

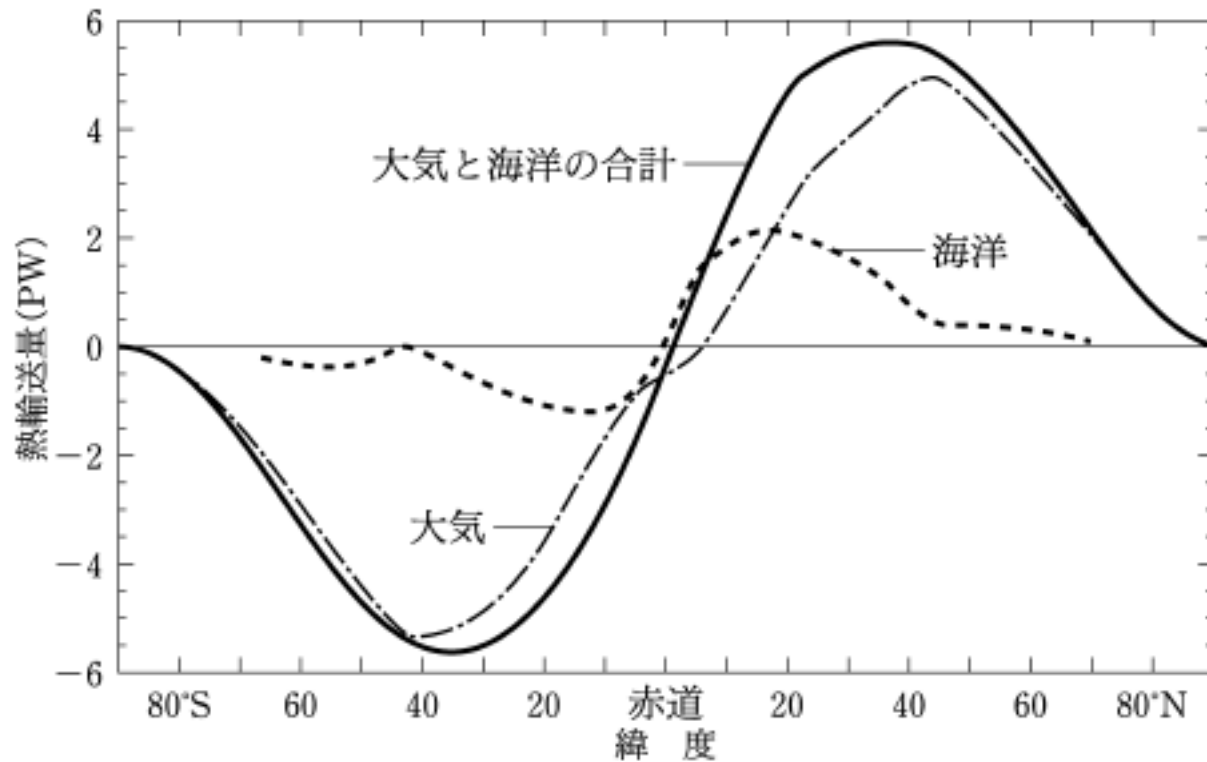
地球惑星科学 II

第五回

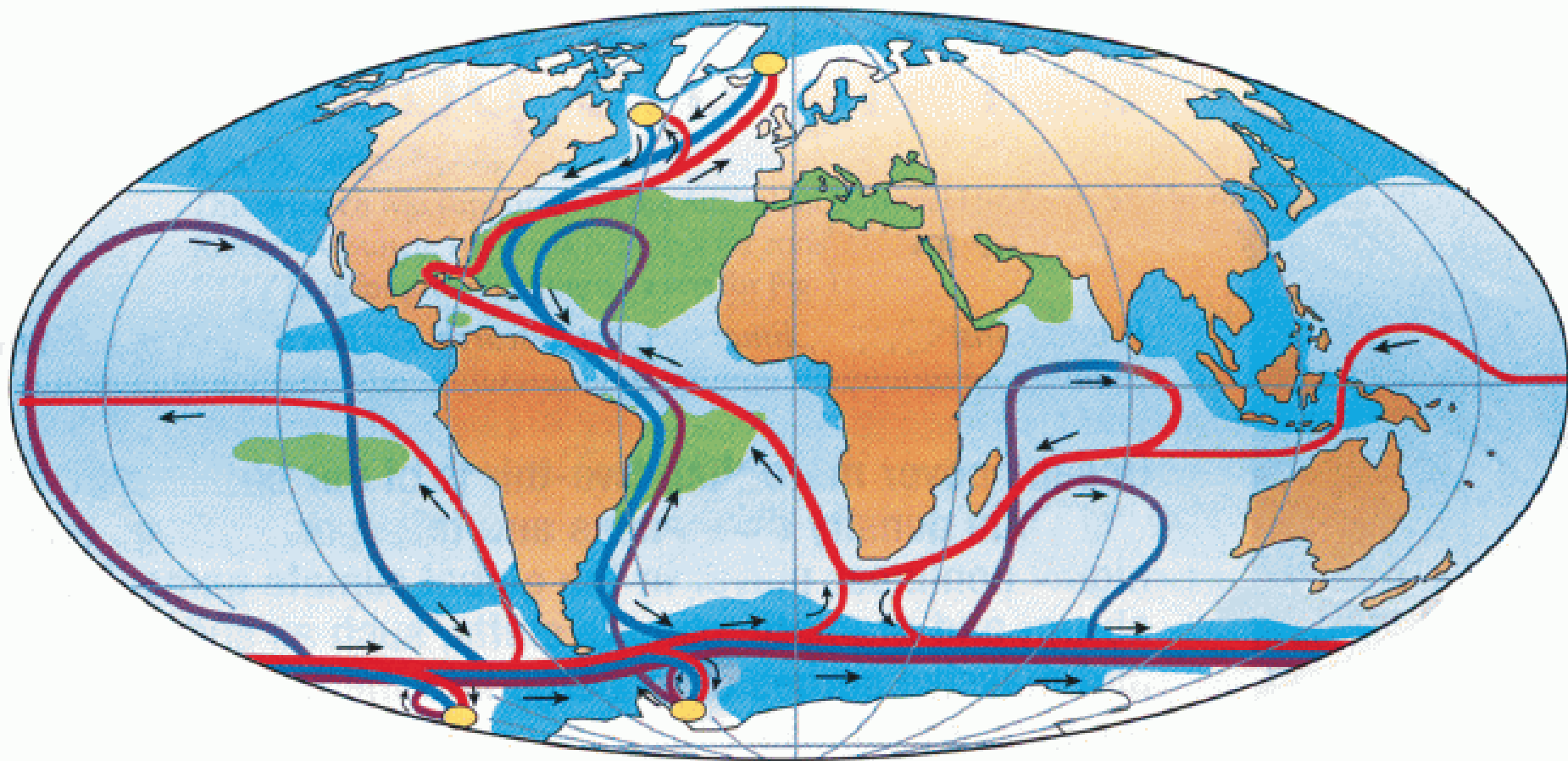
2017年11月02日

今日のテーマ

- 海の流れはどのように生じるか？
- 参照：地球惑星科学入門23章、24章、25章



世界の海



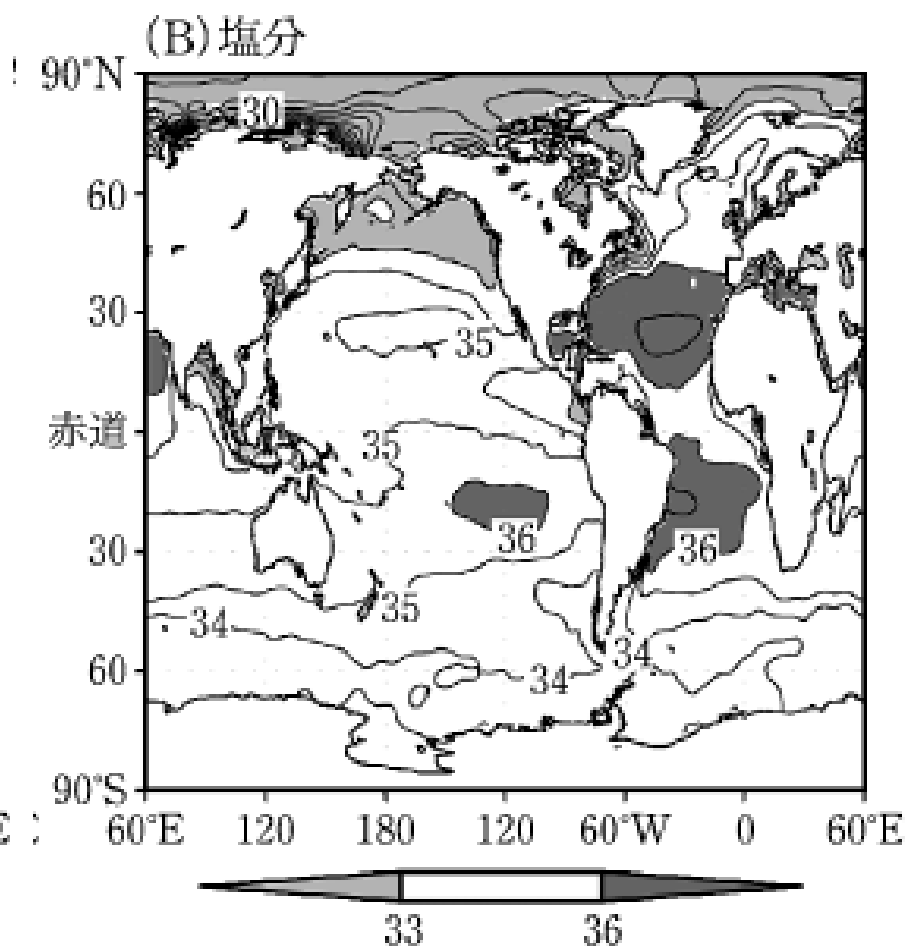
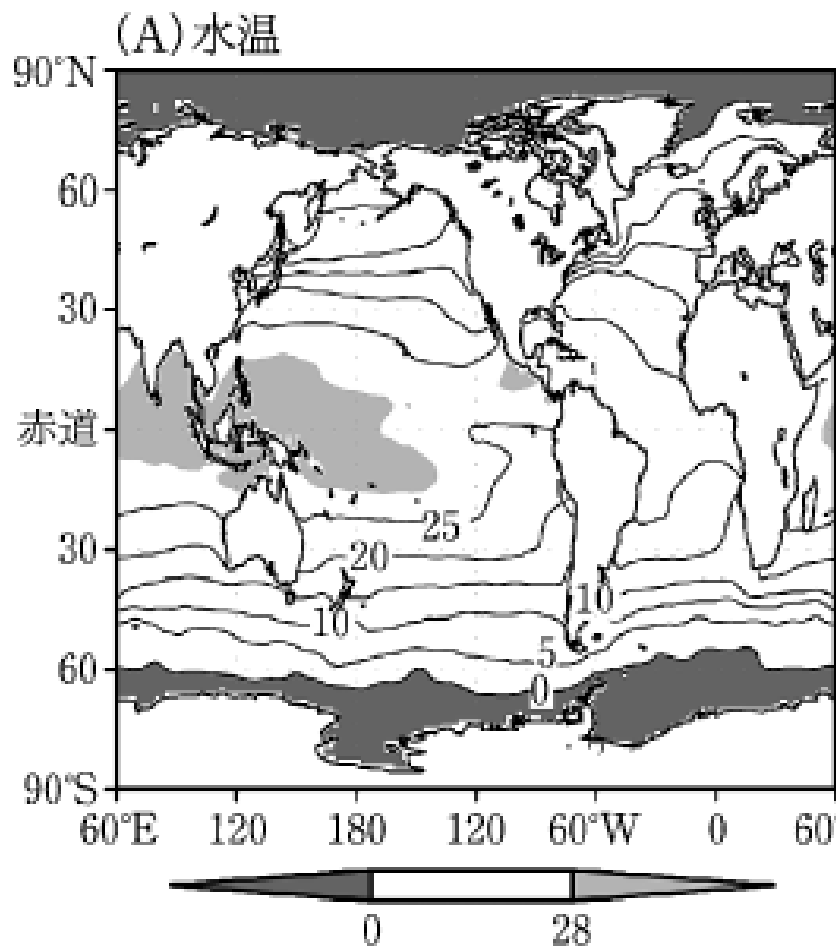
海水の量・組成

- 海洋の質量
 - 海洋: 10^{21} kg (大気: 10^{18} kg)
- 海洋の組成

表 23.2 海水の平均化学組成。単位は $g\ kg^{-1}$ である。

陽イオン		陰イオン	
Na^+	10.773	Cl^-	19.344
Mg^{2+}	1.294	SO_4^{2-}	2.712
Ca^{2+}	0.412	HCO_3^-	0.142
K^+	0.399	Br^-	0.0674

海面水温・海面塩分



海洋の鉛直構造

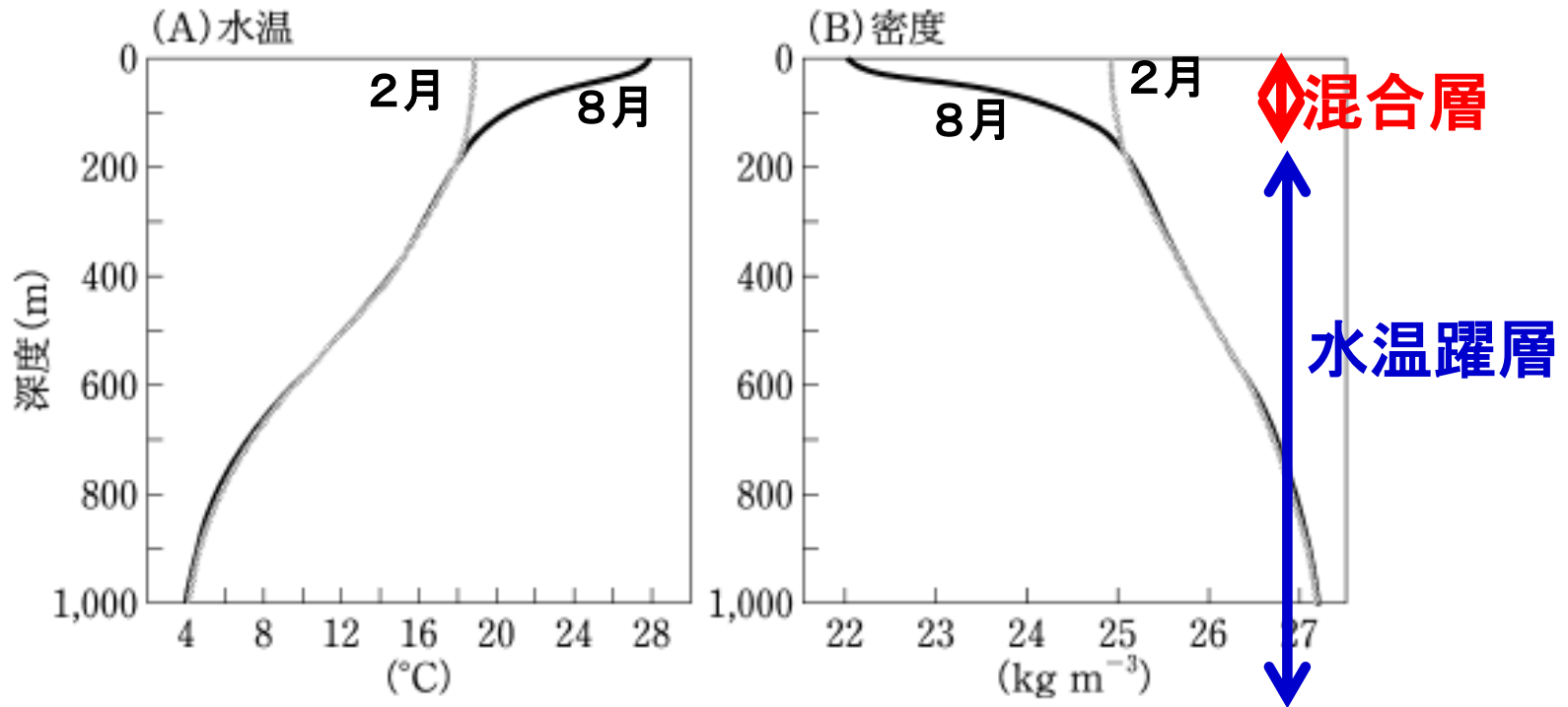
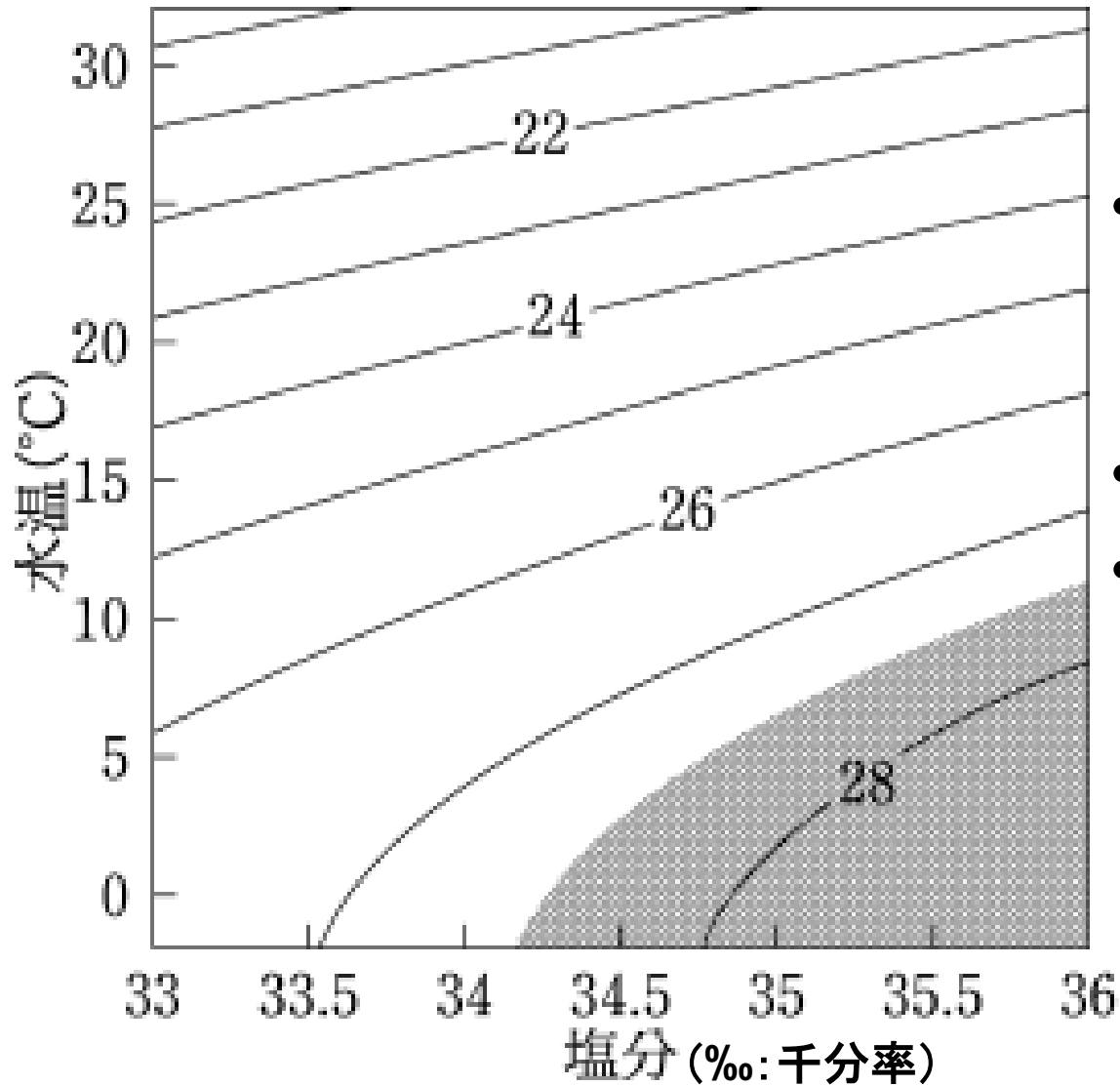


