

乾燥大気力学コア(MCM)上で生じる QBO 的振動についての考察と 3 次元スペクトル MCM の新たな定式化

大気科学分科 藤田 駿(FUJITA, Shun)

大気大循環モデル (General Circulation Model, GCM) は地球の大気運動を記述する数値モデルであり、現代の気象学研究には必要不可欠なツールである。近年モデル開発の進展に伴って、GCM 上で様々な現象を再現することが可能になってきた。その一例に、赤道成層圏の東西風の向きが約 2 年の周期で反転する現象である、成層圏準二年周期振動 (Quasi-Biennial Oscillation, QBO) が挙げられる。最新の QBO モデル間相互比較プロジェクト (QBOi, Bushell et al. 2022) では、周期や成層圏上部での振幅などが現実的な QBO 的振動が複数の GCM で得られることが明らかになった。しかし、成層圏下部での振幅が弱い、南北方向の広がりが狭いなど、再現にはモデルバイアスも存在する。QBO は波動で平均流が駆動される現象であるため、モデル上での波-平均流相互作用の表現に問題があることが示唆される。ただこれを改善するには、そもそも物理過程に問題があるのか、力学コア (Mechanistic Circulation Model, MCM) に問題があるのかを明らかにする必要がある。



本研究では、鉛直離散化手法と鉛直解像度
に注目し、複雑な物理過程を含まない MCM
においてどのように大気波動が生成・散逸さ
れ、平均流が形成されるのか解明すること
を目標とする。このために第 I 部では、MCM
上で自発的に QBO 的振動が生じうること
を示した Yao and Jablonowski (2015) の設定
のもとで、鉛直離散化手法のみが異なる 2 つ
のモデル (差分法/スペクトル法) で鉛直解
像度を変えて数値実験を行った。実験の結果、
鉛直解像度の低い差分モデルでは QBO 的
振動が発生したが、鉛直解像度の高い差分モ
デルや 3 次元スペクトルモデルでは QBO
的振動が発生しなかった[図 1]。パワースペク

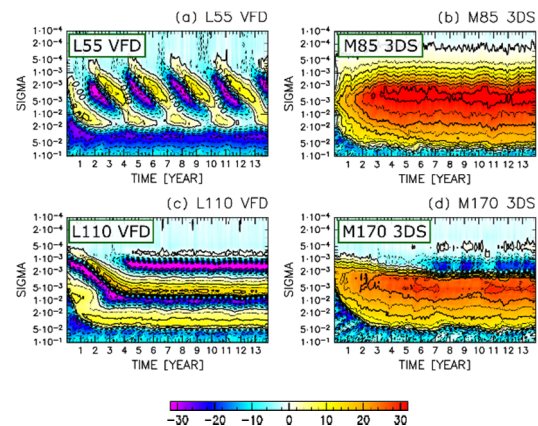


図 1 赤道域東西・月平均東西風 [m s^{-1}] の時間(横軸)–高度(縦軸)断面。等値線間隔は 4 m s^{-1} 。 (a): L55 VFD, (b): M85 3DS, (c): L110 VFD, (d): M170 3DS モデルの結果。ただし L は鉛直レイヤー数, M は鉛直切断波数で、VFD は鉛直差分モデル、3DS は 3 次元スペクトルモデルを表す。

トル解析や運動量収支解析などの結果、対流圏から成層圏へ伝播する波の活動度はいずれのモデルでも同程度であったが、鉛直解像度の低い差分モデルでは成層圏下部での波動散

逸が弱く、成層圏上部まで波動が伝播したことで QBO 的振動が発生していることが明らかになった。他方、QBO 的振動が発生しなかったモデルでは定常な東向きジェットが存在したことで波動の上方伝播が抑制されていることを明らかにした。特に鉛直解像度が高い差分モデルでは、時間発展初期段階での強い波強制が定常な東向きジェット生成に寄与していることを示した。これらの結果から、MCM 上での波散逸のされ方は鉛直離散化手法や解像度に強く依存して変化することが示唆される。

第 I 部の結果を踏まえると、離散化誤差が少なく計算精度の高いモデル上での波生成・散逸過程をさらに調査することが求められるが、ルジャンドル多項式展開に基づく現状の 3 次元スペクトル MCM には、上空で格子点間隔が極端に大きくなること・計算効率が悪いこと、という問題点がある。これらを解決できれば、モデル上での波生成・散逸過程の解明に寄与するほか、大気力学研究に新たな研究ツールをもたらしこともできる。そこで本研究第 II 部では、スペクトル法に基づく鉛直離散化の枠組みを新たに 2 つ提案し、計算法の定式化を行った。一つは有理チェビシェフ関数、もう一つはラゲール関数を鉛直方向の基底に用いる手法である。東西波数固定・水平-鉛直の準 2 次元モデルに実装して山岳波励起の数値実験や固有値解析を行い、いずれの手法でも安定に計算でき、かつ従来の手法よりも高精度に計算ができることを示した[図 2]。本研究ではさらに、ラゲール関数を鉛直基底に用いた場合について 3 次元スペクトル MCM の定式化を行い、この手法を用いて数値計算を行うための基盤を確立した。

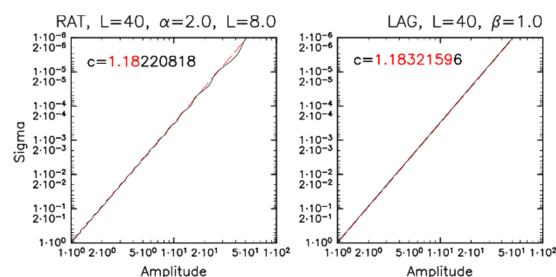


図 2 固有値解析により計算した Lamb 波の位相速度 c と振幅(黒線)。位相速度の赤字で書かれた数字は解析解と一致する桁を表し、赤点線は解析解の振幅を表す。各図横軸が振幅、縦軸が高度で、左図に有理チェビシェフ関数、右図にラゲール関数を用いた方法の結果を示す。