

流体地球科学 第1回

東京大学 大気海洋研究所 准教授
藤尾伸三

<http://ovd.aori.u-tokyo.ac.jp/fujio/>
fujio@aori.u-tokyo.ac.jp

2015/10/2

最終更新日 2015/10/6

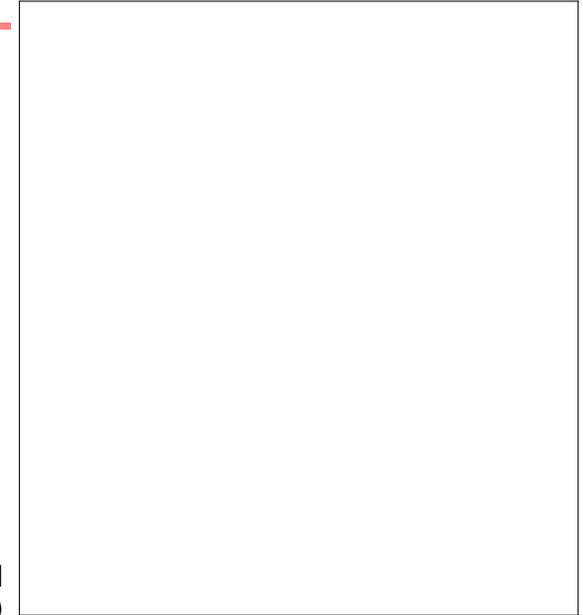
日本周辺の海流

- 親潮 (千島海流)
- リマン海流
- 対馬海流 (対馬暖流)
- 黒潮 (日本海流)

「親潮」「黒潮」は国際的に通用する名称

海流は不正確

標準高等地図
(帝国書院)



概要

地球上での大規模な流体運動のしくみや気候との関連について、主に海洋を例にとって解説する。

- 流体...液体 (水), 気体 (空気) 弾性体...固体 (土)
- 地球...「自転している」

「大気」と「海洋」の大規模な運動は同じ仕組みで起きている
...地球流体力学

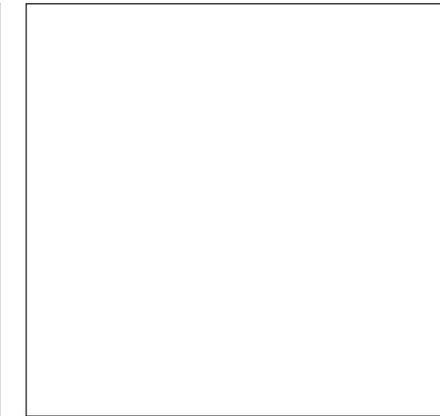
「海洋」を中心に、海流の原因や気候との関連について説明する
...海洋物理学 気象学

- 海の中の生き物は扱わない 海洋生物学, 水産学
- 沿岸 (東京湾など) は扱わない

日本周辺の海流



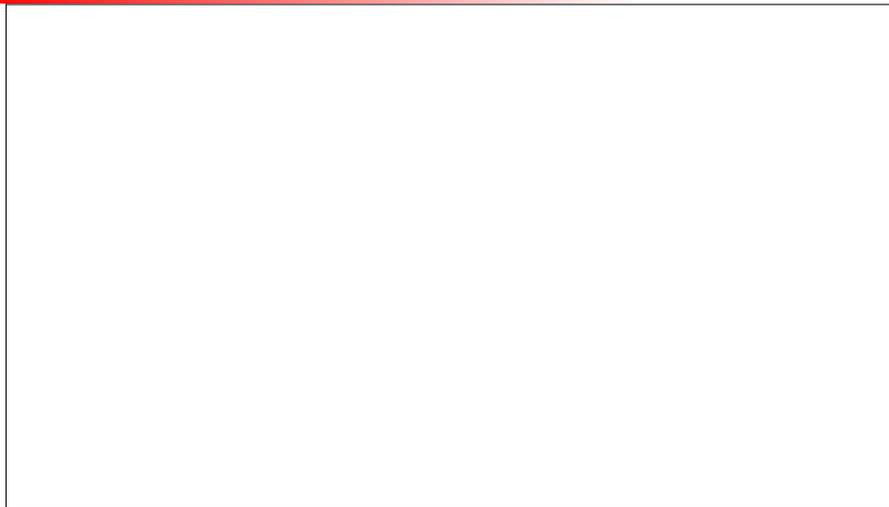
{ 黒潮...世界屈指 ($50 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
親潮...そこそこ ($20 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
対馬暖流...弱い ($2 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
リマン海流...???



