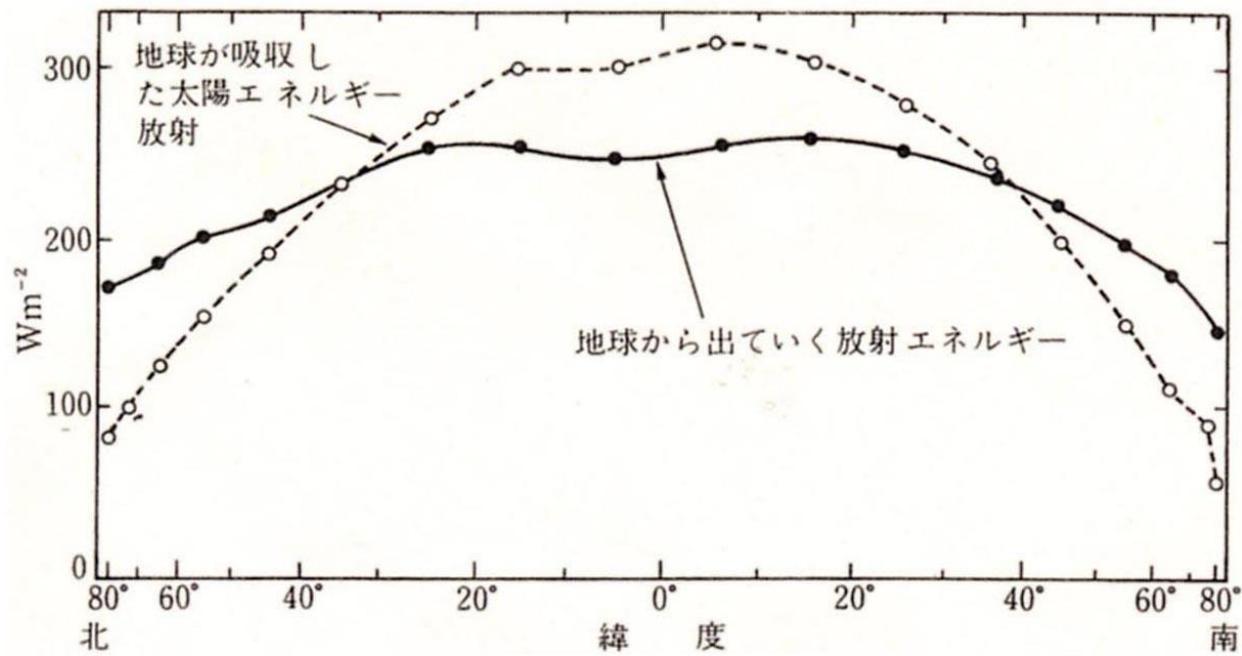
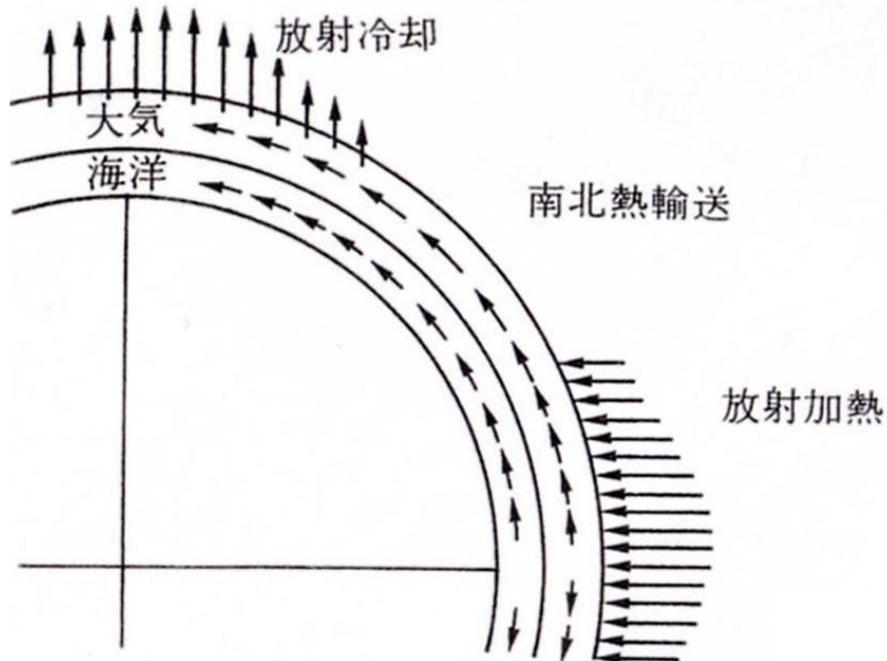
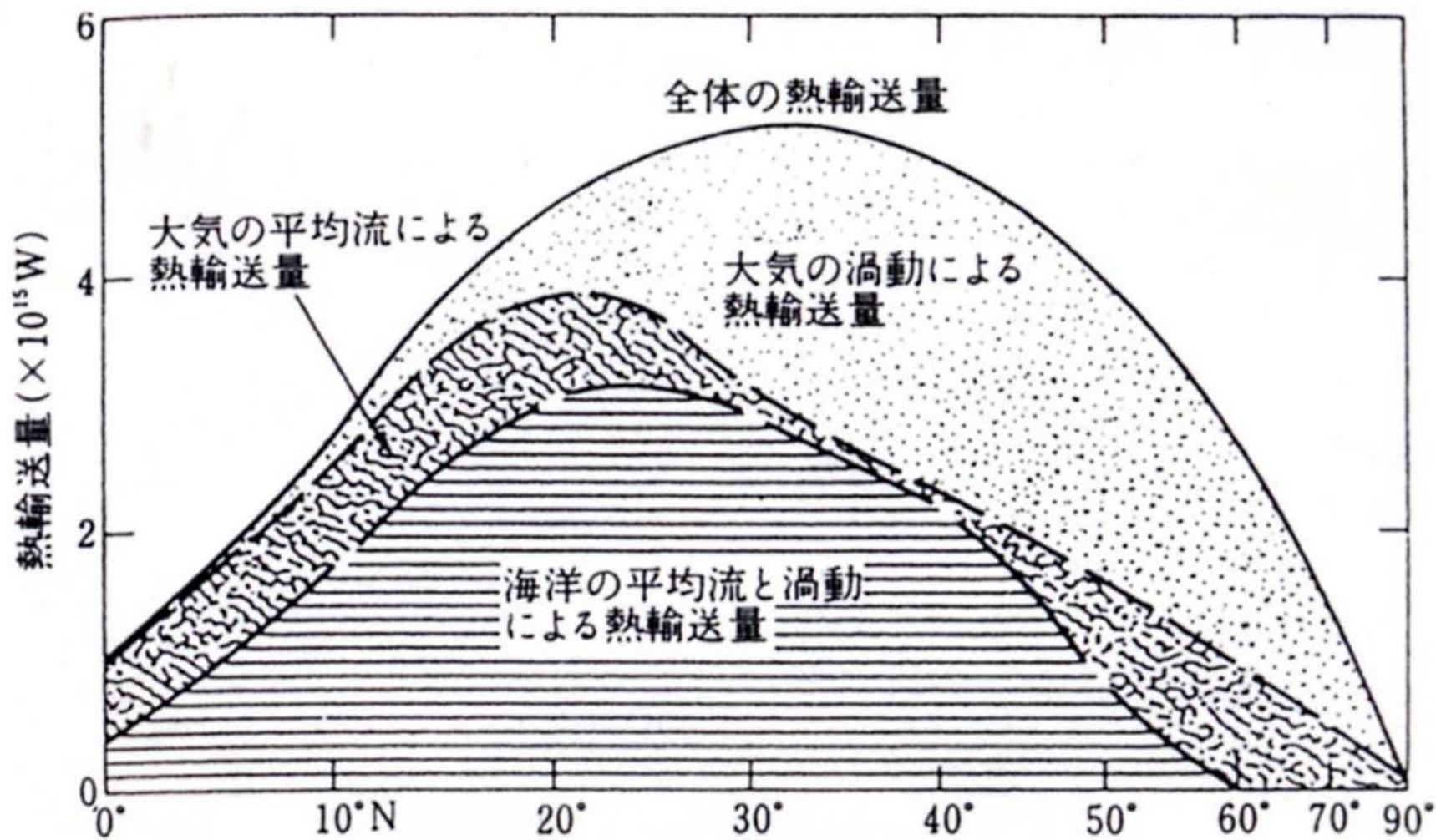


## 第2回：基礎論（海洋編）

- 海面熱フラックス  
（大気海洋間の熱・淡水のやりとり）
- 熱塩収支  
（全球的な）
- 海洋混合層





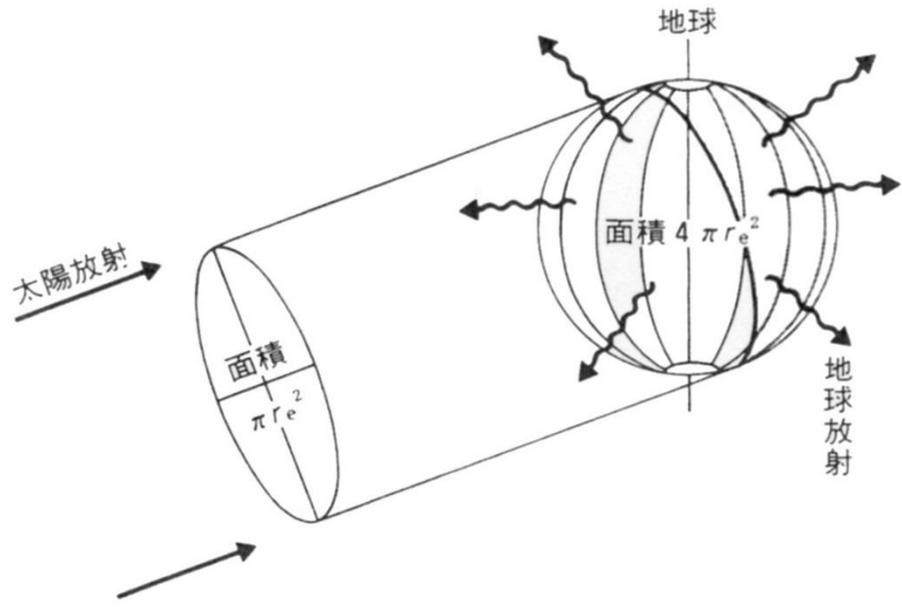


図5.7 地球の放射平衡  
地球の半径が  $r_e$ .

