

A world map with a blue and white color scheme, showing the outlines of continents and oceans. The map is centered and serves as the background for the text.

渋谷区民大学「気象学」第7回

海の深層と気候のはなし

羽角博康

東京大学気候システム研究センター

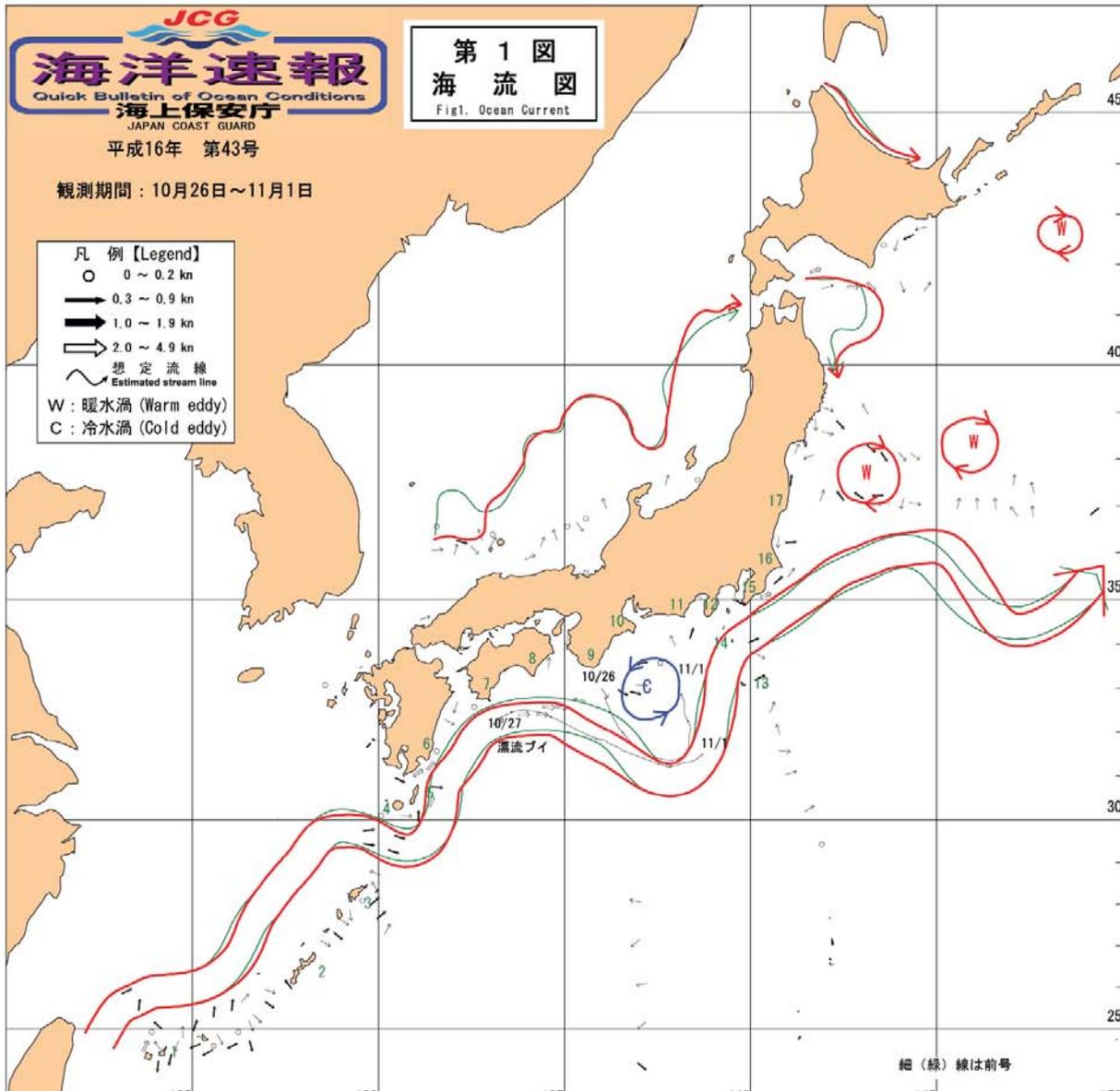
海流の存在 - 表層海流 -

第1図
 海流図
 Fig1. Ocean Current

平成16年 第43号

観測期間：10月26日～11月1日

- 凡例【Legend】
- 0～0.2 kn
 - 0.3～0.9 kn
 - 1.0～1.9 kn
 - 2.0～4.9 kn
 - 想定流線
Estimated stream line
 - W: 暖水渦 (Warm eddy)
 - C: 冷水渦 (Cold eddy)



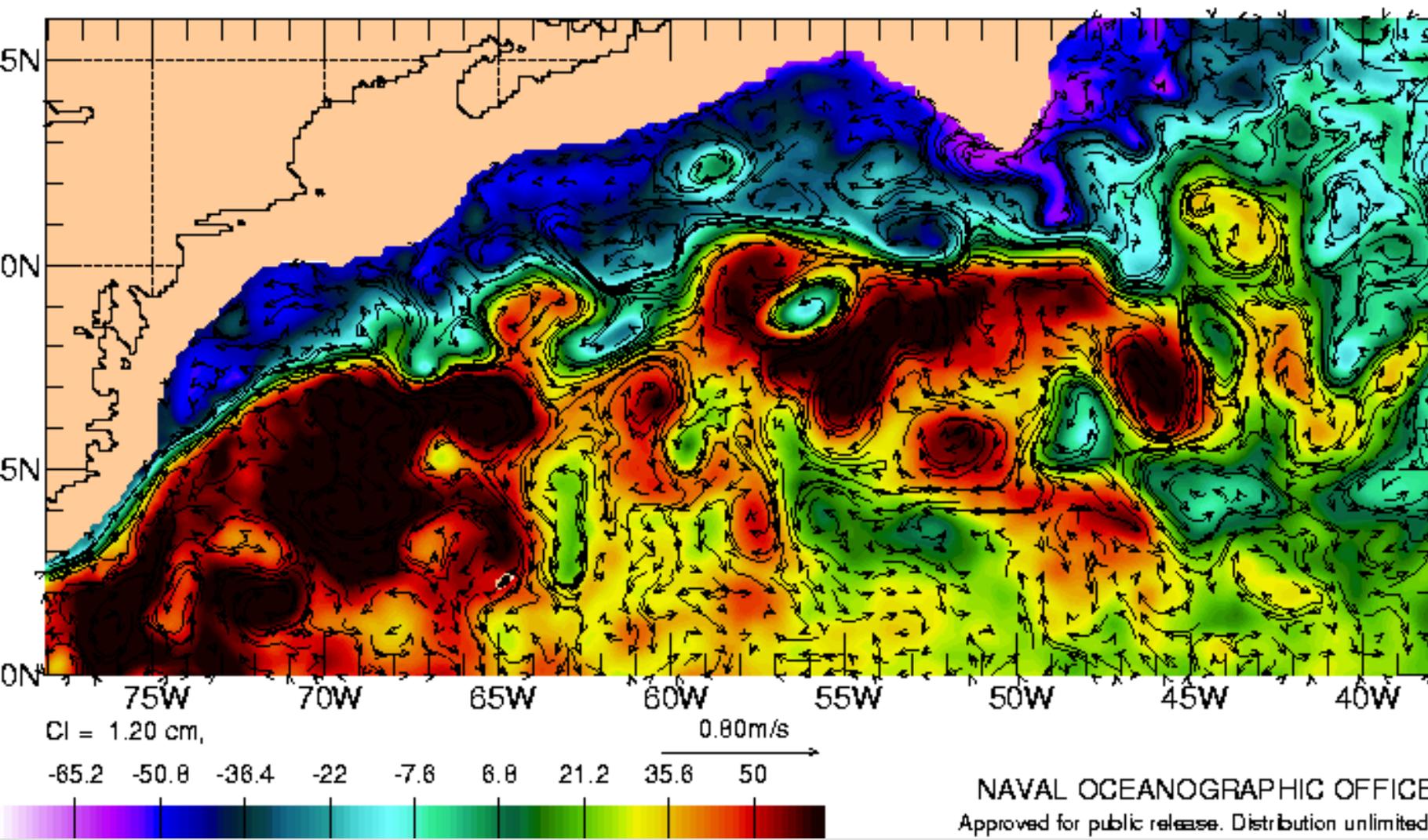
黒潮本流 (Kuroshio Current)				
	地名 Place Name	流軸までの方向 Direction	流軸までの距離 Dist. (NM)	黒潮流域の表面水温 Surface Temp. (°C)
1	石垣島 (Ishigaki Shima)	NW	90	26
2	沖縄島 (Okinawa Shima)	NW	90	26
3	奄美大島 (Amami-O Shima)	NW	85	25
4	屋久島 (Yaku Shima)	WSW	75	25
5	種子島 (Tane ga Shima)	S	60	25
6	都井岬 (Toi Misaki)	SE	30	25
7	足摺岬 (Ashizuri Misaki)	S	30	24
8	室戸岬 (Muroto Saki)	SSE	55	24
9	潮岬 (Shio-no-Misaki)	S	90	24
10	大王埼 (Daio Saki)	S	170	24
11	御前埼 (Omae Saki)	S	210	25
12	石廊崎 (Iro Saki)	SSE	60	25
13	八丈島 (Hachijo Shima)	-	-	-
14	三宅島 (Miyake Shima)	付近 (adjacent)		25
15	野島埼 (Nojima Saki)	SE	35	25
16	犬吠埼 (Inubo Saki)	SE	45	25
17	塩屋埼 (Shioya Saki)	ESE	210	24

【海洋速報に対する問い合わせ】
 海上保安庁 海洋情報部 海洋情報課「海の相談室」
 【Inquiry concerning Quick Bulletin of Ocean Conditions】
 Marine Information Service Office,
 Oceanographic Data and Information Division,
 J.H.O.D. J.C.G.
 Tel : 03 - 3541- 4296
 E-mail : consult@odc.go.jp
 発行日【The Date of publication】
 平成16年11月2日 (2 Nov. 2004)
 URL : http://www1.kaiho.mlit.go.jp

