



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

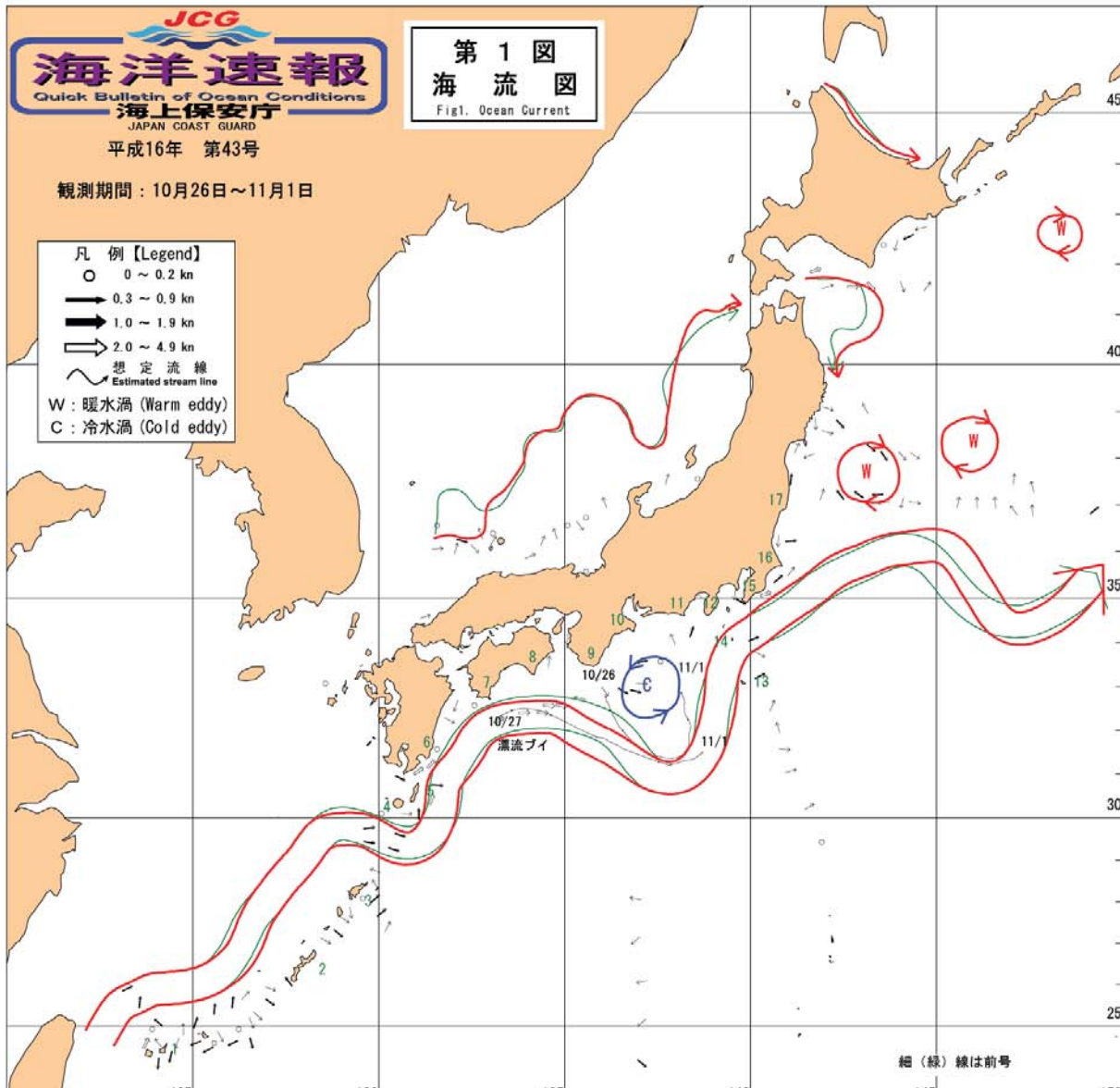
海流の存在 - 表層海流 -

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)



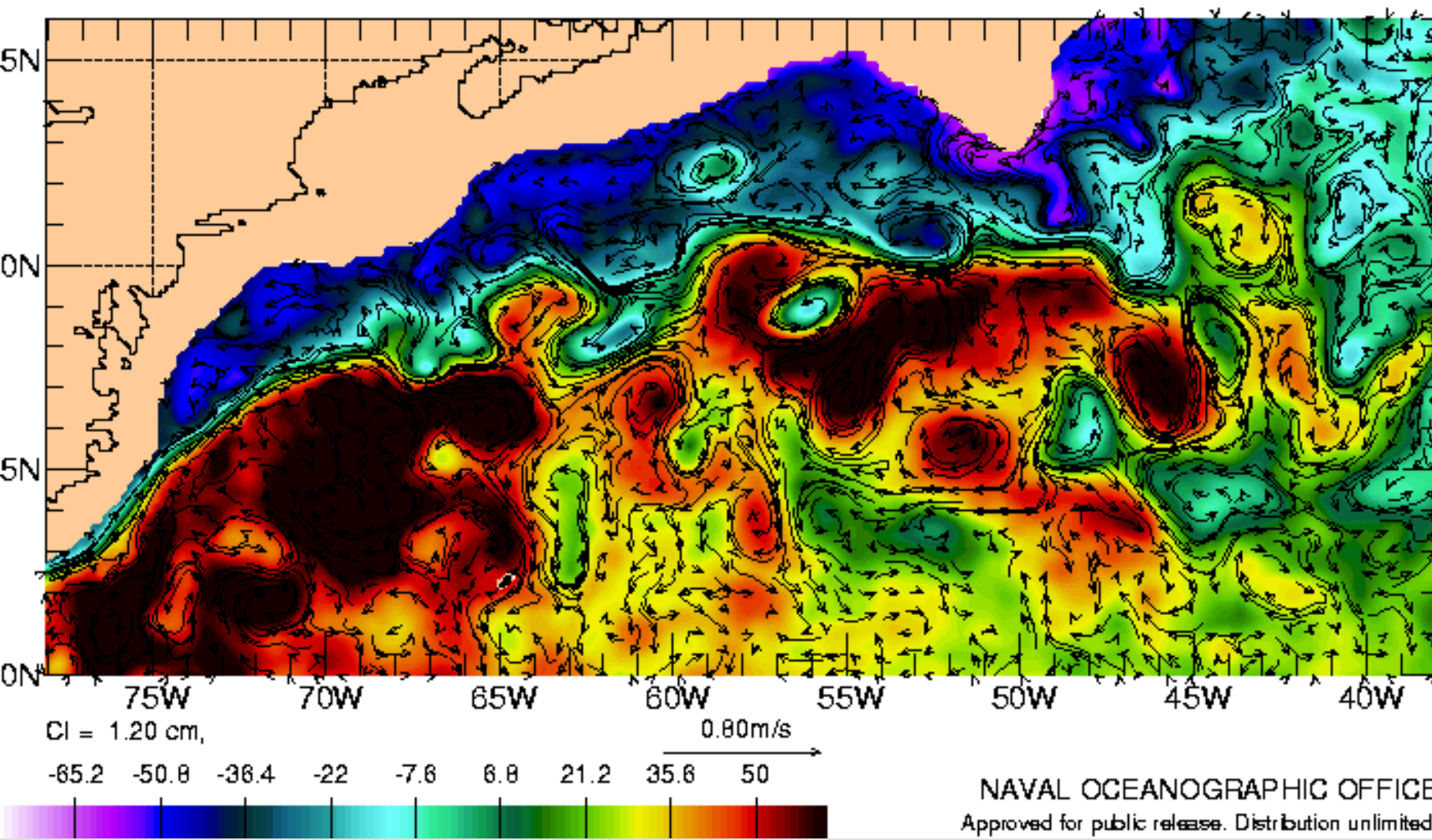
| 黒潮本流 (Kuroshio Current) | | | |
|-------------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|
| 地名 Place Name | 流軸までの方向 Direction | 流軸までの距離 Dist. (NM) | 黒潮流域の表面水温 Surface Temp. (°C) |
| 1 石垣島 (Ishigaki Shima) | NW | 90 | 26 |
| 2 沖縄島 (Okinawa Shima) | NW | 90 | 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

