

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2009

課題番号：19540460

研究課題名（和文） 熱帯域メソスケール雲システムにおける乱層雲中の鉛直流生成機構

研究課題名（英文） Generation mechanism of the vertical motion within nimbostratus in tropical mesoscale cloud systems

研究代表者

西 憲敬(NISHI NORIYUKI)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：00222183

研究成果の概要：200 字

VHF レーダーによる鉛直流観測を行い、乱層雲中の雨滴落下速度の精密測定に成功し、雲頂部・雲底部において興味深い鉛直流パターンを見いだした。乱層雲の雲頂高度などを静止衛星の赤外観測から継続的・広域的に把握する手法を開発した。降水システム内の鉛直流分布に影響を与える可能性のある独特な温度構造をインド洋域において見いだした。降水システムの鉛直流を再現する数値実験をおこなった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・”気象・海洋物理・陸水学”

キーワード：気象学，リモートセンシング，地球観測，熱帯，降水システム

1. 研究開始当初の背景

メソスケール降水システム(以下MCS)からの降水は、降水量の大きな部分を占めるだけでなく、豪雨などの災害をもたらすものとして知られている。MCS内の降水域は、強い雨を短時間に降らせる対流降水域と、やや弱い雨を長時間もたらす層状降水域に大別される。層状降水域からの降雨は弱いものの、その面積が大きく降雨が長時間におよぶため、その全降水に占める割合は大きい(熱帯では約40%、Schumacher and Houze 2004, J. Climate)。層状降水域の雲システムは、主に乱層雲

とよばれる厚さ数kmを超える分厚い層状雲から構成されているため、この雲の実体を明らかにすることがMCS研究には重要な意味をもつ。当研究では、特に熱帯の乱層雲内の鉛直流分布を研究することを目的とする。

2. 研究の目的

乱層雲内における穏やかで深い上昇流域の形成の原因をはっきりさせたい。雲の内部での微物理的な観点と、循環や波などの外的な要因の両方を考慮する必要がある。これまでに行われたケーススタディをさらに拡張

し、多面的な VHF レーダー観測が必要である。また、乱層雲に最適な VHF レーダー観測方法の改良を行い、スペクトル幅などの評価をより正確に行う必要がある。乱層雲内での激しい現象や、降雨と鉛直流との関係なども調べていく必要がある。

一方、解析事実を数値実験によって再現し、その機構を解明することをめざす。MCS の数値実験はきわめて多数行われているが、鉛直流詳細分布の観測的実体がほとんど知られていなかったため、その観点から数値計算結果を評価したものはごくわずかである。当研究では、穏やかな上昇流域の解明をめざす。どのような条件で穏やかな上昇流が生成されるかどうか、その規模と広がりかどうか、を明らかにしたい。

3. 研究の方法

(1) VHF レーダー観測

鉛直流を観測する VHF 帯大気レーダーとして、熱帯域（インドネシア・スマトラ島の赤道大気観測所）に設置された赤道大気レーダー（Equatorial Atmosphere Radar; 以下 EAR）と中緯度域（滋賀県甲賀市信楽町の信楽 MU 観測所）に設置された MU レーダー（以下 MUR）を用いた。雨粒（粒径 0.5mm 以上）を観測する手段として、9GHz 帯気象レーダーを用いた。また、雲粒を観測する手段として、95GHz 帯ミリ波気象レーダーならびにレーザーレーダー（ライダー）を用いた。赤道大気観測所および信楽 MU 観測所において観測を実施するとともに、過去に取得した観測データの解析を実施した。