海流の存在 - 表層海流 -

UNCLASSIFIED: 1/16° Global NLOM

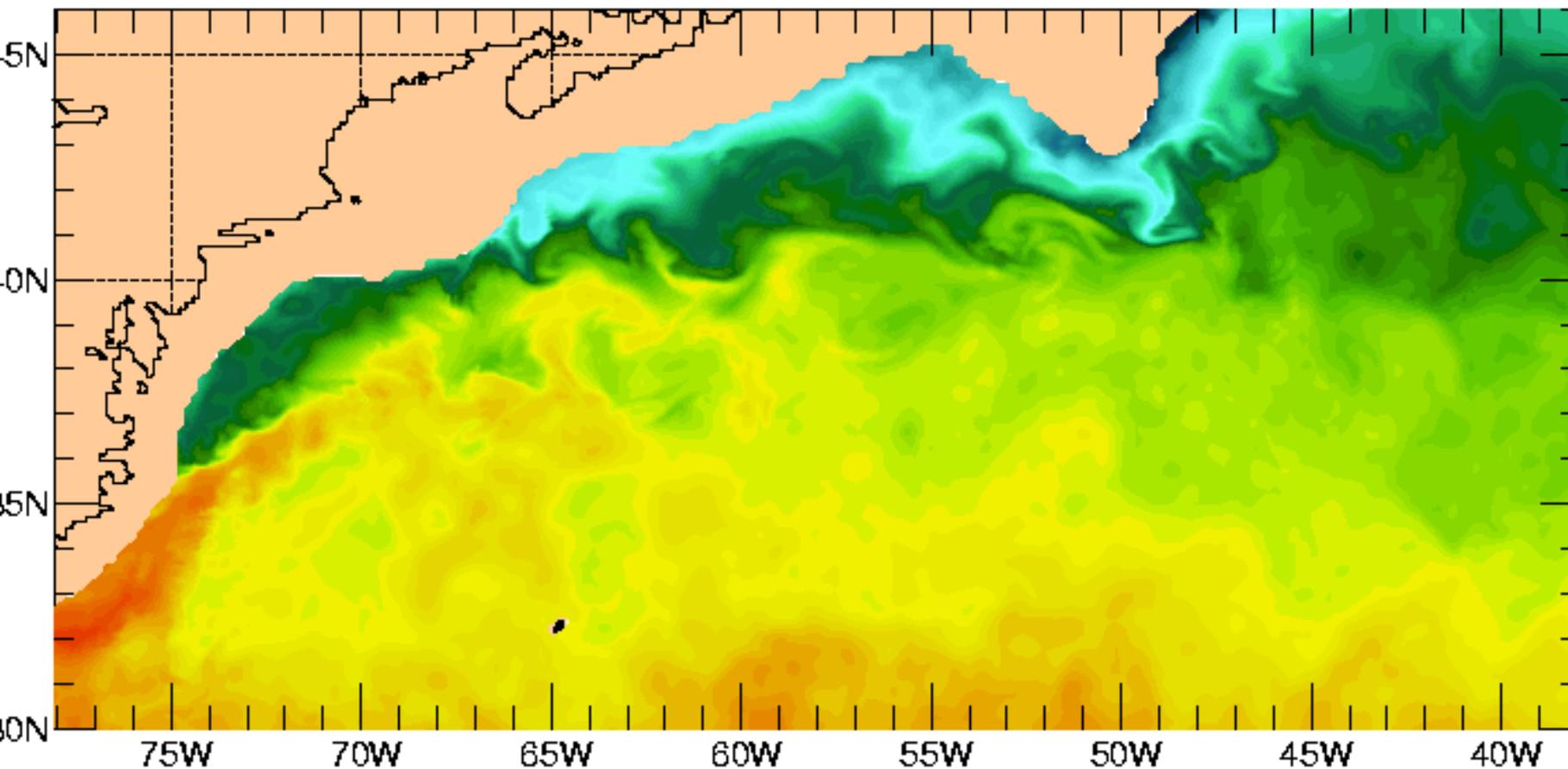
SSH/CURRENT ANALYSIS: 20041102



表層海流 - 暖流と寒流 -

UNCLASSIFIED: 1/16° Global NLOM

SST ANALYSIS: 20041102



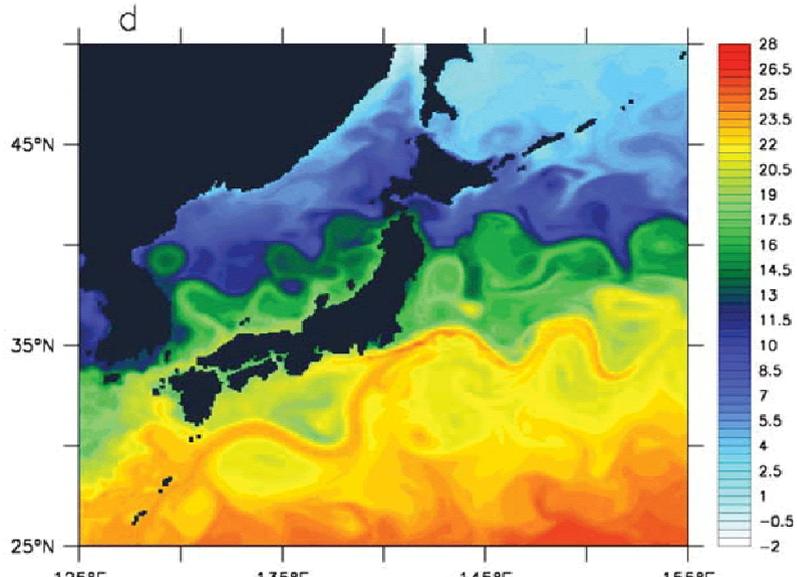
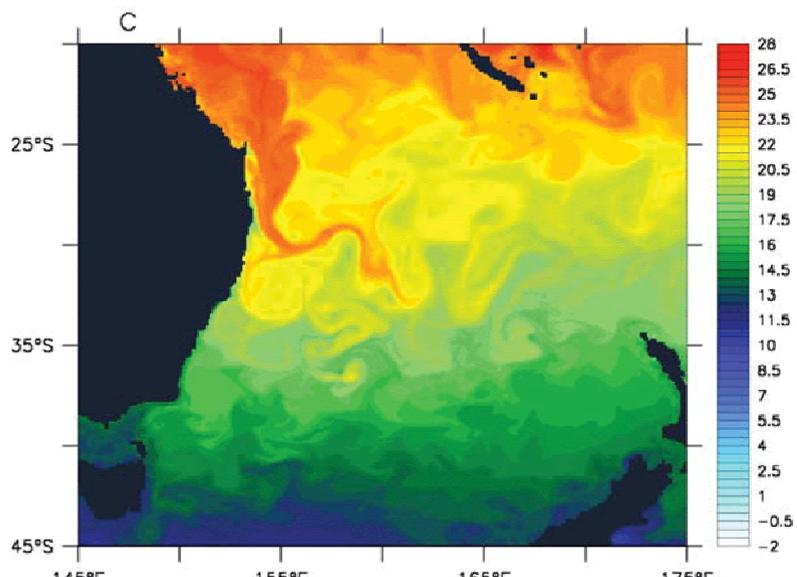
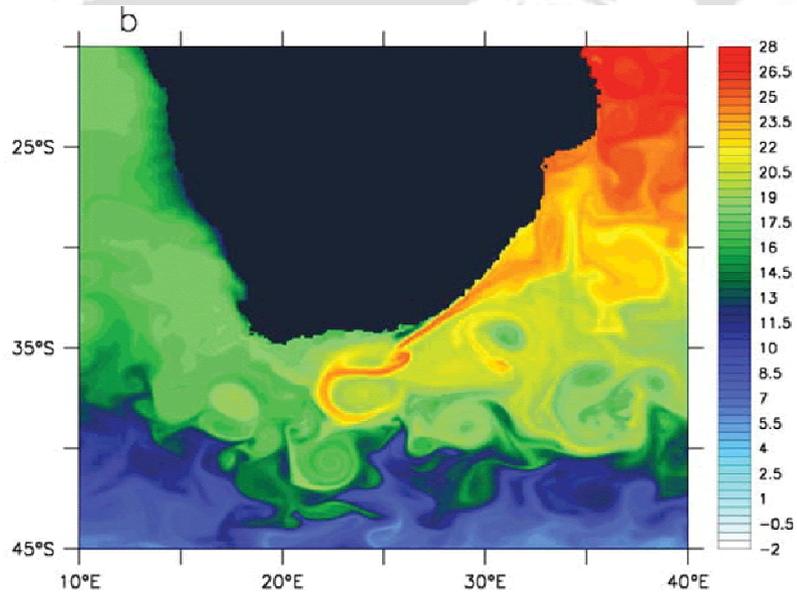
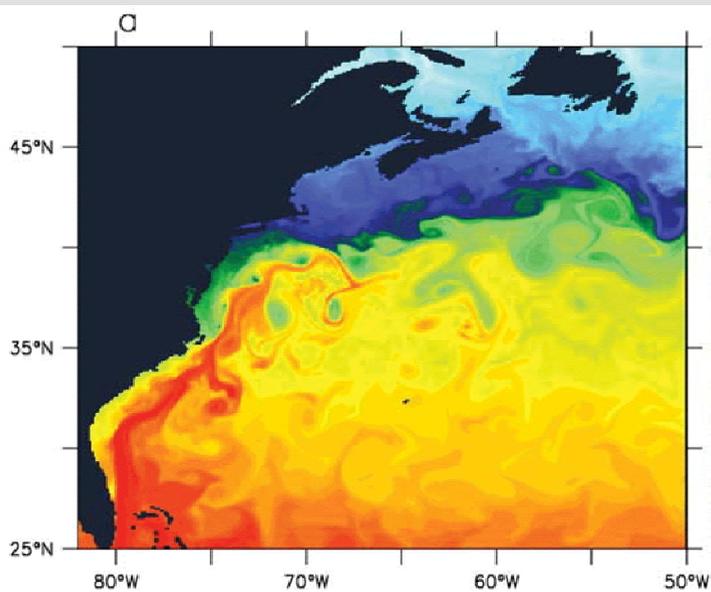
CI = 0.300°C,

0.2 3.8 7.4 11 14.6 18.2 21.8 25.4 29

NAVAL OCEANOGRAPHIC OFFICE

Approved for public release. Distribution unlimited.

表層海流 - 暖流と寒流 -



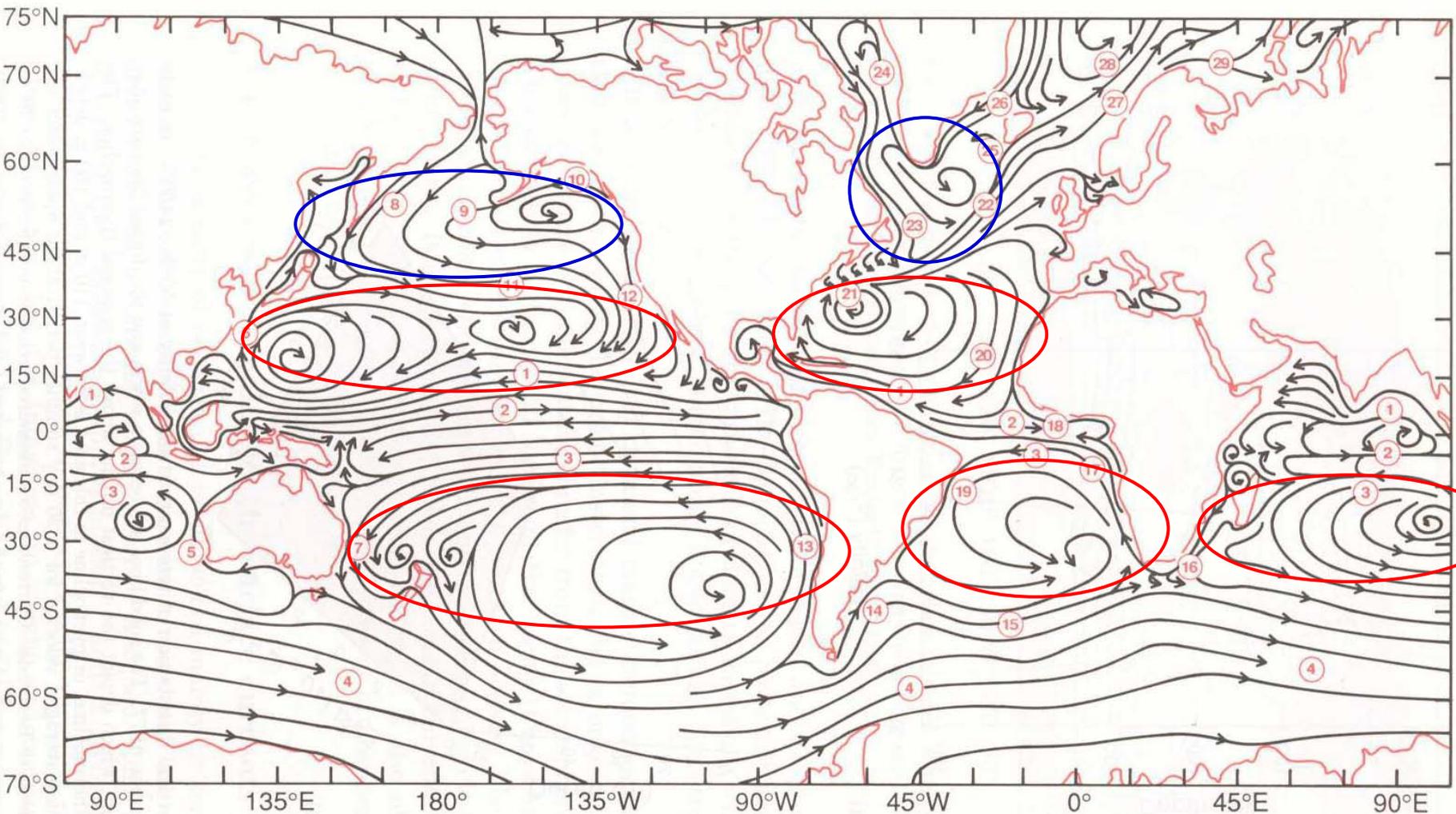
表層海流 – 暖流と寒流 –

北半球2月の平均的海氷分布



→ 暖流が入る場所では北緯80度でも海氷がない！

全世界の表層海流



全世界の表層海流

世界中の様々な表層海流に共通して見られる特徴

- 亜熱帯循環系・亜寒帯循環系という「循環系」の形成
 - 循環系の西端には「西岸境界流（西岸強化流）」という細く強い流れが存在 → 黒潮や湾流（メキシコ湾流）が代表例
 - 上層数百メートルにわたって存在
 - 海面を吹く風によって作られる → 風成循環
- ※表層海流のすべてが風によって説明されるわけではない（後述）

深層の海流

深層海流 VS 表層海流

- 表層とは全く違った流れのパターンを持つ
 - 風によってできているのではない
- その一方で、表層と同じく、西端に集中して強い流れが存在する
- 流速（平均流速）はきわめて小さい
 - 表層海流 ~ 10-100 cm/s
 - 深層海流 ~ 1 cm/s
- 平均流速に比べて変動が大きい
潮汐

深層の海流

どのようにして深層の流れを知るのか

- 流速計を設置

利点：真実の流速を知ることができる

欠点：コスト、長期継続観測の必要性

- 溶存物質の分布から推定する

利点：各地点一回の観測でも足りる

欠点：流速が直接にはわからない

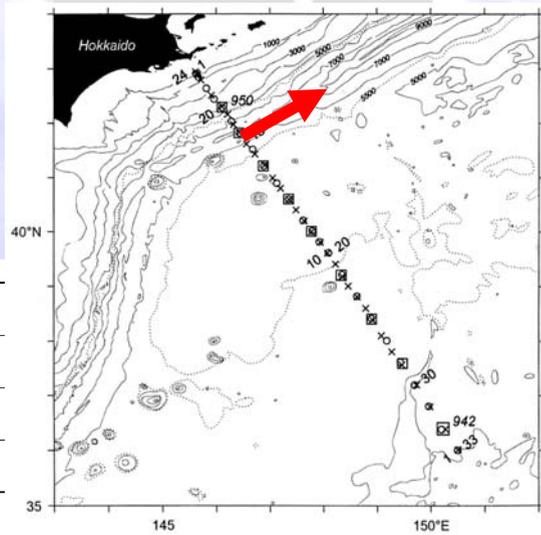
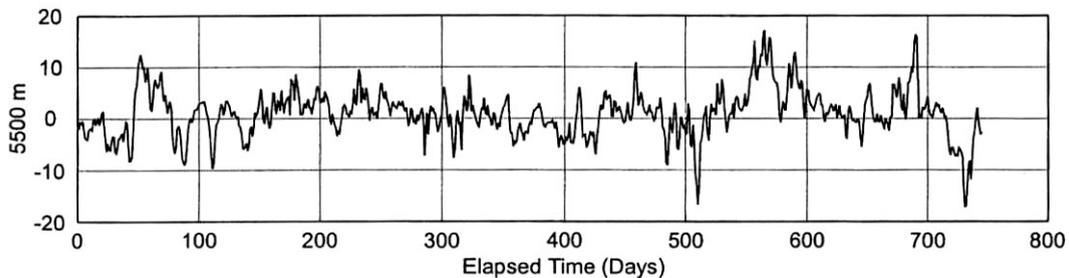
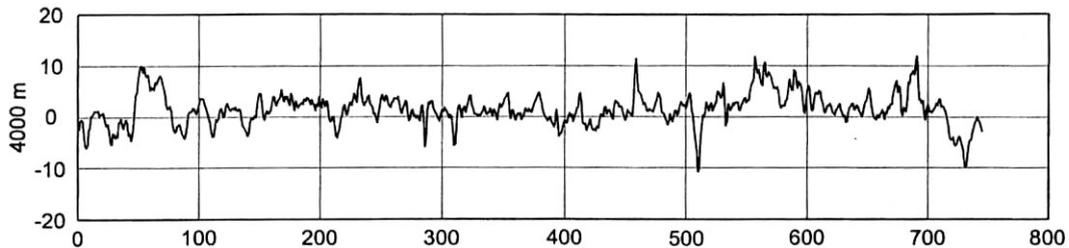
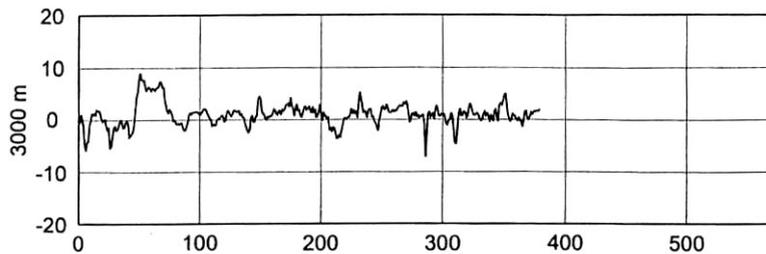
- 数値シミュレーション

