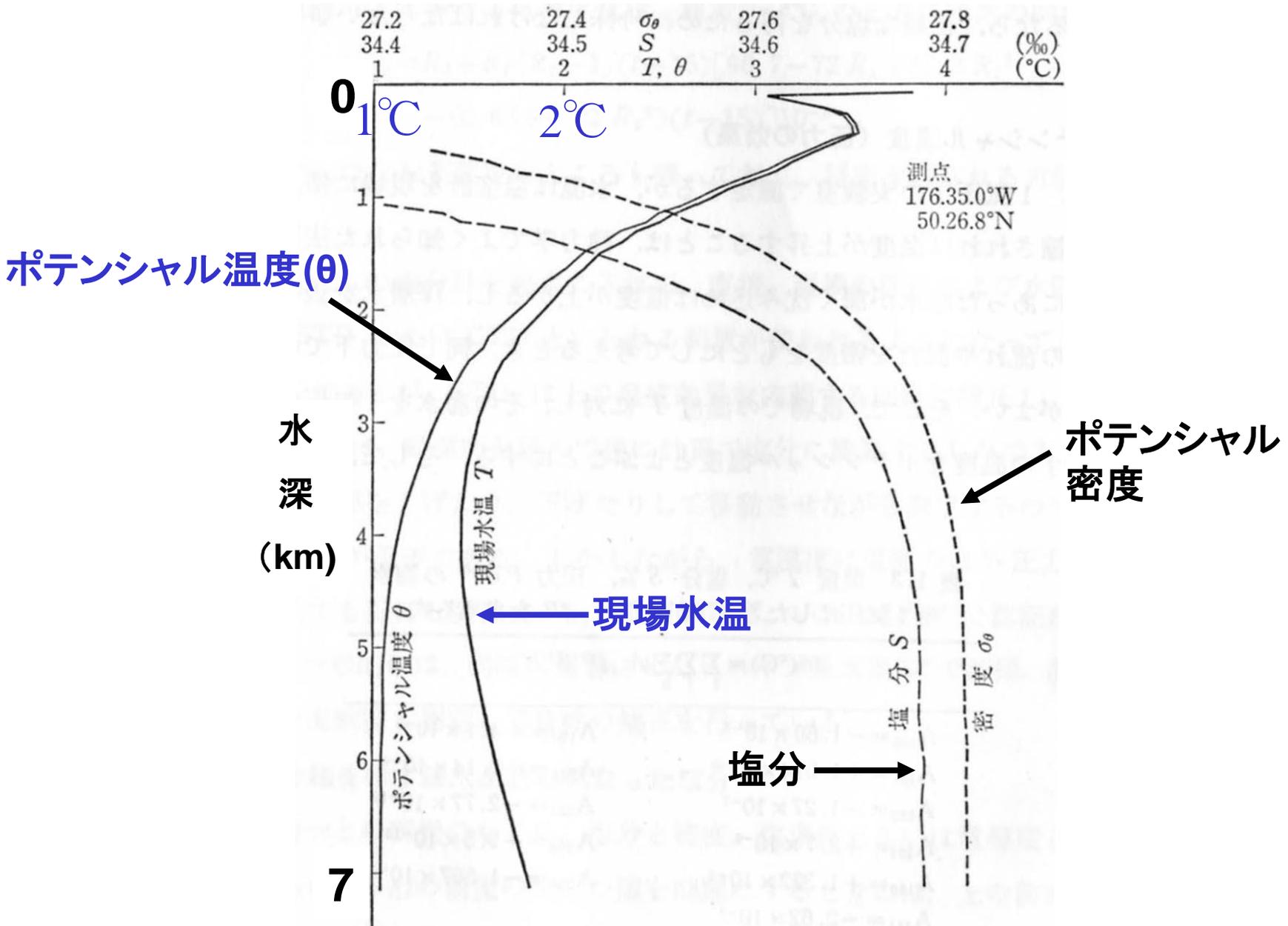


# ・深層水形成と海洋大循環



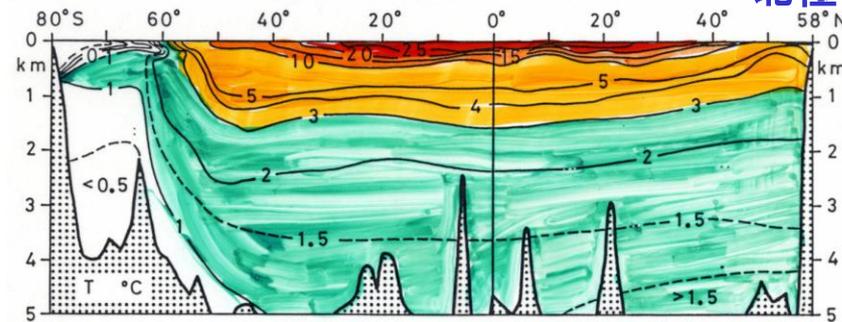
北部北太平洋でのポテンシャル水温と現場水温

# 太平洋

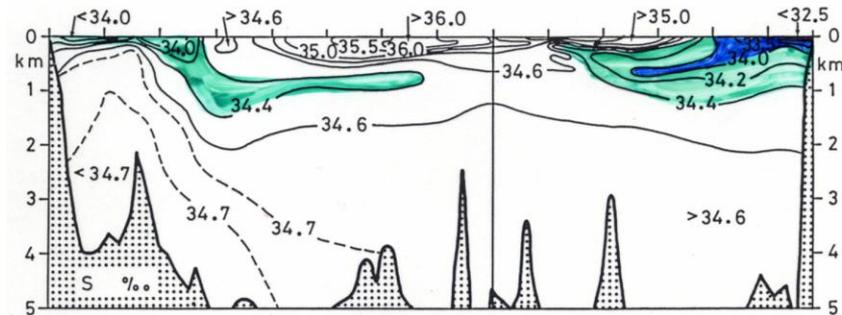
南極

PACIFIC OCEAN AT 160°W

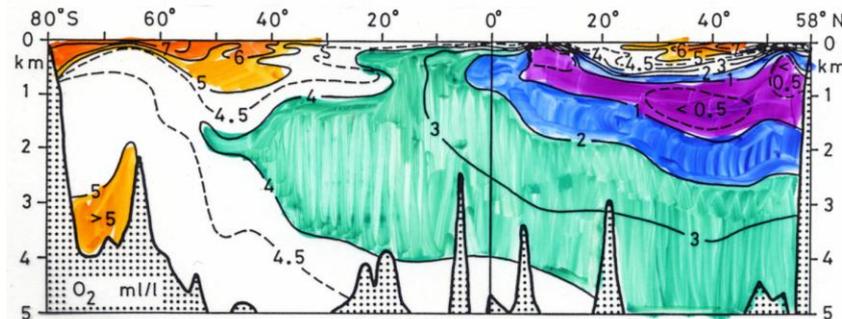
北極



水温



塩分



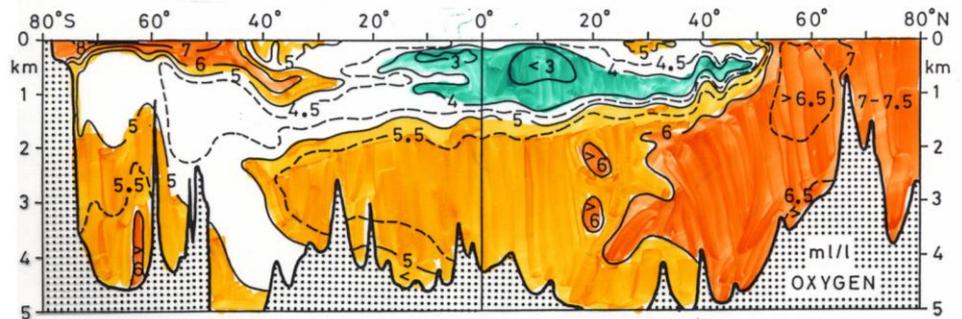
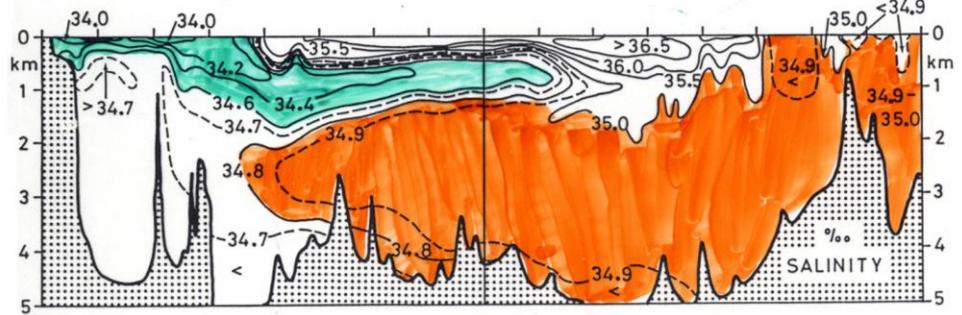
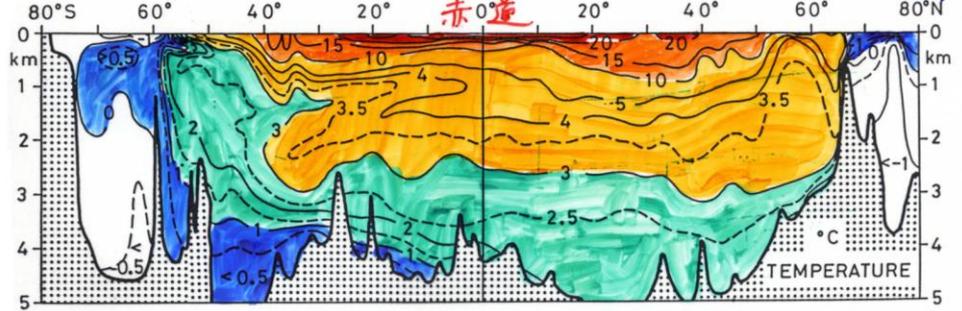
溶存酸素