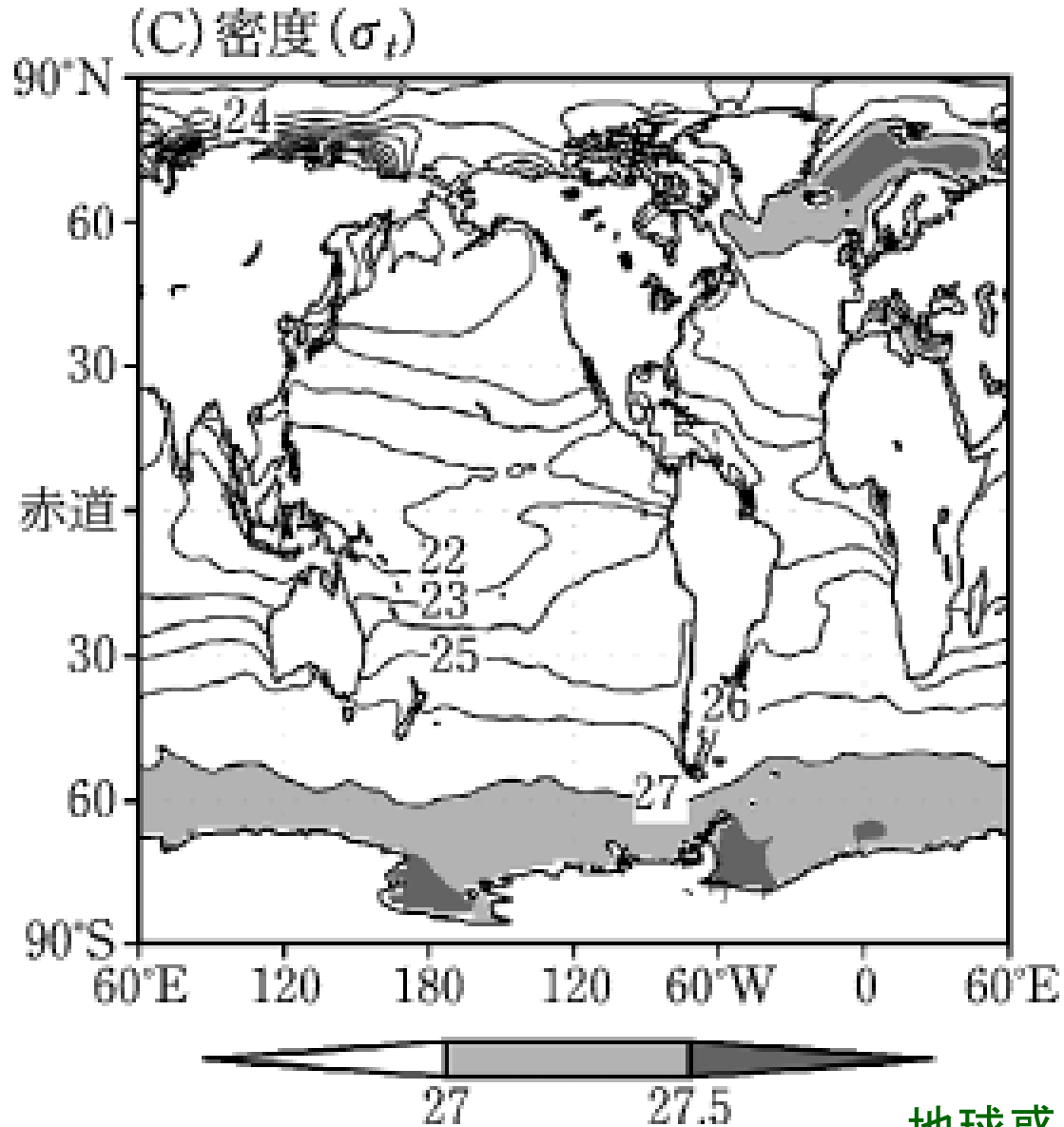
図 23.2 日本南方(30°N, 140°E)での、2月(灰色線)と8月(黒線)における平均的な(A)水温と(B)密度(σ_t)の鉛直分布

海水の密度

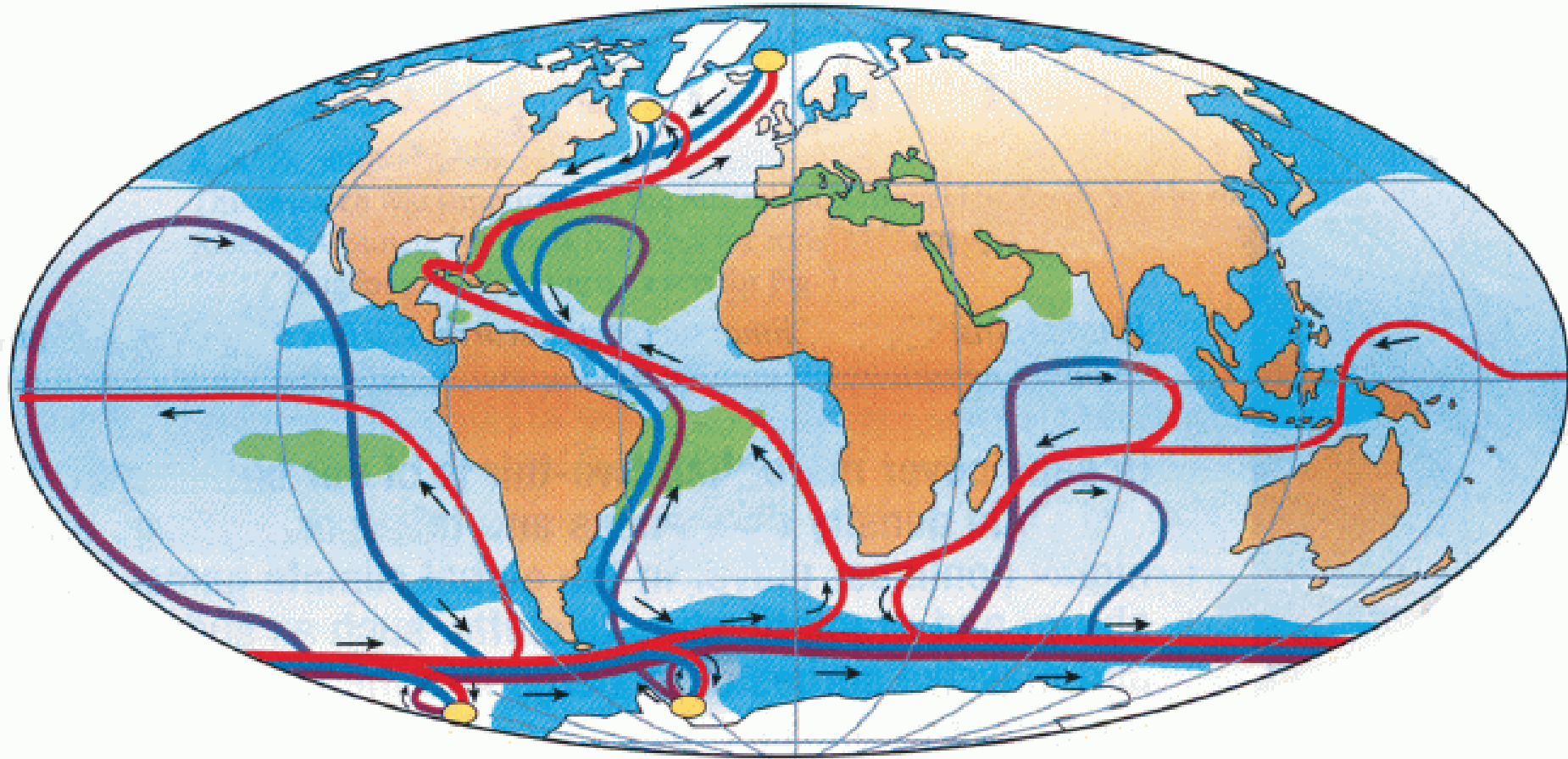


- 図に描かれているのは
(密度-1000)kg/m³
- 高塩分で高密度
- 低水温で高密度
(0°C付近以外)

海面の密度分布

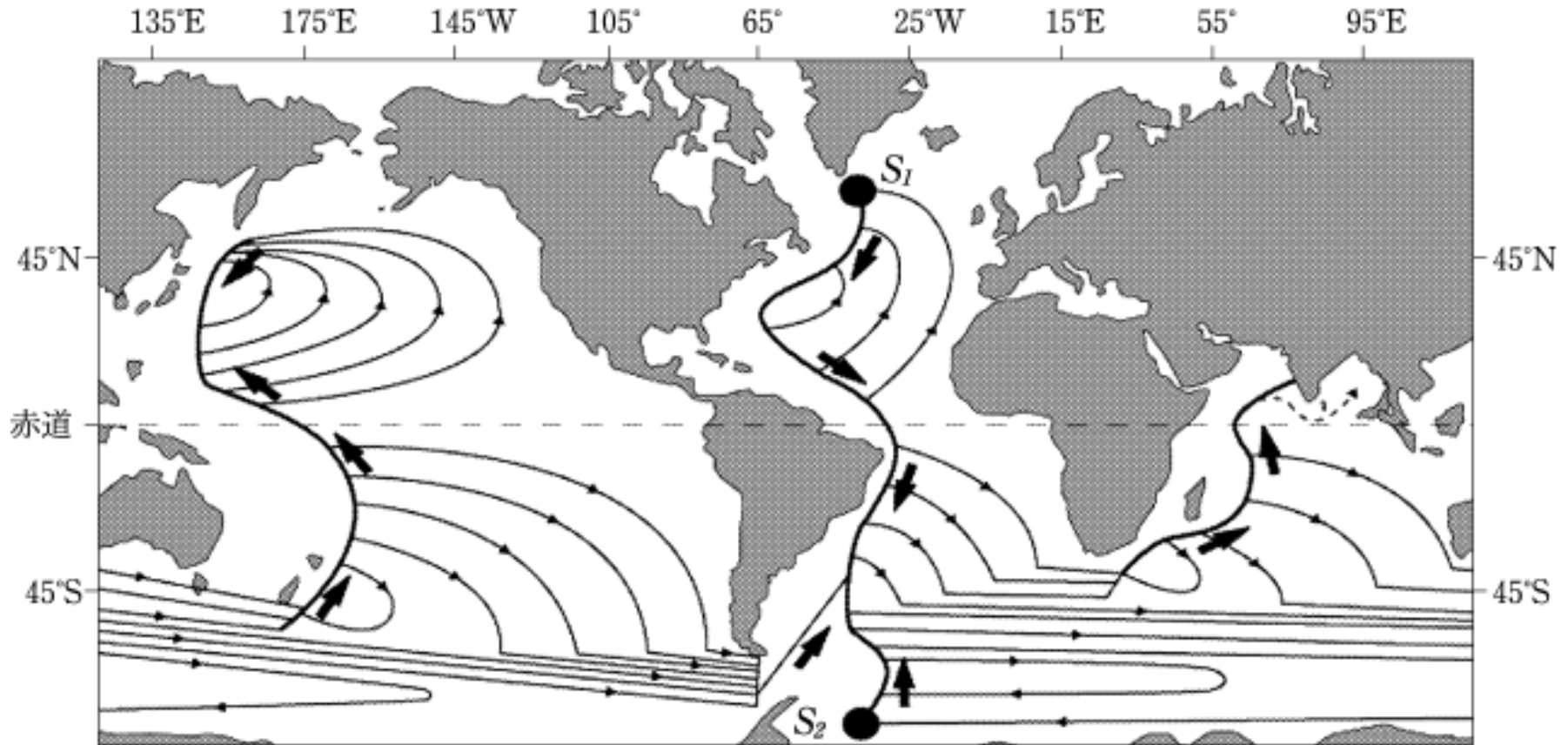


海水の大循環



- ブロッカーのコンベヤーベルト
- 深層の水は再び表面に湧き上がる(湧昇)

