

# 長期的気候変動予測のための高精度気候モデルの開発研究

課題責任者

河宮 未知生 海洋研究開発機構 統合的気候変動予測研究分野

著者

河宮 芳雄<sup>\*1</sup>, 齋藤 冬樹<sup>\*1</sup>, 河宮 未知生<sup>\*1</sup>

\*1 海洋研究開発機構 統合的気候変動予測研究分野

非定常重力波パラメタリゼーションを組み込まない MIROC-AGCM モデルを用いて気候モデル赤道準 2 年振動 (QBO) を再現し、エルニーニョ / ラニーニャ実験を開始した。エルニーニョ時に QBO 周期が短くなり、観測と整合的な結果が得られた。

氷床コアのデータ解釈で重要となる、掘削位置付近の流動について高解像度氷床モデルを用いて詳細に感度実験を行った。掘削地点が氷床面積の変動に伴って移動する範囲を評価した。

従来 MIROC で用いられている球面調和関数ライブラリの領域分割方法について改良開発を行っているが、本年度はフーリエ変換ルーチンを改良した。実装したルーチンは高解像度あるいは層数が多い場合に有効であることがわかった。

キーワード：赤道準 2 年振動, 氷床モデリング, 球面調和関数

## 1. ENSO に伴う QBO 変調

熱帯域成層圏に存在する赤道準 2 年振動 (QBO) は、対流圏 - 成層圏結合に重要な気象現象の 1 つで、広範囲の力学・化学過程に影響を及ぼしている。QBO は主に小規模な重力波によって駆動されており、気候モデルで再現するのが難しい気象現象の 1 つである。近年の観測的研究からエルニーニョ・南方振動 (ENSO) と QBO が連動し、エルニーニョ期の方がラニーニャ期に比べ QBO 周期が短いことが発見された (Taguchi 2010<sup>1</sup>)。しかし ENSO に伴う対流圏・成層圏循環、熱帯対流、重力波活動の変動が、どのようなプロセスを経て QBO 変調を引き起こすかについては殆ど理解されていない。そこで、非定常重力波パラメタリゼーションを組み込まずとも QBO が再現可能な MIROC 気候モデル (東京大学、国立環境研究所、海洋研究開発機構で共同開発されたモデル) を用いた ENSO 実験を行い、観測データとの相補性を取りつつ、ENSO に伴う QBO 変調のメカニズムを解明することを試みた。エルニーニョ、ラニーニャ期の海面水温を下部境界条件として与え、積分は 100 年間行った。

図 1 に CMAP 観測データと MIROC モデルによるエルニーニョ期からラニーニャ期を引いた降水偏差の全球分布、及び降水偏差の 10°S-10°N 平均した経度変化と帯状平均した緯度変化を示す。熱帯域の降水変化が観測とモデルでよく一致していることが分かる。赤道上ではエルニーニョ期の方がラニーニャ期に比べて 15% 程度降水量が多い。

図 2 に MIROC モデルで再現されたエルニーニョ期とラニーニャ期の QBO 周期分布を示す。エルニーニョ期の平均周期は 22.4 ヶ月で、ラニーニャ期の平均周期は 24.6 ヶ月に比べて 2 ヶ月程度短く、観測と整合的な結果が得られた。モデルデータの初期解析から、(i) エルニーニョ期では成層圏ブリューワー・ドブソン循環に伴う赤道上昇

流はやや強まる。(ii) 赤道直上で増加する降水量に伴い QBO 駆動に有効な重力波が顕著に大きくなる。(i) の効果が (ii) の効果より勝る故に QBO 周期が短くなることが判明した。現在より詳細な解析を継続している。

## 2. 高解像度南極氷床モデルによる氷床頂上位置変動の感度評価

アイスコア掘削による古環境の復元はその高い分解能から古環境研究の重要な手法である。データの精度良い解釈のためには掘削点付近の過去の流動の変動を知る必要がある。通常アイスコアは氷床の頂上付近で掘削されるが、これは氷流動の特徴から、氷の頂上付近のごく狭い領域で流動が非常に単純になり解釈しやすいためである。逆にいえば、過去に氷床の頂上がどの程度移動したかが解釈にとって非常に重要な要素となる。

