

## 第12回メソ気象研究会報告

第12回メソ気象研究会が、1998年日本気象学会春季大会（東京）前日の1998年5月26日に気象庁で開催された。今回のテーマは「梅雨に伴う西日本の豪雨—1996年南九州特別観測を中心として」というもので、約60人（名簿記載）の参加者があった。1996年の梅雨期に九州南部を中心として大学や国立の研究機関が参加し緩やかな協力体制で共同観測が行われた。それからほぼ2年が経過して、多くの興味深い結果が気象学会でも報告されつつある。今回のメソ気象研究会ではこの特別観測のまとめの1つとして、その成果を中心とした梅雨に伴う西日本の豪雨についての研究の講演が行われた。

コンビーナー 坪木和久（名古屋大学大気水圏科学研究所）

### 1. 梅雨前線に及ぼす中緯度擾乱の影響

二宮光三（東京大学気候システム研究センター）

Ninomiya and Akiyama (1992) は、梅雨前線に及ぼす中緯度擾乱の影響の重要性を指摘しているが、その過程は十分に調べられていない。

1979年梅雨期の大規模場は Ninomiya and Muraki (1986), Ninomiya (1989) により、また7月中旬の cloud cluster も Akiyama (1984 a, b), Ninomiya *et al.* (1988 a, b) により詳細に解析されている。この期間の梅雨前線と cloud cluster に及ぼす中緯度擾乱の影響を ECMWF 再解析データを用いて考察する。

大規模場：この期間の主要前線・強風帯は、対流圏下層の傾圧帯に伴う高緯度の前線・強風軸、 $\sim 35^{\circ}\text{N}$  の中上層の傾圧帯に伴う亜熱帯ジェット、及び、太平洋高気圧西北縁の梅雨下層ジェットである。 $40\sim 60^{\circ}\text{N}$  の流れは、 $150^{\circ}\text{E}$  の cut-off low,  $130^{\circ}\text{E}$  の blocking ridge, 及び、 $115^{\circ}\text{E}$  の準定常 trough により大きく蛇行し、 $115^{\circ}\text{E}$  の trough に沿って北方より短波長の擾乱が梅雨前線帯に向かって南下し、梅雨前線帯の対流を活性化させる。

中緯度擾乱の影響：中緯度擾乱の影響の過程を見るため、以下の量の時間的変化を観察する；1. potential vorticity, 2. 移流・発散による渦度変化, 3.  $\omega$ -eq. 右辺の Q-vector の div, 4. 相当温位の3次元移流による安定度変化, 5. 3次元移流による相当温位水平傾度の変化, 6. 水蒸気流束収束。以上の解析から、極前線帯からの擾乱 (potential vorticity) の南下接近、下層収束（上昇）の強化、水蒸気流束収束と成層不安定化、相当温位水平傾度強化、梅雨前線帯 cloud cluster の発達と言う一連の過程が見い出された。梅雨前線帯では、弱い傾圧性、強い対流不安定及び、高比湿が基本場として存在しているため、比較的弱い forcing も有効に作用する。

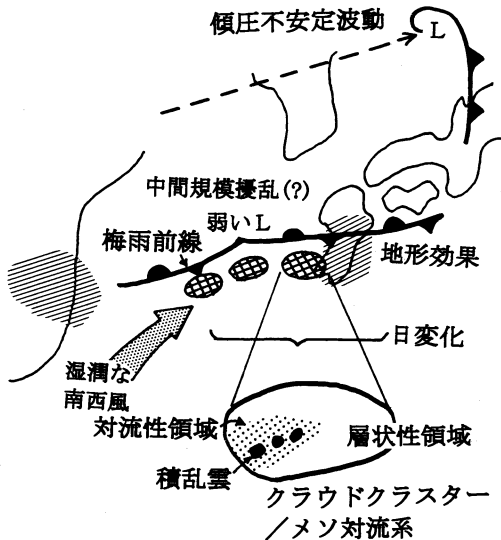
結論：梅雨前線帯中規模擾乱の発達には、その内部微細構造としての積雲対流の自己組織化の過程も重要だが、中緯度擾乱の影響もまた重要である。この観点からの研究の必要を強調する。

