

論文審査の結果の要旨

氏名 中村 雄飛

大規模環境場と水蒸気の凝結を伴う湿潤対流の相互作用の理解は、大気大循環の理解にとって本質的に重要である。しかし、凝結過程や雲-放射過程の強い非線形性のために、その理解は未だ限定的である。本研究では、赤道ケルビン波と赤道ロスビー波に着目し、空間スケールの大きい2つの代表的な赤道波動が、その内部の湿潤対流とどのような形態で結合しているかを、大気再解析データと衛星観測データを活用して定量的に調べた。過去の理論研究において、湿潤対流と結合した大気擾乱は大気重力波モードと水蒸気モードの2つの異なる特徴に分類できることが示されていたが、現実の赤道波動がどちらの性質で湿潤対流と結合しているかは未解明であった。本論文では、対流結合ケルビン波は大気重力波モードの特徴を持ち、対流結合ロスビー波是水蒸気モードの特徴を持つことを明らかにした。本研究が示した赤道波動内部の降水システムの分類や対流加熱と放射加熱の経度-高度2次元断面図は、衛星観測データの長年の蓄積により可能となった新規性の高い解析結果である。

本論文は6章からなる。

第1章はイントロダクションである。赤道波動の理論背景、観測から得られた実在の証拠、熱帯域の湿潤対流についての観測研究を整理し、その後、湿潤対流と赤道波動の結合について観測研究と理論研究をまとめる。特に、本研究が着目する大気重力波モードと水蒸気モードの先行研究を詳述し、赤道ケルビン波と赤道ロスビー波が大気重力波モードと水蒸気モードのどちらの性質を持って湿潤対流と結合しているのかを定量化するという本研究の目的を提示する。

第2章では、使用する大気再解析データと衛星観測データ、および、解析手法について説明する。本研究では、二重フーリエ解析を用いて対流結合ケルビン波と対流結合ロスビー波を抽出し、コンポジット解析によってそれぞれを特徴づける大気場と海面水温場を描写する。14年間にわたり降水の3次元構造を観測したTRMM衛星のデータを利用した統計解析は本研究の著しい特徴である。TRMM衛星観測から生成された複数のデータセットを組み合わせることで降水イベントを5つの型に分類し、赤道波動内部でどのような降水イベントが発生しやすいかを調査する。また、CloudSat衛星とCALIPSO衛星の観測データも統計解析に活用する。

第3章では、対流結合ケルビン波と対流結合ロスビー波の力学的、熱力学的特徴を比較し、それぞれが大気重力波モードと水蒸気モードのどちらの性質を持っているか定量的に調べる。大気重力波モードについては鉛直風速と気温の位相関係に着目し、水蒸気モードについては鉛直積算水蒸気量の偏差の大きさ、および、その地上降水量との位相関係に着目して検証する。解析の結果、対流結合ケルビン波は大気重力波モード、対流結合ロスビー波是水蒸気モードとして分類できることが分かった。さらに、TRMM衛星観測から作成された対流加熱の鉛直分布を用いた渦運動エネルギーの収支解析から、渦有効位置

エネルギー (EAPA) の生成項と EAPA から渦運動エネルギーへの変換項の鉛直分布が、対流結合ケルビン波と対流結合ロスビー波で類似していることが示された。

第4章では、対流結合ケルビン波と対流結合ロスビー波が伴う降水イベントの特徴を調べる。対流結合ケルビン波では、対流抑制域の浅い対流から対流活発域のメソ対流複合体 (MCS) へと降水イベントの型が順々に遷移していた。対流結合ロスビー波では、対流活発域では MCS と深い対流が多く、対流抑制域では浅い対流と雄大積雲が多かった。両者において地上降水に最も寄与するのは MCS であり、EAPA 生成に寄与する対流圏上部の加熱は MCS によりもたらされると推定された。

第5章では、CloudSat 衛星と CALIPSO 衛星のデータを用いて、対流結合ケルビン波と対流結合ロスビー波の内部における雲と放射加熱の特徴を調査する。対流結合ケルビン波では短波放射と長波放射の両方が EAPA 生成を増大させるが、赤道ロスビー波では短波放射が EAPA 生成を増大させる一方、長波放射は EAPA 生成を減少させていた。

第6章では研究全体をまとめて結論を導き、今後の展望を述べる。対流結合ケルビン波と対流結合ロスビー波は、大気重力波モードと水蒸気モードという異なる性質を持つ一方、両者において MCS が対流圏上部の加熱を介して EAPA 生成に寄与するという共通性があり、この特徴により2つの赤道波動の等価深度の類似性を説明できる可能性が指摘された。

なお、本論文第3章、第4章、第5章は高薮縁氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。