

7. 極域海洋と気候変動：地球温暖化のホットスポット

極域海洋→地球温暖化の高感度域→全球への影響

Polar amplification

正のフィードバック

- 北極海の海氷の激減
 - 夏には海氷がなくなってしまう？
 - 温暖化を加速する？

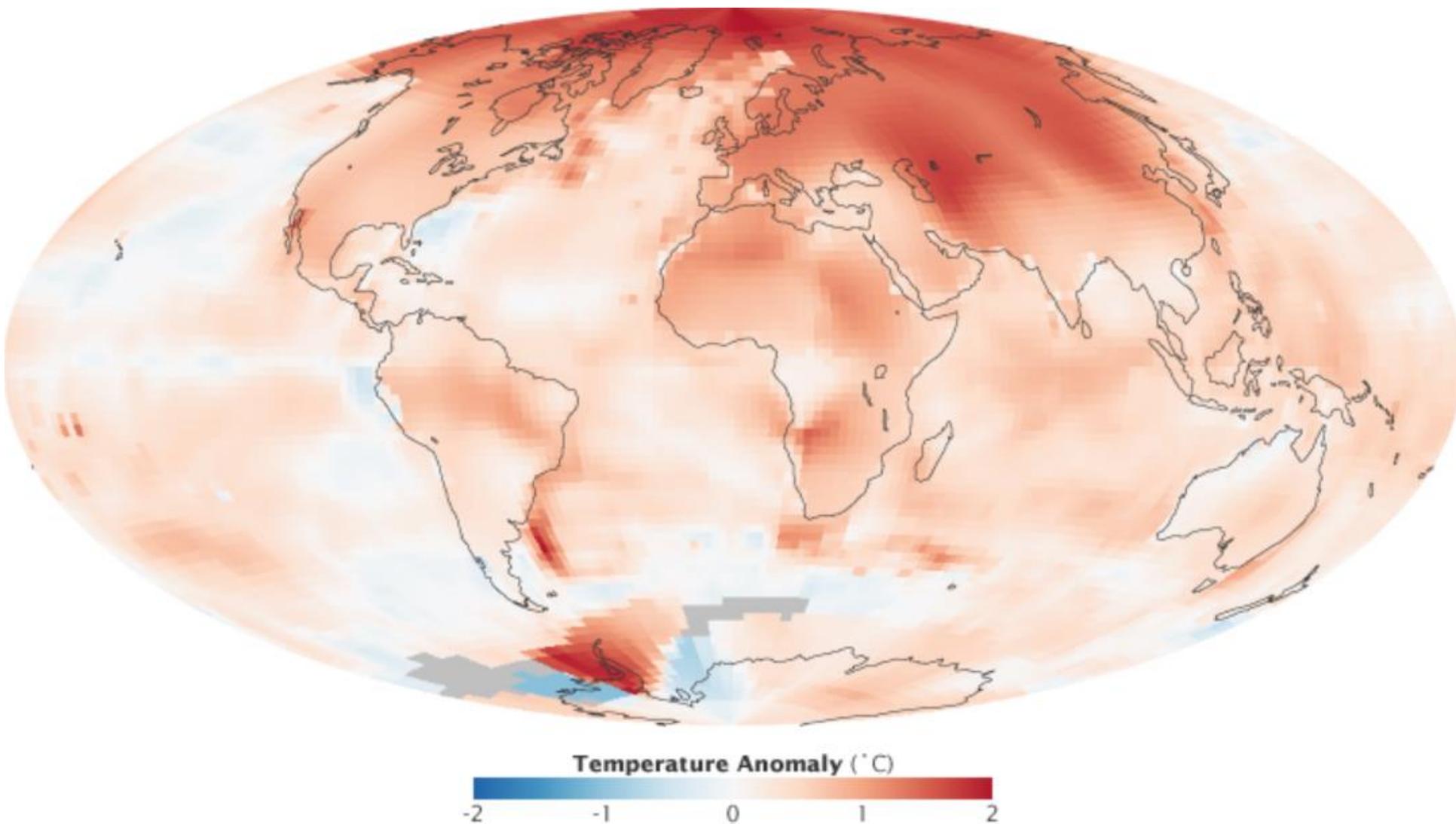
中深層水の形成

- 北大西洋深層水の低塩化
 - 熱塩循環が弱まってしまう？
- 南極底層水の低塩・低密度化
 - 熱塩循環が弱まってしまう？
- オホーツク海での海氷生産減少
 - 北太平洋の中層循環が弱まってしまう？

Global warming

Polar amplification

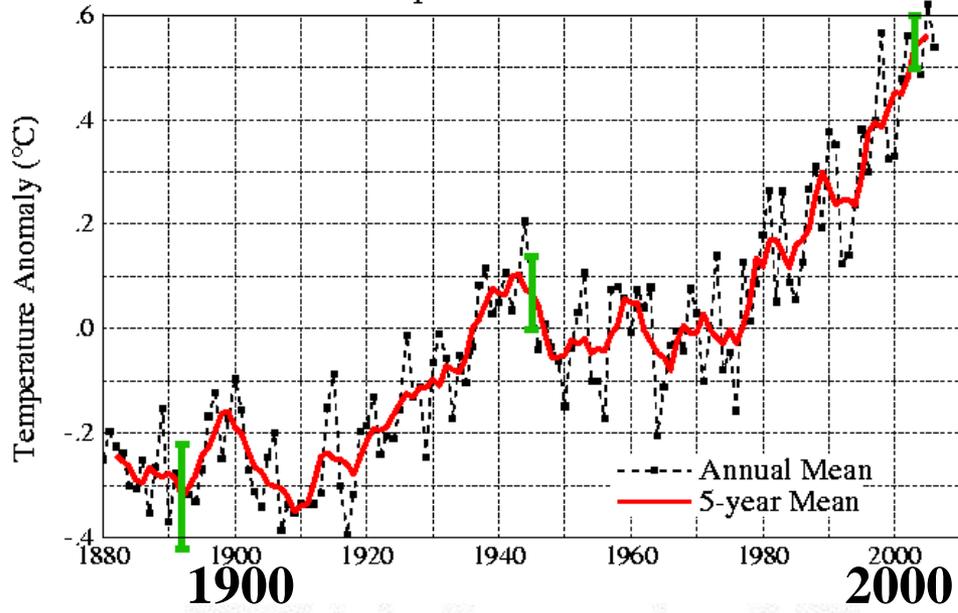
過去10年での気温の上昇



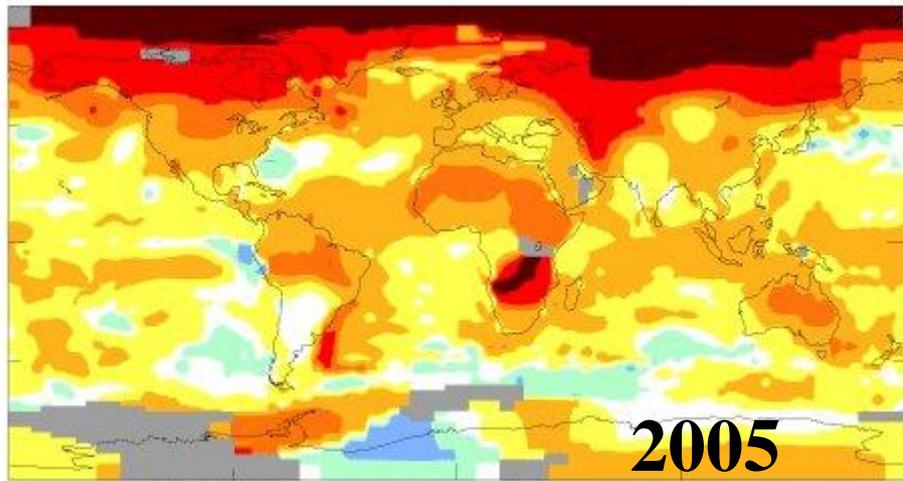
NASA Goddard Institute for Space Studies

GISS Surface temperature analysis web site (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>)

Global Temperature: Land-Ocean Index

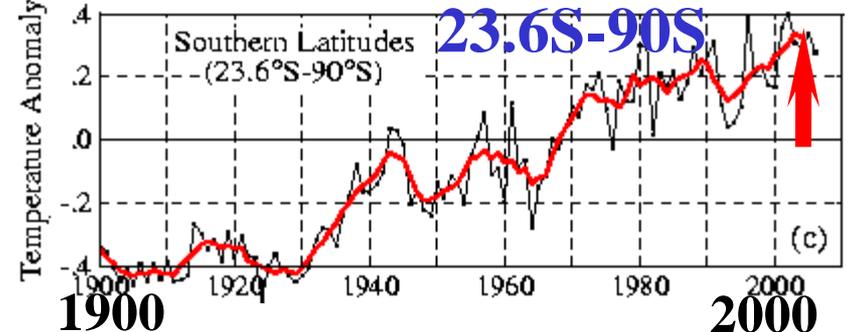
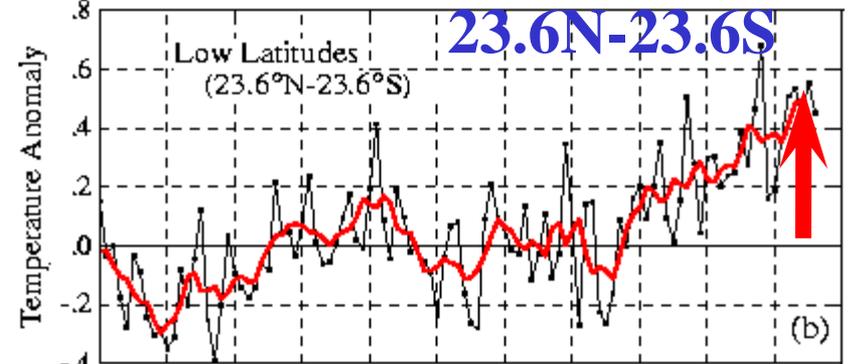
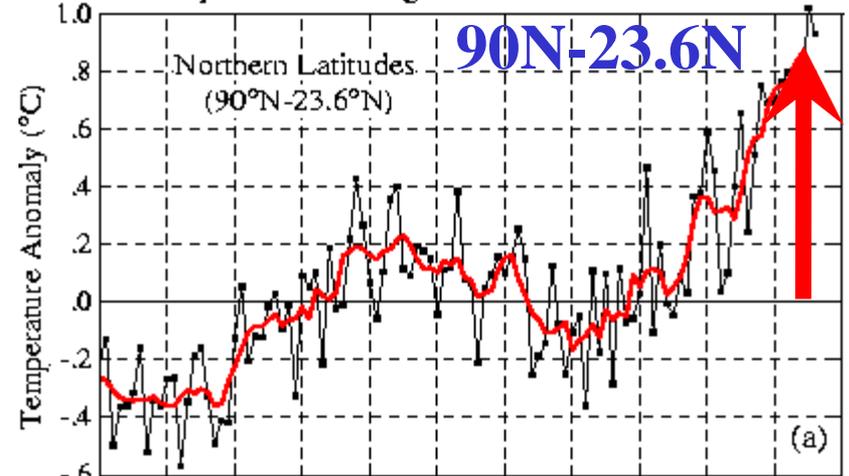


(b) 2005 Surface Temperature Anomaly (°C)



-3 -2.5 -1.5 -1 -0.5 -0.1 .1 .5 1 1.5 2.5 3.4

Temperature Change for Three Latitude Bands



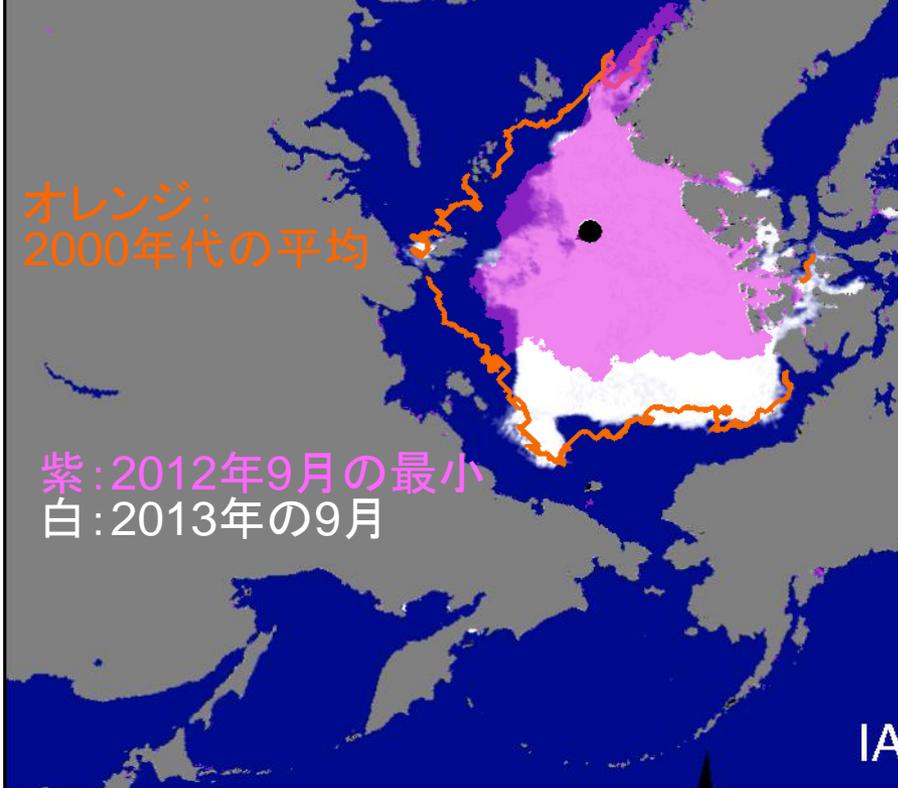
北極海の海水の現状：夏季の面積が激減している

AMSR2 Sea Ice Concentration

20130917

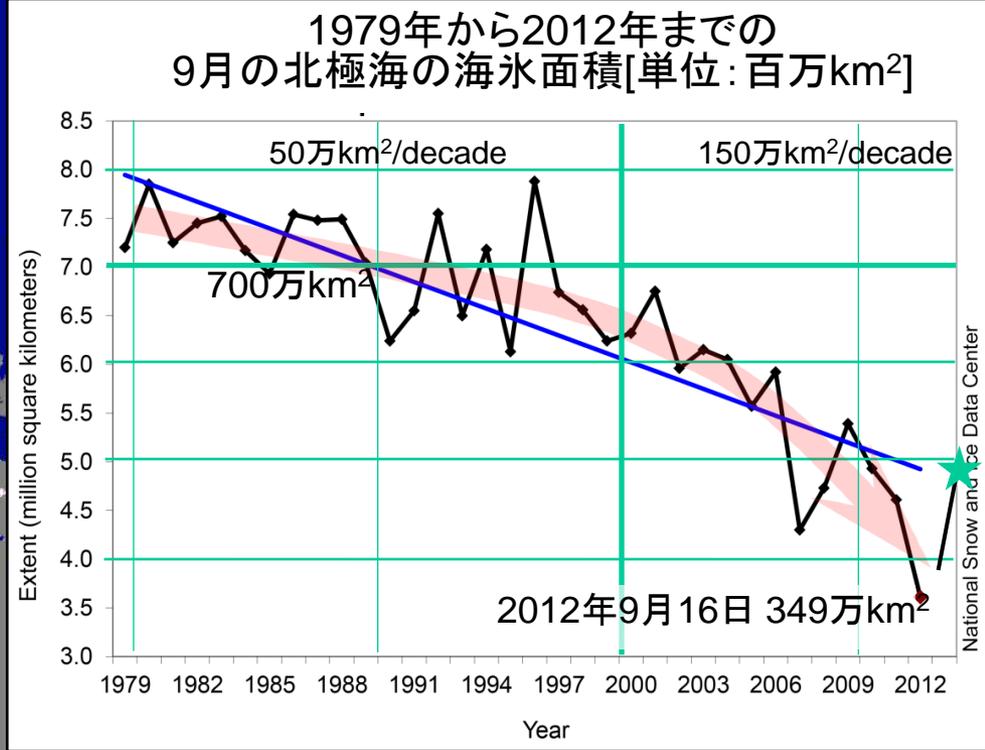
第一期水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W1)