提言：様々な再実験、再解析が望まれる。各 project のデータ整備と公開を望む。

### 参考文献

- Akiyama, T., 1984a: A medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part I: Evolution process and fine structure, *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 485-504.
- Akiyama, T., 1984b: A medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part II: Thermal and kinematic fields and heat budget, *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 505-521.
- Ninomiya, K., 1989: Cloud distribution over East Asia during Baiu period of 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 639-658.
- Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1992: Multi-scale features of Baiu, the summer monsoon over Japan and the East Asia, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 467-495.
- Ninomiya, K., T. Akiyama and M. Ikawa, 1988a: Evolution and fine structure of a long-lived meso-

## TREX 期間に見られた梅雨前線の階層構造



第1図 TREX 期間に見られた梅雨前線の擾乱の模式図。

$\alpha$ -scale convective system in Baiu frontal zone. Part I: Evolution and meso- $\beta$ -scale characteristics, J. Meteor. Soc. Japan, 66, 331-350.

Ninomiya, K., T. Akiyama and M. Ikawa, 1988b: Evolution and fine structure of a long-lived meso- $\alpha$ -scale convective system in a Baiu frontal zone. Part II: Meso- $\gamma$ -scale characteristics of precipitation, J. Meteor. Soc. Japan, 66, 351-371.

Ninomiya, K. and H. Muraki, 1986: Large-scale circulations over East Asia during Baiu period of 1979, J. Meteor. Soc. Japan, 64, 409-429.

## 2. TREX のレビューと今後の梅雨観測

吉崎正憲 (気象研究所)

まず1996年6月中旬から7月上旬にかけて行われた九州南部豪雨観測実験 (Torrential Rain Experiment, 略して TREX) を紹介した (詳しくは TREX 観測グループ (1998) を参照). TREX 領域で時間平均した東西風と相当温位の南北一高度断面図を眺めると, 梅雨前線の周辺では傾圧不安定波とクラウドクラスター/メソ対流系 (Mesoscale Convective Systems, MCSs) の2つのタイプの擾乱が発生しやすい環境が見られた. そうした場における時間変動を眺めると, まず日本列島の北側に総観規模低気圧が発達して, それから停滞前線上で南西風が卓越して MCSs が発生した. そ

の上に九州の地形効果や日変化が重なり, 梅雨前線の階層構造は複雑なものになった (第1図).

世界で MCSs が多く発生する地域では, 違うスケールの2つ以上のタイプの擾乱が発生しやすい場になっていることが多い. TREX と比較するために, 東大西洋の GATE (GARP Atlantic Tropical Experiment) を取り上げ, 総観規模のアフリカ偏東風波動と MCSs (スコールライン, 非スコールライン) との関係を概観した (詳しくは小倉 (1990) を参照). この場合, トラフの前面 (西側) の700 hPa 付近に北東風のジェットができて, 乾燥した空気が入って不安定な場となり, スコールラインが発生した. 一方, トラフの後面 (東側) では不安定度は弱く鉛直シアに平行なライン状の MCSs (非スコールライン) が発生した. このように, GATE では MCSs の環境場を作る上で, アフリカ大陸や偏東風波動の役割がクリアであった. しかしながら, TREX においては傾圧不安定波と MCSs との関連が明らかではなかった.

1998年6月から7月にかけて九州から東シナ海で行われる特別観測 (X (East China Sea (ECS)) -BAIU) について紹介した. この時期, アジア大陸では GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) による高層ゾンデなど特別観測が行われる. また TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) のデータも利用できるようになる. このように観測網が充実する中で, X-BAIU では九州・沖縄・東シナ海で気象庁高層観測点6点と気象観測船 (5船) で特別観測を行い, 気象研究所も長崎県野母崎町でドップラーレーダー, 高層ゾンデ, マイクロ波放射計, GPS などの特別観測を行う. この観測では, 塊状, 停滞性のライン状 (非スコールライン), 早く移動するライン状 (スコールライン) などいろいろな MCSs がどのような環境場で発生するかを調べたいと考えている.