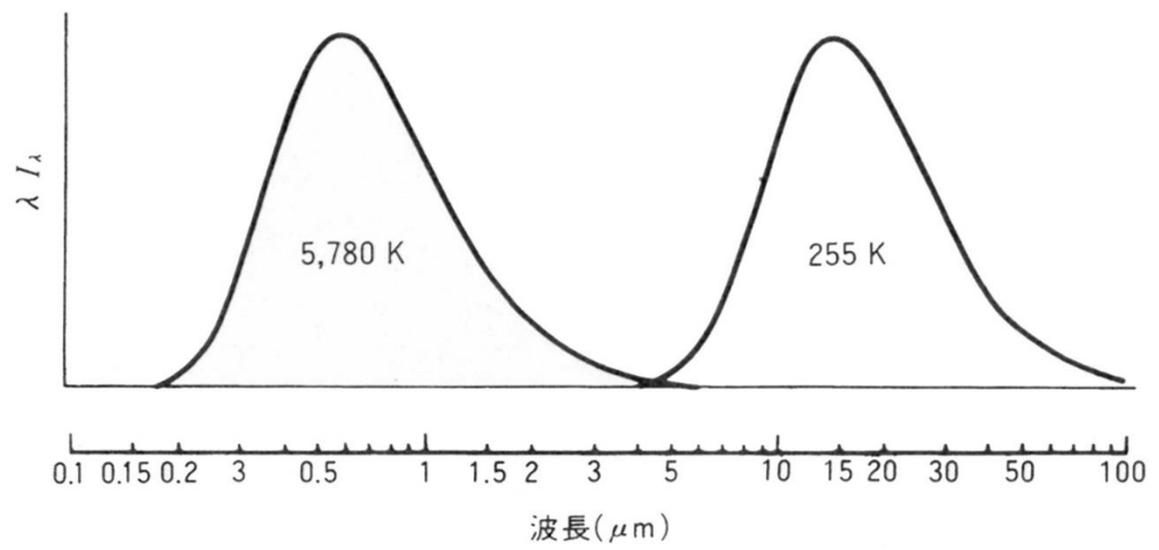
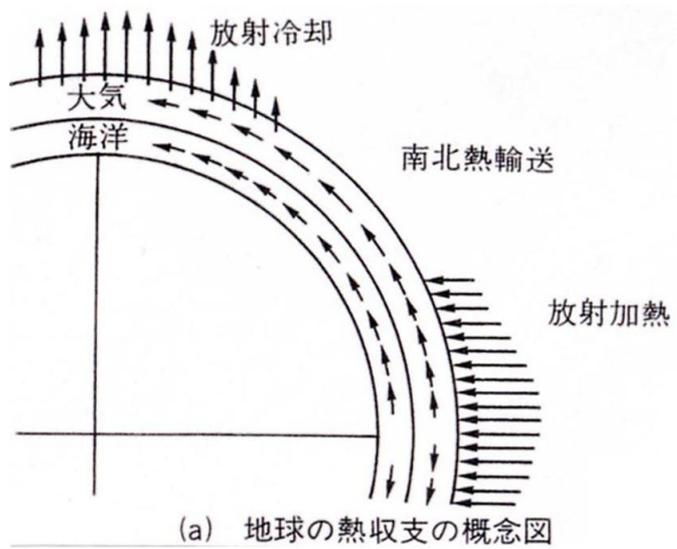


図5.8 太陽 (左図) と地球 (右図) からの黒体放射

横軸は対数目盛でとった波長. 縦軸は波長 ( $\lambda$ ) と放射強度  $I_\lambda$  の積. このよ  
うにとると曲線の下面積が図 5.6 と同じく全放射強度  $I$  に比例する. ただ  
し左図と右図で縦軸を同じスケールで描くと, 右図はよく見えないくらい背  
が低くなるので, スケールを変えて両者の面積が同じになるようにしてある.

# 海面熱フラックスの4つの成分

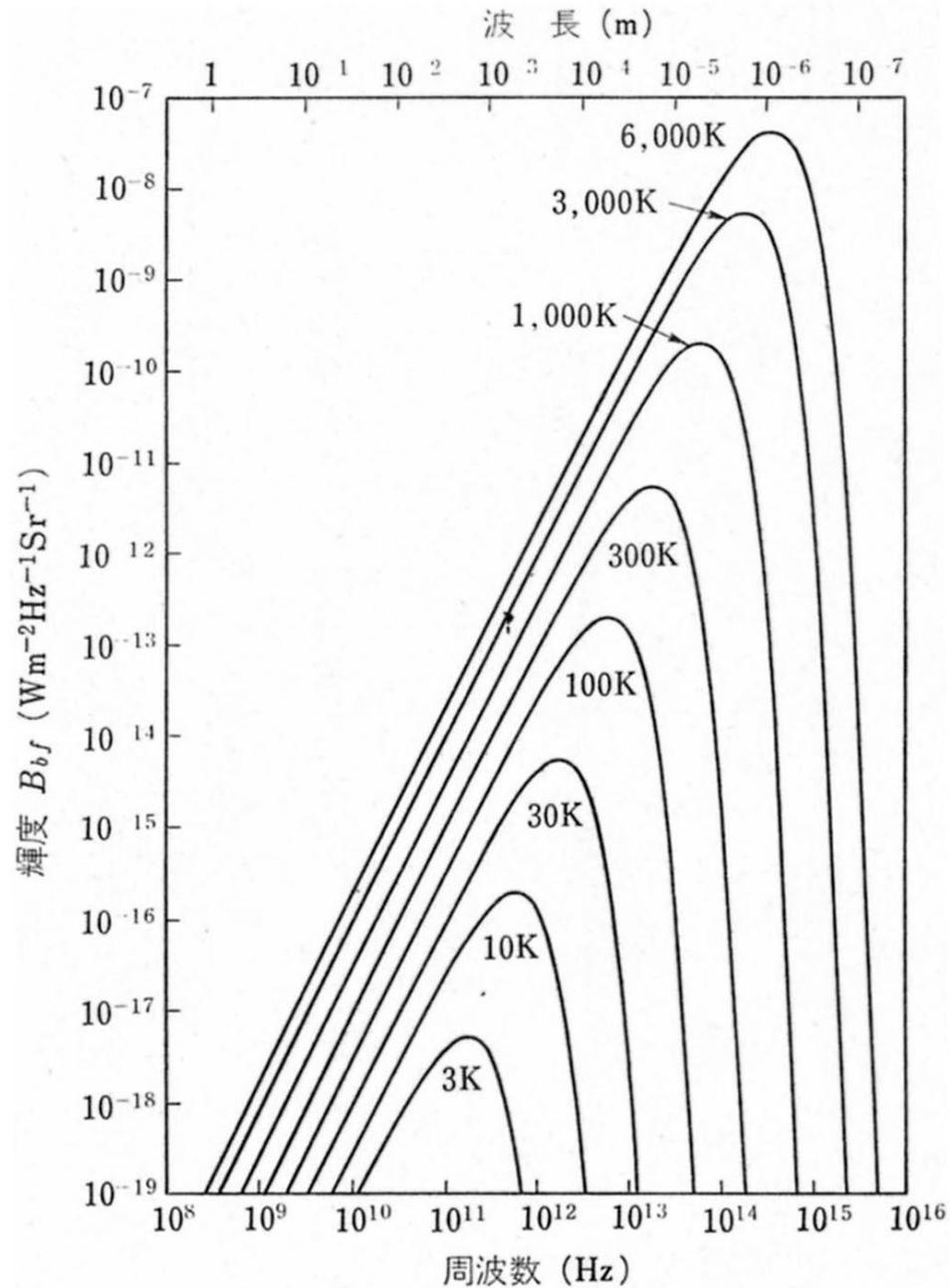
- $Q_s$ : 短波放射(日射) (+) shortwave radiation
- $Q_b$ : 長波放射 (−) longwave radiation
- $Q_h$ : 顕熱フラックス(大気海洋間の温度差による) sensible heat flux
- $Q_e$ : 潜熱フラックス(蒸発による潜熱放出) (−) latent heat flux

$$Q_s - (Q_b + Q_h + Q_e) = \text{正味熱収支}$$

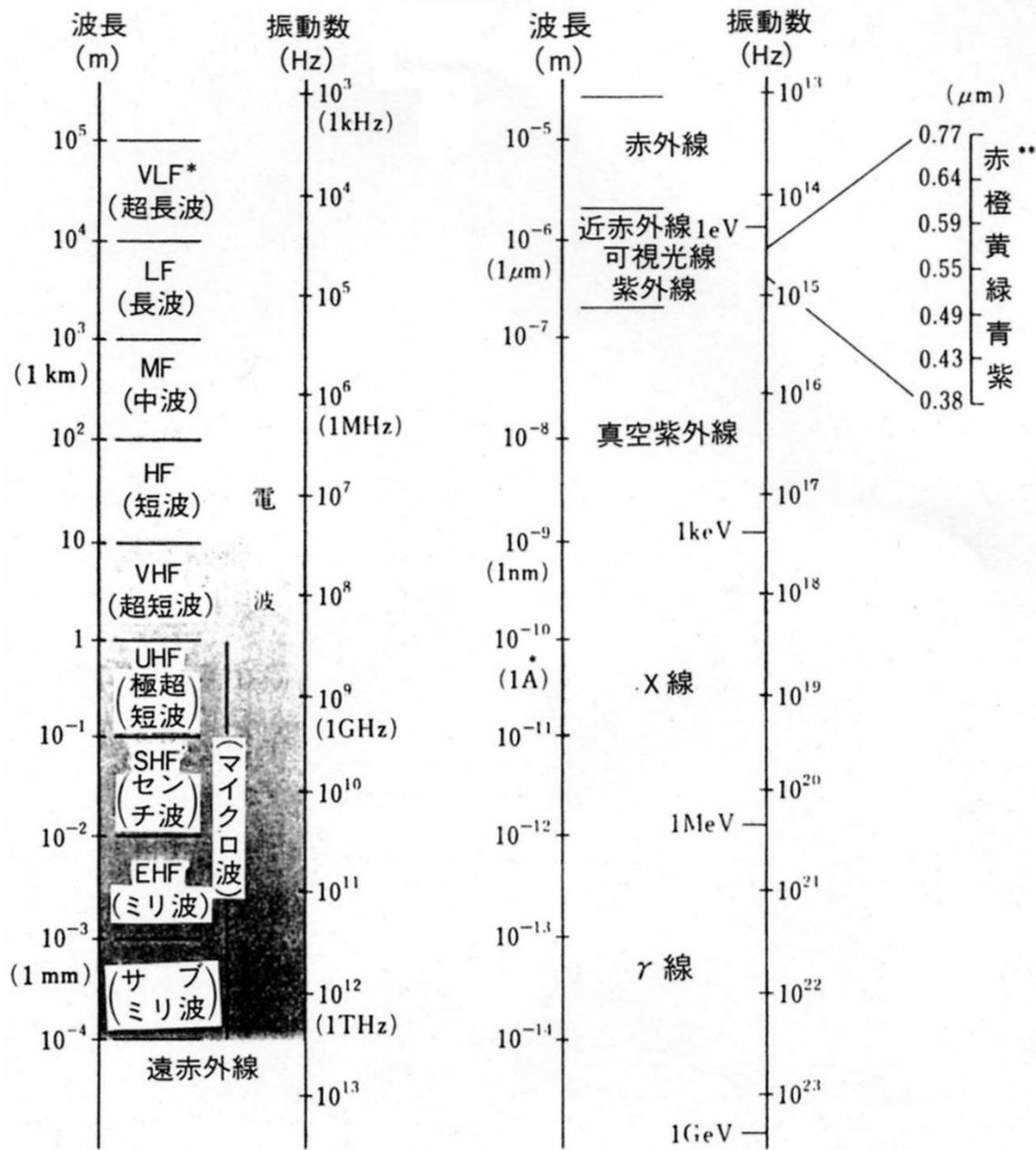
# 短波・長波放射理論

- プランクの公式: 波長 $\lambda$ の黒体放射強度 $B_\lambda$ は
$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{\{\exp(hc/\lambda kT) - 1\}}$$
  - h: プランク定数:  $6.63 \times 10^{-34}$  J sec
  - c: 光速:  $3 \times 10^{10}$  m/sec
  - k: ボルツマン定数:  $1.38 \times 10^{-32}$  J/ deg.
- Stefan's Law: 総エネルギー  $E = \sigma T^4$ ,  $\sigma = 5.7 \times 10^{-8}$  Wm<sup>-2</sup>K<sup>-4</sup>  
(°K = 273.15 + °C)
- Wien's Law:  $\lambda_m \times T = 2897 \mu\text{m } ^\circ\text{K}$   
最大放射エネルギーを与える波長  $\lambda_m$
- 太陽表面温度 約6000 °K :  $\lambda_m \sim 0.5 \mu\text{m}$   
50%が可視光 (0.35–0.7  $\mu\text{m}$ ) 短波放射
- 地表・海面からの放射  $Q_b$   
平均温度 17 °C = 290 °K :  $\lambda_m \sim 10 \mu\text{m}$  (赤外域) 長波放射

