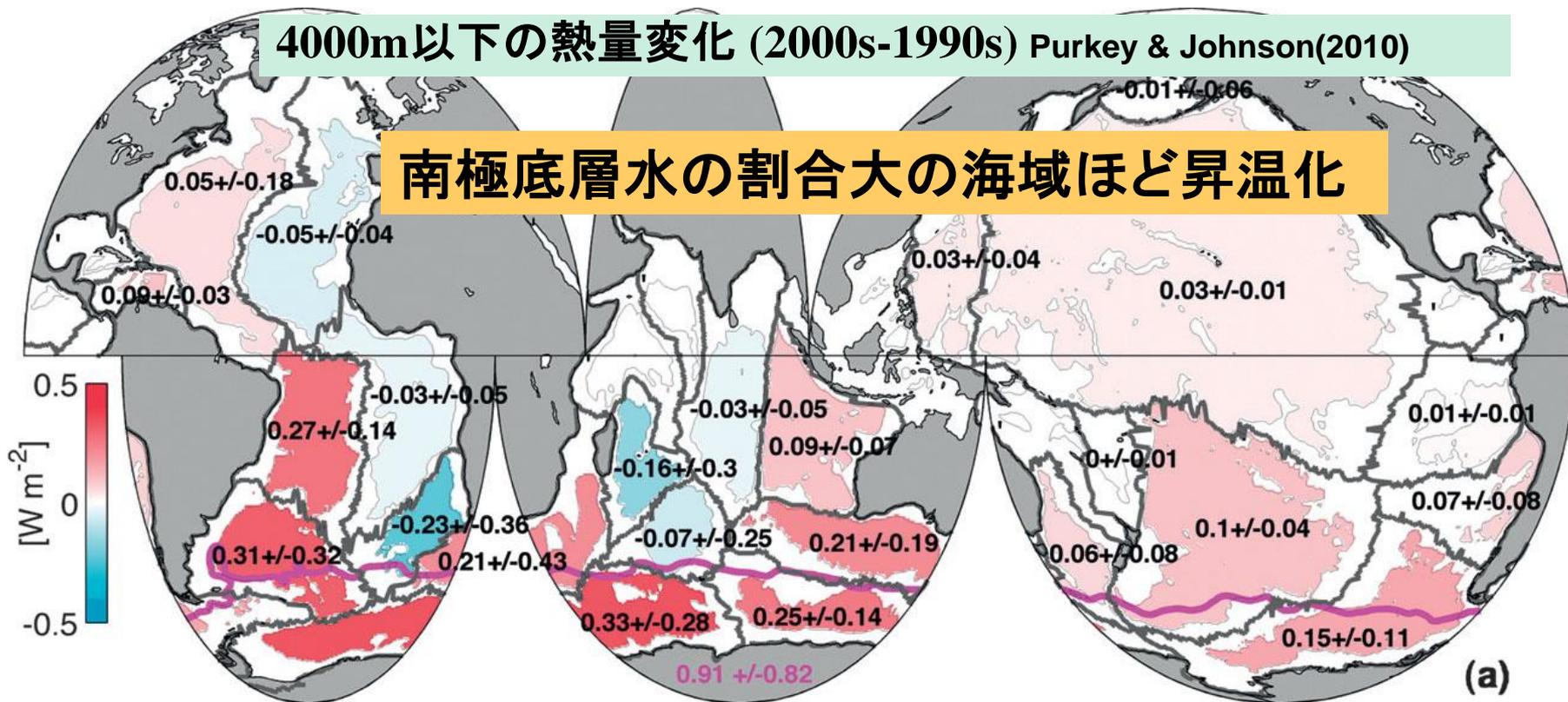
今後、その可能性は増大すると予想され、強い台風が日本を襲うリスクは高まると考えられる。

長期変化傾向:
1902-2020年の秋季
(°C/100年)