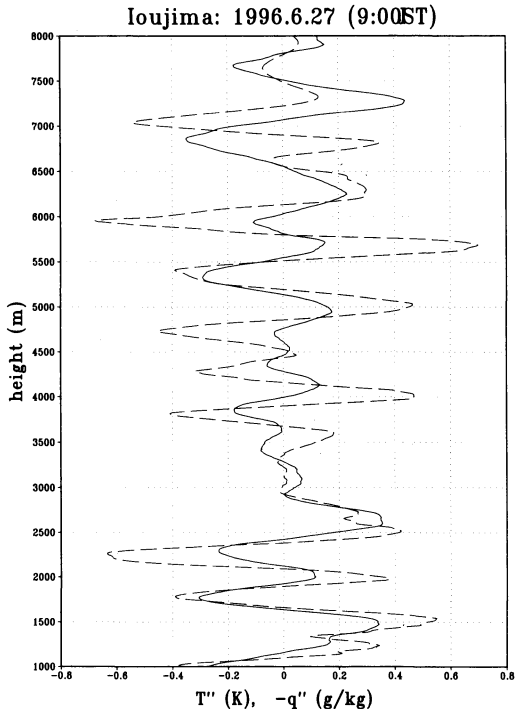
## 参考文献

- 小倉義光, 1990: メソ対流系の構造と組織化に及ぼす環境の影響, 天気, 37, 439-465.  
TREX 観測グループ, 1998: 九州南部豪雨観測実験報告, 天気, 45, 137-144.

## 3. 対流圏の鉛直微細構造

中田 隆 (東京大学海洋研究所)

孤立峰の頂上には, ときおり笠雲が生じる. 笠雲は上空の風が強いときに現れ, 気流が山に当たって上昇



第2図 高層観測から得られた温度(実線)と比湿(破線)の微細構造。比湿の偏差は符号を逆にしてある。

して雲ができ、風下で下降気流となって消えていくので笠のような形になる。ときには何層にも重なった笠雲が見られ、その間には相対的に乾燥していると思われる薄い層がある。このような雲が現れるためには大気中の水蒸気が鉛直方向に数百メートルのスケールで変動している必要があると考えられる。そこで、このような鉛直方向の微細構造について高度1~8 kmを対象に調べた。

解析には1996年の梅雨期に九州南部で行われたTREX (Torrential Rainfall EXperiment) で得られたレーウィンゾンデのデータを用いた。データの鉛直分解能は10 mである。気温、比湿の鉛直プロファイルにバンドパスフィルターを掛けることによって気温と比湿の微細構造を得た(第2図)。データは1996年6月27日9:00JSTに鹿児島県硫黄島で観測されたものである。気温偏差、比湿偏差がとる値の範囲はそれぞれ、 $-0.4 \sim 0.4$  K,  $-0.6 \sim 0.6$  g/kgであり、その層厚は両者ともに約300 mである。この2つの物理量の間には負の相関があることがわかる。このときの相関係数は $-0.55$ であった。TREX期間の他の鉛直プロファイルも同様の特徴を示していた。さらに、TREX期間の

相関係数の頻度分布から約90%の鉛直プロファイルにおいて負の相関が見られた。この結果が一般的なことであるのかを調べるために、地域と季節の異なる2つのデータセットについても同様の解析を行った。その結果は同じように負の相関が卓越していた。

まとめると、気温と比湿は鉛直方向に微細構造を持ち、そのスケールは300 m程度であった。また、気温偏差と比湿偏差との間に負の相関が存在し、これらの特徴は季節と場所に関係なく一般的に見られた。

#### 4. 梅雨前線帯の長寿命の停滞したクラウドクラスターの発達・維持の特徴：1996年7月5日~7日

若月泰孝 (名古屋大学大気水圏科学研究所)

梅雨末期に九州西部の梅雨前線帯で停滞、発達し豪雨をもたらすクラウドクラスターの構造について、これまで幾つかの研究がなされてきた。本研究では梅雨前線帯のクラウドクラスターについて、水蒸気流入量に対する降水効率を評価するとともに、クラウドクラスターの発達、維持過程をクラスターのマルチスケール構造、特にメソ $\beta$ スケールの対流雲群の発生、発達、移動に関連させて明らかにすることを目的とした。そして、クラウドクラスターの evolution における雲、降水の分布の特徴とその変化について、GMS, レーダアメダス合成データ、種子島レーダデータ、RSM (Regional Spectral Model) -GPV (Grid Point Value)、気象ゾンデデータ、名古屋大学大気水圏科学研究所ドップラーレーダデータを用いて解析し、以下の興味深い結果を得た。

