

情報の広場

1051:1052 (豪雨; 梅雨前線; メソ対流系; 積乱雲;)
(GPS; 観測システム実験; 非静力学雲モデル)

1999年東シナ海・九州梅雨特別観測 (X-BAIU-99) 報告*

吉崎正憲^{*1}・瀬古弘^{*2}・加藤輝之^{*3}
 小司禎教^{*4}・永戸久喜^{*5}・別所康太郎^{*6}
 郷田治稔^{*7}・X-BAIU-99観測グループ^{*8}

1. はじめに

日本列島にしばしば災害をもたらす顕著な降水現象として、梅雨前線、冬の日本海上の帶状雲や小低気圧、夏の雷雨、台風などがある。これらはすべて多重スケール構造をしていて、その中でメソ対流系は重要な役割を果たす。メソ対流系とは、水平スケール100 km のオーダーで対流性領域と層状性領域を持つ降水システムで、自己増殖や組織化によって長時間持続してライン状や塊状などさまざまな形態をとる(吉崎、1999a, b)。また、このメソ対流系は大気中の水やエネルギーの循環を担うために、気候変動のメカニズム解明などにも重要なキーとなる。こうした重要な気象擾乱なのに、その実態やメカニズムは従来の観測ではとらえるのがむずかしくてよくわからっていない。

こうしたメソ対流系を研究するために、科学技術振興事業団・戦略的基礎研究「メソ対流系の構造と発生・発達のメカニズムの解明」(研究代表者: 吉崎正憲)が

平成10年10月から始まった。このプロジェクトでは、日本域のメソ対流系の構造や発生・発達の仕方、および形態とその周りの環境場との関係などを明らかにすることを目指して、野外観測・解析・数値実験を有機的に結合した研究を行う。実際には他のプロジェクト(例えば、TRMM研究など)や各機関の経常研究とも共同して「全日本」的な体制で研究を推進する。

この研究の基本的戦略は以下の通りである。まず観測では、陸上においてドップラーレーダーや境界層レーダーなどでメソ対流系の内部構造を把握することと高層ゾンデ観測網によってメソ対流系の環境場あるいはより大きなスケールの擾乱をとらえることを目指す。また海上のメソ対流系を機動的に観測するために、航空機による観測も行う。しかしながら、観測だけではメソ対流系の一部しか捉えられない。そこで、観測した事例について数値実験を試みる。まず、気象庁ルーチン予報モデルの領域スペクトルモデル(Regional

* A report on a special observation of Baiu over East China Sea and Kyushu in 1999 (X-BAIU-99).

*1 Masanori Yoshizaki, 気象研究所予報研究部。

*2 Hiromu Seko, 気象研究所予報研究部。

*3 Teruyuki Kato, 気象研究所予報研究部。

*4 Yoshinori Shoji, 気象研究所予報研究部。

*5 Hisaki Eito, 気象研究所予報研究部。

*6 Kotaro Bessho, 気象研究所台風研究部。

*7 Harutoshi Goda, 気象庁数値予報課。

*8 X-BAIU-99 observation group: 吉崎正憲・瀬古弘・加藤輝之・永戸久喜・小司禎教・福田正人・足立アホロ・村上正隆・星本みづほ(気象研)、水野孝則(気象庁)、井口俊夫・花土弘・大野裕一・堀江宏昭・岡本創・中川勝広・石田春磨(通総研)、古川欣司・

清水収司(NASDA)、中井専人(防災科研)、上田博・遊馬芳雄・篠田太郎・尾崎尚則・山田広幸・茂木耕作・前坂剛・福田陽子・播磨屋敏生・橋本明弘(北大理)、藤吉康志・川島正行・大井正行・福士博樹・新井健一郎・猪上淳・五十嵐崇士(北大低温研)、新野宏・石川浩治・柳瀬亘・長谷江里子(東大洋研)、中村健治・民田晴也・近藤欣吾(名大大気水圈研)、橋口浩之・手柴充博(京大超高層)、柴垣佳明(大阪電通大)、大石哲・鈴木善晴(京大防災研)、高村民雄・山本尉太・吉田大輔(千葉大環境)、田中穣・林理三雄・吳新華(鹿児島大)、松島健(九大)、荒生公雄(長崎大)、真田基之(中日本航空)、大橋敏次(ダイヤモンドエアサービス)

