

= 海洋物理

== 概論

- * ロスビー数小さい -> 低緯度~100km、高緯度~10km
 - * 亜熱帯循環域では躍層が東にいくに従って浅くなる。
 - * 亜熱帯は密度構造が水温で、亜寒帯は塩分で主に決まる。
 - * アウトクロップ領域 -> 混合層への露出。冬季混合層に取り込まれる。
 - * 水平粘性の大きさは風成循環のムンク層の大きさ。
 - * 状態方程式の非線形性、cabbeling, thermobaricity
 - * 層厚拡散 -> 層の厚さを均一化
 - * サーモバリック効果 -> 海水の密度の状態方程式が持つ非線形性に起因したいくつかの特徴的な現象。
一様な水温（正確にはポテンシャル温度）の海水の中をそれよりも低温の水が沈降する場合、深くなるにつれて低温水の方が強く圧縮されるため、周囲の水との間の密度差は大きくなっていき、沈降が促進される。
 - * グリーンベルト [Springer et al., 1996] -> 高い一次生産。栄養塩、鉄の持続的供給。鉛直混合の寄与。
 - * 黒潮続流域 -> ロスビー波が放射
- 安定モードでは、流路：短い、流速：速い、緯度：北偏、再循環：強い。
不安定モードでは、流路：長い、流速：遅い、緯度：南偏、再循環：弱い。
- * spiciness -> 海水の密度は水温、塩分で決定。それらの変動が密度に与える影響を spice と呼ぶ。 $d\pi = \rho(\alpha d\theta + \beta dS)$ で、 $\partial^2 \pi / \partial \sigma^2$ ：貫入を表す [kg/m³]。
- * 海洋の熱輸送は大気に比べて小さい [Wunsch, 2006]。

== 子午面循環

- * レビュー的論文 [Lumpkin and Speer, 2007; Talley et al., 2013]
- * 熱塩循環の多重解。水温と塩分のどちらが効くのか。[Stommel, 1961]
- * 高緯度域における深層水形成。現代は北大西洋のグリーンランド海やラブラドル海、南極周辺のウェッデル海やロス海で起こる。
- * 深層海流-> 3000 万 m³/s、必要なエネルギー 2 兆 W
- * 海洋循環と過去の気候 [Rahmstrof, 2002]。
- * Body forcing を施すことで AABW 流量の再現 [Nakata and Sugino, 2000]
- * AMOC は南大洋の風に敏感。Toggweiler and Samuels [1995] より力学的なメカニズム、Tsuji no Doctor thesis より熱的なメカニズム。
- * Pliocene (鮮新世)の AMOC [Mickay et al., 2012]
- * AMOC のモデル間比較 [Weber et al., 2007]

== 内部波/潮汐

- * GM スペクトル -> 海洋の背景場のエネルギースペクトル

* PSI (三波共鳴相互作用) -> 内部潮汐波と近慣性周期波との非線型相互作用 30°付近で効率大

* 波形 -> 海水の密度構造により決定

* 鉛直拡散係数の全球分布に関する数値計算 [Niwa and Hibiya 2011]

* パラメタ Rot -> 慣性周期/潮流周期。慣性周期は $2\pi/f$: 極域で半日、30°で一日。

subinertial ($\text{Rot} \leq 0.9$), near-inertial ($\text{Rot} = 1.0\text{--}1.1$), superinertial ($\text{Rot} \geq 1.2$)

* 主要 4 分潮

記号、名称、角速度(度/hr)、周期(hr)

M2、主太陰半日周期、28.98°、12.42

S2、主太陽半日周期、30.00°、12.00

O1、主太陰日周期、13.94°、25.82

K1、日月合成日周期、15.04°、23.93

月の引力に起因する分潮は、月の昇交点の黄経の長周期変動（約 18.6 年周期）の影響を受ける。

== 北極海

* 大河川の河口に当たり、上層は低密度水

* ボーフォート循環 -> 高気圧性、は海水減少に伴い強化。風邪応力場に対する順圧応答。バロー沿岸ポリニャに北東風。

* カナダ海盆 -> 北半球最大の淡水貯蔵。

* チョークポイント -> 年中海水が残存する海域

* イカイト($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

* Barents sea opening -> 500m 程度の大陸棚

* 北極海への大西洋水の流入、循環 [Karcher et al., 2012; Lien et al., 2013]

