

# 古気候における海洋深層循環と物質循環のモデリング

大気海洋圏環境科学専攻 気候モデリング講座  
博士課程1年 三角 和弘 (指導教官: 山中康裕)

## 研究の背景と目的

地球温暖化に伴う深層循環の変化が物質循環を通じて地球環境にどのような影響を与えるかが議論されている。本研究の目的は、過去の気候の特徴的な時期をモデルを用いて調べ、過去の環境変遷の理解を深めるとともに、深層循環と物質循環の関係についての基礎的な理解を得てモデルを用いた将来予測に貢献することである。そこで、過去の温暖期であり、深層循環と物質循環が現在と大きく異なっていた白亜紀の中期について研究を行った。白亜紀の中期の深層循環は、地質学的証拠から亜熱帯のテチス海で高温高塩分の深層水が形成されていたと言われている。しかし、白亜紀の設定で数値モデルを用いた実験では高温高塩分の深層水は形成されず、地質学的証拠と調和する結果が得られていない。また、白亜紀の中期は海洋深層水が無酸素になり、有機物が分解されずに広範囲に埋没した海洋無酸素事変が起こった時期であり、深層循環と物質循環の関係を理解するのにふさわしい時期である。

## 結果と考察

大気中の二酸化炭素濃度を産業革命前の8倍にし、当時の海陸分布・海底地形(図1参照)をあたえ、数値モデル実験を行った。その結果、深層循環が活発な時と不活発な時をくりかえした(図2参照)。深層循環が不活発な時の子午面流線関数をテチス海とパンサラッサ海について見ると(図3参照)、深層で流れがほとんどなく、テチス海では中層水が形成されていた。

深層の溶存酸素は深層循環が活発な時に高く、不活発な時に低くなっていた(図4の実線参照)。ところが、テチス海の深層では深層循環が不活発な時でも比較的溶存酸素が高く維持されている。停滞初期と末期の深層の溶存酸素の水平分布(図5参照)を見ても、時間がたつにつれテチス海とパンサラッサ海間の濃度勾配が強くなっている。この濃度分布は他の情報を無視し現在のコンベアベルト型の物質循環を想定すると、テチス海で深層水があたかも形成されていると解釈できる。しかし、この濃度分布は深層循環が停滞したときに作られたものである。

深層循環が不活発な時に、図5のような濃度分布がどのようにして作られるのか溶存酸素の収支解析を行って調べた。その結果テチス海で形成される中層水がテチス海の中層の溶存酸素濃度を高く維持し(図4点線参照)、それが鉛直拡散によって深層に供給されていることがわかった。また、生物生産もテチス海はパンサラッサ海よりも低く、そのことも濃度差に寄与していることがわかった。停滞の末期には、テチス海の深層水が暖かくなり密度が小さくなるため、密度の大きいパンサラッサ海の水がテチス海に入っていく。停滞の末期にはこのようにコンベアベルト型の物質循環から推定される流れと逆の流れがおこることもわかった。これらのことを模式的にまとめると図6のようになる。

この物質循環モデルを組み込んだ数値モデルの研究により、高温高塩分の深層水が数値モデルでは実現できないが、地質学的証拠からはおこっていたように見えるという疑問への理解が進んだ。

## 今後の展望

今年度の結果から深層循環停滞時に無酸素事変が発生することが示唆されたが、無酸素領域の分布が狭いこと、時間スケールが地質学的証拠と比べ短いことなど問題点がある。それらのことについて河川流入と堆積過程を考慮して、どのような地質学的証拠が残るか調べていきたい。また、今年度物質循環モデルに炭酸系を組み込んだ。それにより地質学的証拠としてよく使われる  $\delta^{13}\text{C}$  の計算や大気海洋間の二酸化炭素の吸収・放出の計算が行えるようになった。そのためより密接な地質学的証拠との比較や無酸素事変の気候への影響について議論していきたい。