日本付近の海面水温の上昇傾向は、世界平均の2倍以上の速さ

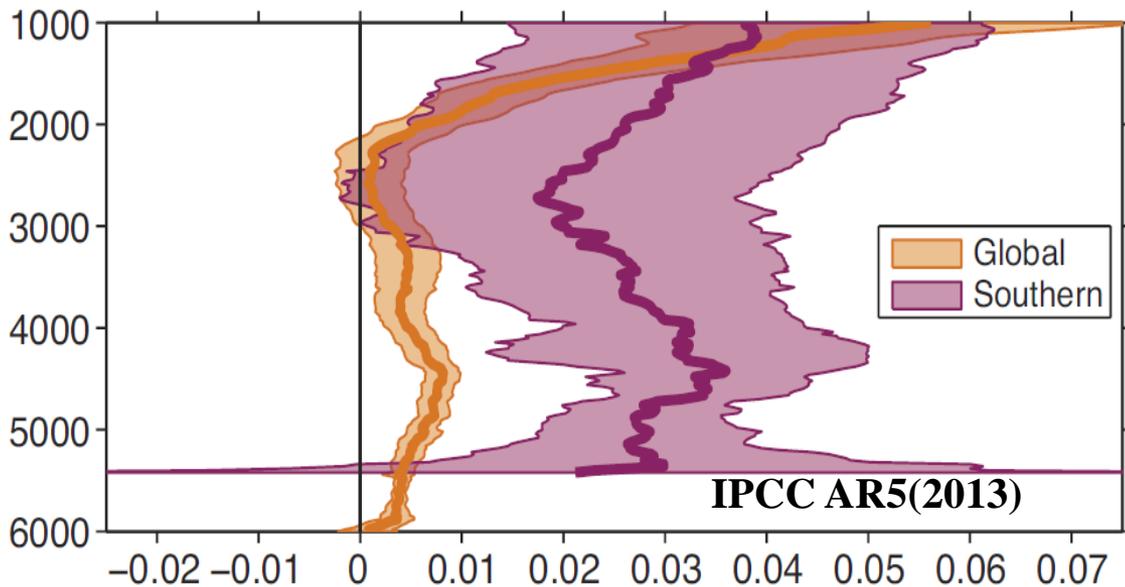
南極底層水の割合大の海域ほど昇温化



南極底層水の昇温化

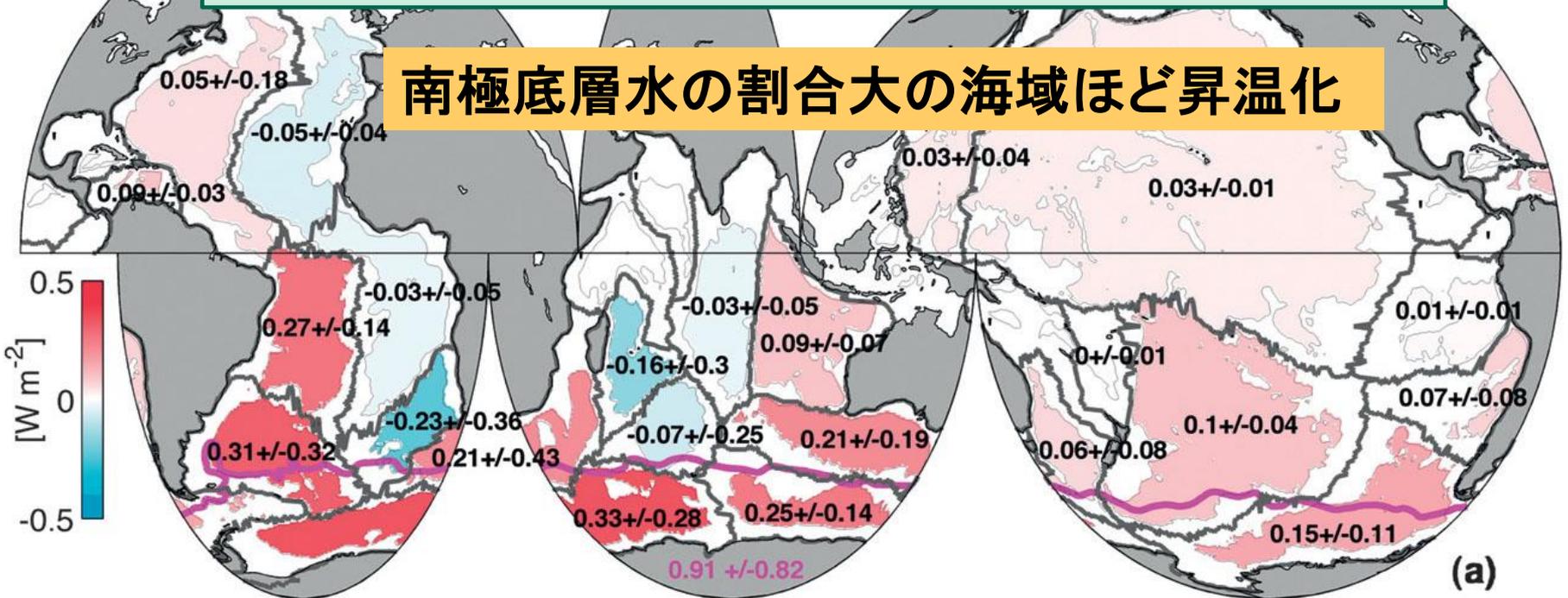
- 底層水の厚さが減少
- 底層水の生成量の減少

→
 全球の深層では
 南大洋のみが
 有意に昇温している！



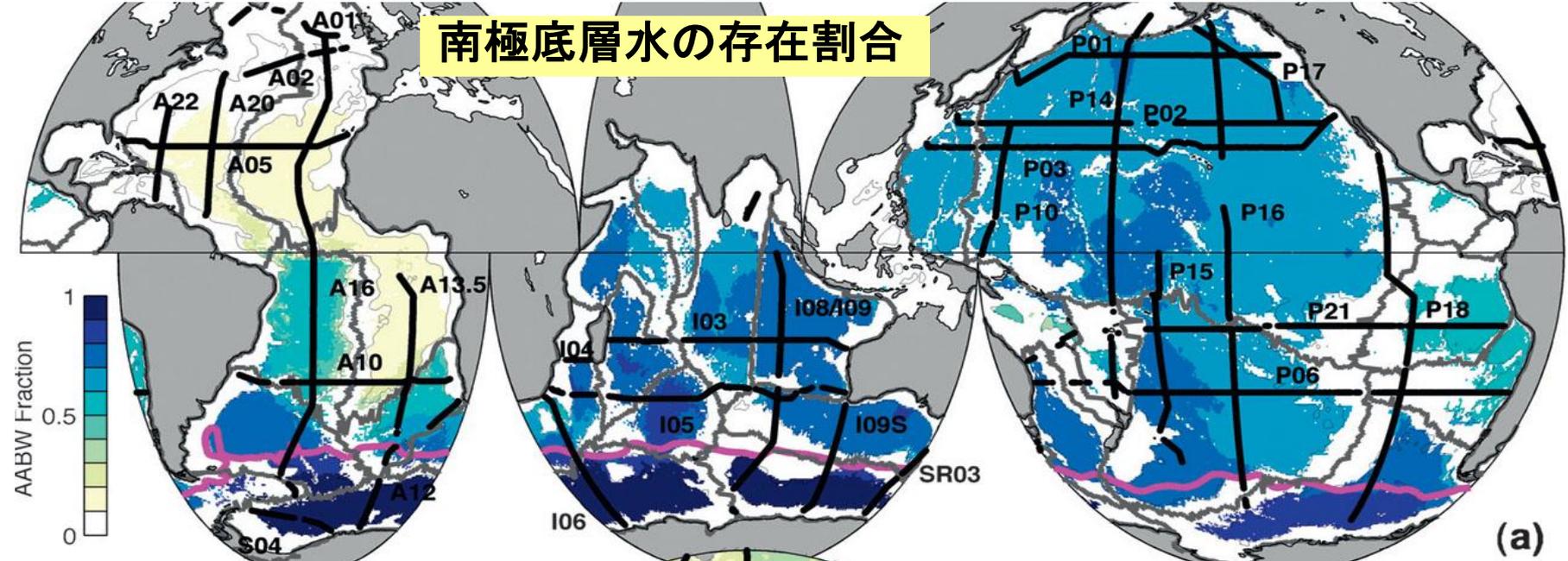
4000m以下の熱量変化 (2000s-1990s) Purkey & Johnson(2010)

南極底層水の割合大の海域ほど昇温化



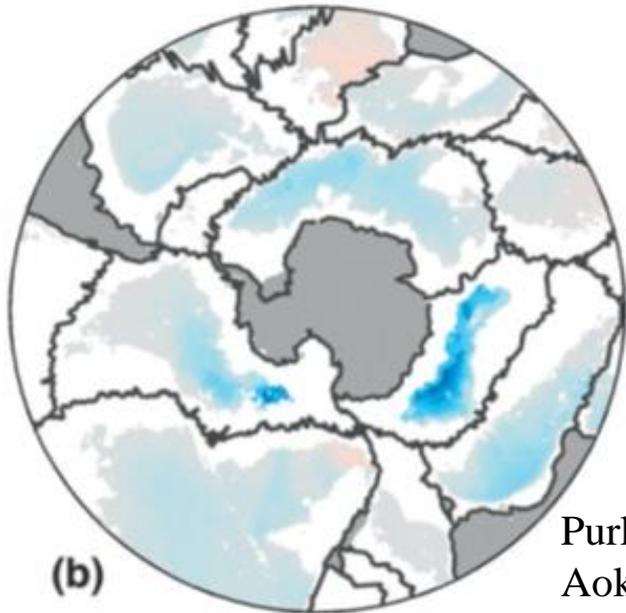
(a)

南極底層水の存在割合

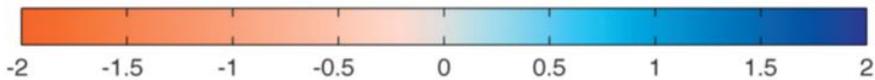


(a)

Below 4000m



Purkey and Johnson (2013)
Aoki et al. (2005)が最初の報告



南大洋(底層水:4000m以深)の塩分変化
1年あたりの淡水フラックスに換算

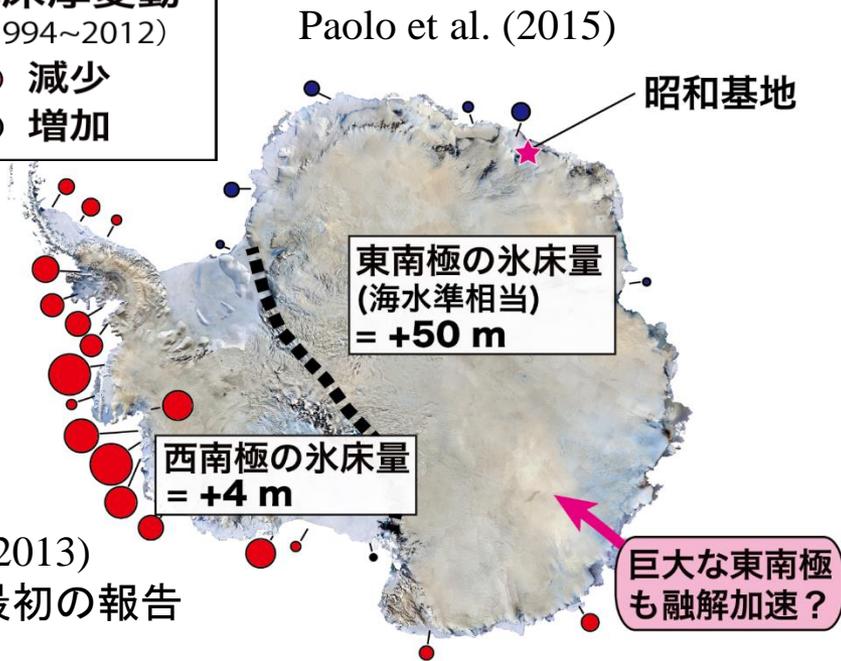
南極底層水の昇温化・低塩化・低密度化

- 底層水生成の減少?
- 海洋熱塩循環の弱化??
- 全球気候のダイナミックな変化??

