

氏 名	しげ しょう いち 重 尚 一
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2272 号
学位授与の日付	平 成 13 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学位論文題目	Generation of tropospheric gravity waves by deep convection and their role in convective organization over the tropical ocean (積雲対流による対流圏重力波励起と熱帯海洋上の対流組織化における役割)
論文調査委員	(主 査) 助教授 里 村 雄 彦 教 授 廣 田 勇 教 授 木 田 秀 次

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、熱帯海洋上での積雲対流の組織化について、観測データの解析と数値モデルによる実験によって総合的に研究したものである。種々ある組織化要因の内、特に対流活動によって発生する対流圏メソスケール重力波について注目し、その発生と対流組織化に果たす役割について論じている。論文の内容は大きく分けて3つからなる。

まず最初に、TOGA-COARE(熱帯海洋全球大気計画-西太平洋大気海洋相互作用研究計画)集中観測期間中にウインドプロファイラーによって観測された鉛直風データから、熱帯対流圏下層の周期1~2時間の擾乱を検出した。鉛直風の平均振幅が約0.1m/s以上で、かつ、数時間継続する7事例を確認し、その内の1993年1月7日にKapingamarangi(北緯1.1度、東経154.8度)で観測された周期約60分、継続時間約6時間の事例について詳しく解析した。この擾乱を重力波と仮定すると、鉛直波長は5.4~7.6km、水平波長は24~37kmであると推定できた。さらに、この擾乱は、衛星画像と高層データの解析によって、Kapingamarangiから東南東約400kmにあった線状メソスケール対流系によって励起され、対流圏内を反射しながら水平伝播してきたものであると示唆した。

次に、2次元非静力学圧縮方程式系数値モデルを用い、成長する積雲対流に対する静止大気重力波応答を調べるため、次の二つに大別できる一連の数値実験を行った:(1)Kessler型の暖かい雨の雲微物理パラメタリゼーションを用いた「湿润」実験と(2)指定した加熱関数を降水過程の代わりに用いた「乾燥」実験である。「乾燥」実験で与える加熱関数は、「湿润」実験で計算された対流セルが放出・吸収する潜熱分布に基づいて作成した。一連の実験の結果、対流セルが成長段階の後期に入ったとき、下層に強い上昇流を持つ浅い擾乱が対流セルの近くに発生していることがわかった。この擾乱は、成長期の前半で増大し、後半で減少するような鉛直高次モードの加熱強制に対する重力波応答であると解釈した。この浅い擾乱には、加熱分布の高さの増加だけでなく、加熱分布の幅も重要であることを示した。つまり、この浅い擾乱は、成長する対流セルに対する静止大気の特徴的な応答であることを意味する。さらに、対流セルが成長しきったときには上空で強い加熱となるため、この浅い擾乱による下層の上昇流は正味の上方変位を作り出すことも分かった。この上方変位が、元の対流セルの近くに新しいセルを発生させるきっかけとなっていると考えられる。

最後に、同様な2次元非静力学圧縮方程式系数値モデルを用い、下層の西風、上層の強い東風で特徴づけられるTOGA-COARE期間中の対流発達日の環境場を与えることにより、東向きに移動する対流バンドの西側に次々と新しい対流バンドが発生するというTOGA-COAREでの観測事実をモデルによって再現することに成功した。

シミュレートした対流システムの構造の詳しい解析により、西側で新しい対流バンドが発生することには重力波が大きな役割りを果たしていることが見いだされた。この重力波は対流セルの下で励起されて西向きに伝播しており、以下の2種類がある:(1)浅い対流バンドによって励起される、位相速度約15m/sの比較的遅いモード。このモードは、臨界層を含んだリチャードソン数の小さい層と地表とで作られる導波管内を伝播している;(2)深い対流バンドによって励起される、位相速度約25m/sの比較的早いモード。このモードは、臨界層を含む衰弱した古い積雲と地表との間で作られる導波管内を伝播

している。これらの重力波は西へ伝播し、浅い積雲対流を寿命の長い対流バンドへと成長させている。積雲対流セルを模型的に表現した乾燥モデルでの計算により、主として対流セルの下で西向きに伝播する重力波が励起されるのは、対流セルが西へ移動しながら成長するためであることも分かった。さらに、臨界層を含まない条件での計算では重力波があまり西向きに伝播しないことを確認し、上記の導波管仮説を支持する結果を得ている。