1996年7月上旬の低い $T_{BB}$ (等価黒体輝度温度)の雲域の分布を調べた結果、中国大陸の東岸域と九州西部付近で特に低い $T_{BB}$ の雲域が広がっていることがわかった。この事は、この地域で特に発達した大気擾乱が多く発生、発達していることを示している。その代表として次のメソスケールの大気擾乱を観測し、解析した。1996年7月5日から7日にかけて、九州南西部の東シナ海上で、2つのメソ $\alpha$ スケール(200~2000 km)のクラウドクラスター-C2, C7が観測された。これらのクラウドクラスターは、梅雨前線の南に位置する九州南西方の東シナ海上で発達、停滞した。C2, C7の寿命はそれぞれ27時間、18時間と長寿命で、低い $T_{BB}$ の雲域面積の増加に対応して停滞した。これらのクラウドクラスターは、梅雨前線帯に沿った下層のジェットと南からの水蒸気流入に対応して発生していた。クラウドクラスターの降水効率(水蒸気流入量に対する降

水量の比)をRSM-GPVとレーダアメダス合成データを用いて算出した。C2, C7の降水効率はその平均で27%, 42%であり、特にC7の降水効率がよい。降水効率への寄与は、強い降水を伴う対流性の降水現象による寄与だけでなく、層状性の弱い降水域の広がりによる寄与も大きい。

これらのメソ $\alpha$ スケールのクラウドクラスターは、メソ $\beta$ スケール(20~200 km)の対流雲群とメソ $\gamma$ スケール(2~20 km)の対流雲とで構成され、クラウドクラスターの西側で新しい対流雲、または対流雲群が断続的に(0.5~3時間間隔で)形成され、入れ替わることで、全体として停滞していた。また、クラウドクラスター内には下層の鉛直シアに直交する走向をもつメソ $\beta$ スケールのバンド状あるいは弧状の対流雲群が約5時間間隔で発生し、発達した状態を長時間(3~5時間)維持したままクラウドクラスター内を東進した。この対流雲群は強い降水を伴い、西側で発生したメソ $\beta$ スケールの対流雲群が、約5時間間隔で特に強化されて出現したものである。この対流雲群の発生、発達に対応し、 $T_{bb}$ -60°C以下の雲域面積がピークを示しており、強い対流に伴うアンビル雲域の顕著な広がりが観測された。同時に強い降水強度領域における平均降水強度もこれに対応して強くなっていた。降水強度特にC7は、発生したメソ $\beta$ スケールの弧状対流雲群の強い降水、そしてアンビル雲域の顕著な広がりに対応した層状性の弱い降水域の広がりに特徴づけられ、高い降水効率に大きく寄与していた。このように、下層の鉛直シアに直交する走向をもつメソ $\beta$ スケールバンド状(弧状)の対流雲群の周期的発生と成達は、クラウドクラスター全体の発達、維持にも重要な役割を果たしていた。この事は、特に強い降水と対流を伴う1個のメソ $\beta$ スケールの対流雲群の周期的発生と成達が、メソ $\alpha$ スケールのクラウドクラスター全体の発達、維持に重要な役割を果たしていることを示している。2つのクラウドクラスターを比較したとき、C7に伴う降水量、低い $T_{bb}$ 雲域の広がり、降水効率が、C2のそれを大きく上回っていた。この違いは、発生したメソ $\beta$ スケールの弧状の対流雲群に伴う降水量と対流の強さに反映されている。2つのクラウドクラスターの発生状況は、C7の方がより梅雨前線に近いことで異なる。この事は、クラウドクラスターの発達を特徴づけるメソ $\beta$ スケールの弧状対流雲群の発生が、梅雨前線に伴う何らかの大気場の特徴に対応して発生、発達、維持している可能性を示唆している。