氷床厚変動

(1994~2012)

- 減少
- 増加



南極氷床量の変化(1994-2012)

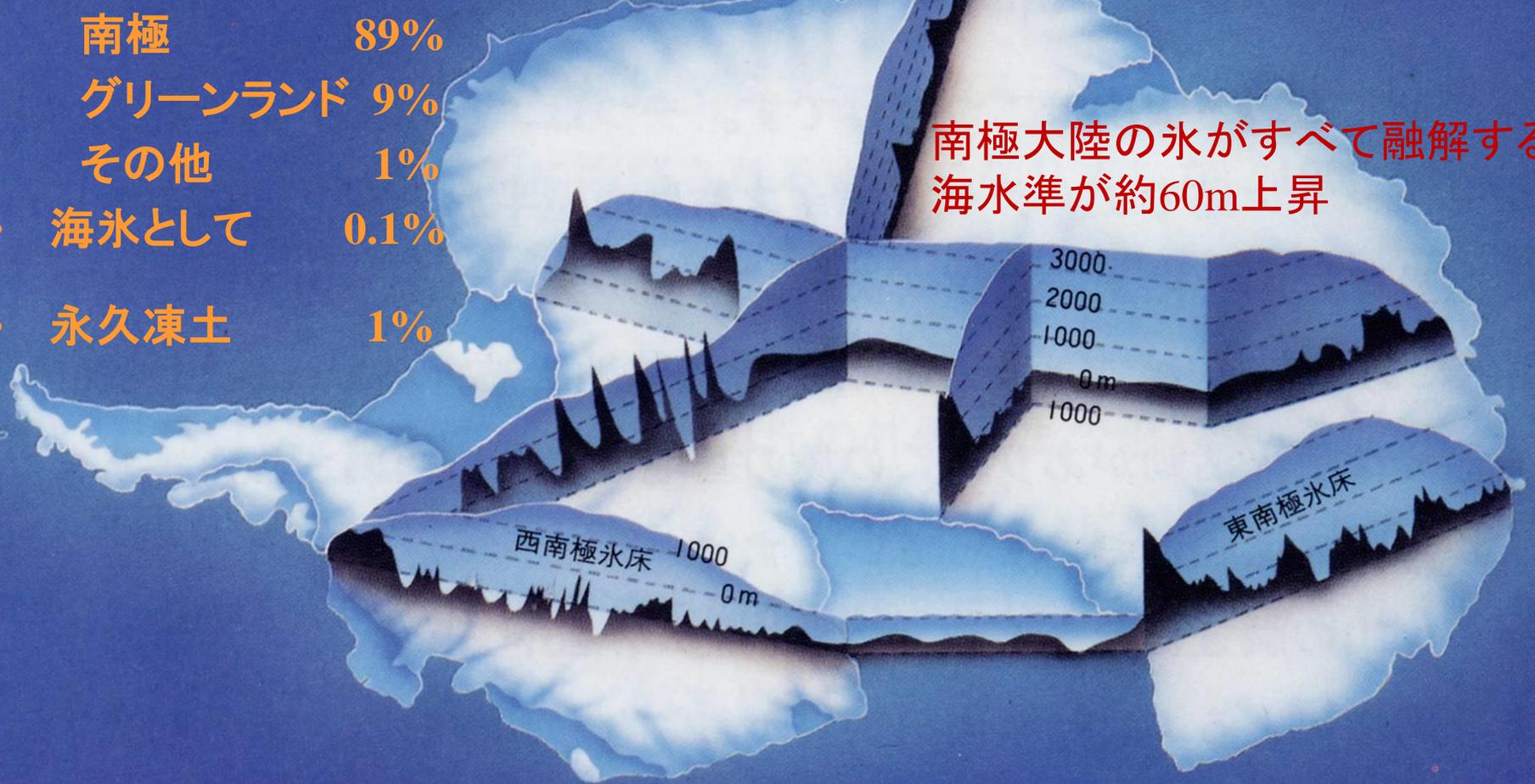
氷床融解加速による淡水供給

地球上の氷の存在量

- 氷河・氷床として
 - 南極 89%
 - グリーンランド 9%
 - その他 1%
- 海氷として 0.1%
- 永久凍土 1%

南極大陸は氷の大陸： 地球上の氷の約90%は南極氷床

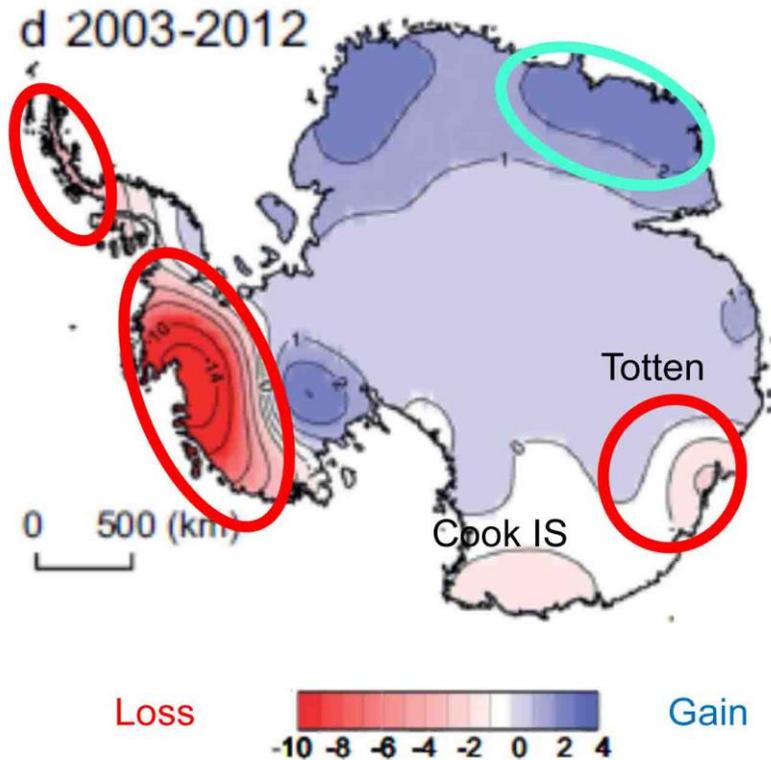
南極大陸の氷がすべて融解すると
海水準が約60m上昇



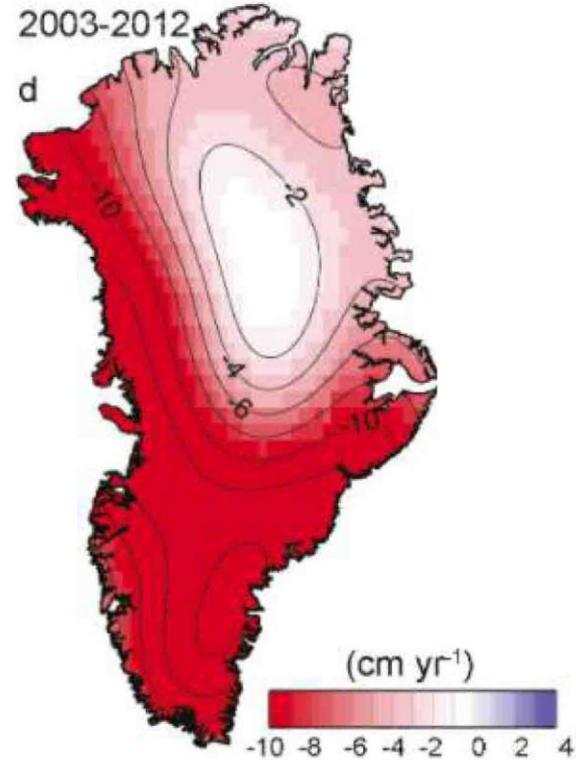