深層循環の模式図

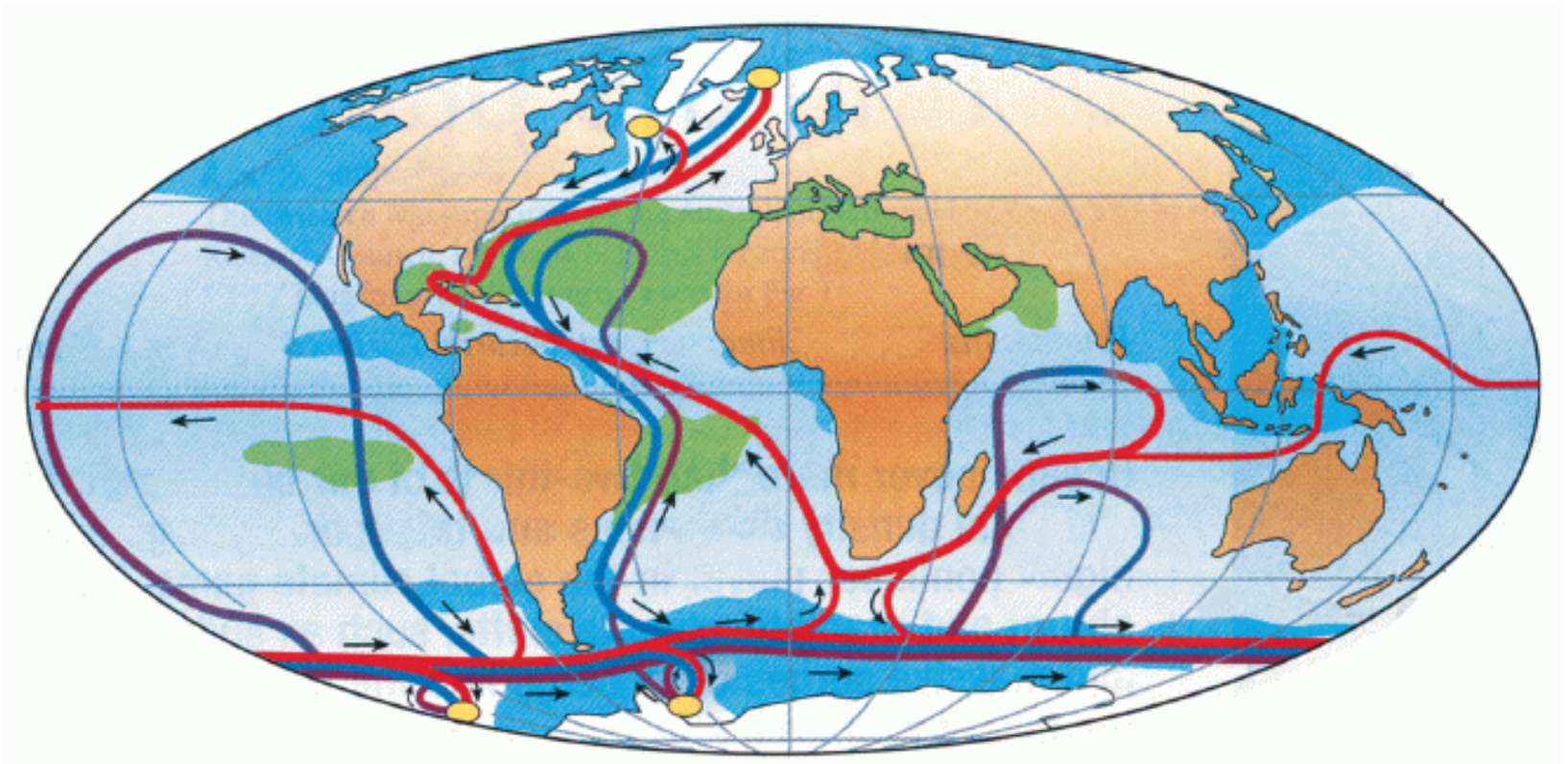


地球惑星科学入門p292

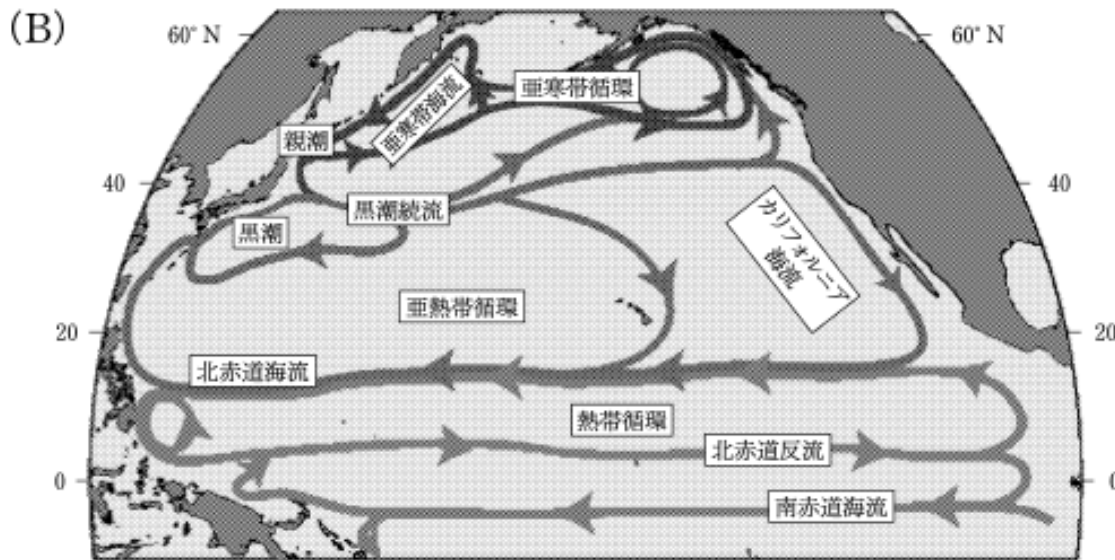
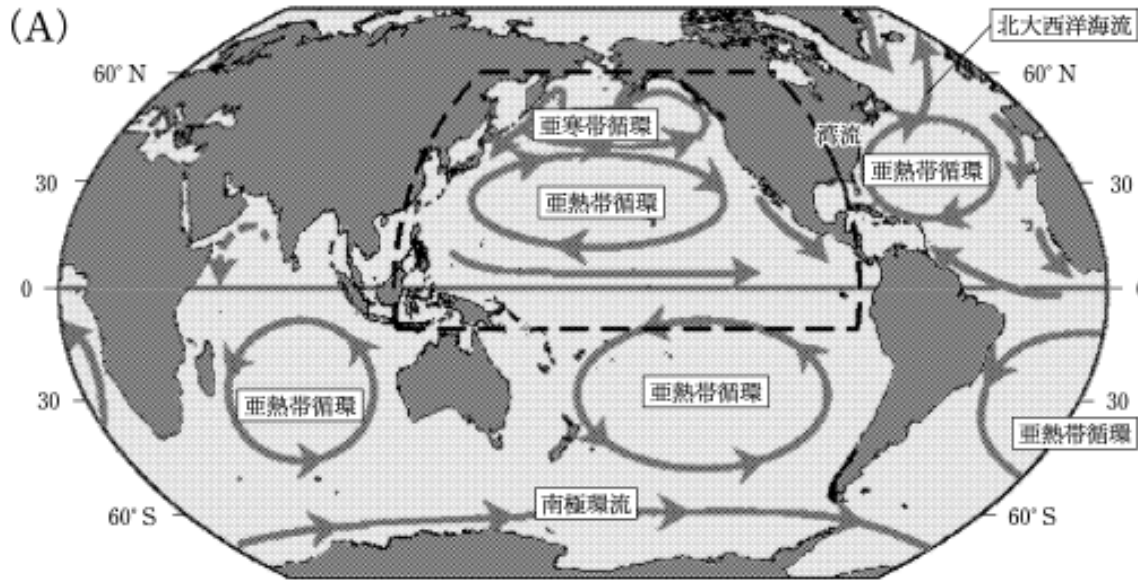
- 南極大陸周辺とグリーンランド沖で沈み込む
- 高緯度では水温が低いため密度が高い

今日の計算問題

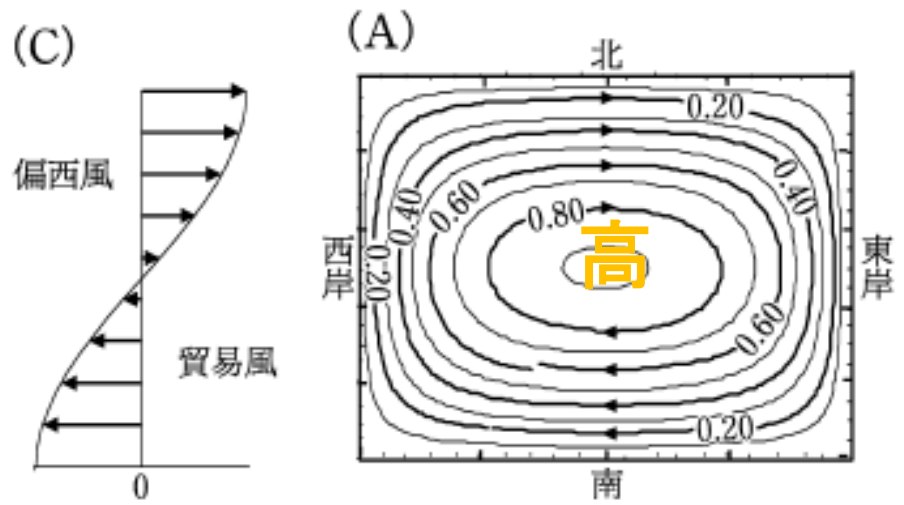
- 深層水の流れのタイムスケールを求めなさい
 - 深層水の水平方向流速: 1 cm/sec



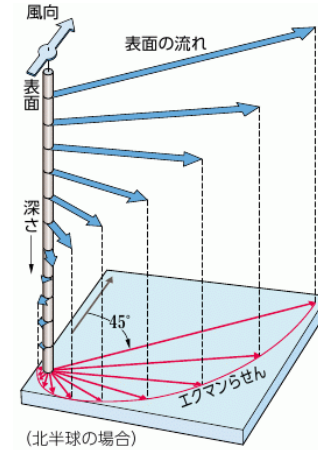
海洋の表層の循環：風成循環



風により作られる海洋表層循環

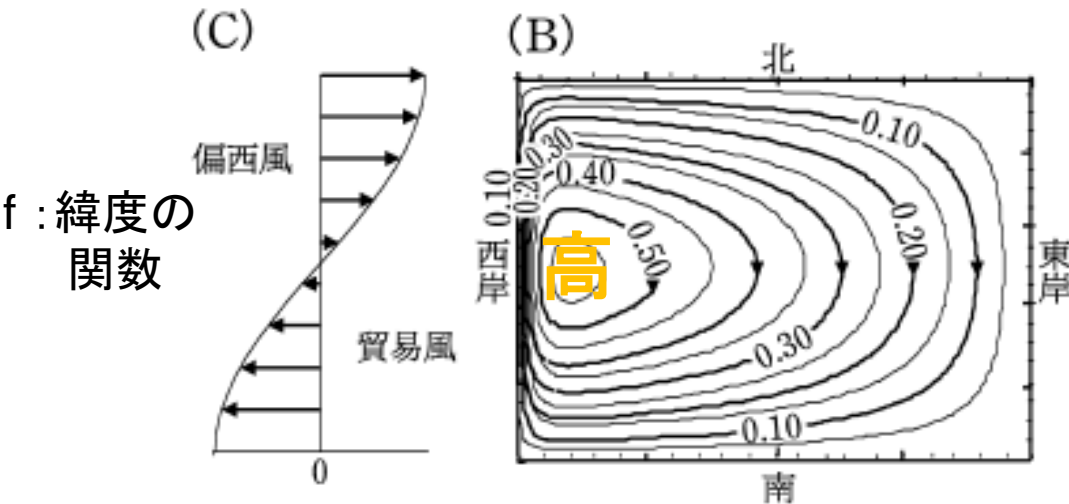


海洋表層の流れ: エクマン吹送流

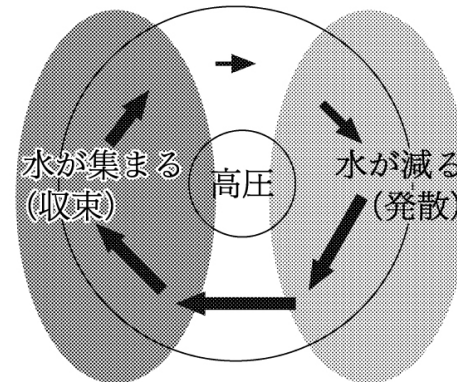


エクマン層内で平均すると風に対して直角右方向(北半球)への輸送

地学図表P.177



f の緯度変化がある場合の地衡流



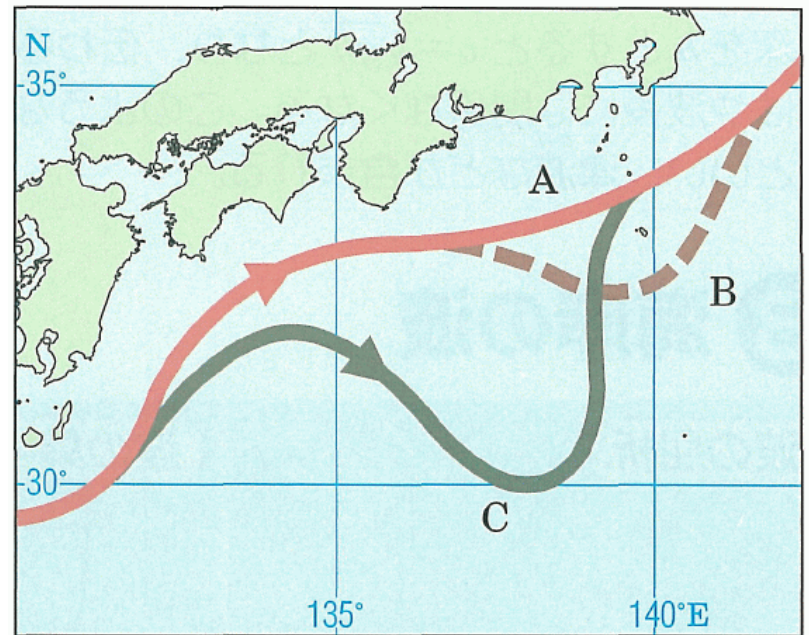
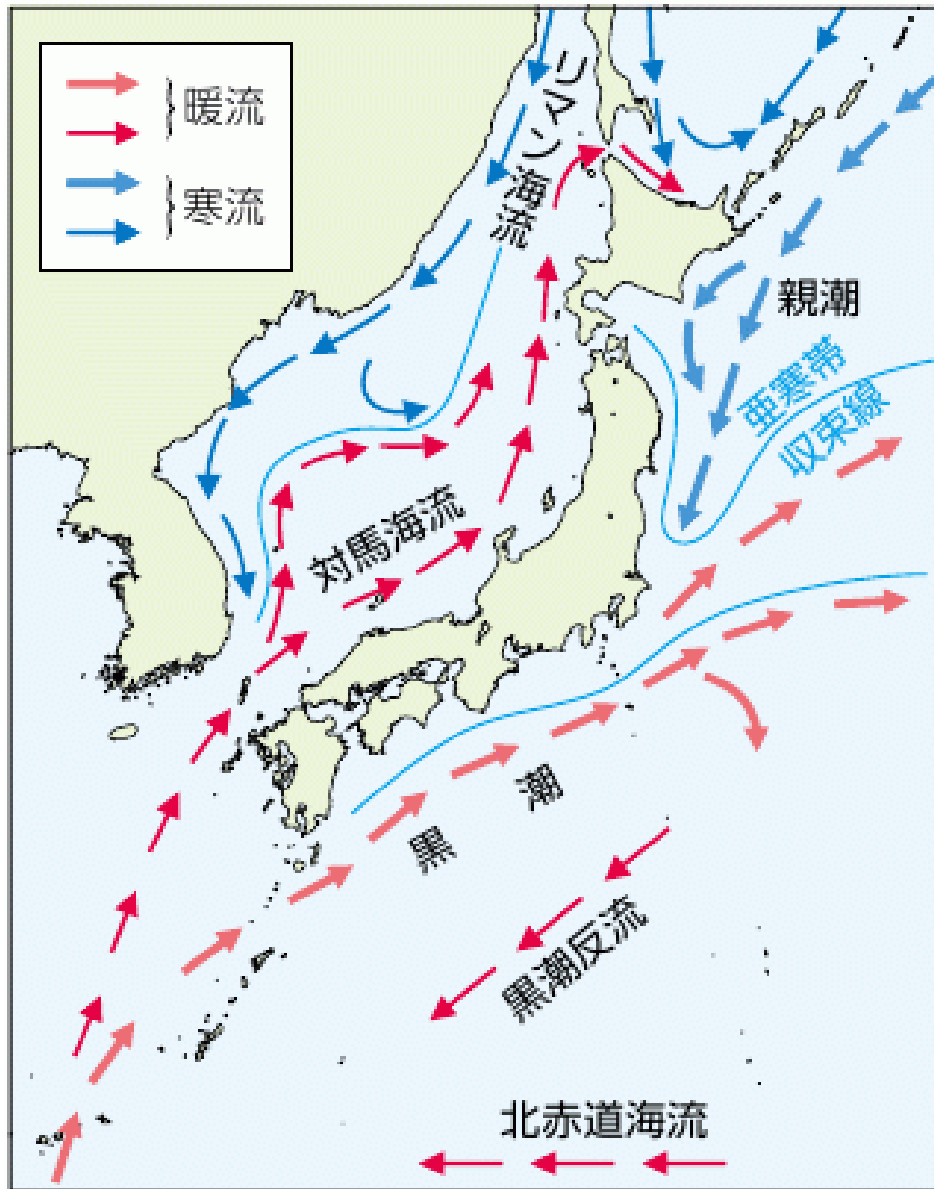
f は高緯度ほど大きい