論文審査の結果の要旨

熱帯大気中の積雲対流活動には階層構造があることが知られており、それぞれの階層構造のシステムが下の階層のスケールの小さなシステムからどのようにして組織化され、維持されているのかは未だ解明できていない部分が多く、活発な研究が行われている。1992～93年に行われた TOGA-COARE では、それまでほとんど現地観測の無かった熱帯海洋及び周辺の島々に多くの観測点を設け、それまで達成できなかった時間空間密度での観測データを取得している。特に1992年11月～93年2月の強化観測期間に取得されたデータの解析から、衛星観測や少ない観測点の資料からは分からなかった階層構造とその特徴が発見されつつある。

本申請論文は、上記階層構造の底辺近くにある個々の積雲活動、1つ上の階層構造である雲バンド、さらにその上の雲バンド群の組織化について、重力波をキーワードに解釈を試みたものである。論文の構成は、高時間分解能プロファイラーデータを用いた重力波の解析、理想化した条件下での2次元数値モデルによる積雲対流セルが新たな積雲対流セルを励起する機構の解釈、現実的な2次元数値モデルによる雲バンドのバンド群への組織化機構の提案、という3つの部分に大別される。

最初のデータ解析では、高時間分解能プロファイラーデータを用いて、周期1～2時間の比較的短周期の内部重力波と考えられる擾乱を検出した。中緯度対流圏ではやはり積雲活動に関連した内部重力波の観測があるが、赤道海洋域の対流圏におけるこのような短周期の波の解析例の報告は見あたらず、貴重な解析例である。水平風と鉛直風の相関から波源の方向を決定し、気象衛星画像を使って約400km離れた雲バンドを波源と推定している。さらに、400kmもの距離を短波長の波が伝播するためには波のエネルギーを閉じこめる仕組みが必要だが、高層ゾンデ観測データから対流圏上部にリチャードソン数の小さな臨界層が存在し、効率的に波を反射していると推論している。これらの結果は、対流圏全層が導波管となるような大気構造を指摘して熱帯対流圏の短周期重力波と遠距離の積雲対流活動との密接な関係を示唆したユニークな解析となっている。

次の理想的条件下での数値実験では、積雲対流セルのすぐ横に新たな対流セルが発生することについて、力学的解釈を行った。これまで、メソスケール積雲群の加熱に対する大気応答に関する研究はあったが、1つの積雲対流セルに注目し、かつ、強度の増大のみではなく上方へ伸びる加熱という発達期の積雲特有の加熱時間変化に着眼したユニークなアプローチによって解釈を試みたものと評価できる。

3番目の現実的な条件下での数値実験では、ここ数年注目されはじめたがまだ説明されていなかった、東へ動く降水バンドが数十～数百km間隔で次々と新たに西側に発生するという TOGA-COARE で見つかった観測事実について、数十km間隔で西側に降水バンドが発生することに関する解釈を初めて提出した。これは環境場もしくは積雲対流が作り出す導波管内を、積雲対流が励起した重力波が西へ伝播し、伝播先にあった浅い積雲対流を対流バンドへと発達させるという独自の機構の提案であり、詳細な検証は今後の研究を待つとしても、計算結果に基づいた具体的で有力な作業仮説の提示として高く評価できる。

本申請論文は、未公開のデータを直接入手して解析することにより熱帯海洋対流圏での短周期重力波とその伝播についての解析を行い、2次元数値モデルを理想的な条件と現実的な条件下で走らせて重力波による対流活動組織化に関する現象の再現と力学的解釈に基づくメカニズムの提案を行っている。このことは、申請者の力量を立証するものであるとともに、熱帯積雲活動に関する新しい知見をつけ加えたと判断できる。さらに、本研究によって今後の当該分野の発展に繋がる有効な概念モデルが提供されるとともに、新たな研究テーマの萌芽をいくつか認めることができる。よって、これらの観点から本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

調査委員会は、平成12年9月11日、主論文および参考論文に示されている研究業績の他、関連した分野について試問を行った結果、合格と認めた。