(2) 数値モデルによる実験

コミュニティモデルの WRF を用いて、メソスケールシステムにおける鉛直風分布を調べる数値実験を行った。観測からは難しい乱層雲内の雲物理について、数値実験から手がかりを探すことにした。観測されたような穏やかな鉛直流が再現できたら、それをもたらす物理過程を同定するという方針をとる。穏やかな上昇流を生成するのに大きな役割を果たすと予想される昇華成長を把握するためには、昇華量を時間の関数として知る必要があるので、モデルを改変して出力できるようにした。実験は、主に過去にいくつかの実験が行われている西太平洋のメソシステム発生時の基本場を用いて行った。問題となる乱層雲は、背景風の鉛直分布に大きく依存してその姿を変えられると思われるので、背景風の鉛直シアを様々に変えて、鉛直流分布の変化を見た。

(3) 全球データおよび衛星データ解析

乱層雲研究の過程で、メソスケール降水系の背景場となる大規模循環に興味深い特徴

を見いだしたので、その解析を行った。西インド洋で上部対流圏に定常的に浅い上昇流が解析され、メソシステムの層状降水と関係するのかに興味をもたれていた。この解析の過程で、その上昇流の直上に当たる圏界面付近の高度領域で興味深い温度構造を見いだしたので、これについて集中的な解析を行った。赤道領域ではコリオリ力が小さいために、強い温度勾配を維持することは難しい。しかし、それでも局地的には独特な温度分布を作り出すことはできて、これらは波動伝播や物質輸送の観点から重要である。2006 年に運用開始した衛星 COSMIC は GPS 測位を用いた掩蔽法による温度データを提供する (Anthes et al. 2008)。COSMIC は、6 個の低軌道衛星が投入されているために、以前よりはるかに多数の観測を行うことができる。COSMIC 温度データを中心に客観解析を併用することにより、西インド洋で見出された安定層の特徴と、それをとりまく循環構造について調べた。衛星 COSMIC による掩蔽法観測で得られた NOAA 提供の乾燥温度 (Dry Temperature: 2006-2007) を用いる。この温度は、屈折率の変化が湿度や電離層のゆらぎではなく、温度だけによると仮定して求めたものである。

(4) 静止気象衛星から乱層雲域を同定する解析手法の改良

2006 年に運用を開始した衛星 CloudSat (Stephens et al. 2002, Bull. Amer. Meteor. Soc., 83, 1771-1790) に搭載されている 94GHz 雲レーダによる雲頂高度観測値を、静止気象衛星 MTSAT-1R による観測で得られた赤外 2 チャンネル (10.8, 12 μ m) の輝度温度の関数として表現し、静止衛星観測による雲頂高度推定テーブルを作成した。

降水を伴う雲の雲頂高度を地上からの観測で同定することは困難であるため、人工衛星観測を用いた推定が行われることが多い。降水システムを継続的に把握するためには、視野が広く観測時間間隔の短い静止衛星による推定が有用である。既存の赤外観測を用いた推定法は観測による検証が殆ど行われておらず、雲の活発度の指標としての利用にとどまっていた。当研究の成果によって、より高い精度で鉛直流と雲頂高度の対応関係を知ることができる。

4. 研究成果

(1) VHF レーダー観測

乱層雲内の鉛直流に直接および間接に関係する多様な観測をおこなった。インドネシアの EAR で観測される鉛直流と、ミリ波ドップラーレーダーで観測されるドップラー速度を併用することにより、雲粒の落下速度を良い精度で得られることを示した。これは、乱層雲中で起きている物理過程の推定に重

要な情報を与える。また、EAR で得られる鉛直流観測データを用いて、熱帯域対流圏中層の非降水雲内における鉛直流変動とその擾乱の詳細を示す (Fig. 1) とともに、鉛直流擾乱の生成要因につき議論を行った。信楽の MUR で得られる風速 3 成分の観測データを用いて、中緯度域巻雲の雲頂付近における風速変動の詳細を示した。乱層雲雲頂付近は地上観測からはなかなかとらえることはできないため、これと同種の解析をすることは現在では難しいが、将来衛星観測の充実とともに同じ手法を用いての観測が期待できる。また、MUR と開発中の 9GHz 帯気象レーダー・35GHz 帯気象レーダーのシステム評価を行うとともに、降水領域最下部近傍の大気不安定現象に伴う鉛直流擾乱の観測に成功した。