## 5. 1996年梅雨期における降雨の日変化の特徴と気象研究所非静力学モデルの予想降雨精度検証

加藤輝之(気象研究所)

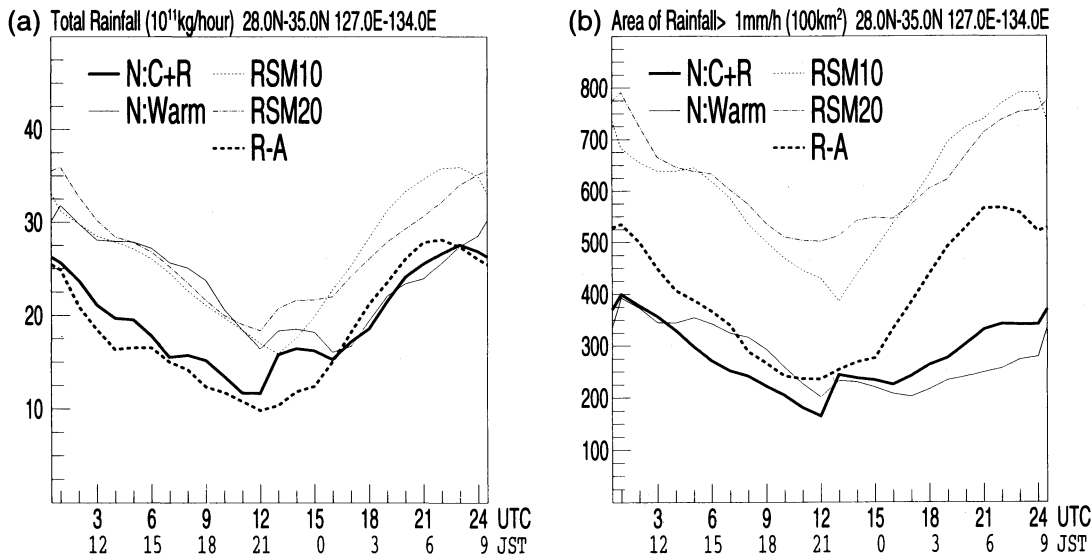
1時間毎のレーダアメダス解析雨量データを用いて、1996年の梅雨期の九州での降雨の特徴を調べた。対象領域は28°N~35°N, 127°E~134°Eであり、梅雨前線は期間中ほぼこの領域内にあった。この期間に、降水量の領域最大値とある降水量以上の領域の面積には顕著な日変化が見られ、朝の6時から9時に最大になり、夜の21時から23時に最小になった。その間の午後13時から16時にかけて2次的な弱いピークが見られた。このような日変化は海洋と陸地で共通に見られた。

10 km分解能気象研究所非静力学メソスケールモデル(MRI-NHM)が予想した降雨の精度検証を1996年梅雨期について行った。精度検証結果については気象庁の10 km分解能静力学領域スペクトルモデル(RSM)の結果とも比較した。MRI-NHMには雲水、雨水を直接予報する暖かい雨タイプまたは雲水、雪、あられを加えて直接予報する冷たい雨タイプの降水スキームを用いた。RSMでは2つの対流のパラメタリゼーションスキームを大規模凝結とともに用いている。

暖かい雨タイプを用いた場合、MRI-NHMは降水強度の最大値20 mm以上の強雨の面積を相当に過大評価したが、冷たい雨タイプにすると過大評価はかなり緩和された。冷たい雨タイプを用い、大気放射の効果を取り込むと降雨の日変化は大変よく再現される(第3図a)。1時間降水量1 mm程度の小雨における日変化の再現は弱い。大気放射の効果を除去すると更に弱くなった(第3図b)。統計的なスコアを取ったところ、1時間降水量10 mm以上の強雨についてはMRI-NHMの方がRSMより正確に予想していた。5 mm以下の雨についてはMRI-NHMはRSM程成績は良くないが、スレツスコアで差が0.02とかなり小さい。MRI-NHMは1時間降水量20 mm以上の雨のほぼ半数を予想することができた。降水は九州北部より南部の方が精度良く予想されていた。このことは九州北部と南部とで強雨形成のメカニズムが異なるためだと考えられる。