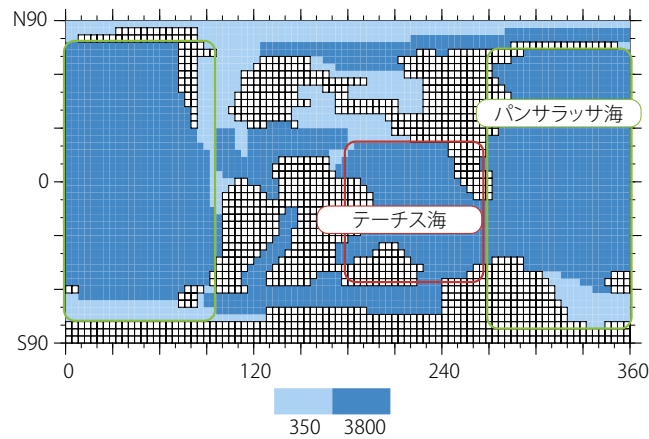


図1 数値モデル実験に用いた白亜紀中期の海陸分布。赤線の領域をテーチス海，緑線の領域をパンサラッサ海と呼ぶ。

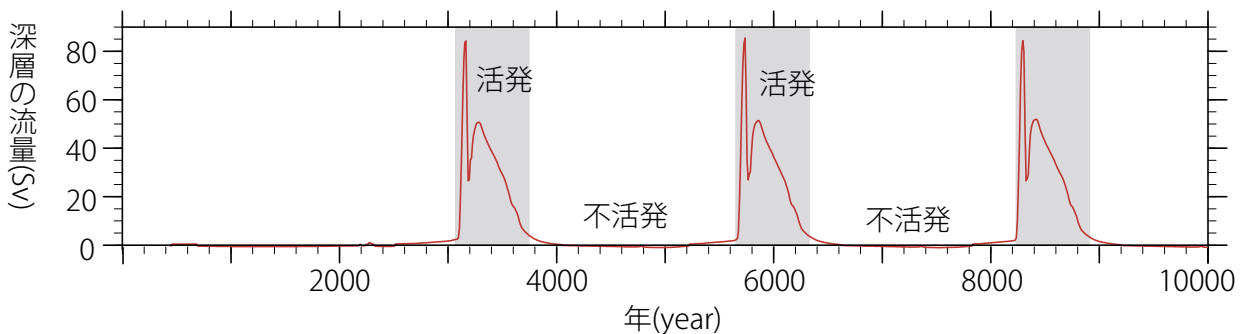


図2 深層 2050m 以深の流量の時系列。単位は Sv ( $= 10^6\text{m}^3/\text{sec}$ )

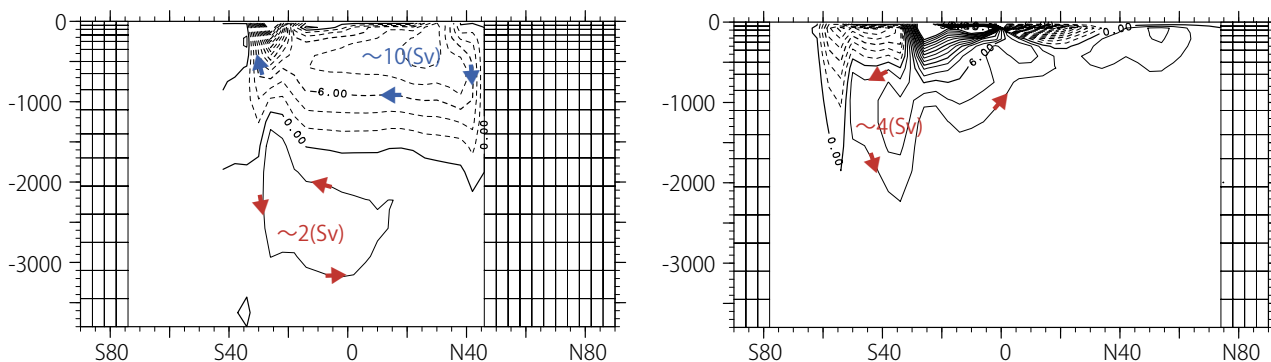


図3 海域ごとの子午面流線関数. 単位は Sv. 左図：テーチス海, 右図：パンサラッサ海.