overlay:20120920



オレンジ：2000年代の平均

紫：2012年9月の最小
白：2013年の9月



日々の海氷のモニターは日本の人工衛星センサーAMSR2が担っている！



IARC-JAXA

(海氷・海洋)アルベドフィードバック効果とは

- アルベドとは、日射に対する反射率。
- 海氷は、通常白い雪が載っているため、日射の6~7割を反射する。これに対して、開水面は黒っぽいいため日射の1割しか反射しない。
- 一旦何らかで海氷面積が減少すると、開水面は日射の反射率(アルベド)が低いため多くの熱を海が吸収する。その海の熱によって海氷融解が加速され、ますます開水面、日射の吸収が増え、さらに海氷が減少する、という正のフィードバック効果。
- この効果によって北極海は温暖化の影響を最も受ける(加速する)と言われている。ただし、その定量的な理解は十分にはなされていない。

海氷面積が減少(開水面の割合が増加)

海洋表層での日射の吸収が増加

暖まった海によって海氷融解を促進

低アルベド
(~0.07)

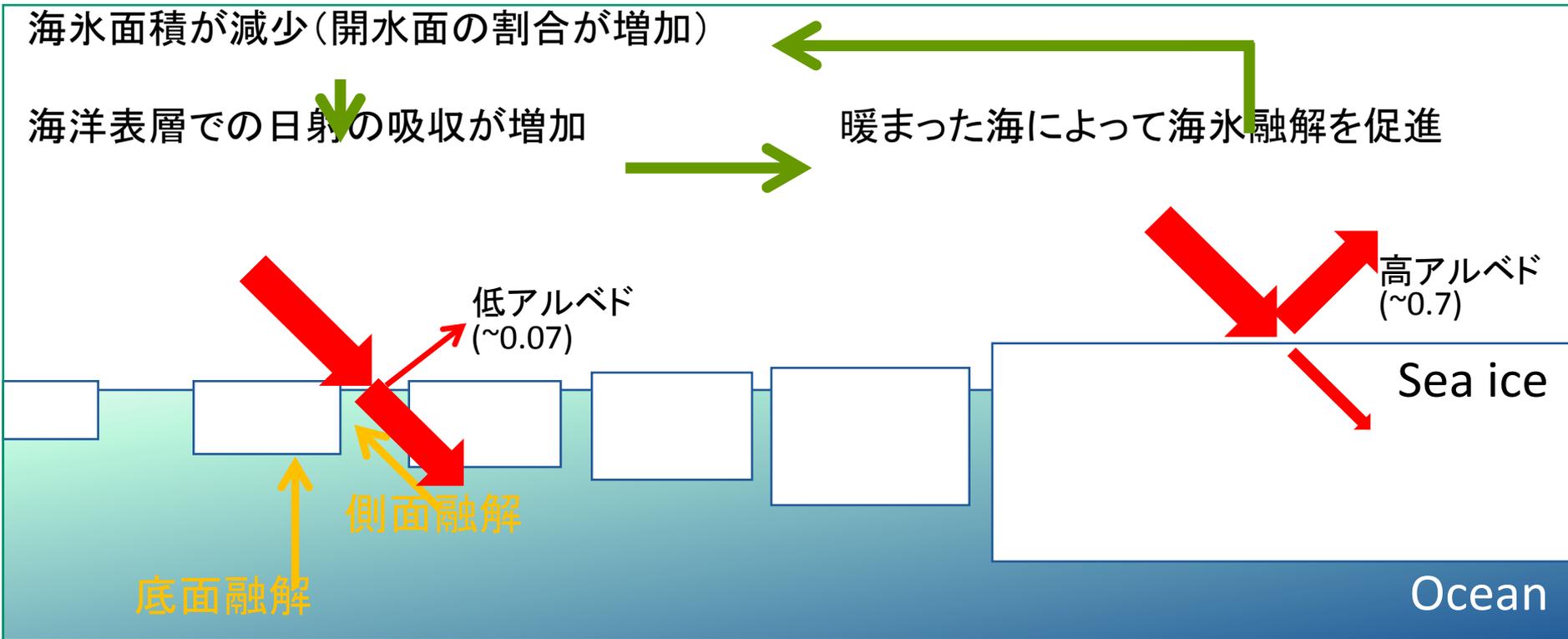
高アルベド
(~0.7)

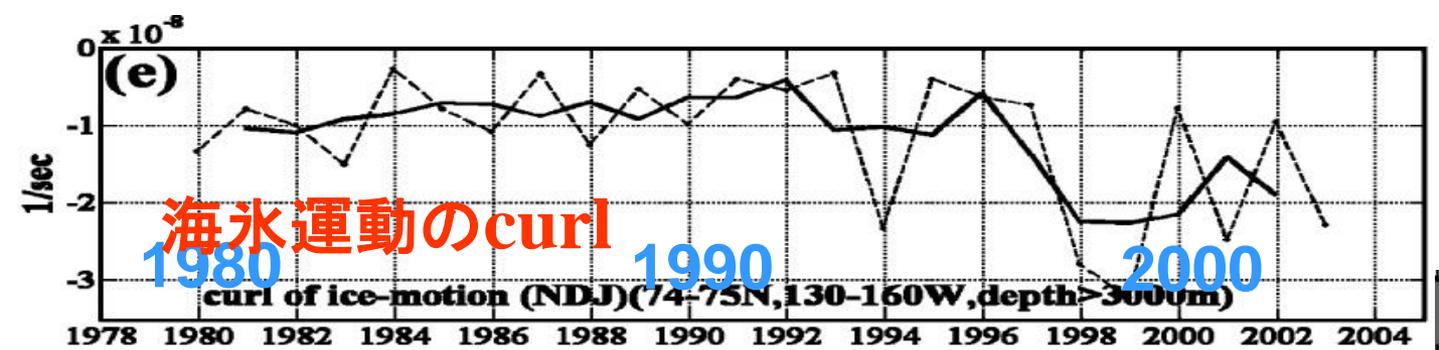
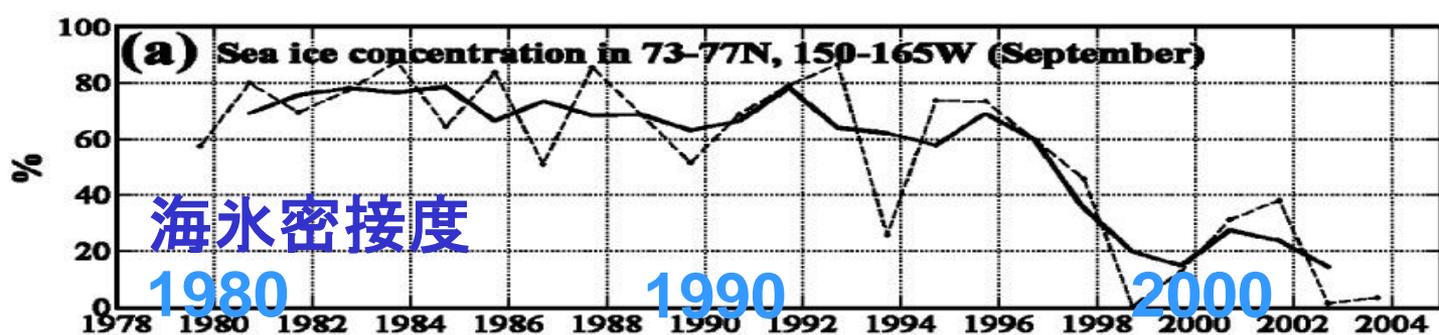
Sea ice

Ocean

側面融解

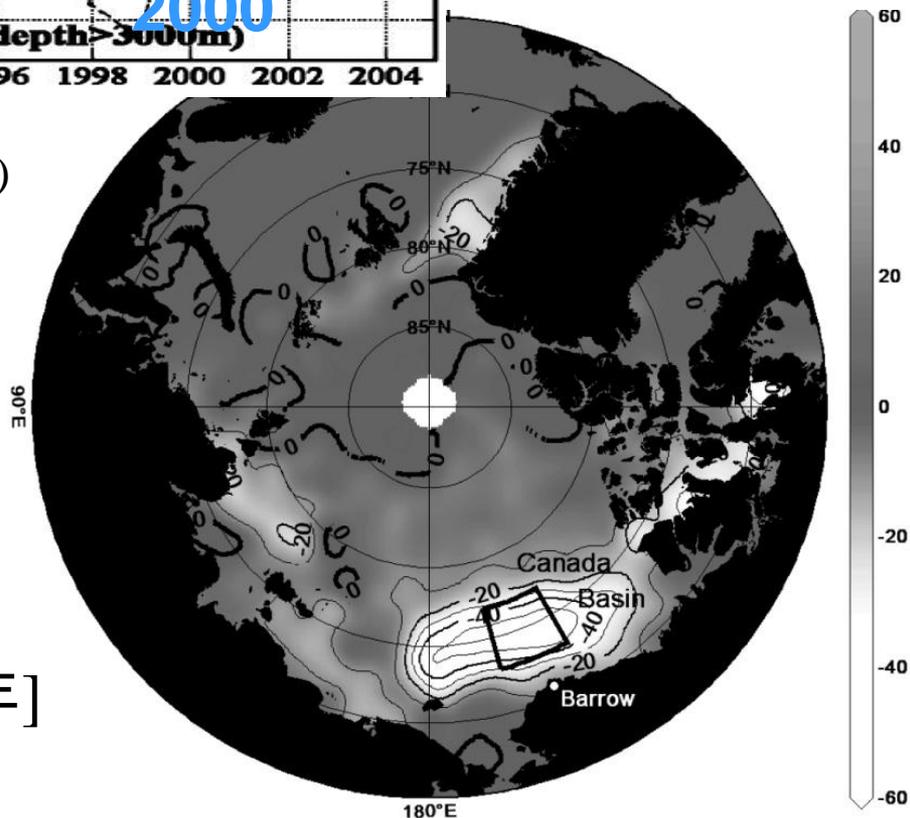
底面融解





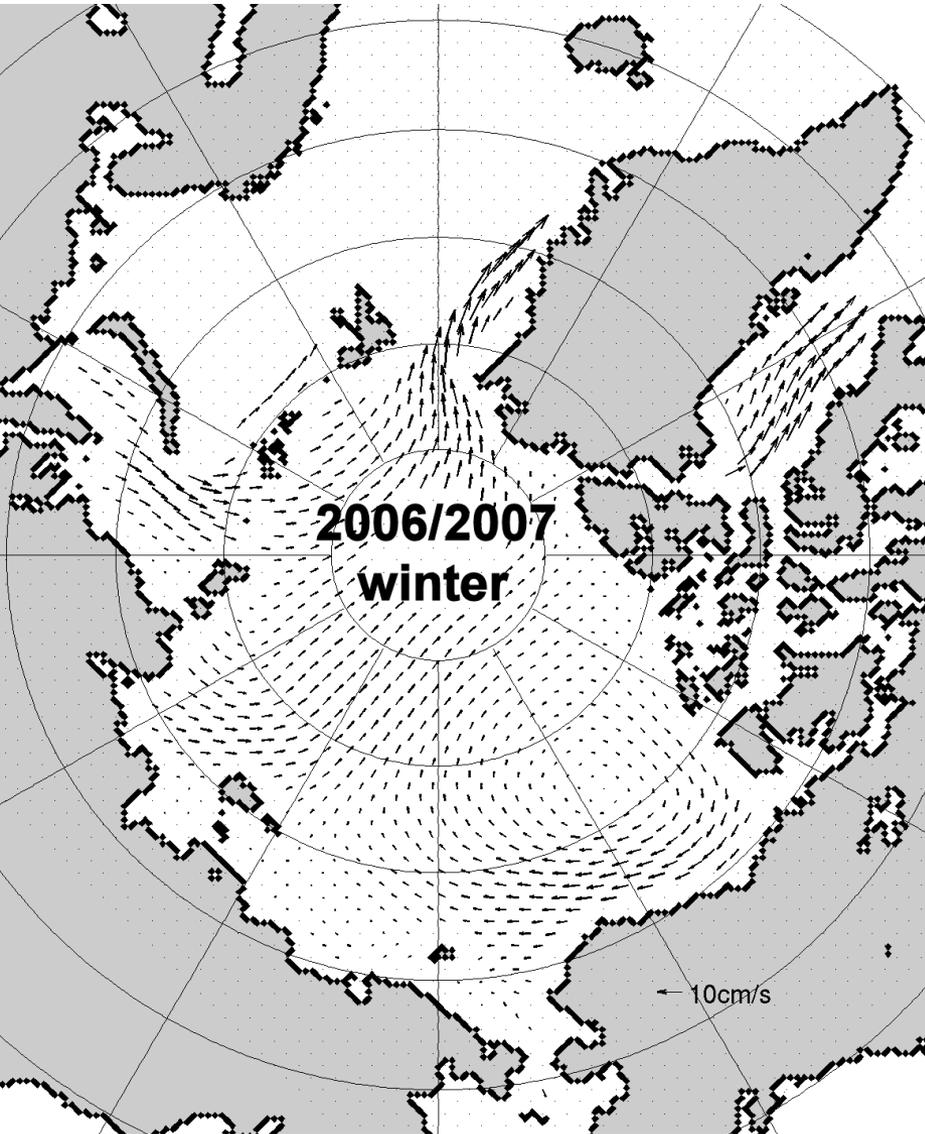
Shimada et al. (2006)