Spectral Model; RSM と書く。水平解像は約20 km)によってメソ対流系を含む大きな場(あるいは擾乱)の再現を試みる。もっともらしい環境場を得るために、特別観測データは極力定時観測して気象庁へ通報する。そして、RSM 出力データをもとに、非静力学雲モデル(Nonhydrostatic model; NHM と書く)。水平格子間隔は数 km)によって、メソ対流系およびそれを構成する積乱雲までの再現を試みる。数値実験と観測を比較してメソ対流系をうまく再現していれば、その内部構造を詳しく調べる。また、環境場のパラメーターをいろいろ変える感度実験を行ってメソ対流系の形成・維持に重要な要因を明らかにする。こうして、メソ対流系に関する内部構造と発生・発達のメカニズムの解明を図る。

上記のような研究の手始めとして、1999年6月から7月にかけて梅雨前線を観測対象にして東シナ海・九州で特別観測を行った。East China Sea の頭文字を並べた ECS を X として、この特別観測を X-BAIU-99 と呼ぶ。X には謎あるいは question という意味も重ねてあり、梅雨前線の謎を探りたいという気持ちを込めている。

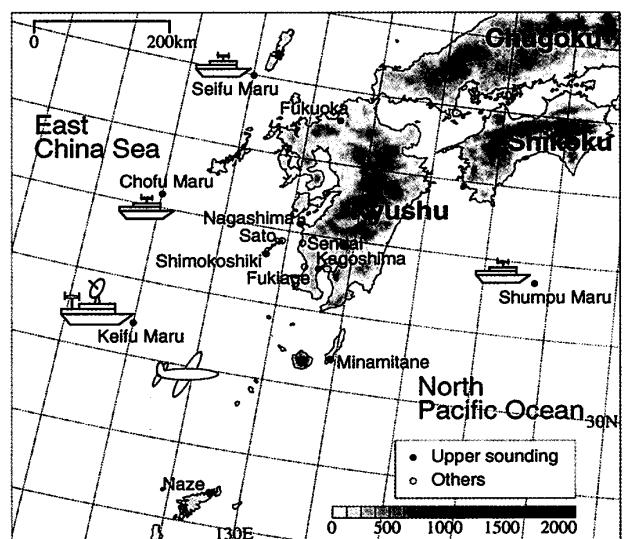
ここでは、X-BAIU-99の観測体制や観測期間の天気概況など全体的な概要をまず紹介する。また、GPS、境界層レーダーなど新しい測器による観測を行ったり NHM で再現実験を行ったりしたので、6月29日の降水事例を取り上げてその研究の一部を紹介する。

2. X-BAIU-99の観測体制：

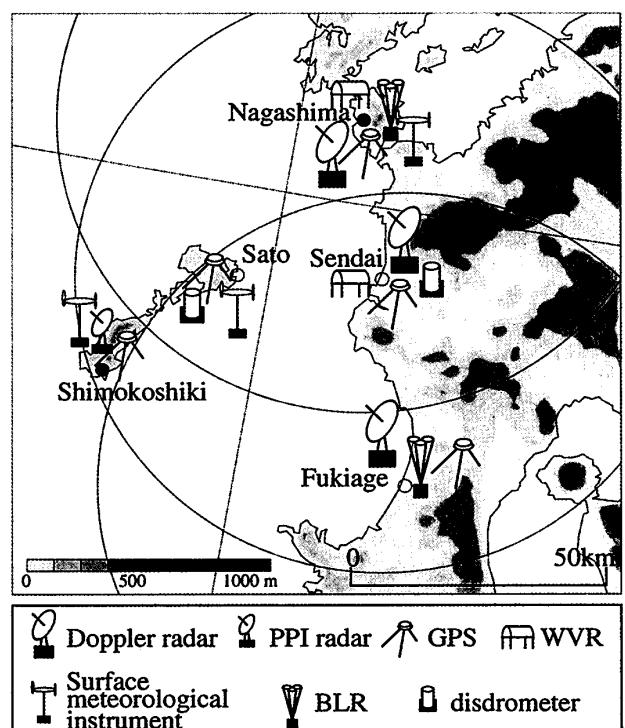
X-BAIU-99には、気象庁、気象研究所、通信総合研究所、宇宙開発事業団、防災科学技術研究所、北海道大学理学部、北海道大学大学院、北海道大学低温科学研究所、千葉大学環境リモートセンシング研究センター、東京大学海洋研究所、名古屋大学大気水圏科学研究所、京都大学超高層電波研究センター、京都大学防災研究所、大阪電気通信大学、鹿児島大学理学部および工学部、九州大学理学部島原地震火山観測所等、多くの機関が参加した。第1図は特別観測の概要図である。この観測は地上観測と航空機観測の2つからなり、また観測期間は強化観測(第1図a)と通常観測(第1図b)の2つに分けた。