これらの観測手法は、多くが初めての試みであり、これからの VHF レーダー観測の大事な部分を占めていくことになると思われる。

(2) 数値計算

基本場の条件を変えながら様々なメソスケール擾乱を生成させ、その中での鉛直流を調べた。鉛直流の性質とくに時間変動は基本場によって大きく変化することが示された。ただ、EAR で観測されたような穏やかな上昇流の継続は比較的生成しにくいいため、これを生成するのに重要な因子を完全に同定するにはいたっていない。しかし、この目的のためのモデル改良は大きく進んでおり、今後の研究への大きな足がかりができたといえる。

(3) 上部対流圏の温度構造

衛星 COSMIC による GPS 掩蔽法を用いて、対流圏上部での安定層の頻度分布を調べた (Fig. 2)。その結果、赤道西インド洋で北半球の夏に、準定在的に存在する水平から傾いた薄い安定層を見出した。安定層は成層圏からくさび形のように対流圏へと入っていた。その位置は赤道上を中心にして、高度が下がるほど西にある (Fig. 3)。長期の客観解析を用いた解析によると、この安定層の上下にはそれぞれ高温・低温偏差があり、その中間ほぼ安定層の高度に低圧偏差がある。これらの偏差は赤道西インド洋付近に島状の構造となって認められていた。また、この低圧偏差は東風モンスーンジェットの高風域西端付近にあった。これらの安定層を中心とする一連の循環場の構造の成因について考察を行った。赤道から離れた場所に加熱強制を置いた簡単な数値実験によって、類似の島状を示す低圧域構造がみられている例もあるため、温度・高度場における島状の構造は、赤道から離れた強制に対する定常応答問題としてのモンスーン循環として理解できるのではないかと思われる。しかし、COSMIC によって見いだされた安定層の傾きはそれだけでは

明瞭に説明されない。チベット高気圧を生む地形や、現実的な平均風分布を考えることによってこれらも説明されるかもしれないし、またモンスーン東風中に定在可能な東進赤道捕捉波を合わせ考えることが必要なのかもしれない。ここでみられた特殊な温度構造が降水システムの鉛直流分布にどのように関係するかを調べるのが今後の課題である。

この結果は、高い鉛直分解能をもつ最新の衛星データを用いたユニークなもので、データの蓄積とともにさらに精密な記述が期待される。

(4) 静止気象衛星による乱層雲域の同定

VHF レーダーでのメソスケール観測は一点観測なので、それが数十～百 km あるシステムのどの部分に当たっているかを知ることが重要である。高い時間空間分解能で雲が把握できるのは静止衛星において他にないが、観測は赤外放射などに限られており、直接雲の種類や高度を観測できないので、赤外放射観測から推定する方法を改良して、乱層雲観測に用いられるようにした。

Fig. 4 は、海洋大陸域 (120E-160E, 15S-15N) における CloudSat 雲頂高度観測値を、MTSAT-1R の 10.8 μ m 輝度温度 (横軸)、およびその 12 μ m 輝度温度との差 (縦軸) の 2 変数で推定した結果を示している。降水および活発な潜熱解放をともなう乱層雲は、図の左下領域 (T11<220K) に多く分布している。この領域での標準偏差は 0.5km 未満であり、静止衛星観測によって良い精度で雲頂高度が推定できることが示された。静止衛星の広い視野および短い時間間隔での観測によって、EAR が観測する乱層雲の鉛直流と雲頂高度との対応関係が明らかになると期待される。

この方法は巻雲など多くの雲種に適応可能であり、多くの分野への応用が期待できる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

① 安永数明、Development of the convection in the tropics and atmospheric circulation, Calorimetry and Thermal Analysis, 36、10-17、2009、査読有

② 濱田篤、西憲敬、岩崎杉紀、大野裕一、黒岩博司、岡本創、Cloud type and top height estimation for tropical upper-tropospheric clouds using GMS-5 split-window measurements combined with cloud radar measurements. SOLA, 4、57-60、2008、査読有