9月の海氷密接度変化 →
[1998-2003年]-[1979-1997年]

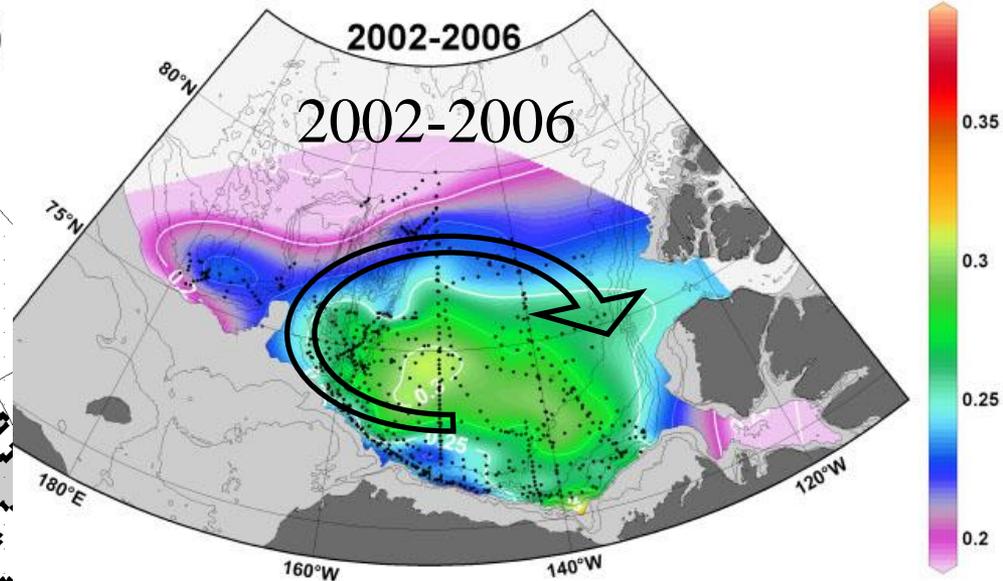


2006/2007冬の平均海水速度 海水速度の強化

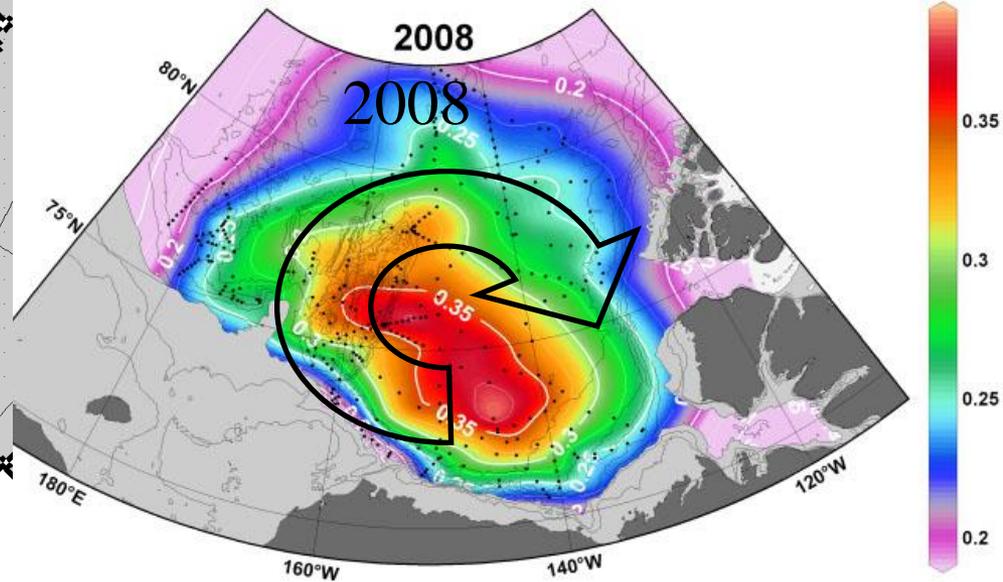
(a)



海洋力学高度(地衡流線)



by K. Shimada



大気圏

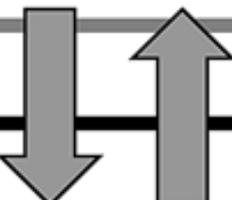
南北循環パターンの
強化・形成

極渦の変動

半球スケールの
気候変動

(北極振動パターンの変化)

海洋・海水圏



①海水融解

海水が減少

②海水形成量の減少

③北極海からの海水放出増加

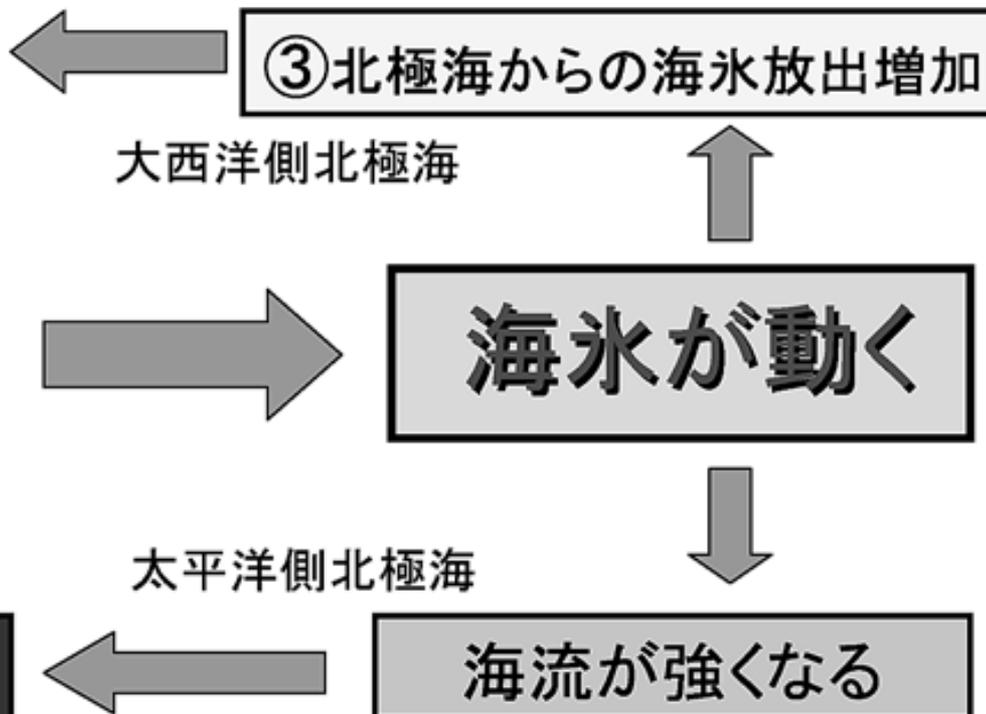
大西洋側北極海

海水が動く

太平洋側北極海

海の温暖化

海流が強くなる



冷たく固まったアイス
をスプーンでまわせない



北極海氷はシャボン玉

Arctic Ocean

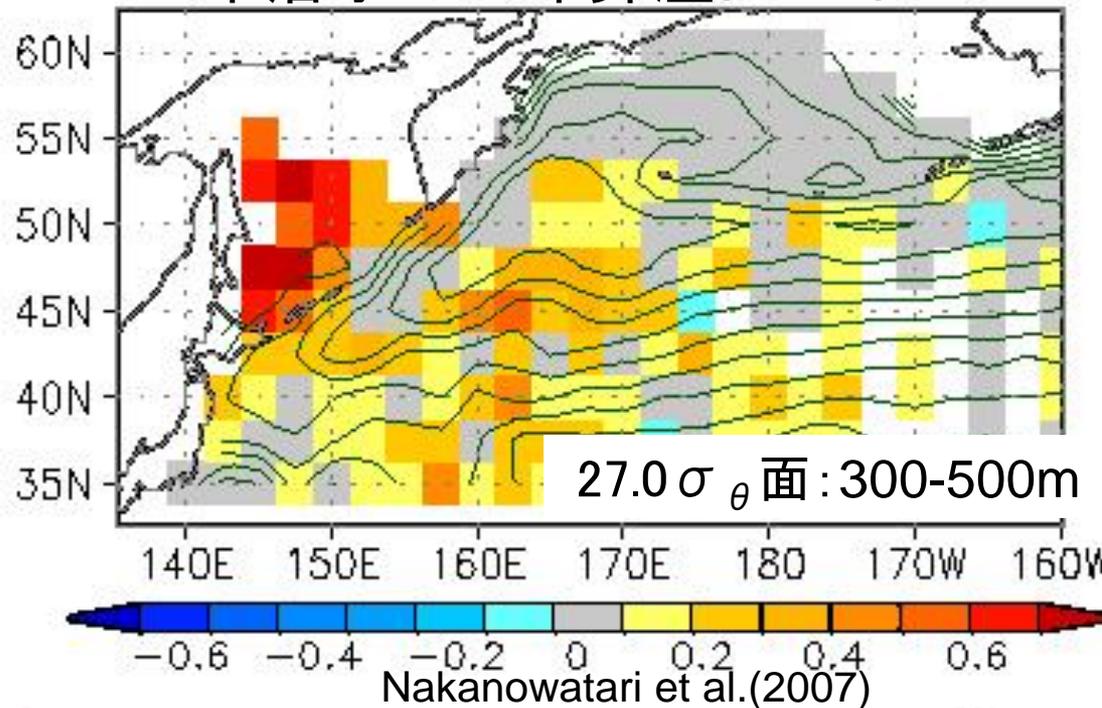
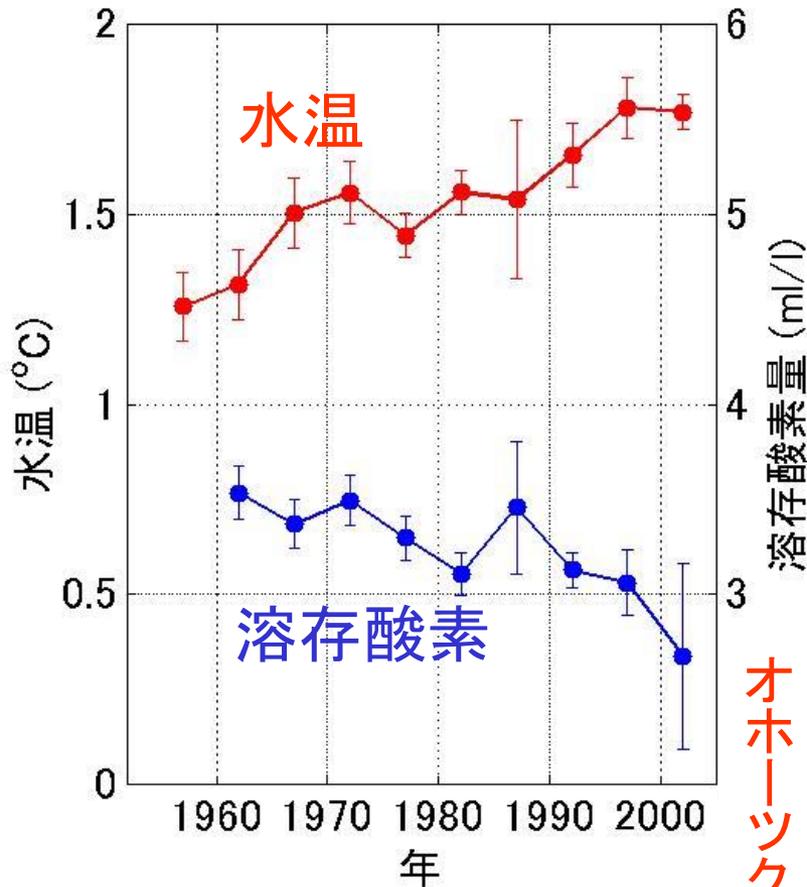
少しの変化→急激で大きな変化

アイスクリーム理論: Shimada et al., (2006)

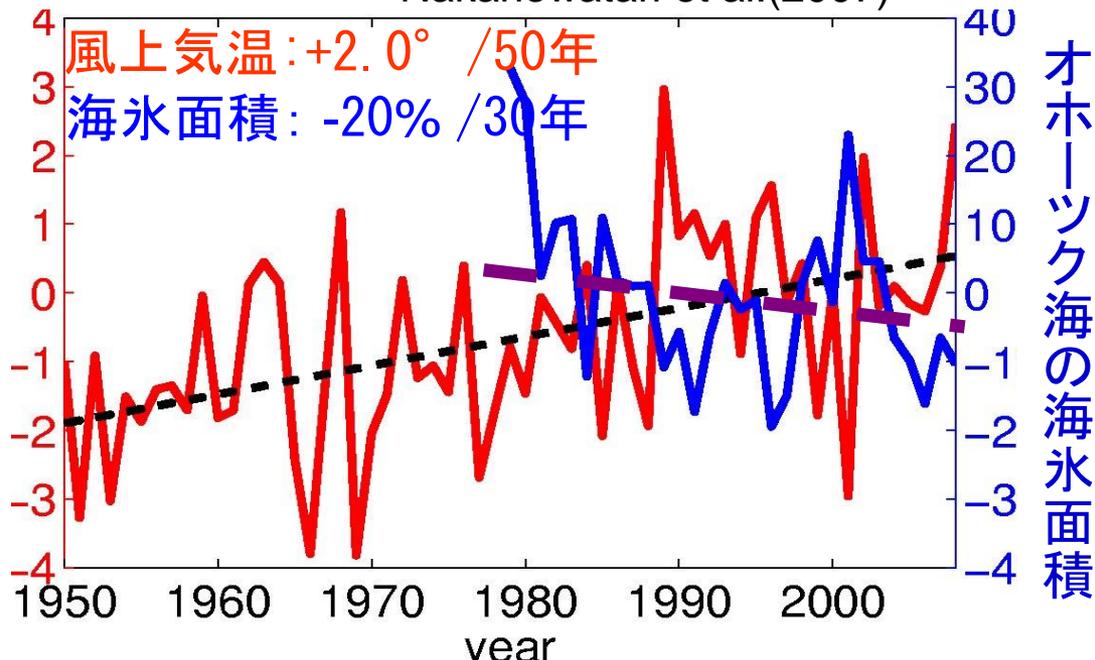
北極・夏の海氷の激減のメカニズム

- 熱力学的: アルベドフィードバック効果
多くが定性的な議論が→定量的な議論へ
海氷・海洋結合システムとしての理解
- 力学的: 風応力→海氷運動→海洋運動
→海氷運動