通常観測は6月15日09(日本)時から7月15日09時まで、鹿児島県の長島町、川内市、吹上町、甑島列島にて実施した。主な観測(あるいは測器)は、ドップラーレーダー、境界層レーダー、高層ゾンデ、マイク

(a)



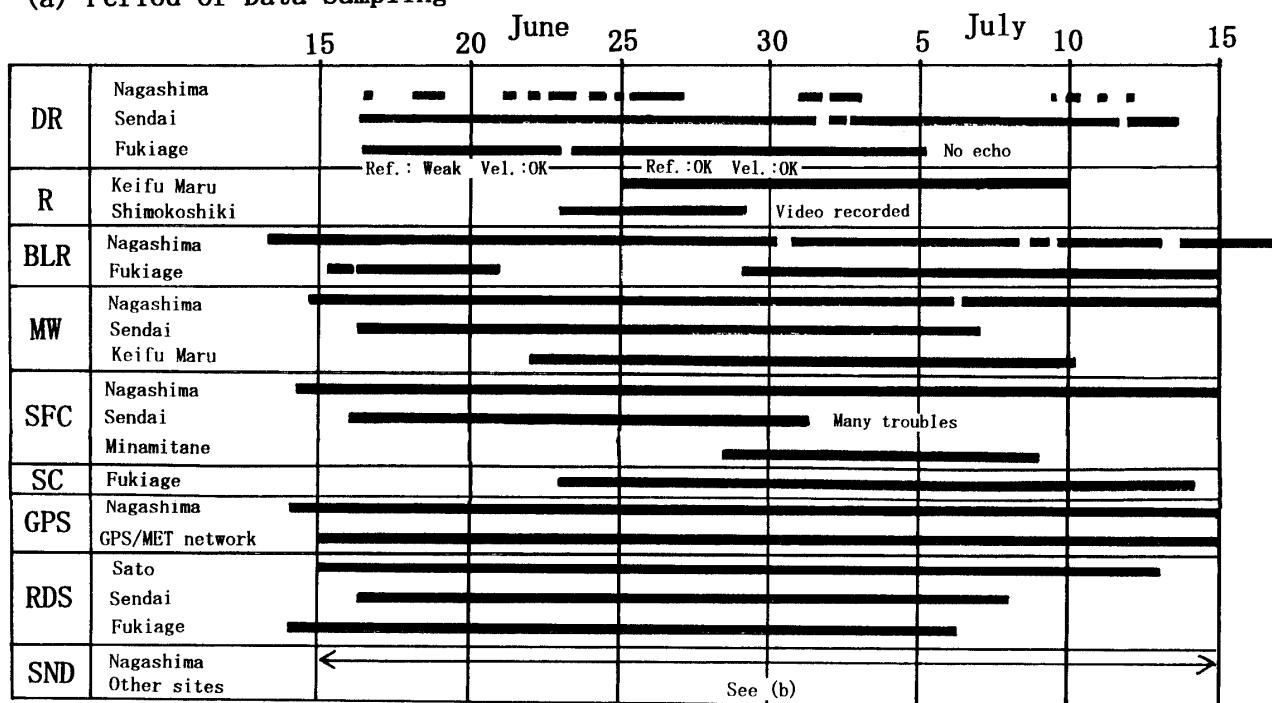
(b)