海上保安庁「海洋速報」

{ 河川の総流量 $1.5 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$
世界の降水量 $15 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$
流量の単位: $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (約 ton s^{-1})

北太平洋の海流

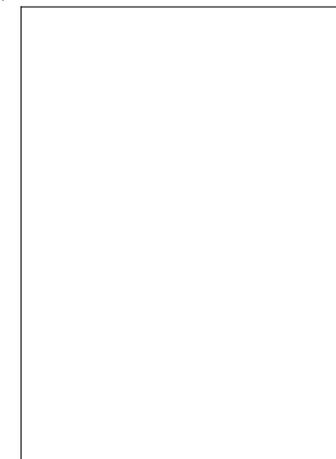
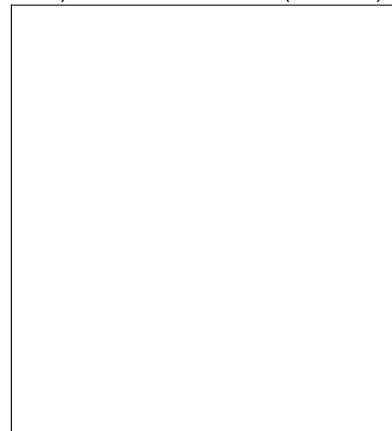


標準高等地図 (帝国書院)

- 海流は, 海洋循環の一部 (渦巻き)
- 川と違って, 高いところから低いところに流れるわけではない

地球温暖化と海洋

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) の第 5 次レポート (2013 年) によれば,



- 全球平均表面温度は 1880 年 ~ 2012 年で 0.85 度上昇
- 1971 年以降, 各系が吸収したエネルギー
- 過剰な熱のほとんどは海洋に吸収された (海洋を温めるために使われた)
上層 (700m 以浅) 137TW, 深層 (700m 以深) 35TW, 氷 7TW, 陸 6TW, 大気 2TW

ブロッカーのコンベヤー・ベルト



Broecker (1987)

海流の図としては適切でない

多くの垂流あり

北大西洋北部で海面から海底に沈んだ海水は, インド洋や太平洋で海面付近に戻り, 再び北大西洋北部に戻る.

海流がヨーロッパを暖める

海流と気候との関連

講義内容の予定

第 1 回	10 月 2 日	概要説明
第 2 回	10 月 9 日	温度・塩分・密度の定義
第 3 回	10 月 16 日	海洋の成層構造
	10 月 23 日	休講
	10 月 30 日	休み
第 4 回	11 月 6 日	海面における熱収支
第 5 回	11 月 13 日	温度・塩分の分布
第 6 回	11 月 20 日	コリオリの力
第 7 回	11 月 27 日	回転系の質点運動
第 8 回	12 月 4 日	流体の基礎方程式
第 9 回	12 月 11 日	地衡流
第 10 回	12 月 18 日	エクマン吹送流
	(年末・年始)	
第 11 回	1 月 8 日	風成大循環
	1 月 15 日	休み
第 12 回	1 月 22 日	西岸境界流
第 13 回	1 月 29 日	熱塩大循環
第 14 回	2 月 5 日	エル・ニーニョ, 試験
第 15 回	2 月 12 日	津波, 潮汐

成績評価・参考資料

- 成績評価
 - 試験は、第 14 回目 (2 月 5 日) の後半 1 時間程度で実施。
 - レポートは実施するかどうか、今後、検討
 - 成績は、試験の得点に、出席点 (およびレポート点?) を「加算」して評価。

使用したスライド

<http://ovd.aori.u-tokyo.ac.jp/fujio/2015chiba/>

ただし、他者の著作物からのコピーした図は空欄
使用予定のスライド...水曜日の夕方を目標に公開

今週末は停電のため、サーバー停止です

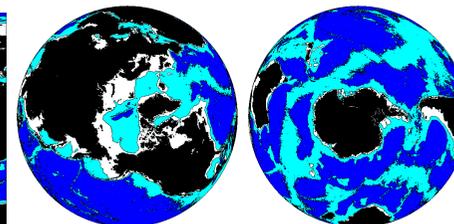
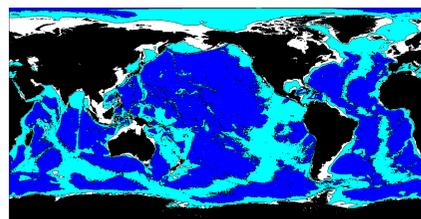
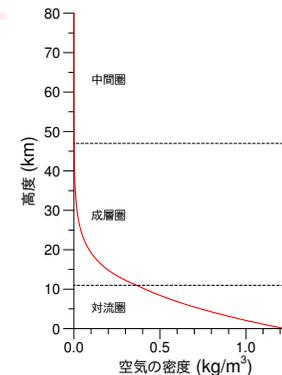
期間限定公開