利点：広い範囲の流速が一気にわかる

欠点：数値モデルは完璧ではない

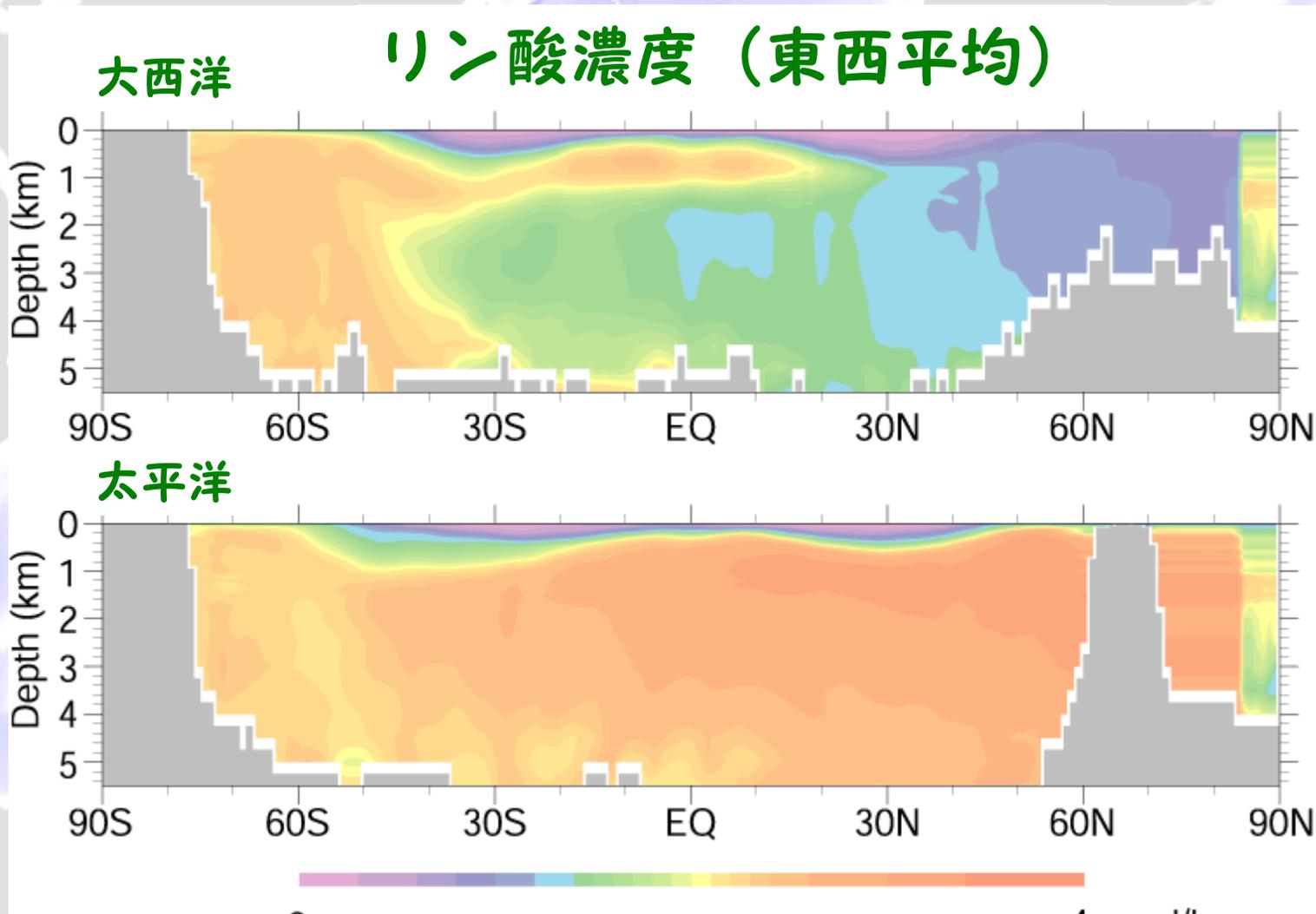
深層の海流

流速計による深層流観測



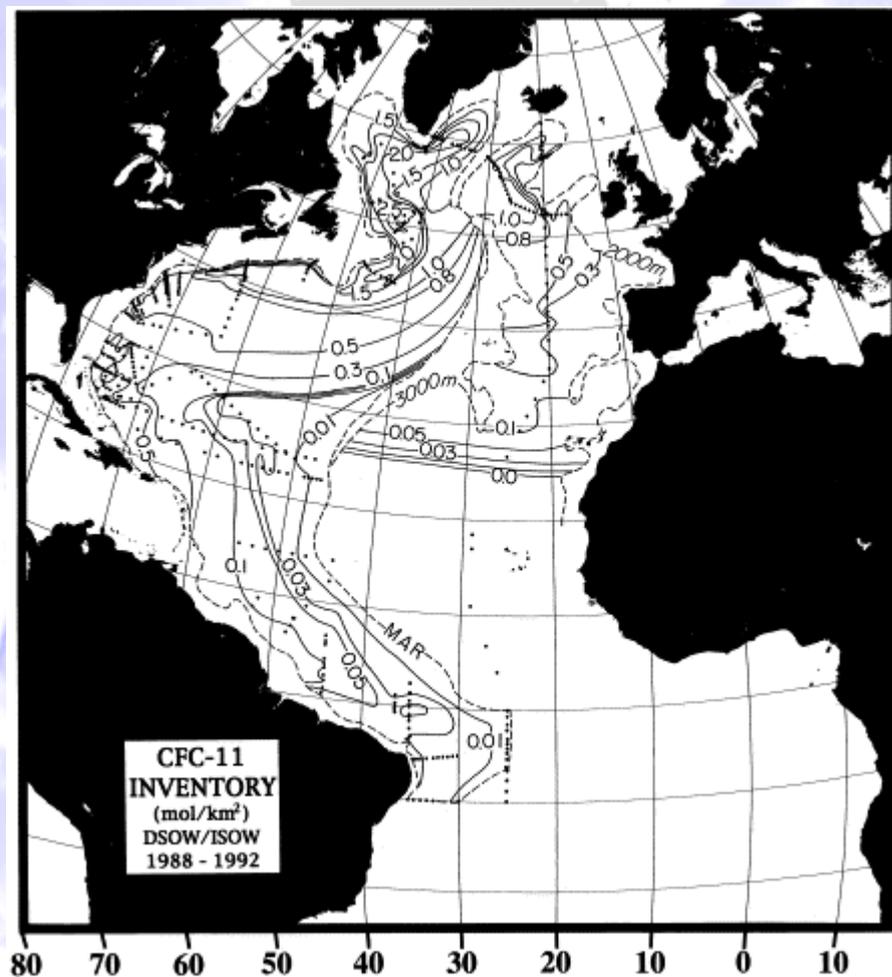
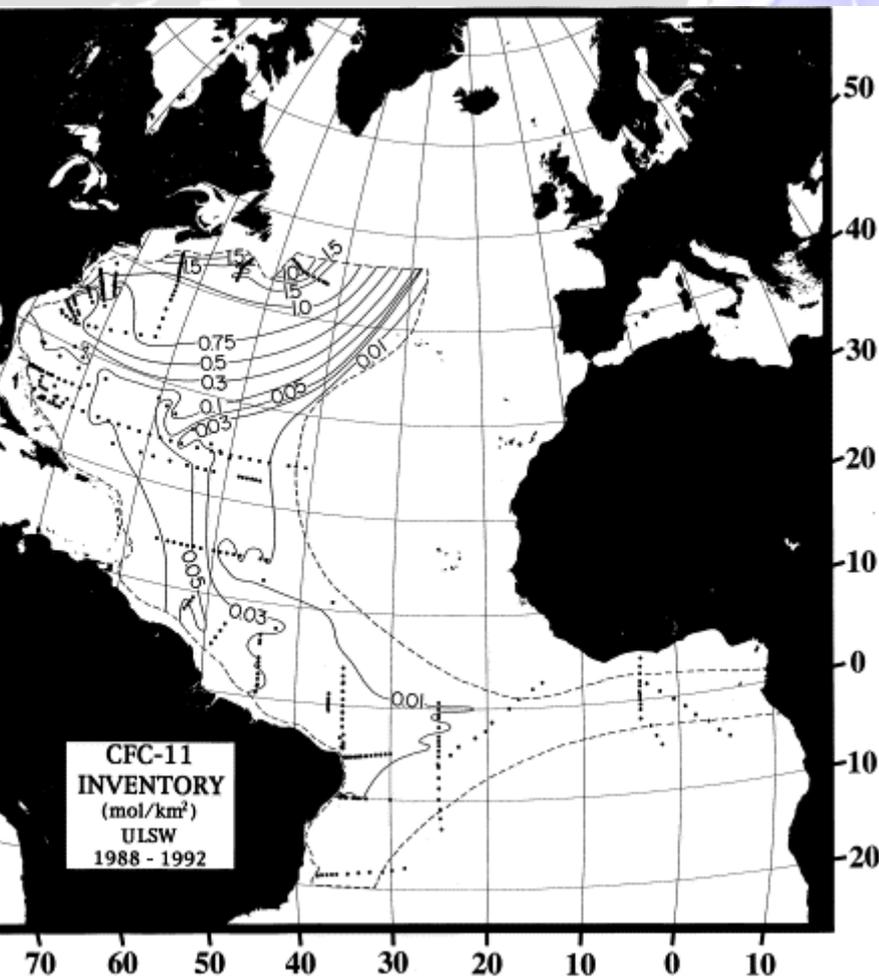
深層の海流

溶存物質分布からの深層循環の推定



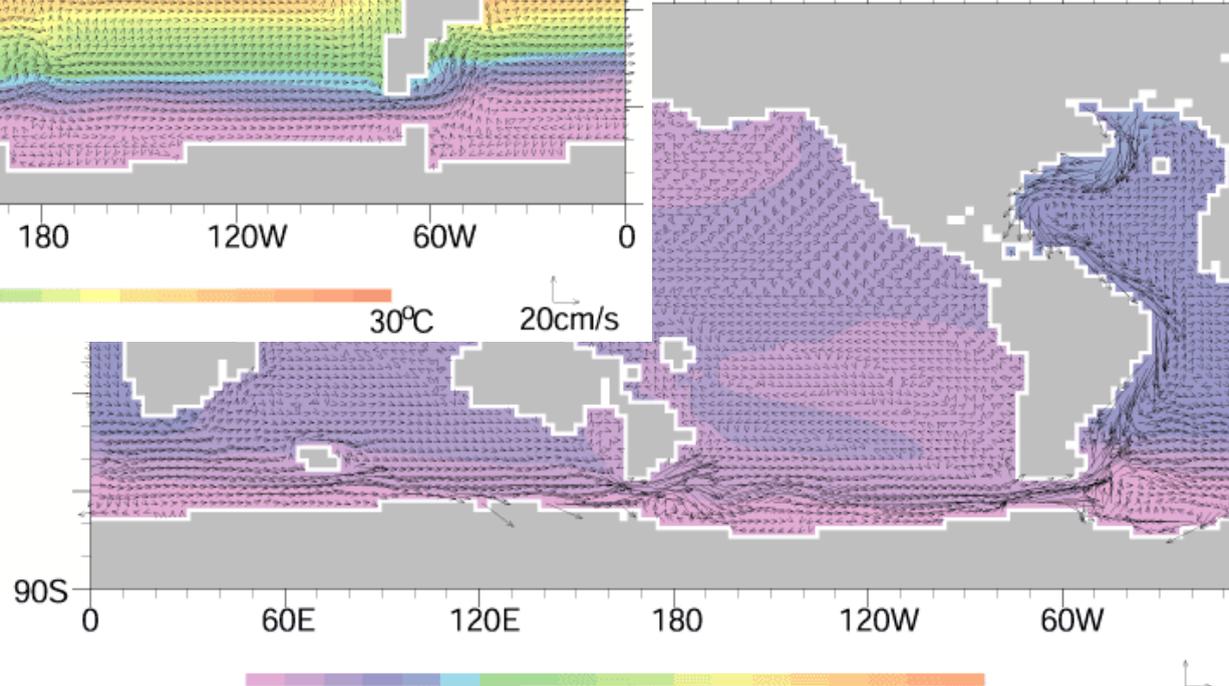
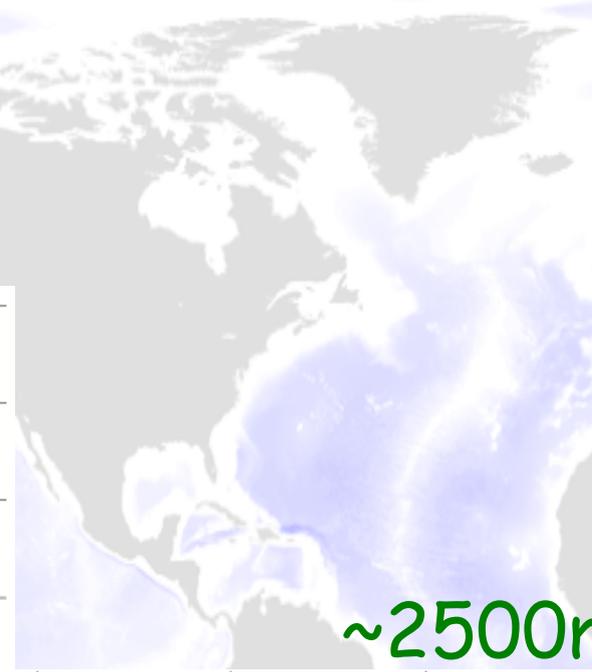
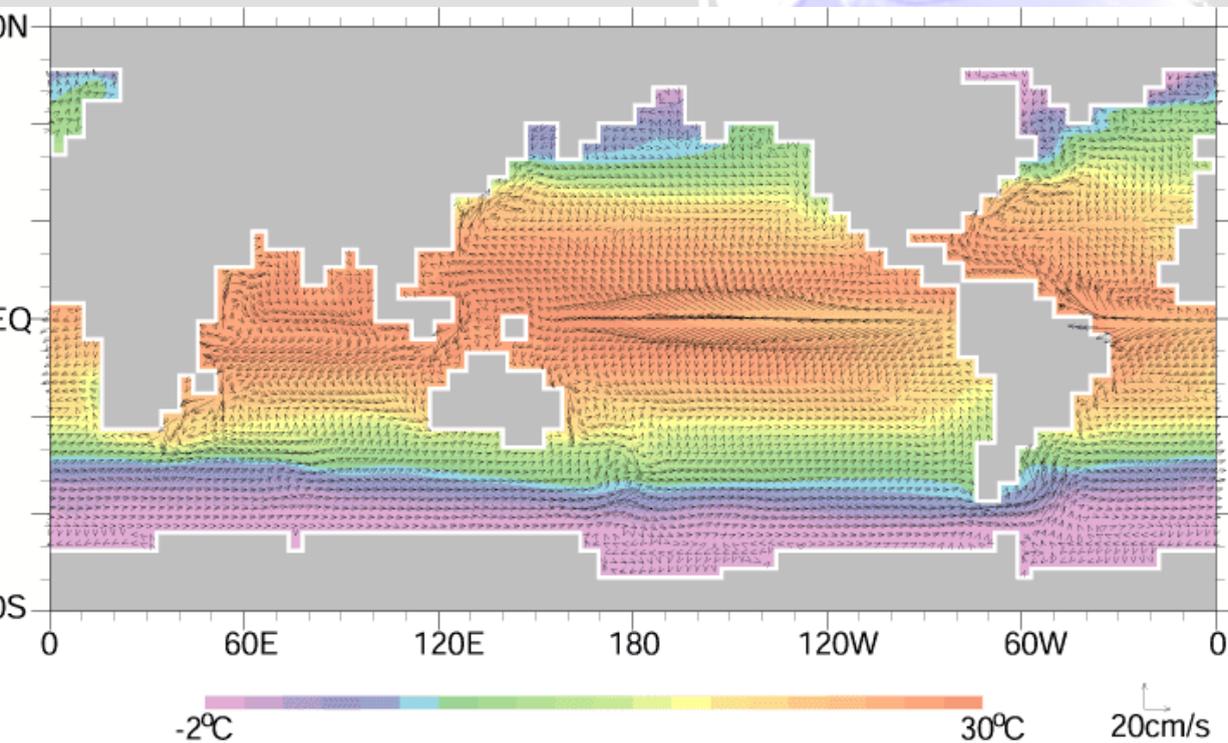
深層の海流