第1図 X-BAIU-99における(a)強化観測と(b)通常観測の期間における観測の概要。

ロ波放射計、GPS、地上気象、雨滴粒径分布、シンチレーションなどである。高層ゾンデ観測は、原則として1日2回の正時(09JST, 21JST)を行ったが、降水系がある場合は随時観測した。また、GPS九州連合は、

(a) Period of Data Sampling

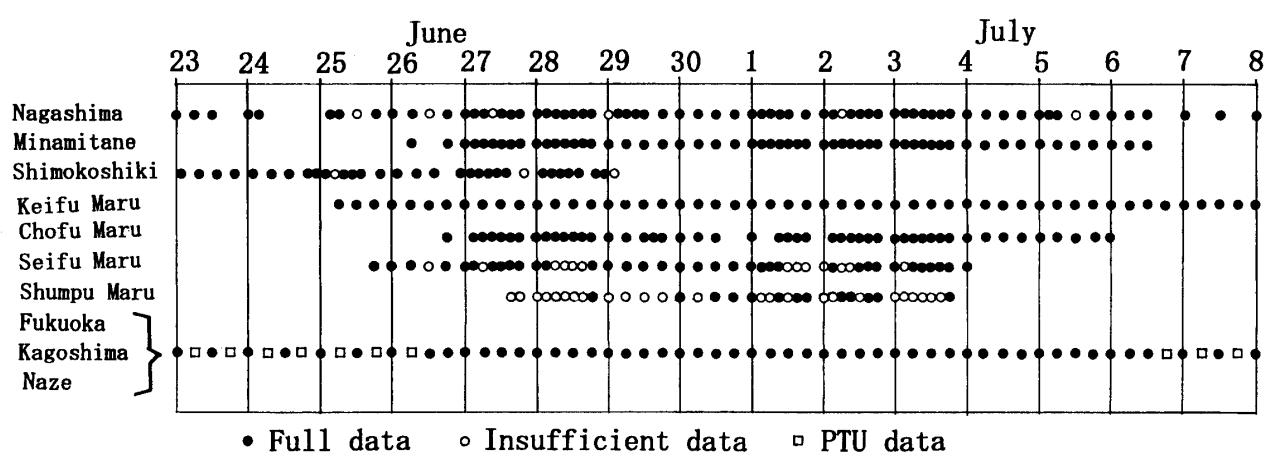


DR: Doppler radar R: Radar BLR: Boundary-layer radar

MW: Microwave radiometer SFC: Surface measurement SC: Scintillation

RDS: Raindrop size measurement SND: Upper sounding

(b) Frequency of upper sounding



第2図 (a) X-BAIU-99における各観測グループの測器で観測した期間. (b) 6月23日から7月8日にかけての高層観測の頻度. 縦の実線の時刻は00 UTCを示す.

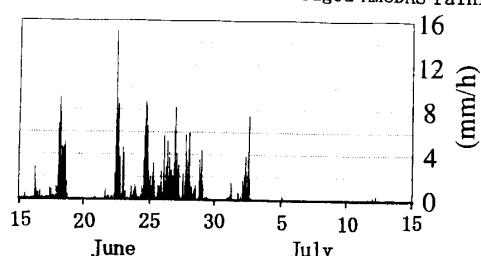
川内・吹上など12地点でGPS観測を行った。

一方、強化観測は6月27日00時から7月6日24時まで、気象庁観測船(啓風丸、長風丸、清風丸、春風丸)、気象庁地上高層点(福岡、鹿児島、名瀬)、長島町、南種子町、下甑村(期間: 6月23日-6月29日)で1日4回(場合によっては7回)の高層ゾンデ観測を実施し