- 過去の試験問題と解答 (平均 60 点ぐらい)
試験時間: 2011 年は 90 分, 2013 年は 60 分程度
- 過去のレポートの出題内容
- 参考図書
「謎解き・海洋と大気の物理」
保坂直紀 (著), 講談社ブルーバックス



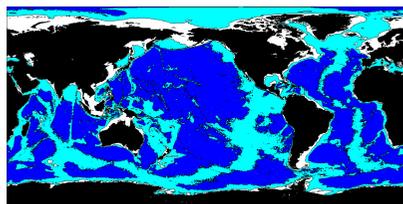
大気との比較

- 大気は、上限がない (空気は徐々に薄くなる)
 - 対流圏 (約 10km まで, 空気の 8 割), 成層圏, ...
- 海洋は、上限 (海面) と下限 (海底) がある
 - 平均的な厚さは 4000m 程度
- 大気は、つながっている (地球を覆っている)
 - 海洋は、大陸によって分断されている
 - インド洋, 太平洋, 大西洋
南大洋 (南極海), 北極海
 - 海峡で部分的につながる
- 海の地形的な個性 (広さ, つながり方)
海流に違いを作る



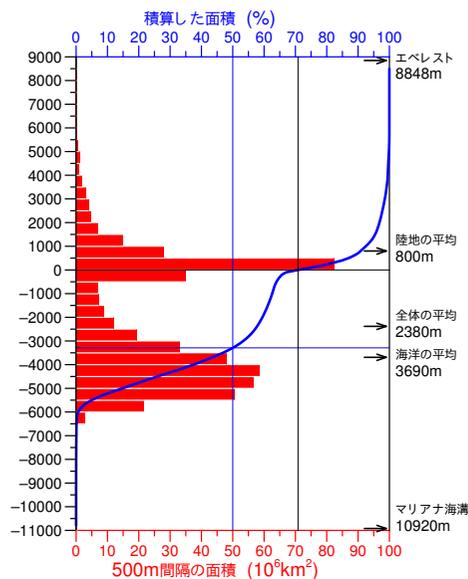
海洋の地形的特性

標高データセット ETOPO2 から作図



白 0 ~ 500m, 水色: 500m ~ 4000m,
青: 4000m 以深

- 地球の表面積の約 7 割
3000m より深い部分で約 5 割
- もっとも多い水深は
4000 ~ 5000m
北西太平洋は特に深い
- 地球 (半径 6400km) に比べれば、き
わめて薄い



海水の特性量

海洋学では,

- 流速
- 水圧
- 水温
- 塩分 (溶存物質の量)
- ...

気象学では,

- 風速
- 気圧
- 気温
- 湿度 (水蒸気量)
- ...

気象学 ... 気温と湿度で「気団 (air mass)」を定義する
小笠原気団 (暖かく, 湿度が高い), ...

海洋学 ... 水温と塩分で「水塊 (water mass)」を定義する
北大西洋深層水, 南極底層水, 北太平洋中層水, ...

現象としては、大気の方が海洋よりもはるかに複雑
(流体力学的に海洋の方が単純)

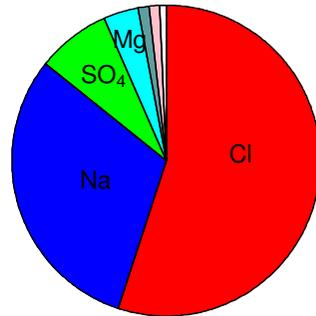
- 水蒸気が相変化する...雨や雪が降る 天気予報にはもっとも重要
- 空気 (気体) は圧縮されるが、水 (液体) は圧縮されにくい

海水の溶存物質

海水の参照組成 (塩分 35g kg⁻¹ の標準海水 1kg 中)

イオン	g	%	累積%
塩素	19.26	55.03	
ナトリウム	10.73	30.66	85.69
硫酸	2.70	7.71	93.41
マグネシウム	1.28	3.65	97.06
カルシウム	0.41	1.17	98.23
カリウム	0.40	1.13	99.36
合計	35		

Millero et al. (2008)