中層水の50年昇温トレンド



オホーツク海上の気温偏差

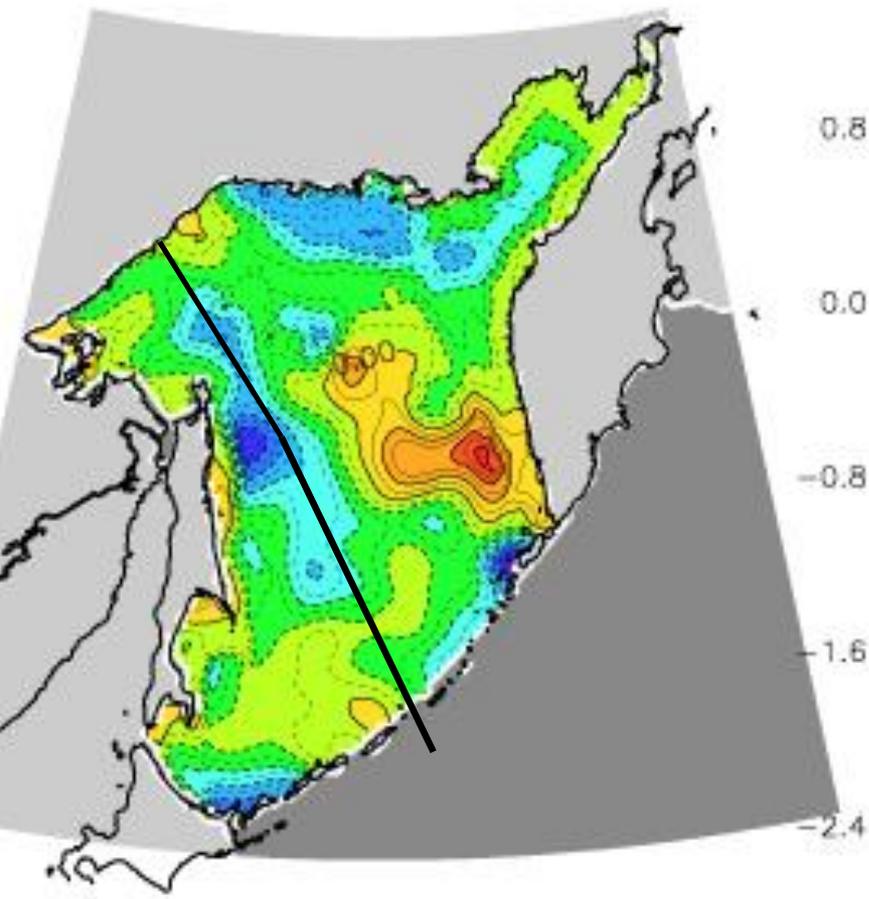


オホーツク海の中層水の50年間の変化

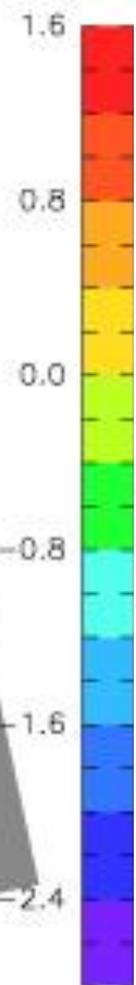
重い水の潜り込みは減っている！

[(1990-2009) - (1930-1980)]
水柱全体の塩分変化を
淡水フラックス(m)に換算

Fresh Water 00000

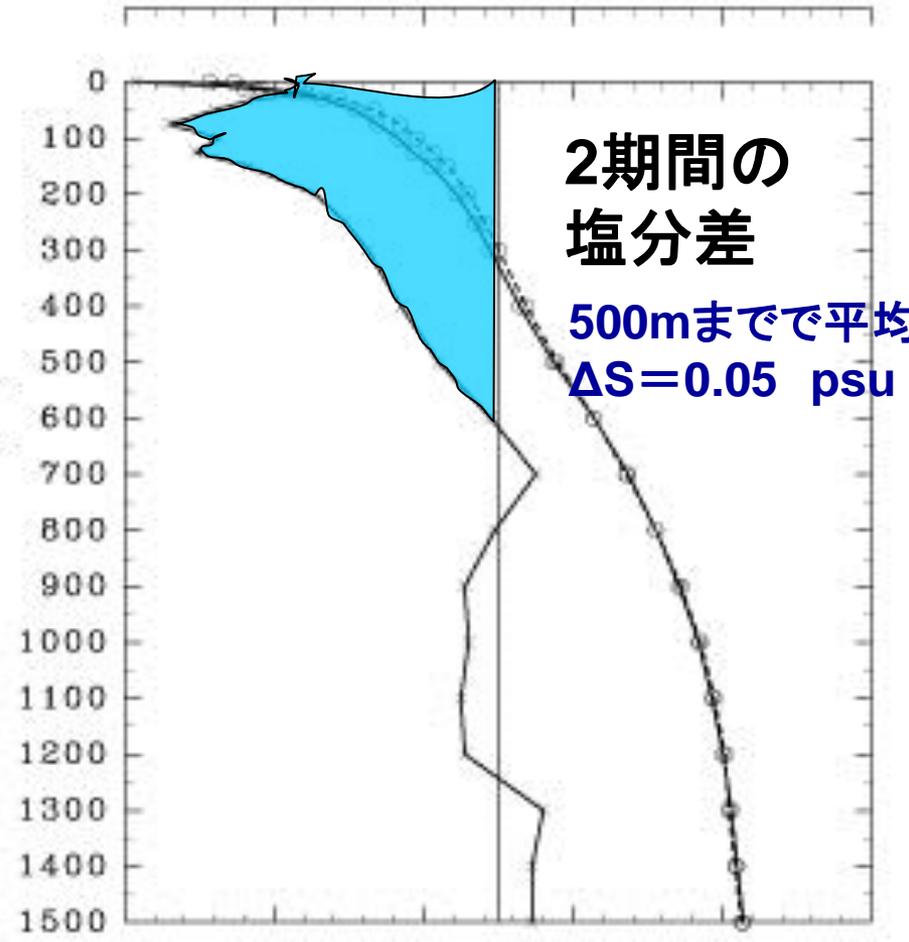


DEPTH (m)