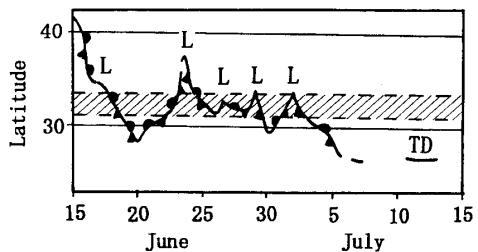
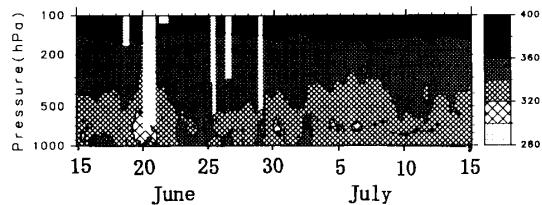
た。第2図に、地上観測データの取得された期間や頻度を示す。

航空機観測は、プローブ観測を主とする雲物理ミッションと、ドロップゾンデと雨レーダーによる降水系の観測をめざす熱力学ミッションの2つを行った。熱力学ミッションではマイクロ波放射計による観測も

(a) Temporal variation of area-averaged AMeDAS rainfall



(b) Temporal variation of positions of fronts along 130E

(c) Time-height section of θ_e (K) at Nagashima

第3図 X-BAIU-99における (a) 第1図bの領域で平均したAMeDAS 1時間降水量の時系列, (b) 東経130度における前線の位置の時間-南北断面図, (c) 鹿児島県長島町における相当温位の時間-高度断面図.

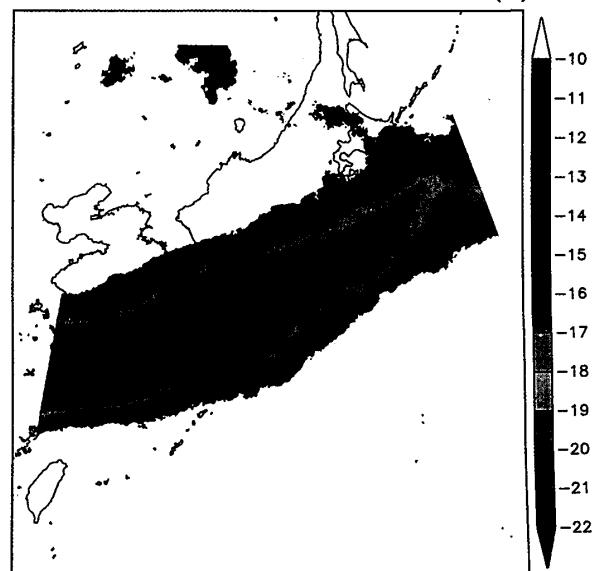
行った。雲物理ミッションでは雲レーダーのトラブルがあり多くは飛べなかつたが、熱力学ミッションでは6月30日から7月2日にかけて顕著な降水系を観測することができた。

3. 特別観測期間の天気概況：

第3図は、第1図bの領域で平均したAMeDAS 1時間降水強度の時系列、東経130度における前線の位置の時間-南北断面図、長島町における相当温位の時間-高度断面図である。概して観測期間の前半に降水が見られた(第3図a)。6月22日から7月3日にかけては梅雨前線は九州付近にあっていくつかの低気圧が通り(第3図b)、特に6月29日と7月2日には顕著な低気圧と寒冷前線が通過した。相当温位の高度分布の時系列(第3図c)から、期間中はほとんど対流不安定な成層であつて、特に低気圧が通過する時には地上付近の相当温位が大きくなりより不安定となった。

観測期間を降水系の活動から3つの期間(I, 6/15-

00Z23JUN-00Z03JUL GMS IR TBB(C)