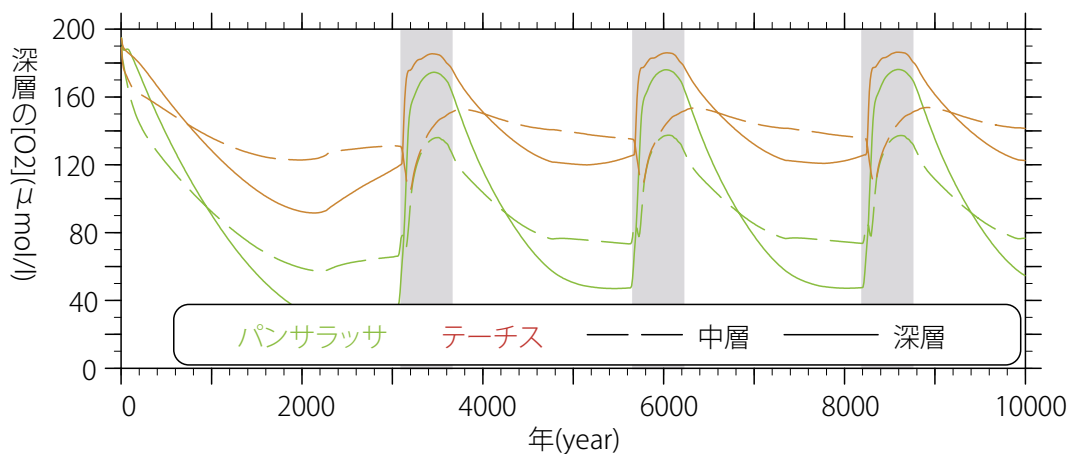


図4 深層の  $[O_2]$  の時系列. 赤線：テーチス海で領域平均. 緑線：パンサラッサ海で領域平均. 点線は中層 100m ~ 2000m までの平均を示し, 実線は深層 2050m 以深の平均を示す.

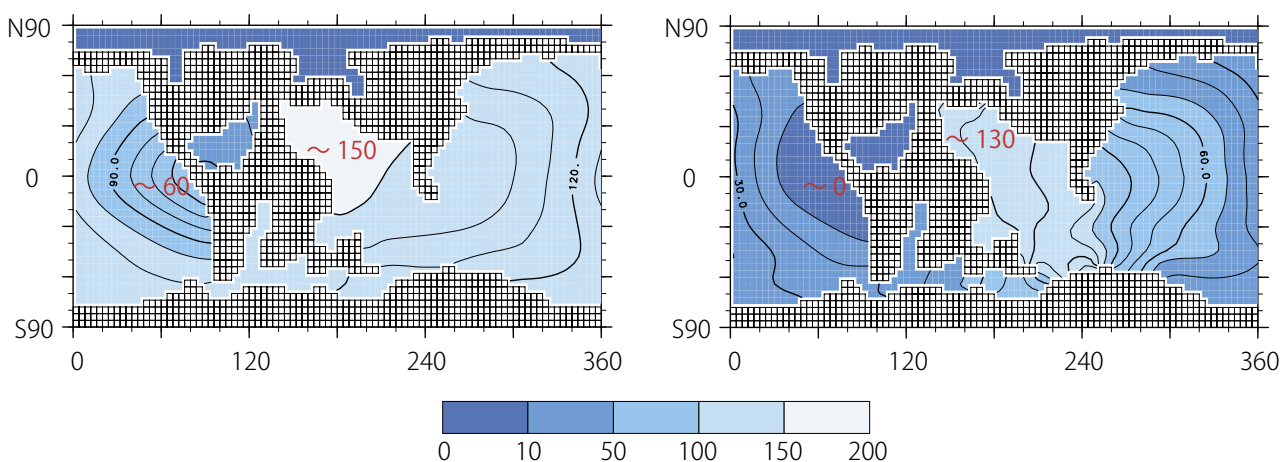


図5 深層の  $[O_2]$  の水平分布. 左図：停滞初期 4000 年目の水平分布. 右図：停滞末期の 5500 年目の水平分布.