平均すると0.52mの淡水化

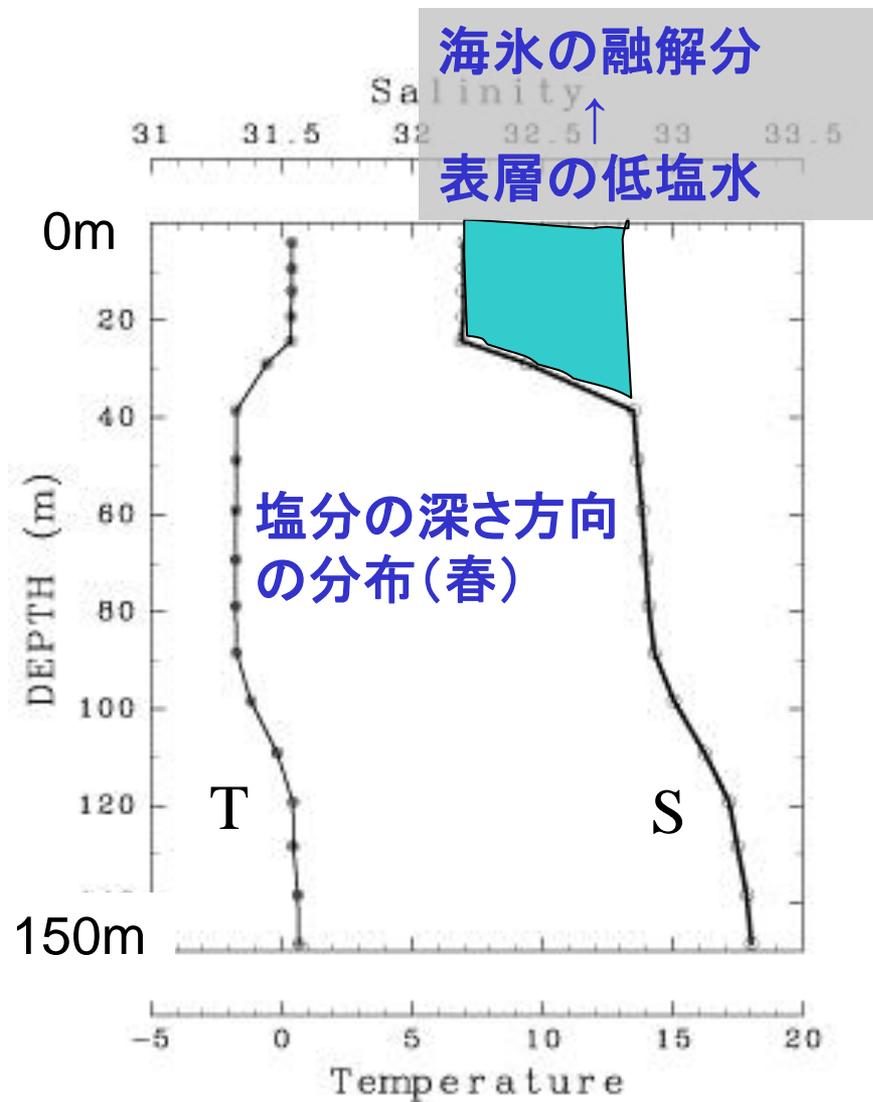
Salinity
32 32.6 33.2 33.8 34.4 35



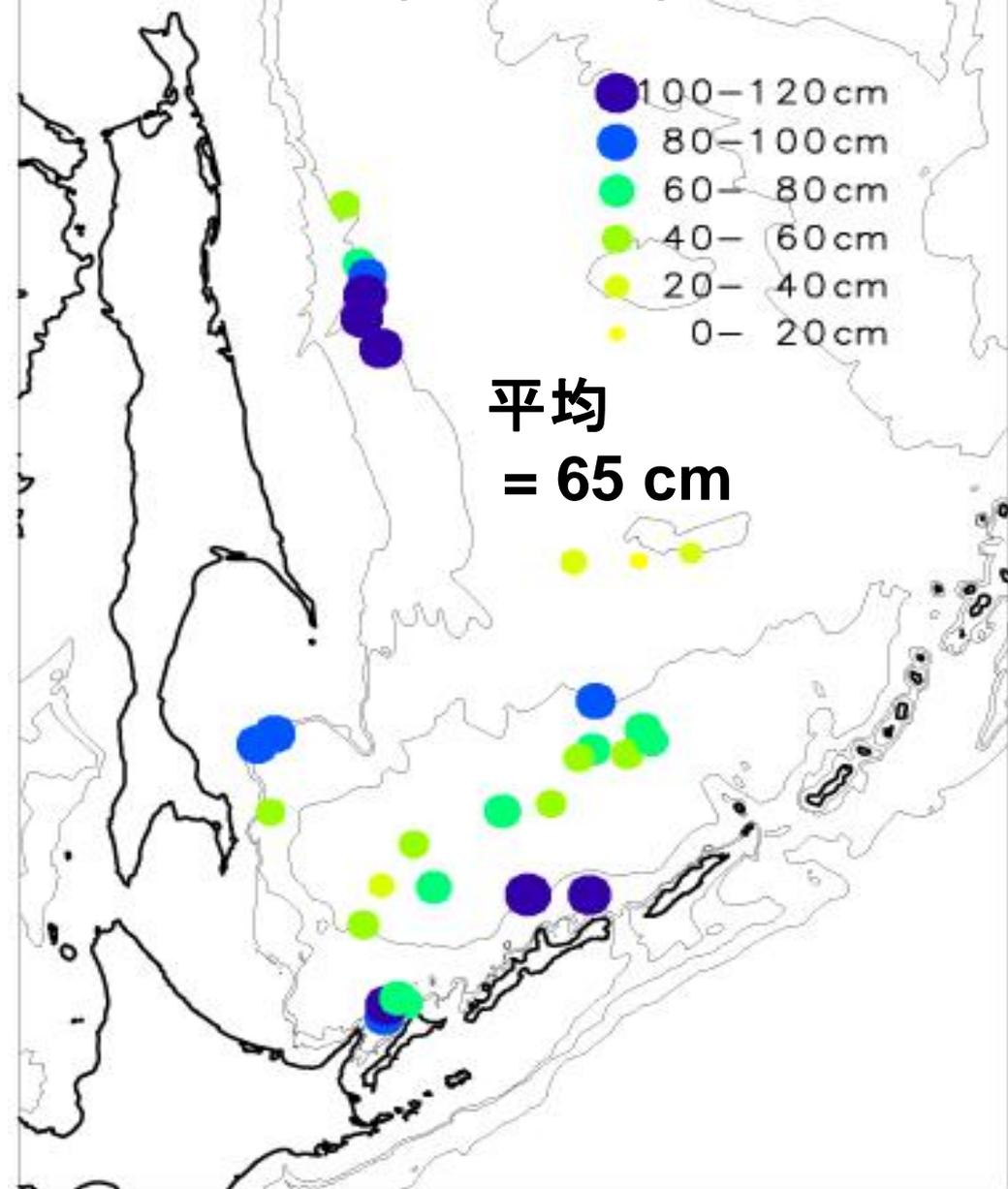
2期間の
塩分差

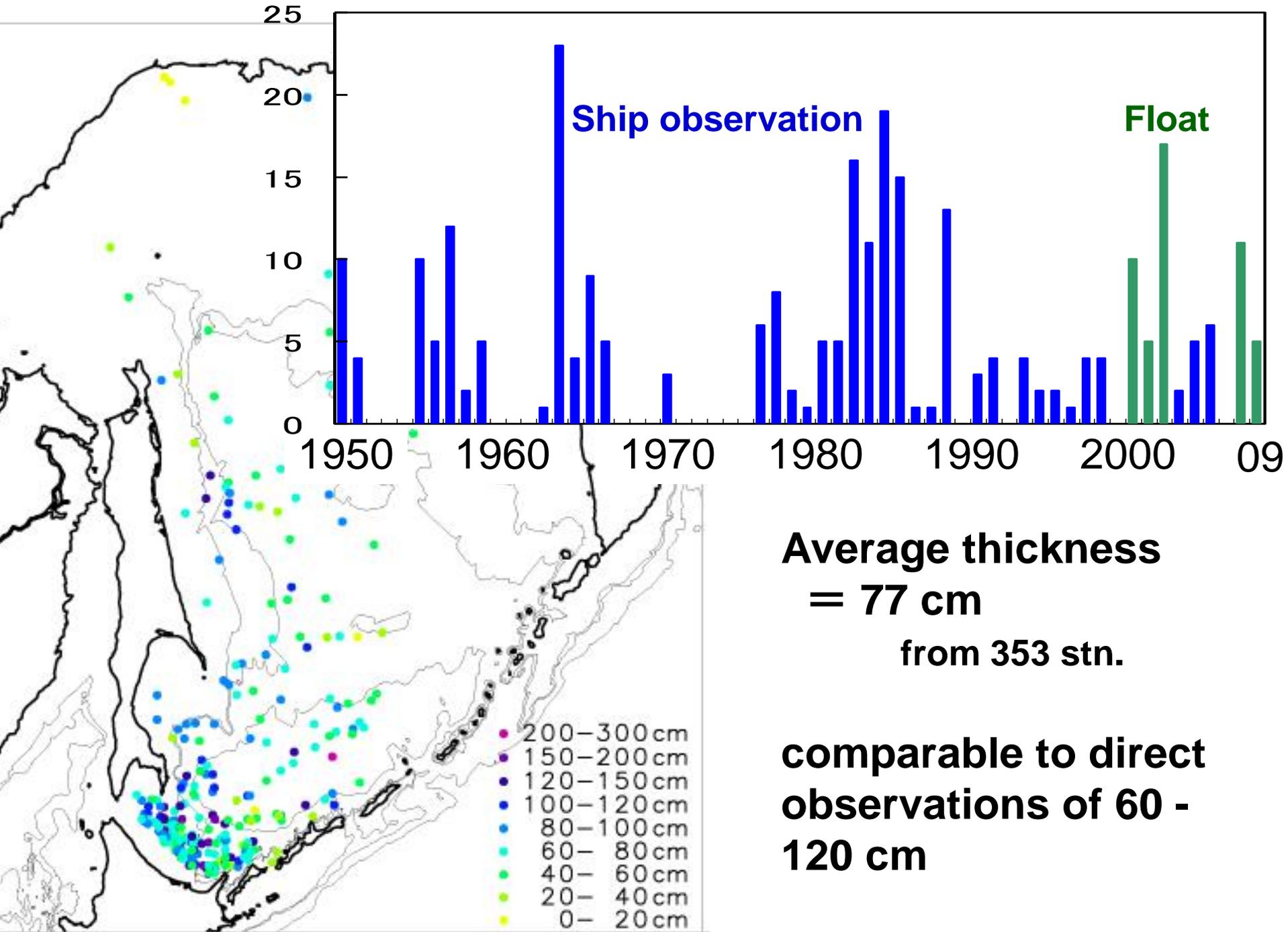
500mまでで平均
 $\Delta S = 0.05$ psu

Diff.

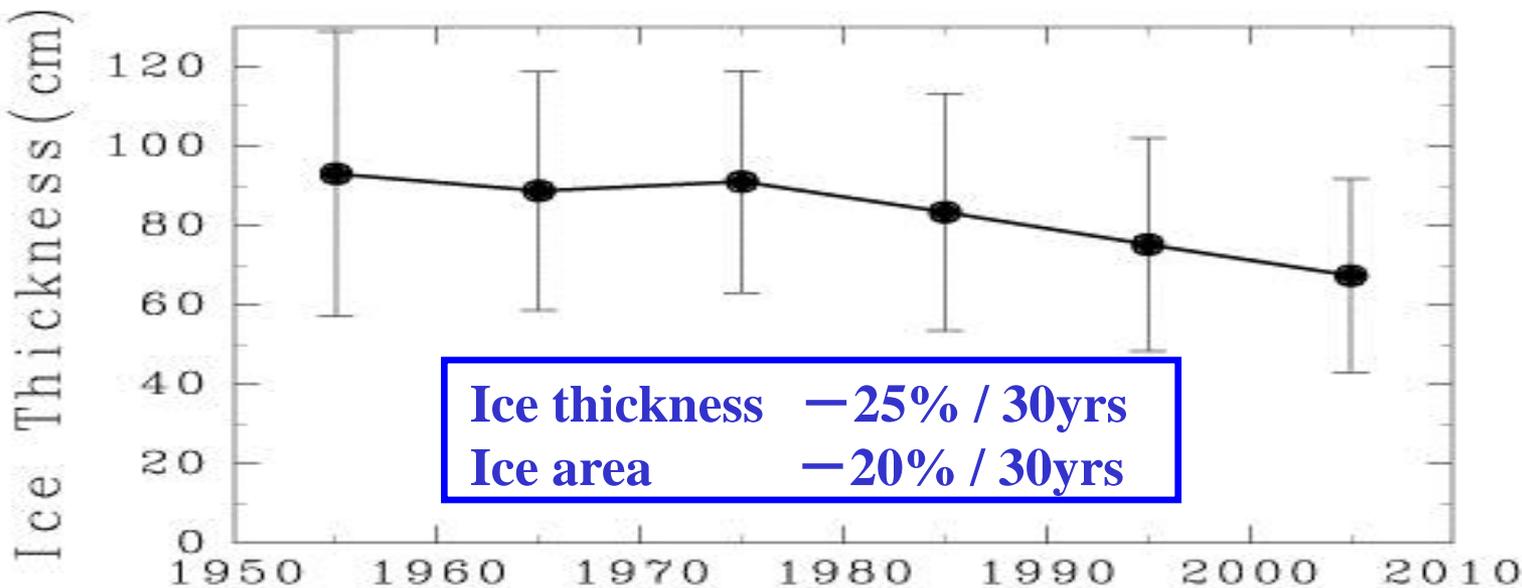
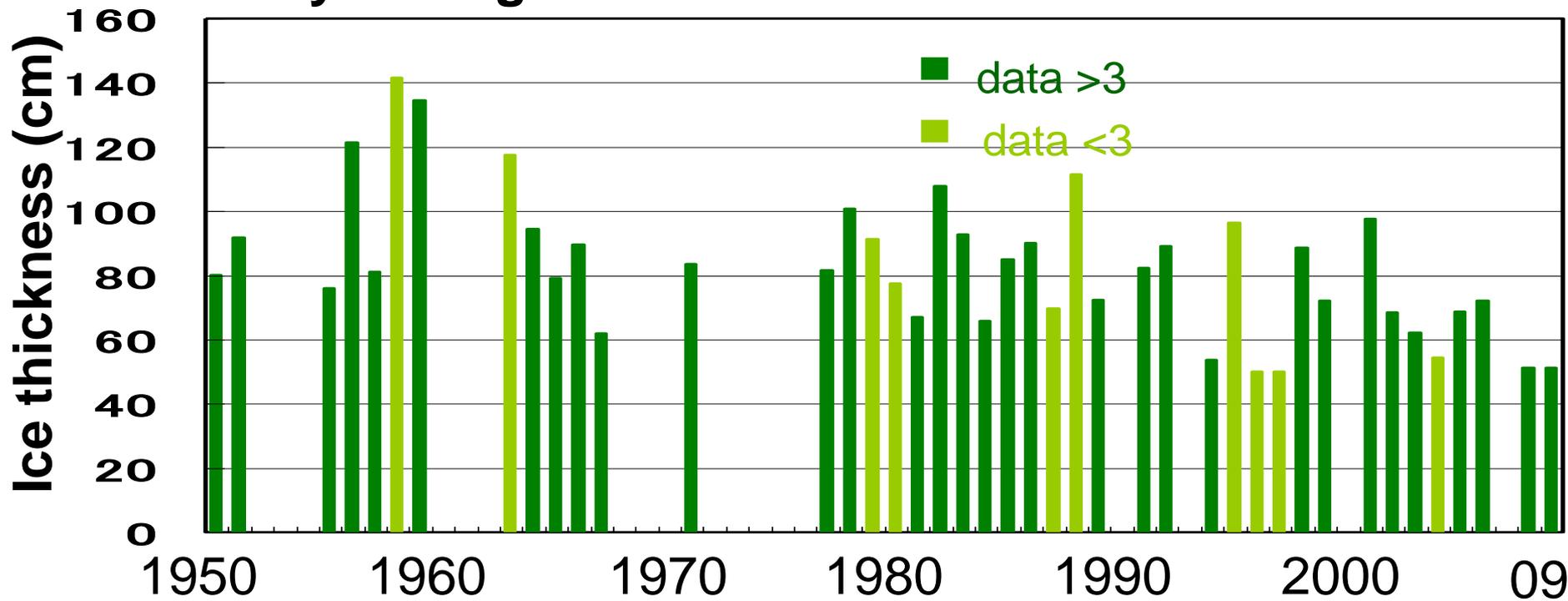


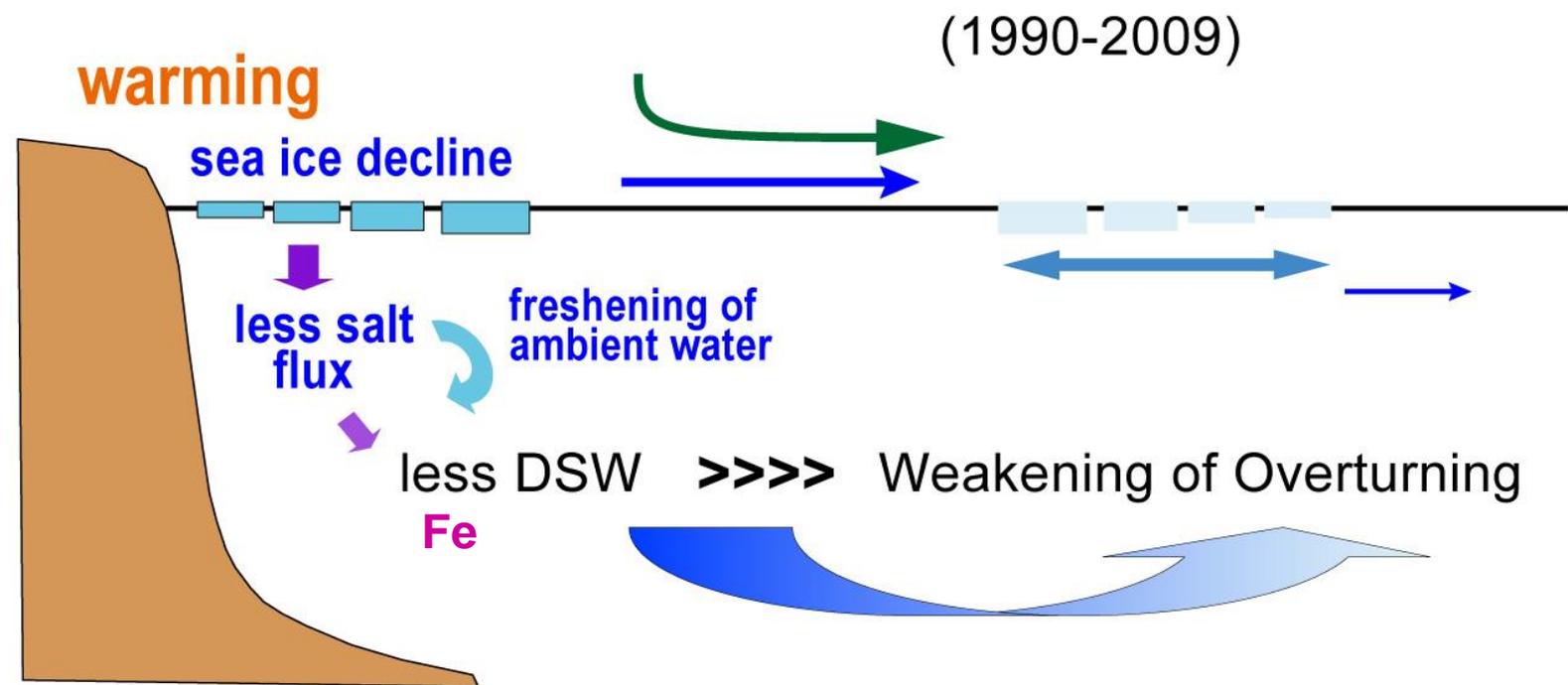
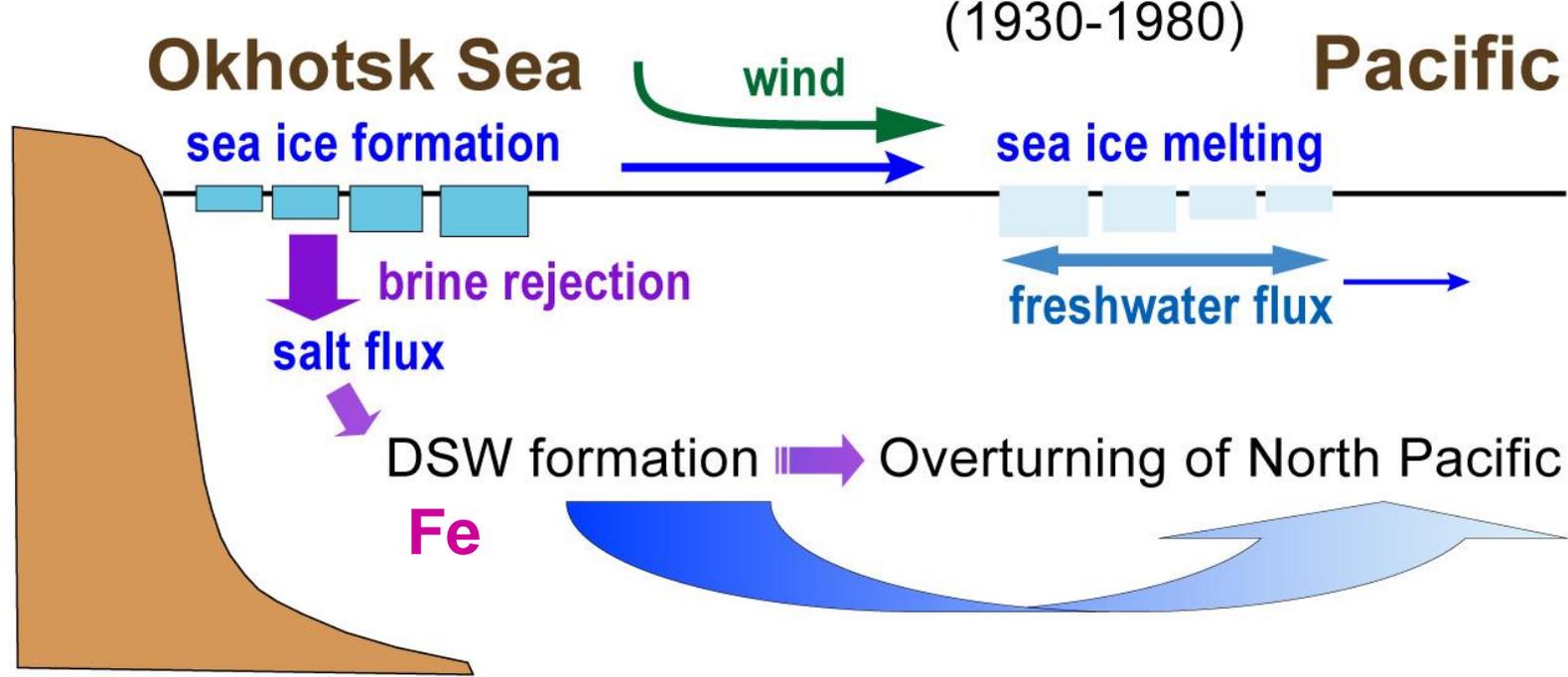
春の塩分から海氷の厚さを推定した例 (2001-2009): 42点