# 大西洋

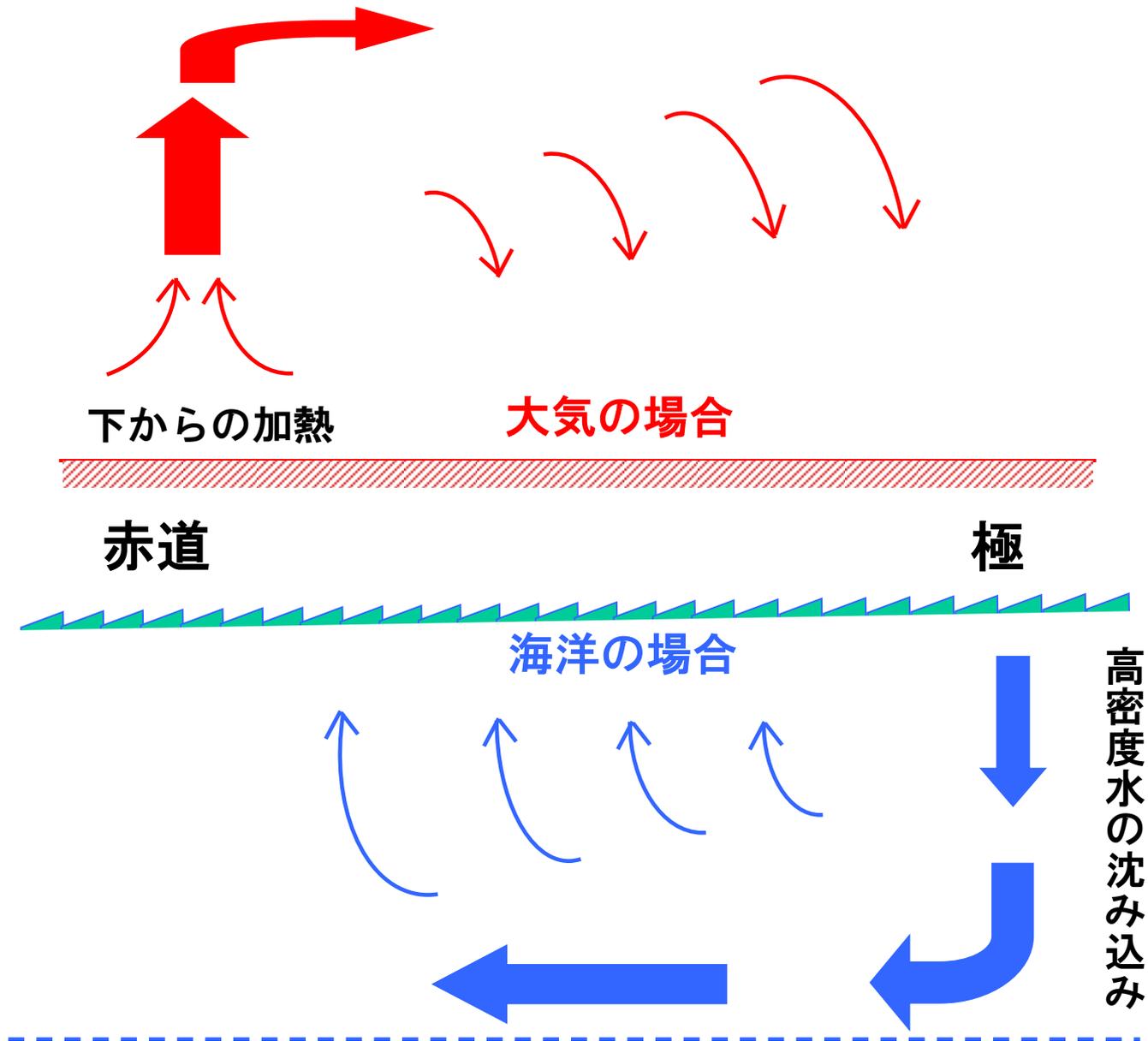
南極

ATLANTIC OCEAN (WESTERN SIDE)

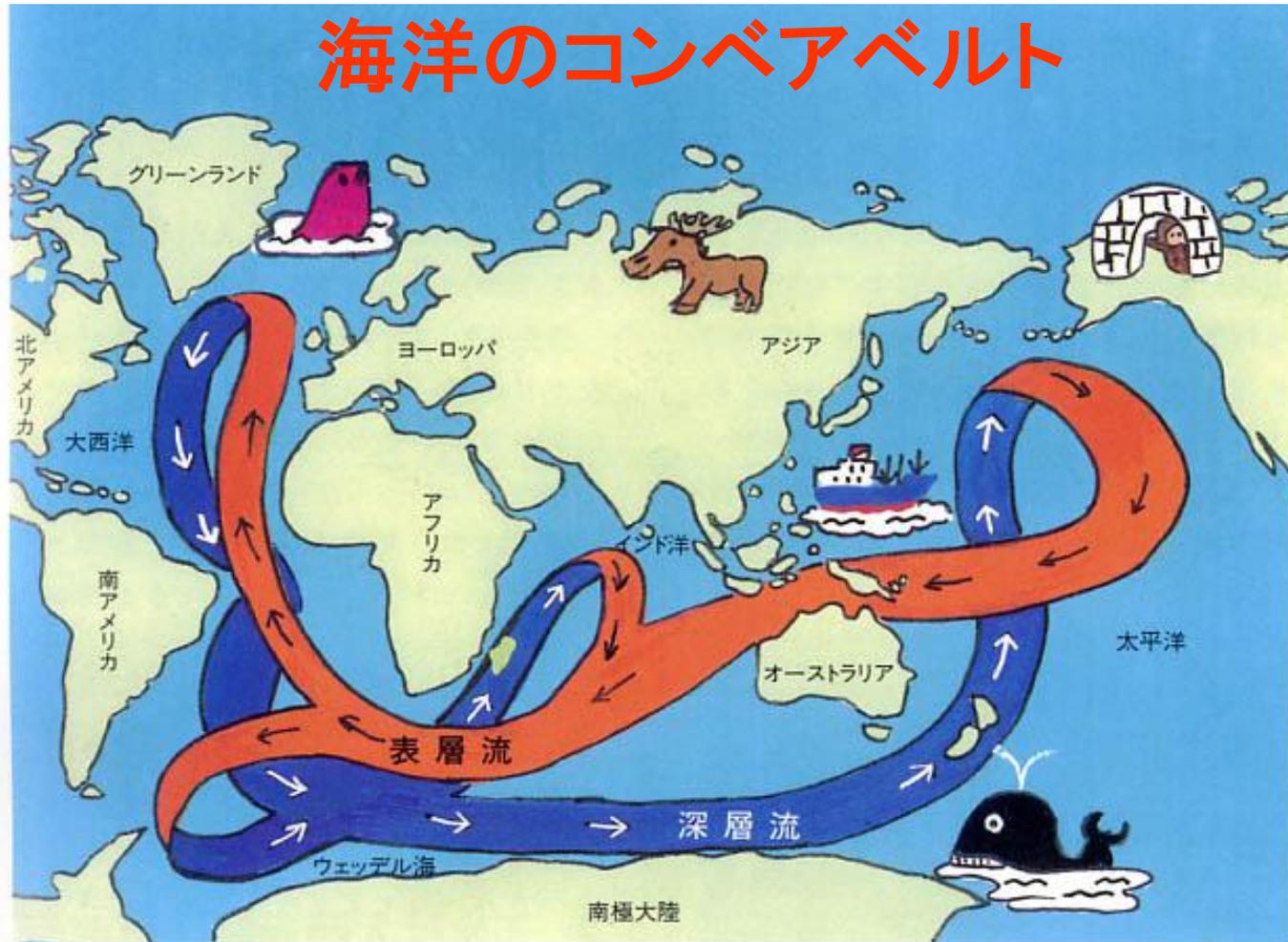
北極



# 大気と海洋の地球規模鉛直循環



# 海洋深層循環(熱塩循環)－密度差による循環



重い水の沈み込み { 北大西洋深層水  
南極底層水



深層水 ⇒ 重たい水  
(高密度)

海水密度 = f (水温、塩分、圧力)

||  
0

重たい水 (深層水) を作るには?

「 低温 ・ 高塩分水 」を作る

↑

大気冷却

(極域ほど大)

↑

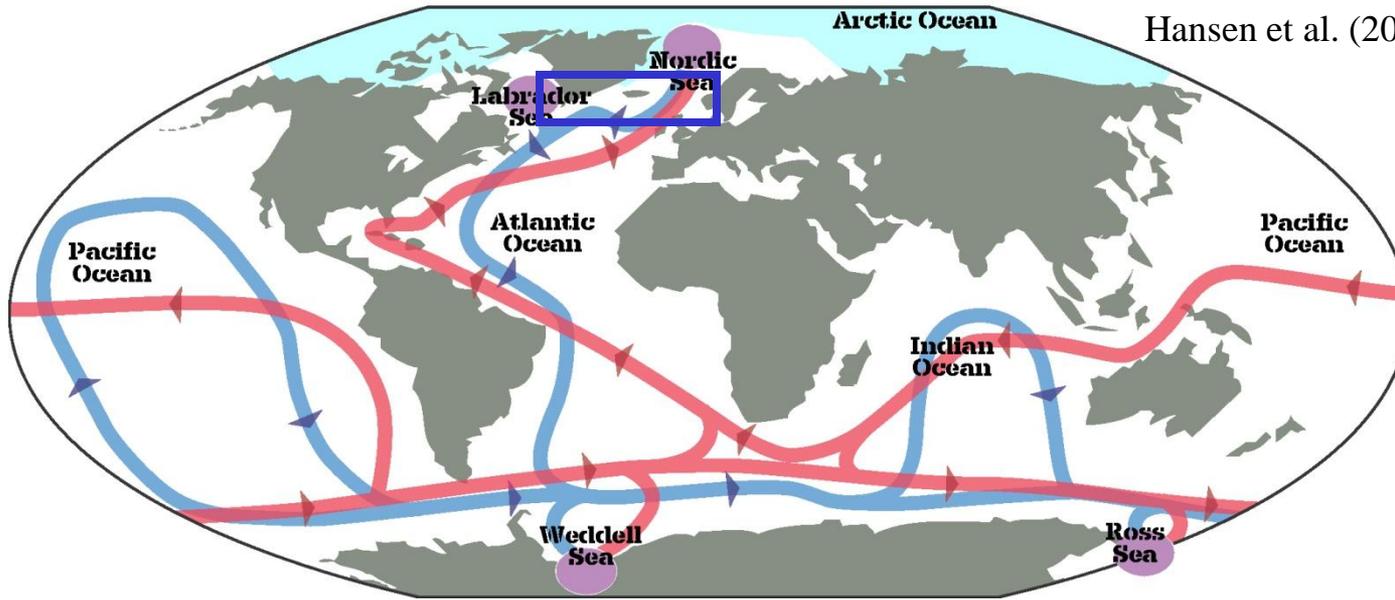
蒸発 (中・低緯度域で活発)

海水形成 (極域)

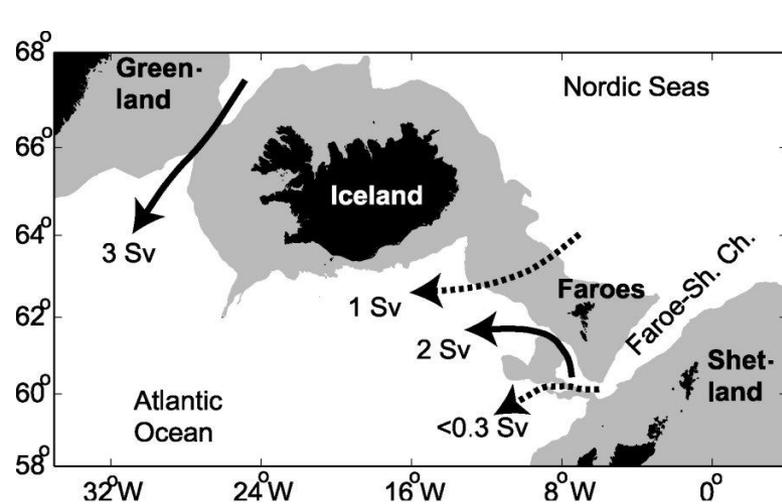
世界の海洋深層水の起源

- ・ 北大西洋深層水 (グリーンランド海周辺)
- ・ 南極底層水 (南極大陸周辺)