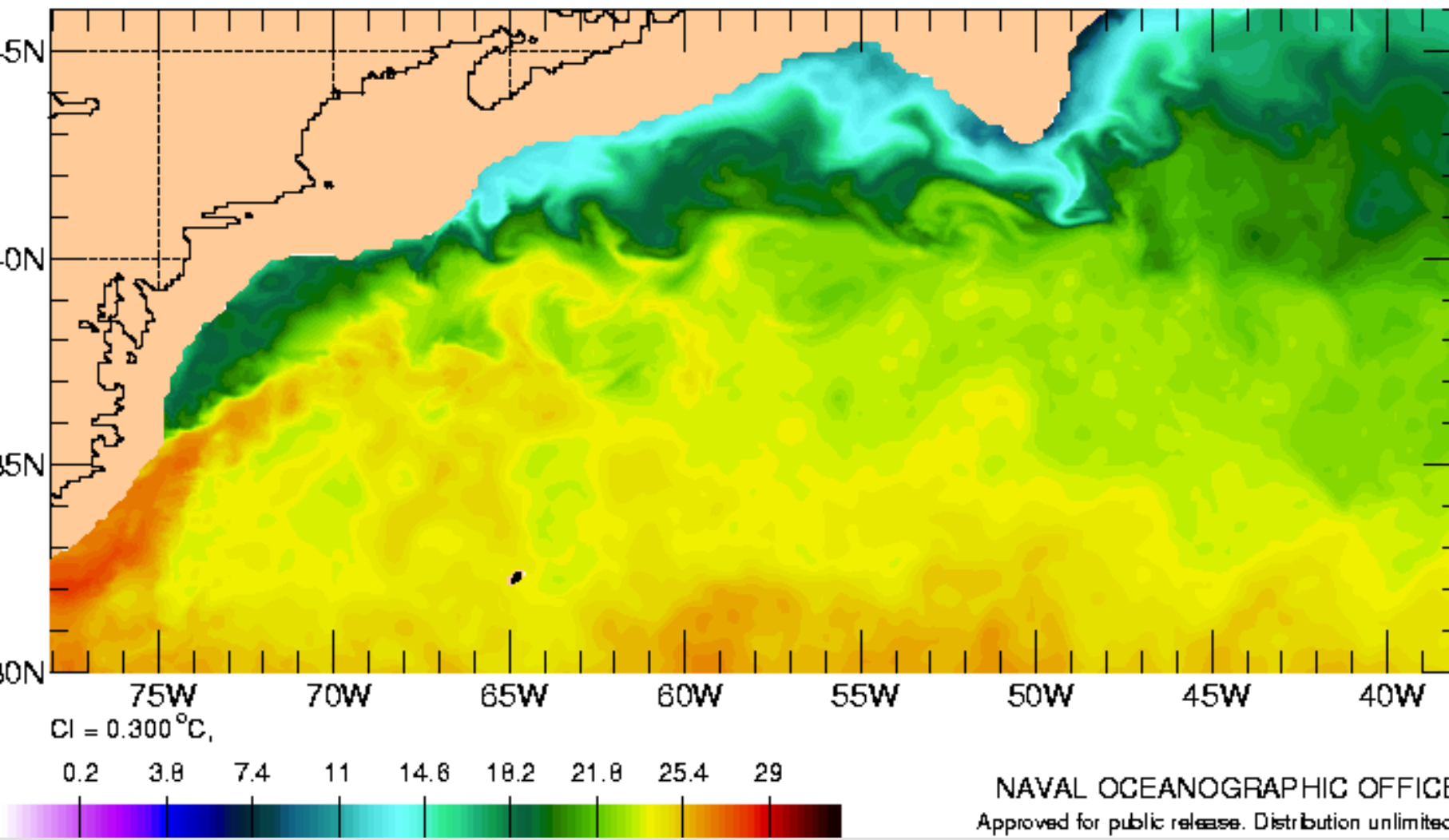
SSH/CURRENT ANALYSIS: 20041102



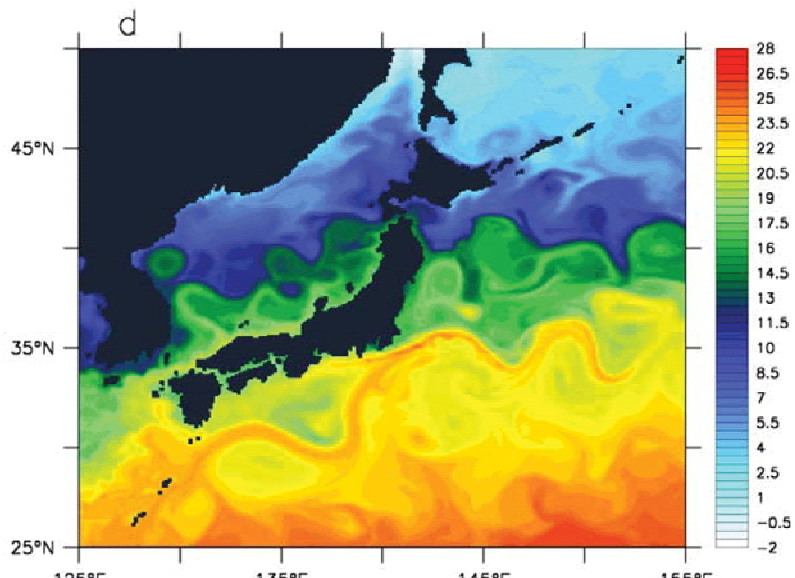
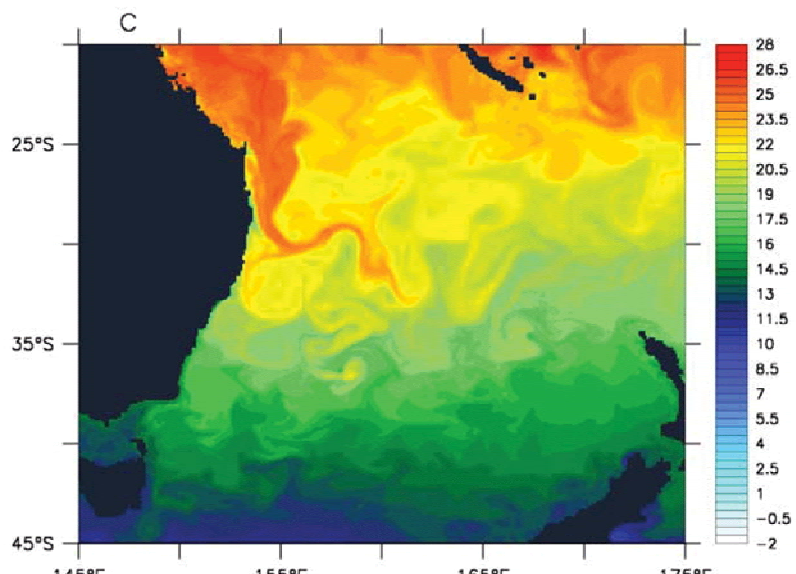
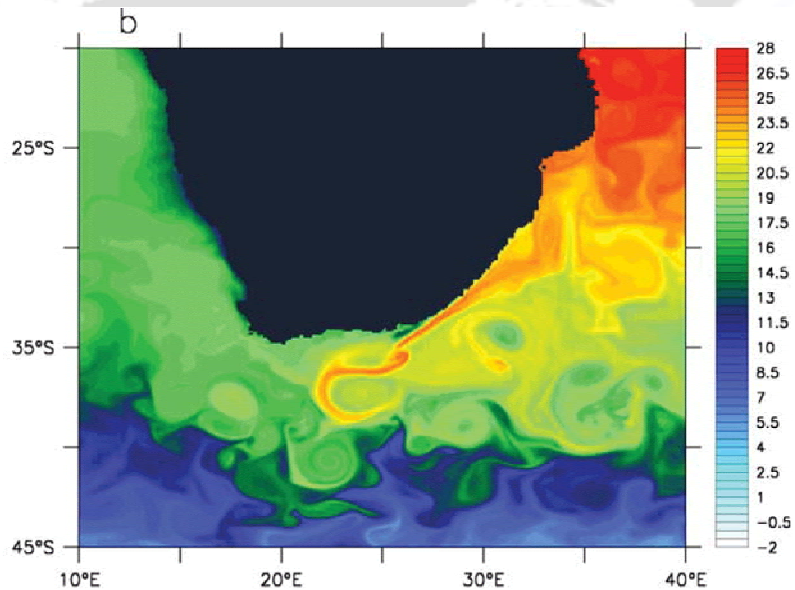
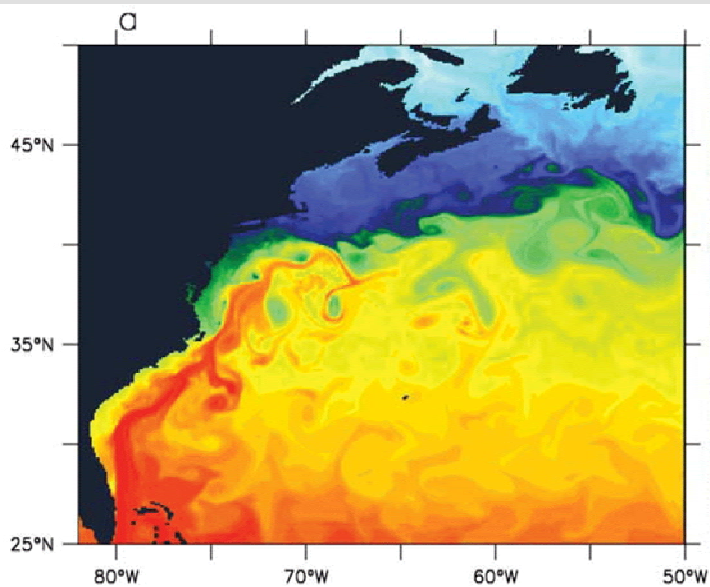
表層海流 - 暖流と寒流 -

UNCLASSIFIED: 1/16° Global NLOM

SST ANALYSIS: 20041102



表層海流 - 暖流と寒流 -



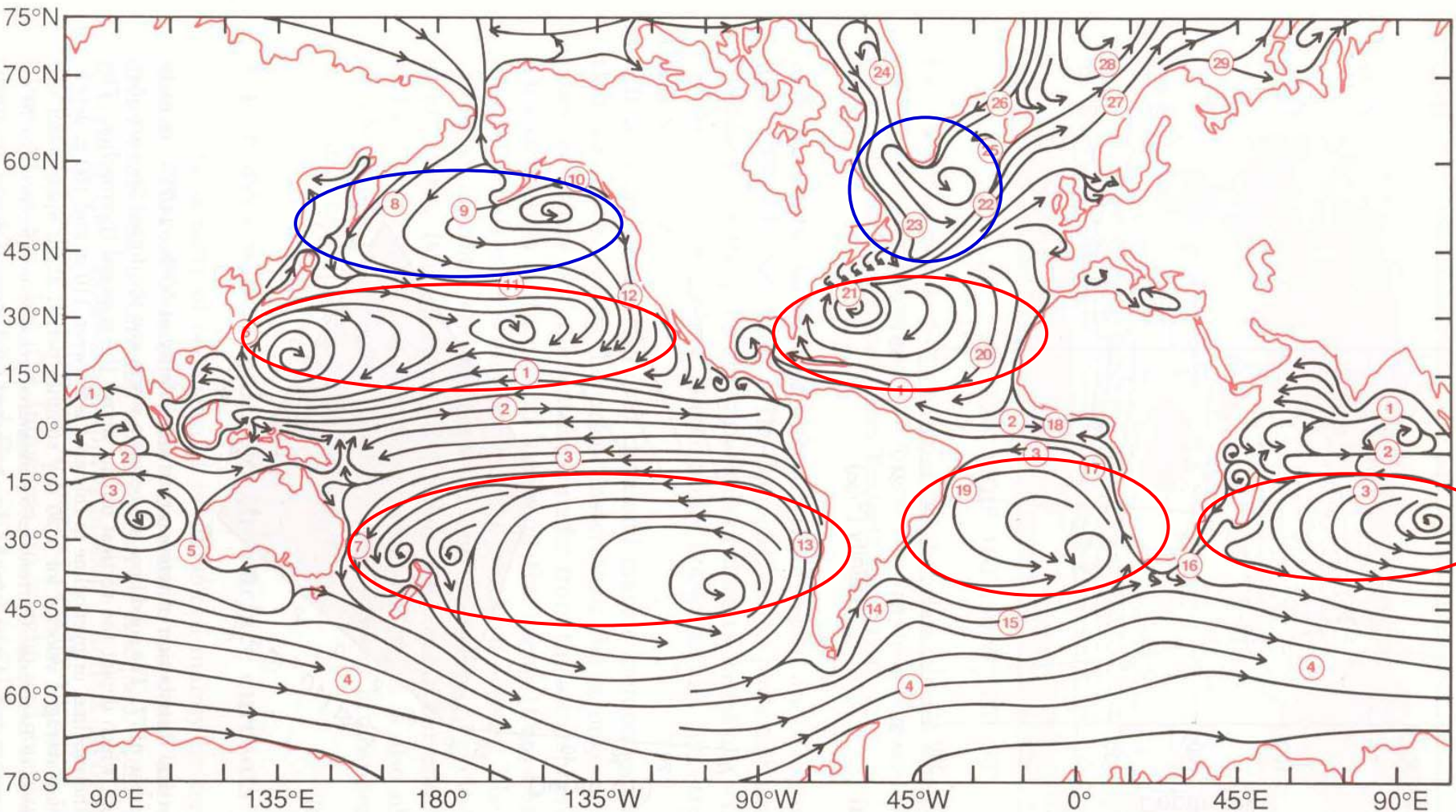
表層海流 – 暖流と寒流 –

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 $\sim 10-100$ 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

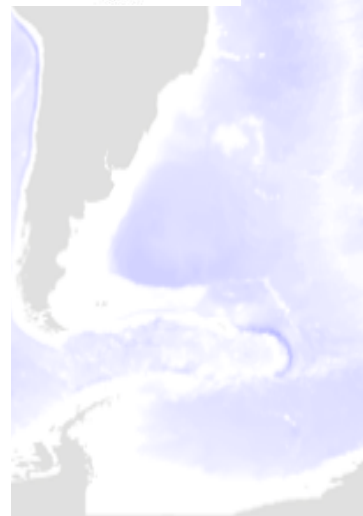
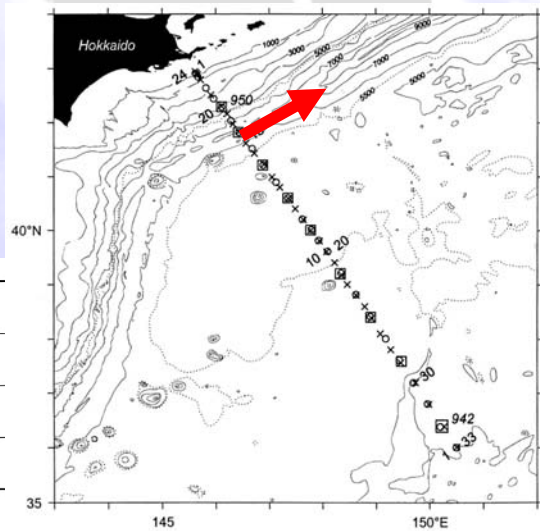
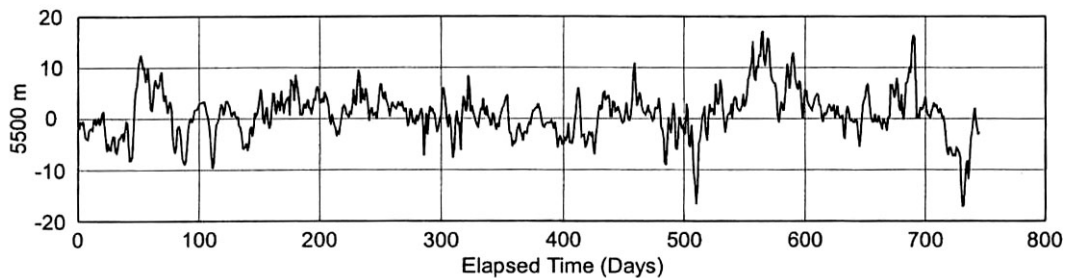
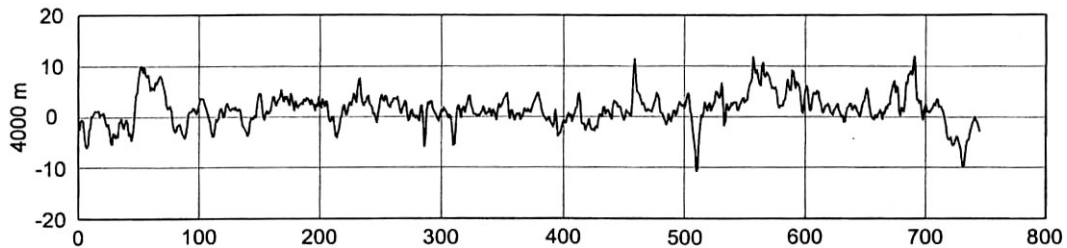
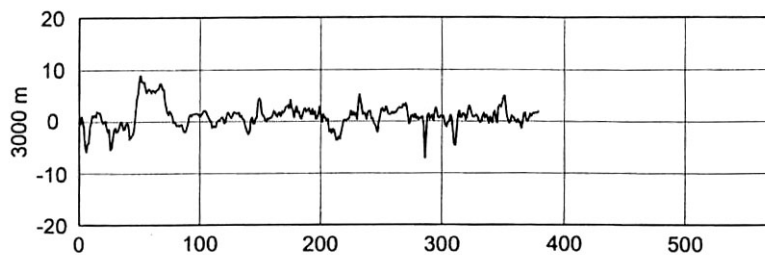
- 数値シミュレーション