# プランクの放射則曲線



# 電磁波スペクトルの波長・名称



\* 電波の周波数帯の英字によるよび方は国際電気通信条約無線規則による。

\*\* 可視光線の限界ならびに色の境界のつけ方には個人差がある。

図1.2 放射の波長，振動数と名称 (国立天文台編：理科年表，丸善)

## 短波放射(日射) $Q_s$      shortwave radiation

- $Q_s = Q_0 (1 - \alpha_s) (1 - 0.7 n_c)$

$Q_0$ : 雲なしの時の海面直上の正味の下方放射

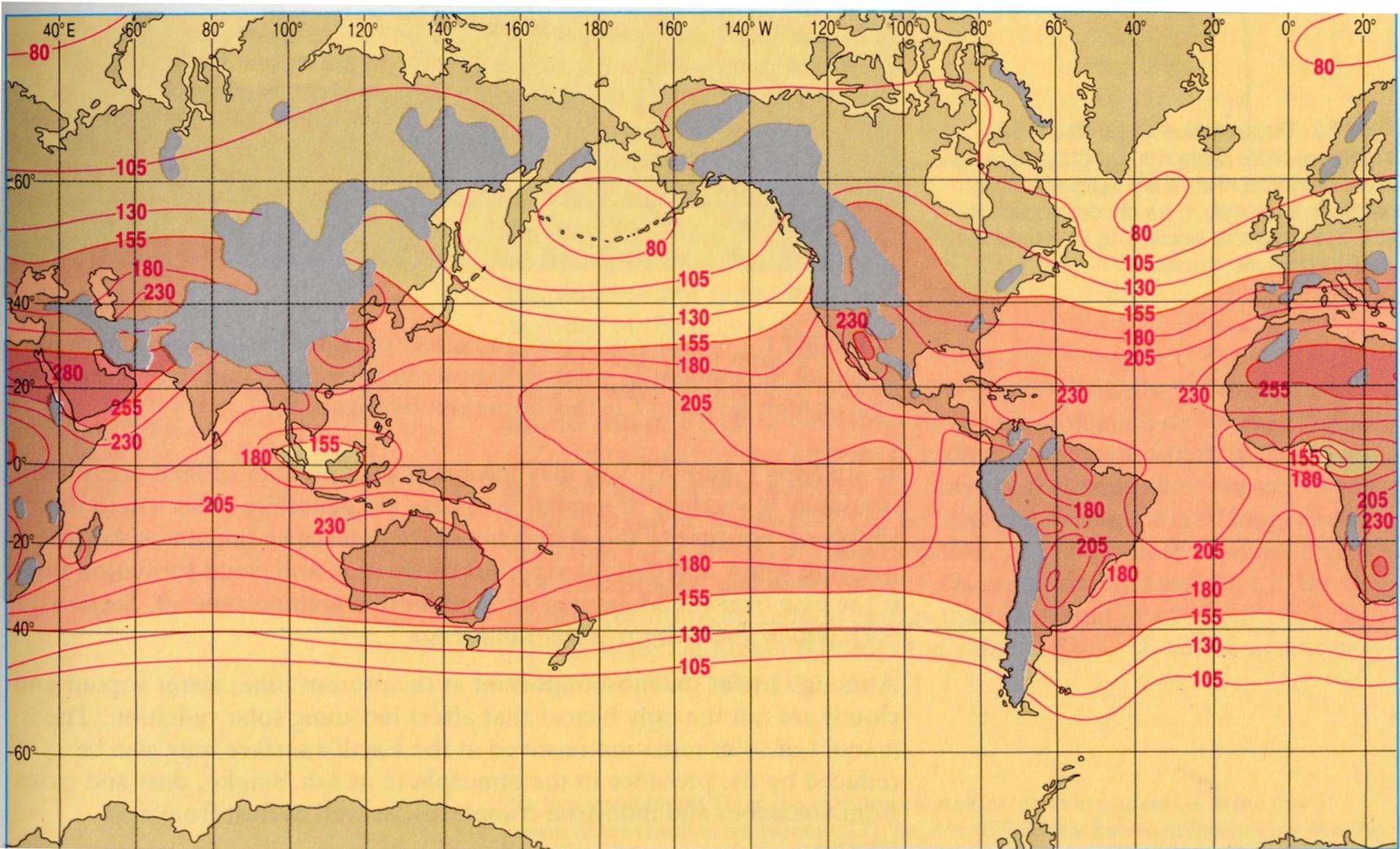
$\alpha_s$ : 表面のアルベド: albedo (海面は $\sim 0.07$ , 海氷 $\sim 0.7$ )

$n_c$ : 雲の占める割合

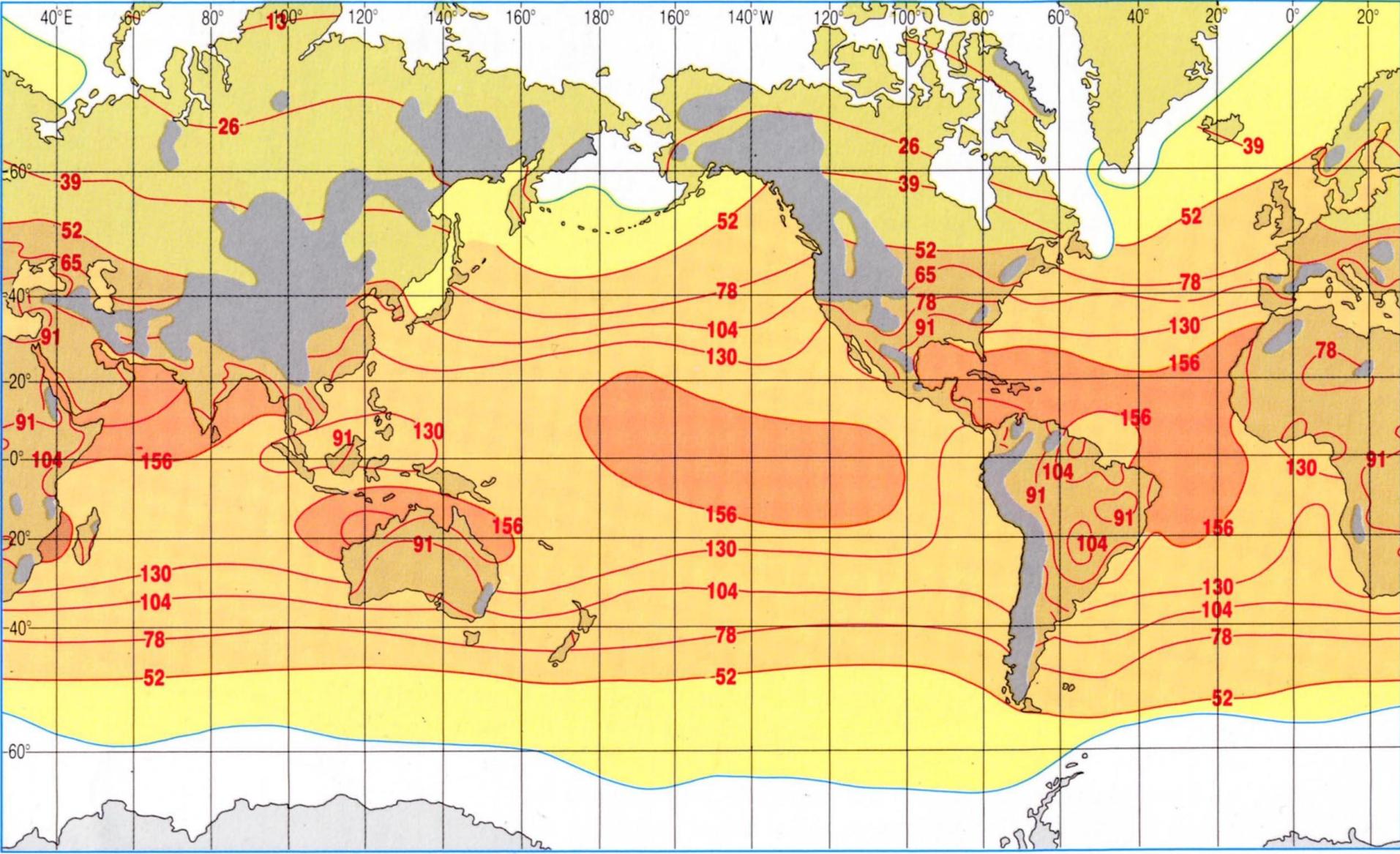
## 長波放射 $Q_b$      longwave radiation

- $Q_b$ は、Stefan's Law( $E = \sigma T^4$ )に従って  
海面からの放射されるエネルギー (A)と  
大気からの放射エネルギーのうち海洋に吸収される分 (B)の差  
 $|A| \gg |B|$ なので、 $Q_b$ はいつも負
- 正味の長波放射 $Q_b(A-B)$ は、海面水温・水蒸気圧・雲の割合の関数  
雲の影響: 雲が多いと大気からの放射が大きくなり $Q_b$ が減少  
(曇天だと放射冷却が小さいことに対応)

# 短波放射(日射)



# 放射バランス(短波放射-長波放射)



## 顕熱フラックス $Q_h$    sensible heat flux

- 渦伝導(渦・乱流による熱伝導輸送)
- $Q_h = \text{定圧比熱} \times \text{空気密度} \times \text{バルク係数} \times \text{風速} \times (\text{海上気温} - \text{海面気温})$
- 負のフラックス(海洋から大気へ)が多いが逆もあり(気温の方が高い場合)

