

別紙 1

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 A study on the physical characteristics of quasi-2-day waves in the tropical atmosphere with global data analysis

(全球データ解析による熱帯大気準二日振動の物理特性に関する研究)

氏 名 角 ゆかり

論 文 内 容 の 要 旨

熱帯では、年間を通じて積雲対流活動が活発であり、組織化した積雲対流システム（雲集団）が次々に形成され、それに伴う多量の降水がもたらされる。熱帯大気循環の主要なエネルギー源は、組織化された対流システムに伴う潜熱加熱であり、様々な時空間スケールを持つ大規模波動（赤道波）が駆動される。雲や降水を伴う積雲対流活動と結合した熱帯大気の大規模波動は対流結合波と呼ばれる。

本研究では、対流結合波の階層構造の最小単位を構成する準二日振動に着目した。準二日振動とは赤道付近を約2日周期で西進する大規模擾乱であり、その力学機構は対流と結合した西向き慣性重力波（WIG wave）で説明される。本研究は、全球データを用いて、準二日振動に伴う雲対流と波の大規模循環場との関係について調べた。輝度温度データのWIGフィルタリングから同定された準二日振動の対流ピークのまわりに、様々な全球データを合成してコンポジット時系列を作成した。研究内容は前半部と後半部に分けられ、それぞれの結果は以下にまとめられる。

研究の前半部では、準二日振動における対流と波の大規模大気循環場との関係を、熱力学的な視点から考察した。熱力学過程を調べるために、湿潤静的エネルギー（MSE）という保存量に着目した。MSEとは、湿潤対流過程で保存する熱エネルギーであり、MSE収支方程式は波の大規模循環場と関係するMSEの蓄積・解放過程（recharge-discharge process）の診断に有用である。大気鉛直カラム全体のMSEの正味の変化は、大規模循環場によるMSE移流の変動と、カラム両端の熱フラックス（放射および地表面熱フラックス）の変動によって説明される。本研究では、まず、再解析データを用いてMSE収支解析を行い、準二日振動におけるMSEの蓄積・解放過程を調べた。MSEは強い対流に先行して増加し（蓄積過程）、対流の発達とともに減少する（解放過程）。このようなMSEの変化は主にMSE移流項に起因しており、放射加

熱と地表面熱フラックスの寄与は小さいことが示された。次に、蓄積・解放過程における MSE 移流の役割をより詳しく調べるために、移流項を水平成分（東西および南北成分）と鉛直成分に分離した。水平移流は主に東西移流に支配され、MSE 変化率とほぼ同位相で変化する。このとき、東西移流は鉛直移流と同程度の振幅を持つ。鉛直移流では、深い対流に伴う負の移流の増加が顕著に見られる一方で、浅い対流に伴う正の移流の増加は相対的に振幅が小さかった。次に、MSE 移流の変動をもたらす要因を明らかにするために、移流項に寄与する変数（すなわち風速場と MSE 場）をそれぞれ平均場と偏差場に分離し、以下の結果を得た。鉛直移流は主に波の大規模な鉛直運動によって支配される。東西移流では、平均場の東西風による移流の寄与が最も大きい。これは波の大規模循環場に伴う MSE の蓄積・解放過程の解釈には影響しない。実際、平均場の東風（西風）が強くなるほど東西移流の振幅は大きく（小さく）なるが、鉛直移流の振幅はほとんど変わらないことが確かめられた。以上の結果から、準二日振動における MSE の蓄積・解放過程は、主に波の大規模循環場に伴う鉛直移流によって支配されることが明らかになった。この結果は、大規模循環場に伴う MSE 変化を鉛直移流にもとづいて説明した理論モデルと定性的に一致しており、準二日振動より長周期の対流結合波とも整合的である。最後に、準二日振動の大規模循環場と対流の強さとの関係性を評価するため、既存研究を参考に MSE と水蒸気の鉛直移流項の比で定義される *normalized gross moist stability* (NGMS) を導入した。NGMS は強い対流に先行して 0 に近い正の値に減少し、対流の発達とともに増加に転じ、対流のピーク後に最大値を生じる。この結果は、準二日振動のように短周期の対流結合波ほど NGMS の時間変動が顕著であるという先行研究の知見と一致している。

上で述べたように、波に伴う大規模な鉛直運動によって準二日振動の熱力学過程は支配されることが明らかになった。このような波の大規模場は、固有の鉛直プロファイルを持つ熱帯大気の大規模モード（雄大積雲モード、深い対流モード、層状性モード）と関係している。深い対流モード（第一傾圧モード）は *single-sign* な構造を持ち、雄大積雲および層状性モード（第二・三傾圧モード）は *dipole-like* な構造を持つ。対流と結合していない乾いた鉛直モードは、準二日振動よりも速い位相速度で伝播するが、対流と結合して速度低下が生じる。従って、準二日振動の遅い位相速度といった伝播特性を理解するためには、波の大規模場を構成する鉛直モードの役割を詳しく調べる必要がある。

研究の後半部では、準二日振動の遅い位相速度を決めるメカニズムを明らかにするために、波と結合した鉛直モードの速度低下に着目した。まず、鉛直モード展開より、準二日振動の大規模場は第一から第四モードまでで表されることが明らかになった。この結果は、雄大積雲モード、深い対流モード、層状性モードからなる *multi-mode model* が示す描像と定性的に一致する。準二日振動に伴う鉛直モード

の位相速度をモード展開係数から見積もったところ、異なるモードがほぼ同じ遅い位相速度で伝播していることが明らかになった。これは、独立なモードが弱い分散性を保つように伝播していることを意味している。第一モードの位相速度の減少は、既存の理論モデルにおいて、潜熱加熱に伴う有効静的安定度 (Se) の減少によって説明される。本研究では、先行研究と類似した簡単な考察をもとに、各鉛直モードの等価深度の減少の割合と Se の減少の割合との関係を評価する診断式を導いた。まず、 Se の減少の割合を、断熱冷却が潜熱加熱で部分的に打ち消される割合 (α) として見積もったところ、低次のモードほど Se の減少（潜熱加熱による打ち消しの効果）は大きくなった。この結果はモードの分散性が弱いという結果と整合的である。次に、診断式を用いて Se と各モードの等価深度との関連について調べ、以下の結果を得た。第一モードでは、既存の理論モデルが示すように、等価深度の減少は定性的には Se の減少によって説明される。一方、より高次のモードでは、診断式が示す理論予測からのずれが顕著になり、第一モードと同様のメカニズムは必ずしも適用できないことが示唆された。このずれは、背景場の東西風によるドップラー効果を考慮しても解消されないことから、おそらく α の見積もりの不確実性と関係していると考えられる。本研究では、既存の理論モデルと同様に、 α を時間と高さに依存しない量と仮定した。しかしながら、上記の結果より、この仮定は第一モードに対しては良い近似で成り立つが、より高次のモードに対しては適用に問題があり、何らかの修正が必要であると考えられる。