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２年　三角和弘　（指導教官：山中康裕）

本研究の目的

白亜紀中期（約 1 億年前）は大気中の二酸化炭素濃度が高く温暖な気候で，海洋の深層が広域で無酸素になる海洋無酸素事変という地質学的イベントが起こったことが知られている．本研究の目的は，海洋物質循環モデルを用いた白亜紀中期のシミュレーションを行い，海洋無酸素事変のような過去の温暖期の特徴的な地質学的イベントを調べることで，過去の環境変遷のメカニズムと地球温暖化予測で重要な海洋深層循環と物質循環の関係を調べることである．

平成 17 年度の研究成果

昨年度は，白亜紀中期の大気中の二酸化炭素濃度の推定値と当時の海陸分布（図 1）のもとでシミュレーションを行い，深層循環が不活発な時のパンサラッサ海とテーチス海の溶存酸素の減少の違いに注目して，深層循環が不活発な時に深層循環と物質循環の関係が現在とは異なることを示した．本年度は，当時浅い海に囲まれ孤立的であった大西洋（図 1）の結果に注目し，海洋無酸素事変のメカニズムについて考察を行った．

過去の定性的な議論から，海洋の深層が無酸素になるには深層循環が不活発になる必要があると考えられてきた．しかし過去の大循環モデルを用いた研究から，不活発な深層循環は数千年程度しか持続せず，地質学的証拠から知られる数十万年という時間スケールと一致しないため，深層循環が不活発になったということだけで海洋無酸素事変の原因を説明できないと考えられてきた．本研究においても，深層循環は周期数千年程度で活発と不活発を繰り返し（図 2a），パンサラッサ海とテーチス海では深層の溶存酸素濃度は深層循環が活発な時に増加してしまい（図 2b），海洋無酸素事変の時間スケールを説明することはできなかった．しかし，大西洋では他の海域と同様に深層循環が活発になるにもかかわらず，深層の溶存酸素濃度は低く維持され（図 2b），地質学的証拠の時間スケールを説明する可能性が示唆された．過去の研究は二畳紀末（約２億５千万年前）のシミュレーションであったため地形が異なっており，このような結果は得られなかった．そこで，なぜ孤立的であった大西洋で深層の溶存酸素濃度が低く維持されるのか考察を行った．

大西洋の各深度の密度の時系列（図 3a）から，大西洋では深層循環が活発な時に表層水は十分に密度成層しており，中層水と深層水の密度がほぼ同程度になっていた．このことから深層循環が活発な時に溶存酸素の枯渇した中層水が沈み込み，深層の溶存酸素濃度が低く維持されていることが示唆された．一方，各海域の単位面積あたりの輸出生産量の時系列（図 3b）から，大西洋では活発な循環の時に他の海域より 5 ～ 8 倍程度輸出生産量が高く，深層での溶存酸素の消費が大きいため深層の溶存酸素濃度が低く維持されていることが示唆された．これら二つの要因はどちらも寄与していると考えられるが，どちらの要素がより重要であるかを調べるため，大西洋の赤道湧昇を減少させ輸出生産量を下げることで後者の要因を取り除く実験を行った．その結果，大西洋の単位面積あたりの輸出生産量は他の海域と同程度になったにもかかわらず（図 4a），深層の溶存酸素濃度は活発な時もほとんど増加しなかった（図 4b）．このことから活発な時も深層の溶存酸素濃度を低く維持する主要な要因は中層水の沈み込みにより溶存酸素の供給が少ないことであることがわかった．

これらの結果は，昨年度の結果とあわせ Cretaceous Research に投稿中である．

今後の展望

過去の研究から，白亜紀中期にはマントルからの大規模な脱ガスが起こり，大気中の二酸化炭素が増加し，温暖化によって海洋無酸素事変が引き起こされたことが示唆されている．また，海洋無酸素事変の発生によって，有機炭素として炭素が大気海洋系から除去されて寒冷化がおこり，海洋の深層が酸化的な環境に戻ったことが示唆されている．このような議論は多くなされているが，定量的な議論はこれまであまりなされてこなかった．今年度まで行ってきた大循環モデルを用いたスナップショット的な実験ではこのような長い時間スケールの議論はできないため，簡略化したモデルをつくり，定量的な議論を行っていきたい．