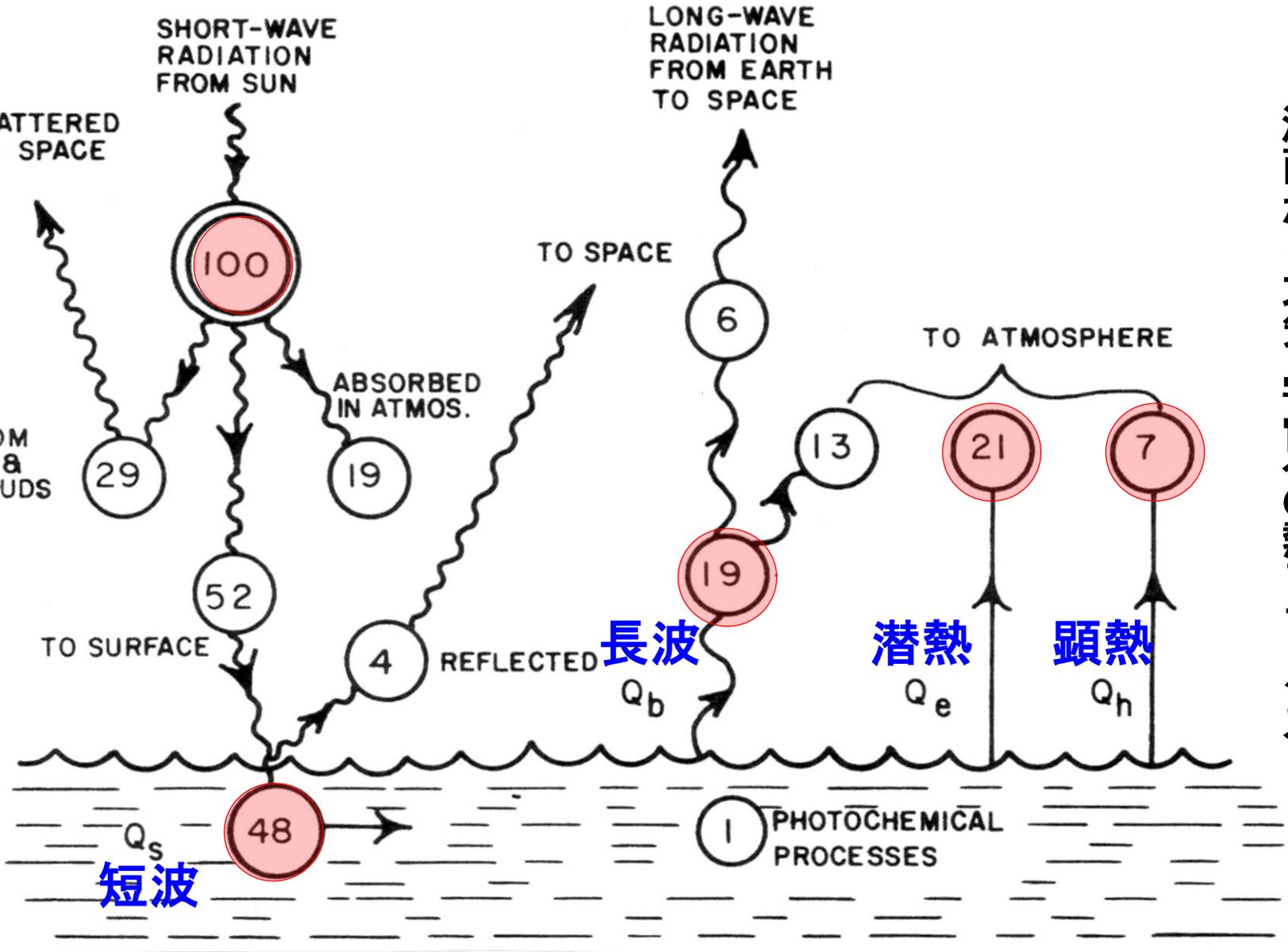
## 潜熱フラックス $Q_e$    latent heat flux

- 蒸発に伴う潜熱: 渦・乱流による輸送  
    水泳の後で風にさらされると寒気を感じる→肌から水が蒸発して熱が奪われる
- $Q_e = \text{気化熱} \times \text{空気密度} \times \text{バルク係数} \times \text{風速} \times (\text{大気比湿} - \text{飽和比湿})$
- 負のフラックス(海洋から大気へ)

顕熱・潜熱フラックスとも渦・乱流による輸送なので、  
両者を合わせて乱流熱フラックスともいう

turbulent heat flux

海面から大気・宇宙への熱フラックス



太陽からの短波放射(100とする)が海面に入るまで

短波

長波

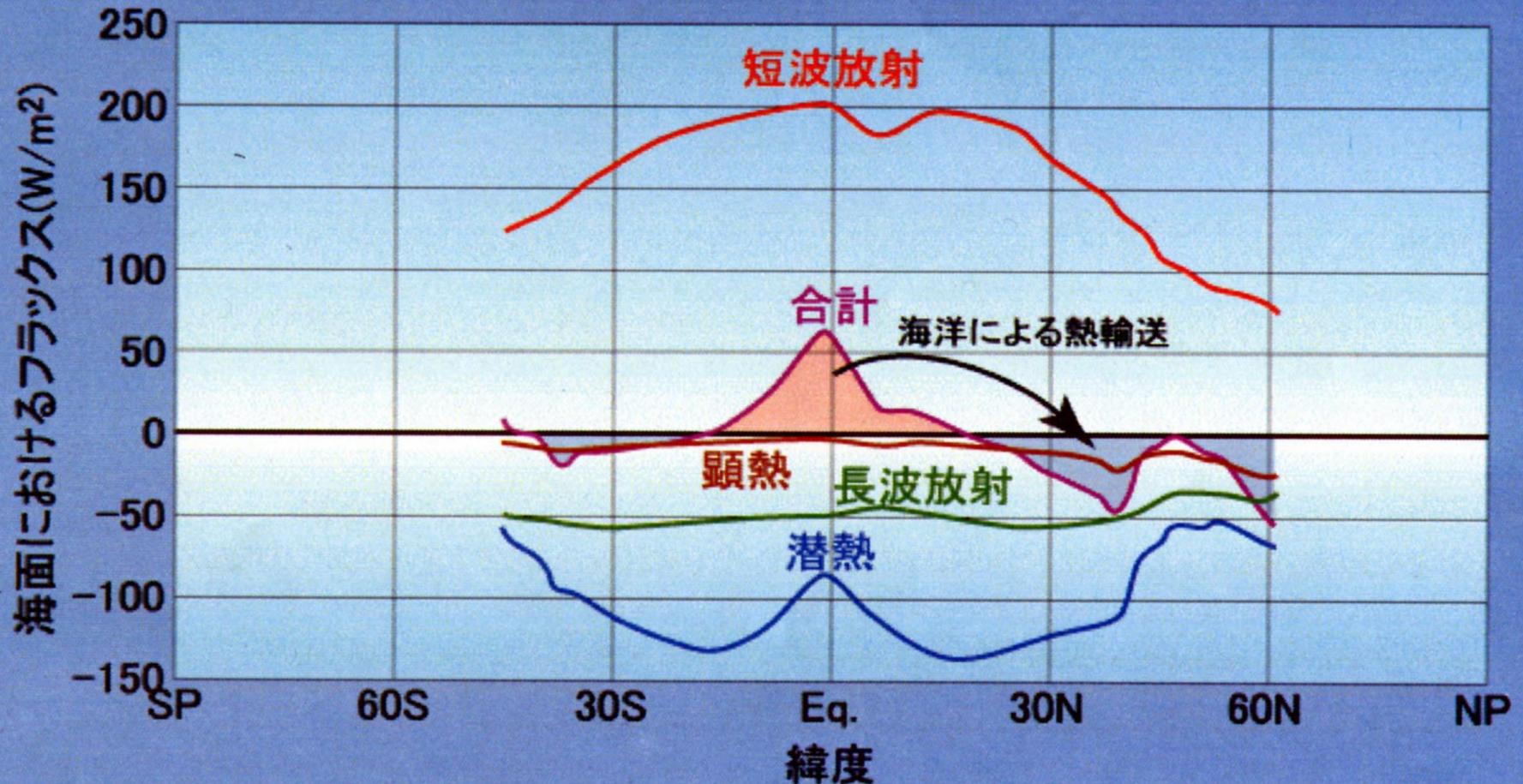
潜熱

顕熱

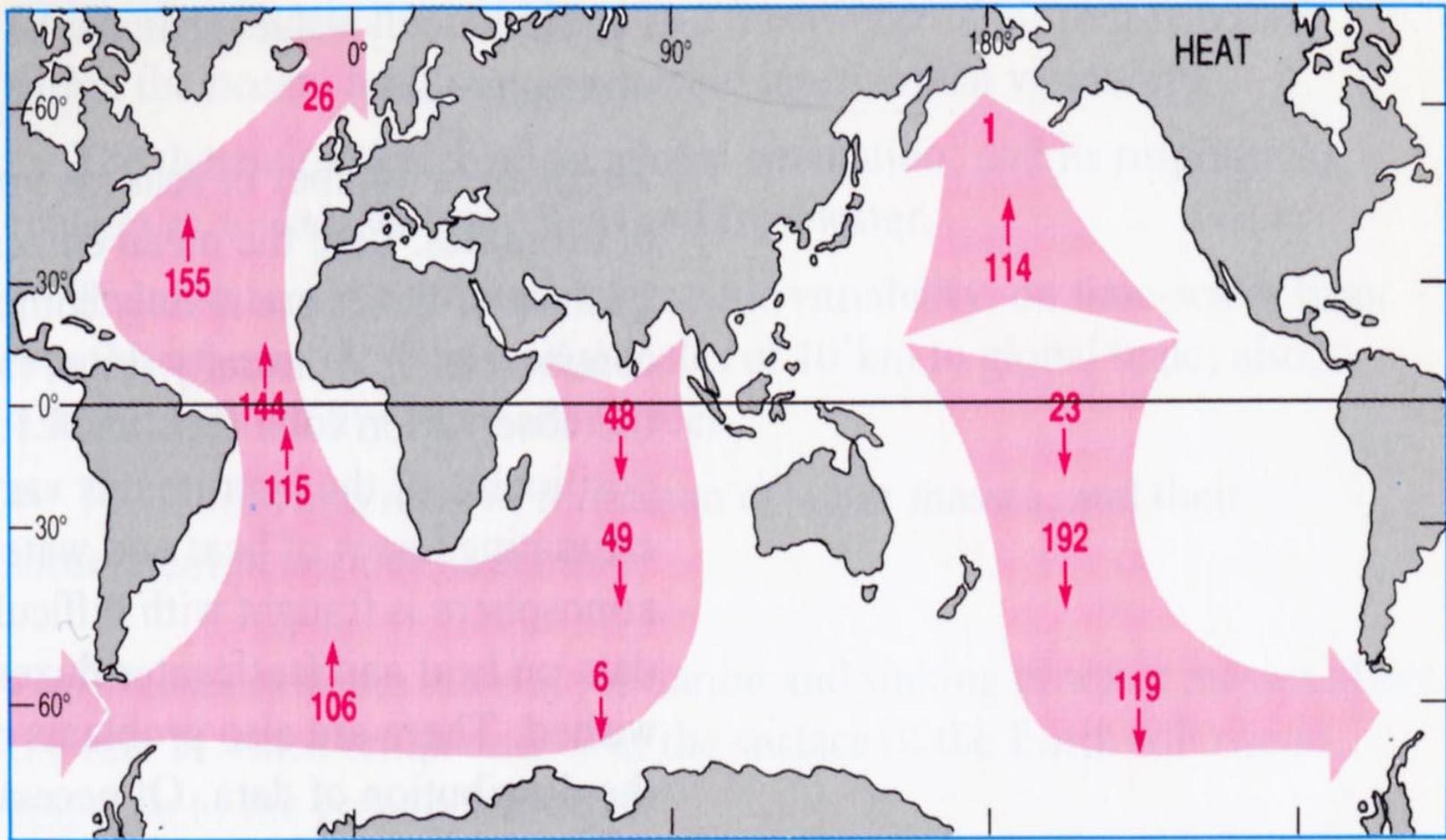
$$\text{短波放射} - (\text{長波放射} + \text{顕熱} + \text{潜熱}) = \text{合計} (\text{海洋による熱輸送の発散})$$

$$\text{顕熱} = \text{定圧比熱} \times \text{空気密度} \times \text{バルク係数} \times |\text{風速}| \times (\text{海上気温} - \text{海面水温})$$

$$\text{潜熱} = \text{気化熱} \times \text{空気密度} \times \text{バルク係数} \times |\text{風速}| \times (\text{大気比湿} - \text{飽和比湿})$$