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

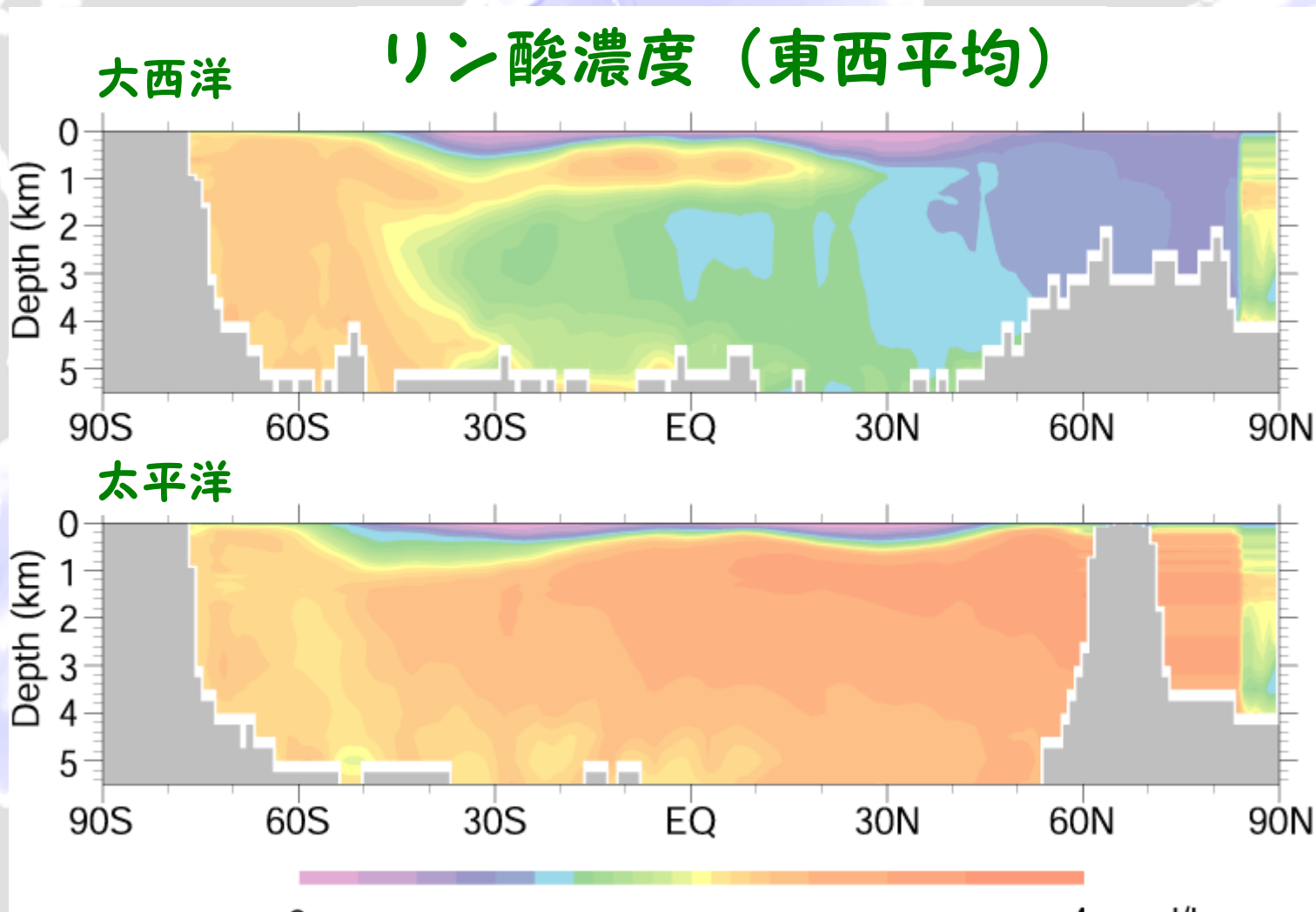
深層の海流

流速計による深層流観測



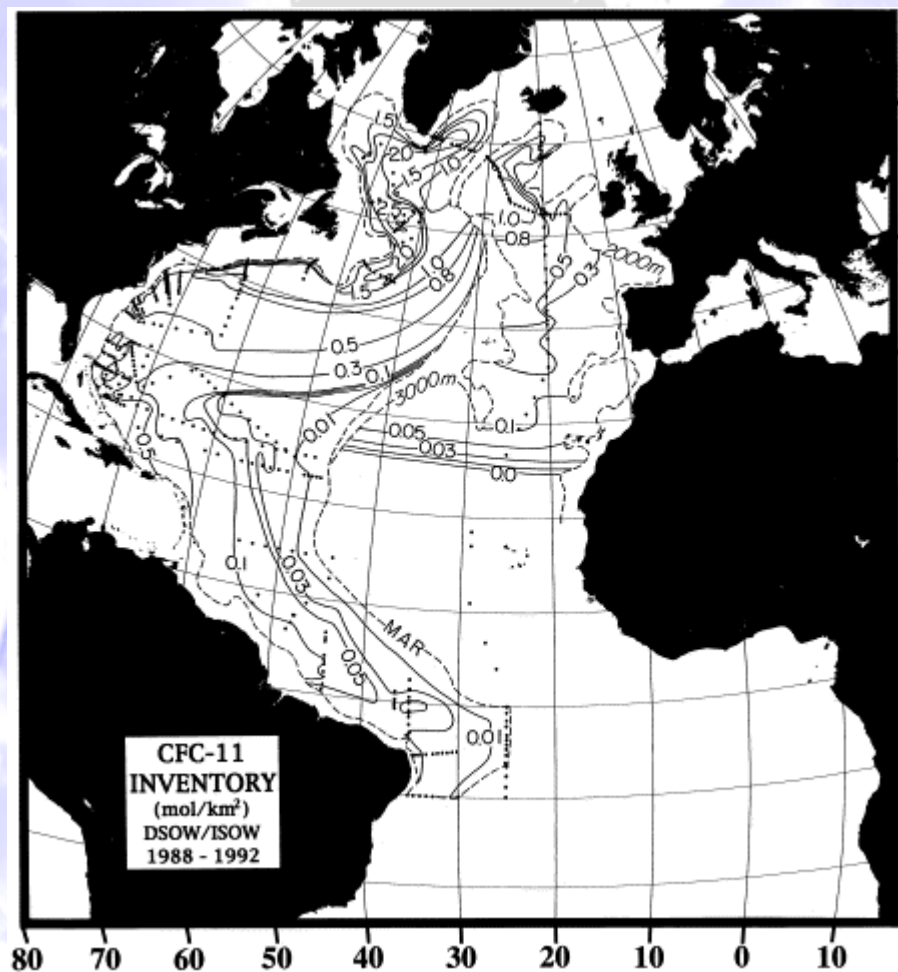
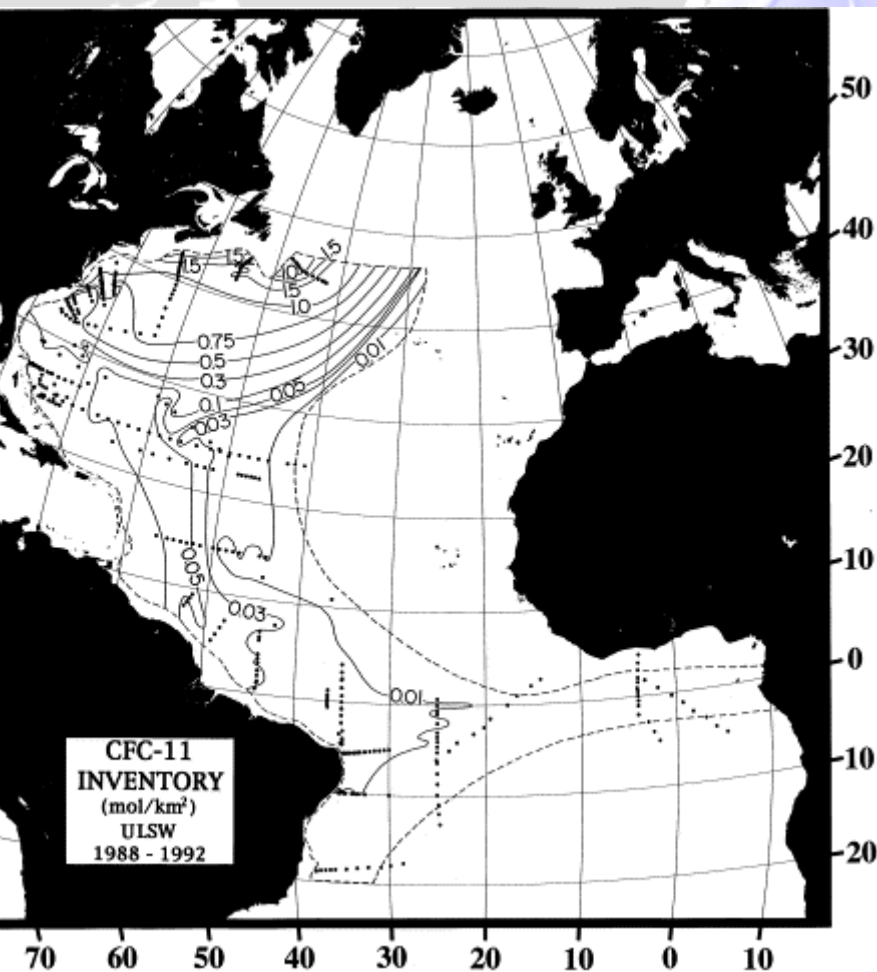
深層の海流

溶存物質分布からの深層循環の推定



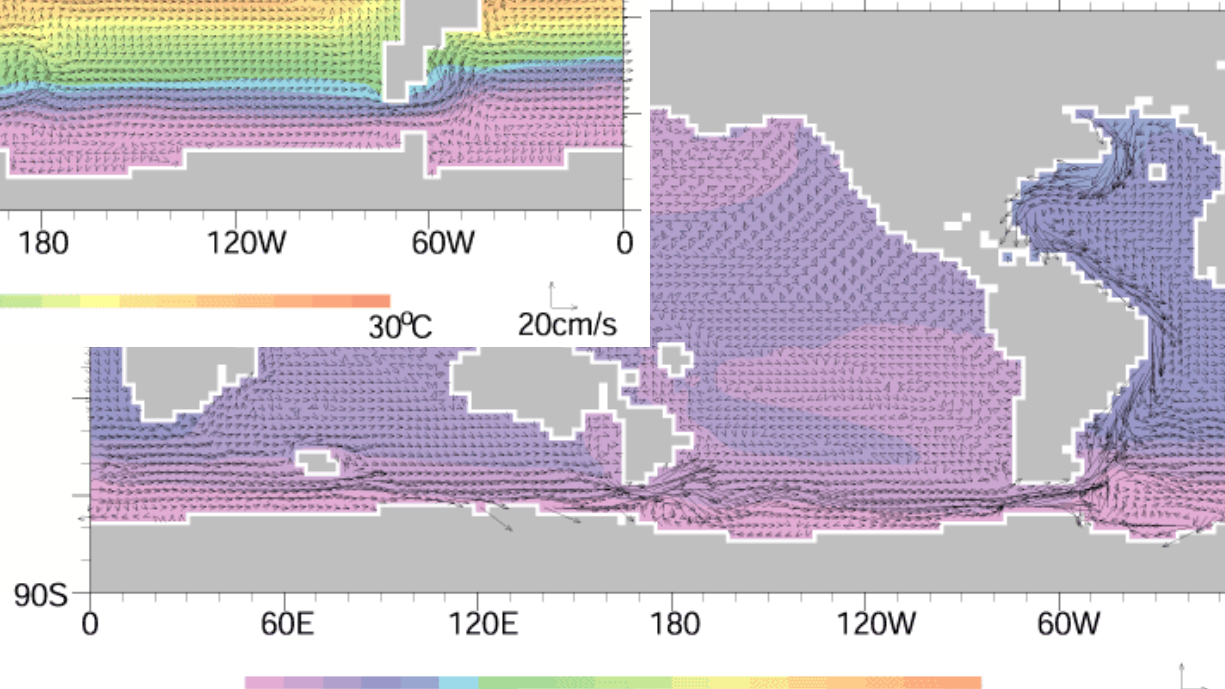
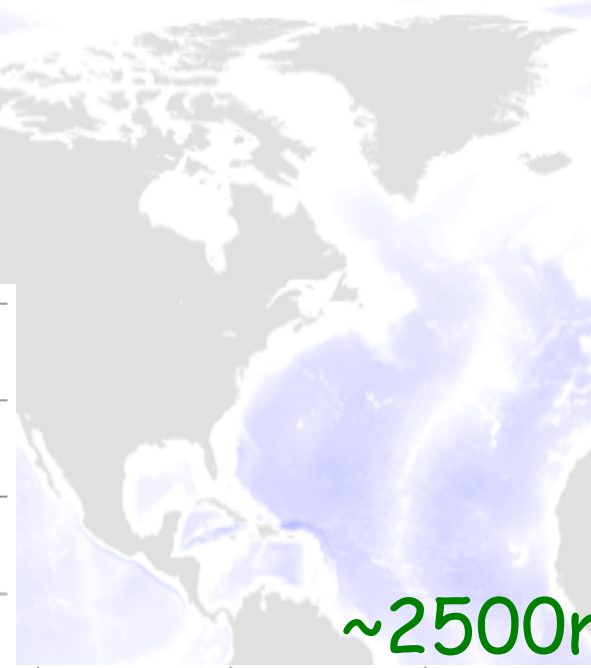
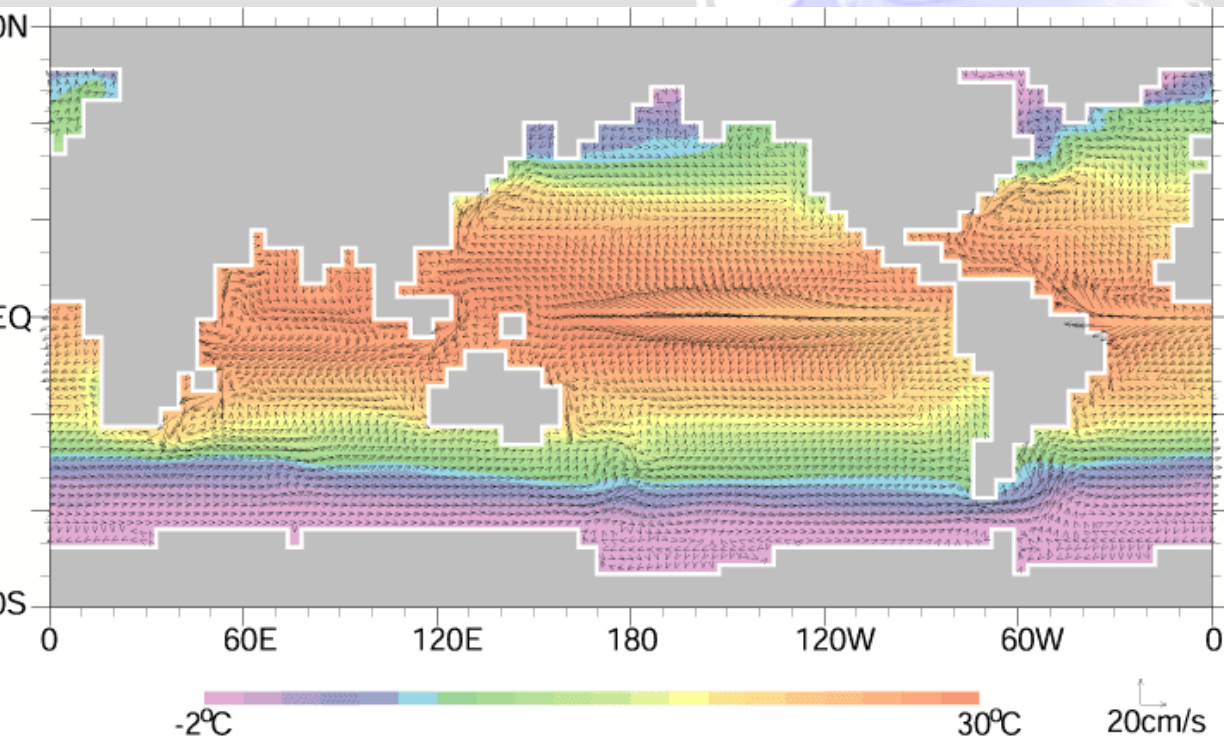
深層の海流