本研究では氷床モデル IceS を用いて水平解像度 8km の高解像度氷床モデル実験を行い、過去に起こりうる氷床面積拡大縮小の効果で、氷床の頂上付近がどの程度影響されるかを調査している。図 3 は実験設定および、実験結果である。W0=P は現在の氷床範囲を表し、W40, …, W600 はそこから 40km, …, 600km 氷床端が進出する仮定のもとに設定した氷床範囲である。現在の気候条件を用い、与えた氷床範囲一杯に広がると仮定した氷床の定常解をそれぞれもとめた。定常解の Dome F (日本の観測拠点がある南極第二の頂上) 付近で最高地点を診断し、図示したものが右の図である。実験結果から、ごく小さな氷床面積拡大でもそれに応じて最高地点の移動を伴うことがわかった。理論的な研究から、氷厚程度の頂上の移動で流動の振る舞いが大きく変わることが示唆されているが、この結果から、面積拡大に伴う氷床頂上の移動はコアデータ解釈に有意な影響を与えうると考えられる。

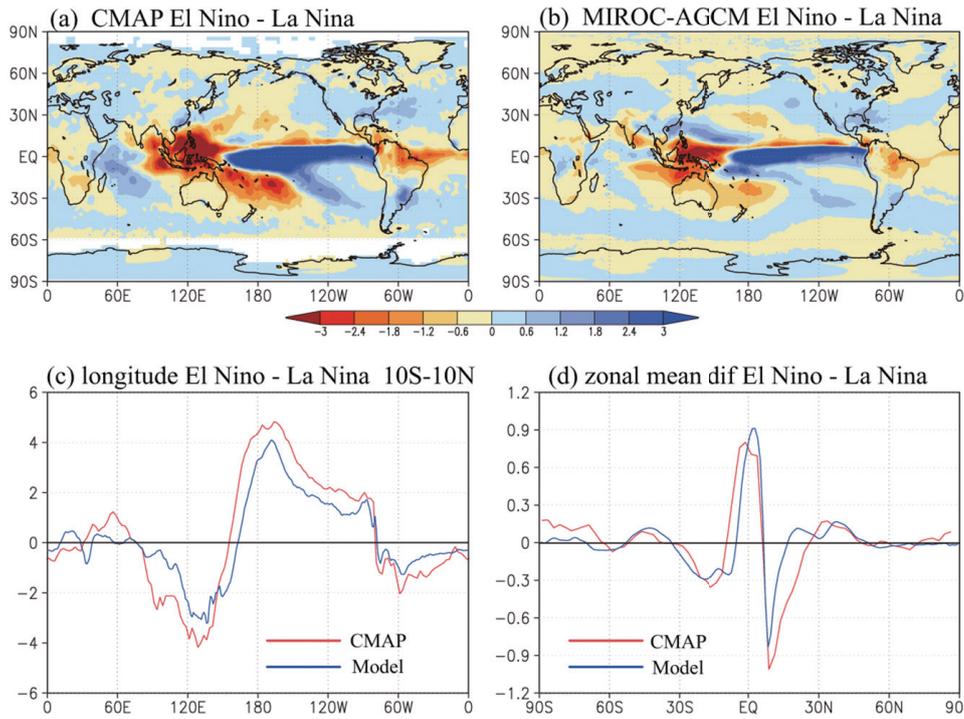


図1 (a) CMAP 観測データと (b) MIROC モデルによるエルニーニョ期からラニーニャ期を引いた降水偏差の全球分布。降水偏差の (c)10°S-10°N 平均した経度変化及び (d) 帯状平均した緯度変化。赤が観測、青がモデル。