③ 山本真之、大野裕一、堀江宏昭、西憲敬、ら 13 名、Observation of particle fall

velocity in cirriform cloud by VHF and millimeter-wave Doppler radars. J. Geophys. Res., 113, D12210, doi:10.1029/2007JD009125, 2008、査読有

④安永数明他計7名、Diurnal Variations in Precipitable Water Observed by Shipborne GPS over the Tropical Indian Ocean, SOLA, 4, 2008、査読有

⑤西憲敬、山本真之、下舞豊志、濱田篤、深尾昌一郎、Fine structure of vertical motion in the stratiform precipitation region observed by a VHF Doppler radar installed in Sumatra, Indonesia. J. Applied Meteor. Climatology 46, 522-537, 2007、査読有

⑥山本真之、西憲敬、堀之内武、庭野将徳、深尾昌一郎、Vertical wind observation in the tropical upper troposphere by VHF wind profiler - A case study -. Radio Sci., 42, RS3005, doi:10.1029/2006RS003538, 2007、査読有

[学会発表] (計 7件)

①西憲敬、熱帯上部対流圏における準定在循環の構造. 第23回大気圏シンポジウム、2009年2月26日、神奈川県相模原市

②西憲敬、Vertical fine structure of the circulation in the upper troposphere over the western Indian Ocean during boreal summer observed by GPS radio occultation method. 5th Annual General Meeting, Asia Oceania Geosciences Society, 2008年6月20日、韓国・釜山

③西憲敬、Vertical fine structure of the upper tropospheric circulation over the western Indian Ocean during boreal summer observed by COSMIC R0. 4th Asian Space Conference & FORMOSAT-3/COSMIC International Workshop, 2008年10月3日、台湾・台北

④濱田篤、CloudSat 雲レーダ観測を用いた静止衛星 Split-window 観測による熱帯域上層雲の種別および物理・光学量の推定、第2回赤道大気シンポジウム、2008年9月26日、京都市

⑤山本真之、Wind observation around a top of midlatitude cirriform cloud by VHF Doppler radar and Rayleigh/Raman lidar. 24th International Laser Radar Conference

2008年6月26日、米国・ボルダー

⑥安永数明、Semidiurnal variations in precipitation and atmospheric tides in an Aqua-planet global cloud-resolving model (Aqua-planet-NICAM). 28th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology 2008年5月1日、米国・オーランド市

⑦西憲敬、Fine structure of vertical motion in the stratiform precipitation region observed by Equatorial Atmosphere Radar (EAR) in Sumatra, Indonesia. 3rd International Conference on Radar Meteorology, American Meteorological Society, 2007年8月6日、オーストラリア・ケアンズ

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西 憲敬 (NISHI NORIYUKI)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 00222183

(2) 研究分担者

山本真之 (YAMAMOTO MASAYUKI)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号: 90346073

安永数明 (YASUNAGA KAZUAKI)

独立行政法人海洋研究開発機構・

地球環境観測研究センター・

ポストドクトラル研究員

研究者番号: 50421889

(3) 連携研究者

なし

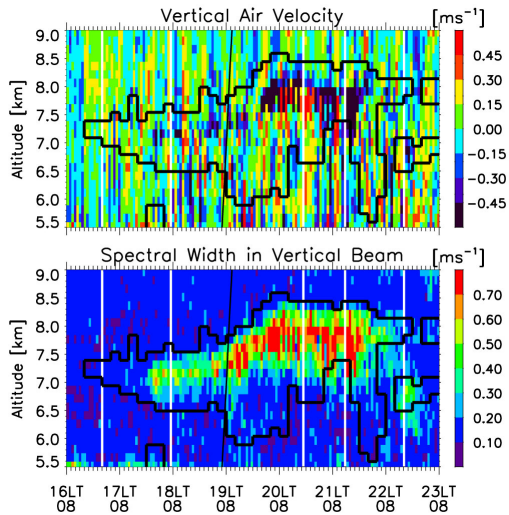


Fig.1 赤道大気レーダー (Equatorial Atmosphere Radar: EAR) で観測された鉛直風変動 (上図) とスペクトル幅 (下図)。スペクトル幅は、EAR の観測サンプリング時間及び空間内での風速擾乱の指数となる。ライダーで観測された雲域内 (太実線で囲まれた領域) において、大きな鉛直風擾乱が存在することを高い時間 (数分) 及び高度 (150m) 分解能で示すことに成功した。