溶存物質分布からの深層循環の推定



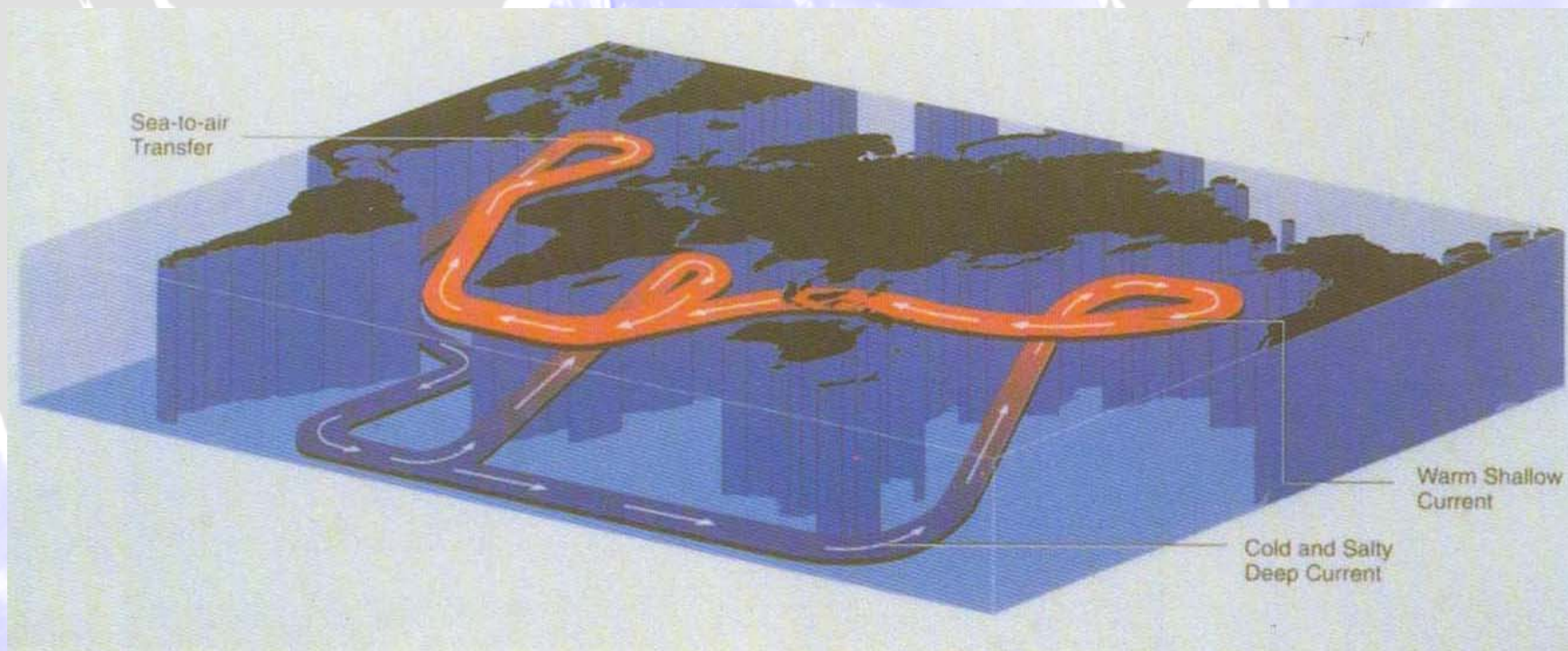
深層の海流

数値シミュレーションの結果



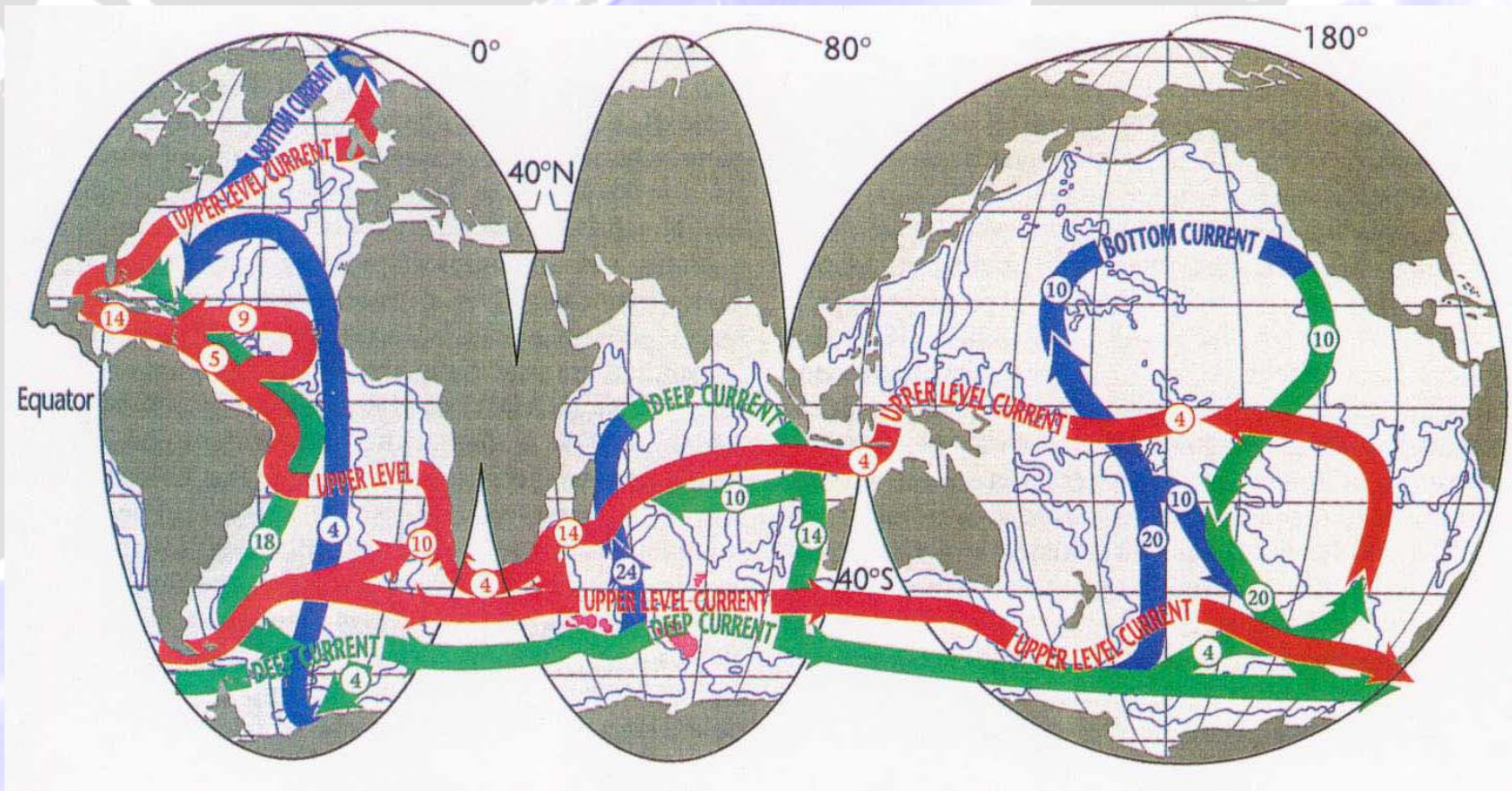
深層循環の実態

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: $Sv = 10^6 m^3/s$

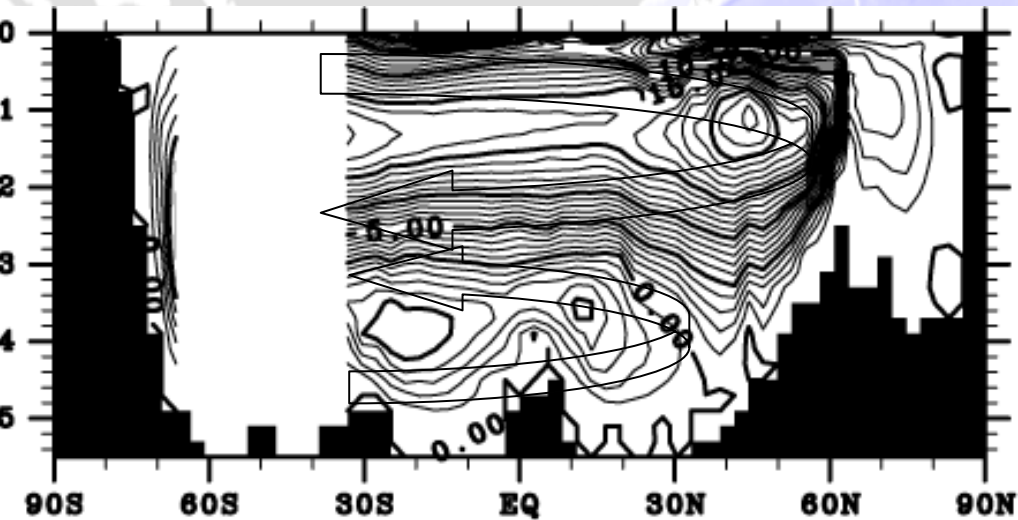
深層循環の実態

深層循環の特徴（※現在の）

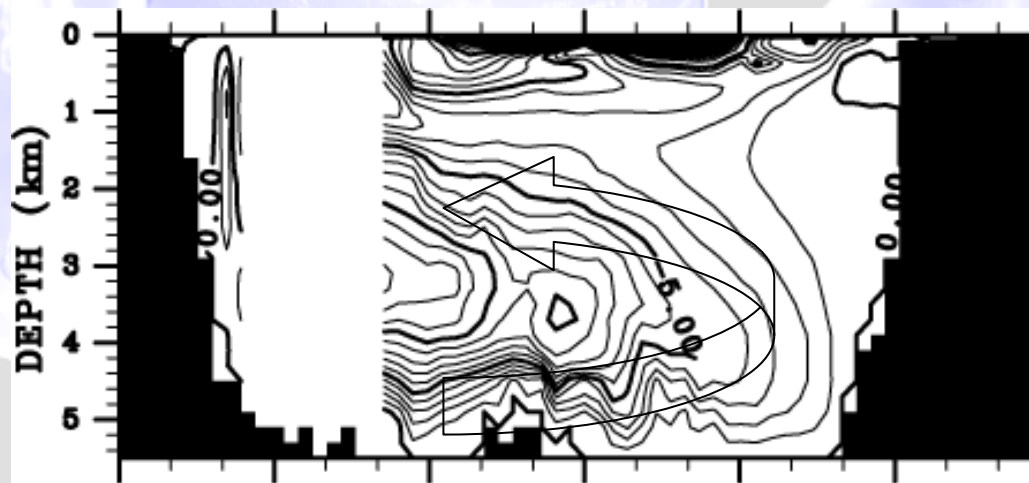
- 高緯度の非常に限られた領域で下降
 - 深層水形成
- 深層水は全球を遍く巡る
 - cf.) 風成循環：海盆や緯度で閉じた循環系
- 外洋全体で緩やかに上昇...?
 - 実は上昇領域も局在化しているかもしれない
- 上昇した水は表層を通過して深層水形成領域へ戻る
 - 表層海流の一部はコレ（先述の北極海の例）
- 緯度横断的な「子午面循環」を形成
 - 熱輸送に重要な働き（後述）