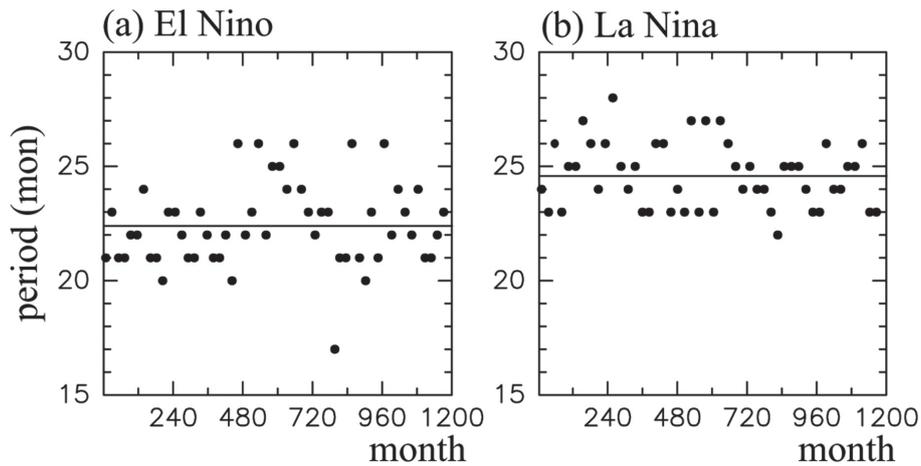


図2 MIROC モデルで再現された (a) エルニーニョ期、(b) ラニーニャ期の QBO 周期分布。縦軸は周期、横軸は 1-1200 ヶ月までの 100 年分。エルニーニョ期の平均周期は 22.4 ヶ月、ラニーニャ期の平均周期は 24.6 ヶ月。

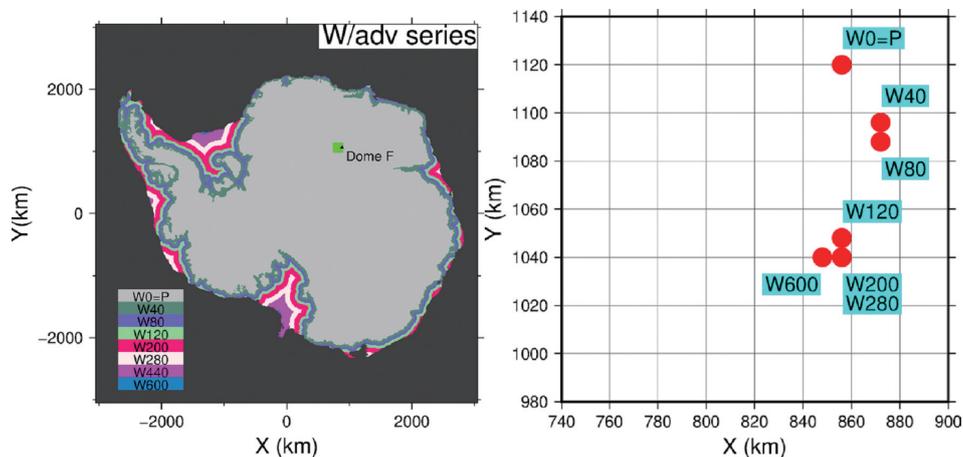


図3 左：感度実験設定。W0=P の領域が現在の南極氷床の着床領域を示す。W40,W80,⋯ は接地線が 40km,80km,⋯ 進んだ場合の仮定する着床領域。Dome F が国立極地研究所で掘削した地点であり、現在はこの領域で最高点にある。右：モデル再現された氷床領域の変動 (W0,W40,⋯) に対する Dome F 近傍の最高点の位置。左の緑で示したごく狭い範囲の拡大である。

今後は過去の気候条件の変化（降水の変化）に伴う最高地点の位置の感度を評価し、過去の起こりうる変動をまとめる予定である。また、高解像度の領域モデルを組み合わせ (nesting) Dome F 近傍の流動計算をすることで流動や年代、力学構造などを詳細にしらべる予定である。

### 3. 並列化球面調和関数ライブラリ Flageolet の開発

MIROC の大気モデル力学過程は球面調和関数変換を用いて波数空間で記述される。球面調和関数 (= フーリエ変換 とルジャンドル陪関数変換) の特性とその実装の容易さのため、現行の MIROC 大気モデルの領域分割は緯度方向のみに制限され、これが分割数の制約となっていた。一方物理過程は格子空間で記述され、一部の例外を除きほぼ格子毎に独立した計算を行っている。従って力学過程で東西分割が可能となれば、並列数を増やすことができ、計算時間を大幅に短くすることが期待される。本課題では主に MIROC の力学過程に適用するための並列化球面調和関数ライブラリ Flageolet の開発を行っている。

