# 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

河宫未知生 海洋研究開発機構 統合的気候変動予測研究分野

著者

河宮未知生<sup>\*1</sup>, 河谷 芳雄<sup>\*1</sup>, 齋藤 冬樹<sup>\*1</sup>, 高田久美子<sup>\*2,1</sup>, 羽島 知洋<sup>\*1</sup>, 高橋 邦生<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

\*2 情報・システム研究機構国立極地研究所

解像度 T106L168 にした MIROC-AGCM を高度 95km まで拡張した。本モデルは非定常重力波パラメタリゼーションを用 いていないが、QBO 及び成層圏 SAO をよく再現し、成層圏・中間圏の水蒸気半年振動も比較的良く再現できた。本気候モ デル出力を解析し、水蒸気半年振動のメカニズムの解明を行った。

氷床モデル IcIES-1, IcIES-2 の開発、最適化を行い、大量の長期積分、感度実験を実用的な時間で実現するための見通しが できた。グリーンランド氷床の温暖化実験におけるモデル構造の不確定性についての感度実験を行い、初期値化手法が数百 年程度の温暖化応答の再現に大きく影響があることが明らかになった。

生態系の動態が導入されている MIROC-ESM では、大気 - 陸面間のフィードバックに加えて生態系の動態によるフィード バックが加わり、地上気温、積雪分布、植生量の再現に大きなバイアスが見られたが、積雪アルベド値や雪齢に関するパラ メタ等を調整したところ、バイアスが部分的に緩和した。

キーワード: 中層大気,氷床,棚氷,生態系の動態,積雪

### 1. はじめに

気候変動予測の不確実性低減と信頼性向上の為には、 様々な要素を統合的に再現可能なモデルを用いた研究が 必要不可欠である。本プロジェクトでは、数年から数千 年スケールまでの気候変動を対象とした広範な研究に適 用可能な大気・海洋・陸面結合大循環モデルの開発、お よびその為の要素モデルの開発・改良を目的とする。今 後とも CMIP など国際的なモデル相互比較プログラムや、 IPCC 第6次評価報告書にむけて、世界のトップクラスの 気候モデルの位置を確保出来るようモデルの開発・改良 を継続することが必要不可欠である。本プロジェクトは これらの活動を通して、長期的な地球温暖化の適応策・ 緩和策に資する情報提供を行う事にも繋がる。

# 2. 中層大気の水蒸気変動

中層大気(成層圏と中間圏)水蒸気は全球の放射強制力 に寄与し、気候変動に重要な役割を果たしている。10年 程度前までは、中層大気水蒸気を高精度且つ長期間計測 できる観測機器は無く、その領域における水蒸気変動に 関しては未知な部分が多く残されていた。2004年6月に 打ち上げられた Aura MLS 衛星によって、これまでにない 精度で中層大気水蒸気を測ることができるようになった。

図1に MLS 衛星で観測された赤道域中層大気水蒸気の 時間-高度断面図を示す。成層圏では1年周期と準2年周 期、上部成層圏〜中間圏に掛けては半年周期の変動が顕著 に見られる。昨年度の成果として、成層圏準2年振動(QBO) 伴う水蒸気変動のメカニズムを明らかにした[1]。今年度



図1 MLS 衛星観測による赤道域水蒸気の時間 - 高度断面図。高度 150hPa-0.002hPa、緯度 10°S-10°N 平均。





は半年周期振動 (SAO) に伴う中層大気水蒸気変動の解明 に着手した。

用いた気候モデルは解像度 T106L168 にした MIROC-AGCM で、高度 95km までをカバーしている。本モデル は非定常重力波パラメタリゼーションを用いていないが、 QBO 及び成層圏 SAO をよく再現している。観測とモデル の赤道域水蒸気の半年振動成分の時間 – 高度断面図を図 2 に示す。振幅は弱いものの、モデルは成層圏・中間圏の 水蒸気半年振動を比較的良く再現できた。気候モデル出 力を解析したところ、成層圏では SAO に伴う鉛直循環と 水蒸気の鉛直勾配が変動の主成分であり、力学的な項が 効いていた。一方中間圏では力学的な項と、物理(光解離) プロセスの両方が効いている事が新たに判明した。今後、 更なる解析を行い、成果をまとめる予定である。