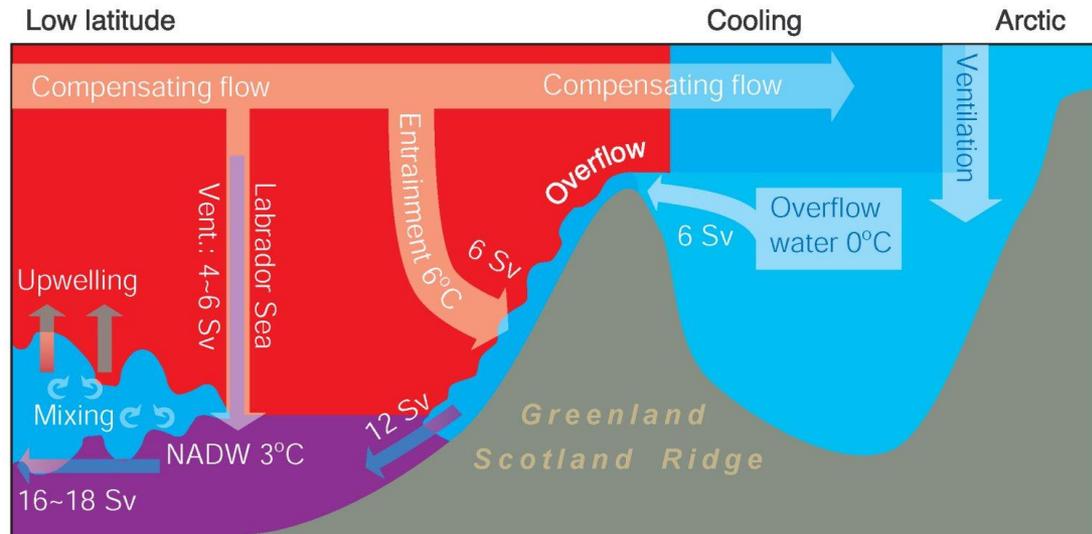
# 北大西洋深層水(North Atlantic Deep Water)



Hansen et al. (2004, Science)に加筆

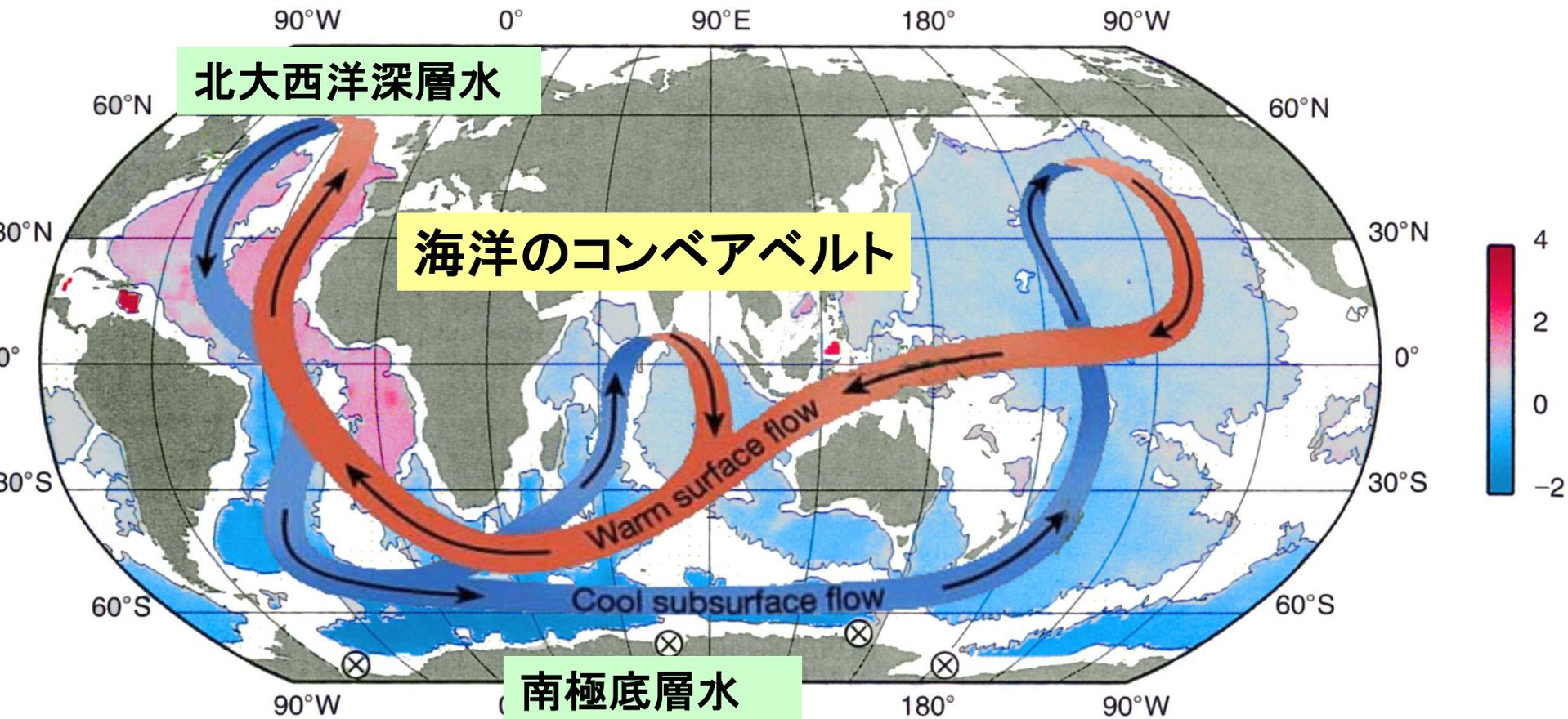


Dye et al. (2007, CLIVAR Exchanges)より



Hansen et al. (2004, Science)

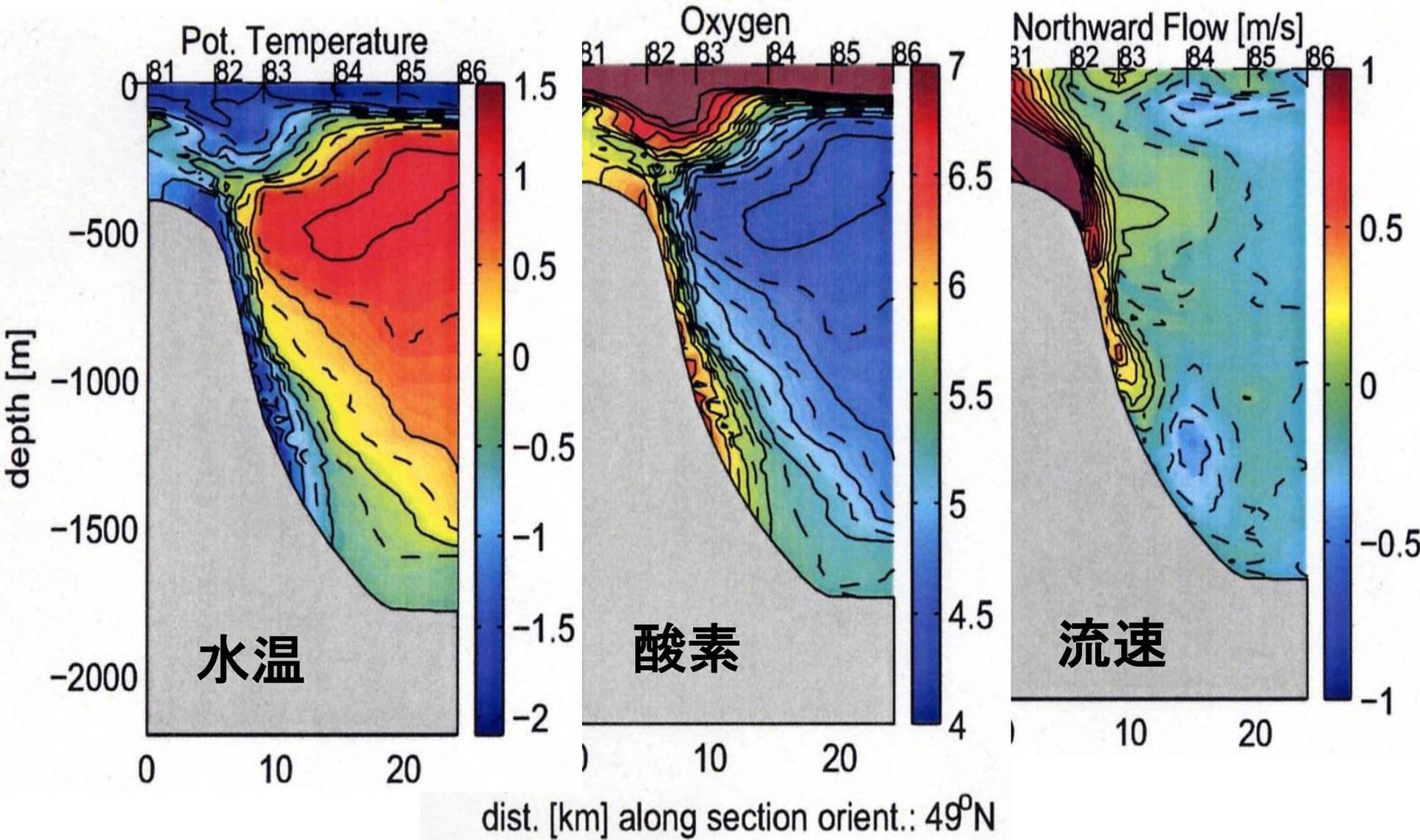
# 世界の海洋の海底近くの水温分布



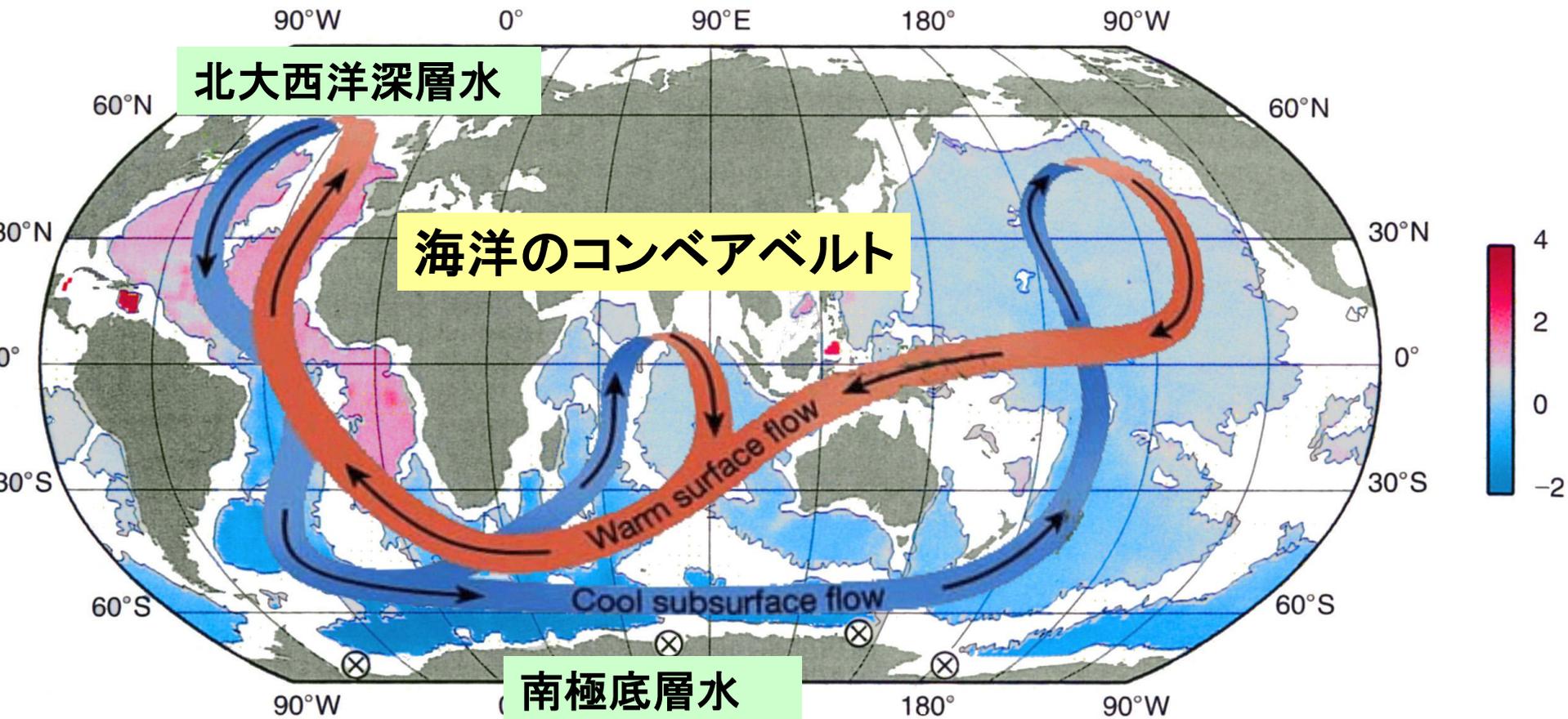
全海水の約75%は4°C以下。世界で一番**重い冷たい水**は南極海で作られ(南極底層水)、全世界の底層に広がっていく。深層循環(2000年の時間スケール)の源