溶存物質分布からの深層循環の推定



深層の海流

数値シミュレーションの結果



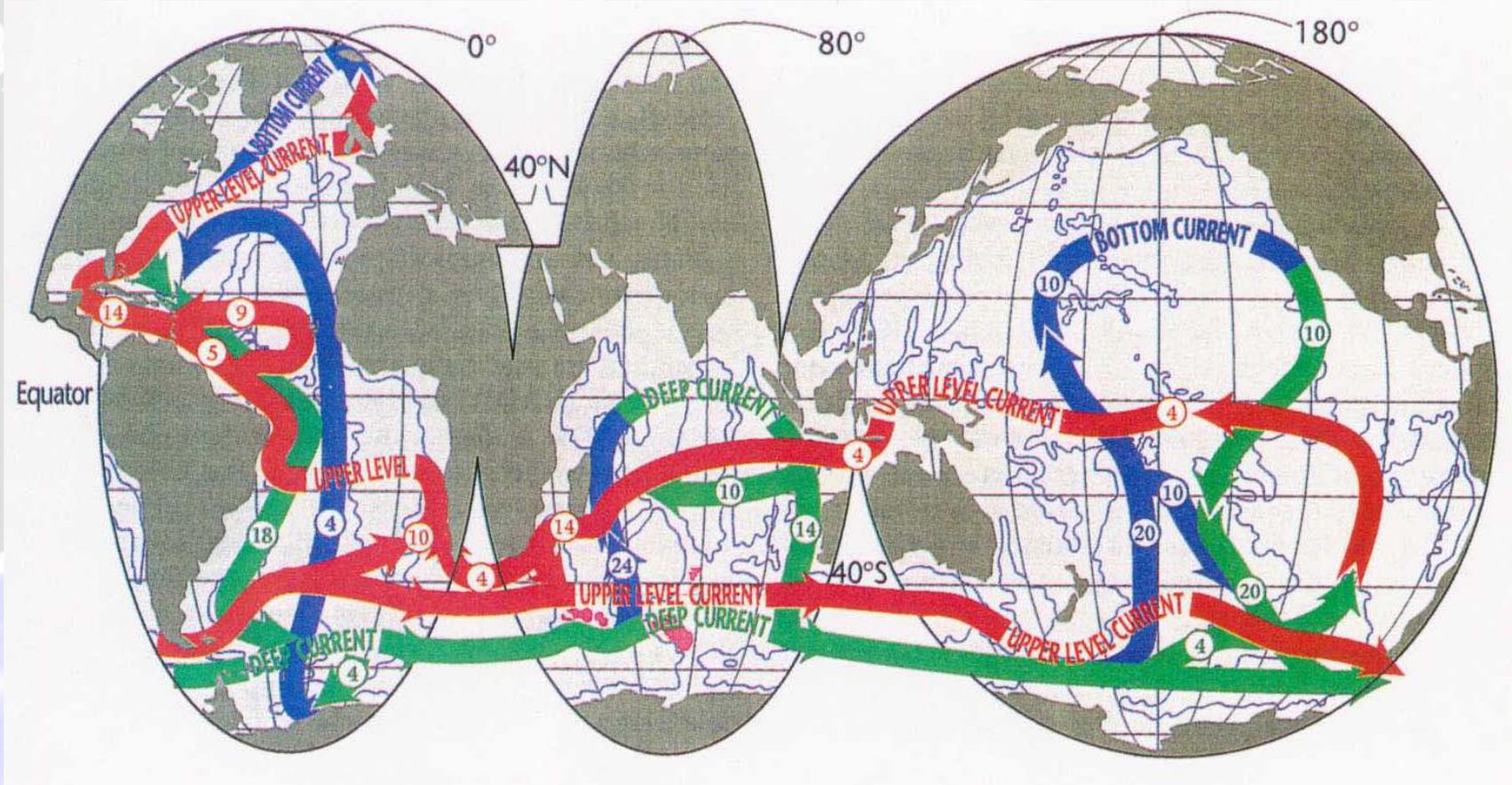
深層循環の実態

ブロッカーのコンベヤーベルト：溶存物質の分布に基づいて推定された深層循環の描像



深層循環の実態

観測に基づく、より定量的な描像



数字の単位: $Sv = 10^6 m^3/s$

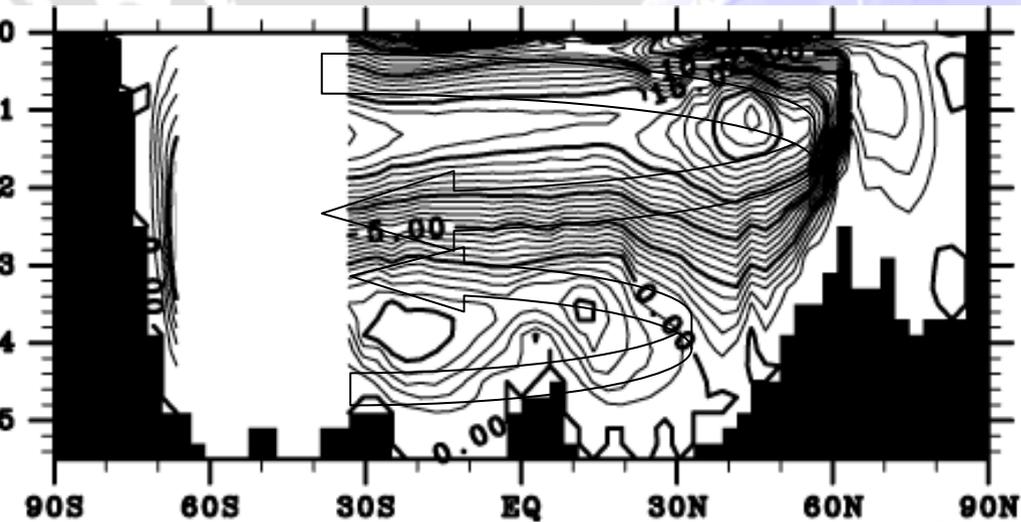
深層循環の実態

深層循環の特徴（※現在の）

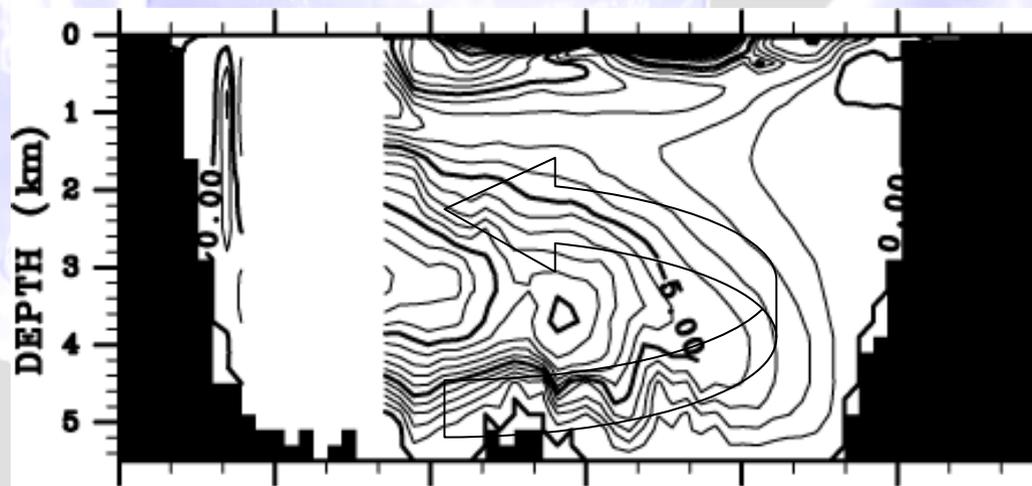
- 高緯度の非常に限られた領域で下降
 - 深層水形成
- 深層水は全球を遍く巡る
 - cf.) 風成循環：海盆や緯度で閉じた循環系
- 外洋全体で緩やかに上昇...?
 - 実は上昇領域も局在化しているかもしれない
- 上昇した水は表層を通過して深層水形成領域へ戻る
 - 表層海流の一部はコレ（先述の北極海の例）
- 緯度横断的な「子午面循環」を形成
 - 熱輸送に重要な働き（後述）

深層循環の実態

数値シミュレーションに基づく子午面循環の描像



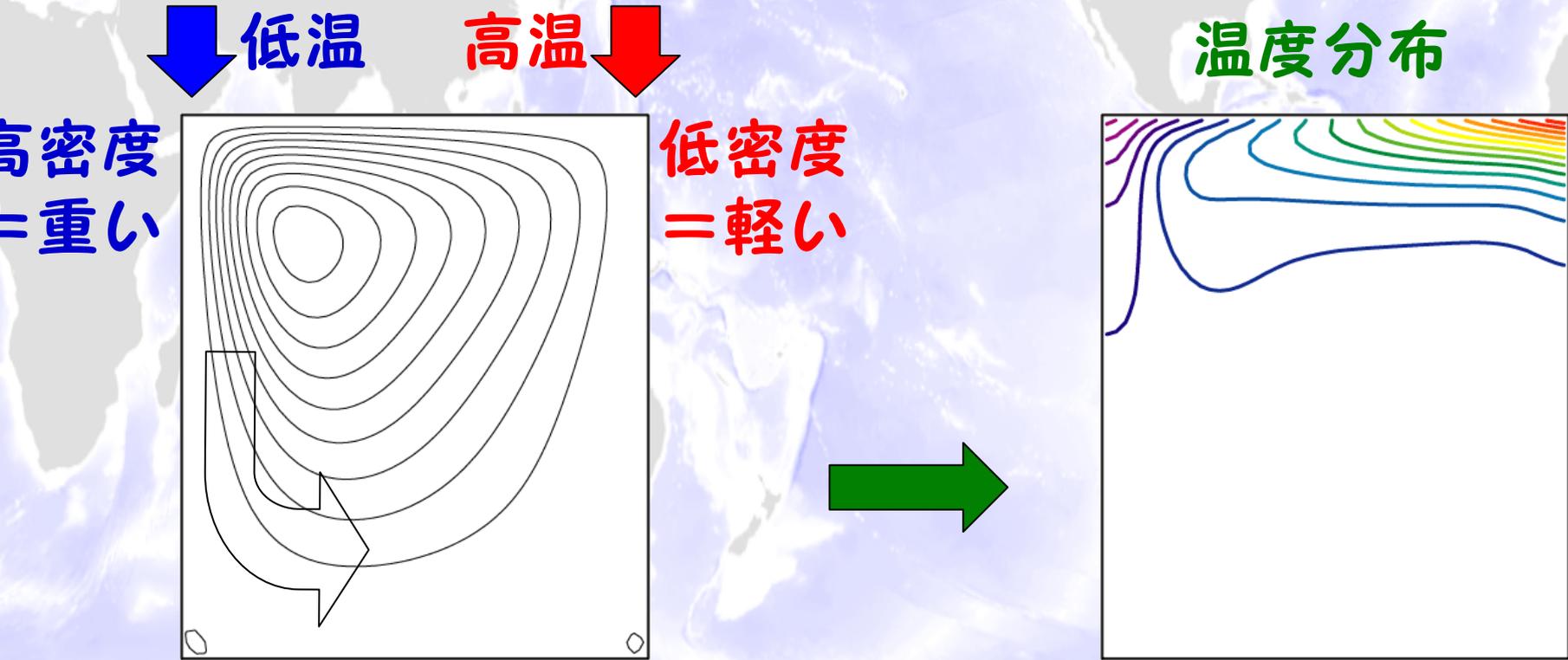
大西洋



太平洋

深層循環の原因

水平熱対流：水平方向の非一様加熱によって生じる循環



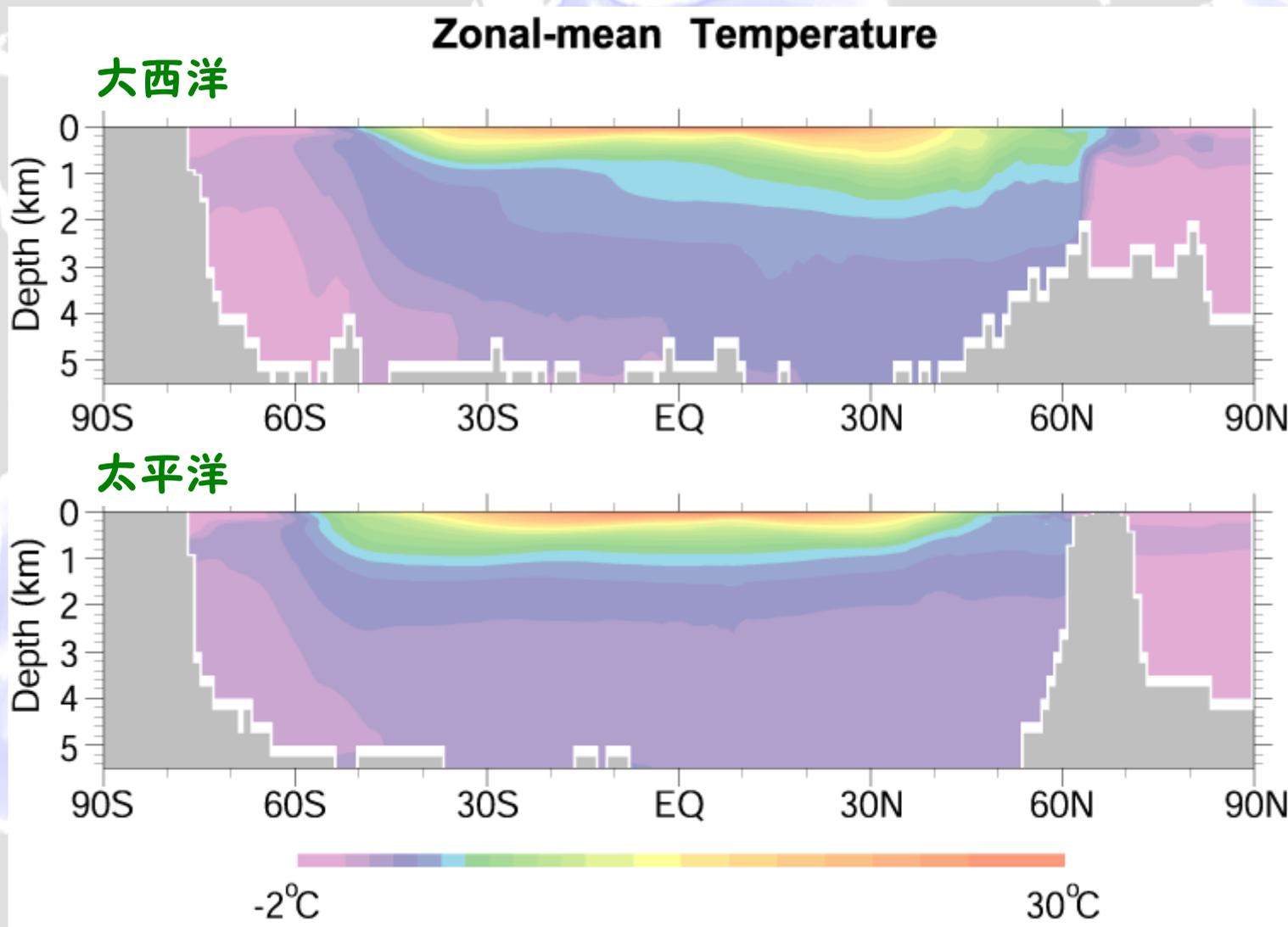
深層循環の原因

水平熱対流の特徴（温度差が十分大きい場合）

- 冷やされる領域で下降、暖められる領域で上昇
→ 冷却・加熱に伴う密度変化による
- 下降領域は狭く、上昇領域は広い
- 生じた対流は冷却領域を暖め、加熱領域を冷やす
→ 熱を輸送する
- 深層を低温水が占め、鉛直方向に温度が大きく変化する層が上層に形成される（温度躍層）