#### 3. 氷床モデル開発

過去および将来の気候変動下での氷床の長期的な変動 の再現と高精度化に向けて氷床モデル IcIES を開発・改 良している。現状 IcIES には二つの異なる版(IcIES-1 と IcIES-2)があり、将来的には統合の予定であるが、現段 階では棚氷過程を含まない IcIES-1 と含む IcIES-2 それぞ れの特性に分けて運用している。

従来の10万年スケールの長期積分に重点 を置いた IcIES-1の新 ES 上での最適化を行っ た。その結果、平均ベクトル長が254,ベクト ル化率が99.5%となり、最適化前後で40%程 度の速度向上が見られた。また、氷期・間氷 期サイクルの1周期に相当する10万年周期 の高解像度氷床実験を1日で行うことが可能 となり、今後、不確実性のあるモデルパラメー タを様々に変えた大規模なパラメータ並列実 験を効率良く行う目処がついた。

IcIES-1を使ったもう一つの課題としてグリーンランド 氷床の温暖化応答に関するモデル依存性の評価を行って おり、論文が The Cryosphere に受理された [2]。一連の感 度実験により、表面質量収支の計算手法および初期値化 手法が数百年程度の温暖化応答の再現に大きく、かつ同 程度の影響があることが明らかになった。同化的な手法 による初期値化とアンサンブル実験が今後の氷床の温暖 化応答計算の主流の方法になると考えられ、今後も ES 上 の大規模な数値実験が不可欠である。

IcIES-2 は棚氷過程および接地線付近の流動パラメタリ ゼーションを導入した新たな実装である。現状では南極 氷床のごく限られた設定下での実験を対象にしており、 実用的に高解像度かつ長期積分を大量に実験できるよう に開発を続けている。今年度はインライン展開などの最 適化からアルゴリズムの見直し、実用的に影響ない範囲 での必要最小限の計算精度の評価などを通して、40000 年 程度の長期積分が可能となった(図3)。しかしながら棚 氷の境界条件の特殊性に起因する数値的不安定など、安 定した長期計算を行うのには若干の問題点があることが 分かり、次年度以降での改良に期待される。



33 IcIES-2 による南極水床の再現実験。40000 年での速度分布と体積変動時 系列。

# 4. MIROC-ESM における積雪と植生の相互作用

MIROC-ESM では生態系の動態が導入されており、そ こで計算される植生量(葉面赤指数 LAI)を用いて陸面 過程 MATSIRO でのエネルギー水収支の交換量の計算す ることから、大気 - 陸面間のフィードバックに加えて生態 系の動態によるフィードバックが加わる。新たに整備し ている MIROC-ESM-LTE では、北半球高緯度陸上の低温 バイアス、MATSIRO で計算される積雪の過多バイアス、 炭素収支モデル VISIT による LAI の過小バイアスがあり、 これらの間に正のフィードバックが働いていると考えら れた(図4)。そこで、これらのバイアスを緩和するために、 積雪のアルベド値や雪齢に関するバラメタ、積雪密度と 熱伝導率のスキーム等を調整し、バイアスが緩和される かを調査したところ、複数の調整を組み合わせることに より、これらのバイアスが部分的に緩和されることが分 かった。

# 文献

- Kawatani, Y., J. N. Lee and K. Hamilton: Interannual variations of stratospheric water vapor in MLS observations and climate model simulations, *J. Atmos. Sci.*, **71**, 4072-4085, 2014.
- [2] Saito F., A. Abe-Ouchi, K. Takahashi, and H. Blatter: SeaRISE experiment revisited: Potential Sources of Spread in Multi-model Projections of the Greenland Ice-Sheet, *The Cryosphere*, 10(1), 43-63, 2016.



# **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

Michio Kawamiya<sup>\*1</sup>, Yoshio Kawatani<sup>\*1</sup>, Fuyuki Saito<sup>\*1</sup>, Kumiko Takata<sup>\*2,1</sup>, Tomohiro Hajima<sup>\*1</sup> and Kunio Takahashi<sup>\*1</sup>

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

\*2 National Institute of Polar Research

We developed T106L168 MIROC-AGCM model with top boundary at 95 km. The model could simulate quasi-biennial oscillation (QBO) and stratopause semi-annual oscillation (SAO) without using non-stationary gravity wave parameterization. The model also simulates water vapor variations associated with the SAO in the stratosphere and mesosphere, and mechanisms of variations are investigated by analyzing the model outputs.