海洋の子午面循環 (MOC: Meridional Overturning Circulation )  
北大西洋深層水の南下; 南極底層水の北上

# ロス海ポリニヤ 南極底層水の生成域

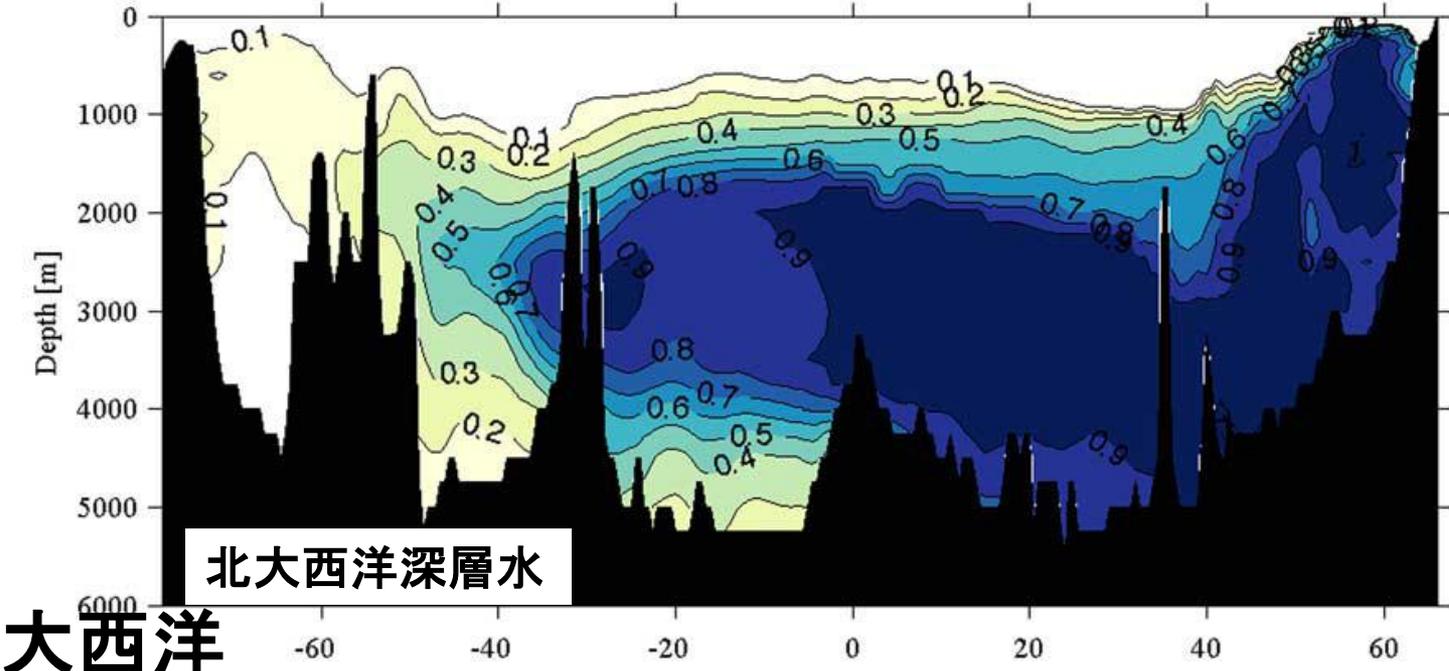


# 世界の海洋の海底近くの水温分布



全海水の約75%は4°C以下。世界で一番**重い冷たい水**は南極海で作られ(南極底層水)、全世界の底層に広がっていく。深層循環(2000年の時間スケール)の源

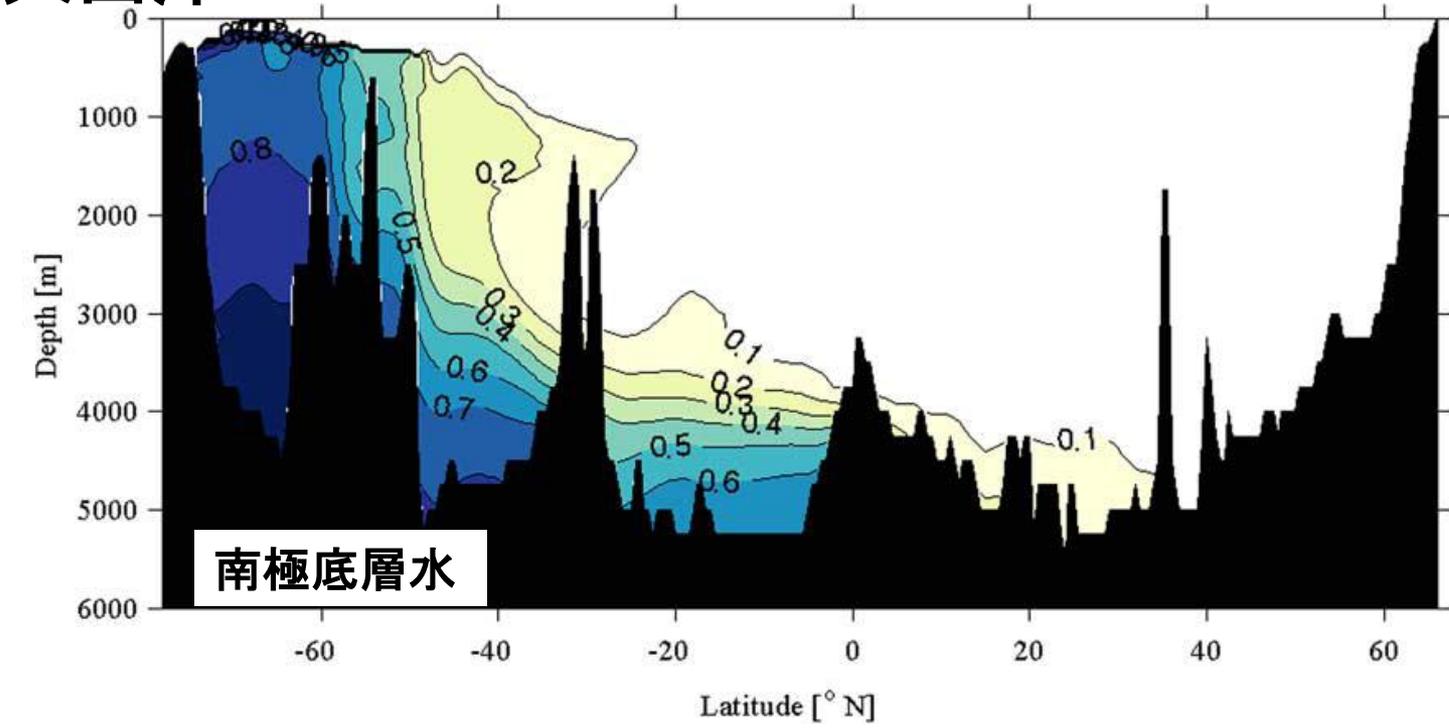
海洋の子午面循環 (MOC: Meridional Overturning Circulation )  
北大西洋深層水の南下; 南極底層水の北上



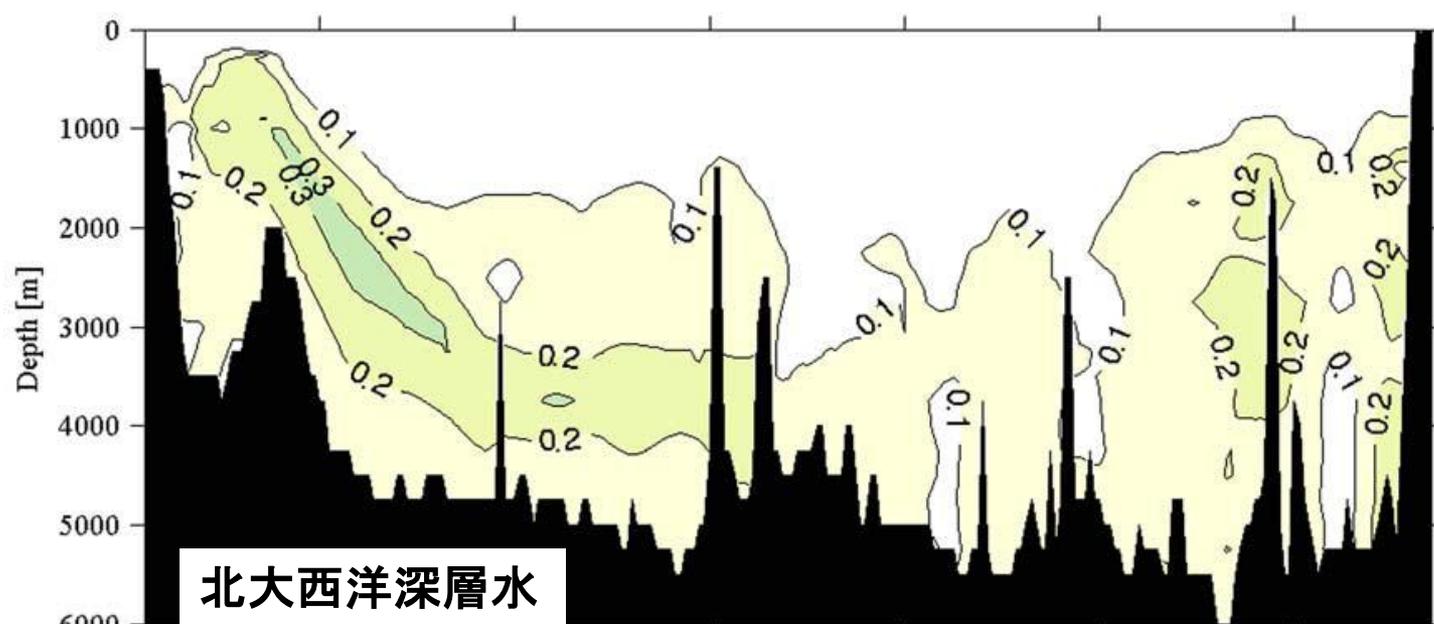
Johnson (2008)