Yearly averaged ice thickness in the Sea of Okhotsk





巨大魚付林：
アムールオホーツクシステム

アムール川

鉄

海水生成による重い水生成

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

海氷生産量減少

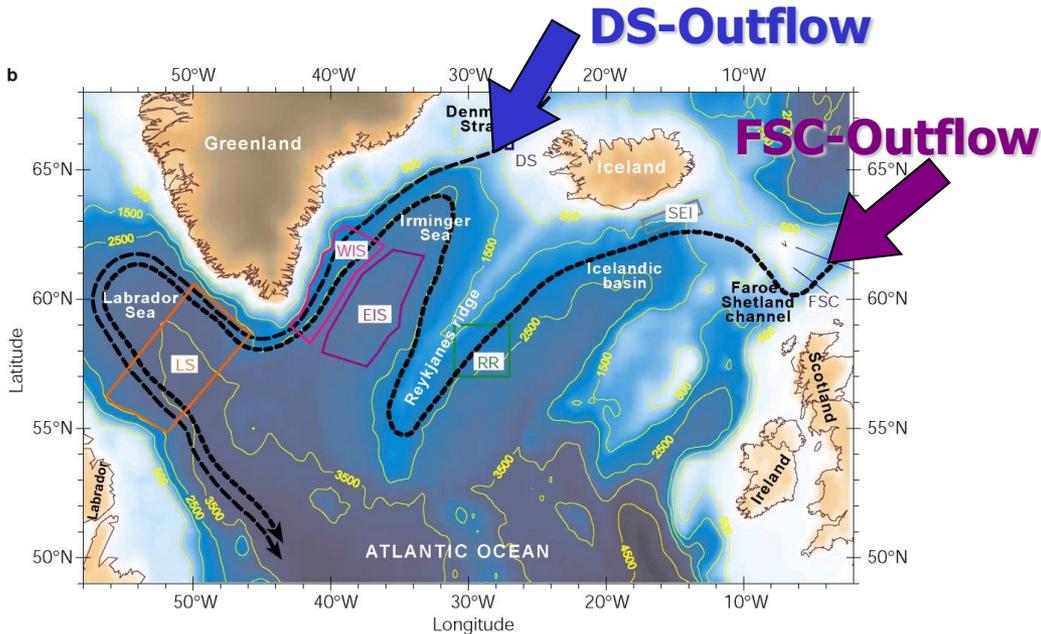
中層循環の弱化

鉄分の供給の弱化？

生物生産への影響？

中層鉄仮説

北大西洋深層水の変動



Dickson et al. (2002, Science)

1970年代からNADWの流路での塩分が、
おおよそ 0.01 per decade (もしくはそれ以上)の
割合で、広い範囲で減少し続けている。

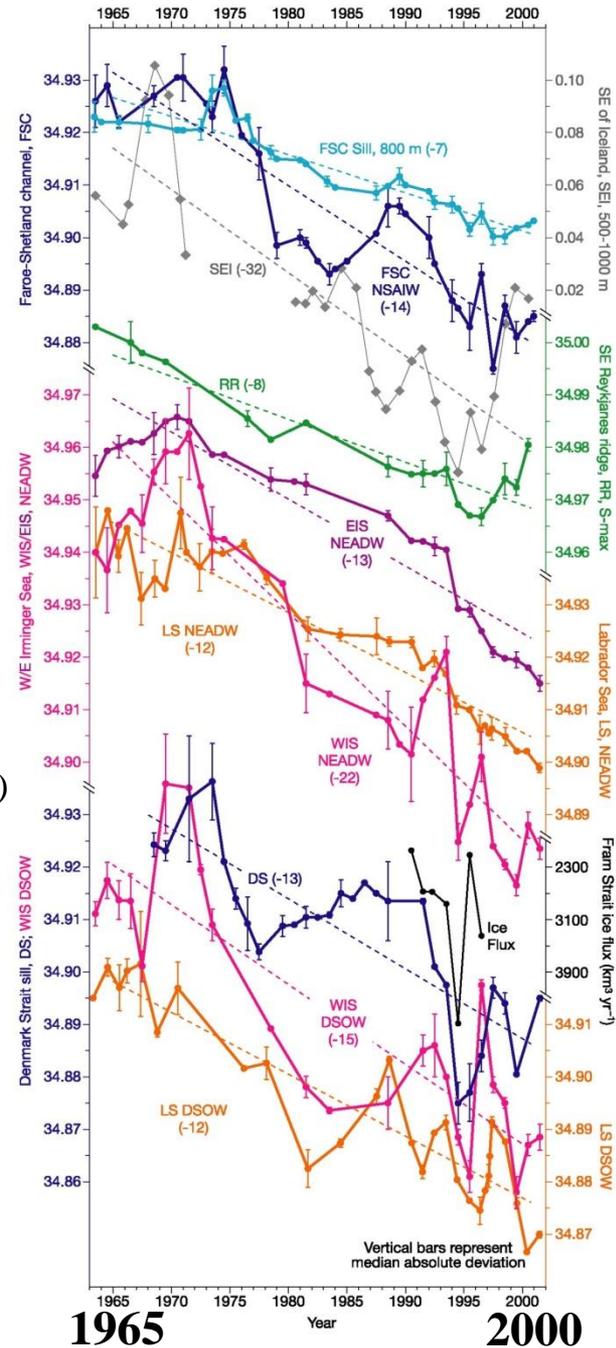
⇒ **NADWの継続的な広範囲での低塩分化**

Denmark Strait Outflow (DS-Outflow)

一様な塩分減少傾向と共に、海水輸送量変動に伴う
比較的短期の変動が見られる

Faroe-Shetland Cannel Outflow (FSC-Outflow)

一様な塩分減少傾向が見られる。Iceland付近では
より強い低塩分化の傾向も見られる。



FSC-Overflow

DS-Overflow

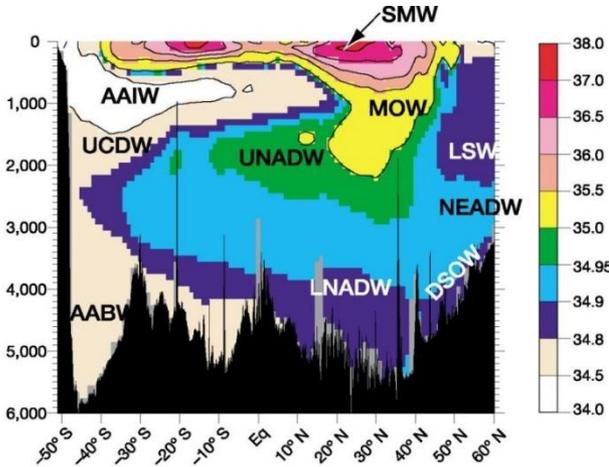
1965 Year 2000

北大西洋深層水の変動

JAMSTEC菊地さんのスライド

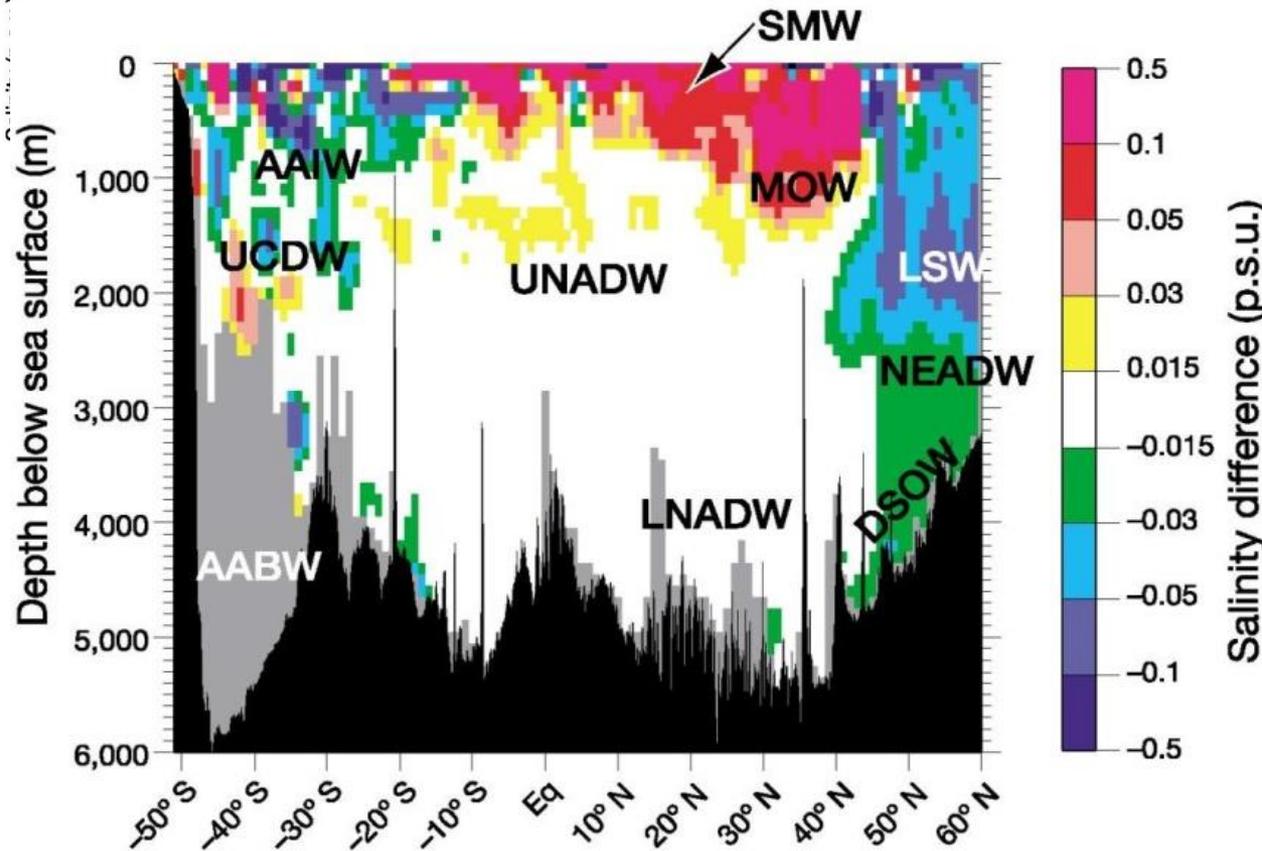
大西洋西部での1955-69と1985-99の間の塩分比較

低塩分化・低温化したLSW,NEADW,DSOWが北緯40付近まで広がっている。



平均塩分断面

Curry et al. (2003, Nature)
(1985-99) - (1955-69)の塩分差

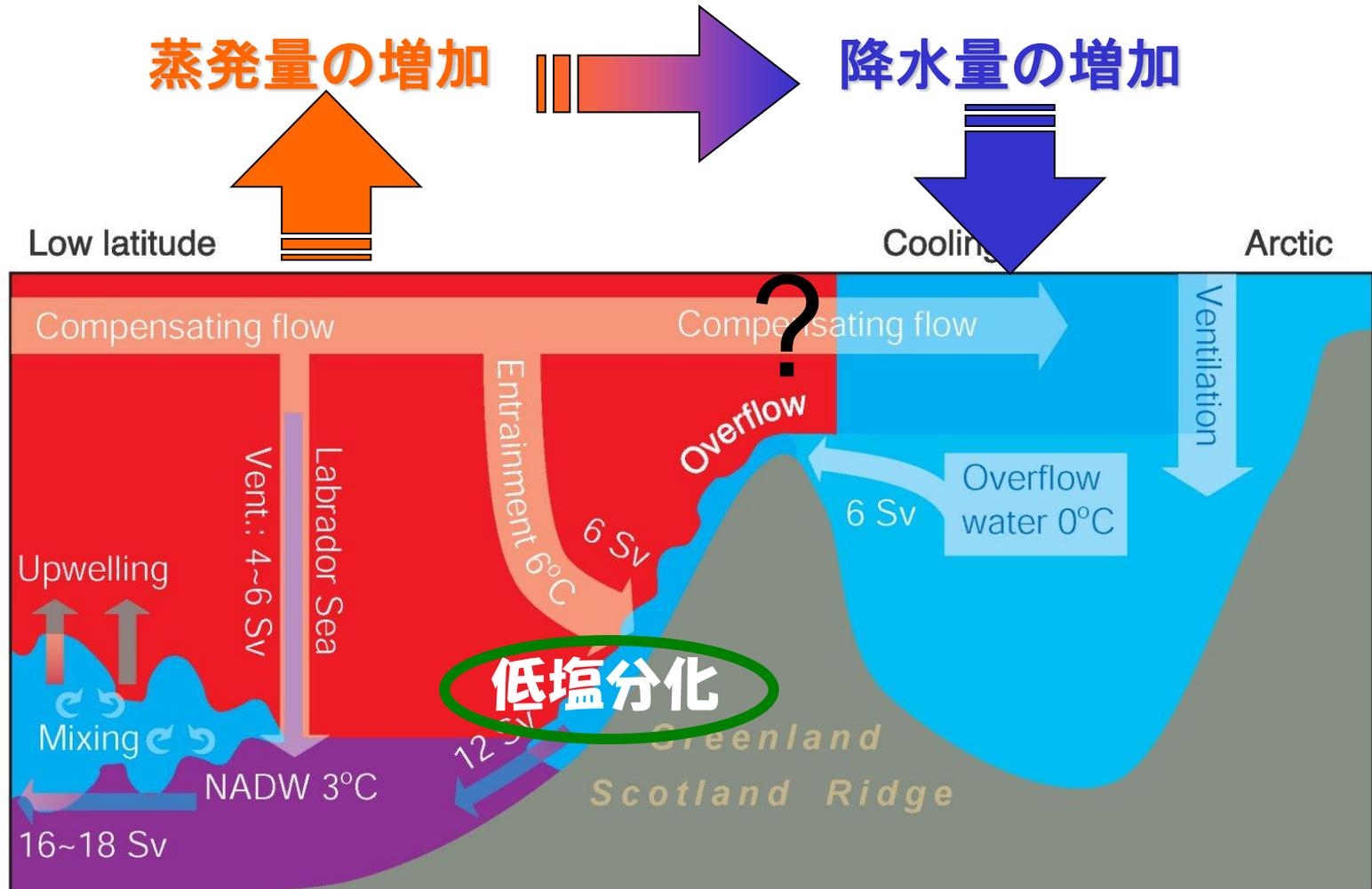


- 大西洋全体で見ると、
- ・25S以南の海域で低塩分化が見られる。
 - ・熱帯、亜熱帯域表層水の高塩分化も顕著である。

北大西洋深層水の変動と関連して...