* Denmark Strait Overflow (DSO) と AMOC [Lohman et al., 2014; Behrens et al., 2013]

== 南大洋

* Deacon cell-> ACC 領域における子午面循環。偏西風が駆動する循環と、それを補償する渦による循環 [Ferneti and Gent 2011, ;Munday et al. 2013]

* アイスアルジー -> 海氷域において大きな一次生産量 [Dear et al., 2011; Elliott et al., 2012]

* レビュー的論文 [Olbers and Visbeck, 2005; Marshall and Speer, 2012]

* 渦補償 [Munday et al., 2013]

* 高密度水形成に対する潮汐の影響 [Postlethwaite et al., 2011]

* ウェッデル海 -> CDW から遠い。深層水 $> 0^\circ\text{C}$ 程度

* Filchner ice shelf -> ウェッデル海の低温(高密度)水のソース

* Western Antarctic Peninsula -> 棚氷が激しく融解。渦の影響か。

* CFC を用いた AABW 研究 [Orsi, 1999]

* Nielsen Basin における過去の深層水形成 [Haris, 2000]

* CMIP5 による AABW 形成 [Griffies et al., 2009; Heuze et al., 2013]

* Increased wind stress -> Increased Ekman upwelling -> increased slopes and ACC transport -> Increased southward eddy transport -> reduced increase in upwelling (“eddy compensation”) -> reduced increase in slopes and ACC -> (“eddy saturation”)

Eddy saturation (ACC transport) implies eddy compensation (overturning). [eg. Boning et al. 2008; Farneti et al. 2010; Hofmann and Morales Maqueda 2011; Gent and Danabasoglu 2011]

* 西南極の氷床融解 [Paolo et al., 2015]

* Southern Annular Mode (SAM): 南半球中高緯度の気圧差。

* ACC: 渦が多い、蛇行しながら流れる。

== 沿岸海洋

* 川からの流水、風、潮汐、湾外からの流入のバランス。一般化は難しい。

* 河川水の河口付近での流れは、Coastal モードと Gyre モードとが考えられる。コリオリによる転向。

== 海氷

海氷のマルチカテゴリ -> 海氷の種類の分類

fast ice -> 陸に接地

== 氷床

氷床の融解 -> 表面の融解、底面の融解、棚氷における海洋との相互作用

== 物質循環

Preformed nutrient [e.g. Ito and Follows, 2005; Kwon et al., 2012] は深層水の起源の推定

地下水や小さな河川から海水への栄養塩流出

葉緑素(クロロフィル)型とプロテオロドプシン型

== 炭素循環

炭素循環のポンプ -> organic matter pump, calcium carbonate pump, gas-exchange pump, fresh water flux pump。

古典的な solubility pump は、SST, SSS の寄与と、DIC, ALK の寄与とで分類される。

POC と calcium carbonate の分布に関して、バラストによる鉛直輸送 [Oka et al., 2008]

$\delta^{14}\text{C}$ と $\Delta^{14}\text{C}$ は異なり、後者は水塊年齢を表すモデル内ではオプションなトレーサー。

南極海域と亜南極海域とで大気中 CO_2 濃度およびエクスポート生産への感度が異なる [Marshall et al., 2006]

Regenerated nutrients を用いた organic-matter pump の評価 [DeVries et al., 2012]。

大気中 CO_2 濃度と南大洋の偏西風、AMOC [Banderas et al., 2012]。

Blue carbon -> 海洋、沿岸生態系による炭素固定

== 堆積モデリング

* 粒子フラックス [Siddall et al., 2005]

* wt% の分布 [Tschumi et al., 2011]

= 古気候

== 時代

* HCO -> 完新世気候温暖期

* イーミアン間氷期 -> 約 11-13 万年前

* Pliocene (鮮新世) -> 約 500 万年前から約 258 万年前。大気中 CO₂ 濃度~330-415 ppm、気温~ +2-3 °C、ESL ~ +20 m。

* ドレーク海峡 open -> 約 3,400 万年前

* Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) -> 暁新世/始新世境界温暖極大期。約 5,500 万年前の温暖期

== 氷期-間氷期 CO₂

レビュー論文 [Archer et al., 2000; Sigman et al., 2000; Sigman et al., 2010]

organic pump と carbonate pump に分けて議論 [Kwon et al., 2011]

fresh water と N₂O [Schmittner and Galbraith, 2008]