海水の性質から  
2つの深層水の  
割合を同定

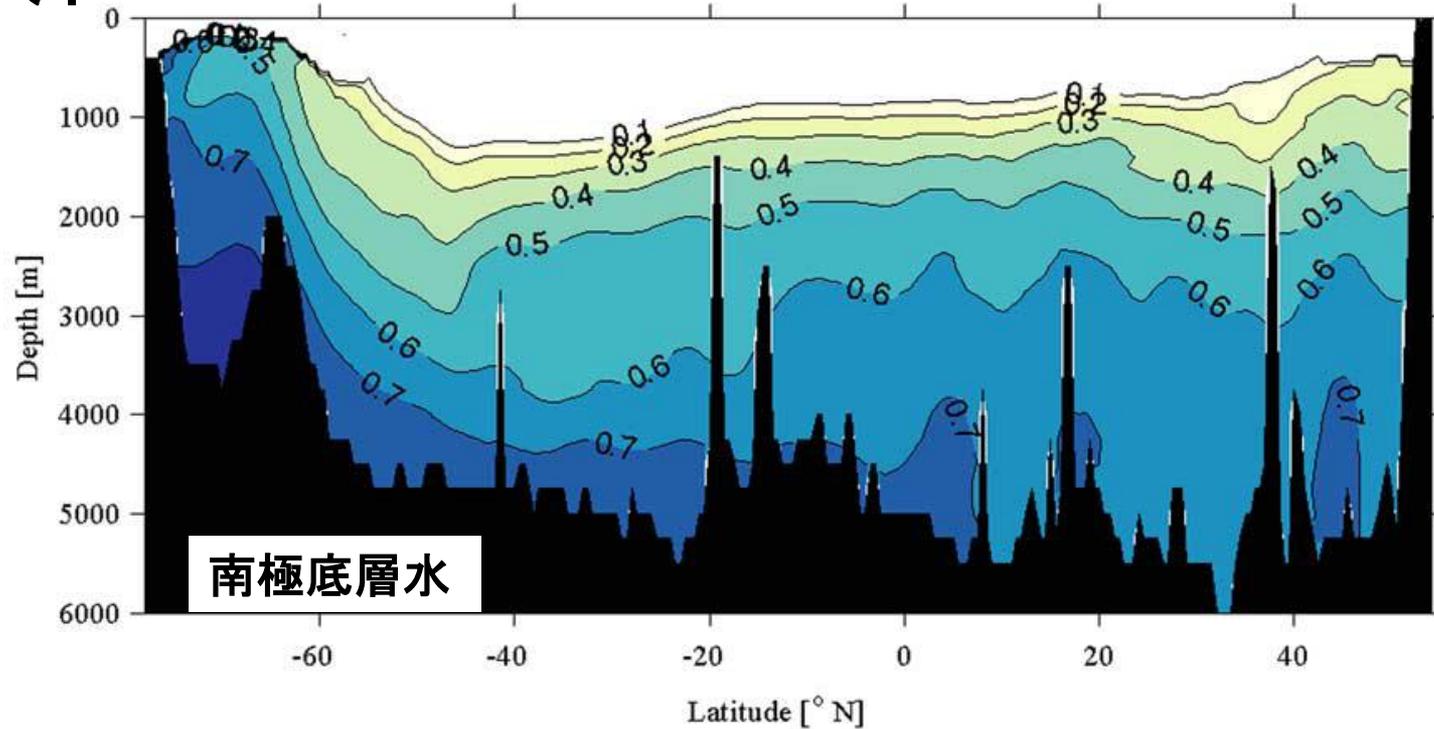
# 大西洋

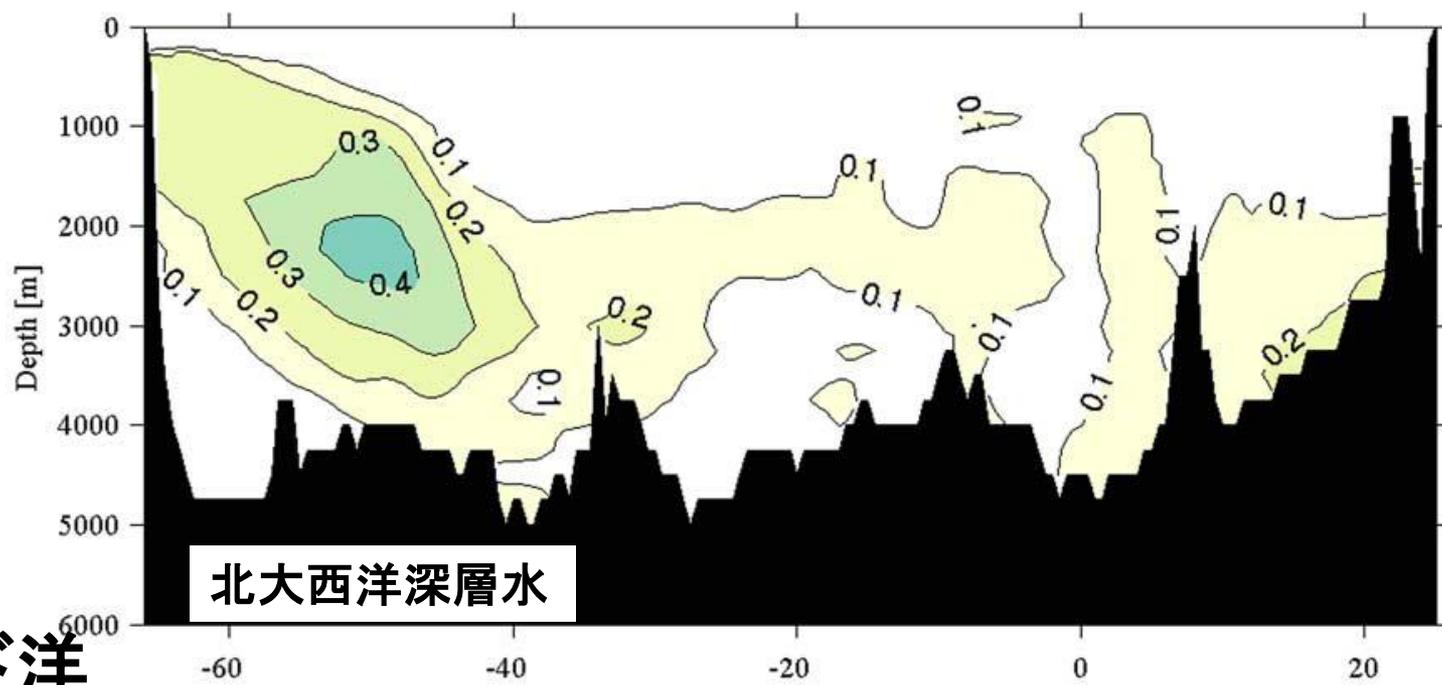


- ポテンシャル水温
- 塩分
- 渦位
- 溶存酸素
- 硝酸
- リン
- シリカ

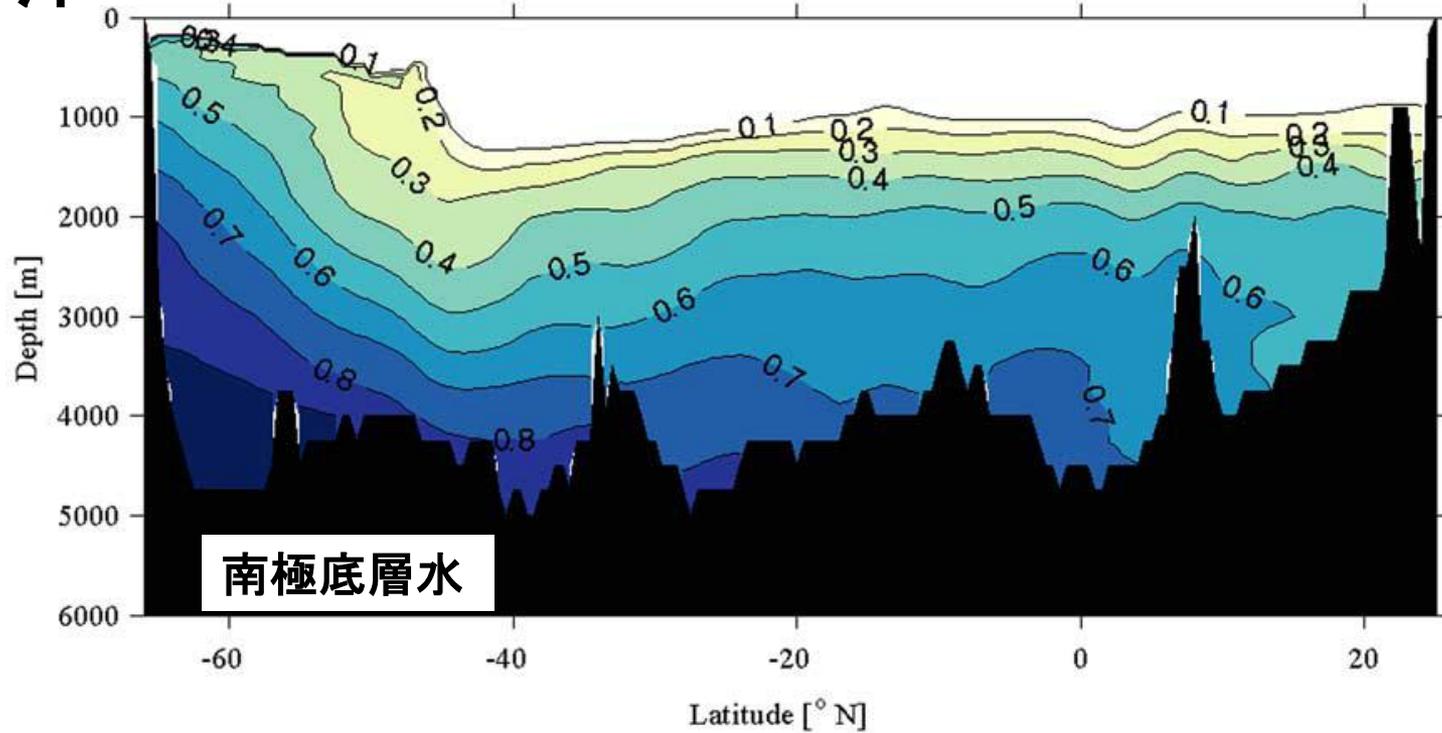


太平洋

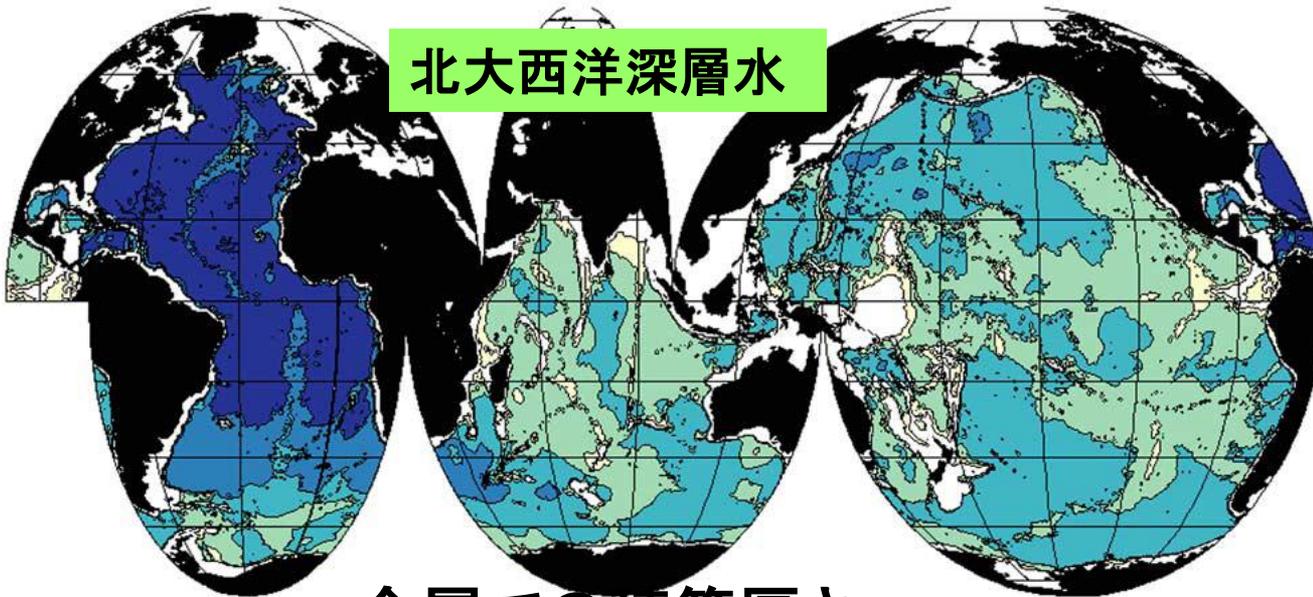




インド洋



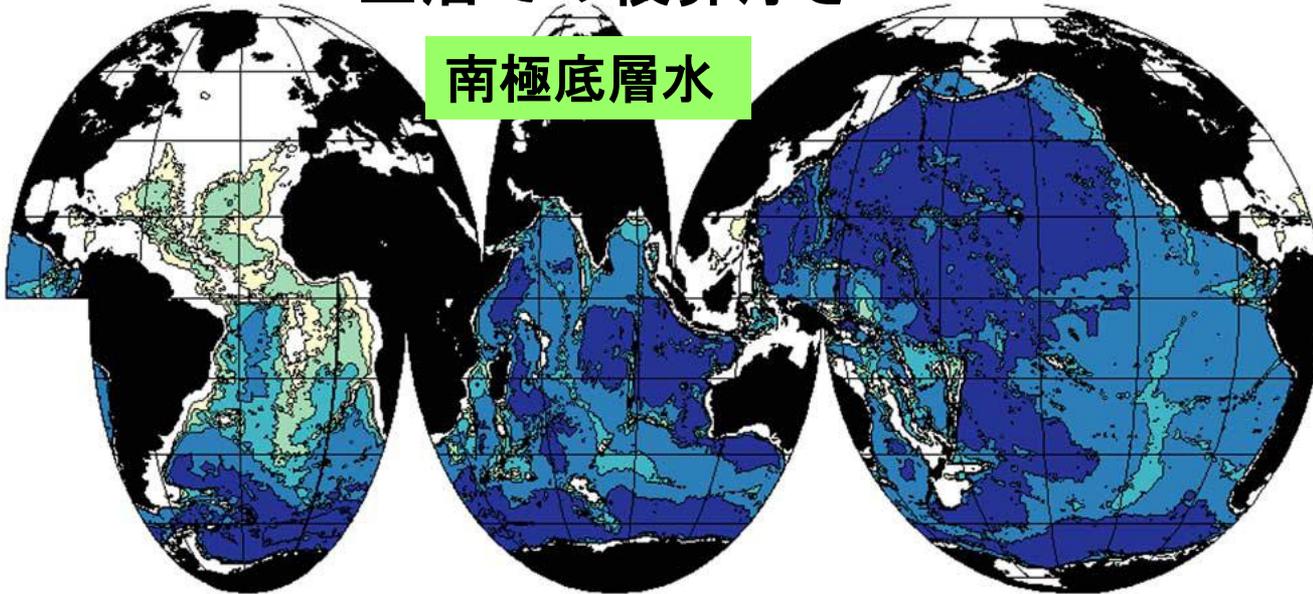
# 北大西洋深層水



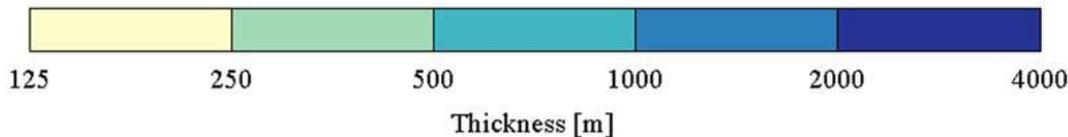
全層での積算厚さ

南極底層水は  
全海水の30-40%  
を占める