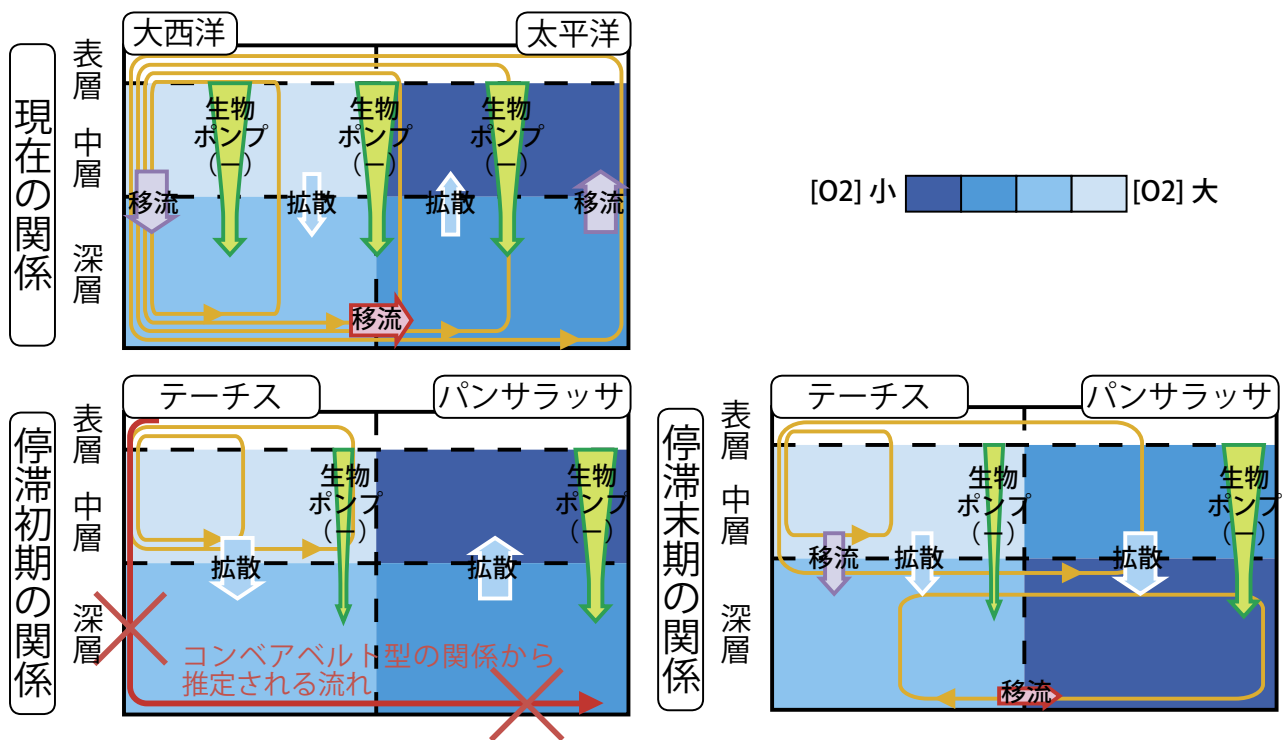


図6 海洋深層循環(橙線)と[O<sub>2</sub>]の循環の関係を示す模式図。矢印は移流(紫色:鉛直, 赤色:水平)・拡散(水色)・生物ポンプ(緑色)各成分の[O<sub>2</sub>]分布への寄与を示す。左上図:現在の関係。左下図:停滞初期の関係。右下図:停滞末期の関係。

## 発表

Misumi K. and Y. Yamanaka: Ocean Anoxic Events in the mid-Cretaceous simulated by 3-D biogeochemical general circulation model. European Geosciences Union, Vienna, Austria, April, 24-29, 2005. 発表予定

Misumi K. and Y. Yamanaka: 3-D Biogeochemical general circulation model applied to mid-Cretaceous focusing on ocean anoxic events. 8th International Conference on Paleoceanography, Biarritz, France, September, 5-10, 2004.

山中康裕, 三角和弘: 白亜紀の古海洋シミュレーション. ワークショップ「現在と過去の無(貧)酸素環境を考える」, 札幌, 2005年1月.

三角和弘, 山中康裕: 白亜紀の海洋深層循環と物質循環のモデリング. 古海洋シンポジウム, 東京, 2005年1月.

三角和弘, 山中康裕: 白亜紀における深層循環と物質循環のモデリング. CCSRセミナー, 東京, 2004年3月.