- 海水を蒸発させると、ほとんどは、塩化ナトリウム (食塩) それ以外に、塩化マグネシウム、硫酸カルシウム、炭酸カルシウムなど
- 平均的な海水 1kg には、約 35g の物質がとけている。
- 岩石などからわずかに溶け出し、河川などにより海に運ばれる。海からは水だけが蒸発するため、溶存物質は煮詰められて、濃くなる。
- 濃度は変化するが、イオンの構成比率はほぼ同じ。
空気の分子組成 (水蒸気を除く) も、それほど場所によらない
海水が循環している (地球誕生 46 億年前の数億年後には海洋あり)

塩分 (Salinity)

しばしば使われるが、「塩分濃度」は誤り

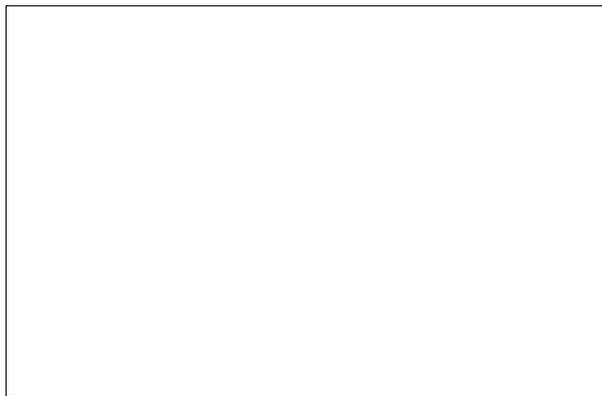
初期の定義

- 海水 1kg 中に溶けている固形物質の全量を g で表したものの、海水から固形物を濾過し、水を蒸発させて残った質量が真の塩分
- 海水の組成は場所によらず、ほぼ同じ
塩素イオン (+ 臭素イオン) の量 Cl を測ればよい (銀滴定)
1902 年の式: $S = 0.03 + 1.805 Cl$ ($Cl = 0$ でも塩分が 0 でない)
1969 年の式: $S = \frac{35}{35-0.03} \times 1.805 Cl$ (1902 年と $S = 35$ で一致させる)
- この古い塩分の値を使いたい場合、単位として ‰ (パーミル) を使う。

実用塩分 (practical salinity)

- イオンの量であれば、電気伝導度 (Conductivity) を測定すればよい。
お手軽 (自動測定が可能) (伝導度は電気抵抗の逆数)
- 1969 年の塩分に近くなるように、UNESCO が 1978 年に計算式を定めた。
電気伝導度、温度、圧力から計算する。
- 実体のある量ではないので、単位はない (あるいは psu)

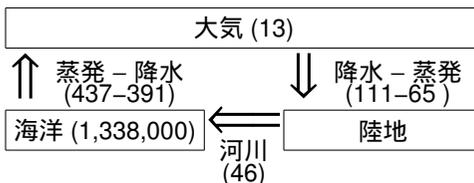
地球上の水循環



海の体積
(理科年表 2006)
1349×10⁶km³

地球上の水	
海洋	96.5%
大気	0.001%
湖・河川	0.01%
氷河・積雪	1.7%
地下水	1.7%

沖 (2007)



水は、循環する
溶存物質は、海洋にとどまる

新しい絶対塩分

実用塩分の問題点

- 実体がない (実際の溶存物質の質量と、少しずれている)
熱力学的特性 (密度、熱膨張率など) が別々の実験式で決まり、一貫性がない
- 海水組成が場所によって多少、異なる。例: 北東太平洋深層イオンでない溶存物質 (栄養塩など) が多い海水は、密度が大きくなる。

新しい「絶対塩分」 (Absolute Salinity)

- 2009 年に UNESCO 政府間海洋学委員会が勧告
- 単位は $g\ kg^{-1}$ (‰, (psu), $g\ kg^{-1}$ により、単位で塩分の種類を区別)
- 実用塩分 S_p を補正 (1902 年の計測が不正確, 0.16 程度大きくなる) し、参照組成からのずれ δS_A (普通, 0 ~ 0.04) を加える
$$S_A = \frac{35.16504}{35} S_p + \delta S_A$$

参照組成 (標準海水) は、北大西洋中緯度の海面付近の水 栄養塩が少ない水
- δS_A は、実際の密度と、参照組成を想定した密度との差から換算
大変なので、おおまかな分布を栄養塩の分布から推定 データベース化
- 正確に言えば、 S_A は、同じ密度に希釈・濃縮した標準海水が含む溶存物質の量
温度スケールも 1990 年に新しくなっている。