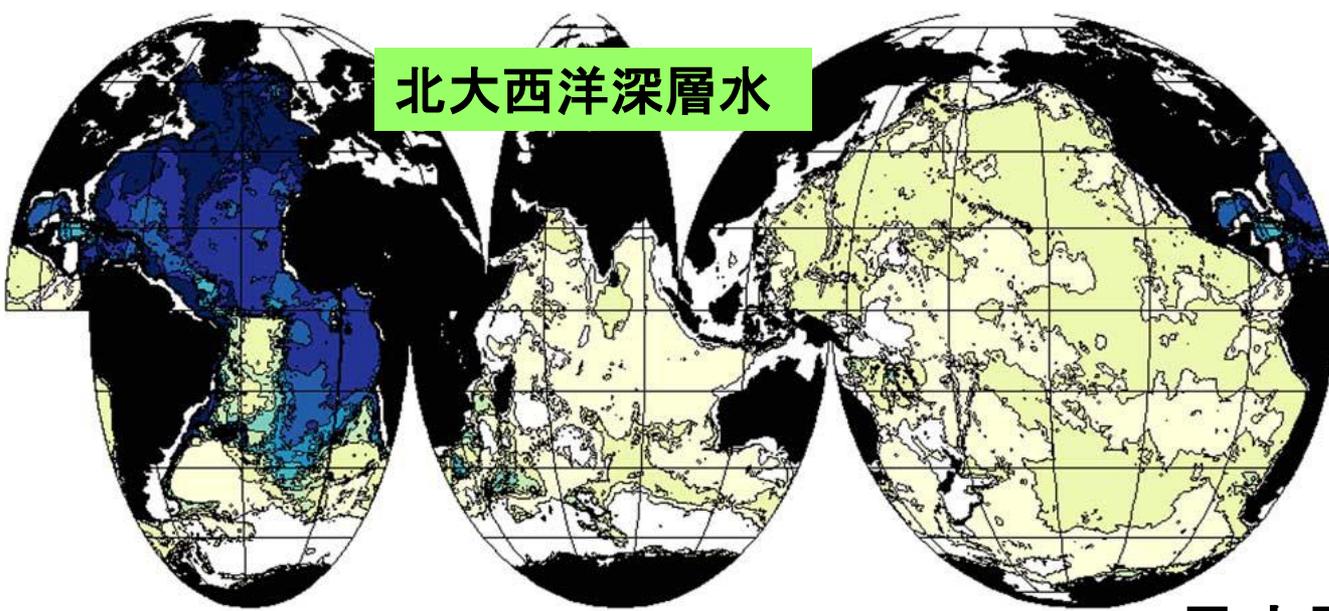
# 南極底層水



南極底層水は  
北大西洋深層水  
の約2倍存在

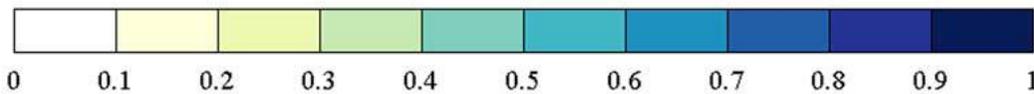


北大西洋深層水



最底層での割合

南極底層水



Bottom Fraction

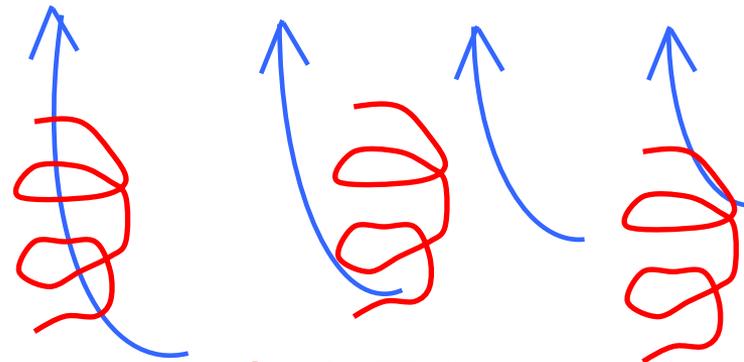
# 海洋の地球規模鉛直循環

赤道

極



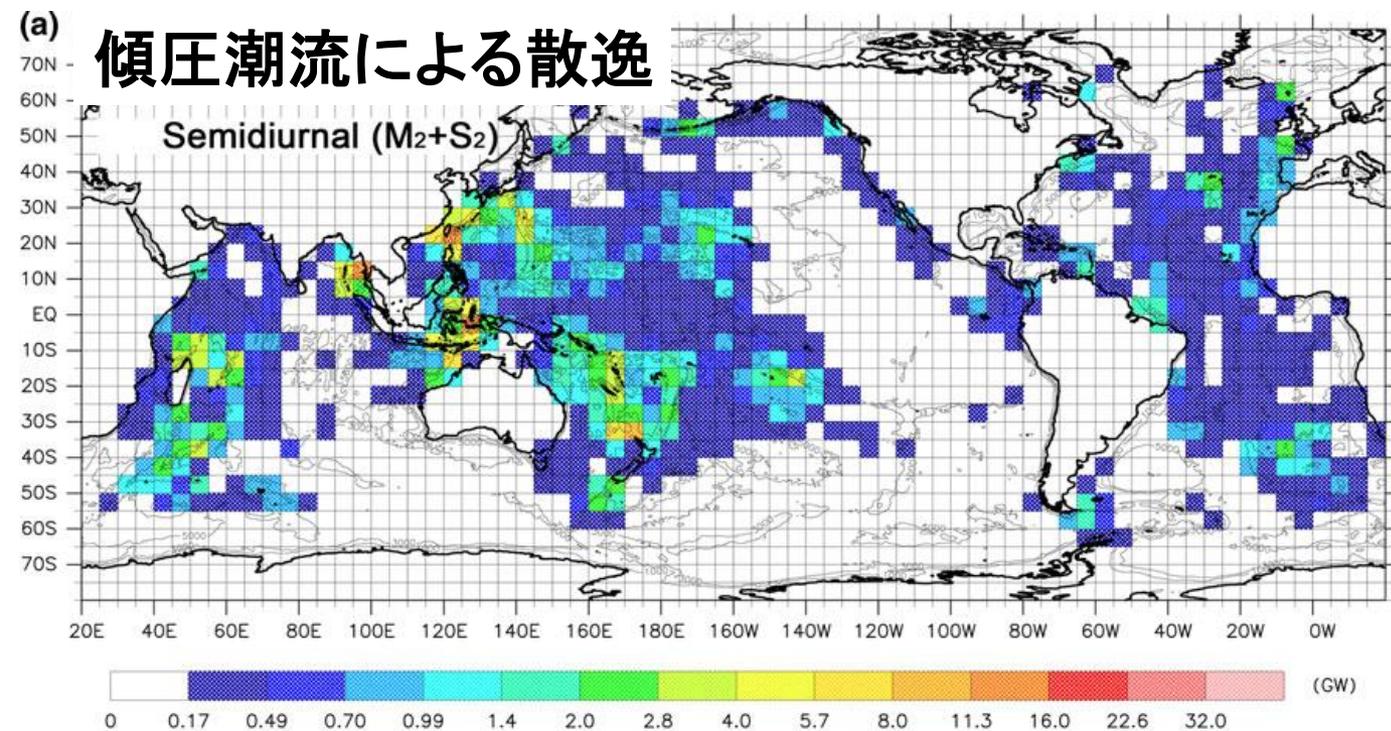
海洋の場合



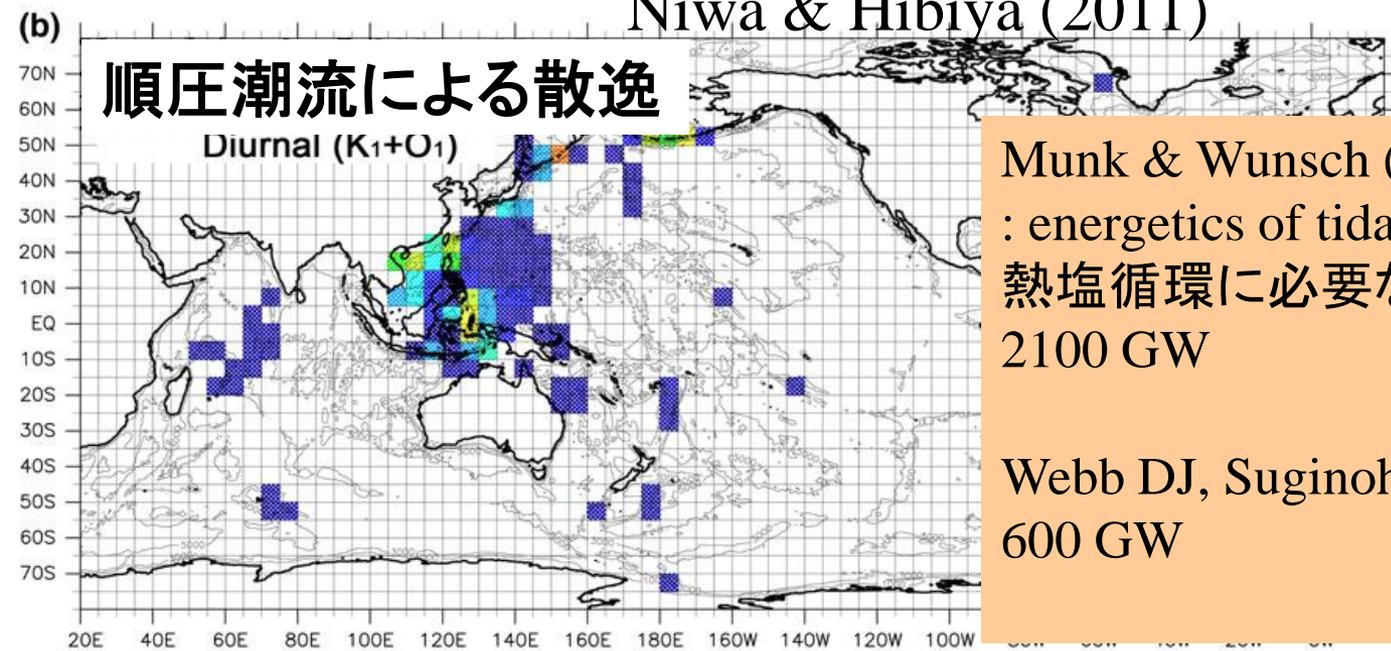
潮汐混合

高密度水の沈み込み

鉛直拡散により下方が暖まる(軽くなる)  
→ 浮力を得る → 上昇  
鉛直拡散係数が循環の速さを決める