# 熱の輸送



# 海洋子午面循環：熱塩循環（百-千年スケール）

深層水・中層水形成

海水生成（塩分排出）  
蒸発—降水

北大西洋深層水

高塩分水が  
移流し冷却

海水生成

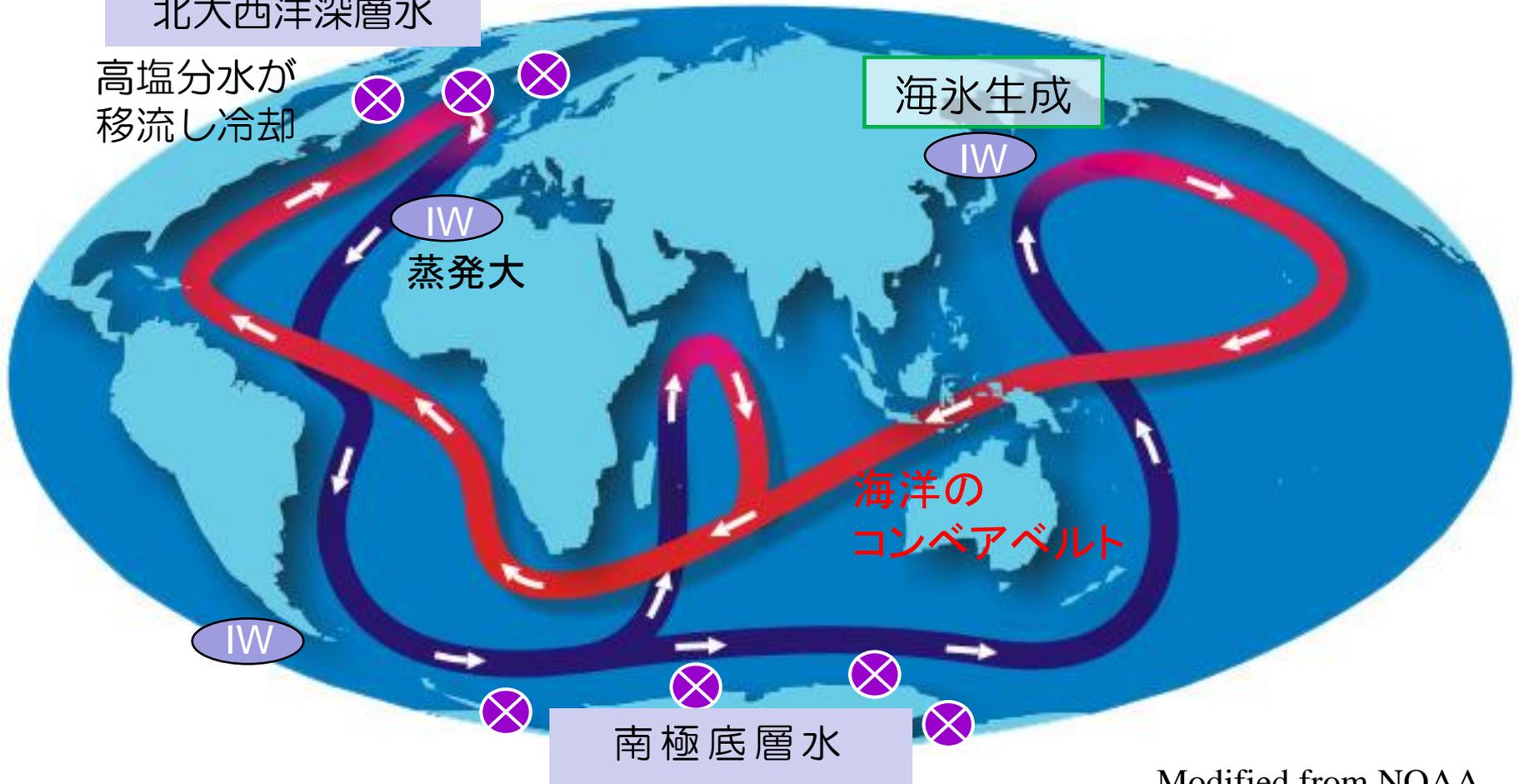
IW  
蒸発大

海洋の  
コンベアベルト

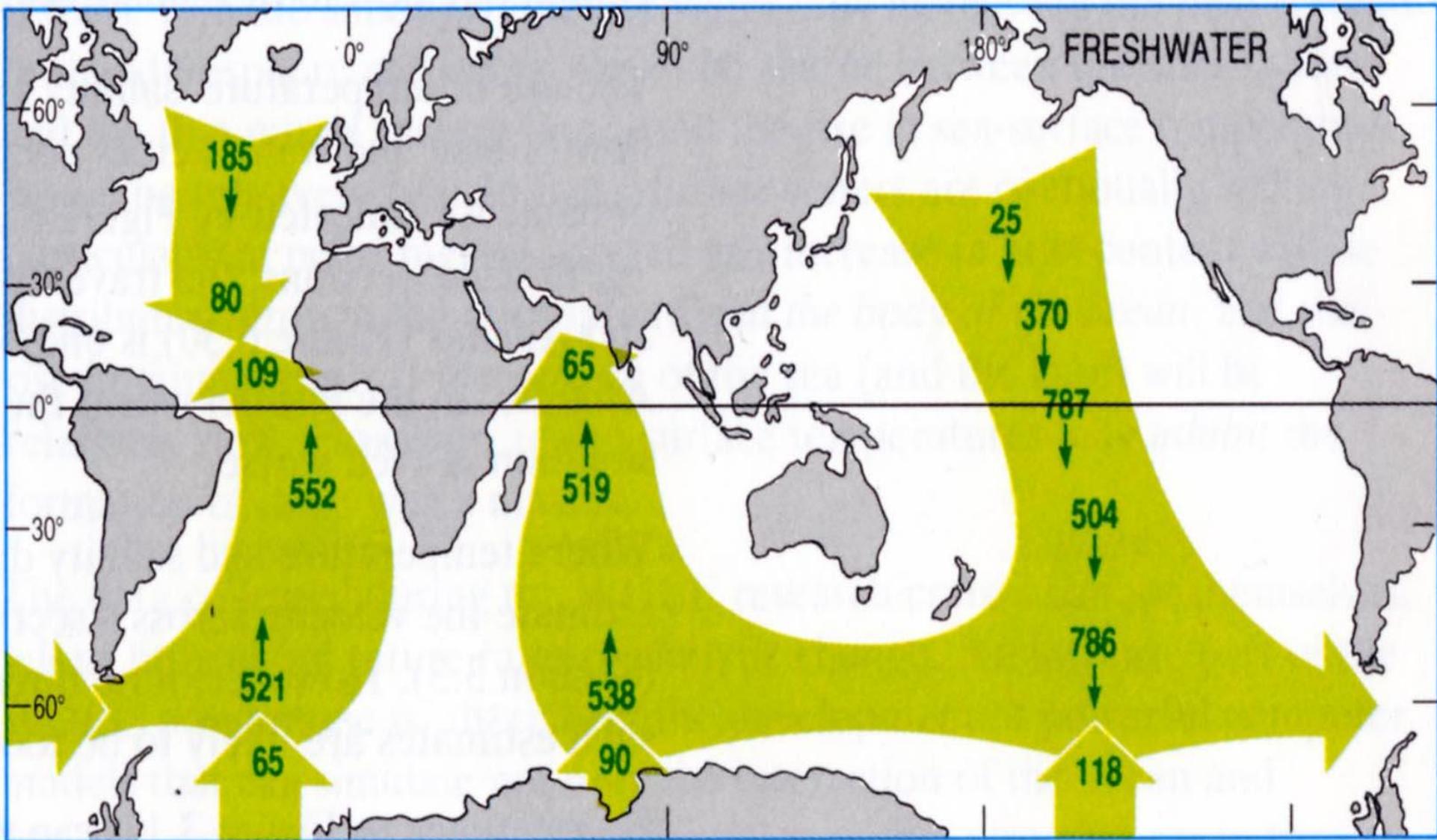
南極底層水

海水生成 → 塩分排出

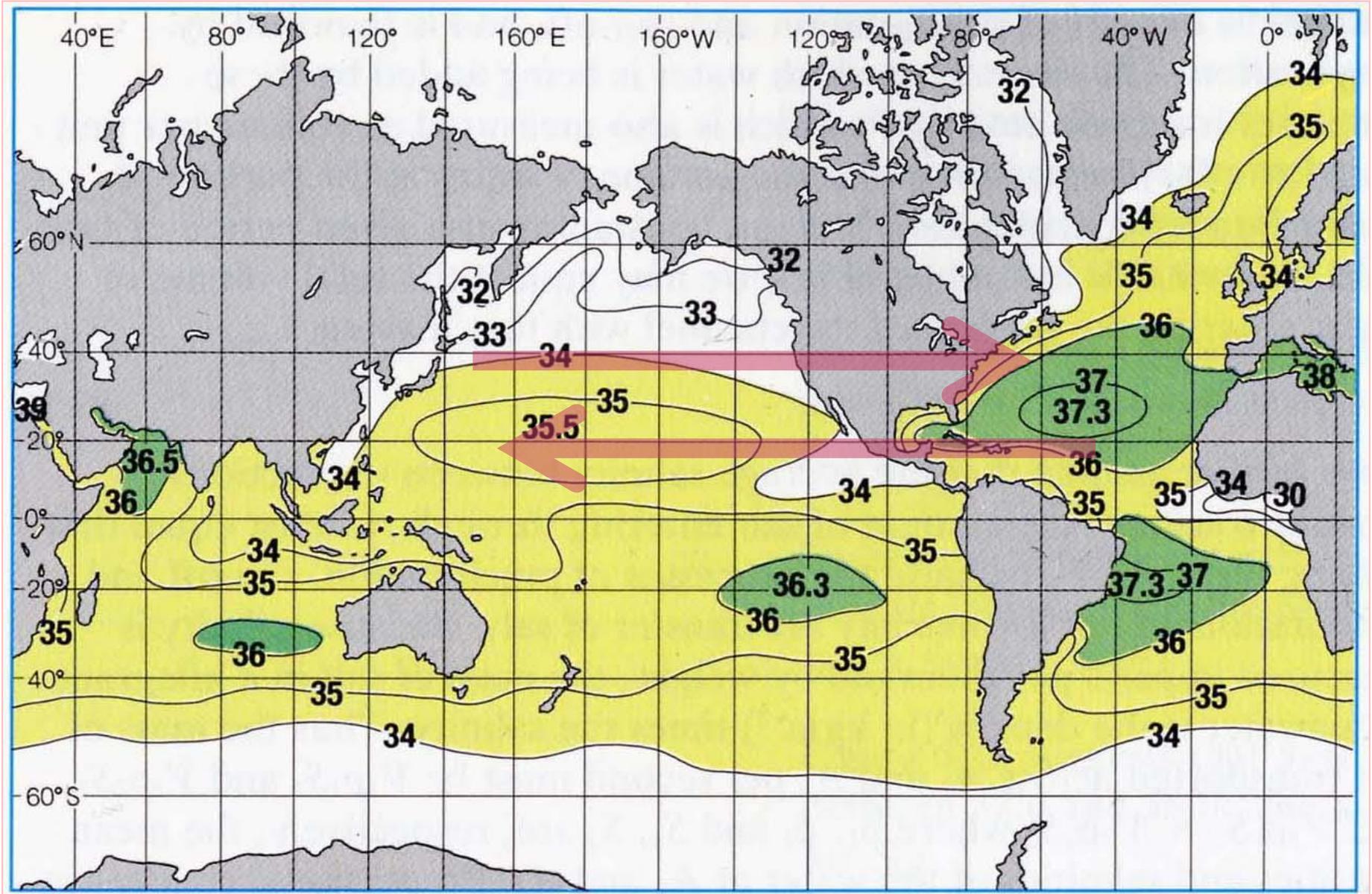
Modified from NOAA  
and NASA website



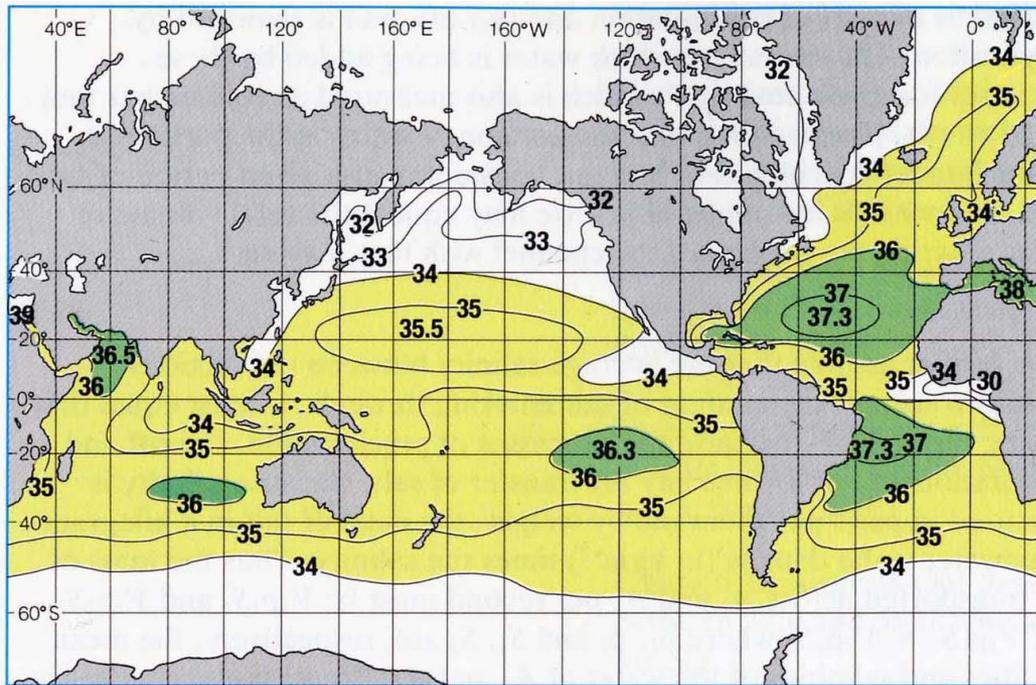