深層循環の原因

海洋の温度構造



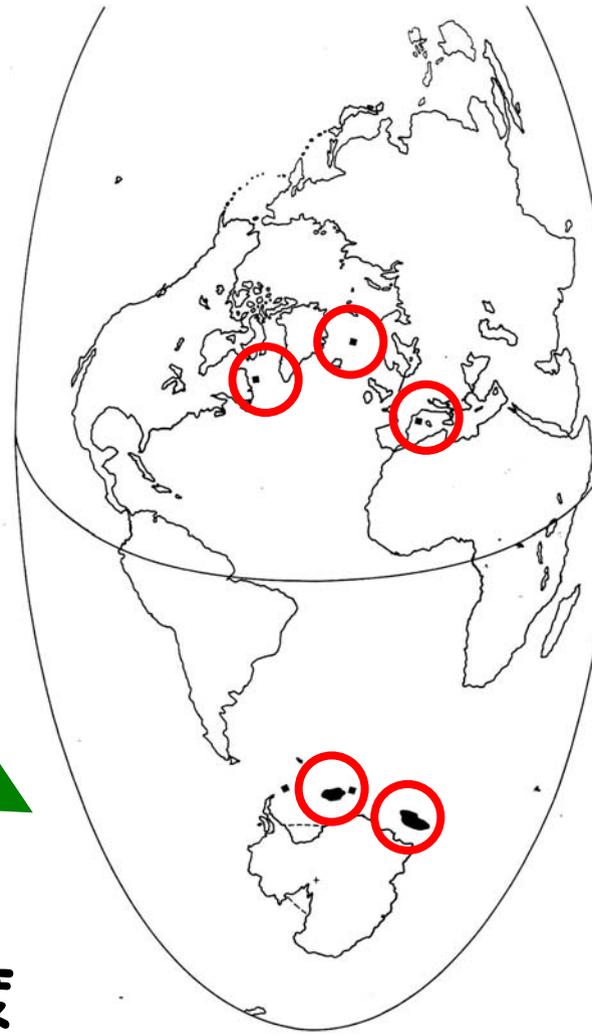
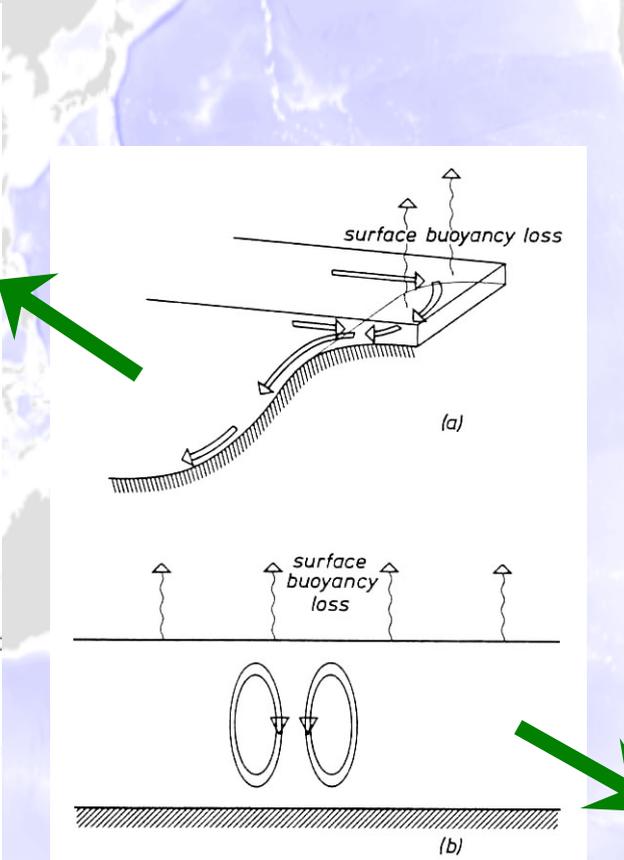
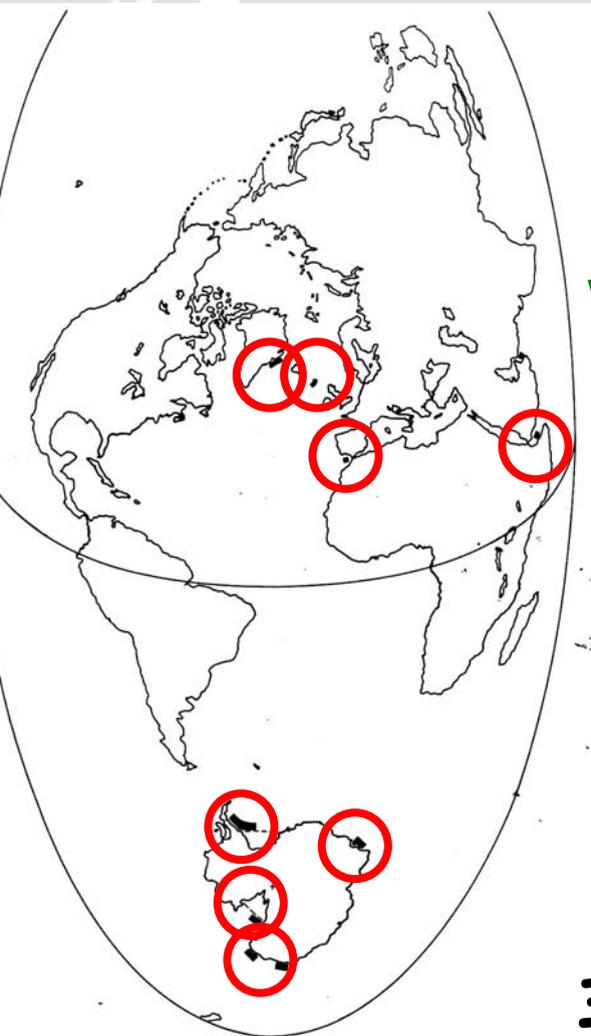
深層循環の原因

海洋深層循環と水平熱対流の対応

- 地球が回転している効果が重要
それでもなお、水平熱対流と同様のイメージで捉えることが可能
- 海水の密度は温度ばかりでなく塩分にもよる
→ **熱塩循環**
温度変化：加熱・冷却
塩分変化：蒸発・降水・河川水・海水生成／融解
- どこで下降（深層水形成）が生じる？
高緯度：冷却（密度↑）、降水 > 蒸発（密度↓）
低緯度：加熱（密度↓）、蒸発 > 降水（密度↑）