JAMSTEC菊地さんのスライド

Global Warmingと全球的な水循環の変化の影響

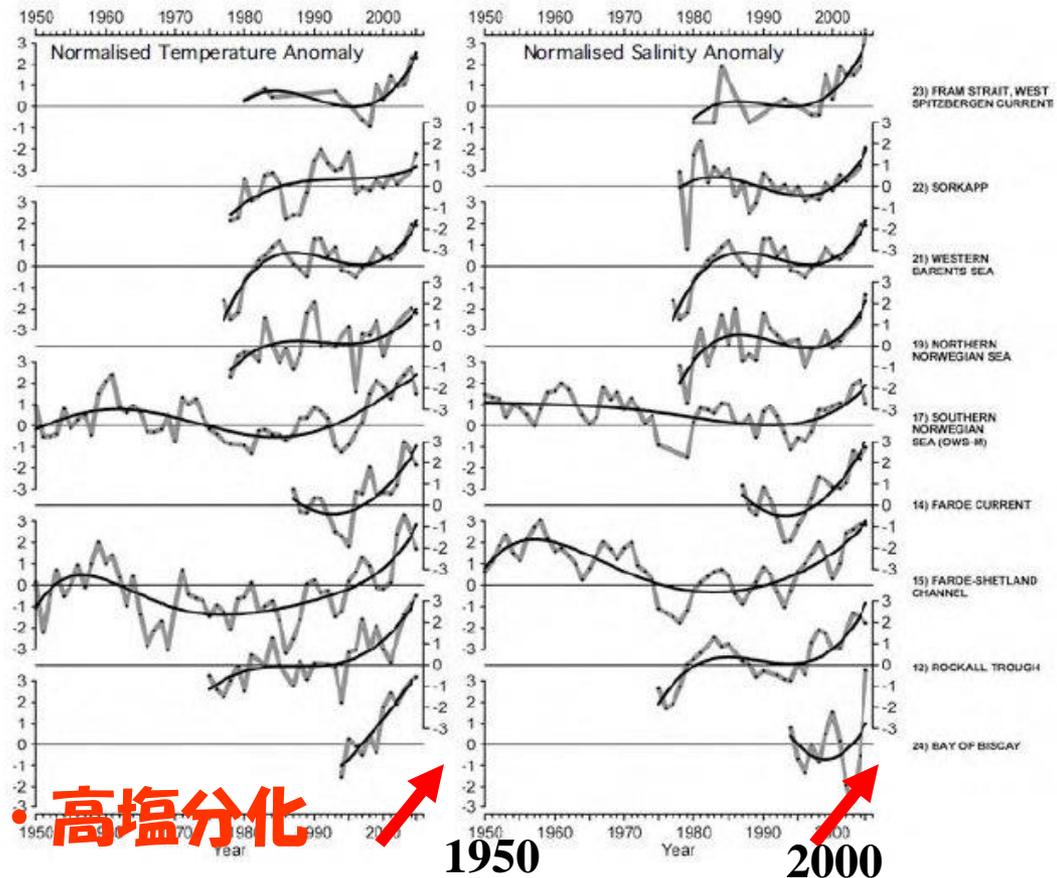
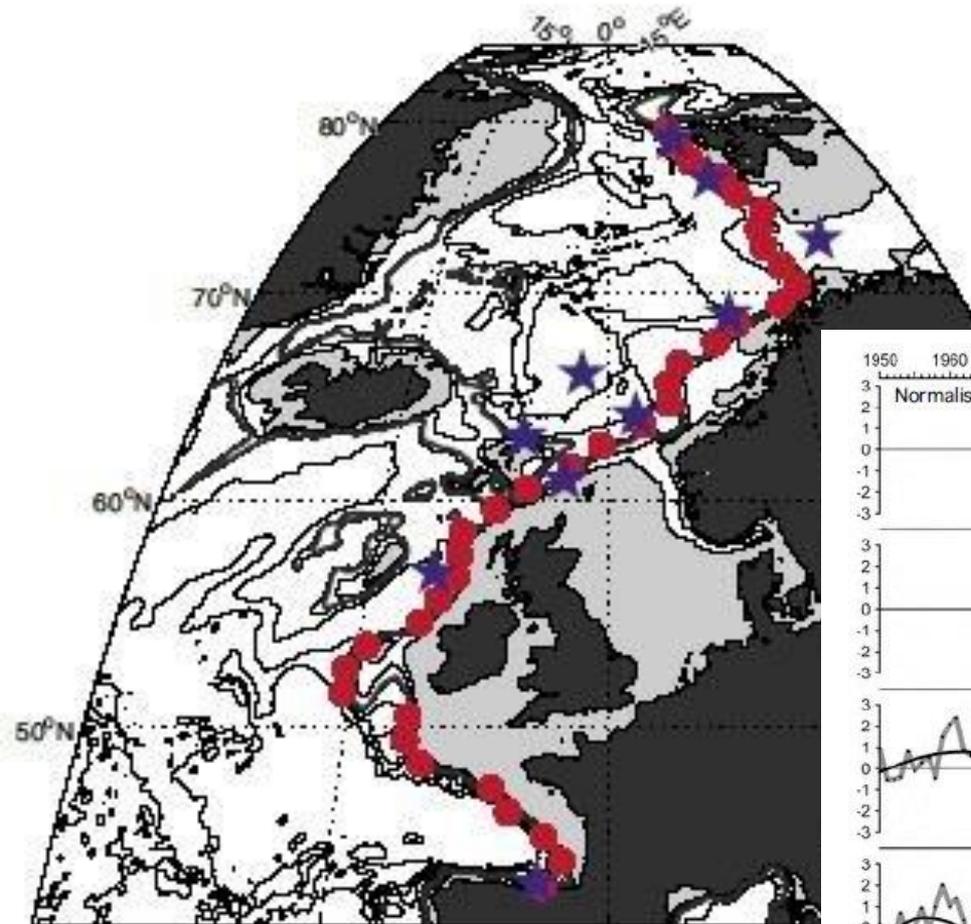


北大西洋深層水の変動と関連して...

Holliday et al. (2007, CLIVAR Exchange)より

左: 観測地点を示した地図

右下: 観測地点の地図地図の星印の観測点における
水温(左)と塩分(右)の時間変化



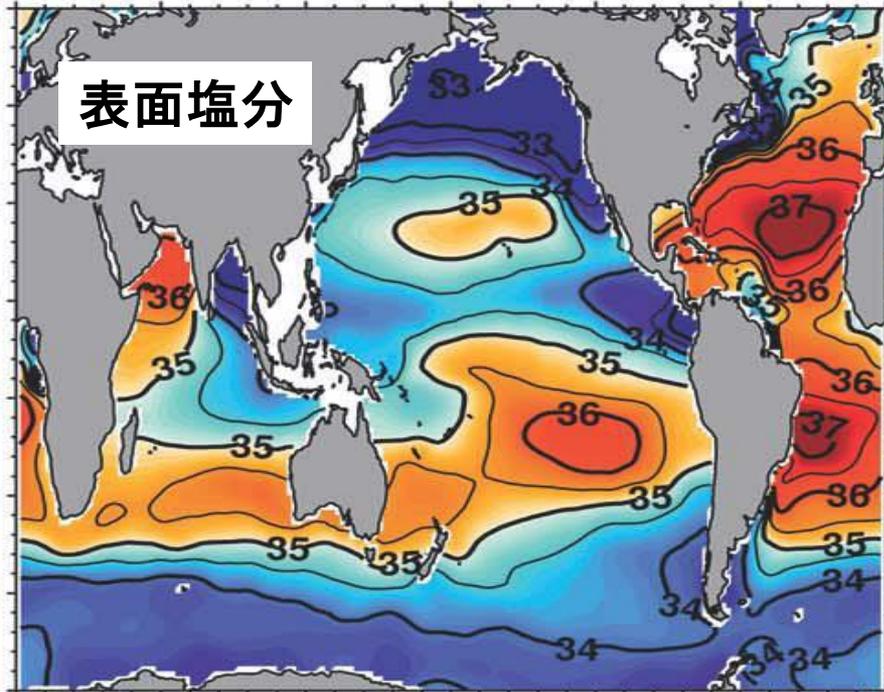
1990年代後半からの高温

高塩分化

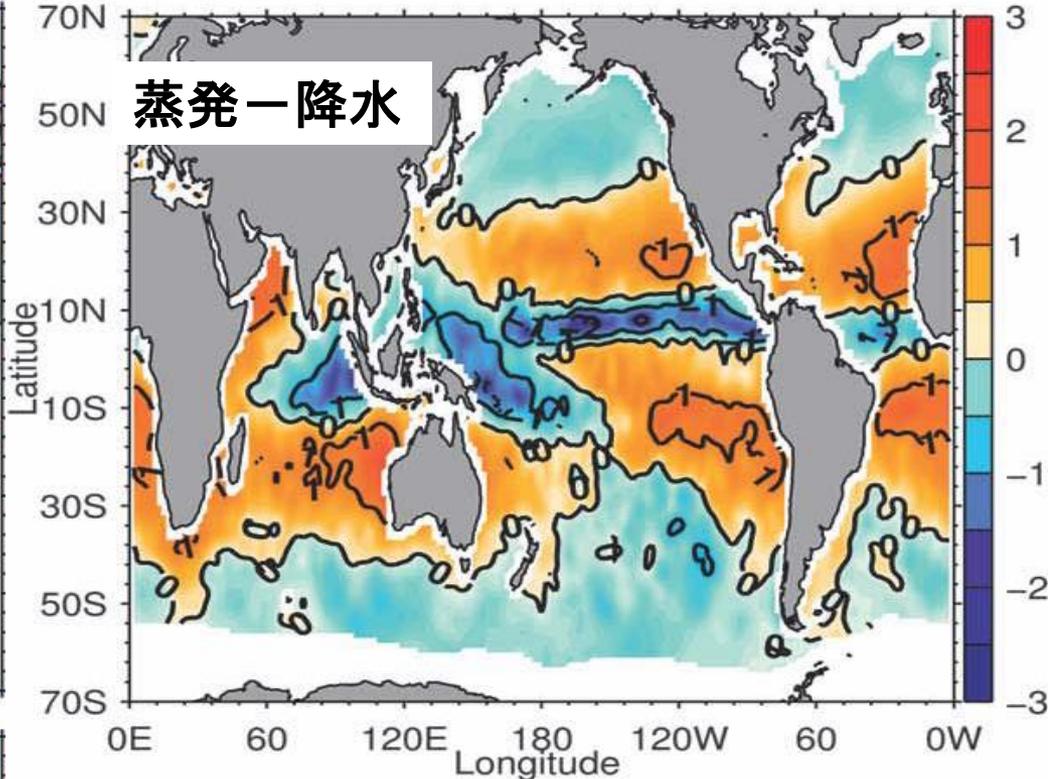
今後どうなる北大西洋深層水？

- 低塩化により深層水の生成が減少
→熱塩循環が弱化→停止
(ゆっくりとDay After Tommorrowへ)
- 高塩化した亜熱帯系水が北上し、
低塩化は止まり、深層水も元のように生成

