

大気大循環モデルで表現される赤道域降水活動の 組織化と階層的構造

学位論文内容の要旨

赤道域には、組織化された降水構造（クラウドクラスター、スーパークラスター、Madden-Julian 振動）が階層的に存在すると言われている (Nakazawa, 1988). Hayashi and Sumi (1986) は、東西一様、南北対称な固定海表面温度分布（水惑星条件）を与えて大気大循環モデルによる数値実験をおこない、赤道域の降水構造としてスーパークラスターと Madden-Julian 振動的な波数 1 の降水強度変調とが自励的に発生することを示し、これらの階層的降水構造の存在は赤道域の力学に内在する自然な降水構造であると主張した。今日においては、大気大循環モデル中の降水分布パターンは解像度、数値スキーム、物理過程の実装に強い依存性をもつことが分かってきているが (Lee et al., 2001)、これらの依存性に関する組織だった調査は、計算機資源の問題もあり、これまであまり行われてこなかった。大気大循環モデルで表現されるべき降水分布パターンに関する意見の一致はみておらず、降水分布パターンの相違をもたらす力学についての理解も不十分である。

本研究は、Hayashi and Sumi (1986) の時代には困難であったパラメタ研究を Hayashi and Sumi (1986) と同様の比較的単純な設定のもとで実施し、降水分布パターン形成の多様性を検討することを目指すものである。水惑星条件のもとで、大気の放射冷却構造やモデルの解像度に対する降水活動の振舞いの依存性を赤道大気力学理論である wave-CISK の予想にしたがって整理した。

放射冷却率鉛直分布依存性実験

Hayashi and Sumi (1986) と同程度の解像度 (T42L16) の大気大循環モデルで表現される格子点スケール降水構造に対する放射冷却率鉛直分布の影響を水惑星実験により調べた。大気大循環モデル中の降水分布パターンの相違を発生させる要因のひとつとして、凝結加熱率の鉛直分布の差異が挙げられる。格子点スケールの東進降水構造が wave-CISK の力学によるものであるならば、加熱分布の鉛直構造が wave-CISK と強調的でない、下層で最大値を持つ場合には、その発現は弱くなるだろう。この予想に基づき、地球流体電脳倶楽部版の大気大循環モデル AGCM5 (SWAMP Project, 1998) を用い、長波放射スキームの吸収係数を調節することにより放射冷却率の鉛直分布を操作し、凝結加熱率分布を変更する実験を行った。

積雲パラメタリゼーションに Kuo スキームを用いた場合、凝結加熱率が対流圏上層で最大値を持つ実験では、赤道上において格子点スケールの降水域の東進が顕著となったのに対し、対流圏下層で最大値を持つ実験では、西進が顕著となった。東進する降水域に準拠したコンポジット図では、赤道上高度経度図において循環に wave-CISK の示唆する位相の西傾構造が見られるのに対し、西進する降水域に準拠したコンポジット図では、鉛直に直立した CIFK (第一種条件付不安定) 的構造となった。一方で、積雲パラメタリゼーションに対流調節スキームを用いた場合、赤道上的格子点スケールの降水域の構造には顕著な変化が見られなかった。対流調節スキームを用いた場合には、Kuo スキームを用いた実験ほど大きな凝結加熱分布の変化が起こらなかったことと関係していると考えられる。

解像度依存性実験

鉛直および水平解像度を様々に変えた水惑星実験を行った。現実大気の降水構造の水平スケールは、クラウドクラスターは数 100 km、スーパークラスターは数 1000 km と言われている。過去に行われてきた AGCM (例えば, Hayashi and Sumi, 1986) の水平解像度は T42 程度 (格子間隔約 300 km) であり、クラウドクラスターとスーパークラスターの階層性が表現されるとは考え難く、降水分布パターンは解像度に応じて大きく変わる可能性がある。ここでは、地球シミュレータ、及び地球シミュレータに最適化した大気大循環モデルである (Ohfuchi et al., 2004) を用い、水平解像度 T39 (格子間隔約 300 km) から T319 (約 40 km) までの広範囲にわたる水平解像度の変更した実験を行い、組織化構造や階層性がどのように表現されていくかに注目した。