南大洋の氷床、成層、AABW 生成 [Brovkin 2007]

海洋循環が大気中 CO₂ 濃度に与える影響 [Schmittner et al., 2007]

シリカリークエッジ仮説 [Kohfeld and Ridgwell, 2009]

生物ポンプ、鉄肥沃化 [Marinov et al., 2008]

鉄肥沃化 [Martin, 1990]

偏西風帯の強度、偏移 [Toggweiler et al., 2006]

南大洋の海氷 [Stephens and Keeling, 2000; Kurahashi-Nakamura et al., 2007]

== LGM

LGM の気候形成 [Broccoli and Manabe, 1987]

== 退氷期

退氷期の古海洋復元[Clark et al., 2012; Shakun et al., 2012; Burke and Robinson, 2012; Schmitt et al., 2012]

Mystery Interval (17.5-14.5 kaBP) と Heinrich event 1 (16.8 kaBP) との関連 [Huiskamp and Meissner, 2012]。

淡水流入実験 [Manabe and Stouffer, 1995; Rahmstorf, 1995; Ganoploski and Rahmstorf 2001; Stouffer, 2006; Roche et al., 2010]

遷移実験 [Lunt, 2006; Timm and Timmermann, 2007; Liu, 2009; Menviel, 2011]

大気中 CO₂ 濃度変動 [Volker and Kohler, 2013]

== DO events

== プロキシ

$\delta^{13}\text{C}$ -> 栄養塩 like なトレーサー。植物プランクトンによる栄養塩分別を反映するため、表層から断たれることで値が小さくなる。

$^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ -> 循環の指標。ウランから生成される。

ϵ_{Nd} -> 循環の指標。

TEX -> テトラエーテル脂質温度計。残存有機物。

石筍の炭素安定同位体比やセルロースの酸素同位体比 -> 降水量の反映

宇宙線生成核種 ^{10}Be , ^{26}Al -> 浸食速度から年代決定

= データ

MOAA-GPV -> JAMSTEC で公開している格子化データセット。アルゴフロートデータをはじめとした、利用可能な水温・塩分データを用いて最適内挿法により補間した上で、作成した格子点データセット。

OFES -> NOAA-GFDL で開発され世界標準のモデルとなっている MOM 3 を、JAMSTEC で地球シミュレータ用に最適並列化したコード。

GLODAP ->

NCEP/NCAR -> NOAA 環境予測センター(NCEP)と米国大気研究センター(NCAR)による全球再解析データ。1948-current。

NCEP2 -> NOAA 環境予測センター(NCEP)による全球再解析データ。1979-current。

ERA-15 -> ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)による全球再解析データ。1979-1993。

NCEP/DOE -> NOAA 環境予測センター(NCEP)と米国エネルギー省(DOE)による全球再解析データ。1979-current。

ERA-40 -> ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)による全球再解析データ。1957-2003。

JRA-25 -> 気象庁と電力中央研究所による全球再解析データ。1979-current。

NARR -> NOAA 環境予測センター(NCEP)による北米の再解析データ。1979-current。

JRA-55 -> 気象庁による全球再解析データ。1958-2012。

20cr -> NOAA 環境予測センター(NCEP)による全球再解析データ。1891-2008。

CFSRR -> NOAA 環境予測センター(NCEP)による全球再解析データ。1979-2008。

ERA-75 -> ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)による全球再解析データ。1945-current。

MERRA -> 1979-current。

= 数値モデリング

== 概要

- * 静力学モデル -> 海洋大循環、大規模現象
- * 非静力学モデル -> 鉛直加速度に伴う非静力学プロセスを陽に扱う。

== 混合層パラメタリゼーション

- * KPP mixing
- * Mellor and Yamada
- * Nakanishi and Niino

== AOGCM

- * MIROC/COCO -> Japan/CCSR
- * CCSM -> USA
- * HadCM -> UK

== Earth system model

- * LOVECLIM
- * CLIMBER
- * CESM -> NCAR
- * MPI-ESM
- * UVic
- * GFDL -CM
- * HiGEM

== モデル間比較

PMIP [Braconnot et al., 2012]

PMIP2 [Weber et al., 2007; Otto-Bliesner et al., 2007]

