

## 研究課題名：MIROC 中解像度版および氷床力学モデルと炭素循環モデルを用いた古気候数値実験と温暖化予測

課題代表者：東京大学気候システム研究センター 阿部彩子  
 共同研究者：東京大学気候システム研究センター 岡 顕・吉森正和・倉橋貴純・末吉哲雄  
 北澤達哉・小山佑介  
 実施年度：平成 21 年度～平成 21 年度

### 1. 研究目的

本研究では、MIROC 気候モデルに氷床モデルおよび炭素循環モデル（海洋の生物化学過程を組み込んだ海洋炭素循環モデル、陸域の LPJ 動的植生炭素循環モデル）を併用できるよう、必要な結合作業やモデル開発を行う。それらのモデルを利用し、最終氷期などの古気候実験を行い、大気水循環、熱塩循環、海洋炭素循環、陸域炭素循環、植生、氷床、海洋トレーサー、ダストなどの変化特性を調べる。またフィードバック解析などの解析を行って変動特性を明らかにしていく。

### 2. 研究計画

海洋熱塩循環および海洋炭素循環については、MIROC による最終氷期再現実験をベースとし、その結果をより詳細に調べるための数値シミュレーションを実施する。具体的には、(a) 海洋大循環モデルによる最終氷期における海洋深層循環のシミュレーション、(b) 氷期における海洋生物生産の変化や大気中二酸化炭素濃度変化について議論するための海洋炭素循環シミュレーション、(c) モデル実験結果を古気候データと比較検討するための古海洋指標のシミュレーション、を行う。

### 3. 進捗状況

(a) MIROC モデルによる氷期再現実験では、現在に比べ大西洋深層循環が強化してしまう場合（以下、MIROC-caseA）に加えて、モデルパラメータの変更や南大洋での warm bias の修正を施すことで、氷期の大西洋深層循環の弱화를再現することに成功した結果（以下、MIROC-caseB）も得られている。両者の結果を比較することで、氷期における大西洋深層循環の弱化を再現するために必要なプロセスがどのようなものであるかを調べた。昨年度と同様に、それぞれのケースについて、「熱フラックス」「水フラックス」変化の影響を分離して調べるための海洋大循環モデルによる感度実験を実施した。また、氷期における氷床の拡大や海水準の低下に伴う海陸分布の違いの影響を分離するための実験も行った。図 1 に、MIROC-caseB の結果

を用いた場合の結果を示す。熱フラックスと水フラックスは相反する効果を持つことがわかる。MIROC-caseA の場合にも、同様な傾向が再現されていたが、それらの効果の量的な違いにより、氷期条件において循環が強化するか弱化するかが決まることがわかった。

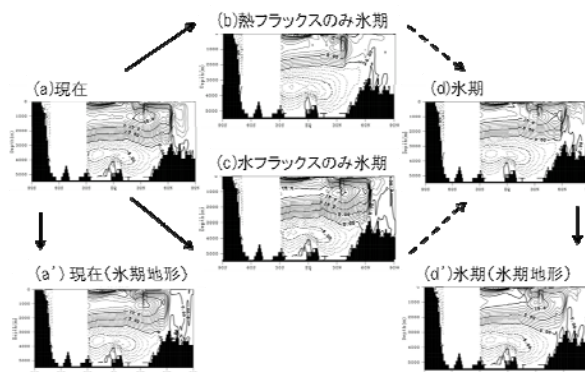


図 1 大西洋子午面流線関数[Sv]。MIROC による現在および氷期再現実験の結果から、「海面熱フラックス」「海面水フラックス」の計算に必要な変数を出し、海洋大循環モデルを駆動した結果。(a) 現在、(d) 氷期条件での結果のほか、(b) 熱フラックス、(c) 水フラックス境界条件のみ氷期条件に変更した実験の結果、および海陸分布を氷期条件に変更した実験 (a', d') の結果を示している。

(b) 氷期における大気中二酸化炭素濃度は、間氷期に比べ 100 ppm 程度低かったことが知られている。その低下を説明するためのメカニズムとして、氷期にはダスト降下量が顕著に増加しており、そこに含まれる鉄分が海洋の生物生産を増加させたという説がある。そのような効果を含め、氷期の海洋生物生産がどのようなプロセスによりどの程度変化するかを定量的に評価するための海洋炭素循環シミュレーションを行なった。その結果、「ダスト降下量の変化」が太平洋や南大洋での生物生産を増加させる一方、「循環場の変化」や「海水分布の拡大」により、高緯度域では生物生産が減少することなどがわかった。

(c)氷期における循環場を間接的に記録する古気候指標として、炭素同位体比のデータをはじめ、近年では  $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$  比や、Nd 同位体比が用いられ始めている。古海洋データとモデル結果を直接比較検討するため、それらの古気候指標を数値シミュレーションにより再現するためのモデリング手法の開発に取り組んだ。Nd 同位体比については、希土類元素の海洋中の分布を支配するプロセスを調べる基礎的な研究をベースにその開発を進めているところである。

#### 4. 今後の計画

氷期気候における熱フラックス変化、水フラックス変化に対する海洋深層循環の応答の違いがどのようなプロセスにより決定されているかを調べるための解析や追加実験を進めていく予定である。そのほかにも、海洋深層循環変化が大気二酸化炭素濃度に与える影響の評価、氷期海洋炭素循環における海洋深層循環の役割の評価、海洋深層循環の古気候指標となる Nd 同位体比のシミュレーション手法の確立、陸域炭素循環および植生の氷期・現在の再現実験によるダスト発生に対する植生変化の役割の評価、作成したフィードバック解析ツールによるモデル間の気候感度の相違の検証、など引き続き研究を行っていく予定である。

#### 5. 計算機資源の利用状況 (2009 年 4 月～9 月)

実行ユーザ数: 7 CPU 時間 1 ノード未満: 2,562 hours, 1 ノード: 8,183 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 10,745 hours

#### 6. 昨年度研究課題のまとめ

##### 6.1. 昨年度研究課題名

MIROC 中解像度版および氷床力学モデルと炭素循環モデルを用いた古気候数値実験と温暖化予測

##### 6.2. 昨年度研究課題の目的

今年度と同様。

##### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

MIROC の氷期気候再現実験においては、現在気候に比べ深層循環が強くなるという結果が得られた。他のいくつかの結合モデルでも氷期に循環が強くなるという結果が報告されているが (Weber et al., 2008)、炭素同位体比などの古気候データによると、実際には氷期の循環は浅くて弱いものであったことが示唆されている。MIROC 氷期実験における深層循環の変化の理由を調べるため、海面の境界条件である熱フラックス

と水フラックスの効果をそれぞれ分離して評価するための海洋大循環モデルによる数値実験を考案し、いくつかの感度実験を実施した。その結果、氷期の深層循環の応答は、熱フラックス変化と水フラックスの変化の両者の相反する効果のバランスのもとで決定されていることがわかった。この他に本課題では、1) 気候感度、フィードバック解析のためのツールを作成し、前年度に行われたより高精度かつ詳細なフィードバック解析の結果と比較することでその精度や汎用性を確認した、2) 氷期における海洋炭素循環のシミュレーションを行い、当時の大気二酸化炭素濃度変化や生物生産変化に対する海洋循環やダストフラックスの役割について定量的な評価をするための実験を開始した、などの成果が得られた。

#### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 6 CPU 時間 1 ノード未満: 1,302 hours, 1 ノード: 25,689 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 26,990 hours