

論文審査の結果の要旨

氏名 豊田英司

地球上の降水分布がいかんにして決まるかということは気象学における最も根源的な問題の一つである。現実の気候においては海面温度の高い赤道域で強い降水活動が見られているが、この降水分布のパターンは海面温度や海陸の分布に大きく規定されている。しかし、これらの境界条件から降水分布への因果関係は単純なものではない。海面温度の分布が降水分布にどのような影響を与えるかを吟味するために、Hosaka et al. (1998) は水惑星すなわち全球が水で覆われた仮想的な状況において GCM = 大気大循環モデルを数値積分し、赤道上に置いた局所的な海面水温暖水域に対する熱帯大気の応答について調べた。その結果、暖水域の有無による降水量の変化を赤道に沿ってみると、暖水域上に降水活動が活発ないわゆる対流中心が現れることは予想されたことだが、対流中心の東側では降水が増加、西側では降水が減少という東西非対称な応答が現れることが示された。しかし、この東西非対称なパターンは、長期間積分を行って得られたデータの時間平均によって個々の積雲活動等による細かな「ノイズ」を除去して初めて見えてきたもので、その成因を因果的に究明していくのは困難であった。

本論文は、このような背景を踏まえ、初期条件を若干変えた 128 ランのアンサンブル実験を行い、時間平均ではなくアンサンブル平均をとることによって「ノイズ」を除去し、暖水域に対する熱帯大気の応答の初期形成過程を初めて時系列として抽出した。その結果、降水の東西非対称性の形成は赤道波の性質によって理解できることが明確に示された。すなわち、熱帯域を浅水流体と考えると対流中心は加熱域すなわち低気圧の強制であり、そこから低気圧偏差が東向きには赤道ケルビン波によって、西向きには赤道ロスビー波によって伝播するが、東西の違いは波の構造によって発現する。すなわち、赤道ケルビン波の低気圧偏差は赤道を中心とするのに対し、赤道ロスビー波の低気圧偏差は赤道の南北 10° くらいに中心があり、接地境界層での摩擦風による水蒸気輸送は低圧部に向かうため、対流中心の東側では水蒸気収束が降水の増強を通じて低気圧偏差を維持するのに対して、西側では逆センスに作用することになり、地表近くで摩擦発散が起るため、降水は単調に減少する。これによっていったん西側領域の降水が減少すれば、負の熱源としてさらに西側領域に高気圧偏差をもたらすことになり、さらなる西側領域の降水の減少につながる。という過程が時系列として明らかになった。この応答形成過程は、Hosaka et al. (1998) で推測されてはいたが、本論文の結果はこれに初めて裏付けを与えたものである。また、東向きに伝播している赤道ケルビン波は、湿潤過程によるフィードバックを含んでいるため、乾燥大気中の赤道ケルビン波に比べて位相速度がかなり遅いが、このような湿潤赤道ケルビン波の伝播の様子についても、アンサンブルをとったことによって初めて明瞭に示すことができている。

さらに、申請者は、上記のアンサンブル実験を行うにあたって膨大なデータの処理という困難に直面したが、これについては、既存の入出力ライブラリ GTOOL3

の設計思想をベースにして全く新しい入出力ライブラリおよび解析可視化ツール gtool4 を構築した。データ表現においてはファイル形式の基礎として netCDF (Rew et al., 1997) を採用することでファイルの可搬性や任意次元配列の処理を実現し、現実に流通しているデータとの互換性を重視しつつ、GTOOL3 の特長を継承する netCDF 規約を構築した。実装においては、Fortran 90 の採用によってモジュール設計を明確化し、構造型によるデータ抽象化手法を Fortran 90 による実用的なプログラムで実証した点に新しさがある。また、gtool4 は netCDF よりも整理されたインターフェイスを提供し、スライススキャン API などは多次元配列のある断面を 2 次元配列のように部分アクセスすることも可能にしている。申請者は gtool4 を用いることによって、膨大な実験データのさまざまな断面をとることや平均操作および可視化などの処理を容易に行える環境を整備して本論文の研究を可能にした。また、この gtool4 は汎用的なツールであり、一般の使用に供するべくインターネット上で公開されている。

以上、本論文では、多数のアンサンブル実験を行うことによって、これまでの水惑星実験で得られていた赤道暖水域に対する降水分布の応答の形成過程を時系列として初めて明らかにしただけでなく、湿潤ケルビン波の伝播の様子の可視化にも成功している。また、アンサンブル実験のデータ解析を可能にしたツール gtool4 を構築したことも意義あることである。

よって、論文提出者豊田英司は、博士(数理科学)の学位を受けるにふさわしい十分な資格があると認める。