第4図 期間IIにおけるGMS-5のTBBの水平分布。

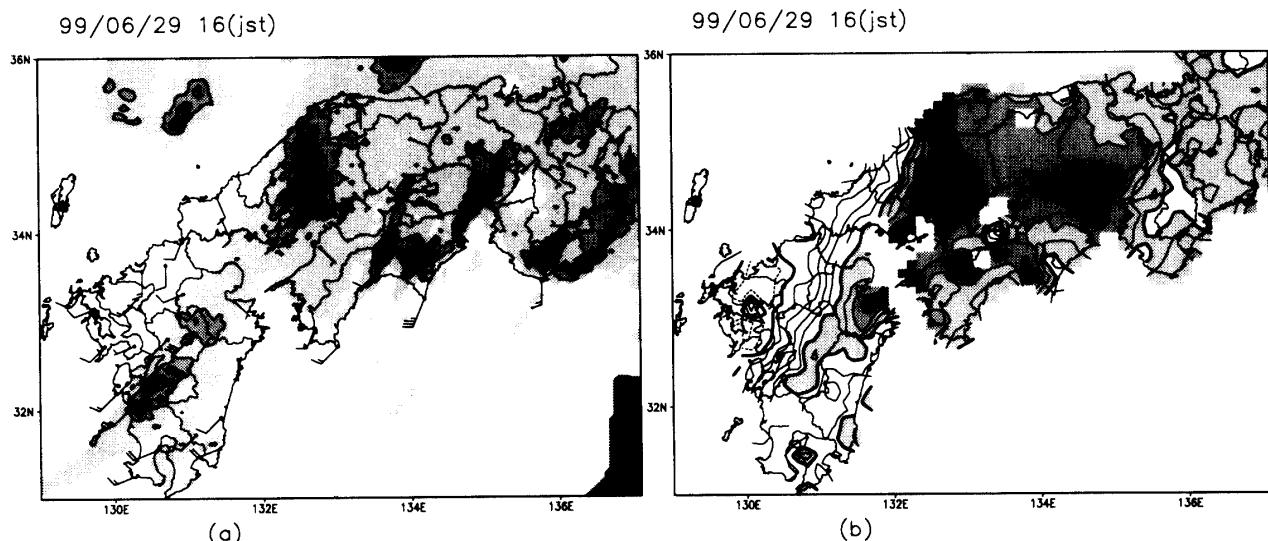
6/23; II, 6/23-7/3; III, 7/3-7/15)に分けてその特徴を眺めてみた。もっとも降水活動が活発であった期間IIにおけるGMS-5のTBBの水平分布を第4図に示す。中国・華中から日本列島にかけて東西に並んだ雲域が顕著であった。さらに、GANALデータを用いて期間IIの東西風の構造を調べると、この雲域を挟むように南側に下層ジェット、北側に上層ジェットがあって、東にゆくにつれて加速するのが見られた(ジェットのentrance region)(図略)。こうした東西風の分布は豪雨時にしばしば見られる特徴である。

4. 6月29日の寒冷前線に関する解析や数値実験

この日総観規模の低気圧が東シナ海を東進してきて、寒冷前線上に強い降水バンドができた。寒冷前線が九州を通過する時に北九州地方で大雨が降った。これによってJR博多駅前が冠水し地下街に水があふれて1人が溺死した。さらにこの前線は東進して広島県内に大雨を降らせて、各地で土砂崩れを引き起こし多くの死者・行方不明者を出した。この事例について、3つの研究を簡単に紹介する。

4.1 GPSでとらえた水蒸気場の動態

GPS衛星と地上局との間の電波遅延情報から大気中の可降水量(=水蒸気の鉛直積算量)が評価できる。国土地理院は現在のところ日本全国約1000点のGPS観測点を展開しており、AMeDAS並の空間分解能を持



第5図 1999年6月29日16時の(a)レーダーアメダス解析雨量と、(b)GPS可降水量の期間平均からの差の水平分布(小司ほか, 2000)。(a)の等値線は10mm/h間隔である。(b)では、細い等値線は2mm間隔、太い等値線は10mm間隔、ハッチ域は+10mm以上の領域である。

つ。そのGPS連続観測網(GEONET)データを用いて、西日本で1時間間隔の可降水量解析を行った(小司ほか, 2000)。ここでは、6月29日の寒冷前線の通過によって可降水量がどう変動したかを眺めてみる。第5図は、16時のレーダーアメダス解析雨量とGPS可降水量の期間平均からの差の水平分布である。予想されるように、雨量の多い領域で可降水量が大きい値になっている。また、島根県・山口県から鹿児島県北西部にかけて、前線に伴う降水帯の西側に可降水量の大きな勾配が見られ、前線の北西側では非常に乾燥していたことがわかる。