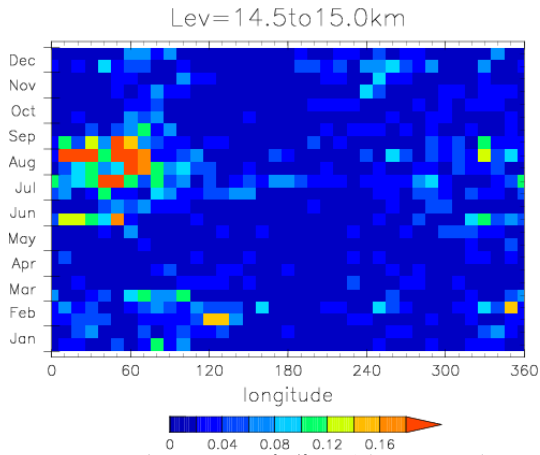


Fig.2 2007 年における赤道付近 (2.5S-2.5N) の上部対流圏 (高度 14.5-15km) での逆転層 (上層ほど温度が高い) の観測頻度。北半球夏のインド洋 (30-80E) 付近で頻繁に逆転層が検出される。

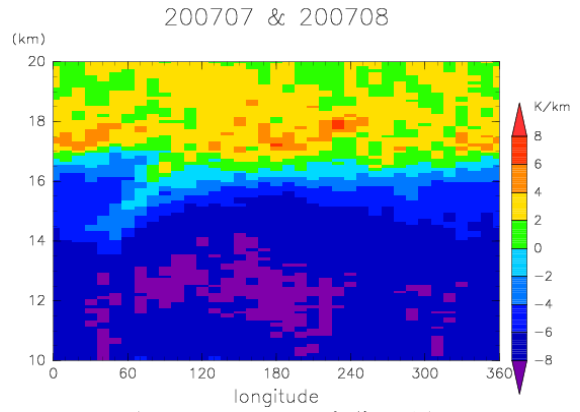


Fig.3 2007 年 7-8 月平均の、赤道付近 (2.5S-2.5N 平均) における鉛直温度勾配 (K/km)。衛星 COSMIC による掩蔽法観測結果を用いた。暖色系が安定な層で、60-120E 付近で安定層が対流圏 14km 付近まで降りている様子がわかる。

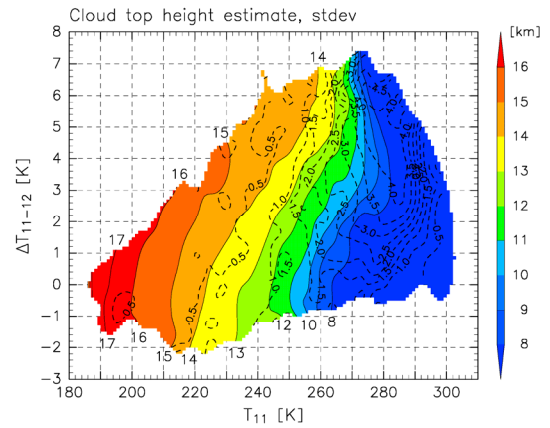


Fig.4 MTSAT-1R の赤外 2 チャンネル輝度温度観測による、雲頂高度推定テーブル。推定値を色および実線の等値線で、推定値まわりの観測値のばらつきを破線の等値線で示している (単位はいずれも km)。輝度温度 240K 以下の雲について、誤差 1km 未満で雲頂高度が推定できる。