実装方法は一般的な多次元高速フーリエ変換ライブラ

リと同様である。すなわち、波数空間への変換前後で配列の転置を挿入する方法である。具体的には東西に分割された配列を、フーリエ変換の前に東西方向にすべての情報を持ち、鉛直方向（あるいは南北方向）に分割された配列として整列する方法を採用した。ルジャンドル陪関数変換はその逆である。フーリエ変換とルジャンドル陪関数変換の間については従来通り全体全通信で整列する。

本年度はフーリエ変換部分を実装し、T42, T106, T213, T319 の各水平解像度で計算効率を調べた。その結果 T213 より高解像度の場合、あるいは鉛直層数が多い場合に十分に使用に耐える計算効率が得られた（東西四分割で実時間 1/3 程度）。今後は残りの部分を実装し、球面調和関数ライブラリの完成を目指す。

### 文献

- [1] Taguchi 2010: Observed connection of the stratospheric quasi biennial oscillation with El Niño–Southern Oscillation in radiosonde data. *J. Geophys. Res.*, 115, D18120, doi:10.1029/2010JD014325.

# Development Research of a High-quality Climate Model for Long-term Climate Change Projection Study

Project Representative

Michio Kawamiya Department of Integrated Climate Change Projection Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Yoshio Kawatani<sup>\*1</sup>, Fuyuki SAITO<sup>\*1</sup> and Michio Kawamiya<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Department of Integrated Climate Change Projection Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ENSO-QBO experiments were conducted by the MIROC-AGCM, which successfully simulates the QBO without non-stationary gravity wave parameterization. The model simulates shorter period during El Nino and longer period during La Nina, consistent with observational results.

Sensitivity experiments using a high-resolution (8km) Antarctic ice-sheet model are performed to investigate possible range of Dome Fuji position responding to environmental changes. The result shows relatively small grounding line advance can affect the position enough to affect dating already.

A parallel spherical harmonics library Flageolet has been developed to replace the original MIROC implementation which has a limited degree of freedom for spatial domain decomposition. Tests for FFT module show reasonable efficiency in particular for higher resolution.

**Keywords:** Equatorial Quasi-Biennial Oscillation, Ice-sheet modeling, Spherical Harmonics Transform.

Observational studies have shown that, on average, the QBO exhibits faster phase progression and shorter period during El Nino and slower progression and longer period during La Nina (e.g., Taguchi 2010). In order to investigate the possible mechanism of QBO modulations associated with ENSO, the ENSO-QBO experiments were conducted by the MIROC-AGCM without non-stationary gravity wave parameterization. In this study, each model was integrated in 100-year “perpetual El Nino” and “perpetual La Nina” experiments. The imposed SSTs in each case were annually repeating and based on composited observed El Nino and La Nina conditions.

Differences of the equatorial precipitation between El Nino and La Nina are realistically simulated as shown in Fig. 1. The simulated precipitation differences are largest over the equator, consistent with observations. The MIROC-AGCM experiments display ~2 months shorter QBO periods in El Nino versus La Nina conditions (Fig. 2).

Near the equator the vertical wave fluxes of zonal momentum in the upper troposphere and lower stratosphere are larger in the El Nino simulation. The tropical upwelling associated with the Brewer-Dobson circulation is also stronger in the El Nino simulation. The effects of the enhanced Brewer-Dobson

circulation during El Nino must somehow be overcome by enhanced wave driving in order to shorten the QBO period

Deep ice-coring requires accurate dating for its interpretation, which is much affected by flow feature around the coring sites. A series of higher resolution (8km) ice-sheet model experiment by Ice2ES shows that the summit position is sensitive to advance in the grounding line position. The result also shows that it is possible to even minor migration of grounding line may affect the flow feature and such that dating. It is planned that the sensitivity of the summit position responding to climate changes will be also investigated in order to evaluate the possible range of the summit migration, which will be used for the configuration of a high-resolution regional modeling studies for future.

A spherical harmonics transform library, Flageolet, has been developed. The library can perform the domain decomposition not only in latitudinal direction but longitude, which is expected to improve the computation efficiency of MIROC, in particular for higher spatial resolution experiment. The Fourier-transform module is tested, which shows reasonable performance and efficiency.