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

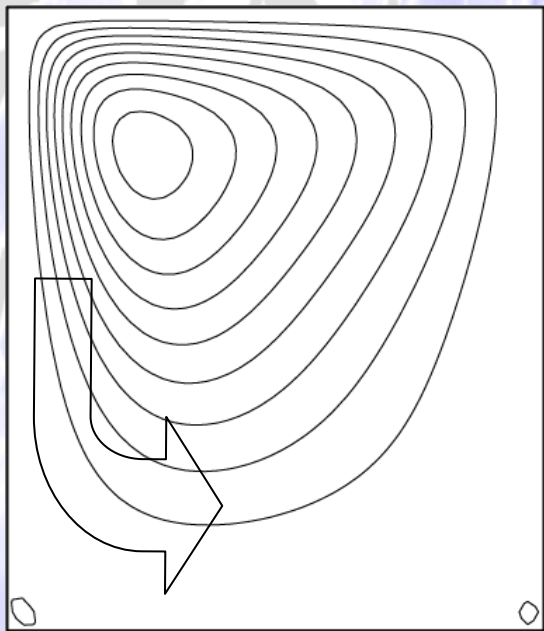
深層循環の原因

水平熱対流：水平方向の非一様加熱によって生じる循環

↓ 低温

高温 ↓

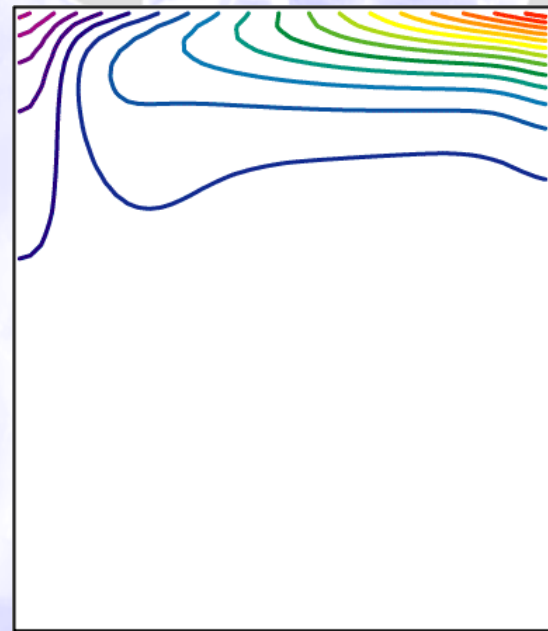
高密度
= 重い



低密度
= 軽い



温度分布



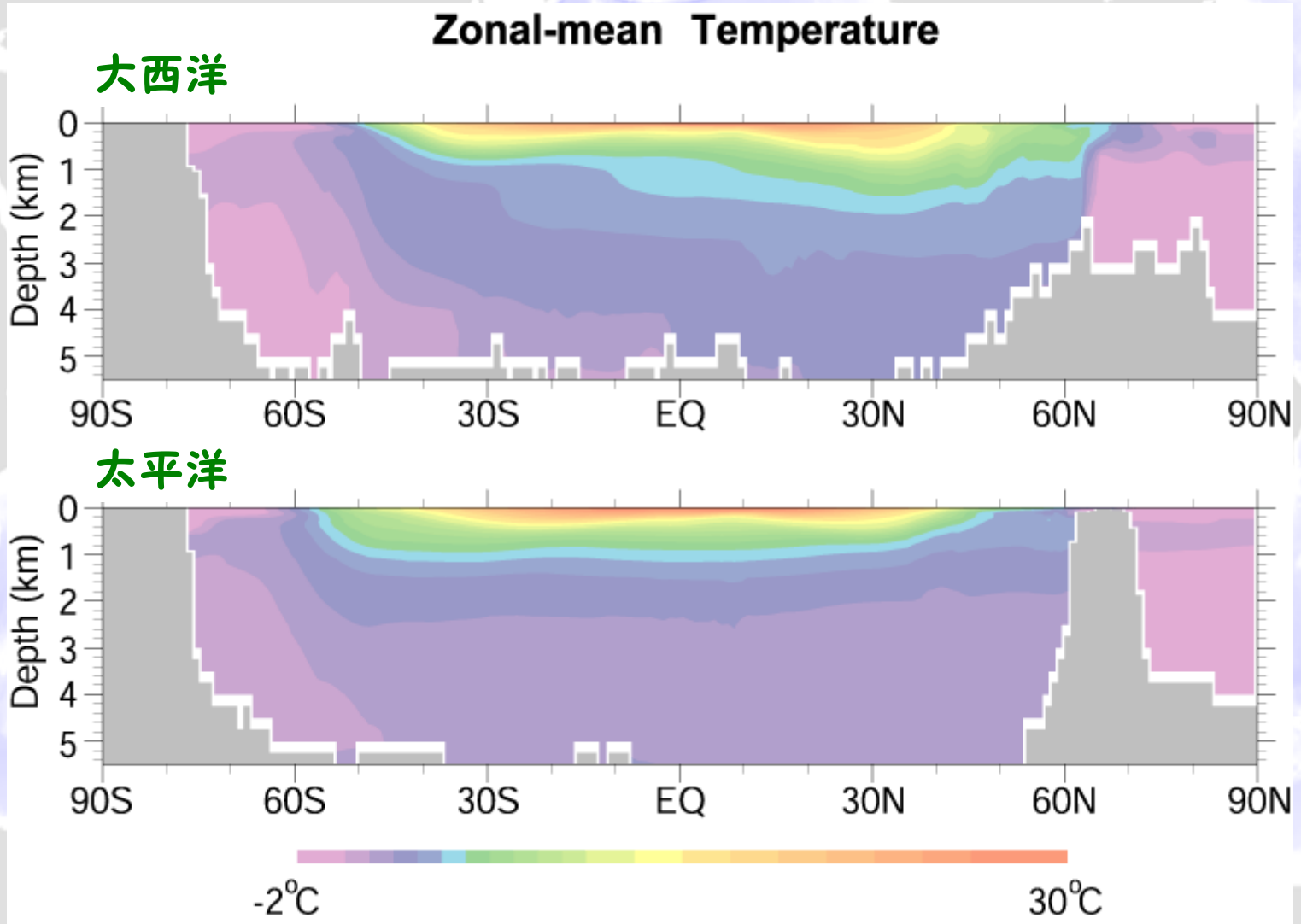
深層循環の原因

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



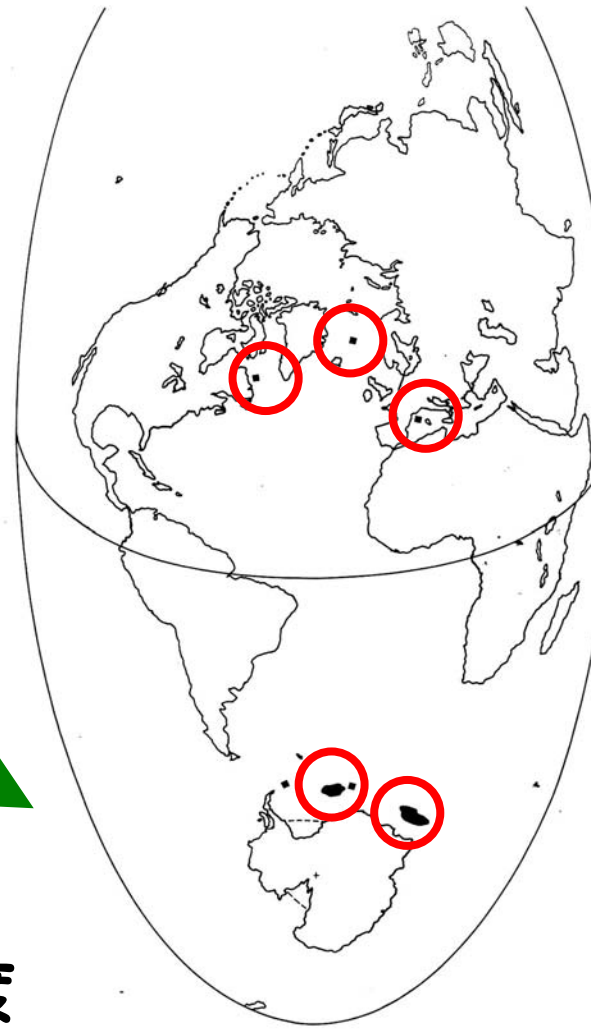
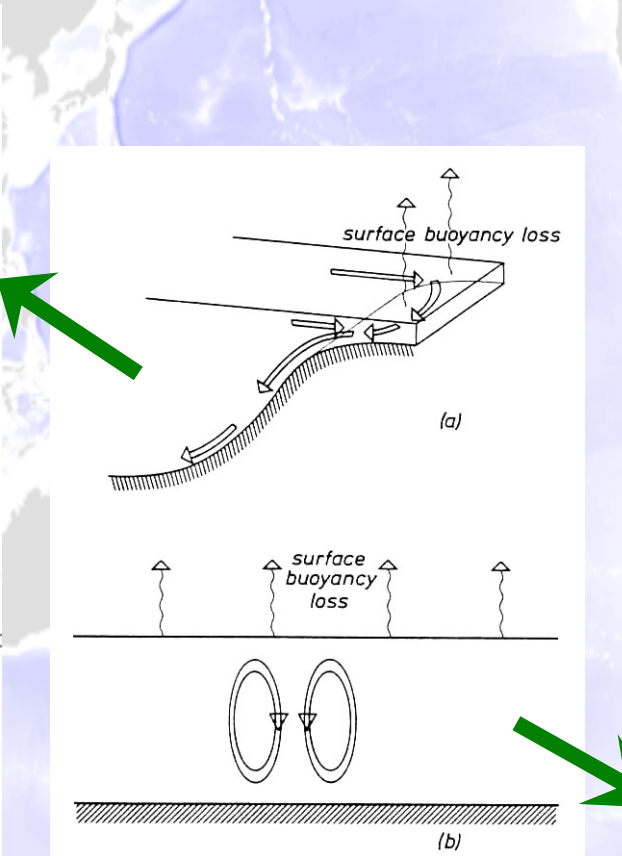
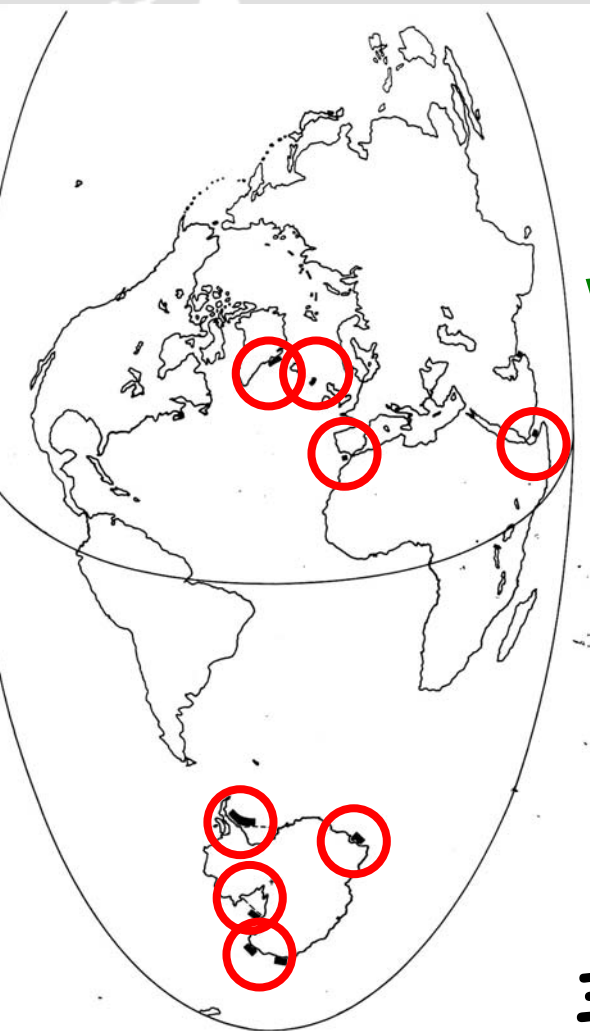
深層循環の原因