深層循環の原因

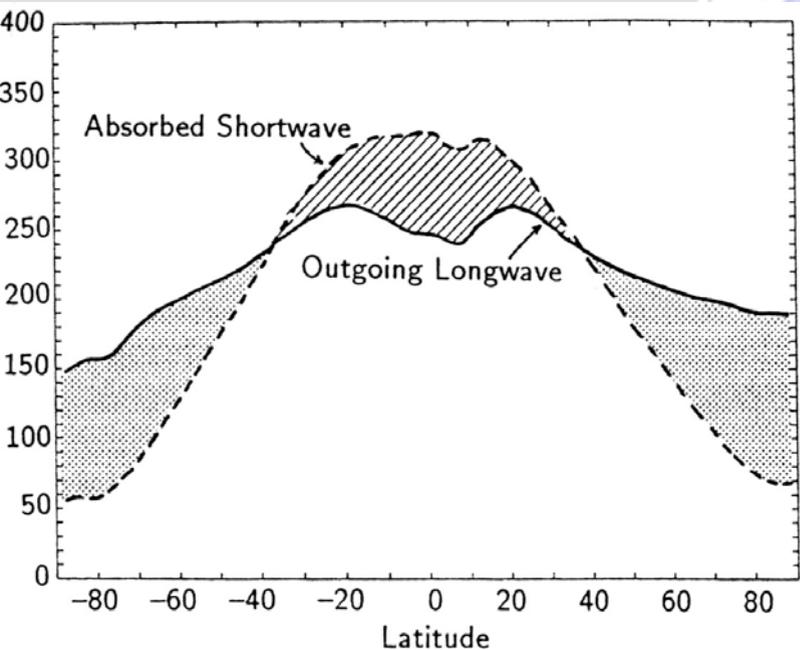
深層水形成領域（※現在の）



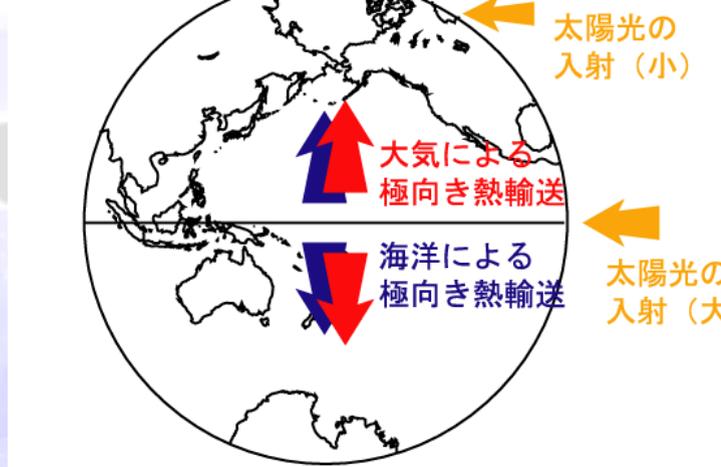
主たるものは高緯度

深層循環と熱輸送

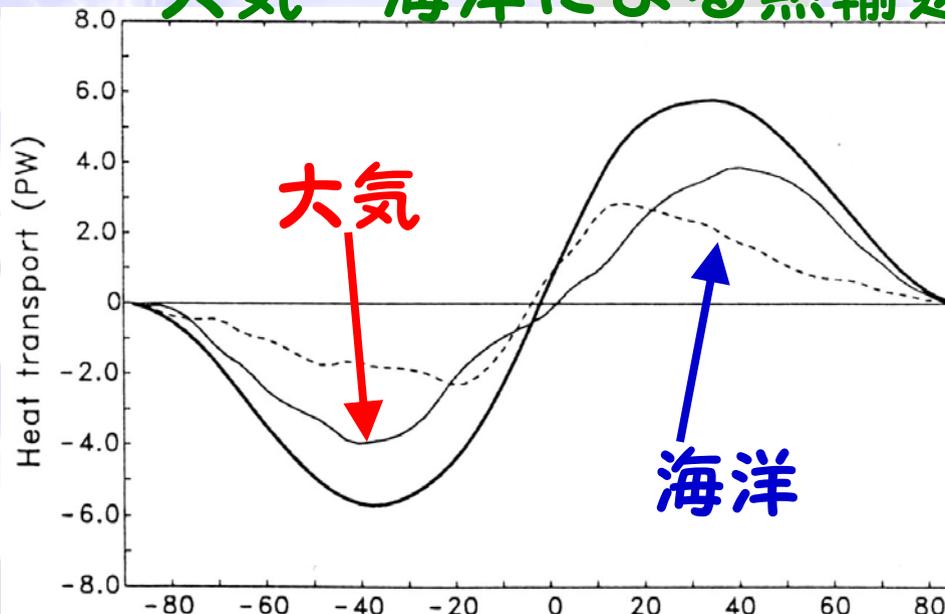
気候系の熱収支と熱輸送



大気上端の放射収支



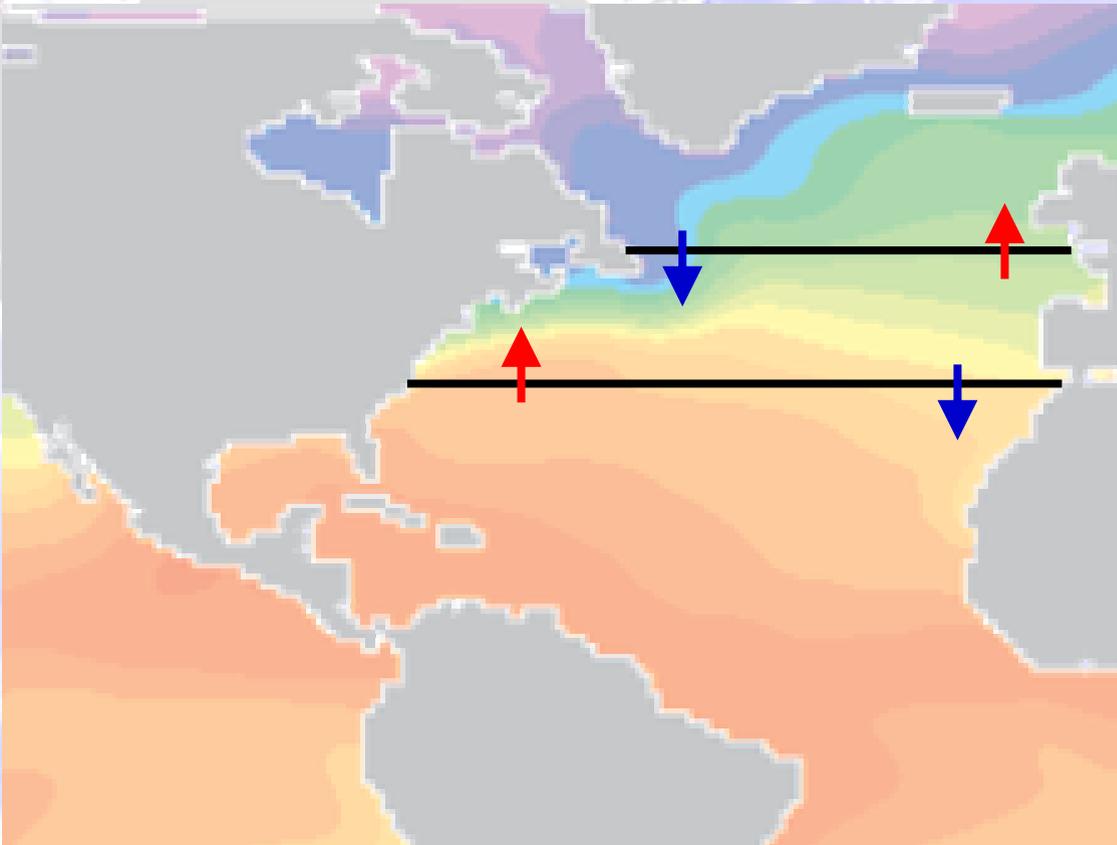
大気・海洋による熱輸送



深層循環と熱輸送

海洋はどのようにして熱を運ぶのか

- 水平循環（風成循環）による熱輸送



南北熱輸送 =
南北速度 × 温度
...を経度と深さ方
向に積分

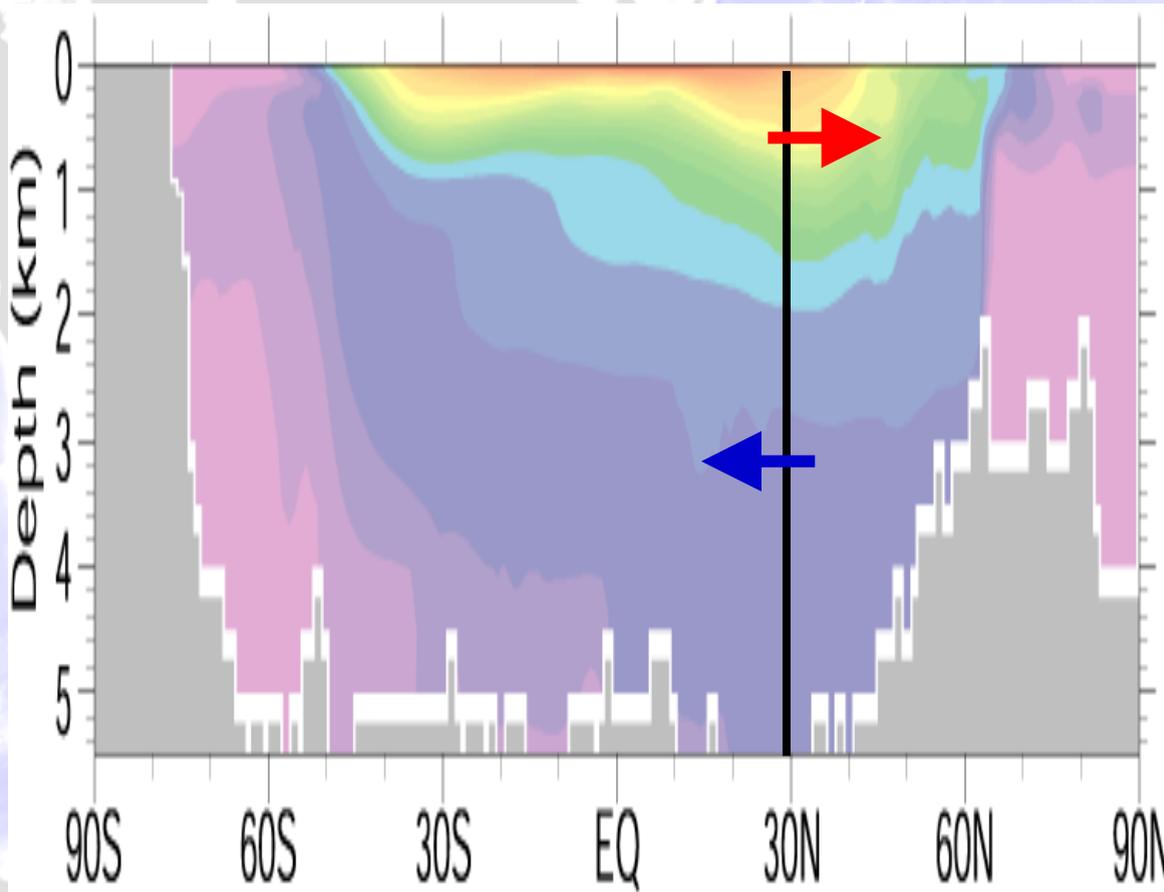
ある緯度を横切る
全南北流量 = 0

南北流速と東西の
温度差に依存

深層循環と熱輸送

海洋はどのようにして熱を運ぶのか

- 子午面循環（熱塩循環）による熱輸送



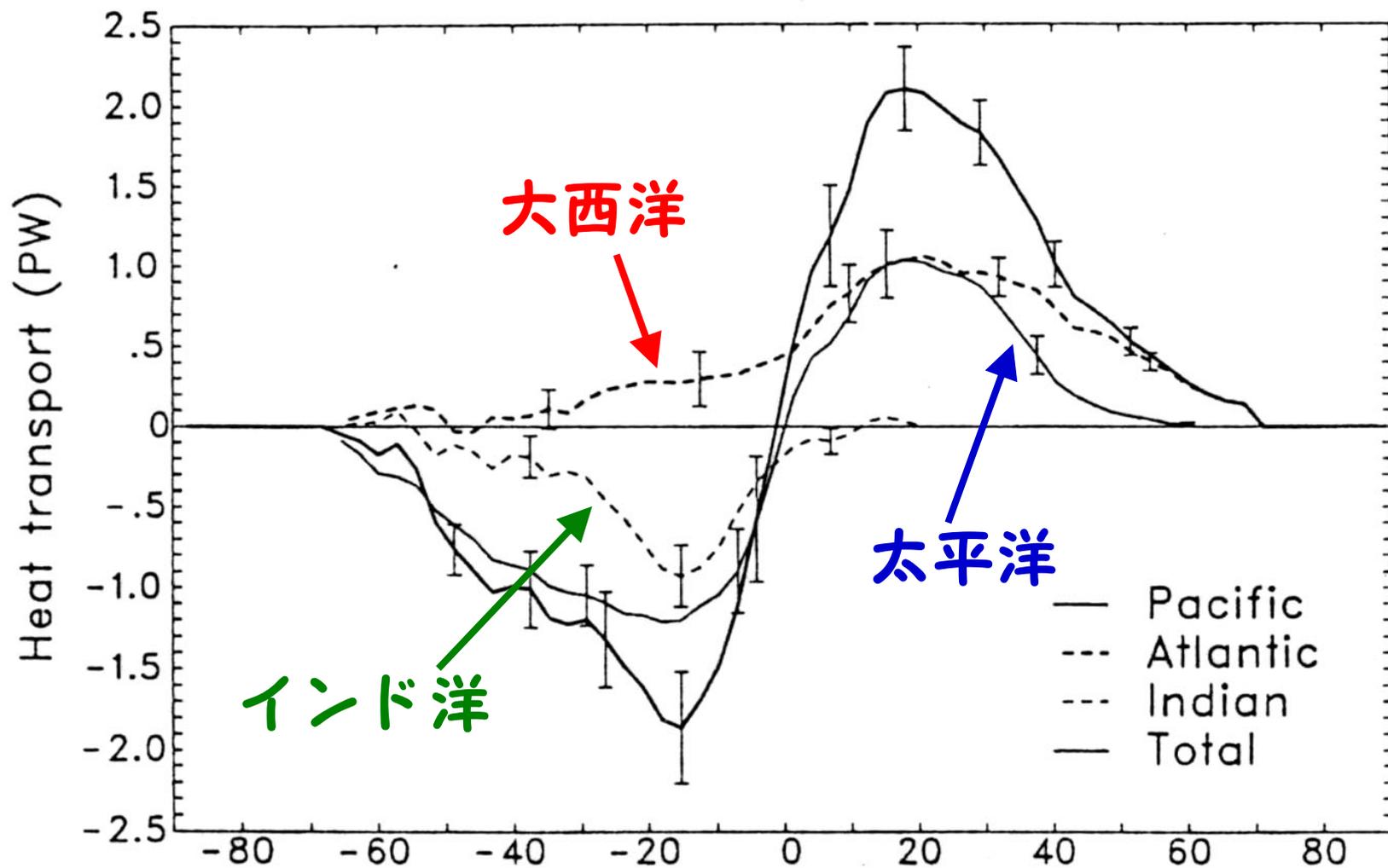
南北熱輸送 =
南北速度 × 温度
...を経度と深さ方
向に積分

ある緯度を横切る
全南北流量 = 0

南北流速と上下の
温度差に依存

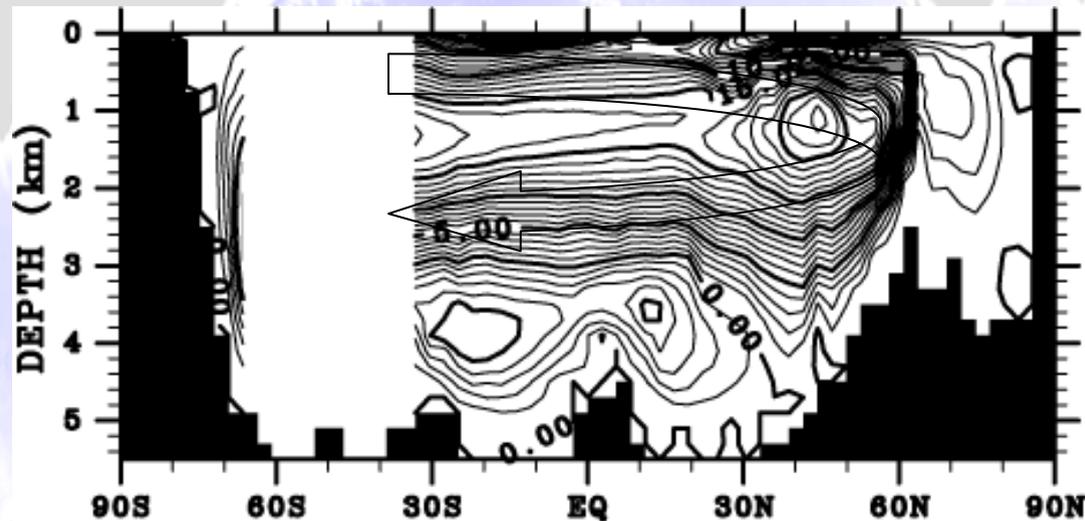
深層循環と熱輸送

現実の海洋熱輸送 (※現在の)