$$fv = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

地球惑星科学入門p288

地球惑星科学入門p289

日本付近の海流

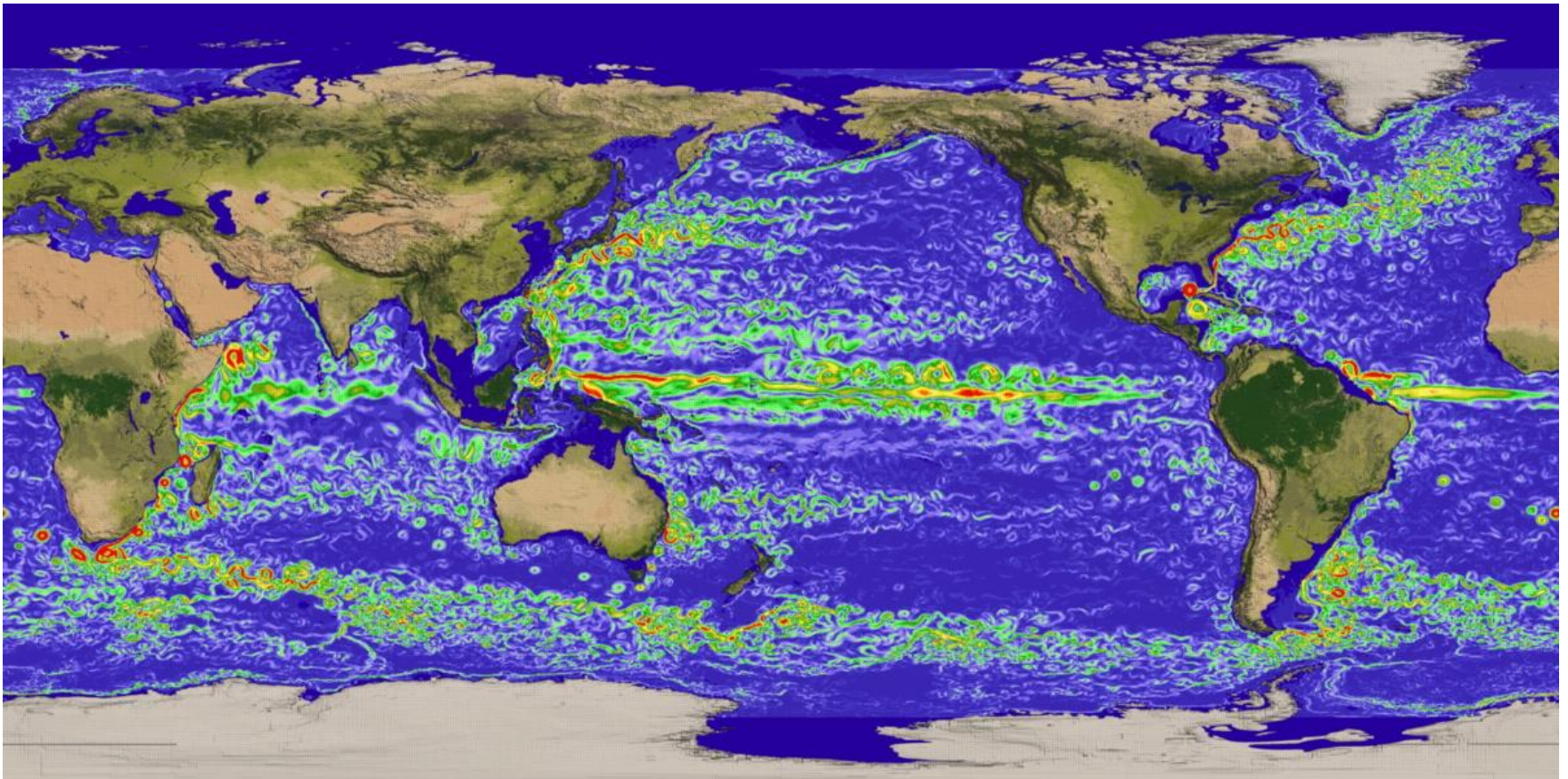


地学図表P.176

「実際の」海洋の流れ

地球シミュレータを使った計算結果

0.1 度メッシュ計算で得られた水深100mにおける流速の瞬間値
寒色ほど遅く、暖色ほど速い



潮汐

潮汐による
生じる
現象の例



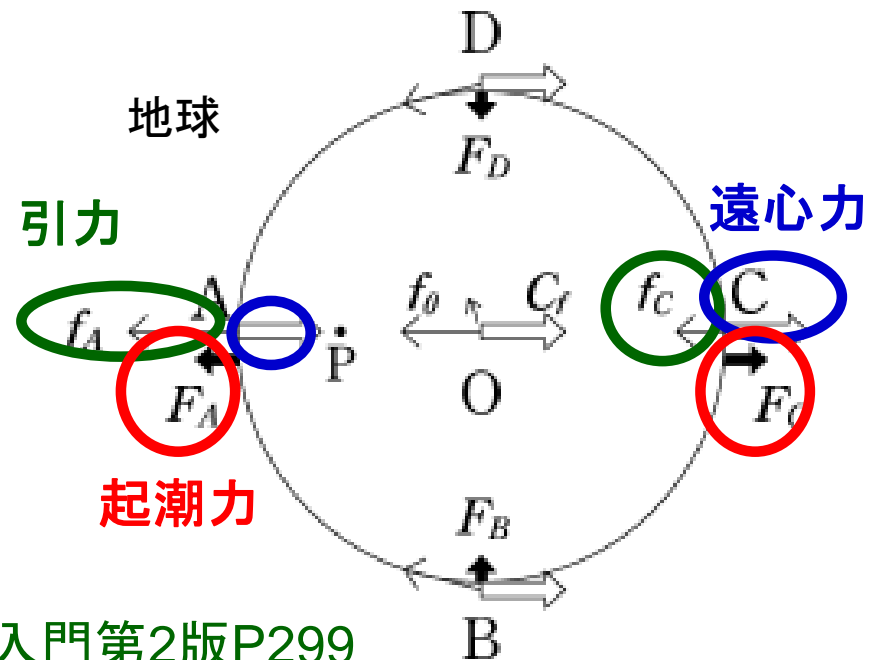
満潮



干潮

地学図表
P.179

潮汐現象
の説明

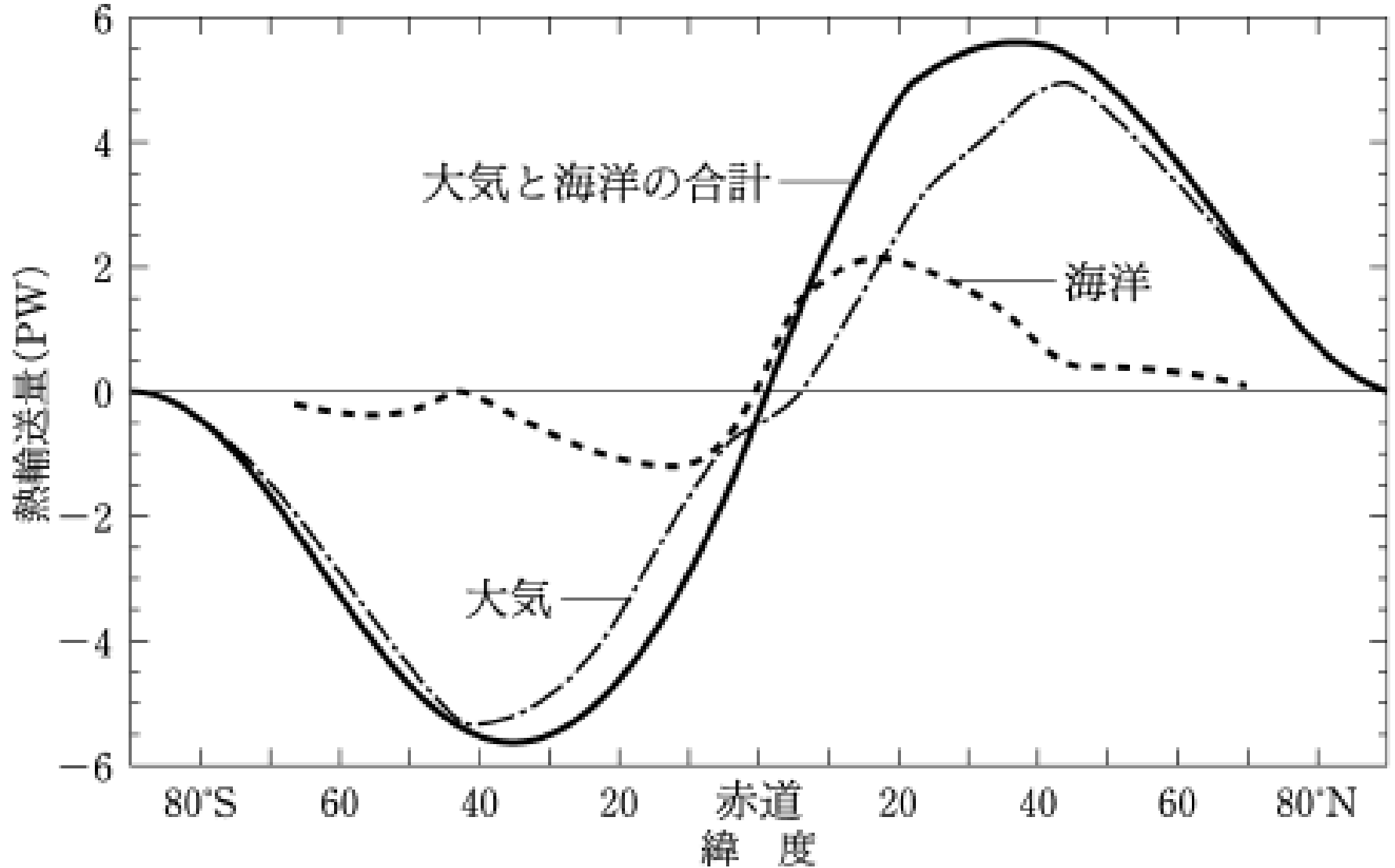


地球惑星科学入門第2版P299

ミニレポート

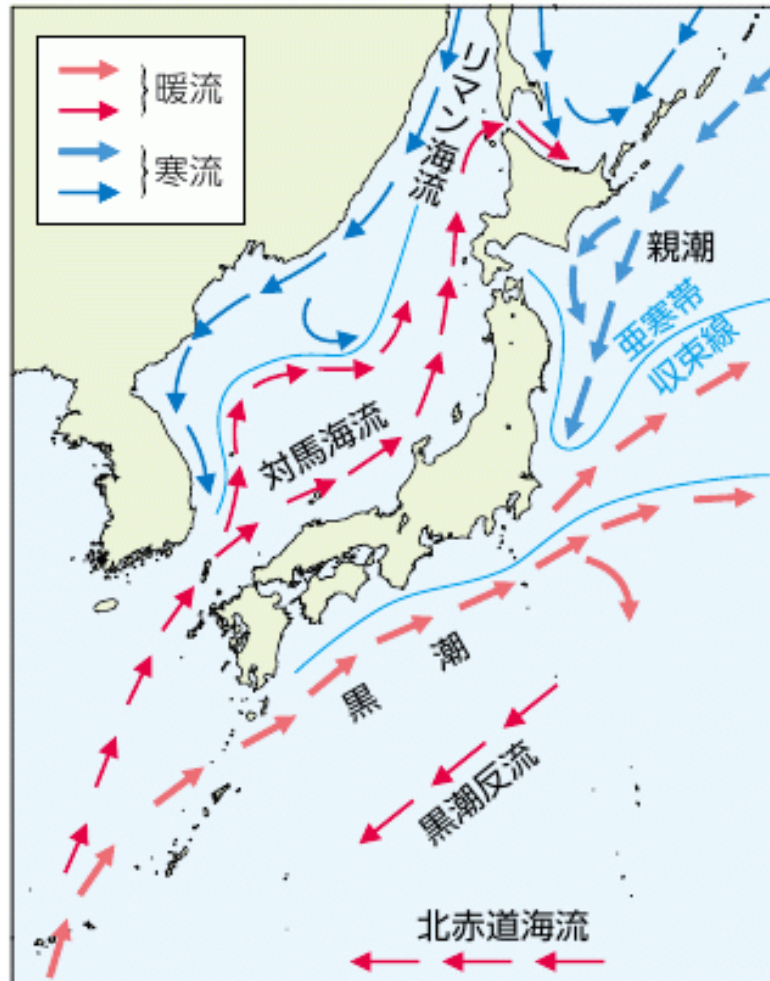
- 地球から水が無くなると大気のエネルギー収支・温度分布・物質分布・循環・その他はどのように変化するか
 - 思いついたただけ複数の回答を書いてください
 - 理由もつけて説明してください