陸上域の可降水量しかわからないが、マイクロ波による評価法に比べて降水域でも非降水域と変わらない精度で求まることから、GPSデータは水蒸気情報としてメソ解析には非常に有効である。さらにこれから3次元水蒸気分布が求まるようになると、そのメリットは大きくなる。そのようなアルゴリズムの開発が現在進められている。

4.2 観測システム実験

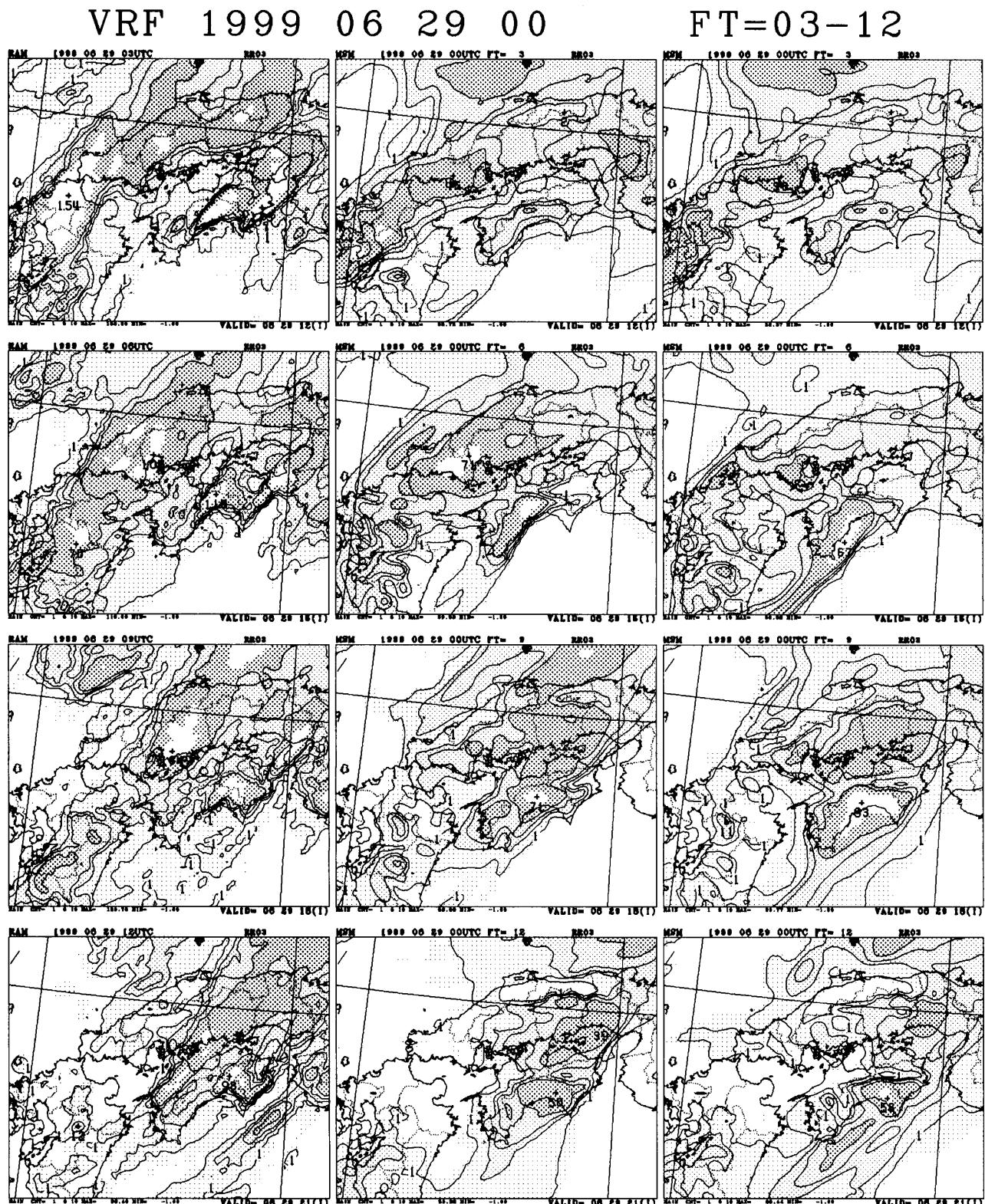
観測データの有無や配置の数値予報へのインパクト実験(観測システム実験, Observing System Experiment, OSEと略す)が近年盛んに行われている。気象庁でも、例えばウィンドプロファイラーを全国展開するために風データの有無に関するOSEなどが行われてきた。