Two versions of a numerical ice-sheet model, IcIES-1 and IcIE-2 are improved and optimized to achieve long-term experiments with a lot of ensemble members. Various sensitivity observed over simulation of Greenland ice-sheet response to the global warming are evaluated. The method to compute surface mass balance and that to simulate the initial (present-day) condition are found to be both important factors to the sensitivities.

The large biases in MIROC-ESM due to the interaction between dynamic vegetation and land-surface processes are reduced by adjusting the parameters and schemes, such as for snow albedo and age.

Keywords: Middle atmosphere science, Ice-sheet, Ice-shelf, Dynamic vegetation, Snow

Water vapor in the middle atmosphere (i.e., stratosphere and mesosphere) makes a significant contribution to the globalmean radiative forcing of climate. A new Microwave Lim Sounder (MLS) satellite, which launched in July 2004 provide high quality datasets for water vapor in the middle atmosphere. Figure 1 shows time-height cross section of monthly- and zonalmean MLS water vapor in 10°S-10°N. In the stratosphere, annual and quasi-biennial variation is observed[1], while from the upper stratosphere to the mesosphere, semi-annual variation is dominated. To investigate the mechanism of these water vapor variations, we have developed T106L168 MIROC-AGCM model with top boundary at 95 km. The model could simulate quasi-biennial oscillation (QBO) and stratopause semi-annual oscillation (SAO) without using non-stationary gravity wave parameterization. The model also simulates water vapor variations associated with the SAO in the stratosphere and mesosphere. Figure 2 presents composite of the SAO variation of water vapor. Although the amplitude is underestimated in the model, the model succeeded in simulating qualitatively similar water vapor variations. By



Fig. 1 Time-height cross section of monthly- and zonal-mean MLS water vapor in 10°S-10°N.



Fig. 2 Composite of the SAO variation of 10°S-10°N average water vapor. (a) MLS, (b) MIROC-AGCM.

analyzing model outputs, we have found that upper stratospheric water vapor anomalies are largely driven by advection of the mean vertical gradient of water content by the SAO interannual fluctuations in the vertical wind. On the other hand, in the mesosphere, both dynamical and physical (i.e., photolysis process) terms play the role in water vapor variation.

An Ice-sheet/ice-shelf model IcIES-2 is improved and optimized for relatively long-term simulation of the Antarctic ice-sheet (Fig 3.). The former version IcIES-1 (without ice-shelf process) is also optimized to achieve long-term simulation of a lot of ensemble members in practical times.

Sources of spread in a multi-model projections of the



Fig. 3 Example simulation of Antarctic ice sheet using IcIES. Surface velocity magnitude (left) and the time series of simulated volume over 40,000 years (right) are shown.

Greenland ice-sheet are analyzed[2]. The results show that both variation of the initialization methods (i.e., the method to compute the present-day ice-sheet fields) and the surface mass balance parameterization are key contributors for the divergence.

The interaction between dynamic vegetation and the land surface processes in the MIROC-ESM, that includes a dynamic vegetation scheme, enhances the biases in low surface temperature, high snow cover and low leaf area index due to the positive feedbacks among them (Fig. 4). It is revealed that adjusting the parameters such as snow albedo and age could reduce those biases.

### References

- Kawatani, Y., J. N. Lee and K. Hamilton: Interannual variations of stratospheric water vapor in MLS observations and climate model simulations, *J. Atmos. Sci.*, 71, 4072-4085, 2014.
- [2] Saito F., A. Abe-Ouchi, K. Takahashi, and H. Blatter: SeaRISE experiment revisited: Potential Sources of Spread in Multi-model Projections of the Greenland Ice-Sheet, *The Cryosphere*, 10(1), 43-63, 2016.



Fig. 4 Feedbacks between dynamic vegetation and land-surface processes in MIROC-ESM.