復習：熱の輸送

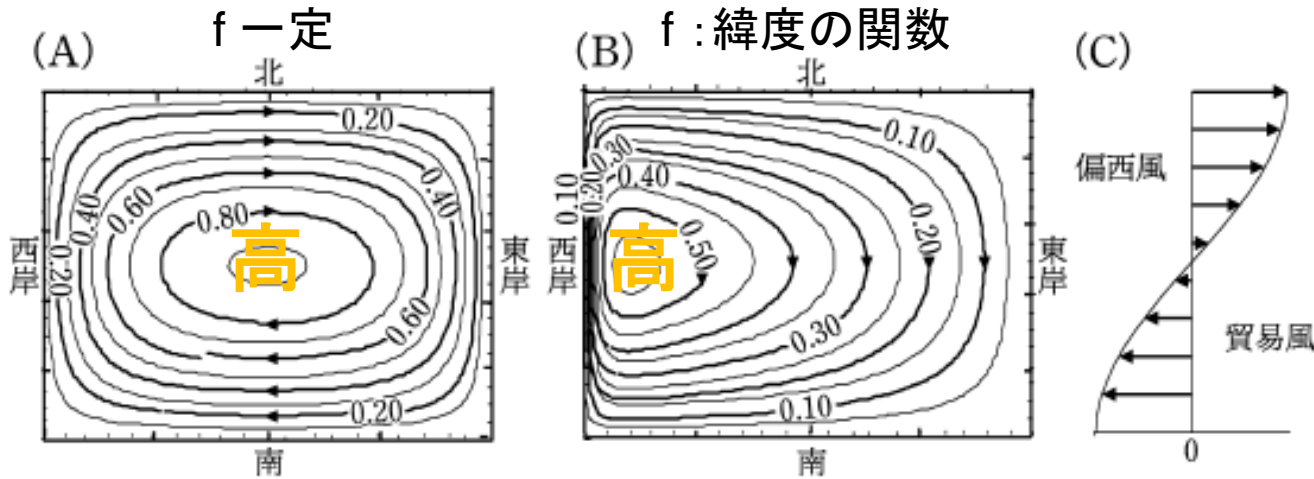


今日のテーマ

- 海の流れはどのように生じるか？
- 参照：地球惑星科学入門23章、24章、25章



風により作られる海洋表層循環

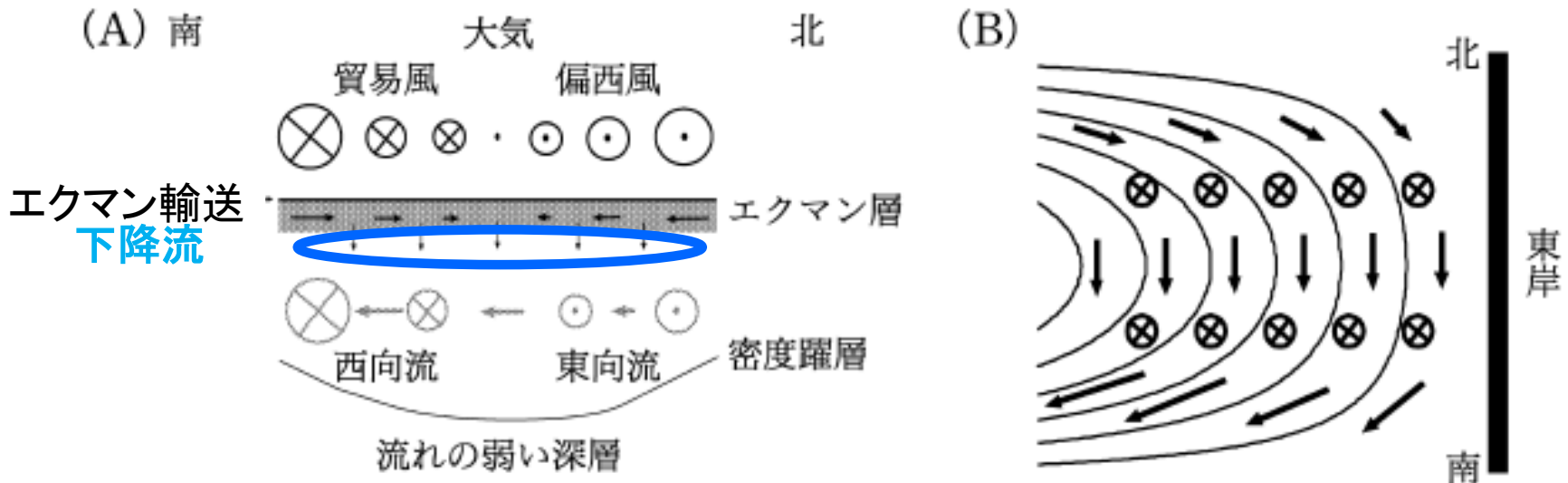


地衡流平衡

$$fv = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

f は高緯度
ほど大きい

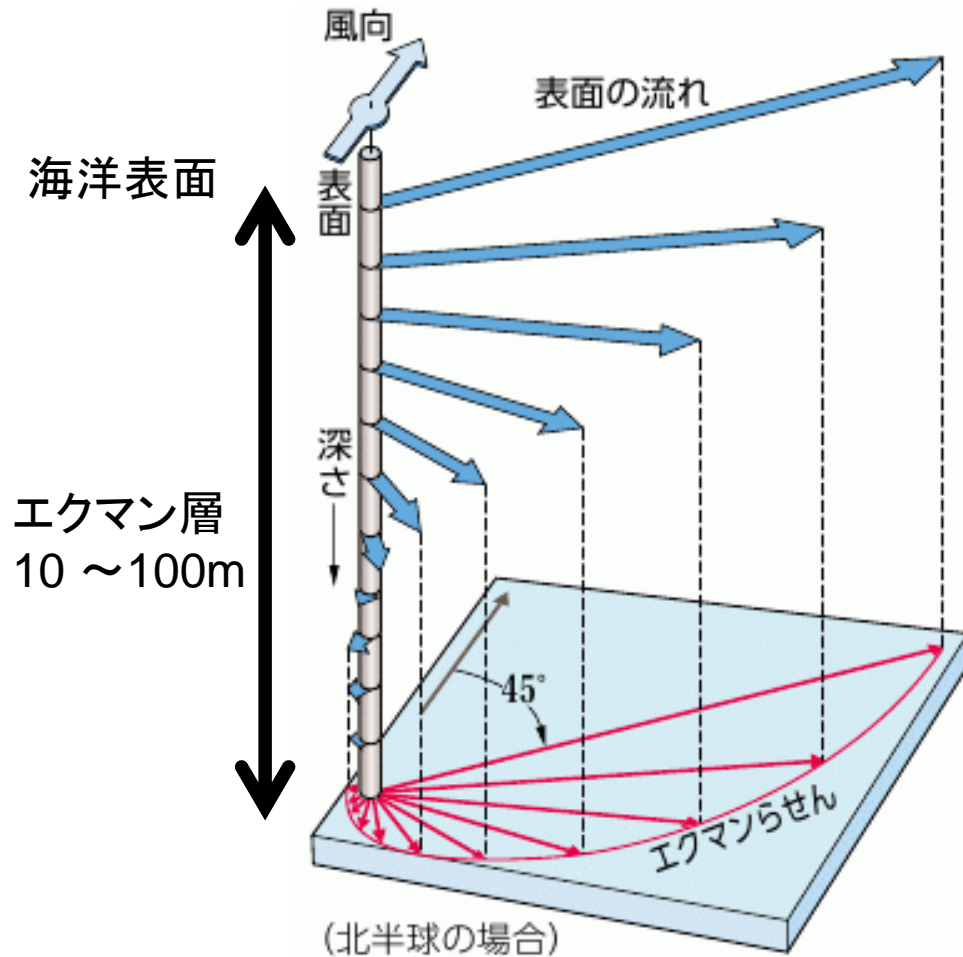
地球惑星科学入門p288



地球惑星科学入門p290

海洋表層における流れ

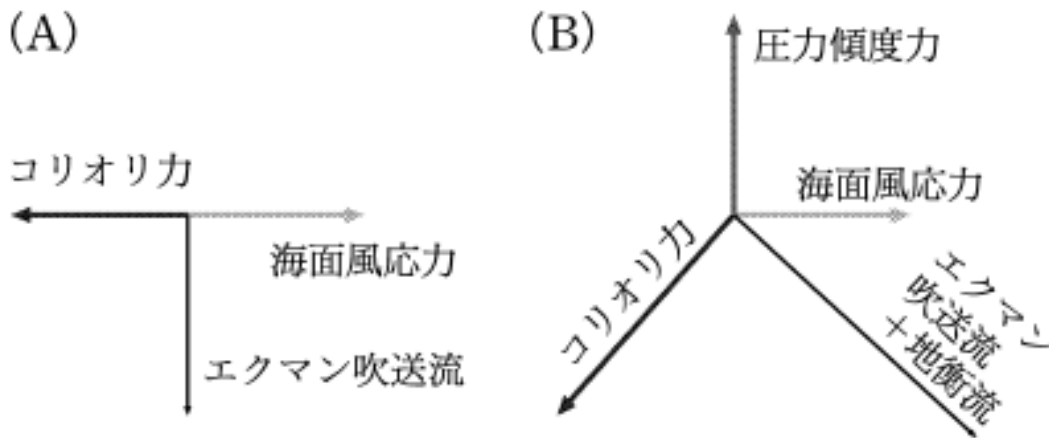
エクマンらせん



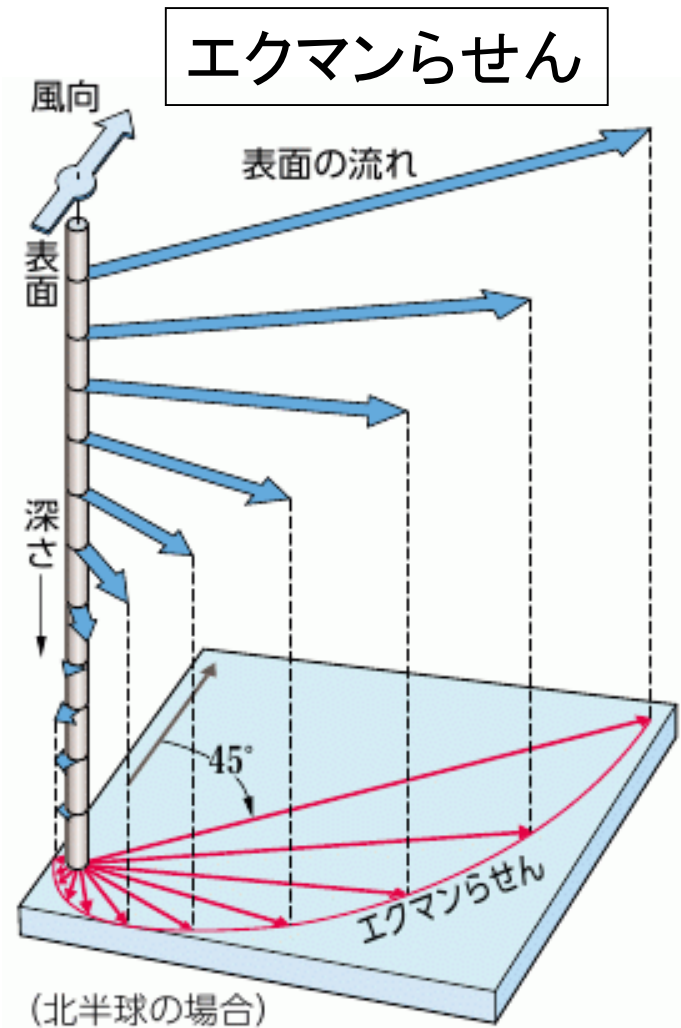
エクマン層内で
平均すると
風に対して
直角右方向
(北半球)
への輸送

海洋表層における流れ

海洋表層における力のつりあい

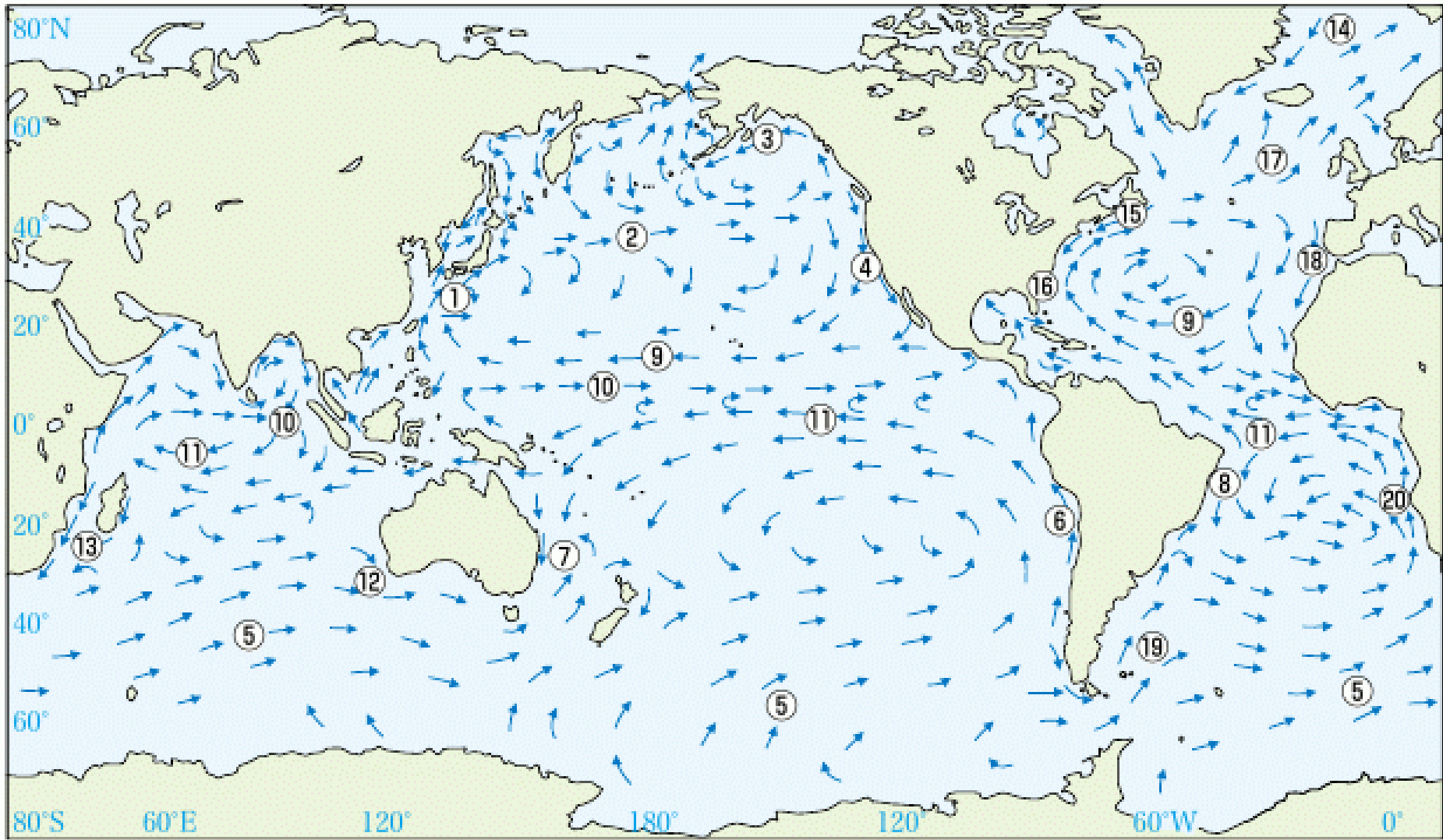


地球惑星科学入門p287



地学図表P.177

世界の海流



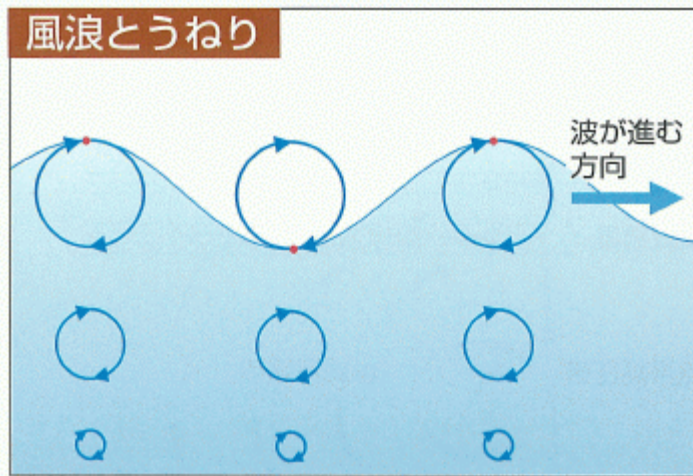
潮汐と潮流

地学図表P.179



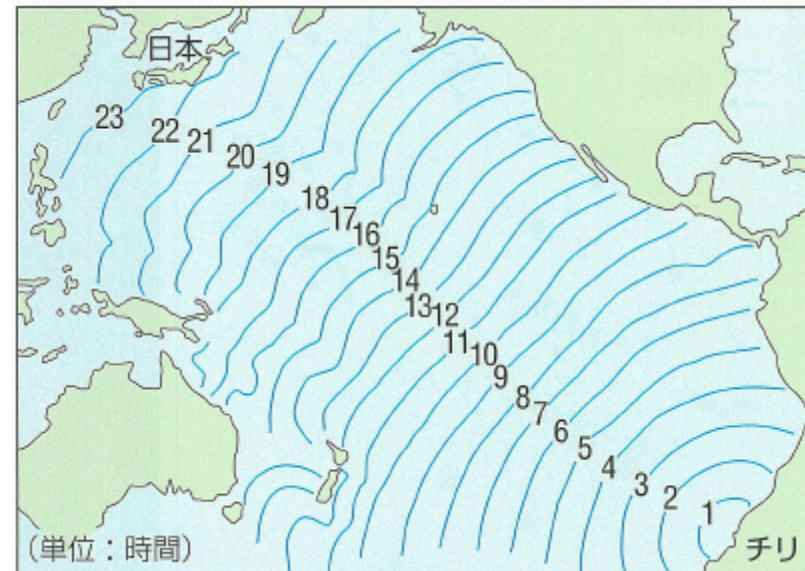
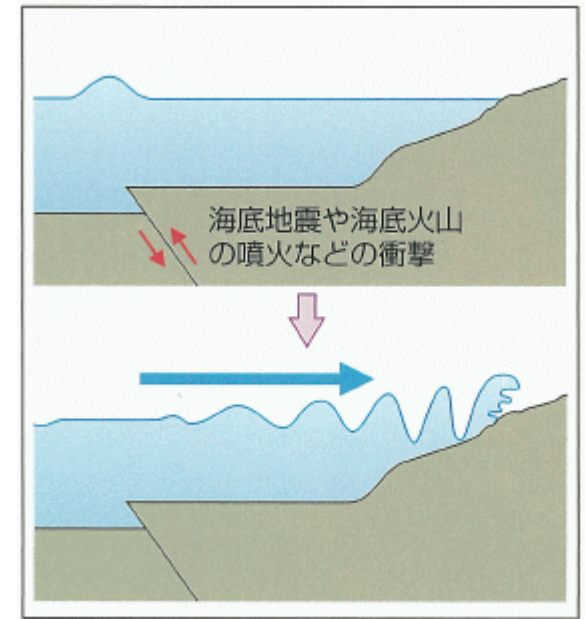
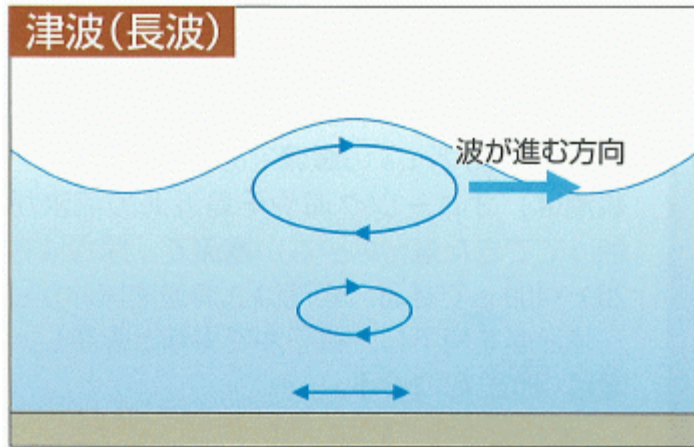
風浪とうねり