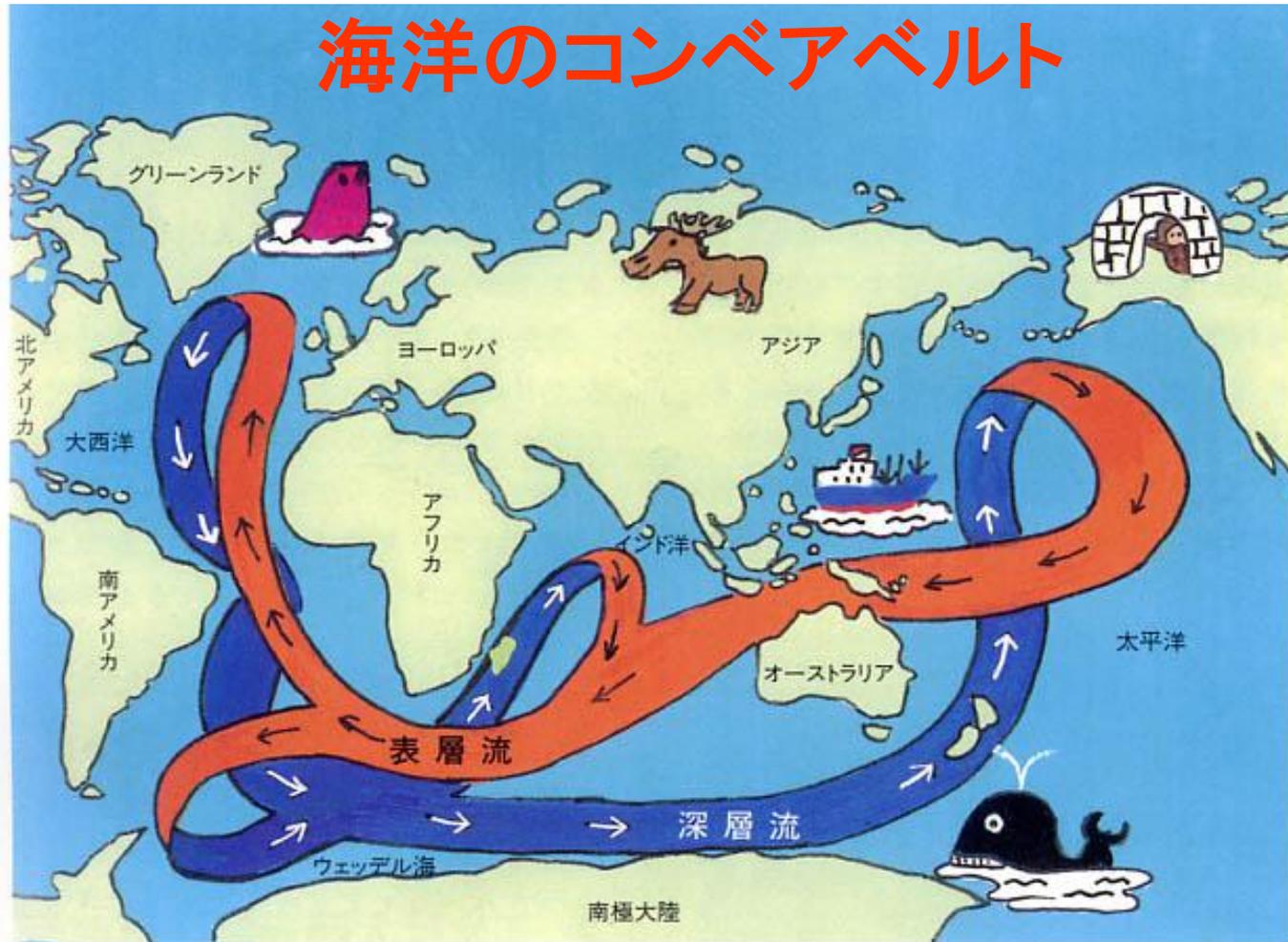
Niwa & Hibiya (2011)



Munk & Wunsch (1998); Abyssal recipes  
: energetics of tidal and wind mixing.  
熱塩循環に必要な混合エネルギー  
2100 GW

Webb DJ, Suginochara N (2001)  
600 GW

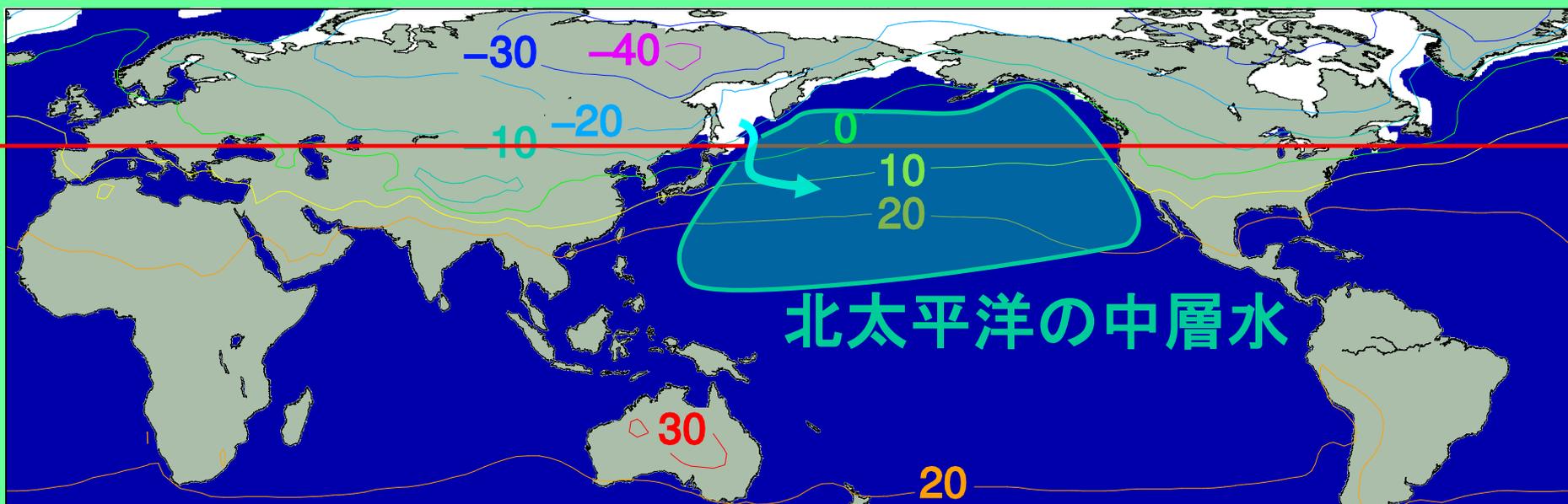
# 海洋深層循環(熱塩循環)－密度差による循環



重い水の沈み込み { 北大西洋深層水  
南極底層水

# グローバルな目でみたオホーツク海

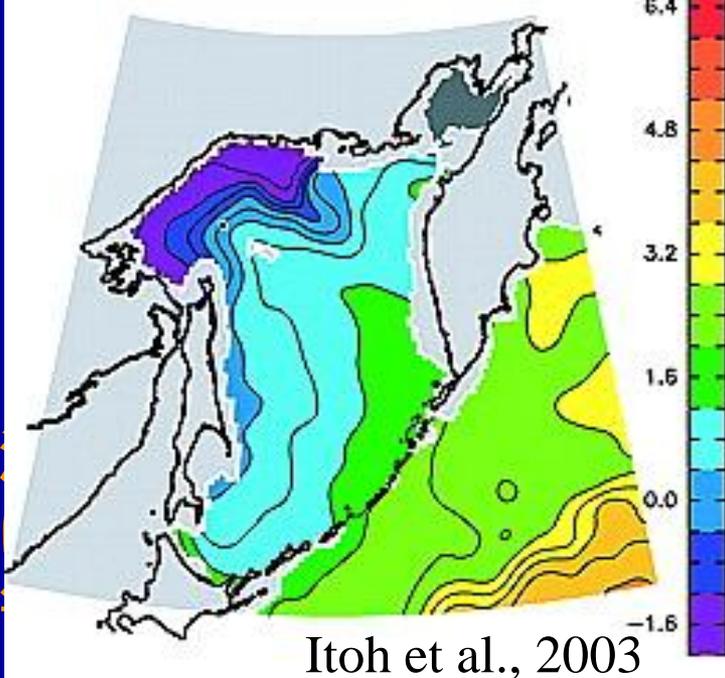
## 2月の海氷分布と平均気温(2001年)