南極大陸の概念図

氷床の流出加速

南極氷床: 海水準で約60m



グリーンランド氷床: 海水準で約6m



グリーンランド・南極氷床の減少が加速。
南極では南極半島北部とアムンゼン海で。

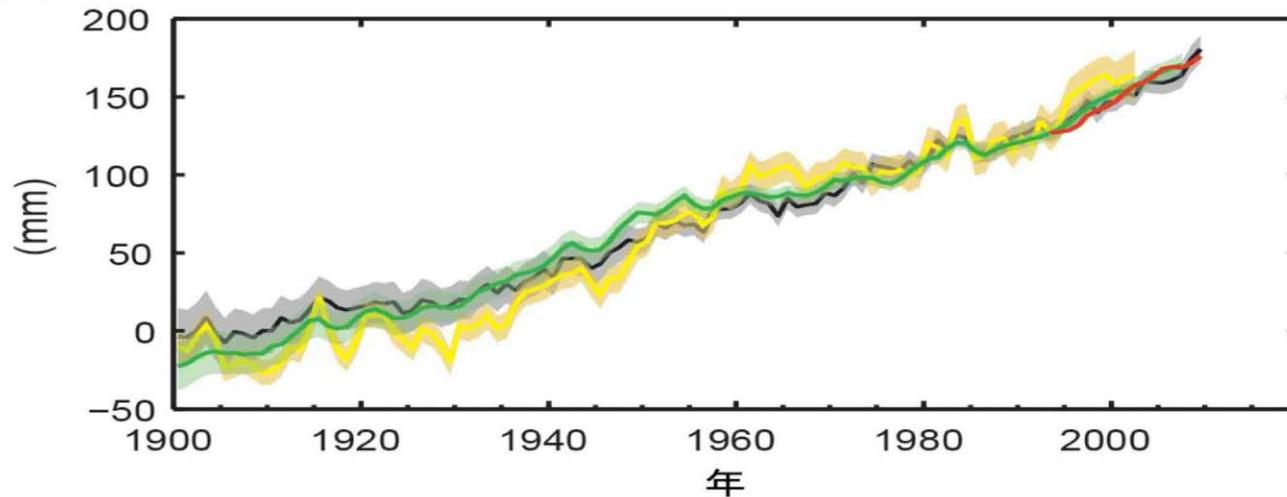
IPCC 第5次評価報告書(2013)による

海水位の上昇

高温化による海水膨張＋氷床・氷河の融解

(d)

世界平均海面水位の変化

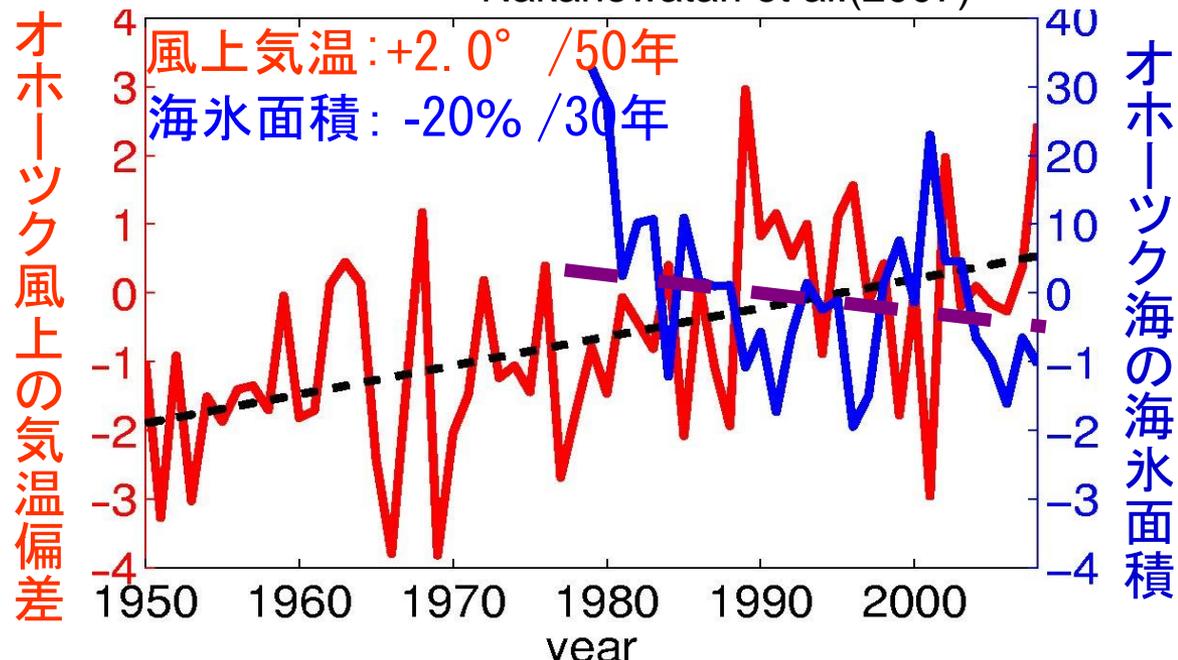
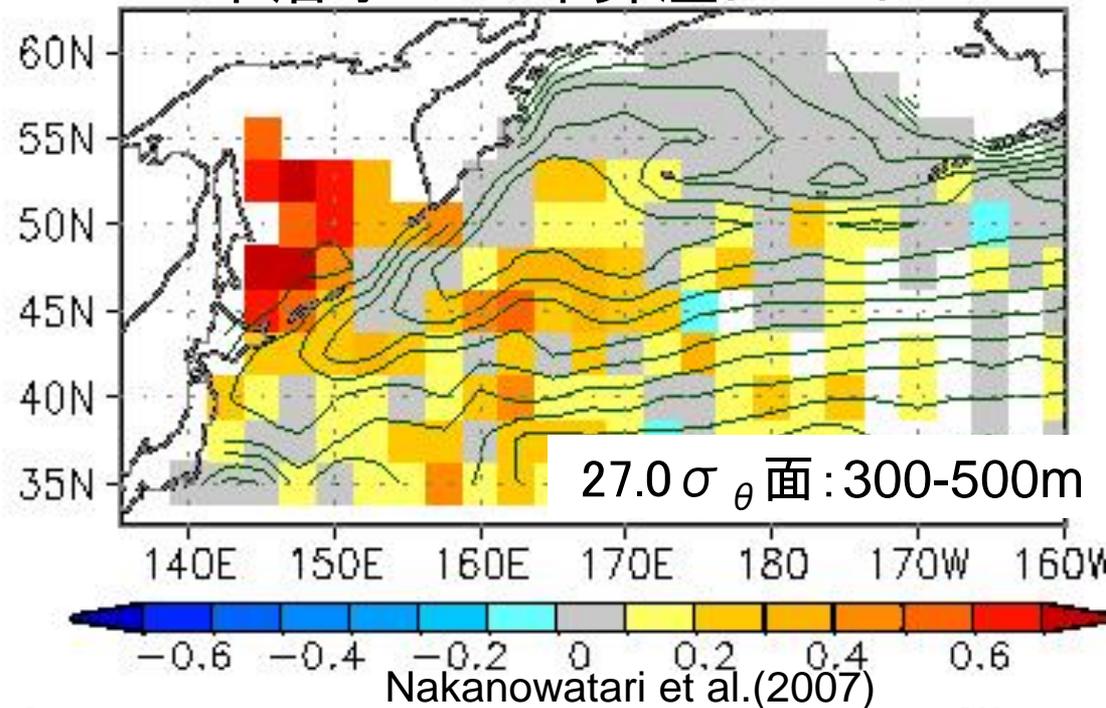
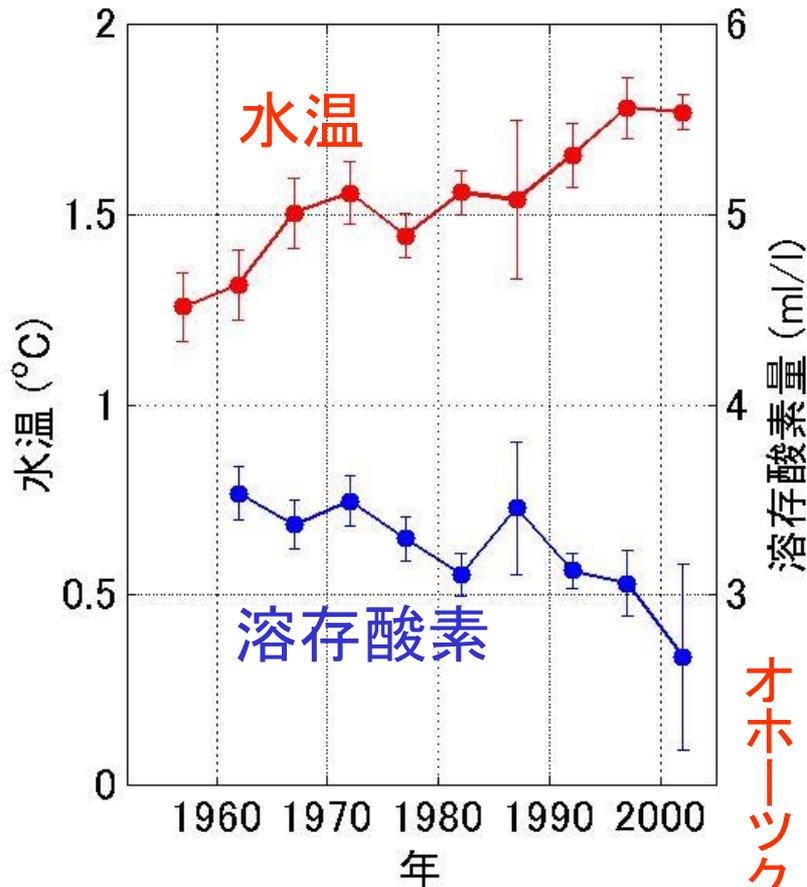