地学図表P.106



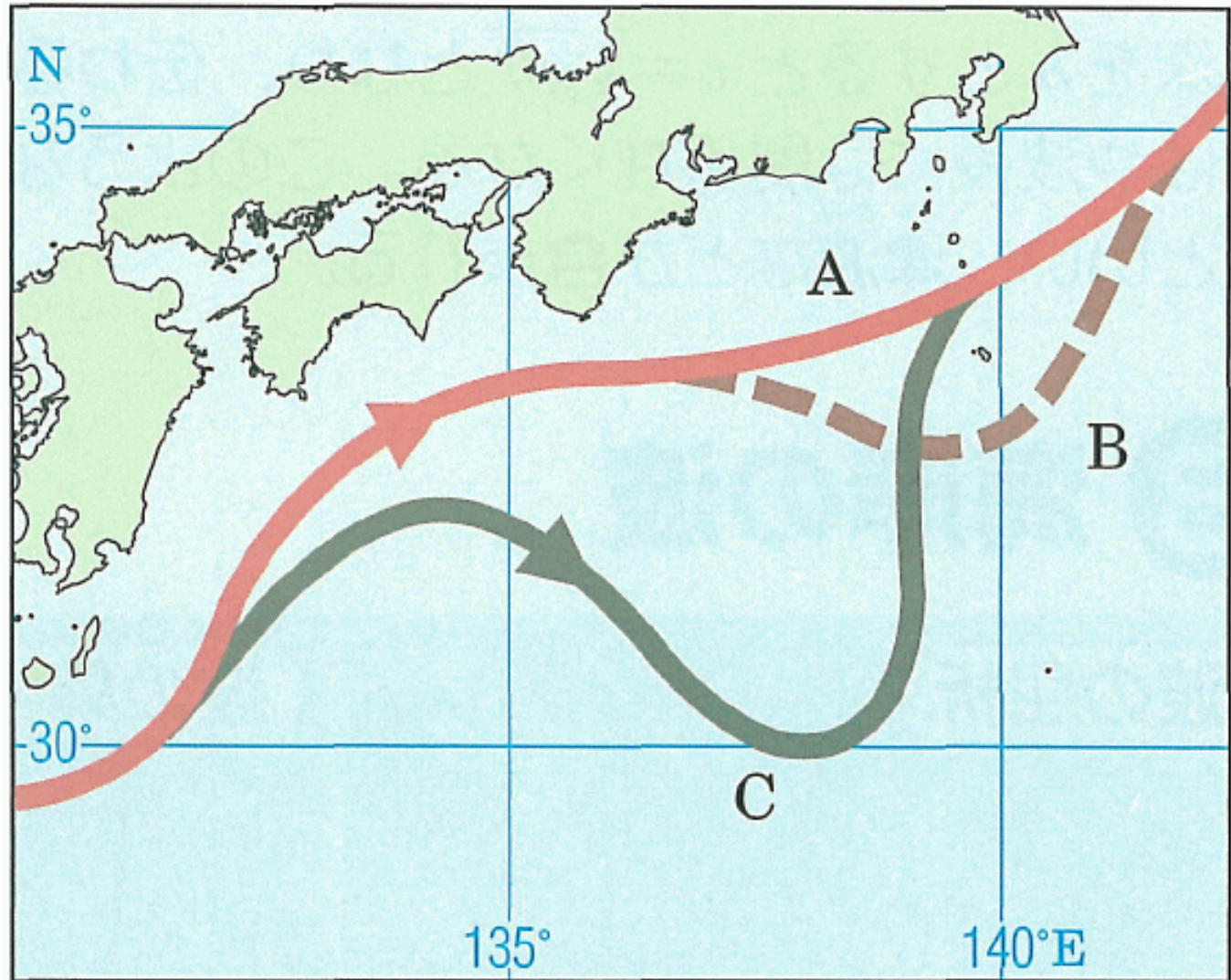
津波

地学図表P.106



黒潮の蛇行

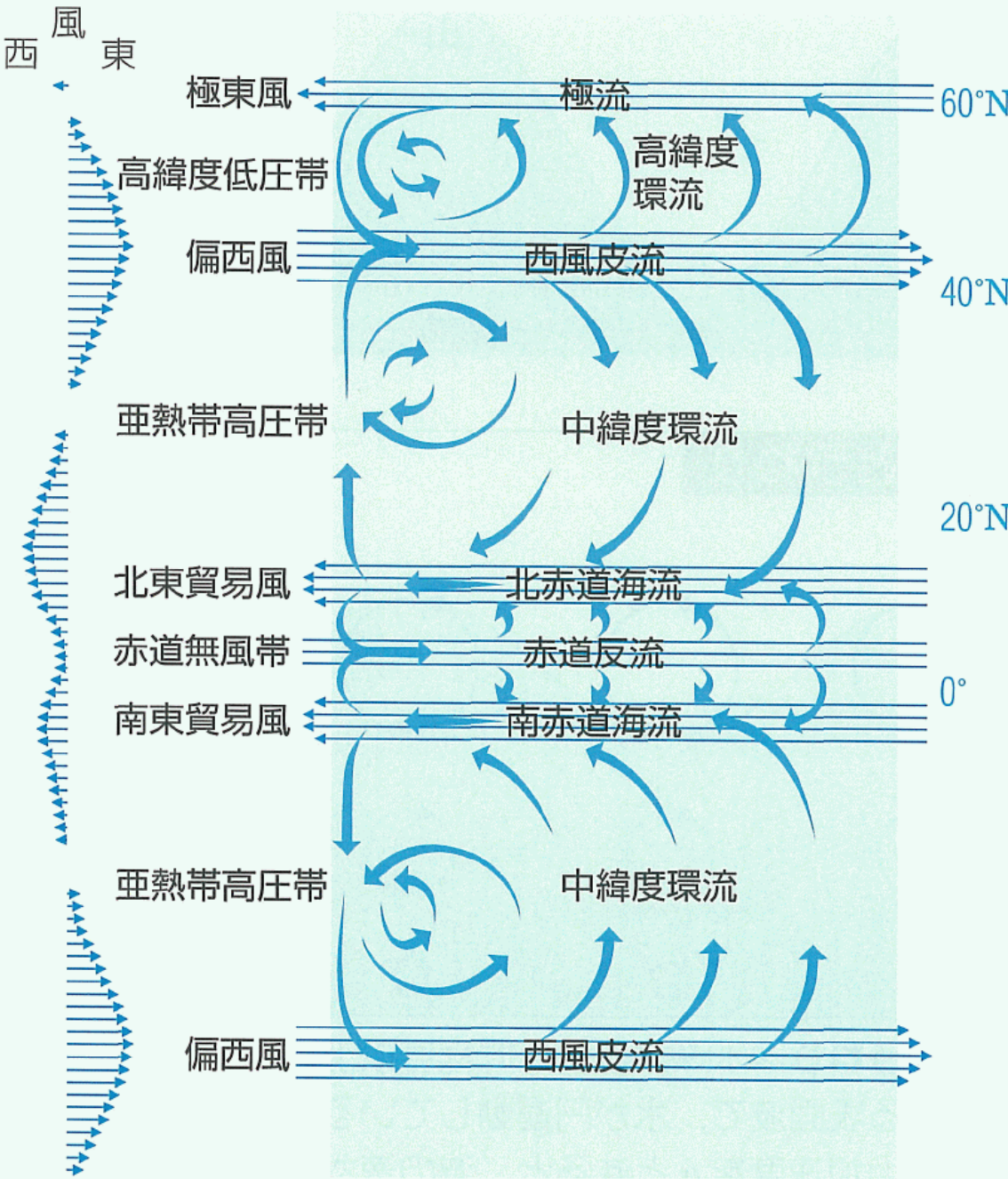
地学図表P.105



海流系と風系

海流系と風系

地学図表P.105



海洋の構造

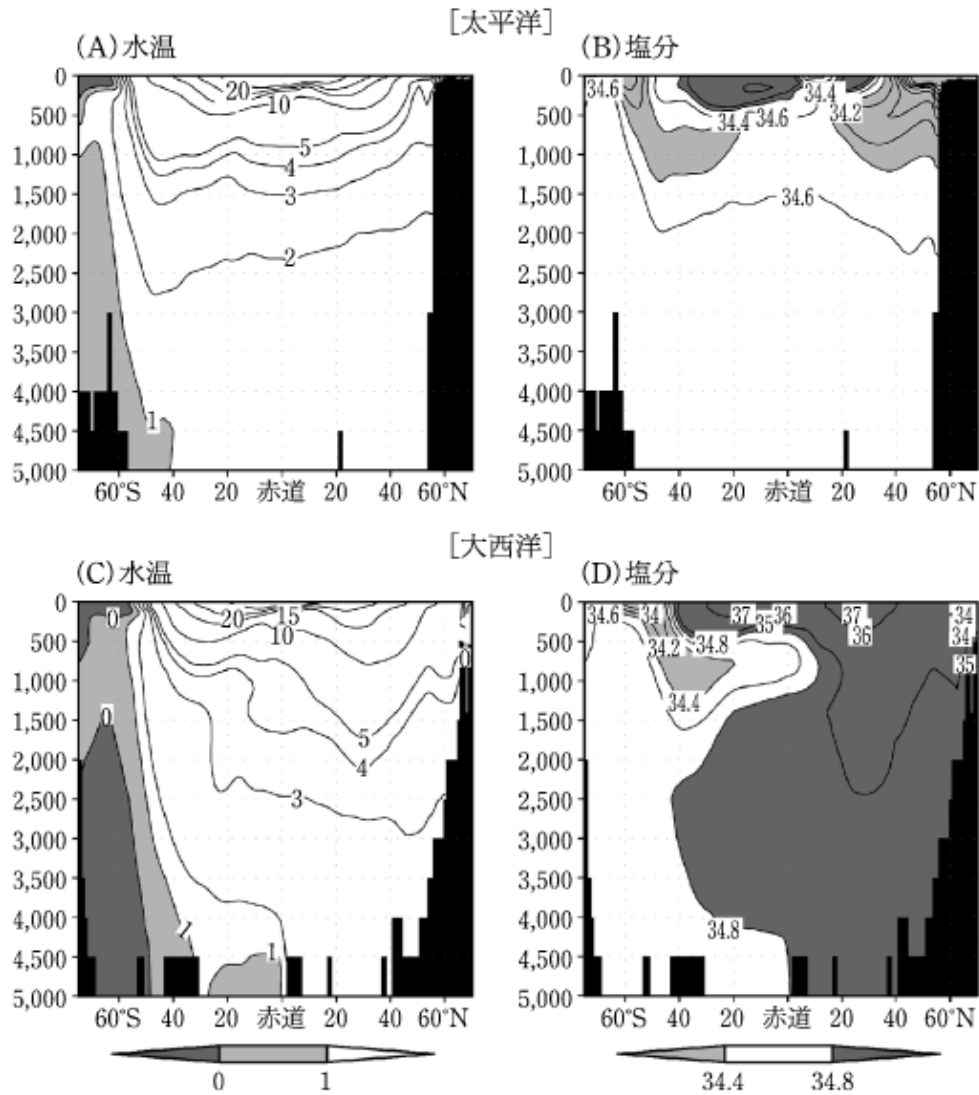
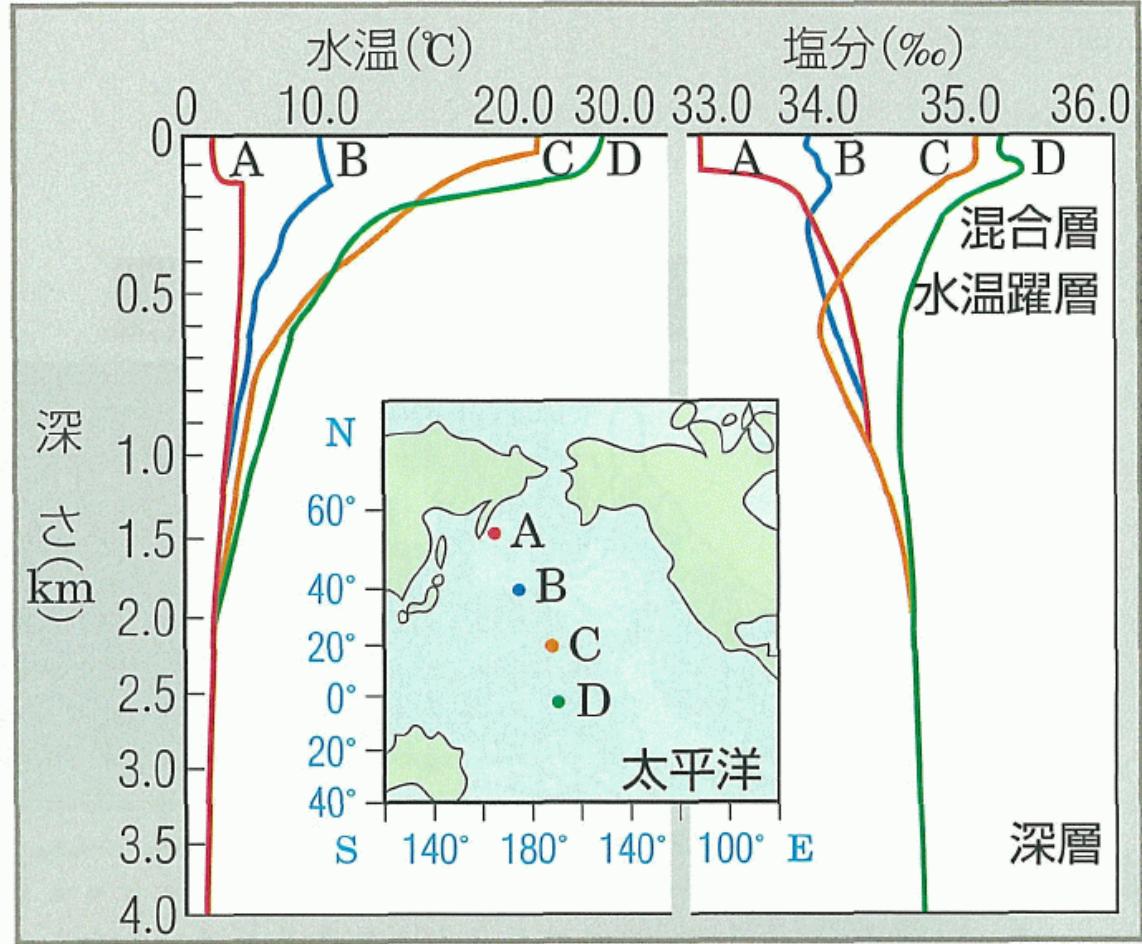
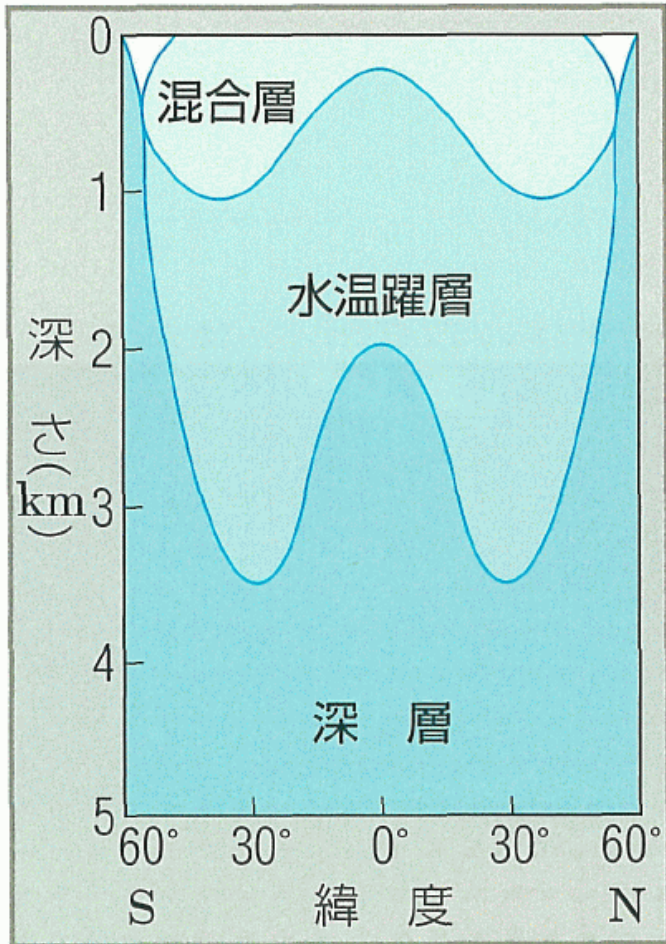