## 6. 大気環境場の変化とメソ $\beta$ スケール積乱雲群の発達

耿 驃(名古屋大学大気圏科学研究所)、斉藤和雄(気象研究所)、武田喬男(名古屋大学大気圏科学研



第 3 図 (a) 総降水量, (b) 1 時間降水量 1 mm に見られる日変化. 太い破線はレーダーアメダスによる観測結果を示し, 太い実線は冷たい雨タイプの MRI-NHM, 細い実線は暖かい雨タイプを用い大気放射の効果を取り除いた MRI-NHM, 短破線は 10 km 分解能 RSM, 鎖線は 20 km 分解能 RSM の計算結果を示す.

究所)

集中豪雨をもたらすメソβスケール積乱雲群がどのような大気環境場に対応して形成され, また, どのような大気環境場の変化に対応して発達するのは, 明らかにすべき重要な問題である. メソスケール降水システム周辺の大気環境場の観測は大変難しいが, 数値モデリングでは, 実際に起こった降水現象をある程度再現することができるため, それにより得られた周辺大気環境に関する情報を一種の観測データとし, 大気環境場の構造と変化の解析を行うことにとっても有効な手段である. 勿論, 現在の数値モデルは決して完璧ではないが, 観測データと数値モデリングのデータを有機的に解析することが重要である.

1996年7月2日に種子島・屋久島の付近に形成, 発達したメソβスケール積乱雲群は, 2台のドップラーレーダにより観測され, また, 気象研究所の非静力学大気モデルにより良く再現された. 観測と数値モデリングより総合的な解析を行った結果, この降水システムは, 下層で風のシアラインが形成されたことに対応して形成したこと, また, 中層で乾いた空気が接近したことに対応して発達したことが示された. 積乱雲群は4個の積乱雲により構成されていたが, 特に2番目に形成された積乱雲は雲頂が16 kmを越えるほどに発達した. メソスケール降水システムを構成する積乱雲のどれもが発達したのではなく, ある特定の積乱雲が

発達した. そのプロセスは大変興味深い.

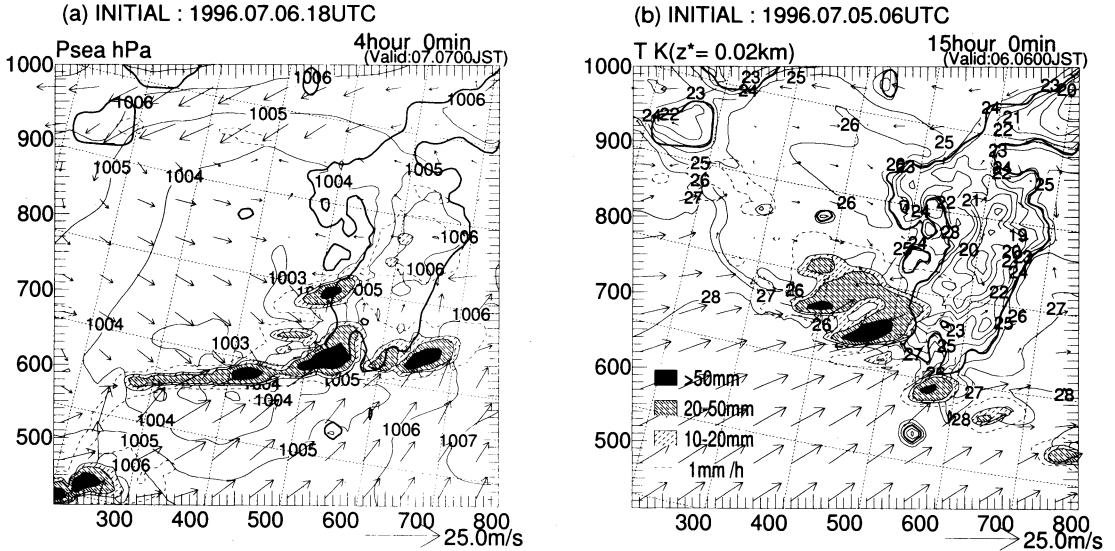
### 7. 1996年7月7日に南九州で観測された梅雨前線内の降水システム

瀬古 弘 (気象研究所)

首題の降水系について, 気象衛星 (GMS) やドップラーレーダ等を用いた解析結果と, 気象研究所非静力学メソスケールモデル (NHM) で再現した降水系を比較して, 降水系の構造や維持した要因を発表した.