# 淡水の輸送



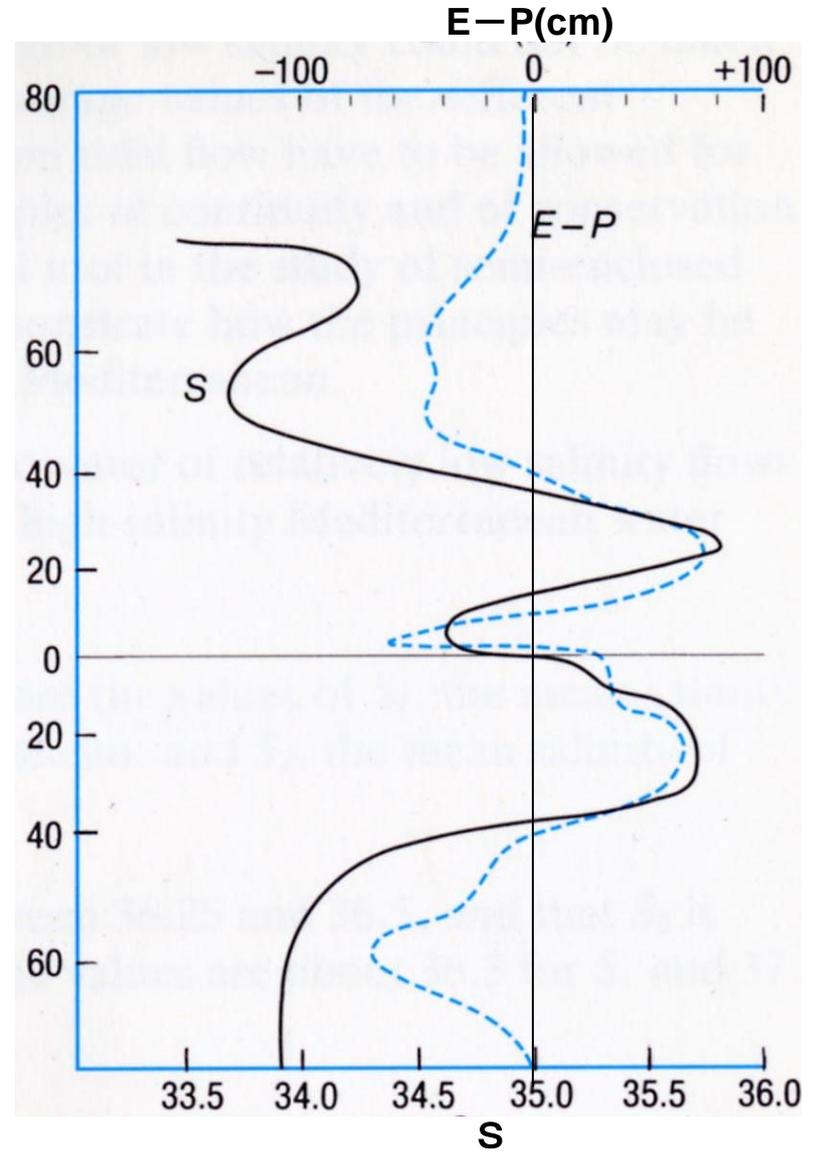
# 表層塩分(‰)



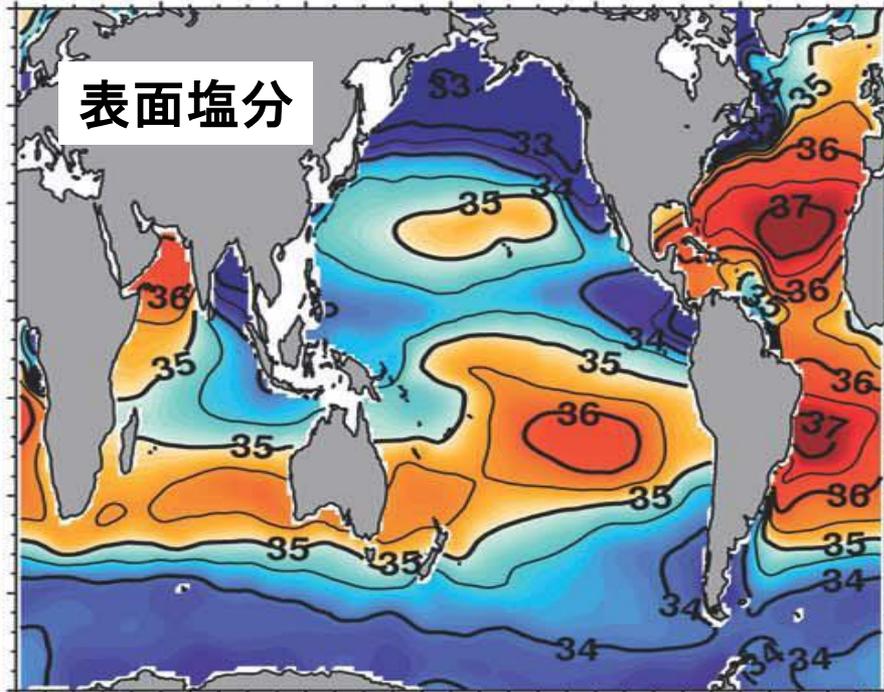
# 表層塩分



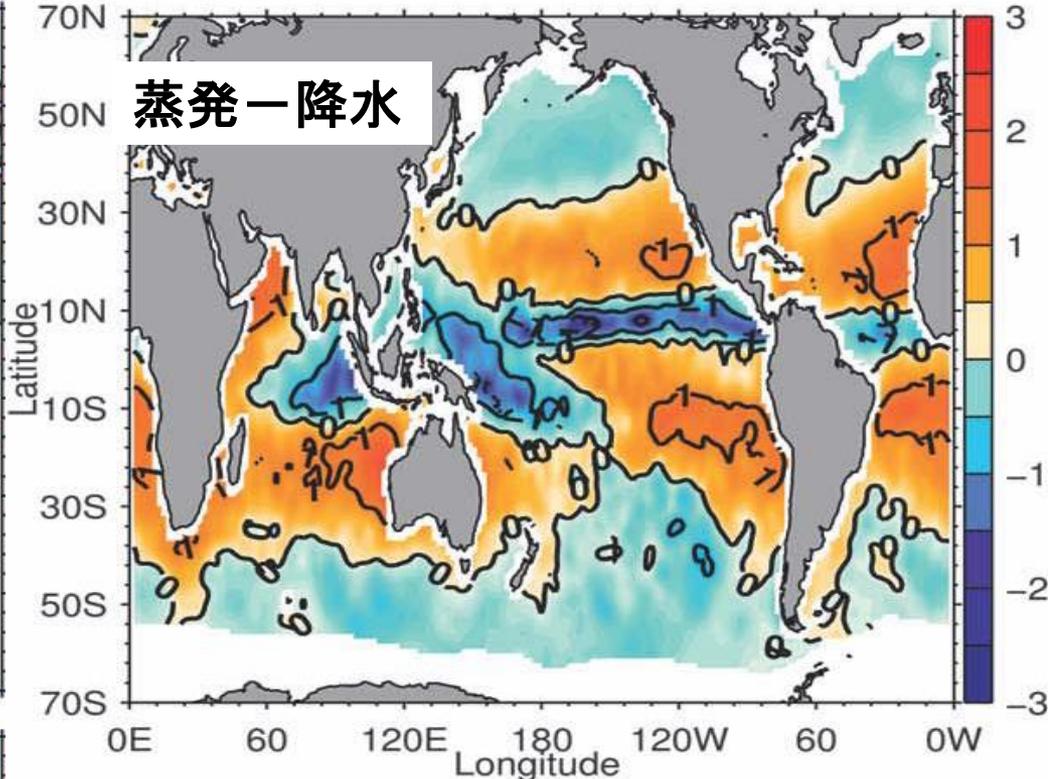
# 蒸発－降水



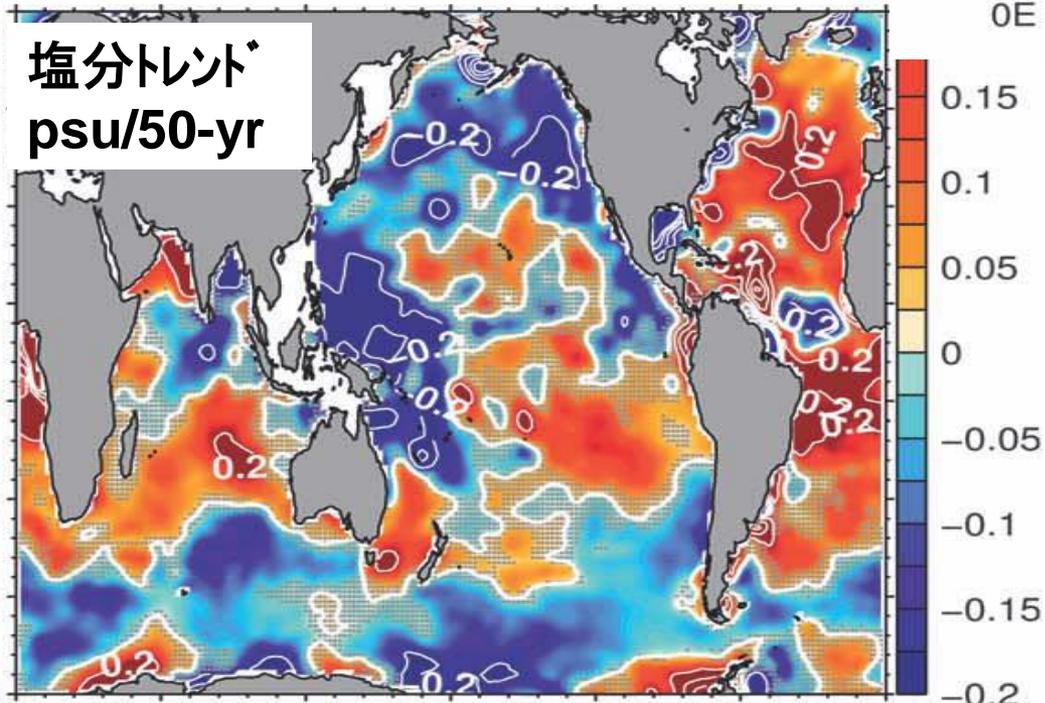
表面塩分



蒸発-降水



塩分トレンド  
psu/50-yr

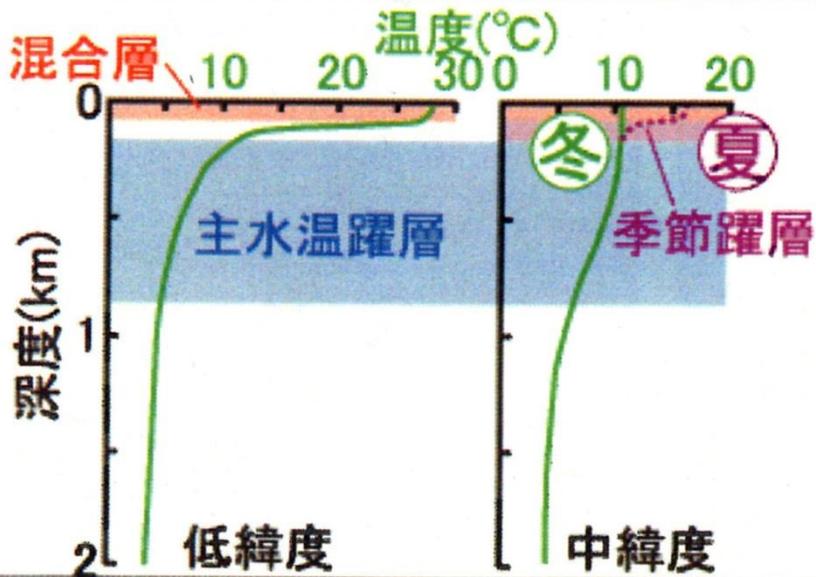


Durack and Wijffels(2010)