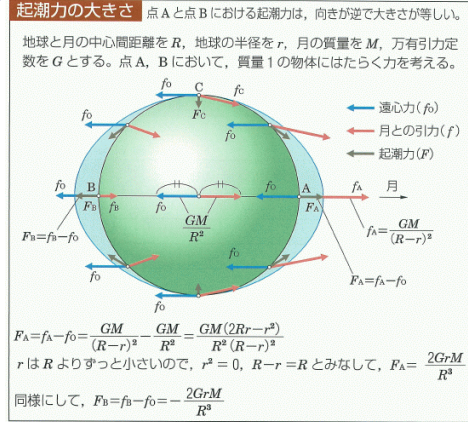
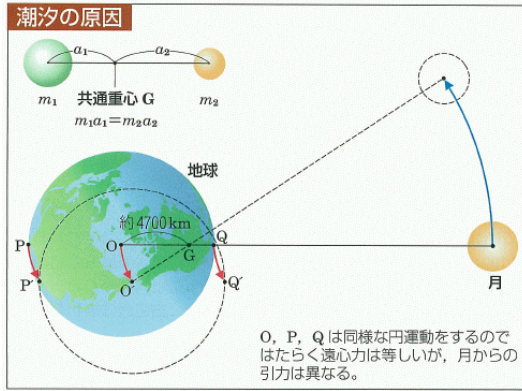
図 23.4 太平洋(170°~160°W 平均, 上段)と大西洋(30°~20°W 平均, 下段)の水温(左列)と塩分(右列)の鉛直南北断面図。等値線は水温については 5°C 以下(以上)で 1°C(5°C) ごと, 塩分については 35 以下(以上)で 0.2(1) ごとである。黒塗りは海底地形を示す。

海洋の垂直構造

地学図表P.103



潮汐の原因



地学図表P.107

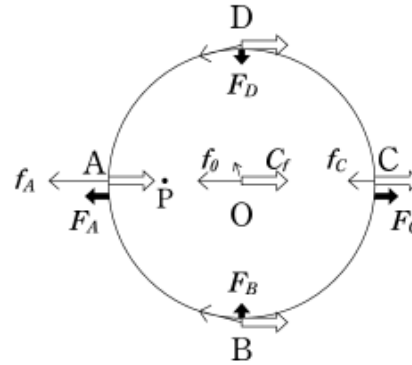
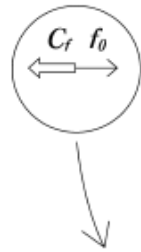


図 25.7 引力 ($f_0 \cdot f_A \cdot f_c$) と遠心力 (C_t : 白矢印) と起潮力 ($F_A \cdot F_B \cdot F_C \cdot F_D$)。O は地球の中心、P は地球と月の共通重心を表す。P は地球の内部に位置する。

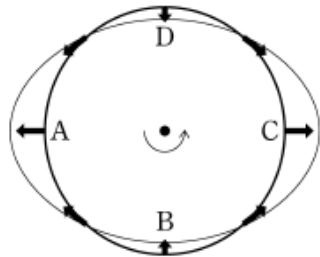
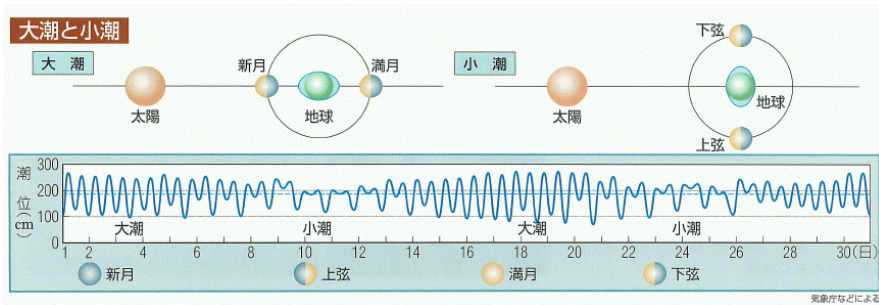


図 25.8 起潮力により変形を受け、回転楕円形となる平衡海面

大潮と小潮



地学図表P.107

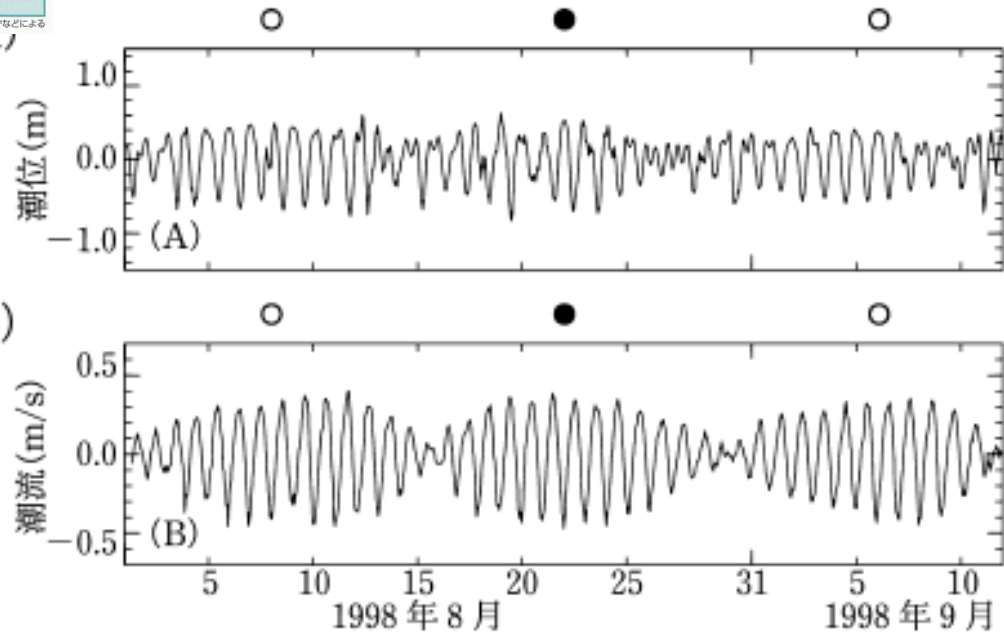
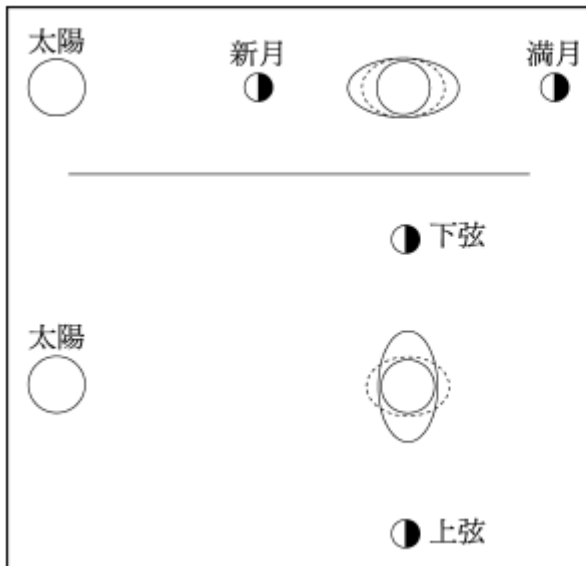


図 25.6 サハリン島東岸沖の (A) 潮位と (B) 潮流の南北成分。

○は満月，●は新月を示す。

図 25.9 大潮(上段)と小潮(下段)のときの月の起潮力による平衡海面(実線)と太陽の起潮力による平衡海面(点線)

海流の鉛直構造

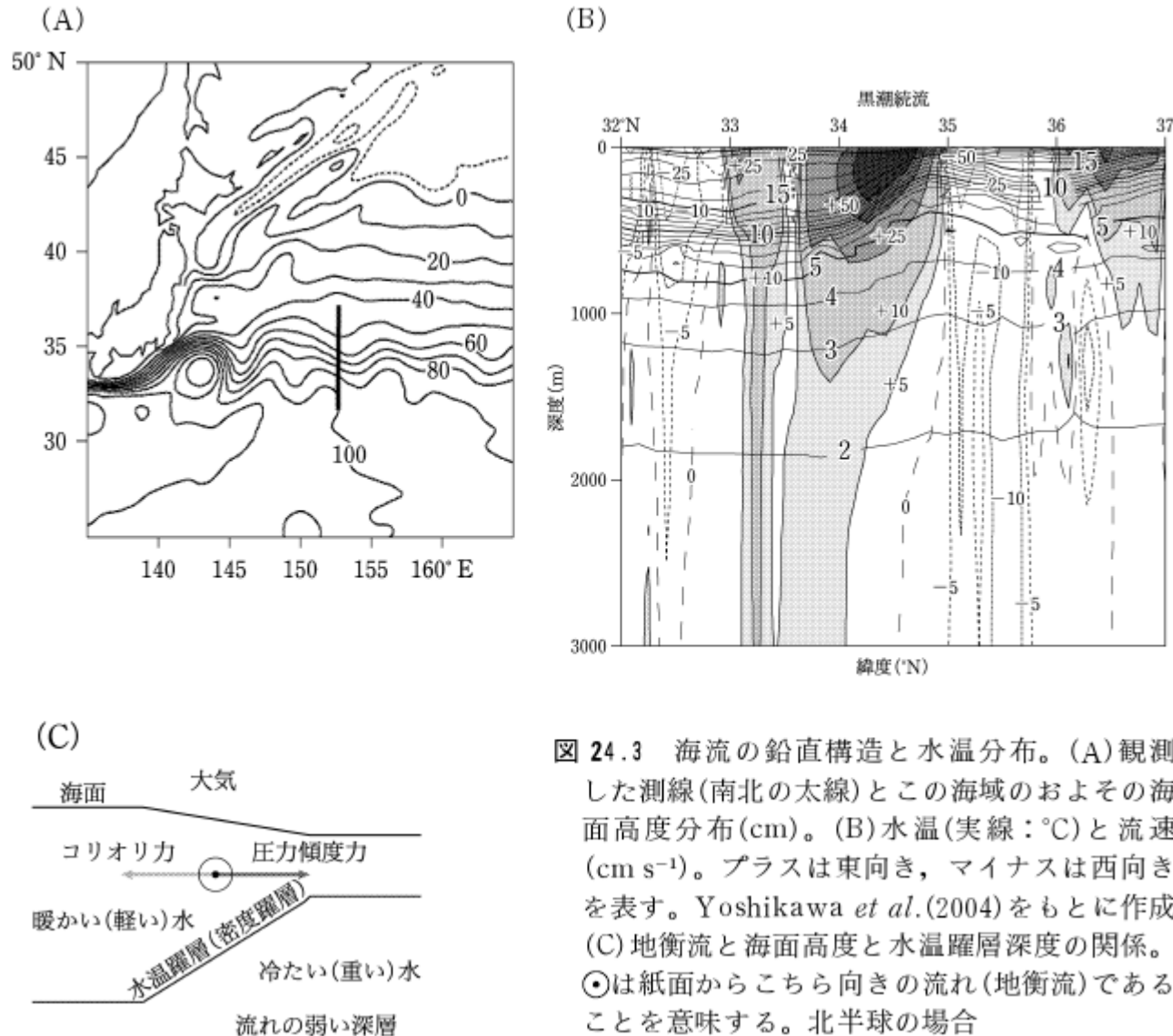
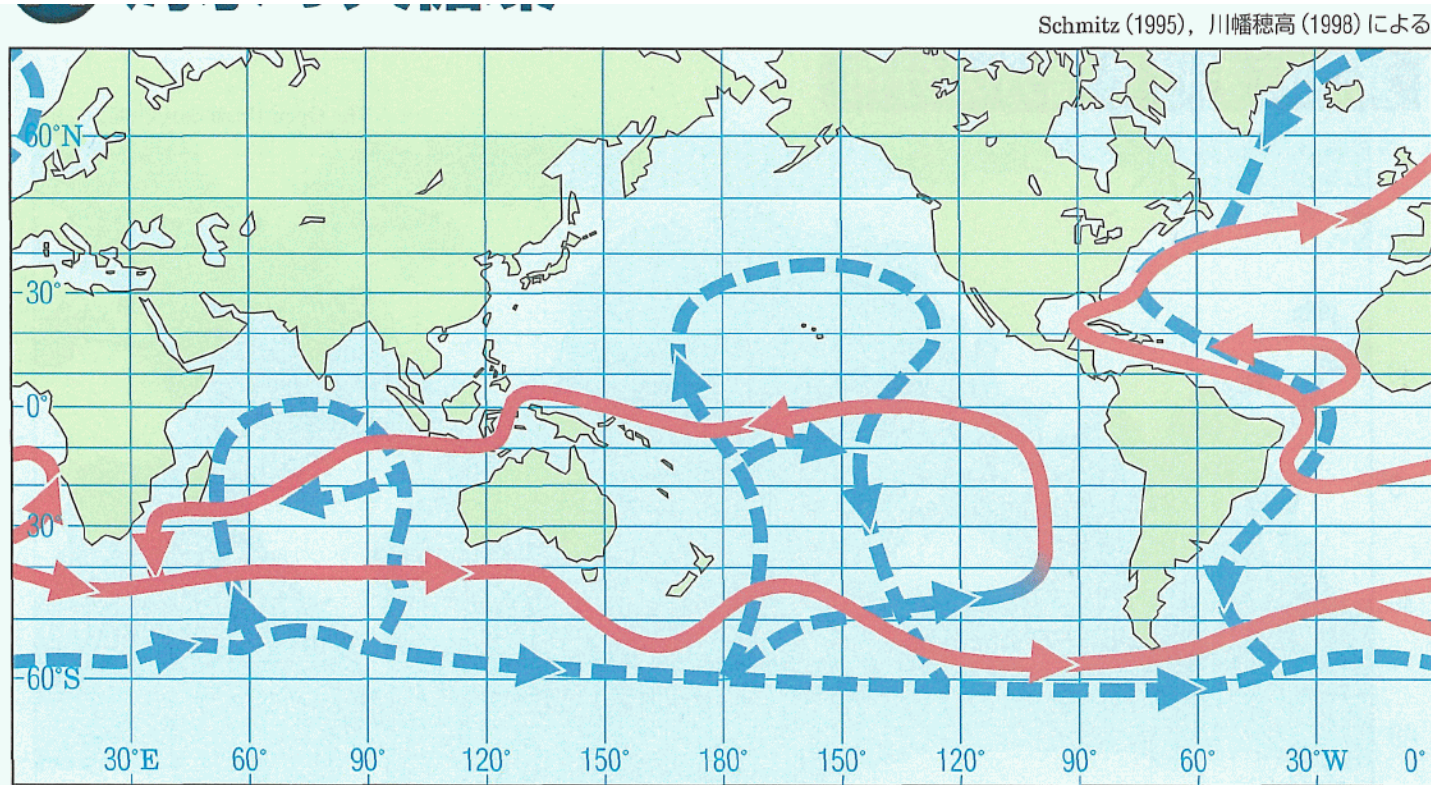


図 24.3 海流の鉛直構造と水温分布。(A)観測した測線(南北の太線)とこの海域のおよその海面高度分布(cm)。(B)水温(実線:°C)と流速(cm s⁻¹)。プラスは東向き、マイナスは西向きを表す。Yoshikawa *et al.*(2004)をもとに作成。(C)地衡流と海面高度と水温躍層深度の関係。⊙は紙面からこちら向きの流れ(地衡流)であることを意味する。北半球の場合