積雲パラメタリゼーションを用いずに行った実験では、水平解像度の向上とともに格子点スケールの西進する降水域とそれを包絡する東進する降水域、という階層的構造が次第に明瞭になる傾向を認められる。一方で、積雲パラメタリゼーションに Emanuel スキーム (Emanuel, 1991) を用いた実験では、階層性は積雲パラメタリゼーションを用いずに行った実験ほど明瞭でなく、ケルビン波の wave-CISK 的構造も不明瞭であった。水平解像度向上により、wave-CISK 的構造を内在する条件であれば、CIFK によって成長し偏東風に移流される西進降水構造と、ケルビン波の wave-CISK による東進降水構造とがスケールの分離されると想像されるが、パラメタリゼーションスキームで使用される内部パラメータに対する解像度依存性が存在する可能性があり、物理過程の実装に対してモデルで発現する降水構造の振舞いがどのように依存しているのかが問題として残された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 林 祥 介

副 査 教 授 渡 部 重 十

副 査 助 教 授 渡 部 雅 浩 (地球環境科学研究所)

副 査 教 授 遊 馬 芳 雄 (琉球大学大学院理工学
研究科)

学 位 論 文 題 名

大気大循環モデルで表現される赤道域降水活動の 組織化と階層的構造

著者は、赤道域降水活動の組織化と階層構造の形成に関して、大気大循環モデルを用いた水惑星数値実験のパラメタ研究を実行することにより、その振舞いを系統的に掌握することを試みた。赤道域の降水活動が階層的に組織化されることは大気大循環モデルによる先駆的な数値計算と衛星観測によるデータの蓄積により 80 年代後半に知られるようになった。その後、複数のグループによる研究の結果、大気大循環モデルにおける赤道域の降水活動の表現はモデル依存性が大きいことが明らかになったが、その原因を調べることには多大な計算資源が必要であり着手困難な問題となっていた。著者は、この問題に対して、国立環境研究所ならびに地球シミュレータセンターの計算環境を駆使し、wave-CISK (波動と結合した第二種条件付不安定) 理論から導かれる予想に着目し、放射冷却分布ならびに水平分解能に関する膨大なパラメタ計算と解析を実行した。

大気の鉛直放射冷却分布を変化させることにより、鉛直凝結加熱分布に対する降水活動の表現依存性を調べた実験では、凝結加熱率が対流圏上層で最大値を持つ場合には格子点スケールで降水域の東進構造が顕著になるのに対し、対流圏下層で最大値を持つ場合には西進構造が顕著となるという結果を得た。この振舞いは wave-CISK 理論の予想と整合的であり、降水とそれに伴う循環構造の解析により、東進する降水域には不安定結合したケルビン波構造が、西進する降水域には CIFK (第一種条件付不安定) 的で偏東風により移流される構造が伴っていることが判明した。

水平解像度を変えることにより降水活動の階層性に着目した実験では、水平解像度の向上に伴い階層構造の出現を自然に表現できるようになることを、現在最もよく使われているプリミティブ系の大気大循環モデルにおいて、世界で初めて示すことに成功した。水平解像度向上により、CIFK によって成長し偏東風に移流される西進降水構造はより小さなスケールで発現し、ケルビン波の wave-CISK による東進降水構造とスケールの的に分離されることを示唆した。

本論文は、大気大循環モデルにおける赤道域降水活動の組織化と階層構造の表現の多様性を説明する概念として、wave-CISK の力学構造が有効であることを示したものである。近年、高解像度の全球雲解像モデルを用いた数値実験が可能となってきたことや時空間的に密な衛星熱帯観測が多く行われるようになってきたことにより、積雲対流のより微細な構造を含む精密なデータが解析の対象となってきているが、本論文は、これら精密なデータ

を粗視化して大規模場の振舞いを掌握する上で一つの有効な視点を与えたものである。

以上の理由により、著者は北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格があるものと認める。