深層循環と熱輸送

- 大西洋には赤道で正の北向き熱輸送が存在
→ 南半球の熱を北半球に運んでいる
... 大西洋の深層循環による

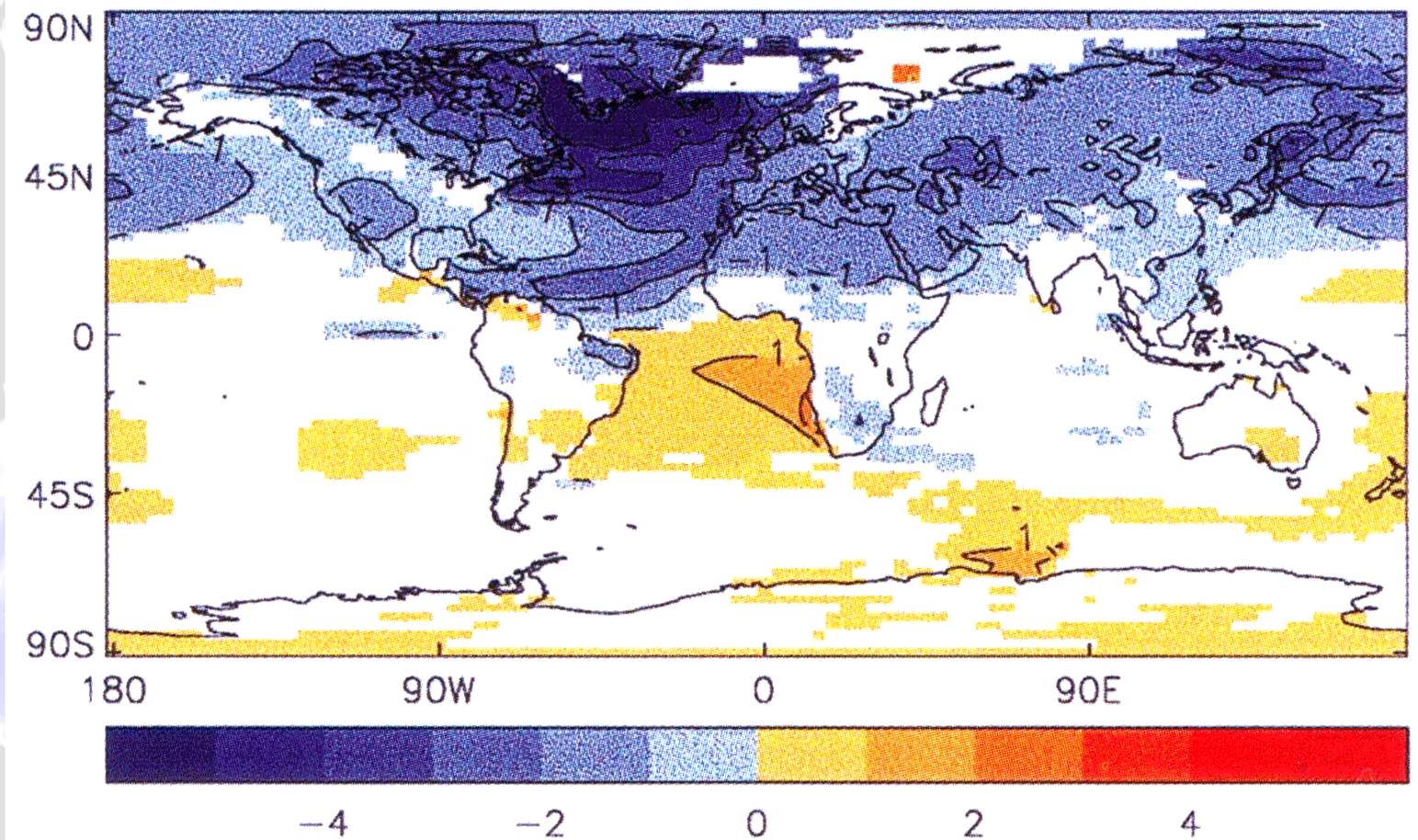


この熱輸送の存在のため、北大西洋高緯度（そしてヨーロッパ）の気候は緯度比べて温暖

深層循環の変化と気候

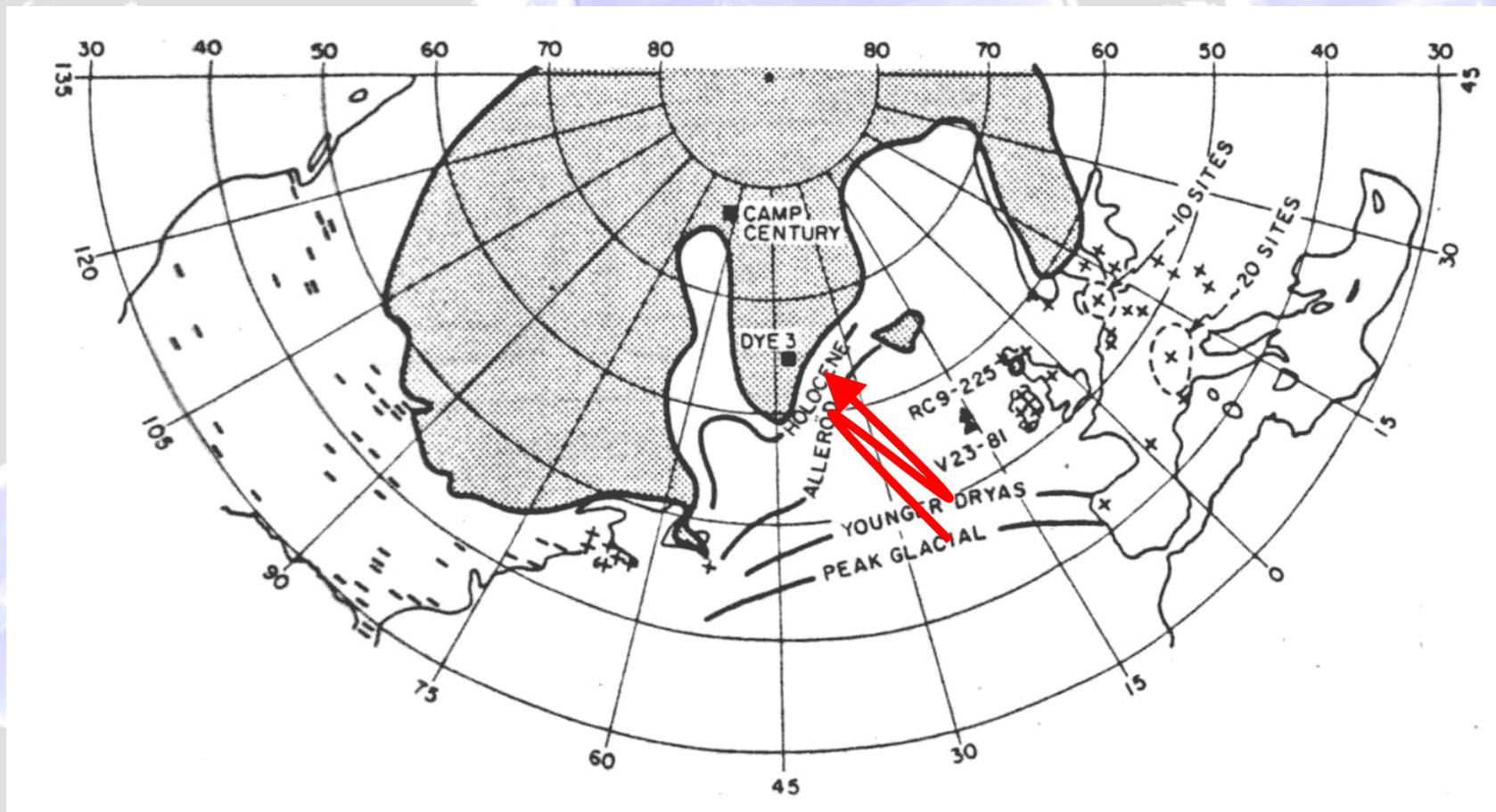
もし大西洋の深層循環が止まってしまったら...

大西洋の深層循環を止めた20年後の気温変化



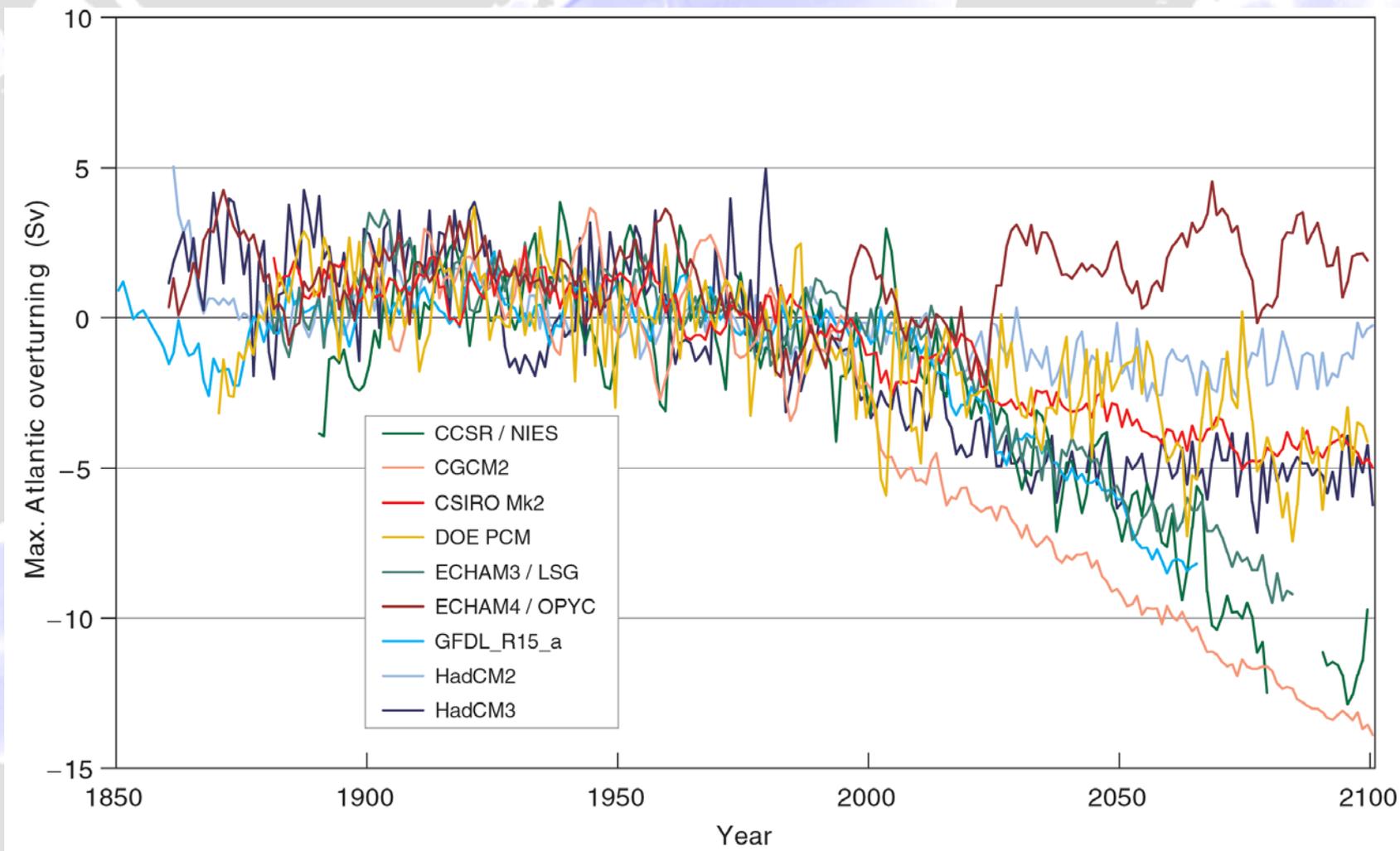
深層循環の変化と気候

深層循環の変化に伴う気候の激変：
ヤンガードライアス事件



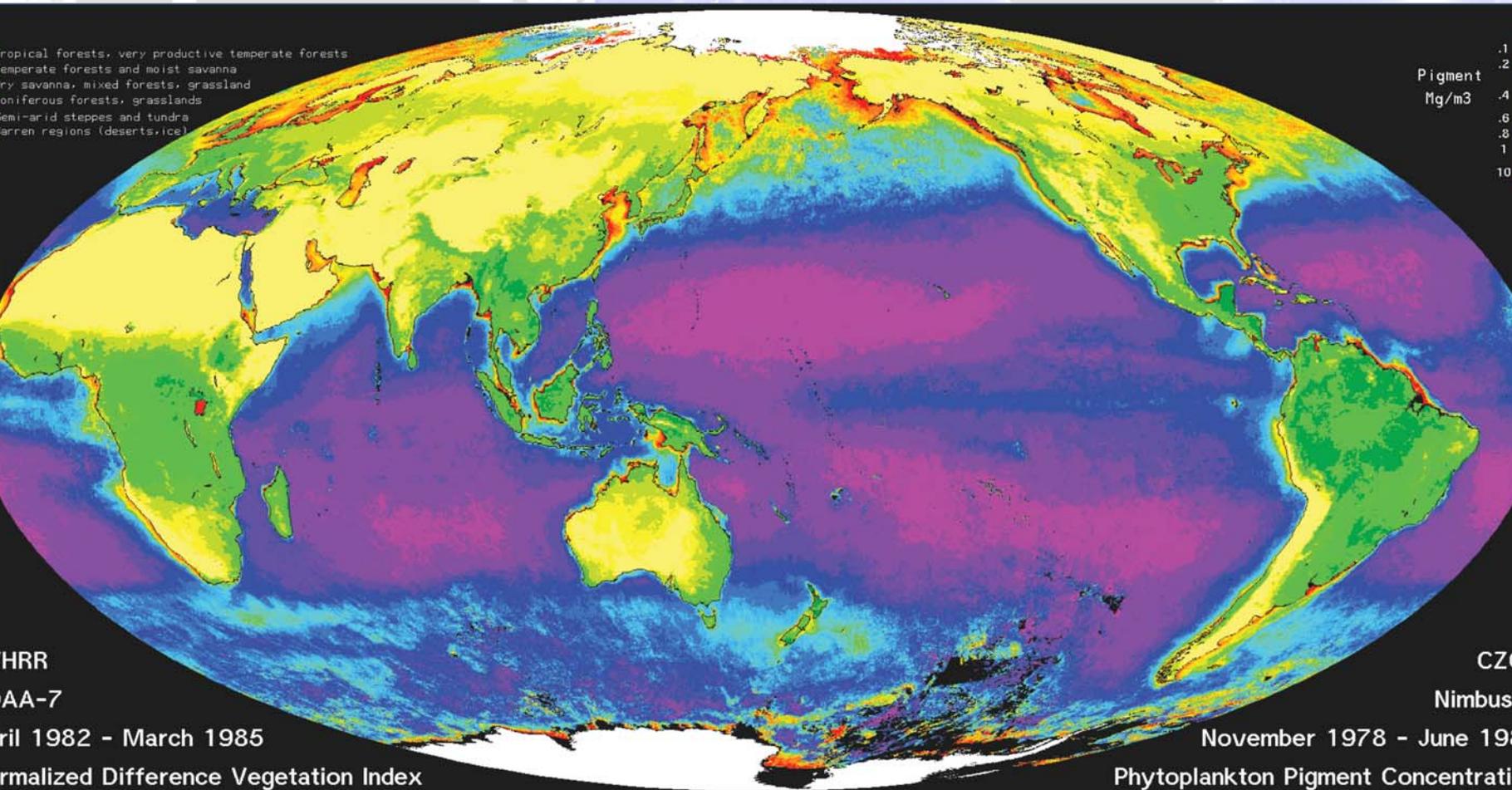
深層循環の変化と気候

地球温暖化に伴う大西洋深層循環強度の変化予測



深層循環と二酸化炭素

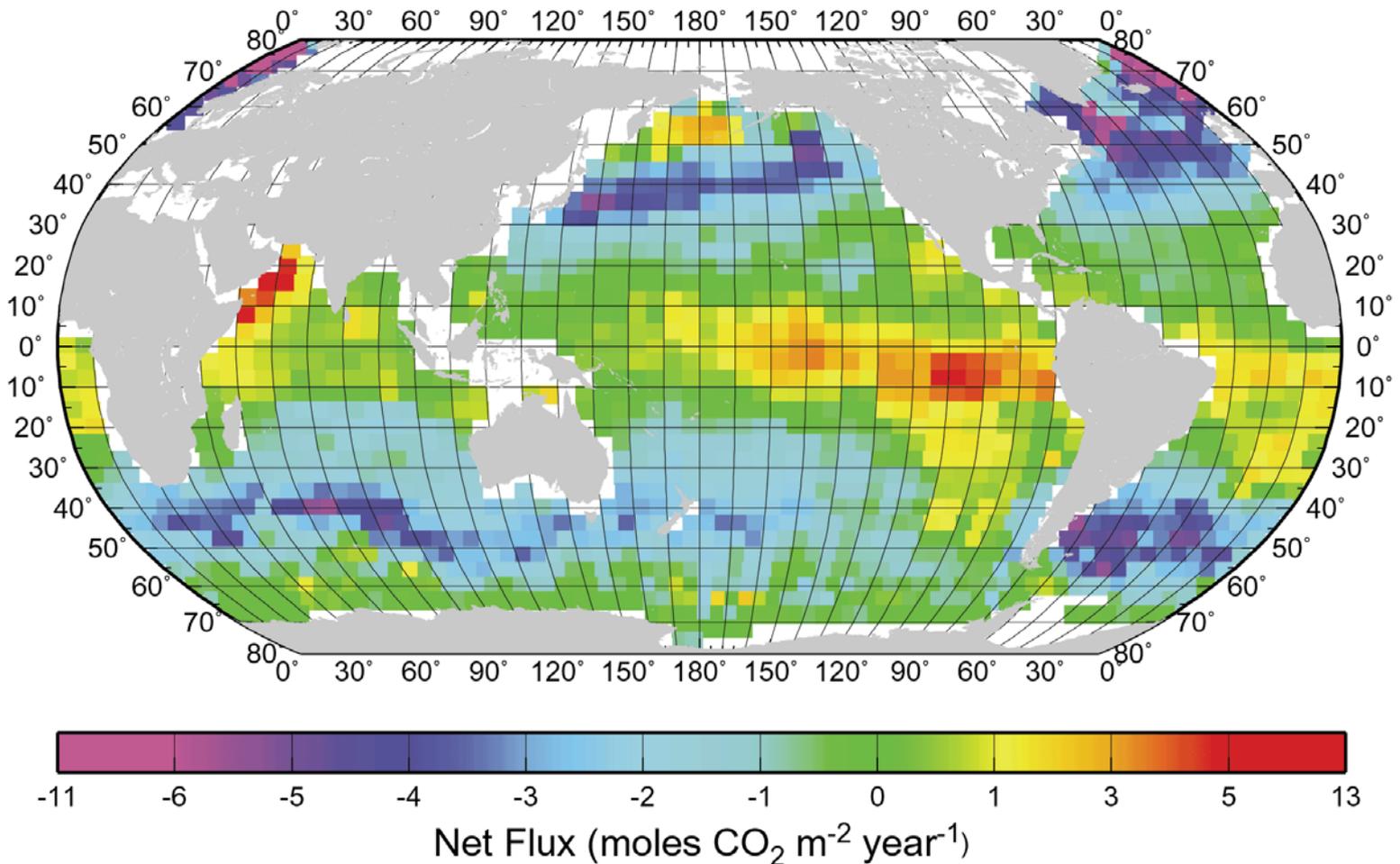
植物プランクトン分布



深層循環と二酸化炭素

海洋の二酸化炭素吸収・放出量

Mean Annual Air-Sea Flux for 1995 (NCEP 41-Yr Wind, 940K, W-92)