1901年から2010年の期間に、世界平均海面水位は0.19[0.17~0.21]m上昇した。

気候システムの温暖化には疑う余地がない。

IPCC 第5次評価報告書(2013)による

中層水の50年昇温トレンド



オホーツク海の中層水の50年間の変化

重い水の潜り込みは減っている！

アムール川

鉄

流氷生成による重い水の生成

オホーツク海

北太平洋

中層への潜り込み

鉄

鉄

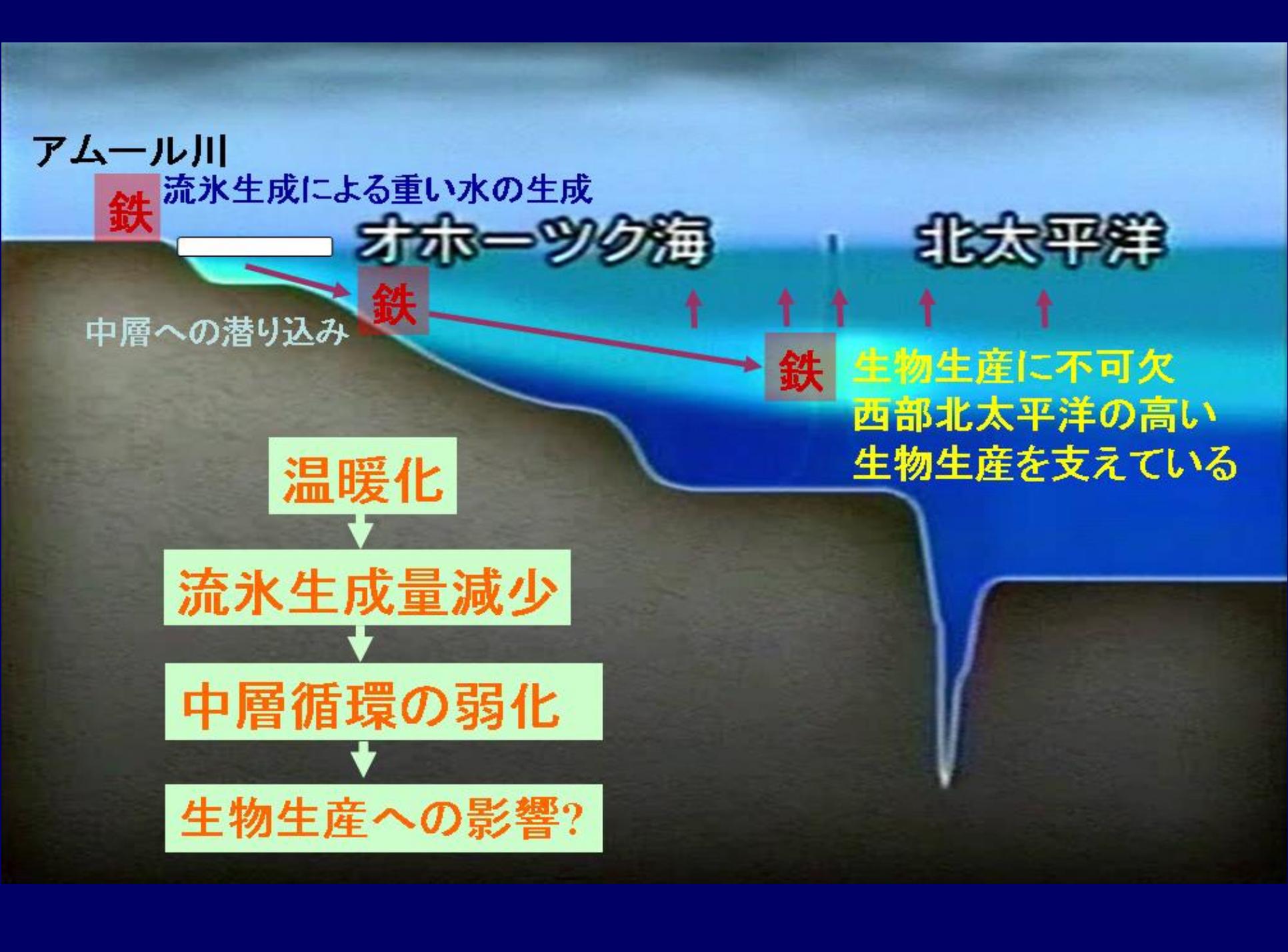
生物生産に不可欠
西部北太平洋の高い
生物生産を支えている

温暖化

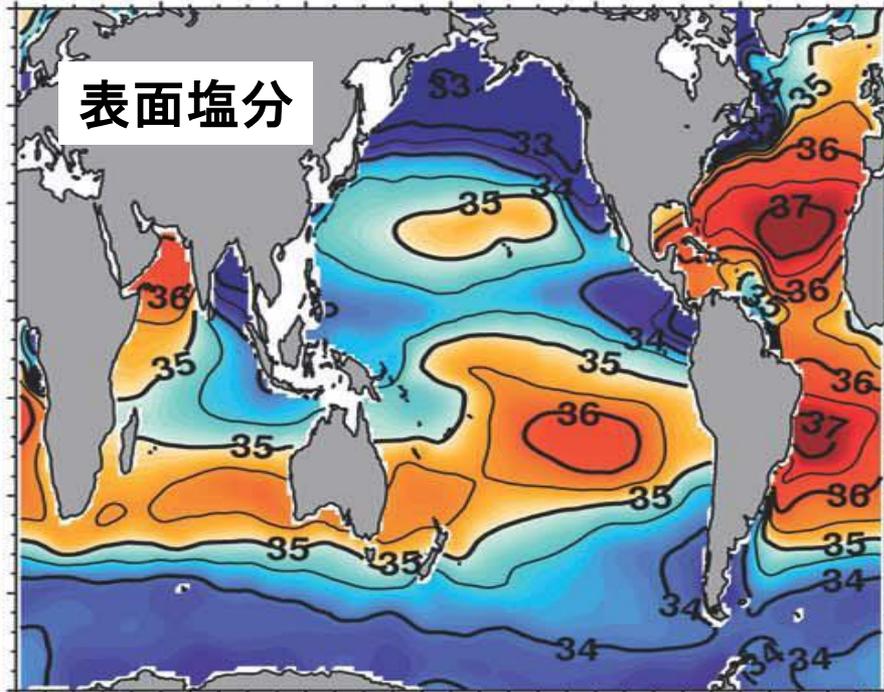
流氷生成量減少

中層循環の弱化

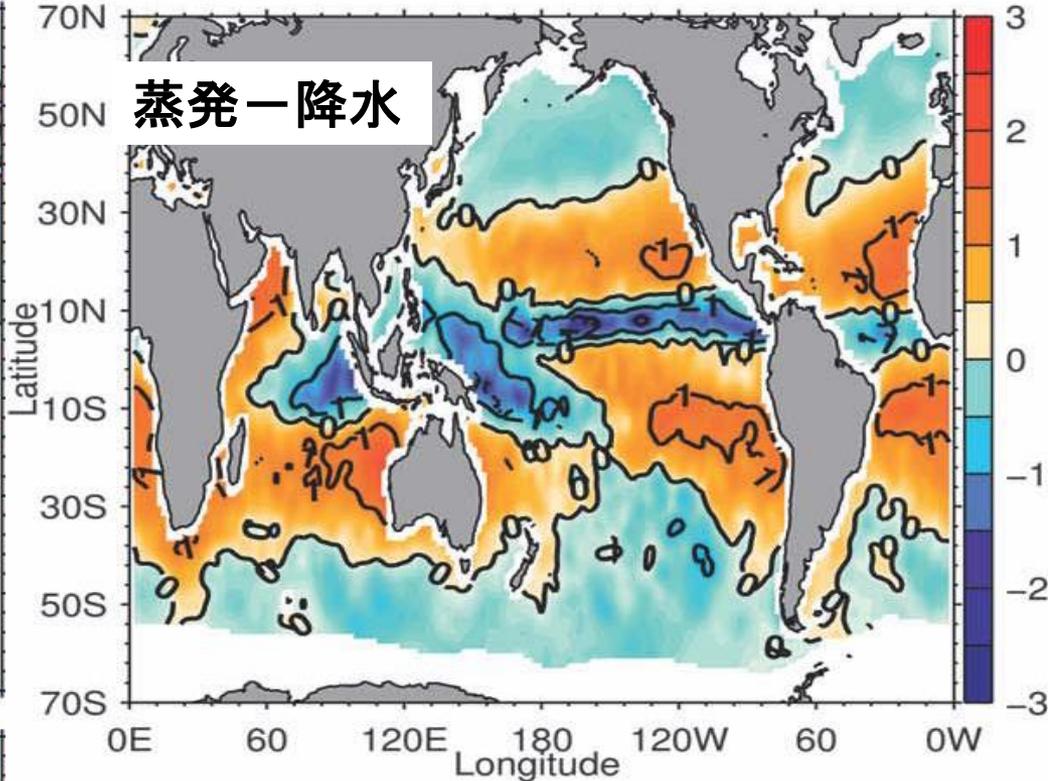