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

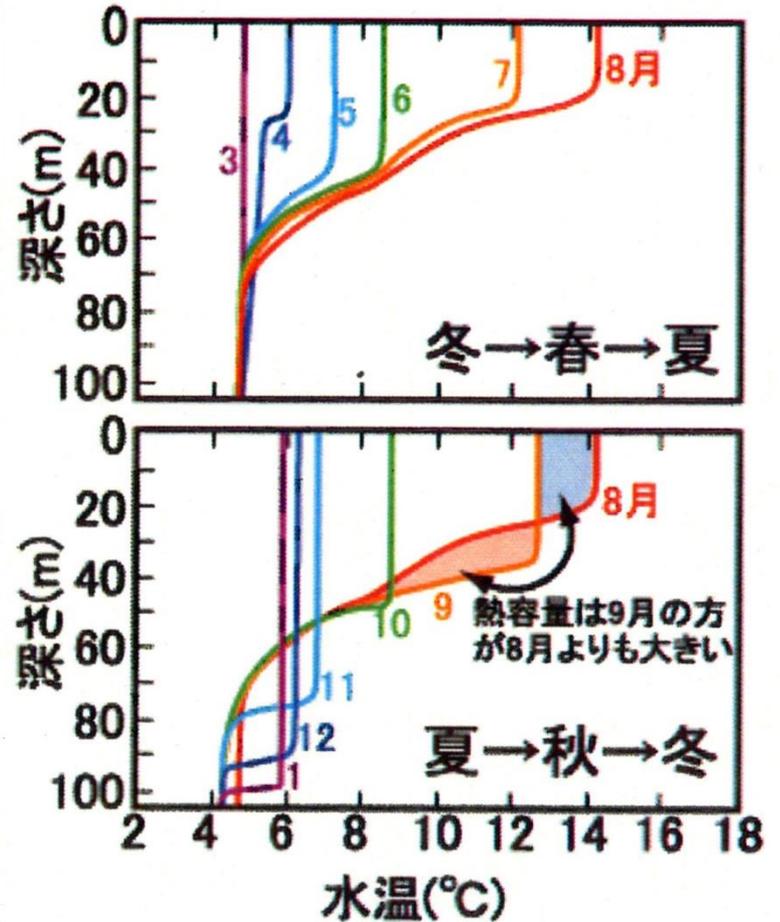
**Global Warmingに伴う  
全球的な水循環の活発化**

## 海洋における温度の鉛直分布



表層  
中層  
深層

## 海洋混合層の季節変化



北太平洋亜寒帯(P点)