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

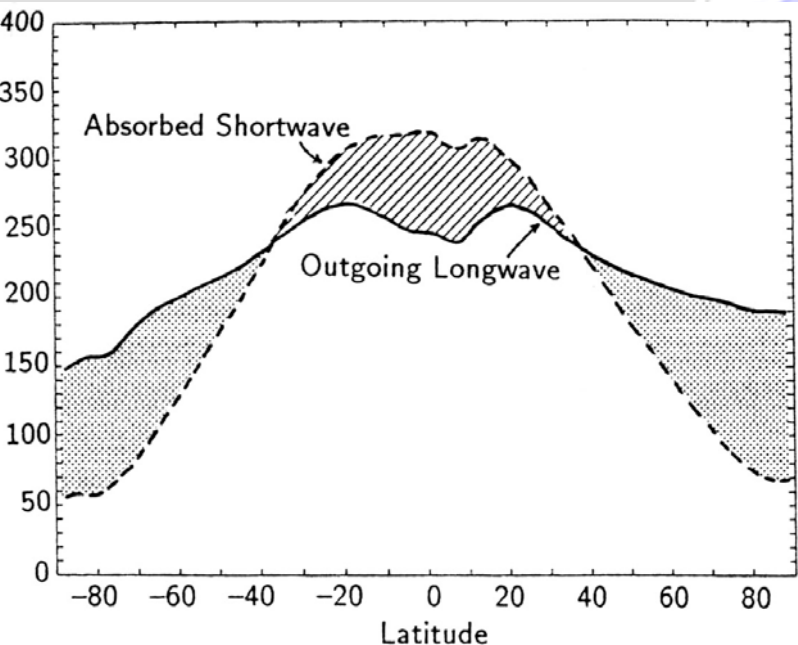
深層水形成領域（※現在の）



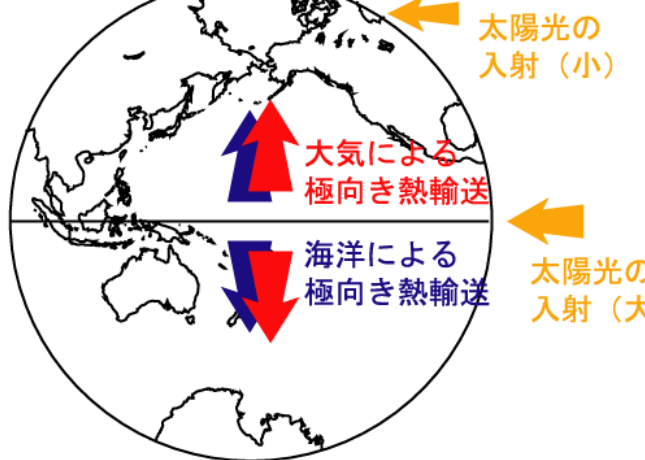
主たるものは高緯度

深層循環と熱輸送

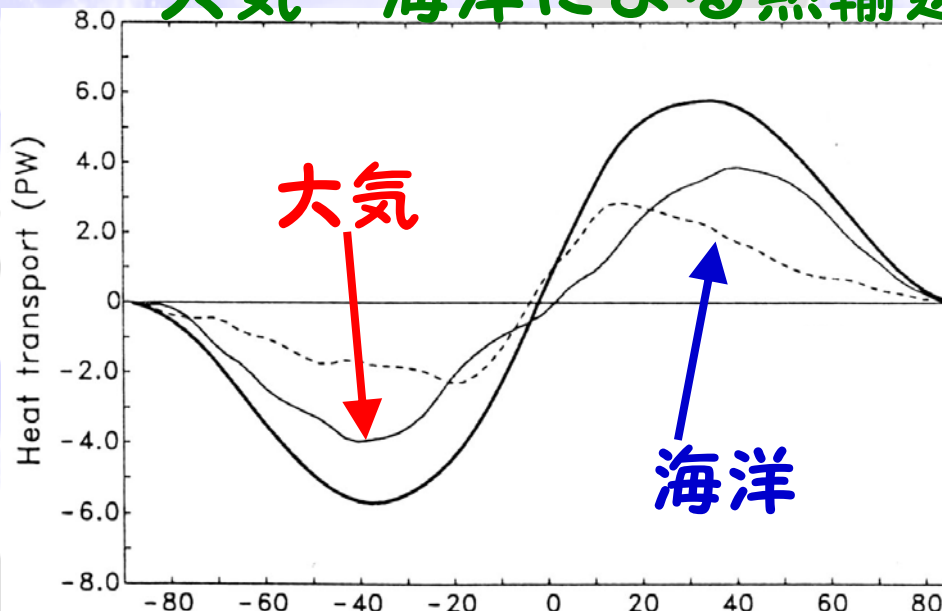
気候系の熱収支と熱輸送



大気上端の放射収支



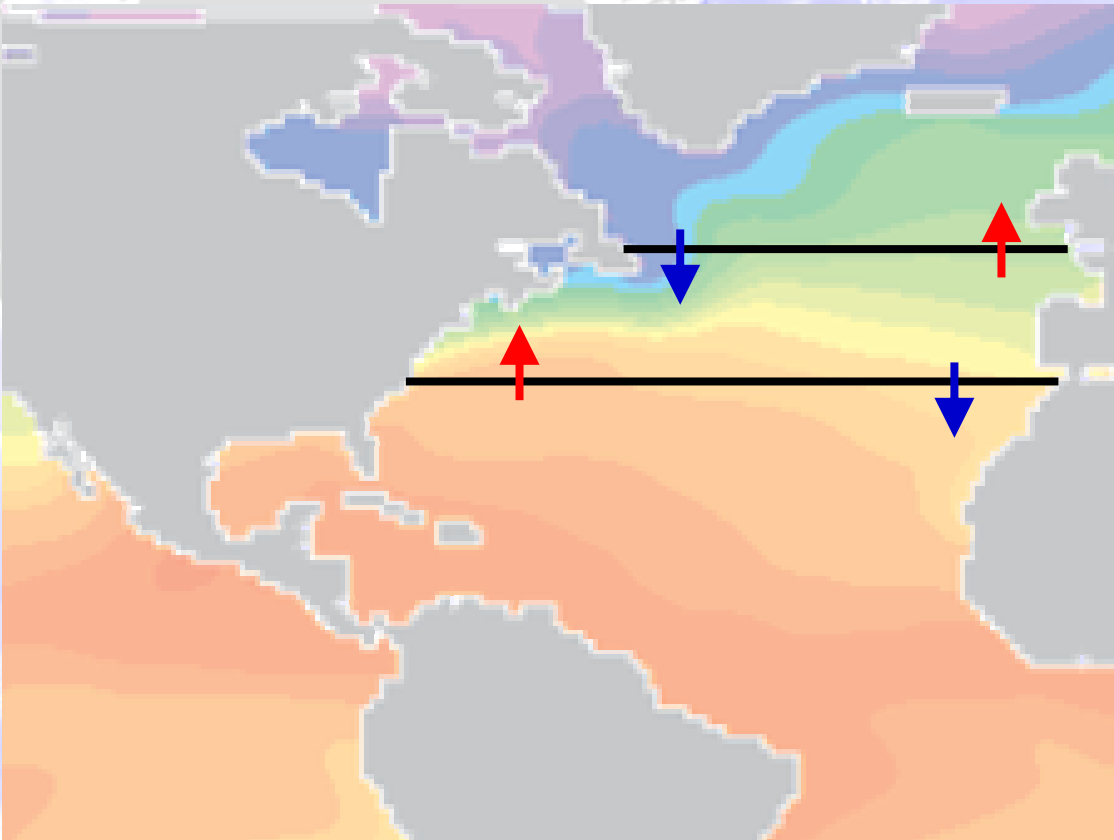
大気・海洋による熱輸送



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

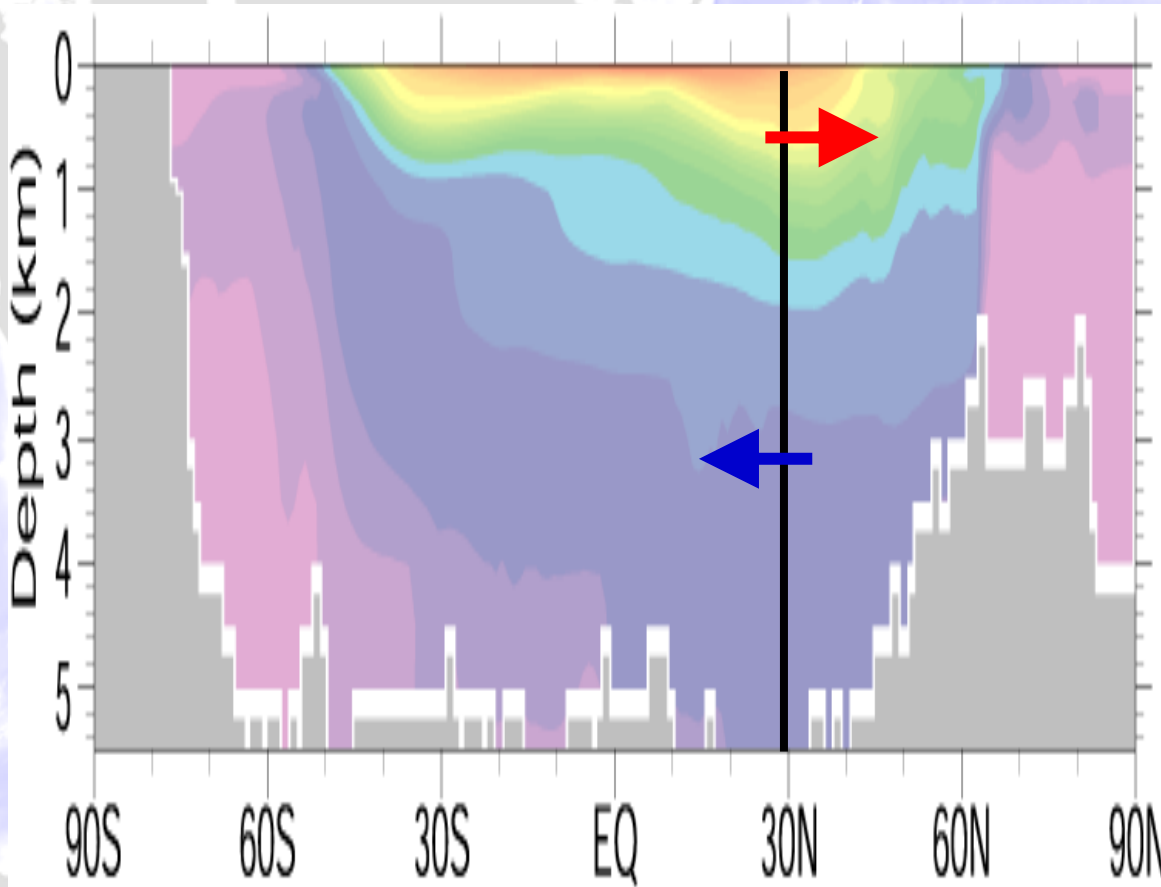
ある緯度を横切る
全南北流量 = 0

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



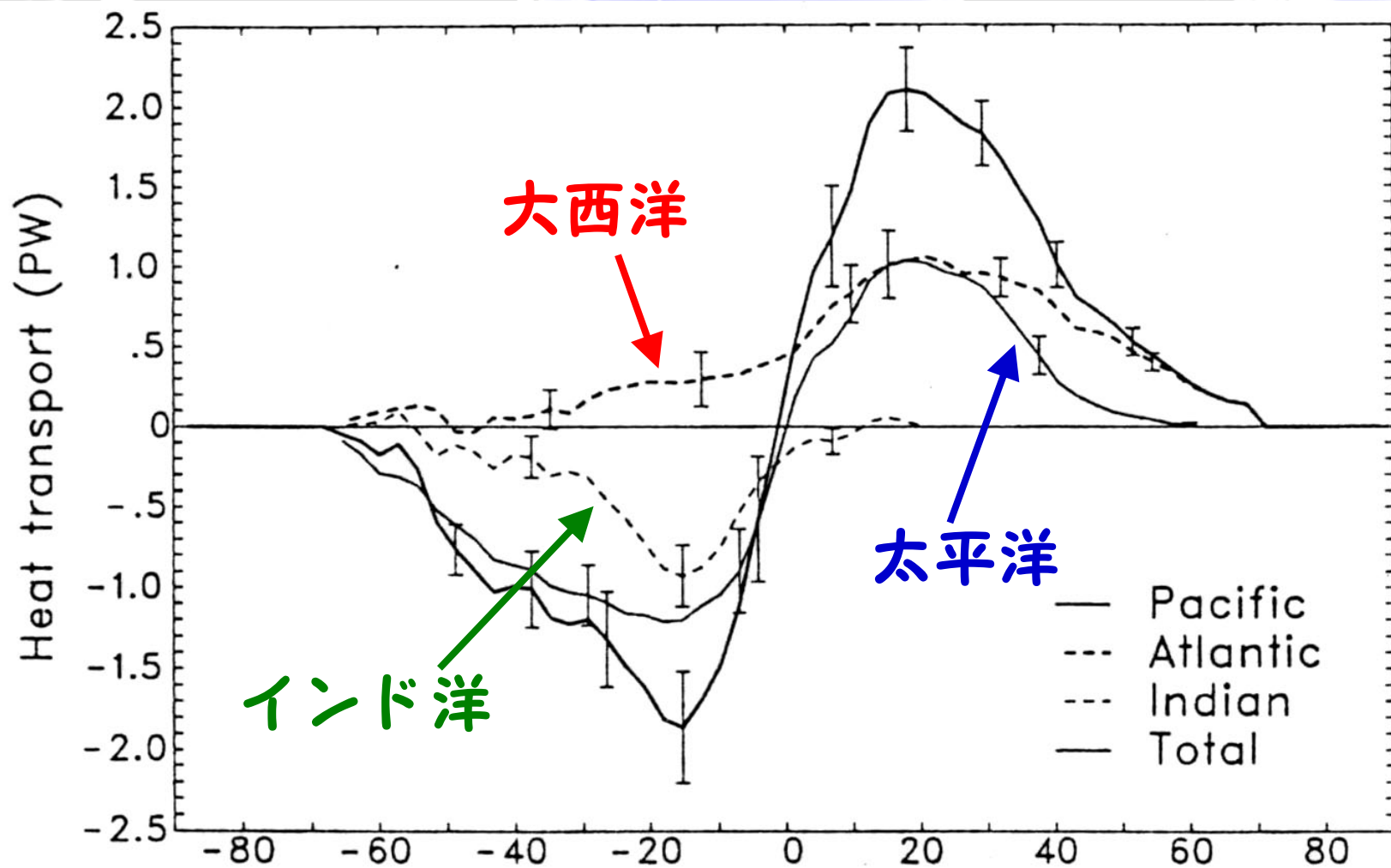
南北熱輸送 =
南北速度 × 温度
...を経度と深さ方
向に積分

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

