

学位論文題名

Thermodynamic Properties of Various Types of Precipitating Clouds in Tropics Retrieved from Dual-Doppler Radar Observation.

(西部熱帯太平洋で観測された様々な雲システムの熱力学特性に関する研究)

学位論文内容の要旨

西部熱帯太平洋は地球上で最も海水面温度の高い地域の1つである。ここでは活発な対流活動に伴う潜熱放出が、大気大循環に対して重要な影響をおよぼしている。このような対流活動にともなう加熱分布と、大気への影響を正確に知ることは、気候システムの理解にとって不可欠な要素である。また単に加熱量だけでなく、加熱の鉛直分布が、季節内振動(30-60日振動または Madden-Julian Oscillation)などの熱帯域の現象を再現する上で重要である。

これまで降水系による加熱分布を求める方法として、ラジオゾンデによる観測から雲の集団的な加熱の影響を求める方法と、ドップラーレーダーの観測による風や降水の分布や、数値モデルで再現した降水系内部の構造から直接求める方法の2種類が用いられてきた。前者は、比較的簡便に広範囲の影響を調べることができるが、降水系の内部構造との関係については議論できない。後者は、降水系の内部構造に関する議論ができるが、これまで解析事例が限られていた。

そこで本研究では、降水系の内部構造に関して時間的に連続した議論を行う、TOGA-COAREで観測された2ヶ月間以上にわたる2台のドップラーレーダーのデータを用い、デュアルドップラー解析と熱力学的リトリーブ法を用いて降水系内部の加熱分布を直接的に求める解析を行った。今回、レーダーデータから解析できる範囲は約50km四方に限られるが、様々なタイプの降水系について連続的に、内部構造や加熱分布と環境場との関係について議論し、大規模場に対する対流系の影響を見積もることができた。加熱分布については、過去の研究にならい、力学的構造や雲物理学的構造の異なる対流域と層状域に分類して考察した。

解析を行ったのは、レーダー解析領域内で発生または通過した16事例である。それぞれ対流域と層状域に分離し、対流域からの降水量の寄与が大きいものを対流性降水系、層状域の方が大きいものを層状性降水系と定義した。平均的な加熱分布では、層状性降水系では高度約3kmの雲底を境に上層約10km程度まで加熱、下層で冷却、特に4~7kmで加熱が大きかった。対流性降水系では、地面付近を除いて、時には高度14km以上までにおよぶ層で加熱となり、特に2~10kmで加熱が大きかった。地上降水量で正規化した加熱率は、層状性降水系の層状域は高度4~6.5kmで最大約10K/cm

であり、過去のスコールラインの層状域の結果と一致していた。しかし、対流圏中層が極端に乾いている場合など、正規化した加熱率が過大な値を示すことがあった。層状性降水系の対流域部分の効果は無視できるほど小さかった。対流性降水系では、正規化した加熱量は5~25K/cmとばらつきが大きい、対流域部分では高度約6kmで約20K/cmの最大加熱を持つ一定の分布であった。これは、対流性降水系の層状域の加熱分布が非常にばらつきが大きいためである。この結果は、TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) のような、降水系の加熱分布を知る計算方法を開発する上で利用価値が高い。

この観測期間中に出現した降水系の加熱分布と、より大きなスケールの大気環境場との関係について考察した。赤道域の大気では、数ヶ月以下のスケールでは、30日~60日周期の季節内振動にともなう大気場の変動が最も大きく、降水系の変化も最も大きかった。今回の観測では、季節内振動の1周期分の降水系の変化がとらえられており、これにともなう降水系の構造や加熱分布の変化を調べることができた。季節内振動に伴う対流活動の活発期の初期は、CAPE (Convective Available Potential Energy) が大きく、非常に深い対流が発生していた。しかし、中層以上の大気は比較的乾燥しており、風の鉛直シアも小さいため、降水系の寿命は短く、大気の加熱の効果は小さかった。その後、中層以上の大気の湿度が上昇するに伴い、層状性の持続時間の長い降水系が頻繁に発達するようになり、加熱高度はやや狭い範囲であるが、大気に与える影響は最も大きくなった。活発期の終りでは、風の鉛直シアが非常に大きくなり、対流性降水系が卓越した。この時期の対流性降水系は、季節内振動の活発期の初期に比べ、持続時間が大きく大気への加熱効果が大きかった。

相関解析により、対流圏中層の湿度、CAPE、潜熱加熱量などの関係を調べた。単位面積単位時間あたりの加熱率は、CAPEと正の相関を持ち、対流圏中層の湿度と負の相関を持っていた。しかし、季節内振動の活発期の中心に入るにつれ、湿度の上昇とともに、降水系の持続時間が増大する効果の方が実際には大きかった。

また、対流圏中層で亜熱帯から2日程度の期間乾燥空気が流入し、対流圏中層の湿度が極度に減少する現象が現れた。これに伴い、降水系の構造や加熱分布に著しい変化が現れた。季節内振動活発期の最中に発生した乾燥空気の流入時には、層状性降水系の発達が抑えられ、一時的に対流性降水系の頻繁な発生がみられた。

これらの解析によって得られた加熱分布の変動と、実際の大気の温度変化と比較した結果、数10日スケールの変動はよく一致していたが、数日スケールの変動については一致しない部分もあった。しかし、今回得られた結果は、数10kmスケールの観測領域で捉えられたサンプルの集合であるが、大規模な現象の特徴をある程度表していたと考えられる。