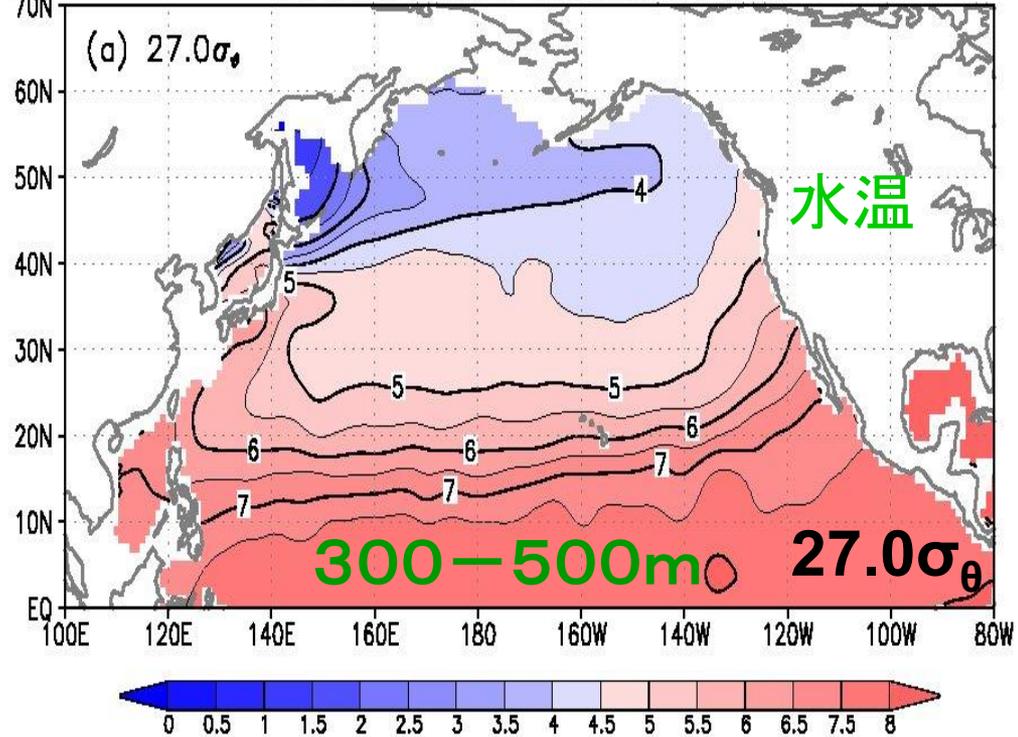
Nihashi et al., 2009

- ・風上が北半球の寒極 → 北半球における海氷域の南限
- ・多量の海氷生産 → 北太平洋で一番重い水ができる場所  
→ 大気・陸からの熱・物質を北太平洋中層水(200-800m)へ

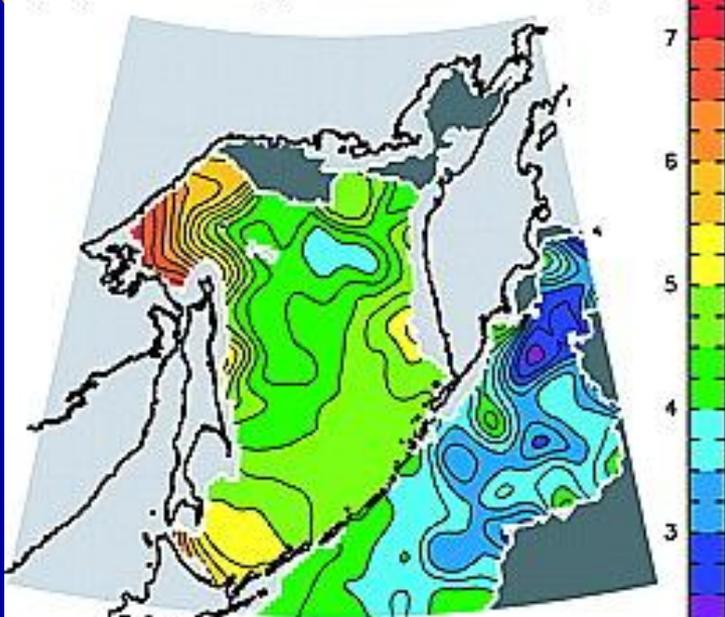
(a) Potential Temperature 26.8  $\sigma_\theta$



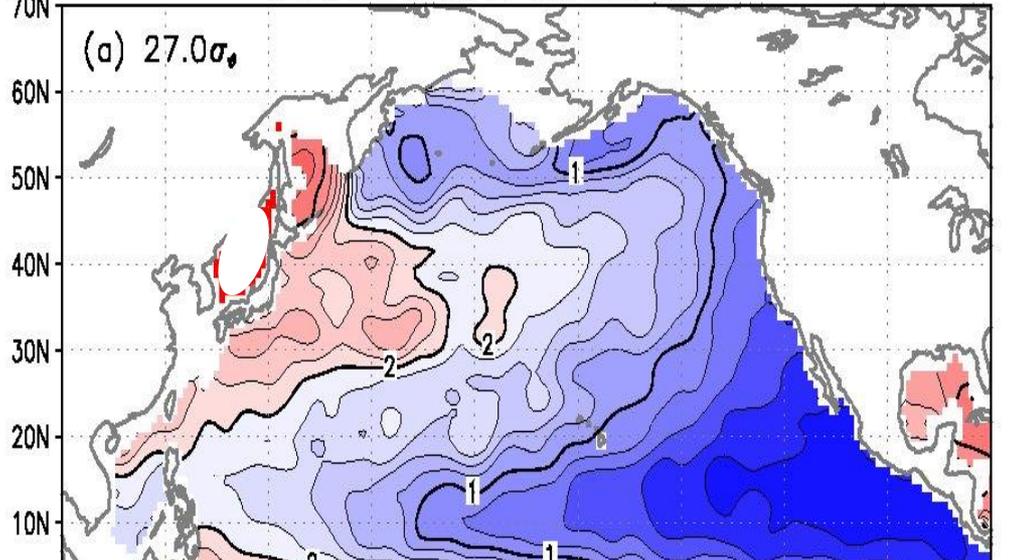
WOA94 Potential Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )



(c) Oxygen 26.8  $\sigma_\theta$

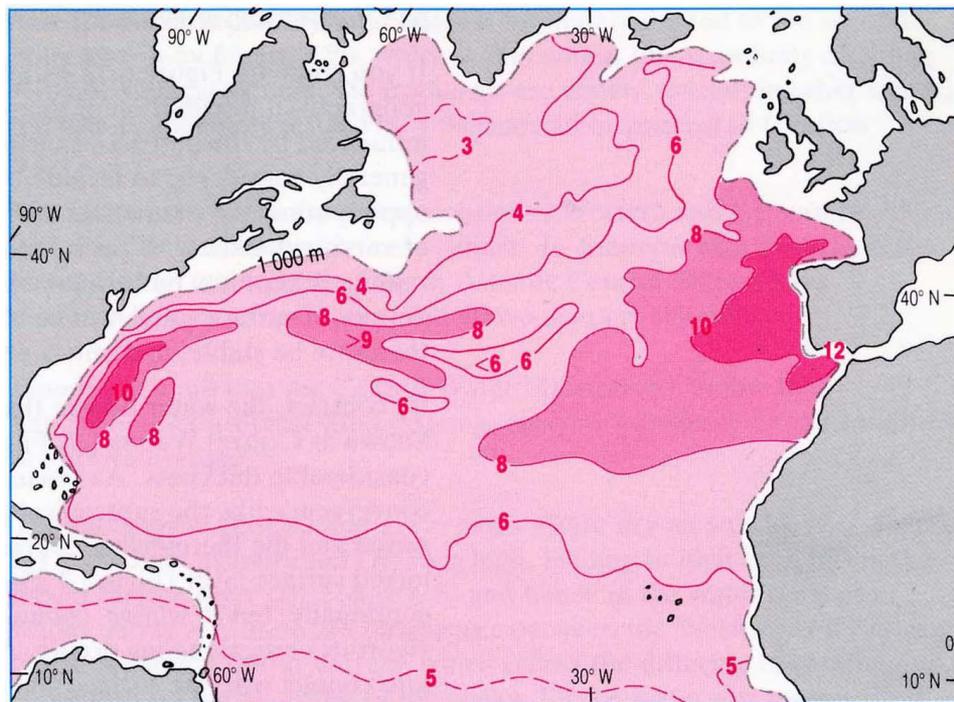


WOA94 Dissolved Oxygen (ml/l) 溶存酸素

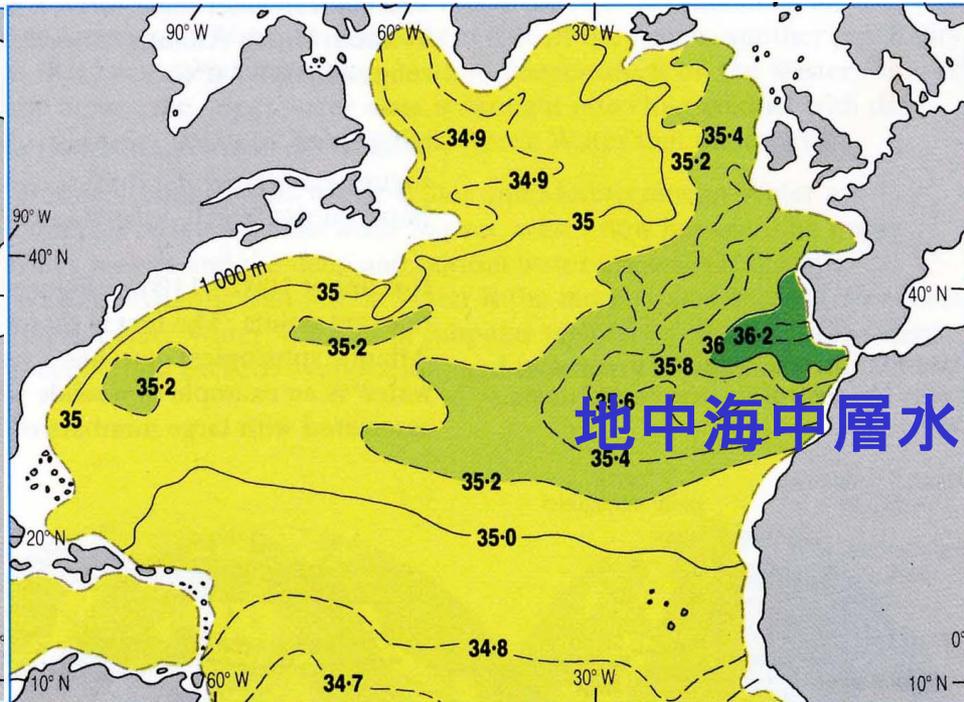


# 大西洋

## 水温(1000m)



## 塩分(1000m)



地中海中層水

(a)

(b)

北大西洋

南大西洋

南極海

南太平洋

北太平洋

表層

中層

深層

地中海中層水

南極中層水

北太平洋中層水

北大西洋深層水

南極底層水

(太平洋深層水)

## 用語の解説

**ポリニヤ**：海氷野内にできる大きな開水面・疎氷・薄氷域。語源はロシア語。

**沿岸ポリニヤ**：沖向きの風などより、生成された海氷が次々と吹き流されて疎氷・薄氷域が維持されるできる、沿岸でのポリニヤ。

**ブライン**：海氷が生成される際に排出される高塩分水。このブラインが沿岸ポリニヤ域での高密度水形成の原因となっている。

**北大西洋深層水**：北大西洋北部で沈み込む深層水。高塩の水が低緯度から海流（ガルフストリーム）に乗って北へ運ばれ、冷却されて重くなり深層水が形成される。

**南極底層水**：南極の沿岸ポリニヤでの高密度水形成などによってできる世界で最も重い水。ほぼ全海洋の底層に広がっている。

**北太平洋中層水**：北太平洋の中層（300-1000m）に広がっている海水で、オホーツク海で沈み込んだ水が起源と考えられ、沈み込む際にいろいろの物質が大気から海洋中層に運ばれる。

---

## お薦めする本

“南極海ダイナミクスをめぐる地球の不思議” 著者：青木茂(北大低温研)

SUPERサイエンスシリーズ、C&R研究所、256ページ、1500円＋税

書評が以下に載っております

[http://www.woa.ees.hokudai.ac.jp/readings/2011/aoki\\_book2011.html](http://www.woa.ees.hokudai.ac.jp/readings/2011/aoki_book2011.html)