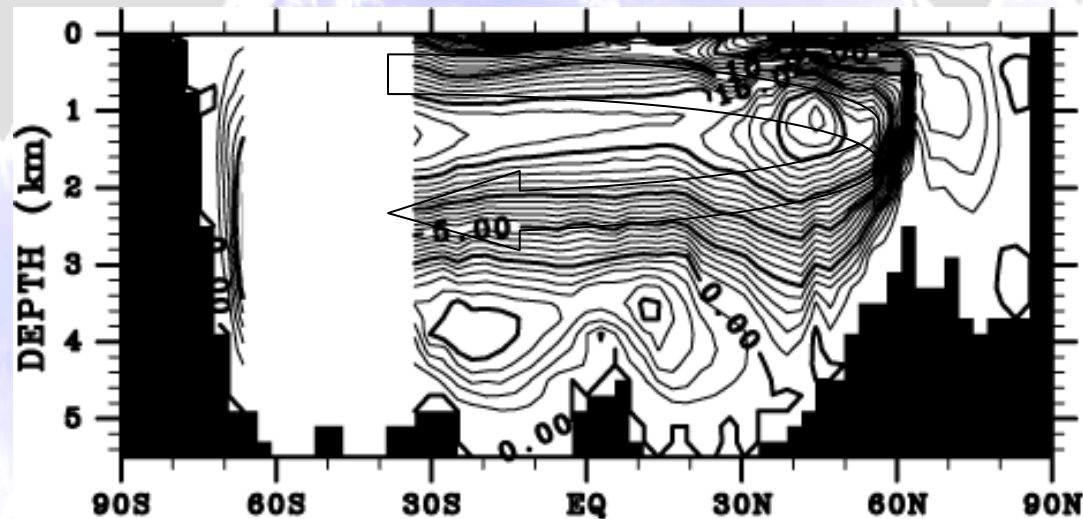
深層循環と熱輸送

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

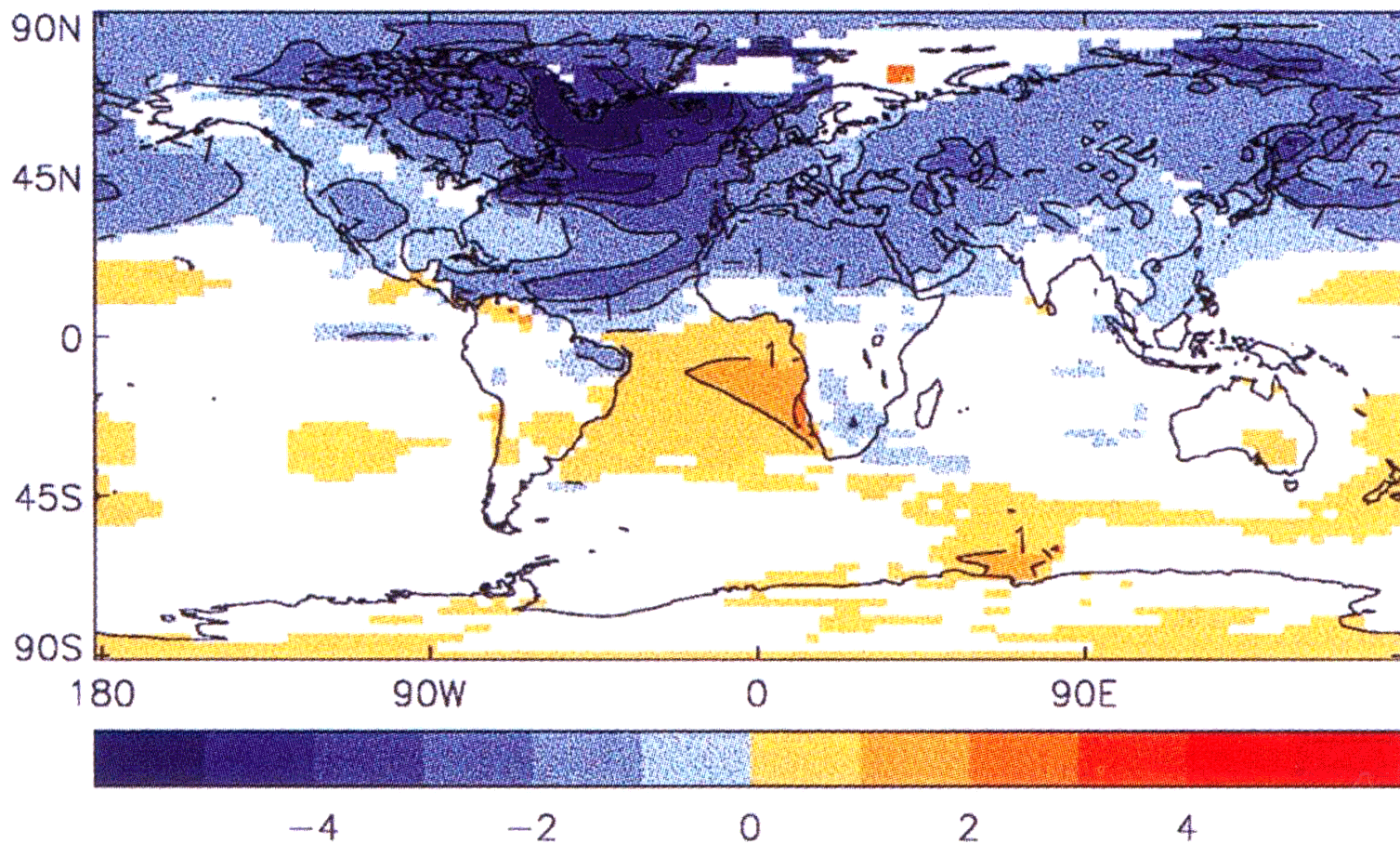


この熱輸送の存在のため、北大西洋高緯度（そしてヨーロッパ）の気候は緯度に比べて温暖

深層循環の変化と気候

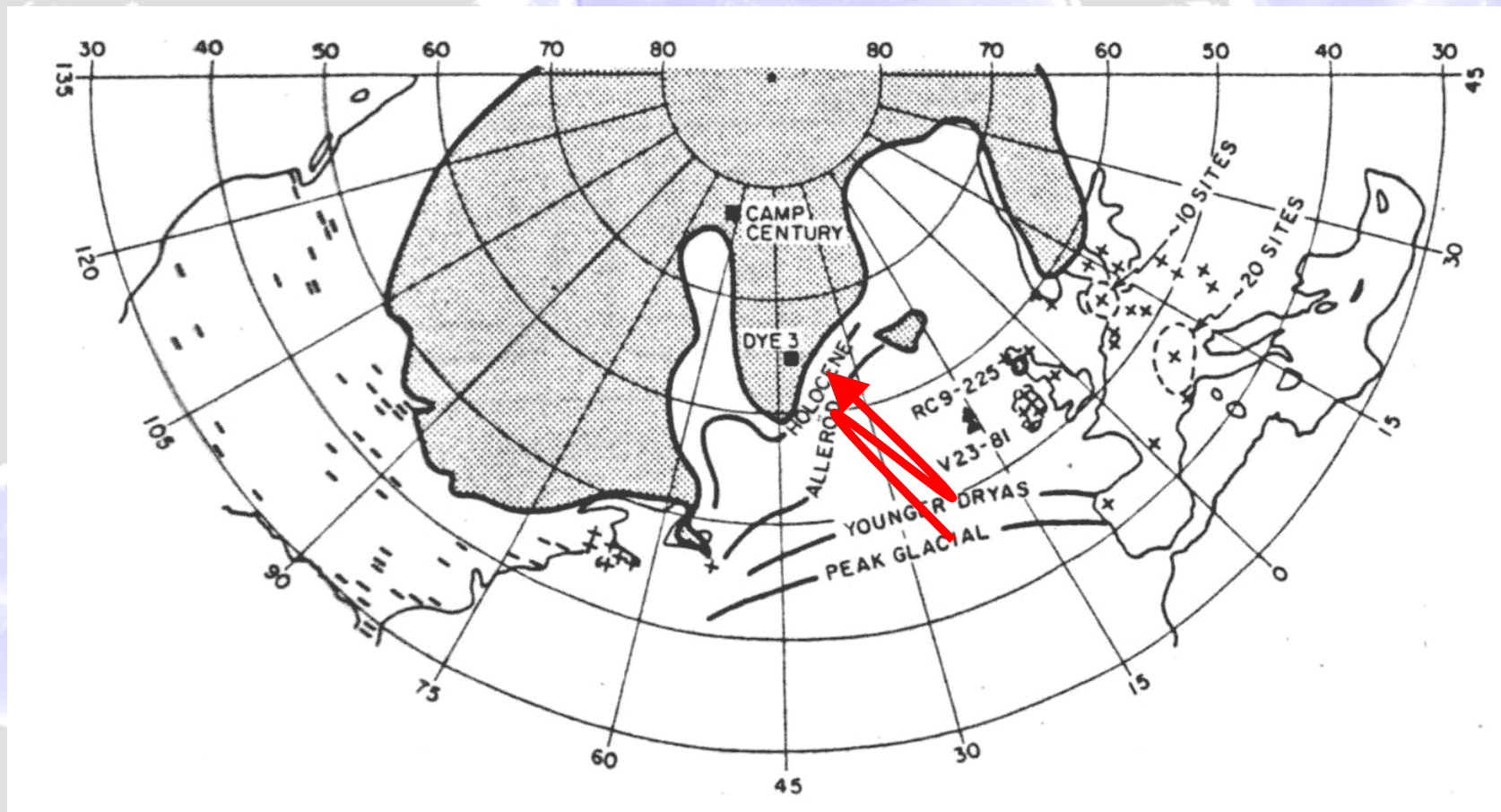
もし大西洋の深層循環が止まってしまったら...

大西洋の深層循環を止めた20年後の気温変化



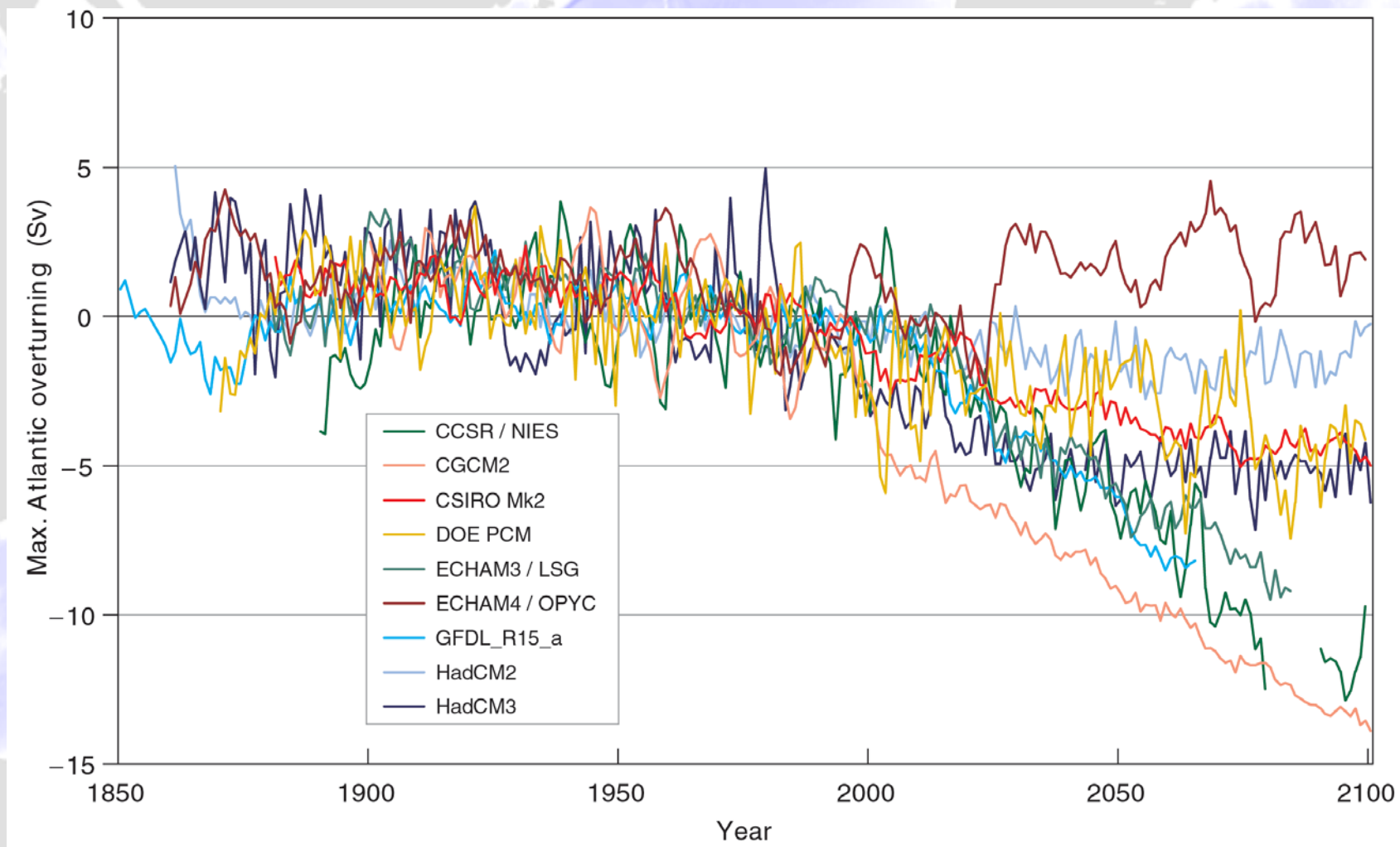
深層循環の変化と気候

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



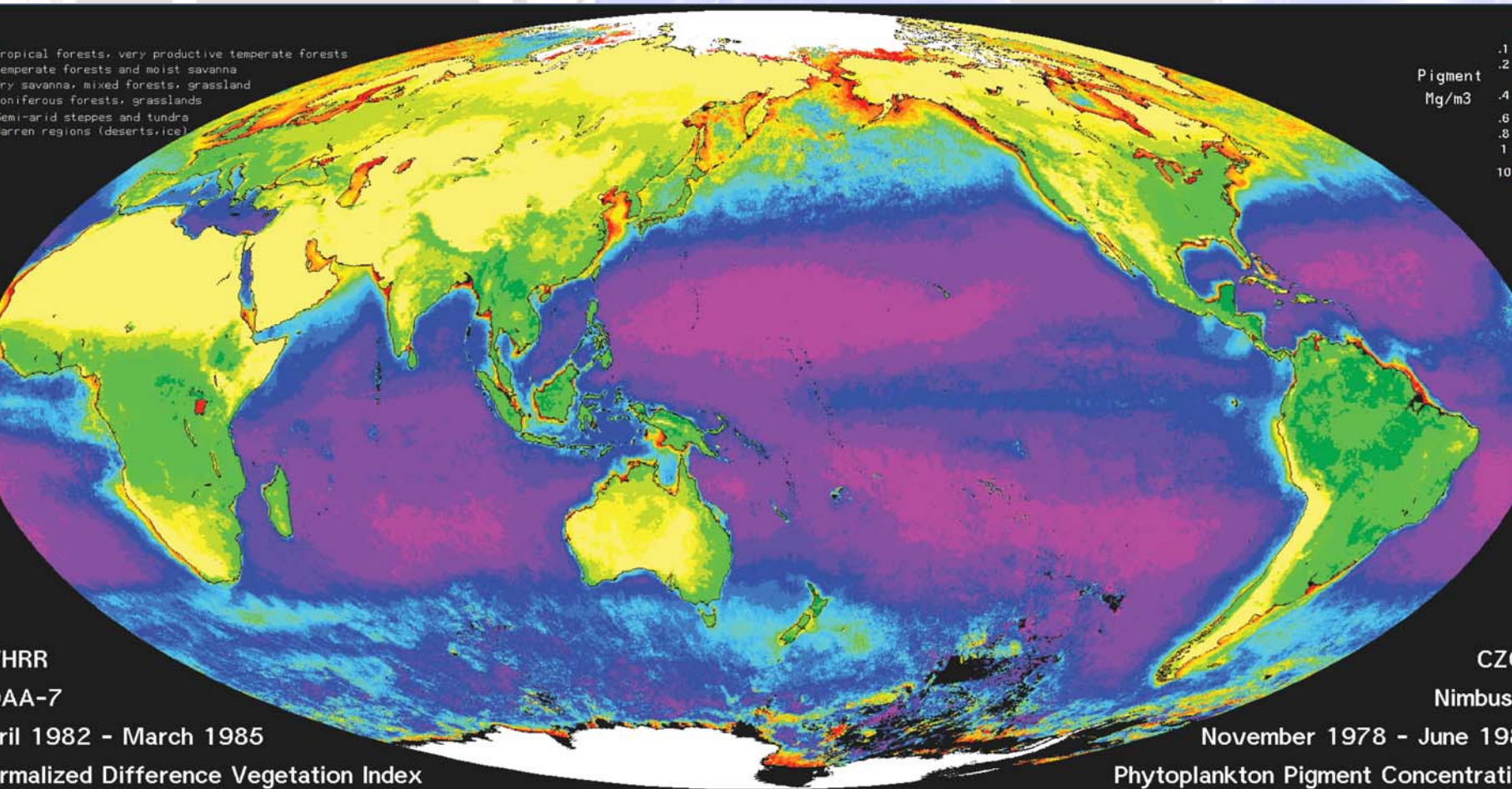
深層循環の変化と気候

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

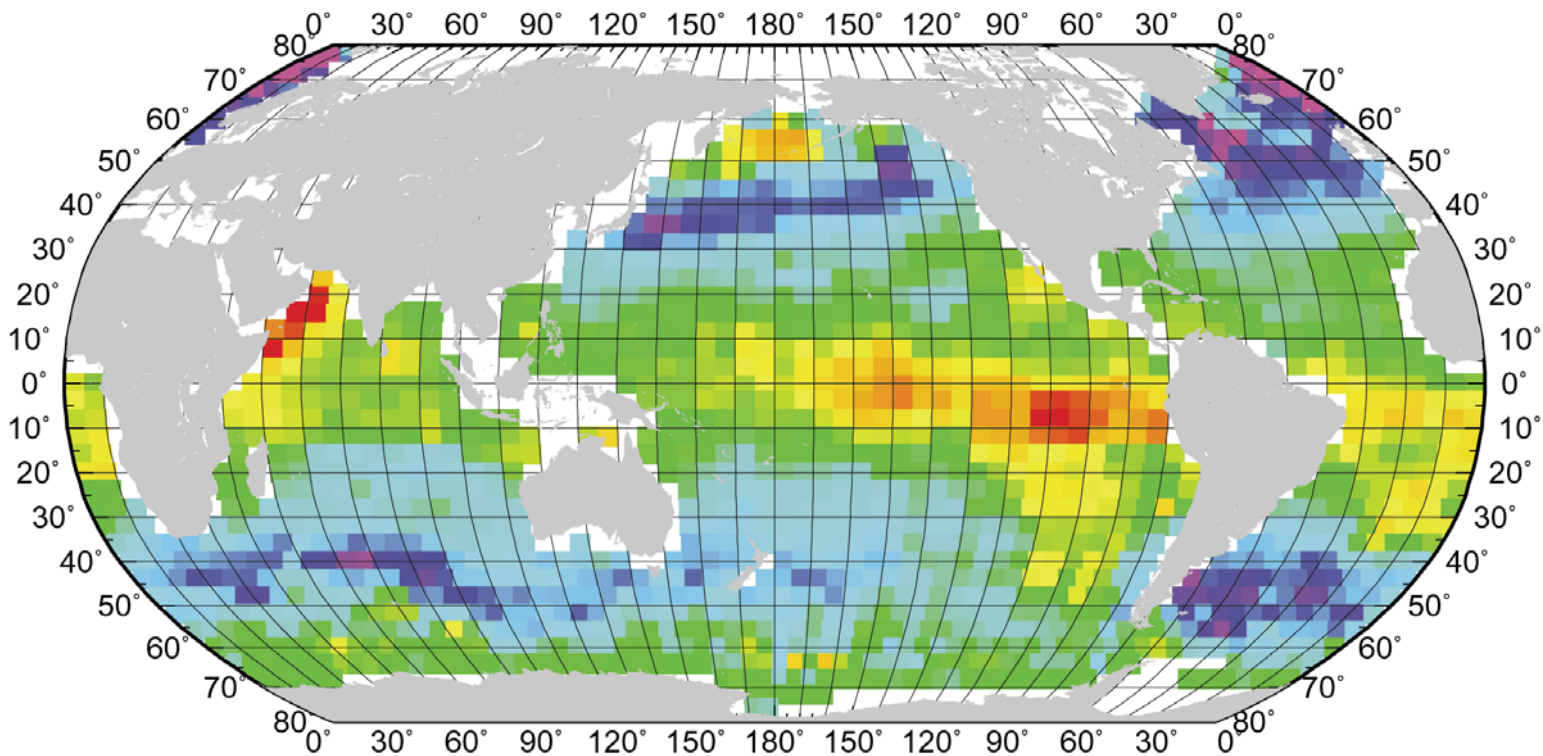
植物プランクトン分布



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)