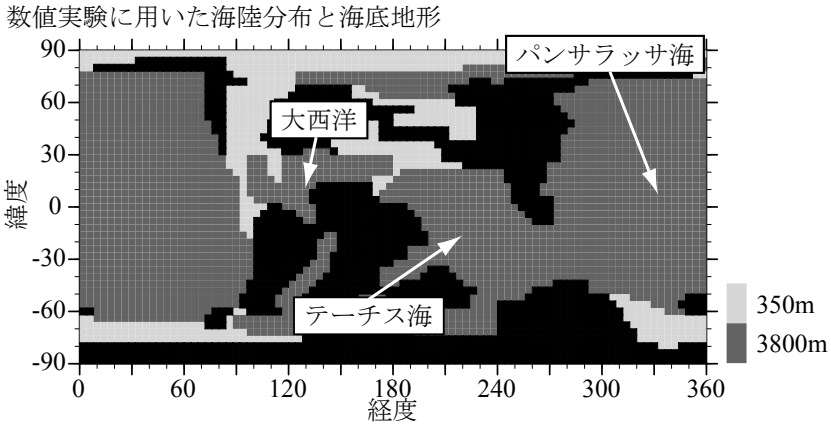

図 1　数値実験に用いた海陸分布と海底地形．薄いグレーの領域は水深 350m，濃いグレーの領域は水深 3800m，黒い領域は陸を示す．本文中の海域の大体の場所を矢印で示す．

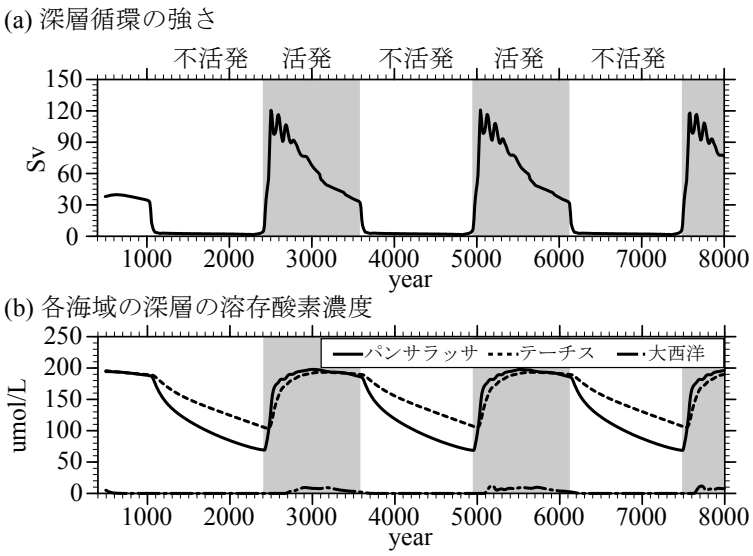

図 2　(a) 深層循環の強さの時系列．単位は Sv（≡ $10^6 m^3/sec$）．(b) 各海域で領域平均した深層の溶存酸素濃度の時系列．実線がパンサラッサ海，点線がテーチス海，一点鎖線が大西洋を示す．単位は umol/L.