生物生産への影響?



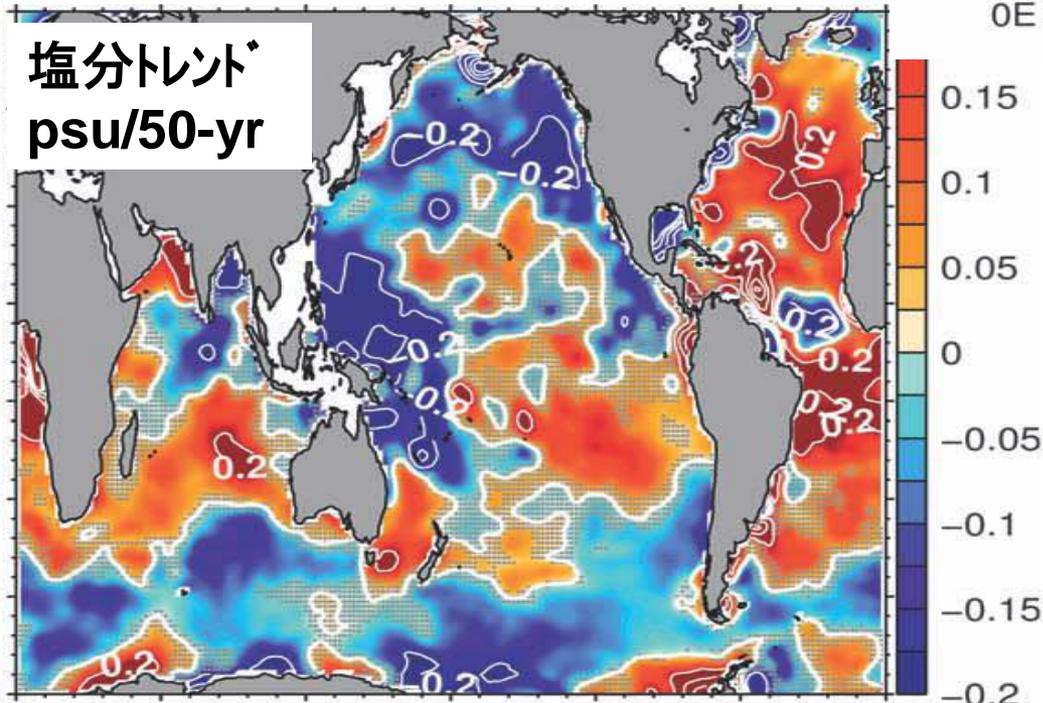
表面塩分



蒸発-降水



塩分トレンド
psu/50-yr



Durack and Wijffels(2010)

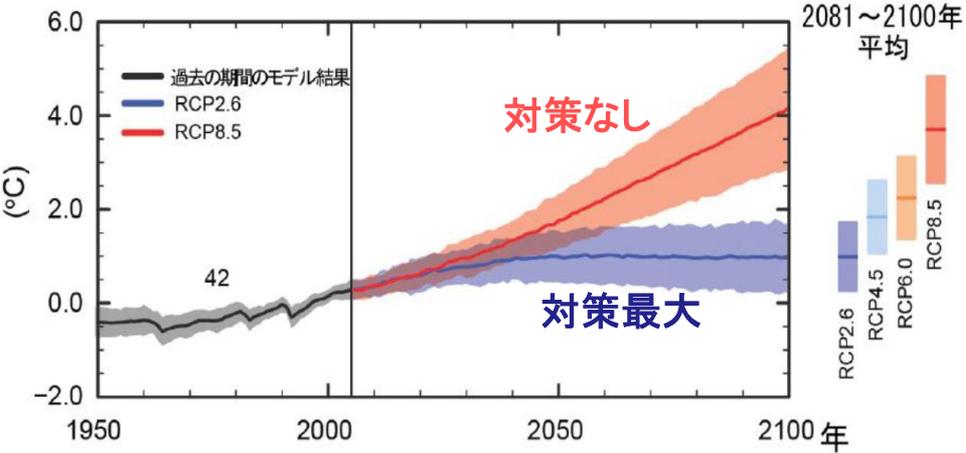
降水過剰域(両極側)での低塩分化と、
蒸発過剰域(熱帯・亜熱帯)での高塩分化

**Global Warmingに伴う
全球的な水循環の活発化**

IPCCによる将来予測

今後の気温変化のシナリオ

RCP2.6なら概ね2°C以内に収まるが、RCP8.5だと2.6~4.8°C

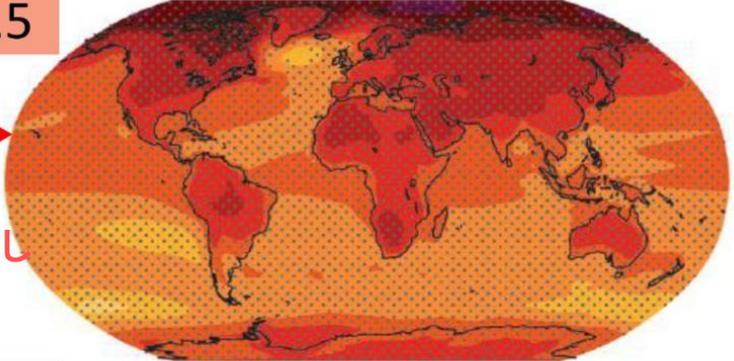


CMIP5モデルの平均 (第5次評価報告書)