Net Flux (moles CO₂ m⁻² year⁻¹)

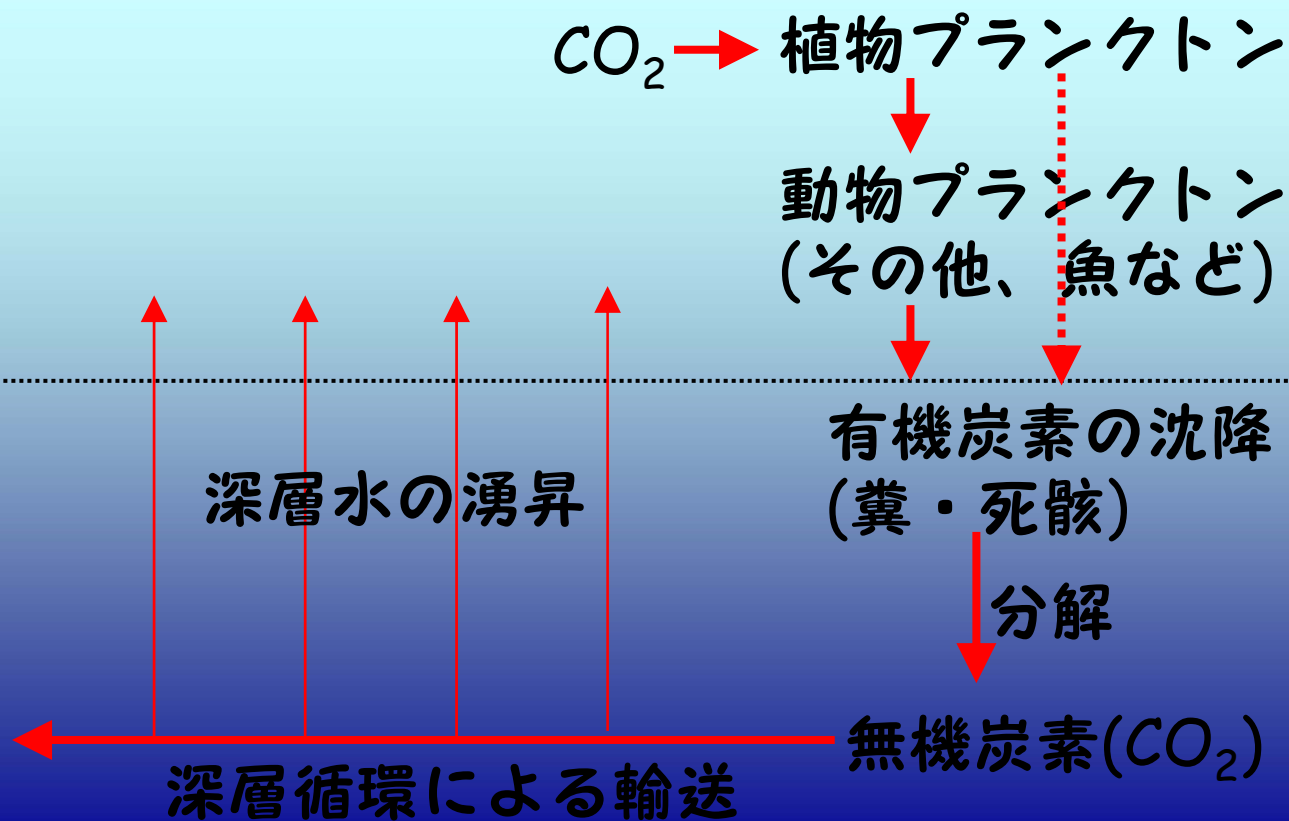
深層循環と二酸化炭素

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

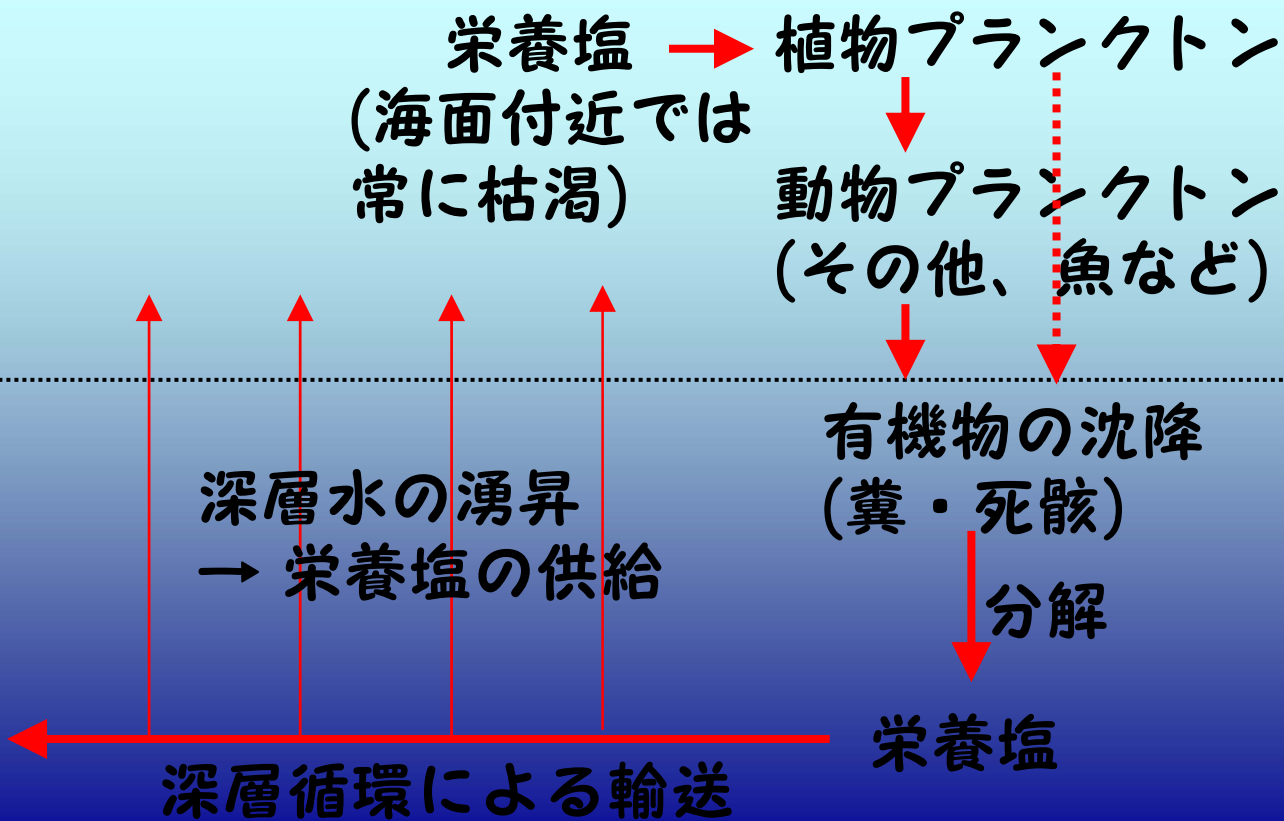
一部、殻を作る種の場合

- その他、微量元素

鉄など

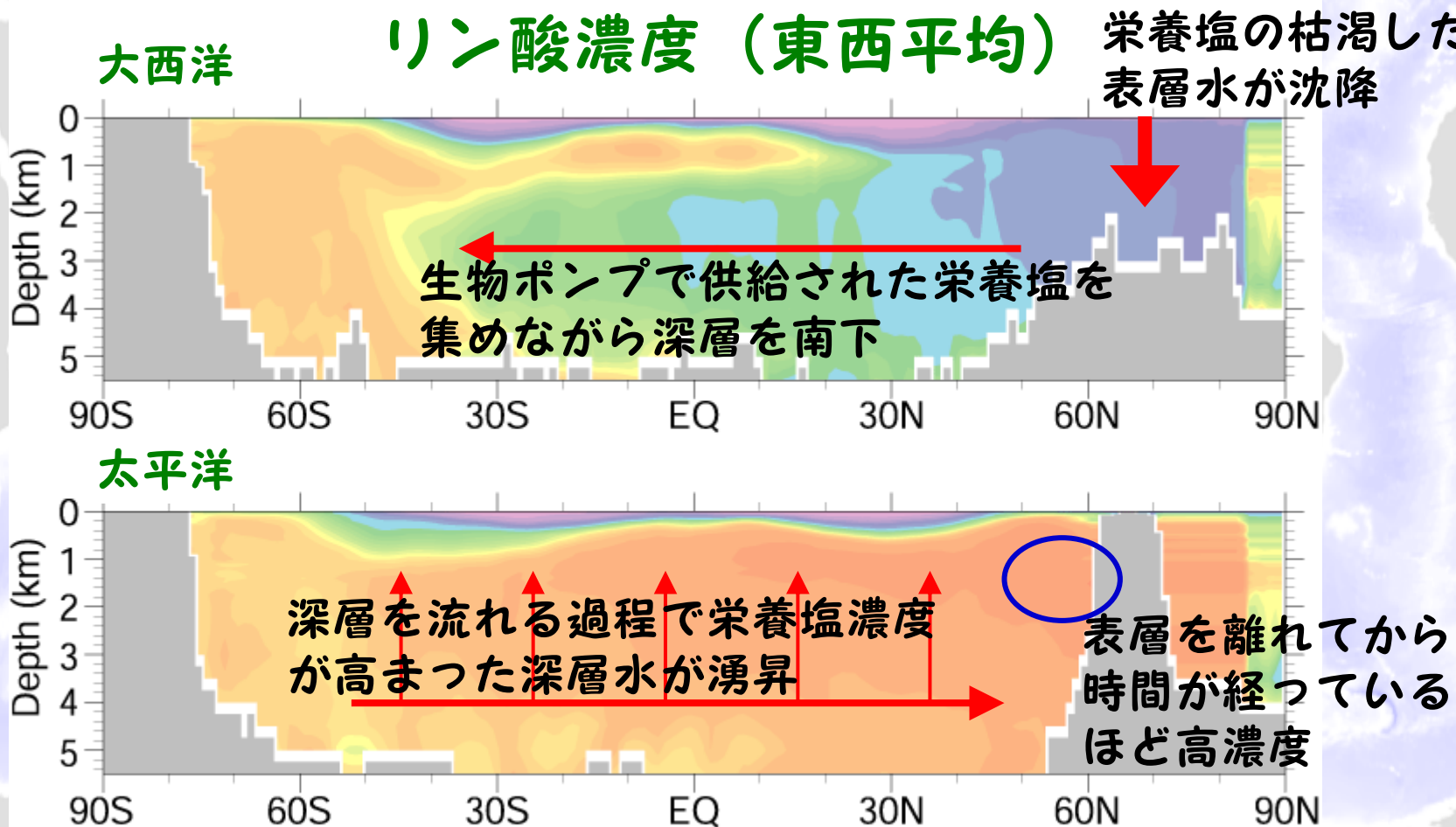
深層循環と二酸化炭素

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

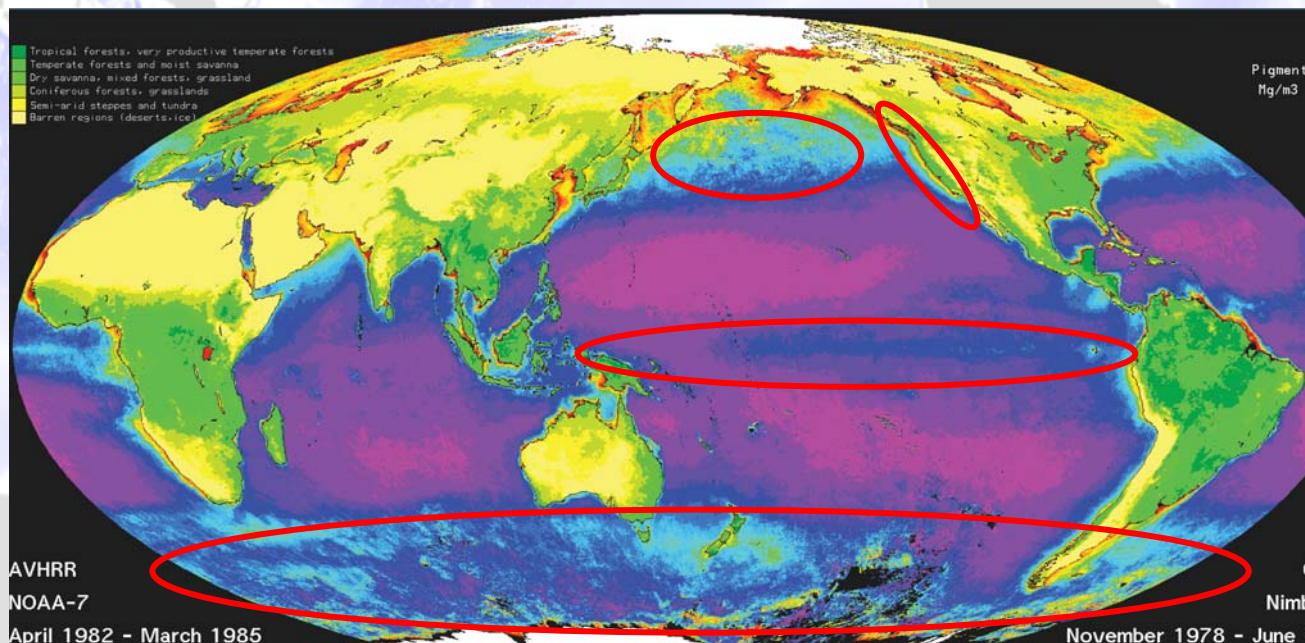
- 風成循環に伴う上昇流

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？