また、この解析によって得られた加熱分布をラジオゾンデの観測から求めた加熱分布と比較した。この解析で得られた層状域と対流域の加熱分布型を気象衛星ひまわりの赤外面像から解析した300km×700kmの範囲の降水量に適用して求めた加熱分布の変動は、ラジオゾンデから求められたものに対し、30日程度のスケールでの変動はよく一致していた。しかし、レーダーから求めた加熱分布は、全体的に50hPa程度低い位置に出ていた。これは、レーダーの特性上、小さな雲粒がとらえられないことによる影響だと考えられた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 吉 康 志
副 査 教 授 山 崎 孝 治
副 査 教 授 竹 内 謙 介
副 査 助 教 授 謝 尚 平
副 査 教 授 上 田 博 (大学院理学研究科)

学 位 論 文 題 名

Thermodynamic Properties of Various Types of Precipitating Clouds in Tropics Retrieved from Dual-Doppler Radar Observation.

(西部熱帯太平洋で観測された様々な雲システムの熱力学特性に関する研究)

熱帯西部太平洋は、地球上で最も海面水温の高い地域であり、この地域における活発な対流活動に伴う潜熱放出が、大気大循環に対して重要な影響を及ぼしている。この対流活動にともなう加熱分布と、大気への影響を正確に知ることは、気候システムの理解にとって不可欠な要素である。また単に全加熱量だけでなく、加熱の鉛直分布は、季節内振動(30-60日振動または Madden-Julian Oscillation)などの熱帯域の現象を再現する上でも重要である。これまで降水系による加熱分布を求める方法として、ラジオゾンデによる観測から雲の集団的な加熱の影響を求める方法と、ドップラーレーダー観測から求めた風や降水の分布、あるいは数値モデルで再現した降水系内部の構造から直接求める方法の2種類が用いられてきた。前者は、比較的簡便に広範囲の影響を調べることができるが、降水系の内部構造との関係については議論できない。後者は、降水系の内部構造に関する議論ができるが、これまでスコールラインなどの特徴的な雲システムにのみ解析事例が限られていた。

そこで本研究では、TOGA-COAREの一環としてパプアニューギニアのマヌス島で、2ヶ月間以上にわたって行われた、2台のドップラーレーダーによる様々な雲システムの観測データを用い、デュアルドップラー解析と熱力学的リトリーバル法を用いて、降水系内部の加熱分布を直接的に求める解析を行った。レーダーの観測範囲は約50km四方に限られるが、長期にわたる様々なタイプの降水系の内部構造や加熱分布を明らかにすることによって、大規模場に対する対流系の影響を見積もることができた。

解析を行ったのは、レーダー解析領域内で発生または通過した16事例である。これらの雲システムを、力学的構造や雲物理学的構造の異なる対流域と層状域に分離し、対流域からの降水量の寄与が大きいものを対流性降水系、層状域の方が大きいものを層状性降水

系と定義した。平均的な加熱分布では、層状性降水系では高度約 3km の雲底を境に上層約 10km 程度まで加熱、下層で冷却、特に 4～7 km で加熱が大きかった。対流性降水系では、地面付近を除いて、時には高度 14km 以上までにおよぶ層で加熱となり、特に 2～10km で加熱が大きかった。地上降水量で正規化した加熱率は、層状性降水系の層状域は高度 4～6.5km で最大約 10K/cm であり、過去のスコールラインの層状域の結果と一致していた。しかし、対流圏中層が極端に乾いている場合など、正規化した加熱率が過大な値を示すことがあった。層状性降水系の対流域部分の効果は無視できるほど小さかった。対流性降水系では、正規化した加熱量は 5～25K/cm とばらつきが大きいが、対流域部分では高度約 6km で約 20K/cm の最大加熱を持つ一定の分布であった。これは、対流性降水系の層状域の加熱分布が非常にばらつきが大きいためである。

今回の観測では、30 日～60 日周期の季節内振動の 1 周期分の降水系の変化がとらえられており、これにともなう降水系の構造や加熱分布の変化を調べることができた。季節内振動に伴う対流活動の活発期の初期は、CAPE(Convective Available Potential Energy)が大きく、非常に深い対流が発生していた。しかし、中層以上の大気は比較的乾燥しており、風の鉛直シアも小さいため、降水系の寿命は短く、大気の加熱の効果は小さかった。その後、中層以上の大気の湿度が上昇するのに伴い、層状性の持続時間の長い降水系が頻繁に発達するようになり、加熱高度はやや狭い範囲であるが、大気に与える影響は最も大きくなった。活発期の終わりでは、風の鉛直シアが非常に大きくなり、対流性降水系が卓越した。この時期の対流性降水系は、季節内振動の活発期の初期に比べ、持続時間が大きく大気への加熱効果が大きかった。

これらの解析によって得られた加熱分布、及び本解析結果と気象衛星ひまわりの赤外面像とを組み合わせ推定した加熱分布の変動は、実際の大気温度変化、ラジオゾンデの観測から求めた 30 日程度のスケールの変動とよく一致していた。この結果は、TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)のような、衛星を用いて降水系の加熱分布を計算する手法を開発する上で極めて利用価値が高い。

よって審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が博士(地球環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。