RCP8.5

最も温暖化が進んだ場合

対策なし



RCP2.6

対策最大

も温暖化を抑えた場合

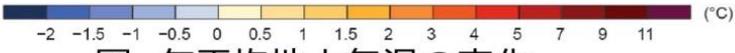
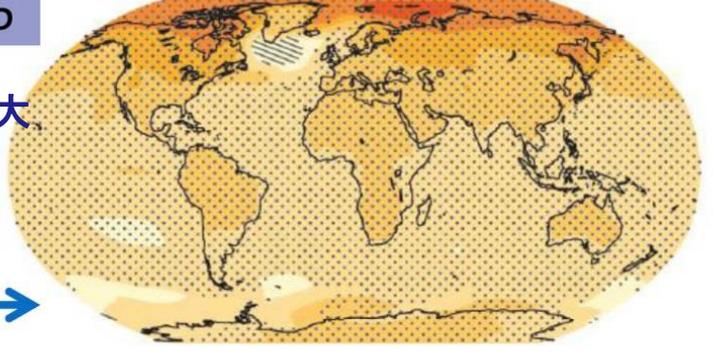


図. 年平均地上気温の変化 (1986-2005年平均からの偏差) 2081~2100年におけるRCP2.6とRCP8.5のシナリオによるCMIP5複数モデル平均の分布図

将来の気温は現在よりも上昇する

- どのような仮定(シナリオ)を当てはめても、21世紀末(2081~2100年)の気温は、現在(1986~2005年)よりも上昇する。

表. 1986~2005年を基準とした21世紀末の世界平均地上気温の予測

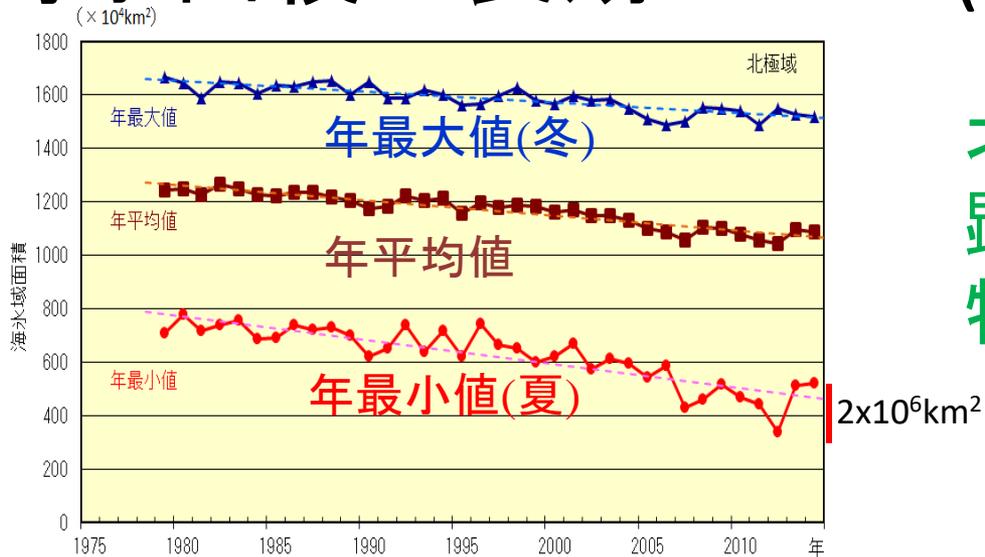
シナリオ名称	温暖化対策	平均(°C)	「可能性が高い」予測幅 (°C)
RCP8.5	対策なし	+3.7	+2.6~+4.8
RCP6.0	少	+2.2	+1.4~+3.1
RCP4.5	中	+1.8	+1.1~+2.6
RCP2.6	最大	+1.0	+0.3~+1.7

IPCCによる将来予測
CMIP5モデルの平均

IPCC 第5次評価報告書(2013)による

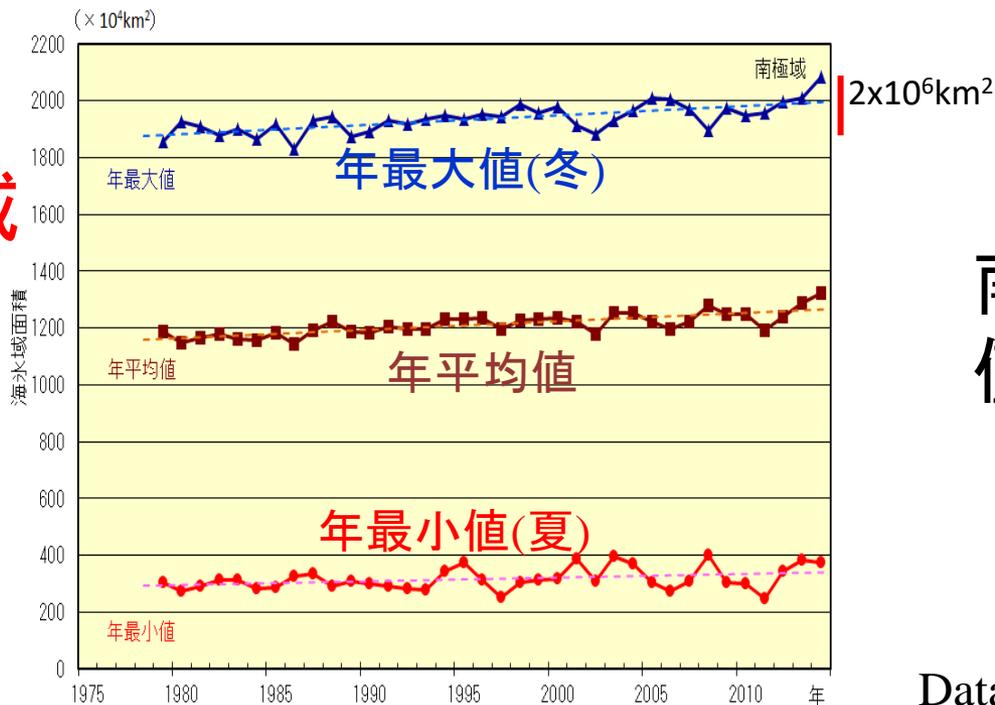
海水面積の長期トレンド(傾向)

