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

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）

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を目的とする。開発された気候モデルおよび要素モデルによる研究成果の多くは、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次報告書に反映されている。更に、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. 海洋・陸面モデル開発

2.1. MIROC-ESM における積雪と植生の相互作用

MIROC-ESM では動態植生を導入されており、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を計算することから、気象場と植生量の相互作用によって気温や植生の分布が変化する。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 の過小バイアスが見られ、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る。これらのバイアスを緩和するために、積雪のアルベド値、雪齢に関するパラメタ、積雪密度と熱伝導率のスキームを調整し、バイアスが緩和されるかを調査した。その結果、複数の調整を組み合わせることにより、部分的な緩和効果が得られることが分かった。

3. 氷床モデル開発・古気候実験

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、それぞれの特性に分けて運用している。将来的には統合の予定である。

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-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。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。

加えて、昨年度投稿した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についての論文が The Cryosphere に受理された(Saito et al 2016)。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。

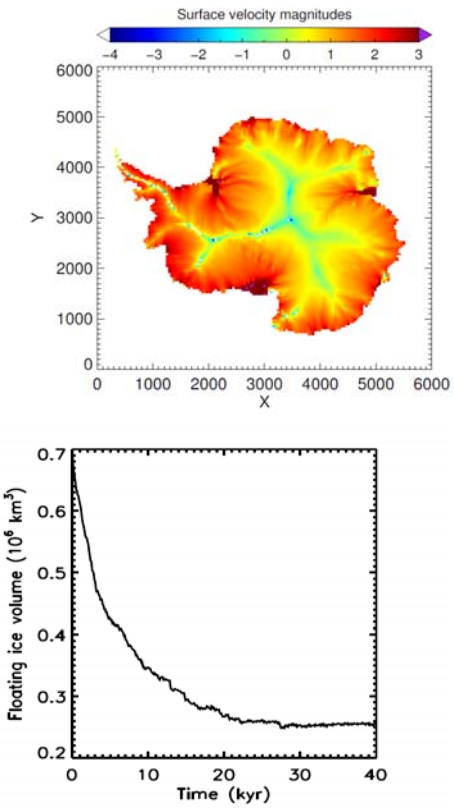

図 1. IcIES-2 による南極氷床の再現実験。40000 年での速度分布(上)と体積変動時系列(下)。

4. 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 2 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(Kawatani et al. 2014)。今年度は半年周期振動(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 3 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。

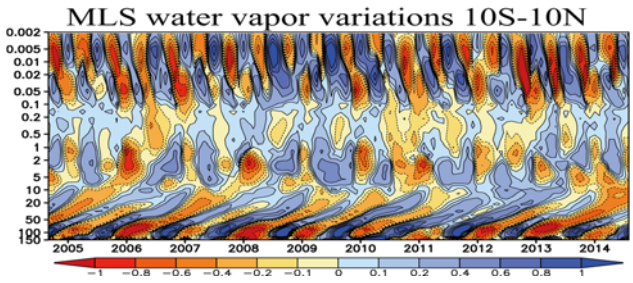

図2.MLS衛星観測による赤道域水蒸気の時間－高度断面図。高度 150hPa-0.002hPa、緯度 10°S-10°N平均。

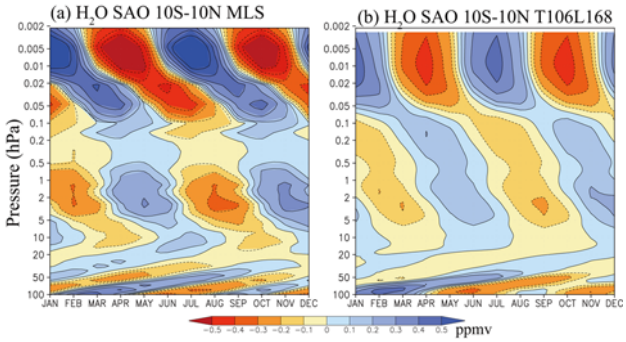

図3. 赤道域水蒸気の半年振動成分の時間－高度断面図。(a)衛星観測、(b)気候モデル。

5. 参考文献

Kawatani, Y., J. N. Lee and K. Hamilton, 2014: Interannual variations of stratospheric water vapor in MLS observations and climate model simulations, *J. Atmos. Sci.*, **71**, 4072-4085.

Saito, F, A. Abe-Ouchi, K. Takahashi and H. Blatter, 2016: SeaRISE experiments revisited: potential sources of spread in multi-model projections of the Greenland ice sheet, *The. Cryosphere*, **10**, 43-63.