山中康裕教授作成

# 混合層1次元バルクモデル

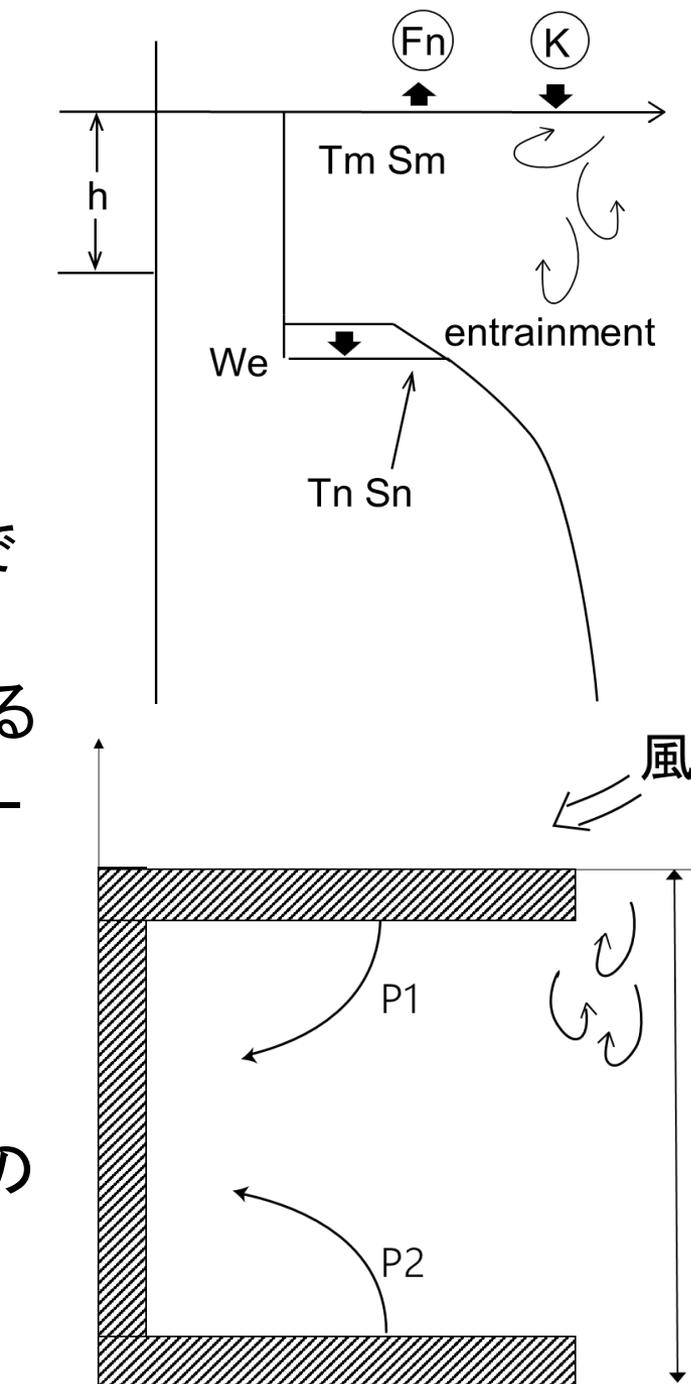
混合層内の水温・塩分は一様として  
混合層の厚さを記述する。

## 考え方

- ・混合層はその下の重い水を取り組んで混合層内にばらまく
- ・これはポテンシャルエネルギーを上げる
- ・そのエネルギーは乱流運動エネルギーから来ている。

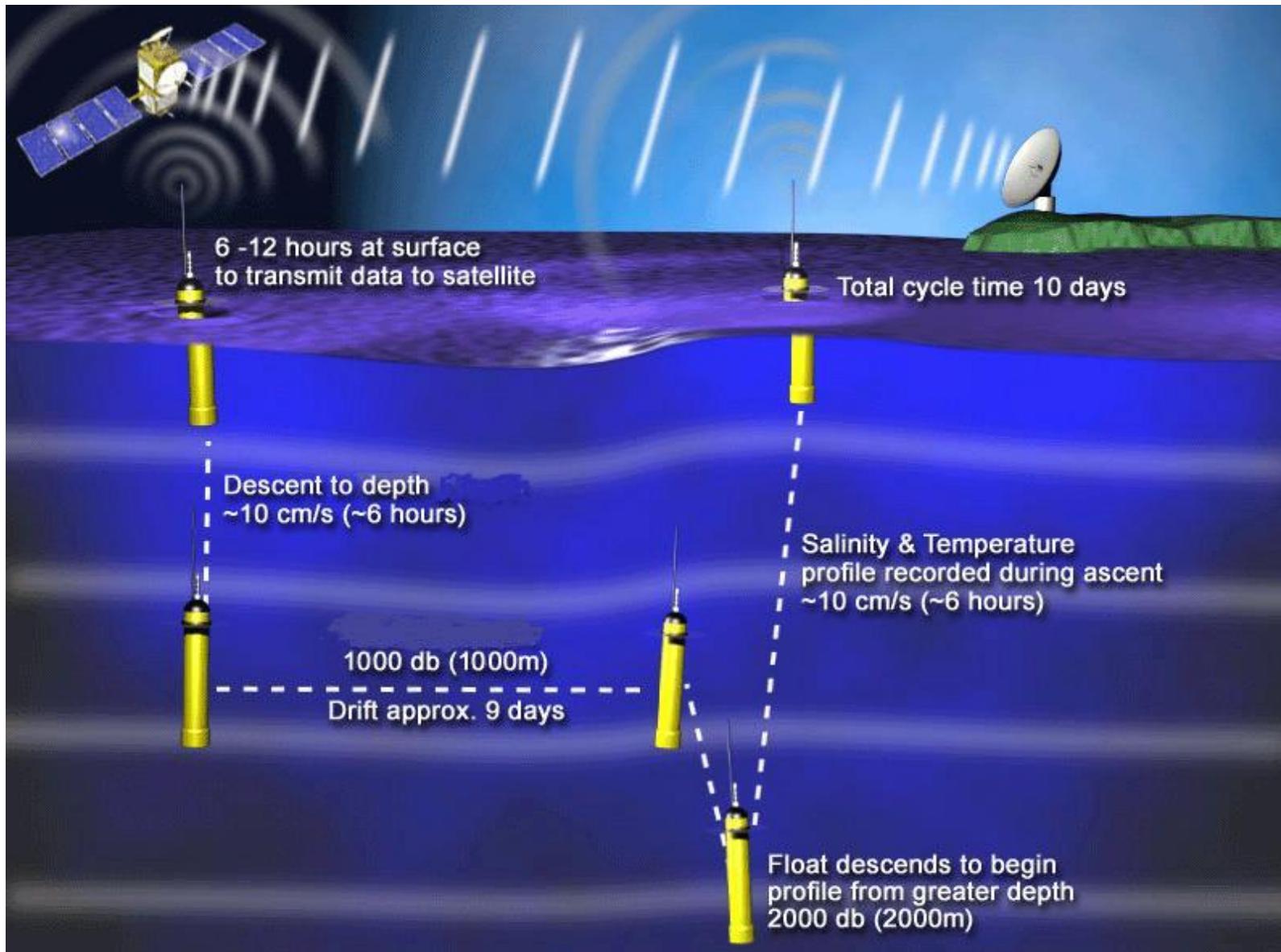
## 乱流運動エネルギー

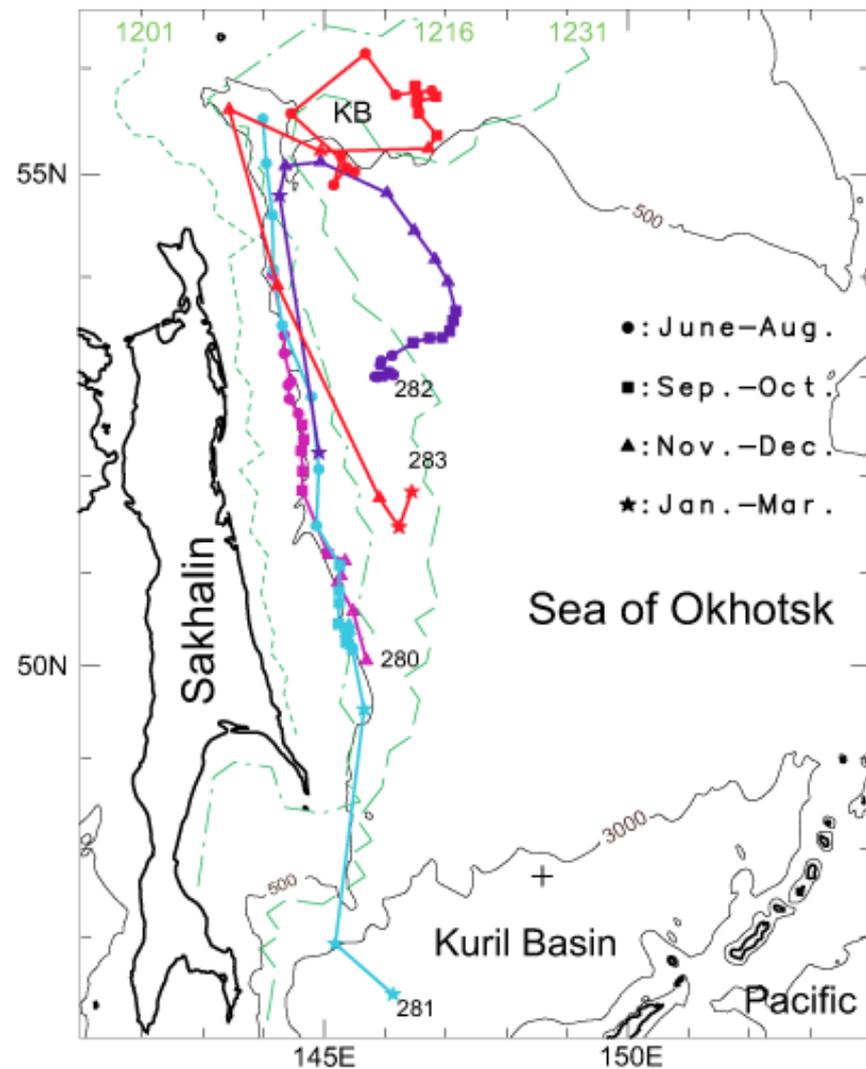
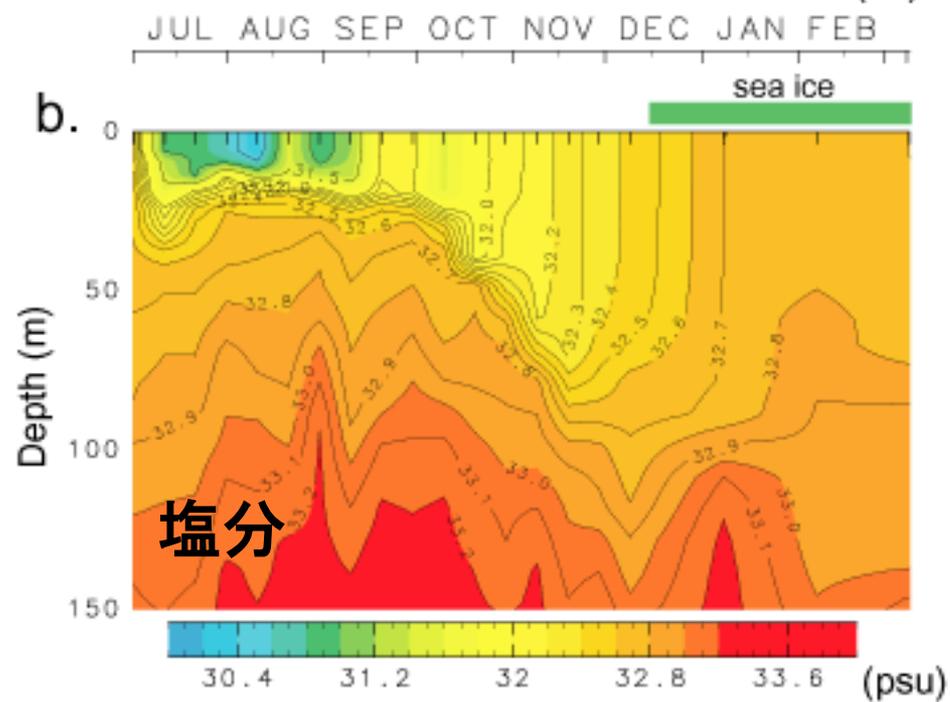
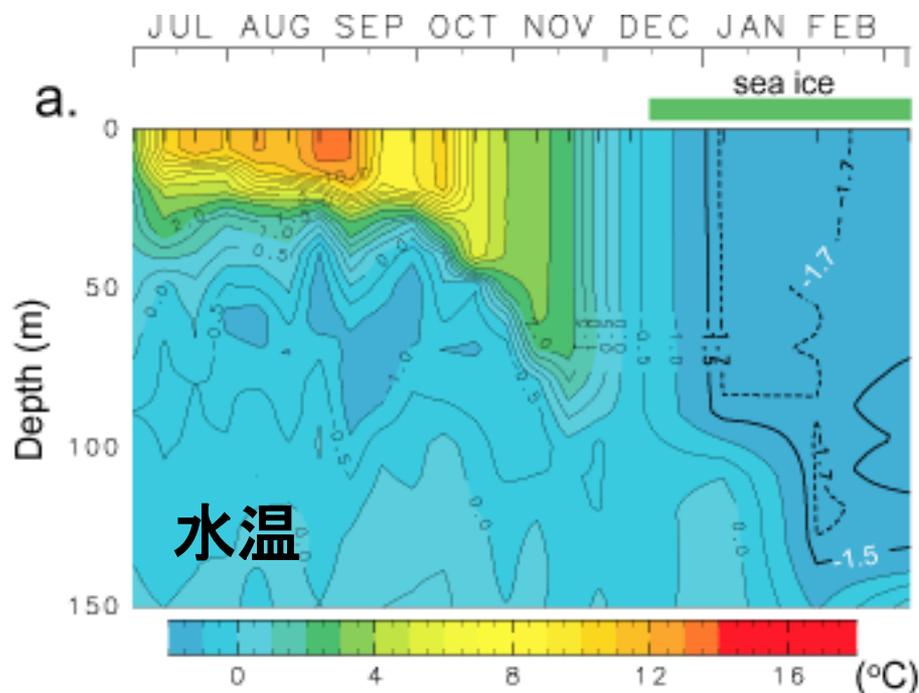
1. 風による運動エネルギーフラックス
2. 冷却によるポテンシャルエネルギーの獲得



# Profiling float

中層に浮遊し、一定時間ごとに浮上してその際の温度・塩分のプロファイルを送るフロート  
衛星を介して送るフロート





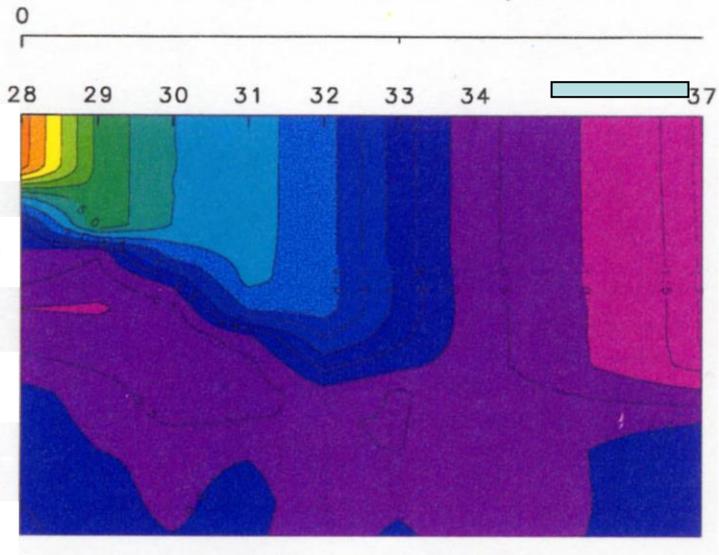
水温

水深

水深

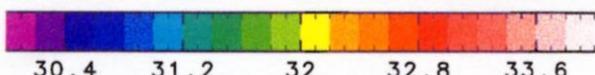
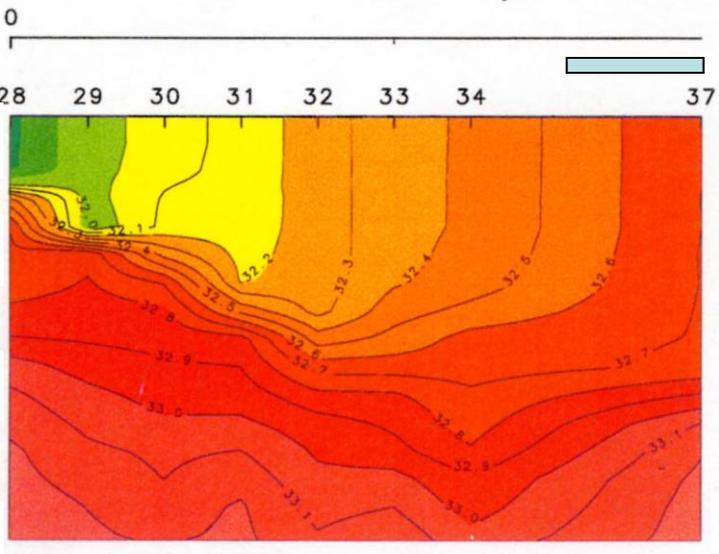
水深

Time (Julian day)



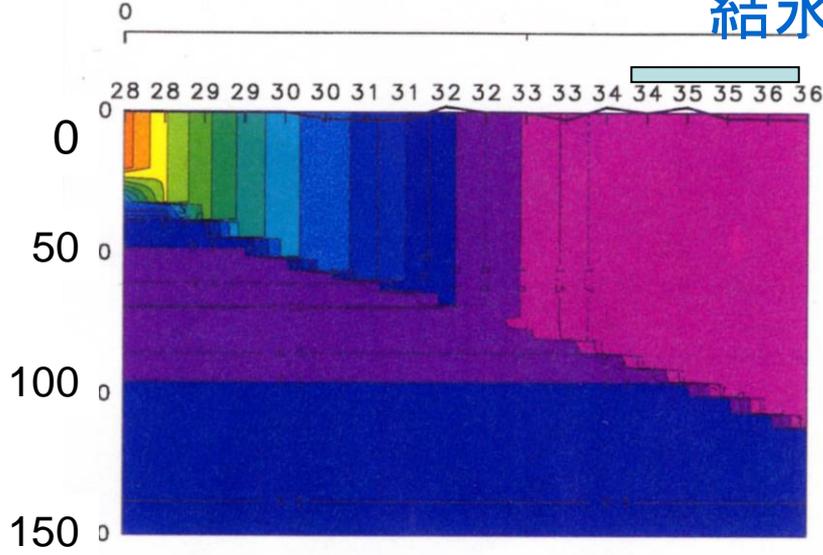
フロートによる観測

Time (Julian day)



Time (Julian day)

結氷



混合層モデル

Kraus & Turner