北極域



北極域:
 顕著に減少
 特に夏に大きく減少

南極域



南極域:
 僅かに増加

Data JMA:1979-2014

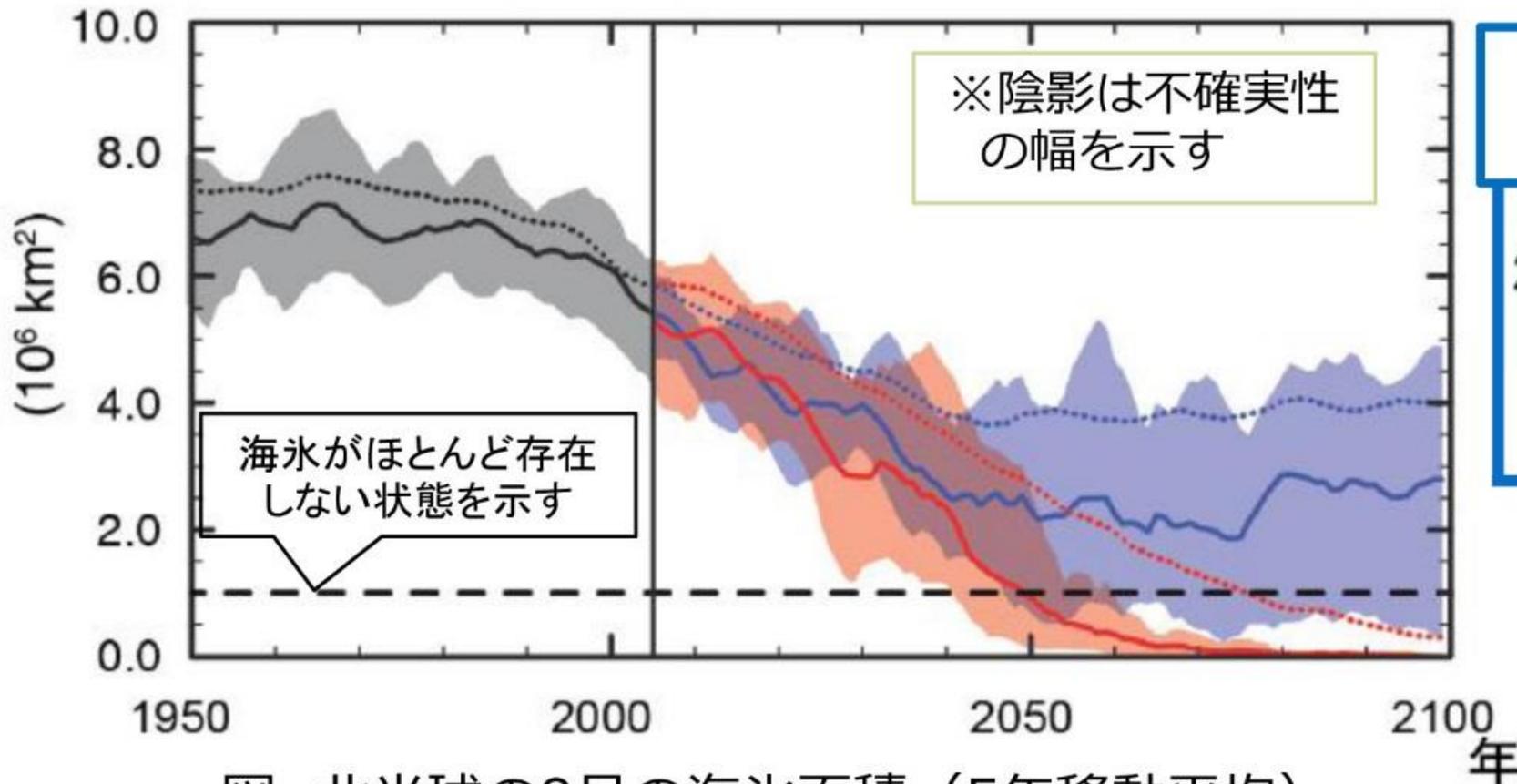


図. 北半球の9月の海氷面積 (5年移動平均)
 CMIP5の複数モデルにより
 シミュレーションされた時系列(1950年から2100年)

黒線：過去の期間のモデル結果
 青線：RCP2.6
 赤線：RCP8.5

**IPCCによる将来予測
 CMIP5モデルの平均
 (第5次評価報告書)**

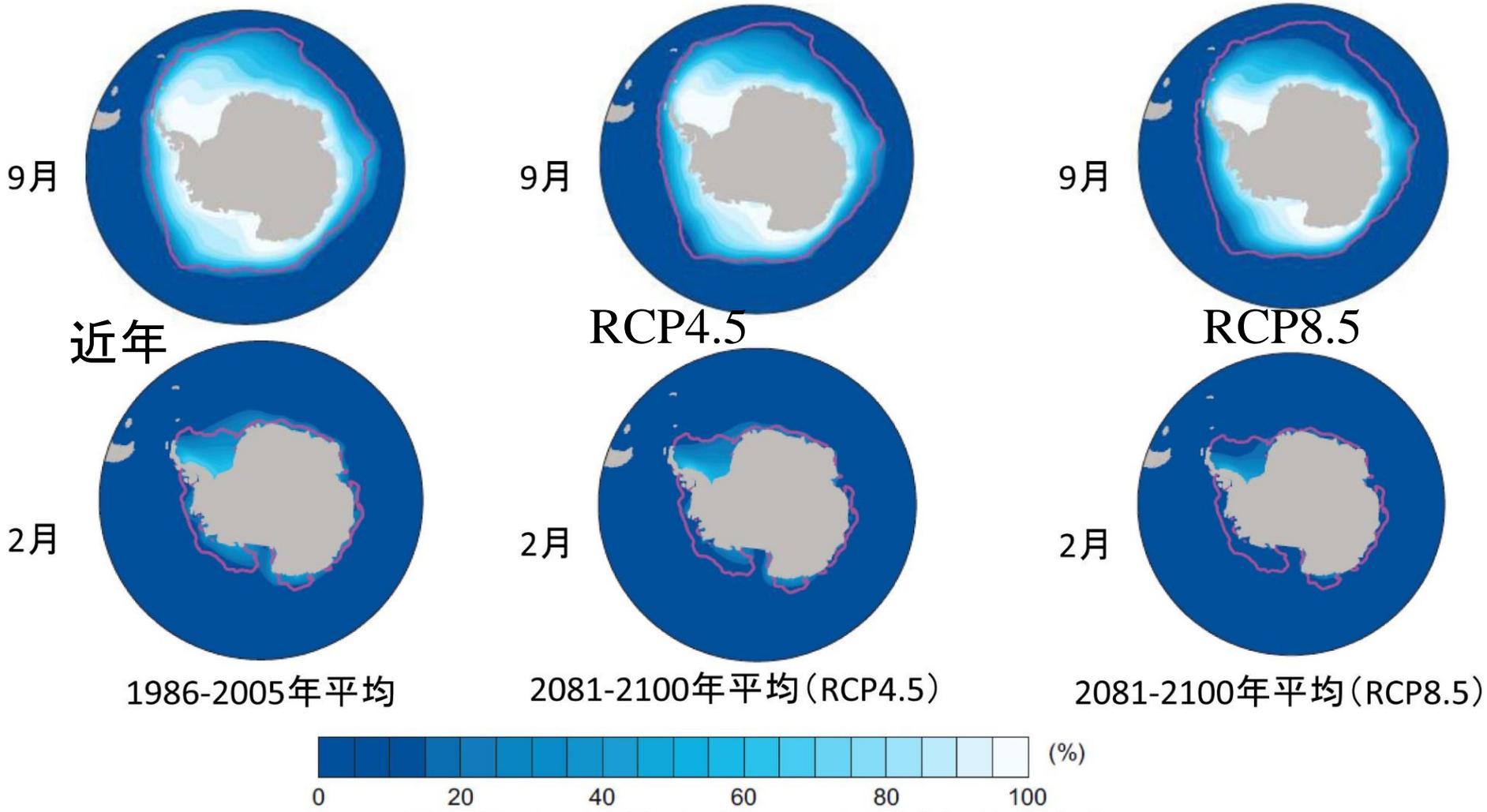


図. 9月(上)と2月(下)における南極の海氷密度

左: 1986-2005年平均、中央: 2081-2100年平均 (RCP4.5)、右: 2081-2100年平均 (RCP8.5)

ピンクの線は1986-2005年平均における海氷密度15%を示す。

出典: 図, IPCC AR5 WG I Fig.12.29一部抜粋 45

**IPCCによる将来予測
CMIP5モデルの平均**

お勧め本

海の温暖化：
変わりゆく海と人間活動の影響

日本海洋学会編：
朝倉書店, 2017年, 154ページ

海の 温暖化

変わりゆく海と人間活動の影響

日本海洋学会

[編集]

朝倉書店