この降水系は, 梅雨前線上の中間規模擾乱の暖域で組織化したもので, 東部分はカギ状, 西部分で東西に延びる直線状であった. また, GMSにより降水系の西側で, 新しい対流が発生・発達するのが確認された. 一方, NHMでシミュレートした降水系は, 形状等の観測された多くの特徴を持ち, 新たな対流が西側で発生発達するのを再現していた (第4図a). 気流構造をみると, 降水系の南側の下層から, 高相当温位の気塊が降水域に供給されていた. 降水系の東部分のカギ状の降水域では, 中間規模擾乱からの西風が下降し, 地上に冷気塊を生じさせていた.

形状を決める要因等を議論するために感度実験を行った. 蒸発の効果や中層の低相当温位の気塊を取り除いても降水系の強度や形状に大きな変化がなかったことから, 中間規模擾乱と太平洋高気圧をめぐる南西風の収束が降水系の形状を決定し, 高相当温位の南西



第4図 気象研究所非静力メソスケールモデルで再現した降水系。(a) 1996年7月7日7時の1時間降水量(影域)と海面補正した気圧(実線)、高度20mの水平風。(b) 1996年7月6日6時の1時間降水量(影域)、高度20mの気温(実線)と水平風。

風が降水系を維持させていたと考えられる。

さらに、上記より12時間前の初期値・境界値から時間積分した7月7日の事例や7月6日の事例も含め、発生発達を要因を検討した。12時間前から時間積分した結果は、中層の低相当温位の気塊が北側から降水系にはほぼ直交して流入し、降水系は東西に大きく延びて劇的に発達した。一方、6日の事例は、温度の前線上で南西風が収束し、そこで降水系が発生発達した(第4図b)。この事例では、風上である南西側の下層や中層の気塊はともに相当温位が高く、降水域で上昇していた。中層の低相当温位の気塊が降水系に入り込まないため、降水系に対する中層の低相当温位の気塊の寄与は小さかった。

これら複数の事例から、高相当温位の気塊が大規模場の収束域や温度の前線上などで収束する事により、降水系が発生・発達できること、中層の低相当温位の気塊は発達に必ずしも必要ではないが、対流域に流入すれば、大幅に対流を強化することがわかった。

8. 南九州豪雨機構の雲物理学的研究

高橋 劭 (桜美林大学)

九州豪雨機構の不思議な現象としてなぜ10 km×10 kmの狭い領域に毎時100 mmもの豪雨が数時間も降

り得るのかということがあげられる。雲物理過程の関与についての研究を目的に、雲内での降水粒子の形状および電荷の測定可能なビデオゾンデ19台を種子島南種子から TREX 期間中気象研究所および名古屋大学大気水圏科学研究所のドップラーレーダーと連絡を取りながら降水雲への飛揚を行った。主な結果は次の通りであった。

1. まとまった降水(20 mm/日以上)はメソ降水雲からもたらされ、 $5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 程度の下層収束(850 hPa)と上層発散(300 hPa)の場に形成されていた。
2. 6月のメソ擾乱場では上層ジェットが強く風の上方へのシアが大きく落雷頻度はむしろ弱かった。
3. 7月のメソ擾乱場では上層ジェットは北に働きシアは弱まり落雷頻度は増大した。
4. メソ擾乱場は積乱雲群とそれから伸びた層状域から構成され、積乱雲群では凍結水・あられ形成が活発で帯電は $-20^{\circ}\text{C}$ 層で強力に起っていた。正の氷晶が広く層状雲に分布していた。
5. 強い降水時には親セルの停滞と風上に形成した娘セルの親セルへの合流がメソ擾乱内で起り、親雲セルのあられが娘雲セル内の過冷却水滴の捕捉により $0^{\circ}\text{C}$ 層付近で強力な水の集積がみられた。