PlioMIP -> Pliocene に関する。

MAREMIP -> 生態系モデル比較。サイズ別、種別にプランクトンの分別。

== COCO

格子配置 -> Arakarwa B-grid

側面境界 -> 断熱壁。no-slip 条件。粘性境界。

海洋表層 -> Noh and Kim [1999] の混合層パラメタリゼーション。Mellor and Yamada [1982] で表現されない、海洋上部の特徴を考慮。

海底 -> Nakano and Suginohara [2002] の海底境界層パラメタリゼーション。

= 解析

* EOF 解析(Empirical Orthogonal Function 解析) -> 時系列データに適用する主成分分析。

* ノイズ

ホワイトノイズ -> 周波数によらない($1/f^0$)一定の周波数特性

ピンクノイズ -> 周波数によって $1/f^1$ で減衰する周波数特性

ブラウニアンノイズ(ブラウンノイズ・レッドノイズ) -> 周波数によって $1/f^2$ で減衰する周波数特性。

周波数が高くなるほど、同じ振幅の波の持つエネルギーは大きくなる。

= 気候

* 十年規模変動。

PDO (太平洋十年規模変動)

AMO (大西洋数十年規模振動)

* 異常気象 -> 30 年に 1 回程度の確率の事象

* 火山が海洋内部に与える影響 [Gregory, 2010; Iwi et al., 2012]

* 気候感度 -> $\Delta T_{CO2 \times 2} \sim 2-4.5 \text{ K}$

* 気候感度パラメタ -> $\beta = \partial T / \partial Q$ (Q: 放射強制力)

* 気候フィードバックパラメタ -> 気温が 1K 上昇した場合の下向き放射

* 地球温暖化のハイエイタス [Meehl et al., 2011; Watanabe et al., 2013; Balmaseda et al., 2013; Kosaka and Xie, 2013; England 2014]

= 流体力学

フルード数 -> 重力波ができるか、山岳を回るか

順圧な波動は傾圧な波動に対して波長が長く周期が短い。

Lee wave -> 山岳波

= 組織・関係者

== USA

* Caltech

Adkins, J. F.

Kirschvink, J. L.

* Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO), Columbia University

Broecker, W. S.

McManus, J. F.

Rignot, E.

* Georgia Institute of Technology

Ito, T.

* Florida State University

Speer, K.

* Harvard

* MIT

Follows, M.

Marinov, I.

Marshall, J.

* Moss Landing Marine Laboratories (MLML)

Martin, J. H.

* NCAR

Otto-Bliesner, B. L.

Trenberth, K. E.

* NOAA-AOML

Peng, T. -H.

* NOAA-GFDL

Manabe, S.

Stouffer, R. J.

Toggweiler, J. R.

* NOAA-ORNL

* Oregon State University

Brook, E. J.

Schmittner, A.

* Princeton University

de Boer, A. M.

Sarmiento, J. L.

Sigman, D. M.

* Scripps Institution of Oceanography

Talley, L. D.

* University of California

Rignot, E.

* University of Chicago

Archer, D. E.

* University of Minnesota

Matsumoto, K.

* Woods Hole Oceanographic Institution

Marinov, I.

Oppo, D. W.

== Canada

* McGill University

Galbraith, E. D.

* Simon Fraser University

Kohfeld, K.

== Germany

* MPI

Brovkin, V.

* Potsdam Institute for Climate Impact Research

Ganopolski, A.

Rahmstorf, S.

== Norway

* Bjerknes Centre for Climate Research

Heinze, C.

* University of Bergen

Heinze, C.

== Netherlands

* Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)

Weber, S. L.

== Spain

Universidad Complutense de Madrid (UCM)

Montoya, M.

== Switzerland

* University of Bern

Siddall, M.

Tschumi, T.

* ETHZ

Jaccard, S. L.

== UK

* Bermuda Institute of Ocean Sciences (BIOS)

Curry, W. B.

* University of Bristol

Kurahashi-Nakamura, T.

* University of Oxford

Marshall, D. P.

Munday, D. R.

* University of Reading

Bouttes, N.

== KOREA

* Seoul National University

Ahn, J.

== Australia

* University of New South Wales

England, M. H.

Menviel, L.

* ARC centre of Excellence for Climate System Science

England, M. H.

Menviel, L.