海水の大循環

地学図表P.104



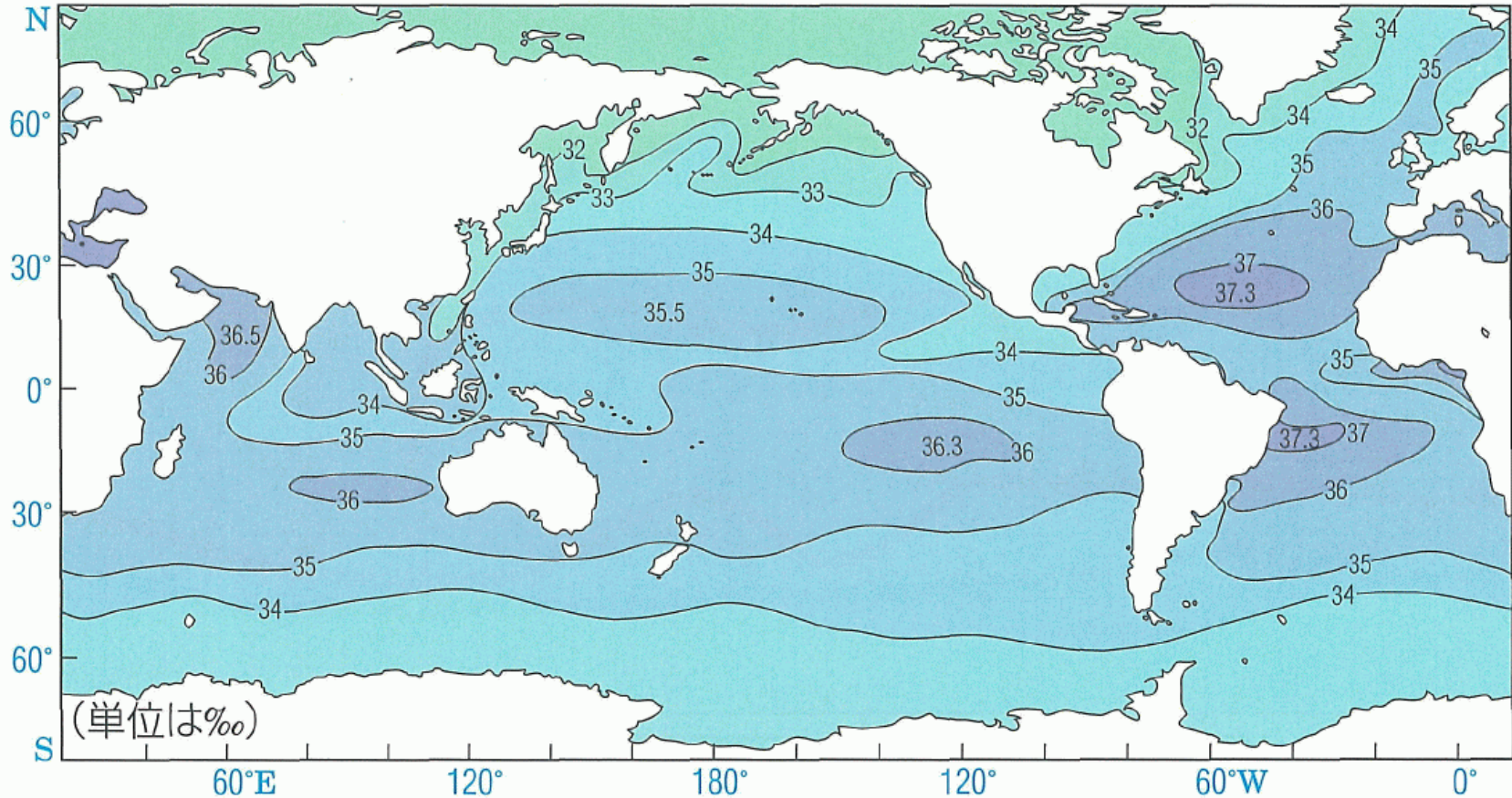
- ブロッカーのコンベヤーベルト
- 深層の水は再び表面に湧き上がる(湧昇)

海面塩分の分布

地学図表P.103

海面における塩分の分布

The Open University (1989)による



亜熱帯(緯度20~30度)では塩分濃度が大きい

海面温度

地学図表P.102

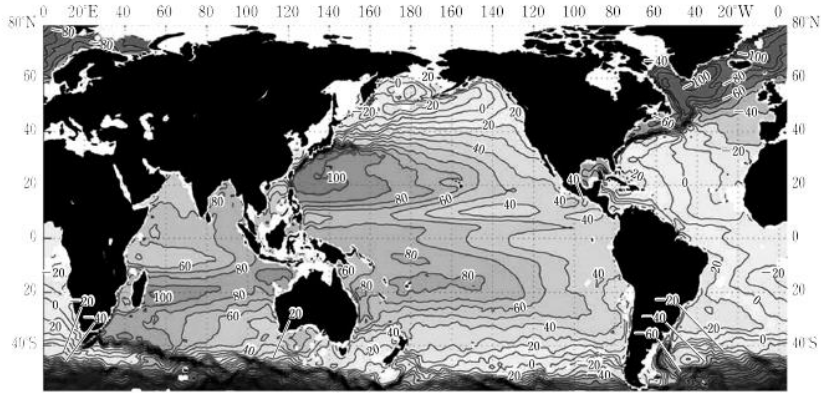
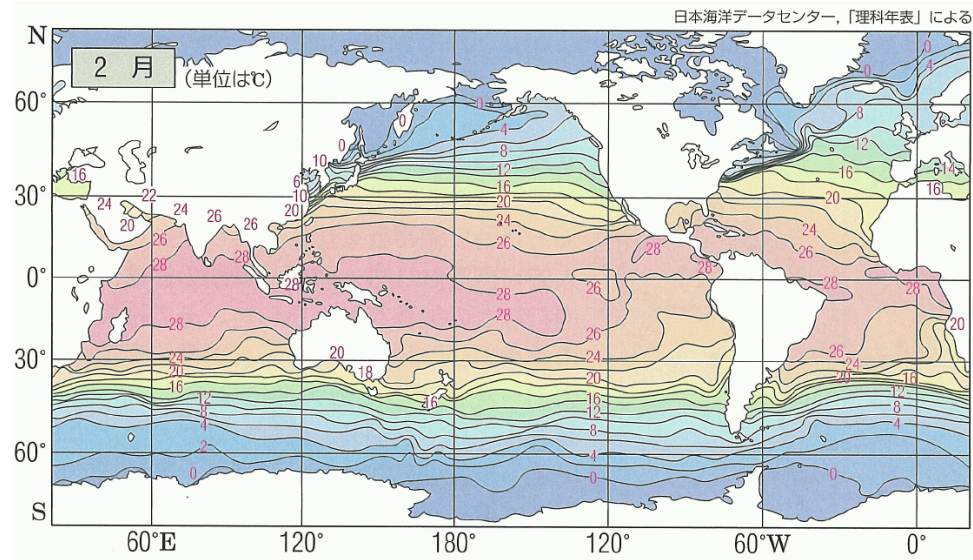


図 24.2 ジオイドを基準とした海面高度の分布 (cm) (Niiler *et al.*, 2003 をもとに作成)。
灰色が濃いほど海面が高い。



地球惑星科学入門p228

世界の海

表 23.1 4大洋と主な付属海の面積・平均水深・最大水深。大洋には付属海を含めていない。

海域	面積(10 ⁶ km ²)	平均水深(m)	最大水深(m)
全海洋	362.033	3,729	10,920
太平洋	166.241	4,188	10,920
濠亜地中海	9.082	1,252	7,440
ベーリング海	2.261	1,492	4,097
オホーツク海	1.392	973	3,372
黄海および東シナ海	1.202	272	2,719
日本海	1.013	1,667	3,796
大西洋	86.557	3,736	8,605
地中海	2.510	1,502	5,267
インド洋	73.427	3,872	7,125
北極洋	9.485	1,330	5,440

海洋の観測



図 25.1 ロゼット採水システム

表層流の観測例

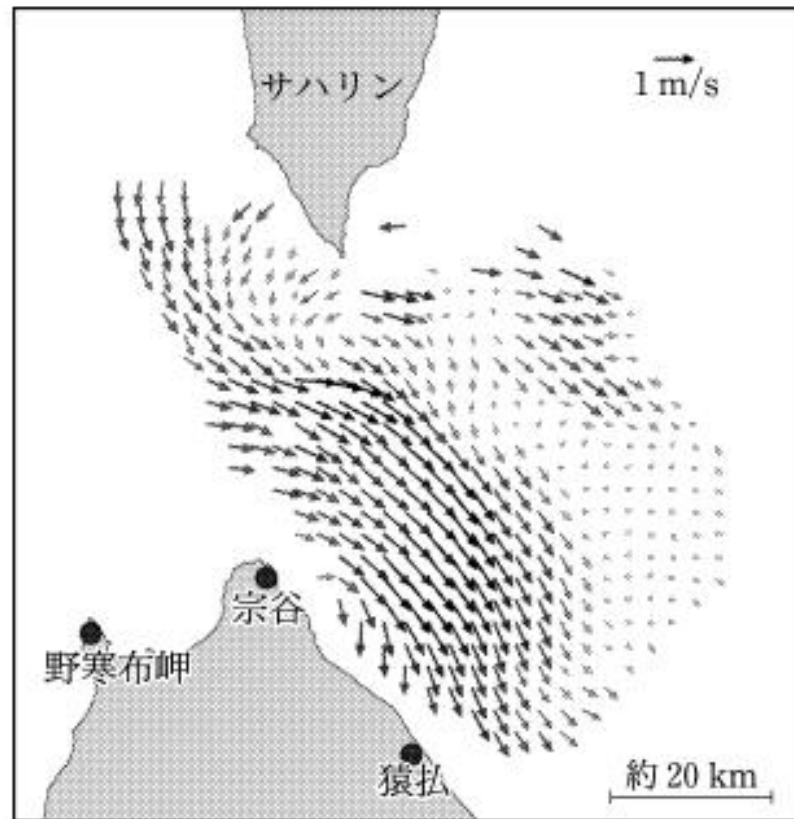


図 25.5 海洋 HF レーダーによる表層流の観測例 (Ebuchi *et al.*, 2006 をもとに作成)。空間分解能は約 3 km である。2003 年 8 月 17 日 20 時の例。毎時のリアルタイムデータは <http://wwwoc.lowtem.hokudai.ac.jp/hf-radar/index.html> にて公開されている。

海洋の観測

漂流ブイ

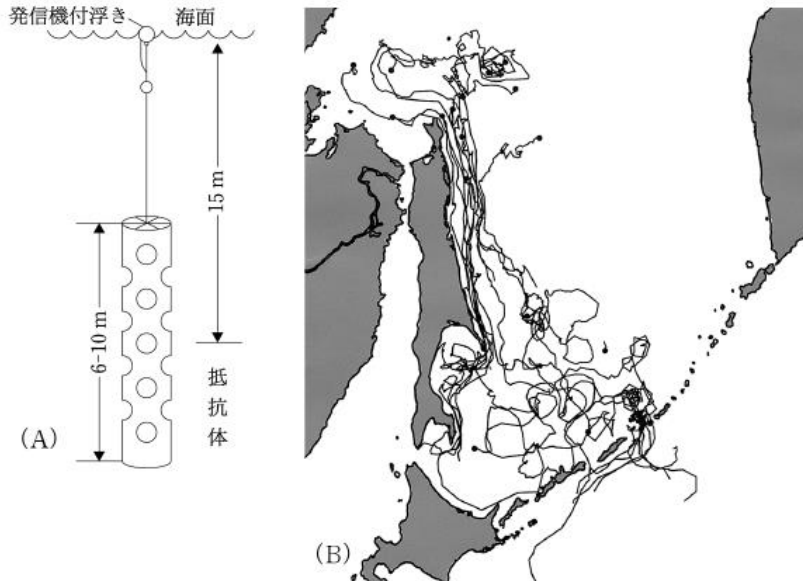


図 25.3 (A) 表層漂流ブイの形状。(B) オホーツク海に投下した 20 個のブイの軌跡 (Ohshima *et al.*, 2002 をもとに作成)。黒丸はブイ投入点で観測期間は 1999 年 8 月～2000 年 2 月である。

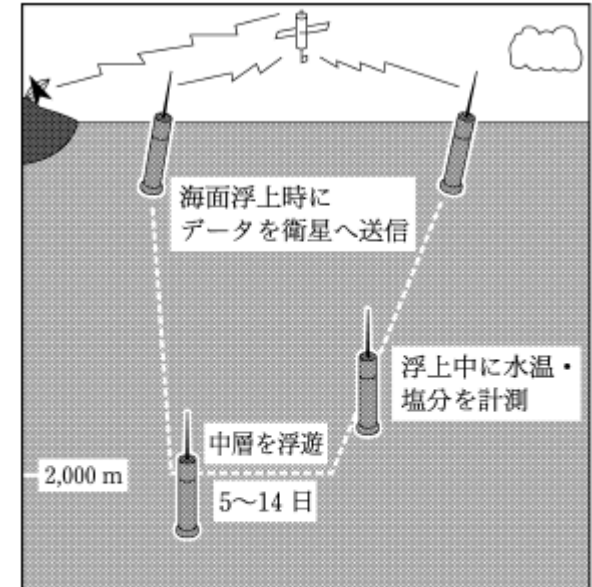
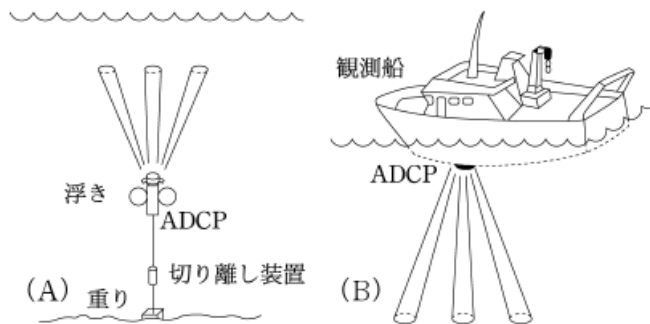


図 25.2 プロファイリングフロート。中層に浮遊し一定時間ごとに浮上して、その際の水温・塩分の鉛直プロファイルと位置とともに衛星を介して送る。



ADCP

フロート

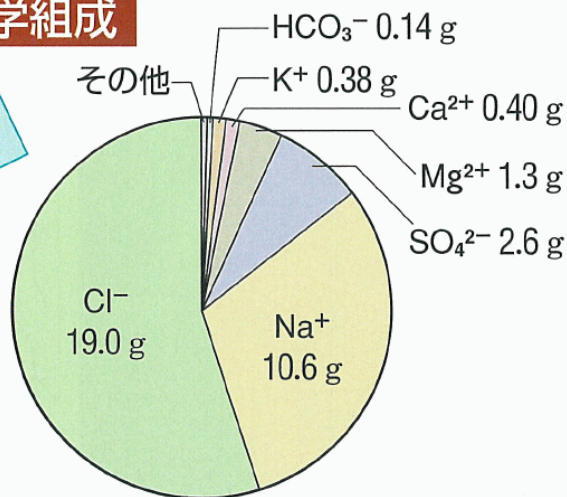
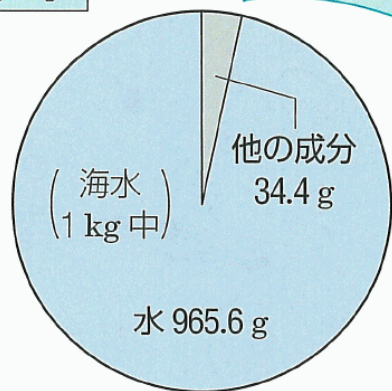
図 25.4 ADCP による流速の鉛直分布の観測(柳, 2002 に加筆)。(A) 係留系による長期連続観測, (B) 船底設置型

海水の量・海水の組成

地学図表P.102

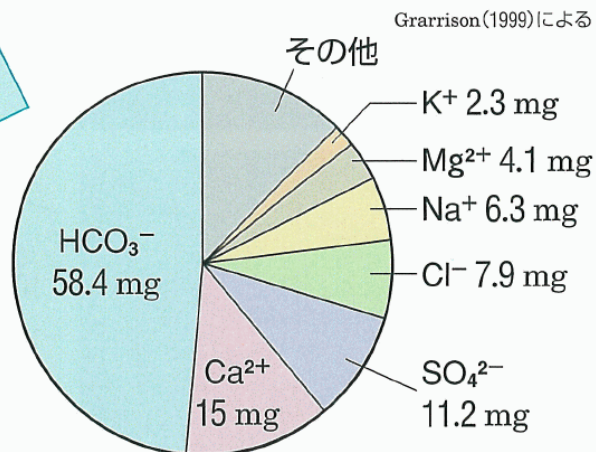
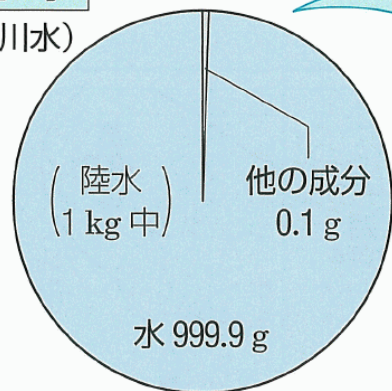
海水・陸水の総量とその化学組成

海水



陸水

(河川水)



Garrison(1999)による

Livingston(1963)による

● 質量

– 大気: 10¹⁸kg

– 海洋: 10²¹kg