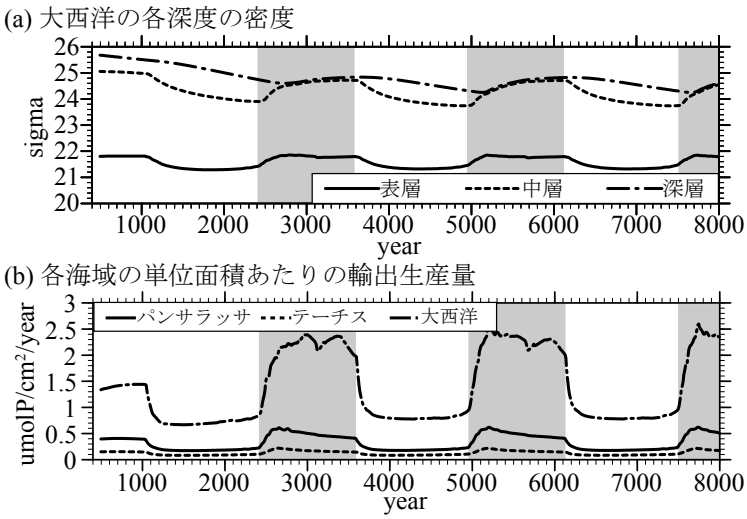

図３　(a) 大西洋の各深度の密度の時系列．実線が表層，点線が中層，一点鎖線が深層を示す．単位は sigma．(b) 各海域の単位面積あたりの輸出生産量の時系列．実線がパンサラッサ海，点線がテーチス海，一点鎖線が大西洋を示す．単位は umolP/cm^2 year.

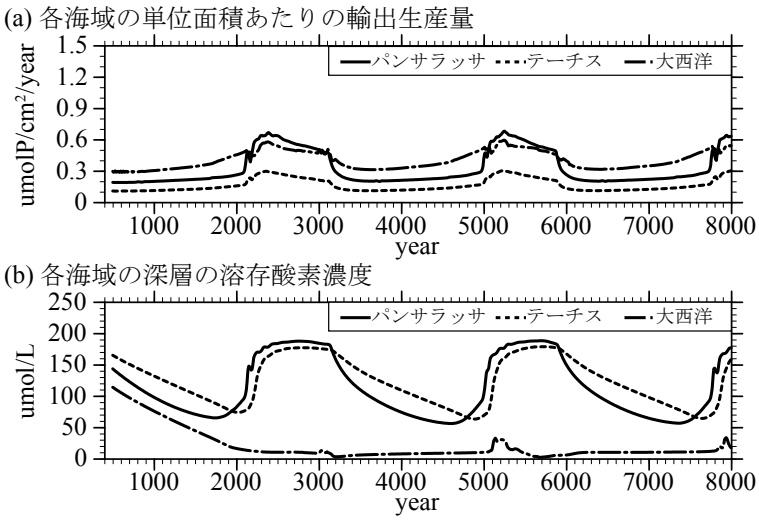

図４　大西洋の赤道湧昇を減少させた実験の結果．(a) 各海域の単位面積あたりの輸出生産量の時系列．実線がパンサラッサ海，点線がテーチス海，一点鎖線が大西洋を示す．単位は umolP/cm^2 year. (b) 各海域で領域平均した深層の溶存酸素濃度の時系列．実線がパンサラッサ海，点線がテーチス海，一点鎖線が大西洋を示す．単位は umol/L.

論文

査読付き

Misumi K. and Y. Yamanaka: Ocean anoxic events in the mid-Cretaceous simulated by a 3-D biogeochemical general circulation model. Cretaceous Research, (Submitted), 2005.

査読なし

三角和弘 , 山中康裕 : 白亜紀の古海洋シミュレーション . 月刊海洋 , 37, 872-877, 2005.

学会発表

Misumi K. and Y. Yamanaka: Ocean anoxic events in the mid-Cretaceous simulated by a 3-D biogeochemical general circulation model. Recent Advances in Research on Terrestrial and Marine Sequences from the mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Events, Sapporo, Japan, September, 21-22, 2005.

三角和弘，山中康裕：白亜紀中期の海洋無酸素事変のシミュレーション．日本地質学会，京都，2005 年 9 月.

Misumi K. and Y. Yamanaka: Ocean anoxic events in the mid-Cretaceous simulated by a 3-D biogeochemical general circulation model. 7thInternational Symposium on the Cretaceous, Neuchatel, Switzerland, September, 5-9, 2005.

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