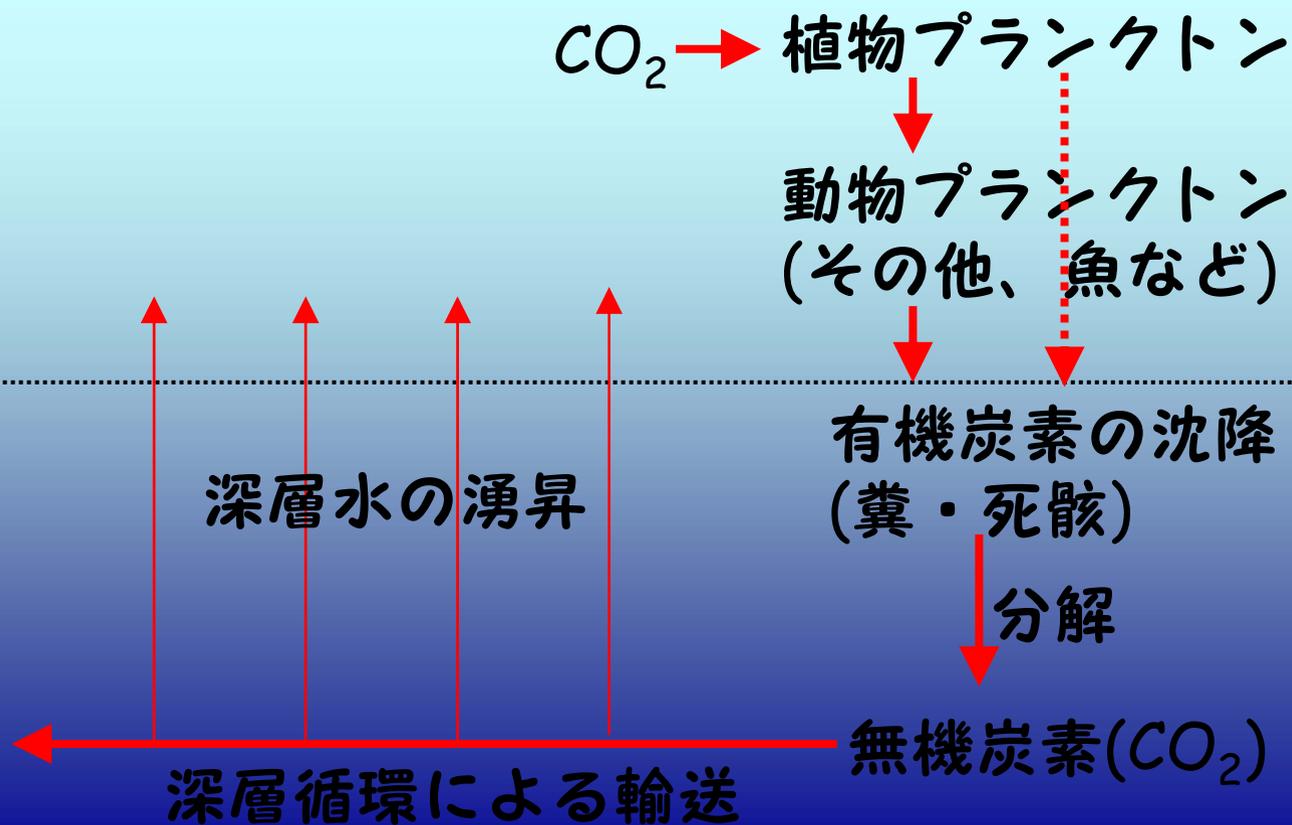
深層循環と二酸化炭素

海洋による二酸化炭素(CO_2)吸収・放出

- 海面付近の二酸化炭素分圧(pCO_2)が海上大気よりも大きいと海洋は二酸化炭素を大気中へ放出、小さいと大気から吸収
- pCO_2 は二酸化炭素量が大きいほど大きく、また、温度が高くなると大きくなる
- 植物プランクトンが存在すると、光合成により海中の二酸化炭素が消費され、海洋表層の pCO_2 は低下する
- 生物ポンプの働きにより、海洋深層の pCO_2 は表層よりもずっと大きい
 - 深層に大量の炭素が貯蔵されている

深層循環と二酸化炭素

生物ポンプと二酸化炭素収支



※無機炭素は炭酸イオン・重炭酸イオンを含む

深層循環と二酸化炭素

植物プランクトン分布を決める要素

- 栄養塩（硝酸・リン酸）

生物体の主要成分で、深層から供給される

→ 深層水が供給されやすい場所が条件が良い
（その他、河川水による供給もある）

- 光（光合成のため）

→ 高緯度、とくに海氷の下は条件が悪い

- ケイ酸

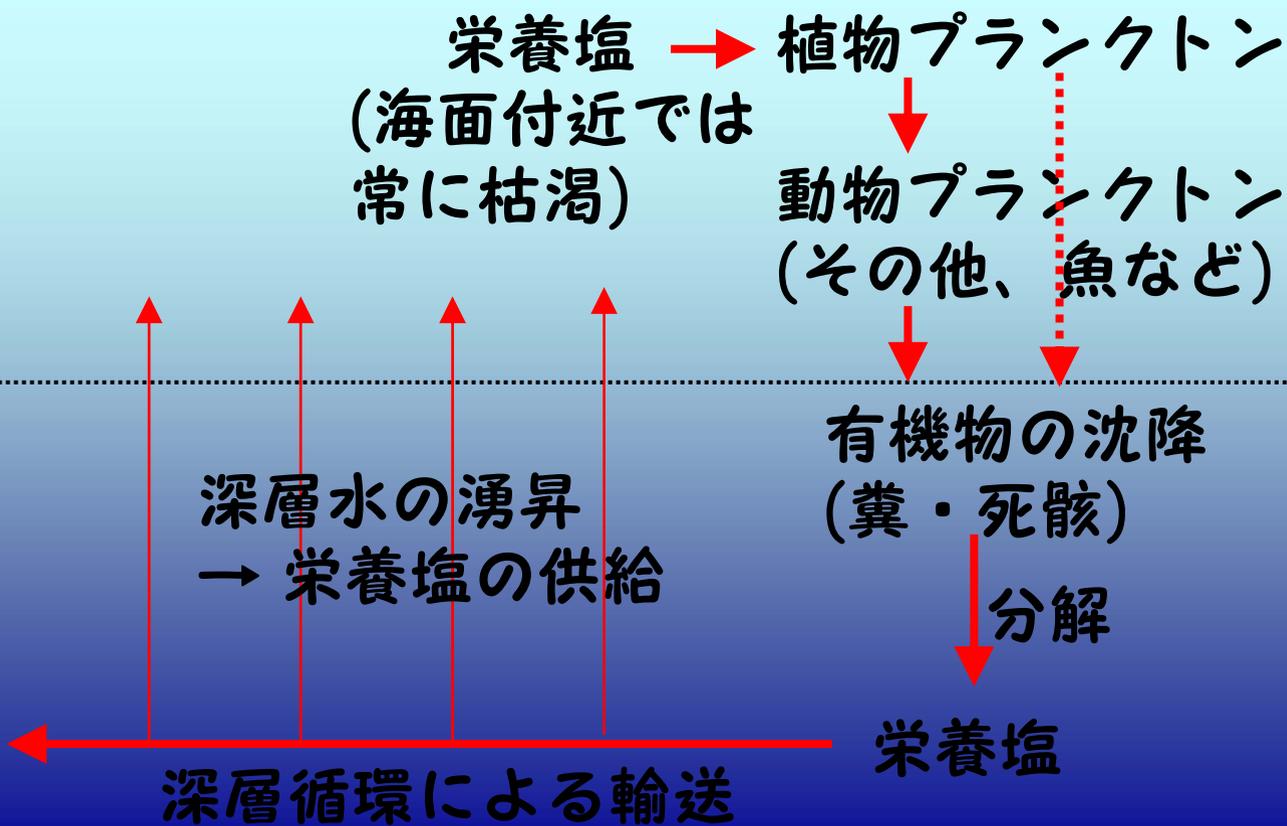
一部、殻を作る種の場合

- その他、微量元素

鉄など

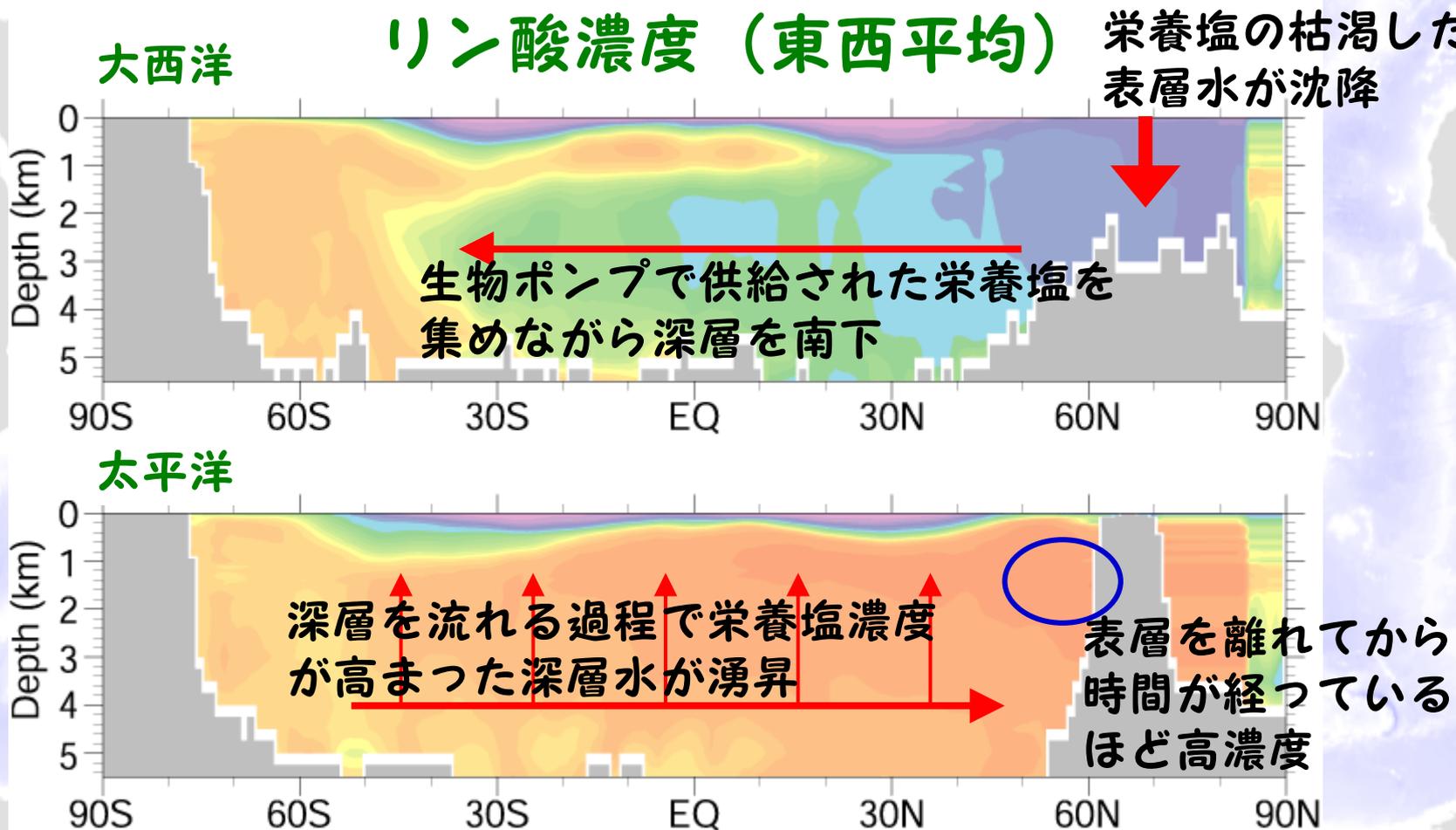
深層循環と二酸化炭素

栄養塩の分布と循環: ここでも生物ポンプ



深層循環と二酸化炭素

栄養塩の分布と深層循環



深層循環と二酸化炭素

有光層への深層水（栄養塩）の湧昇

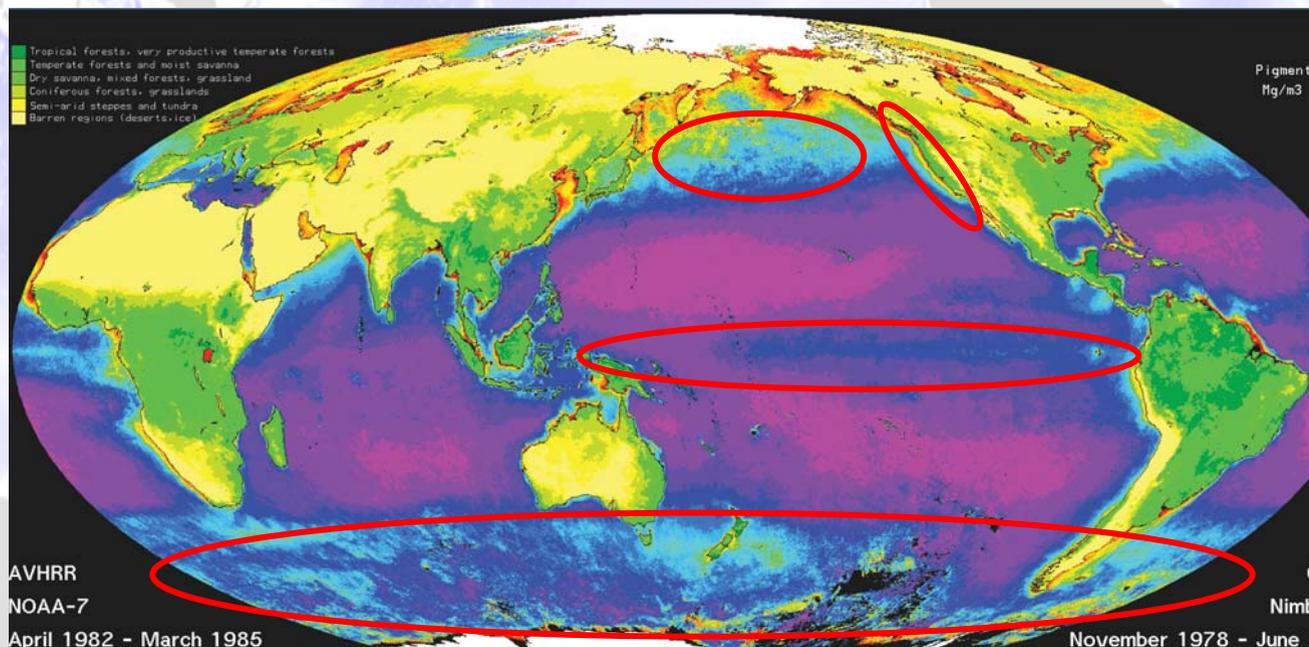
- 風成循環に伴う上昇流

亜熱帯循環系では表層から下降流

亜寒帯循環系では表層へ上昇流 → 栄養塩豊富

- 沿岸湧昇・赤道湧昇

湧昇があっても植物プランクトンが少ない → 鉄が不足している？



深層循環と二酸化炭素

大気中の CO_2 が増えていくと...

- 大気中 pCO_2 の増加

→ 海洋は CO_2 をより吸収して深層海洋へ貯蔵

- 水温上昇

→ 海洋は CO_2 を吸収しにくく（放出しやすく）

- 循環の変化

→ ?

- 生物種・生物活動の変化

→ ???

どうなるのでしょうか？