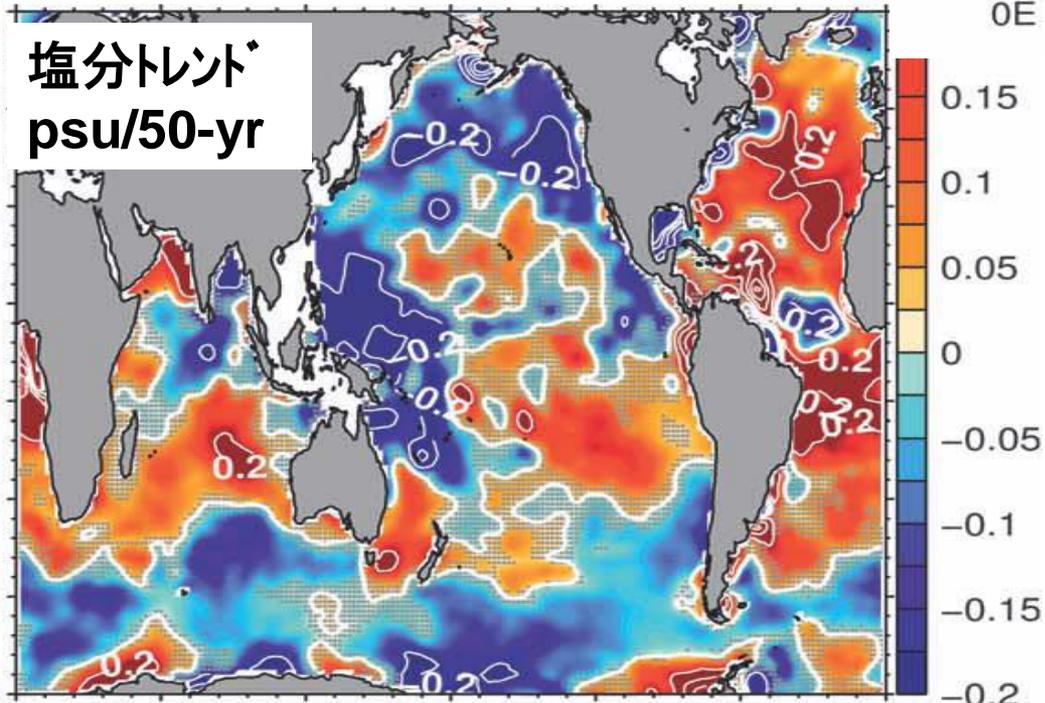
表面塩分



蒸発-降水



塩分トレンド
psu/50-yr

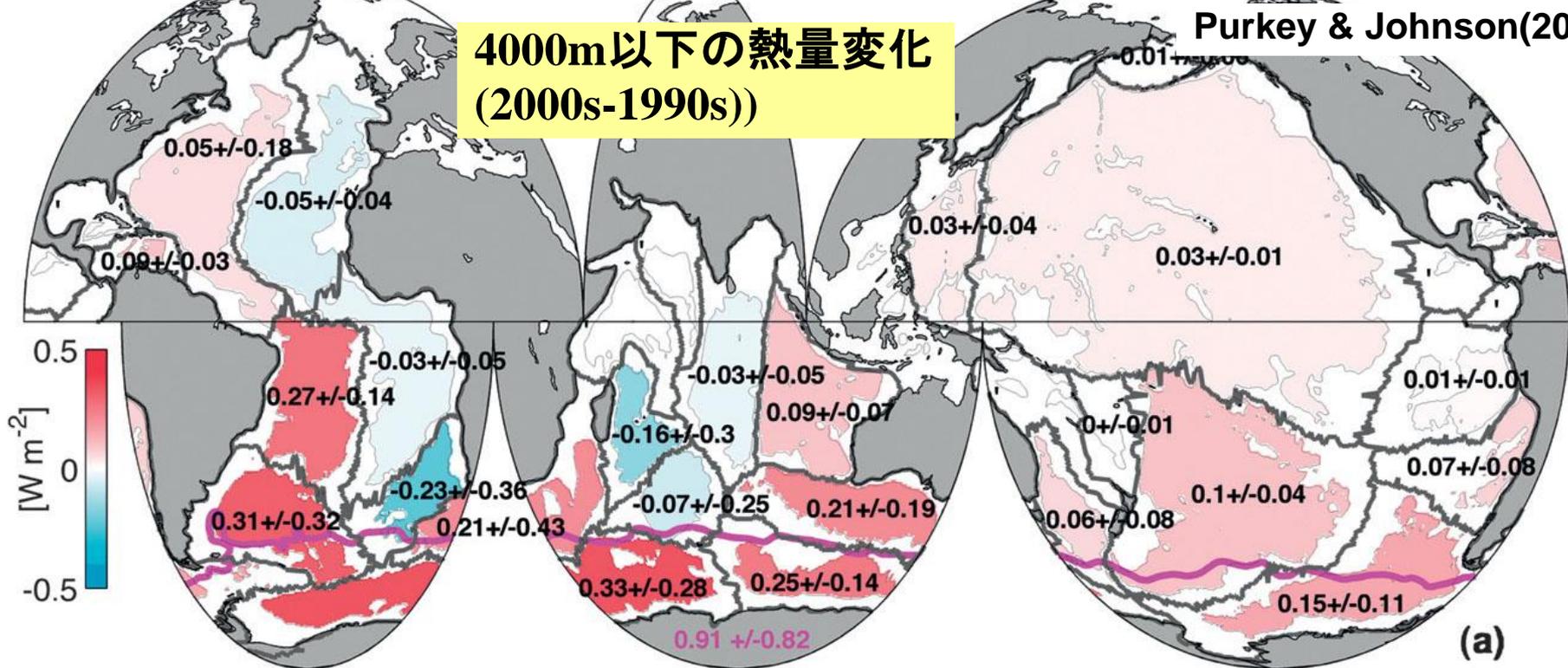


Durack and Wijffels(2010)

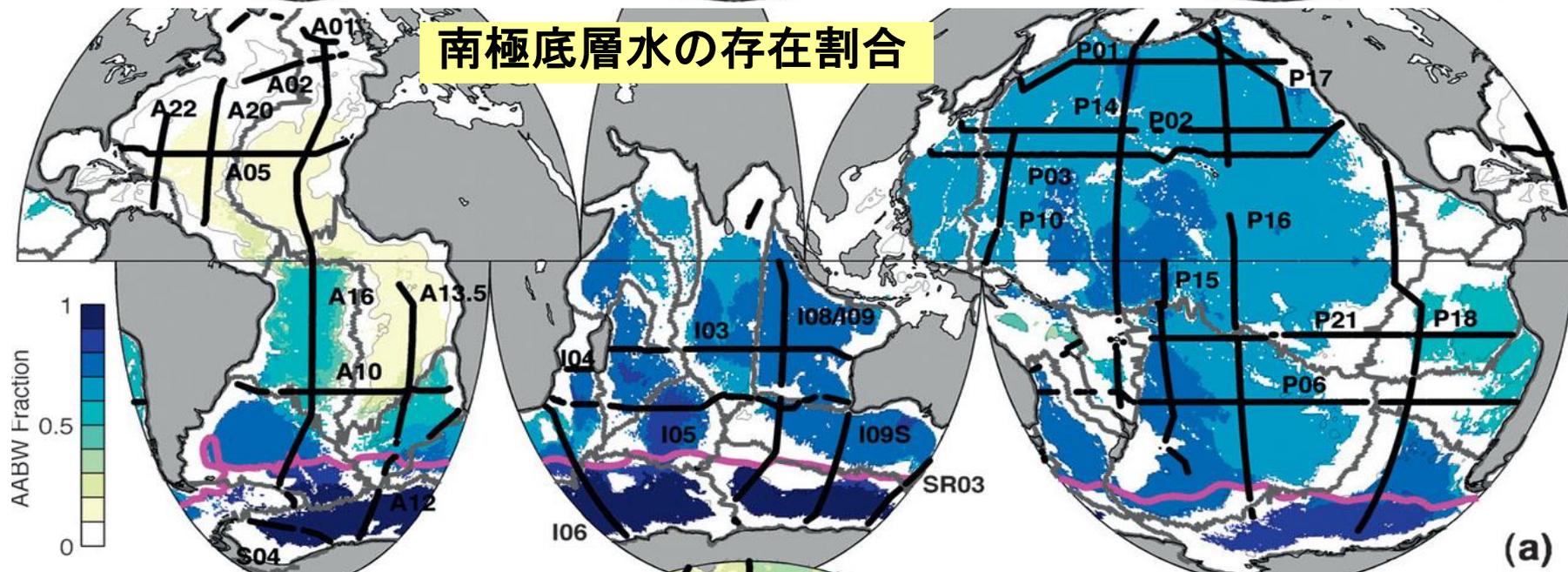
降水過剰域(両極側)での低塩分化と、
蒸発過剰域(熱帯・亜熱帯)での高塩分化

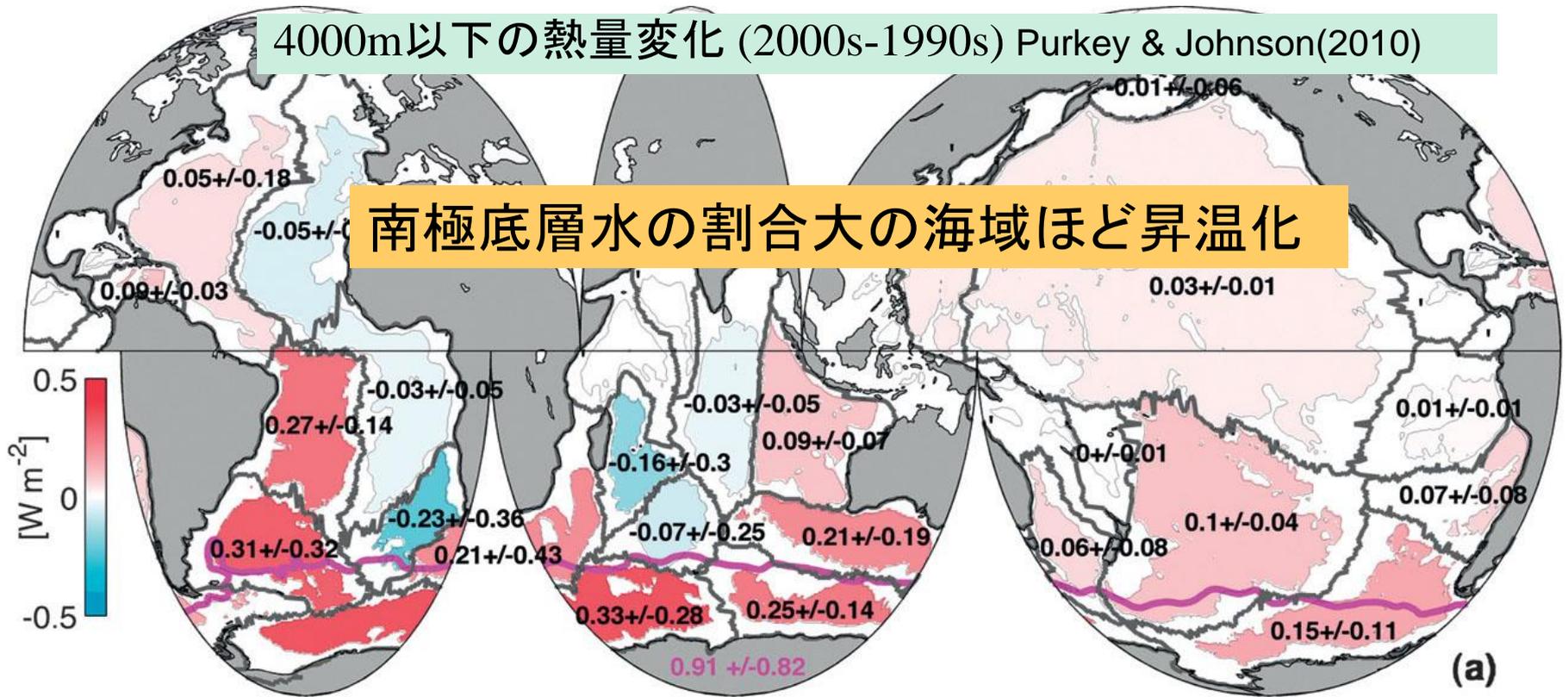
**Global Warmingに伴う
全球的な水循環の活発化**

4000m以下の熱量変化
(2000s-1990s)



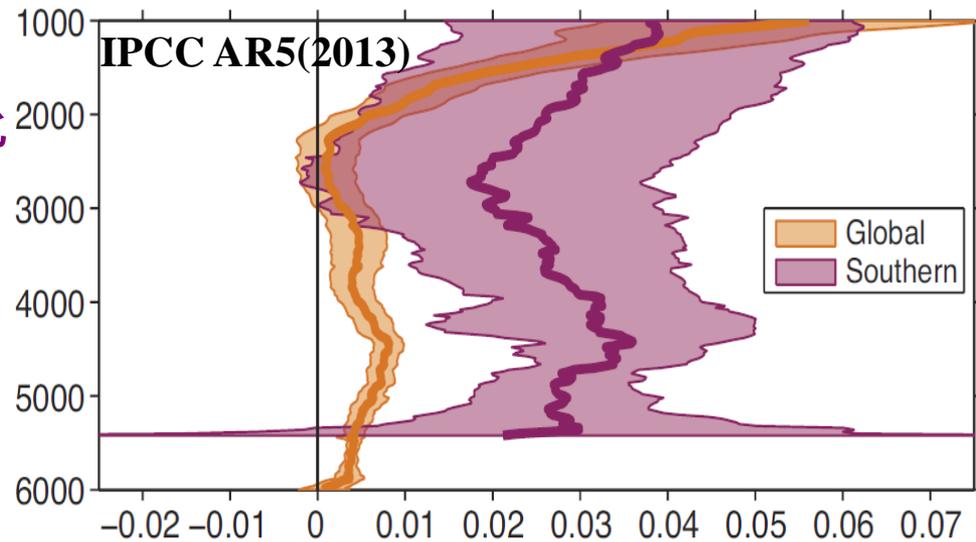
南極底層水の存在割合



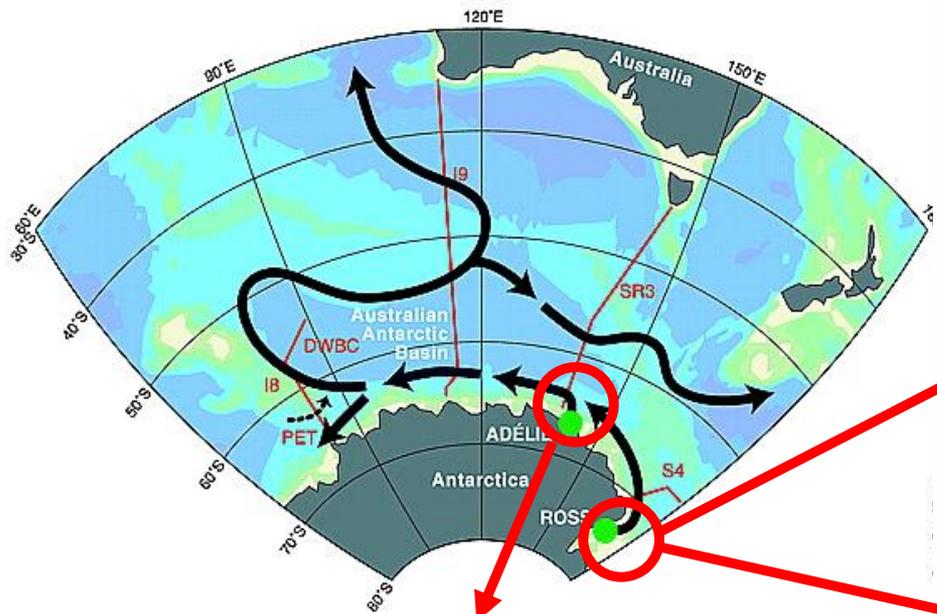


南極底層水の昇温化・低塩化・低密度化

- 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???



南極底層水の変質



ロス海の淡水化
25Gt/yr
Kaneta & Aoki