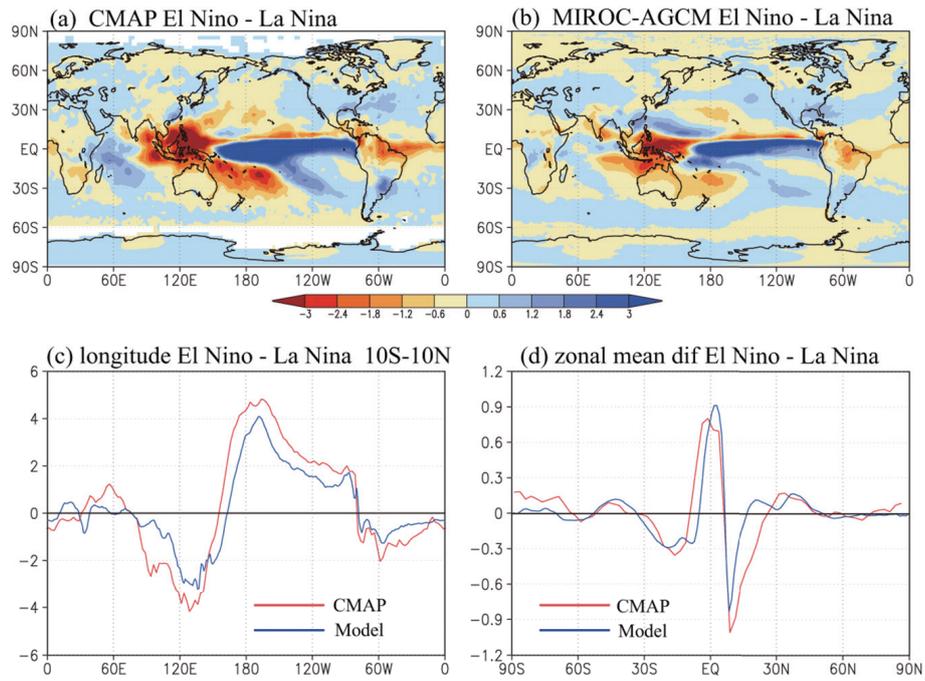


Fig. 1 Precipitation anomalies of El Niño - La Niña for (a) CMAP observational data and (b) MIROC model. (c) Longitudinal (10°S-10°N) and (d) latitudinal zonal mean precipitation anomalies for (red) CMAP and (blue) model.

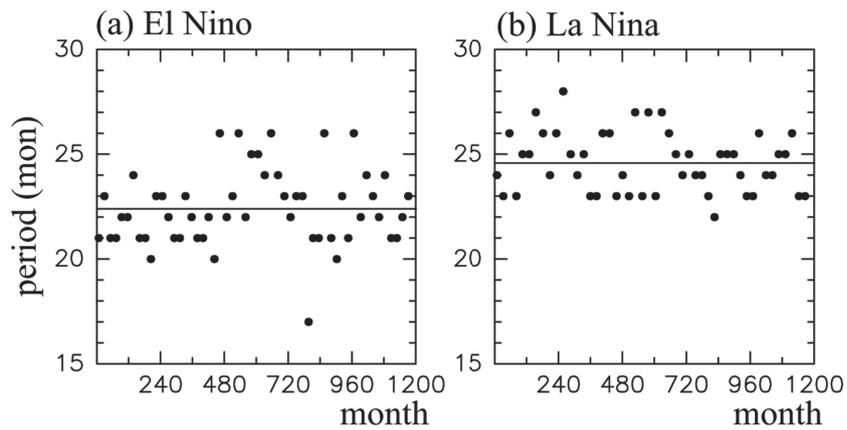


Fig. 2 Periods of the simulated QBO in (a) El Niño and (b) La Niña experiments by the MIROC model. Mean QBO periods are 22.4 and 24.6 month for El Niño and La Niña, respectively.

## References

- [1] Taguchi 2010: Observed connection of the stratospheric quasi biennial oscillation with El Niño–Southern Oscillation in radiosonde data. *J. Geophys. Res.*, 115, D18120, doi:10.1029/2010JD014325.