九州では通常福岡、鹿児島、名瀬で高層観測が行わ

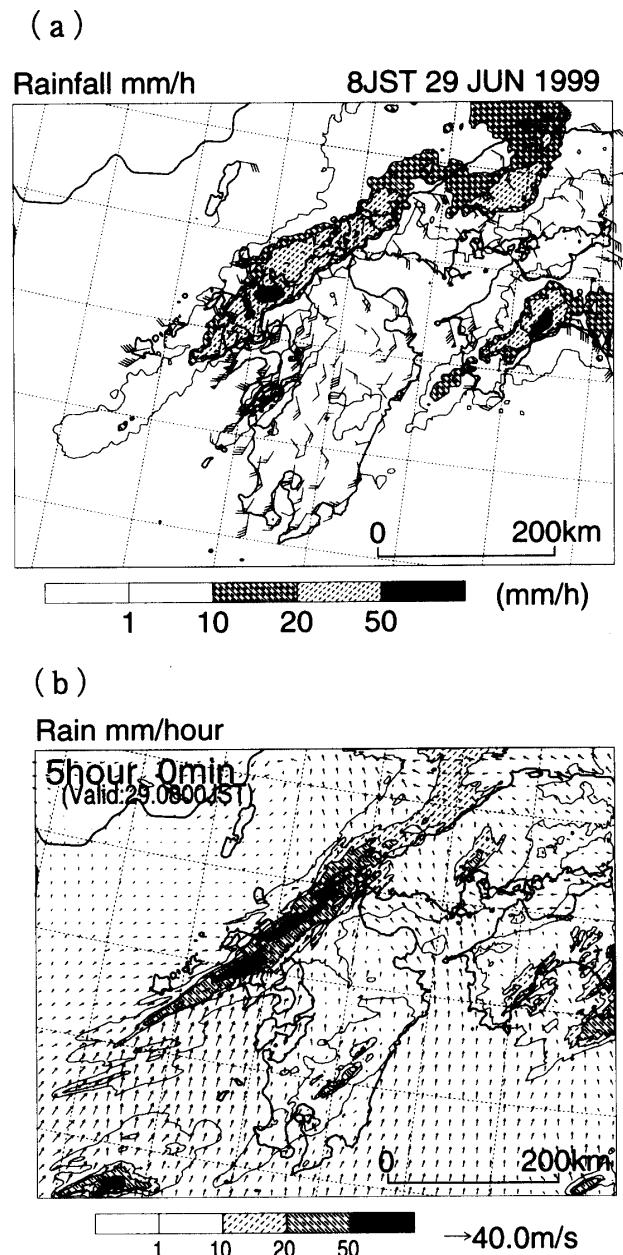
れているが、X-BAIU-99強化観測にはさらに長島町と南種子町および気象庁観測船4船が九州を囲むような形で高層ゾンデの特別観測が行なわれた。こうした特別観測データが数値予報の精度向上にどのように寄与するかは非常に関心がある。郷田ほか(2000)は水平解像度10kmのMSM(メソスケールモデル、基本的にRSMと同じである。)を用いて、6月29日の寒冷前線の事例に関して、特別観測データをon/offしたOSEを行った。第6図に3時間毎に3時間降水量の水平分布を示す。レーダーアメダス解析雨量図(左図)を見ると、南西から北東にのびる寒冷前線が東進したのがわかる。特別観測データがある場合(中図)とない場合(右図)を比較すると、広島県付近の降水の様子は特別観測データがある場合の方が実況に近かった。この違いは、特別観測データがない場合の初期場に九州南部への強風軸があったのに対して、ある場合の初期場には北九州への強風軸があったために生じた。このケースは特別観測データは予報結果にポジティブに作用した。しかし、特別観測データがあっても精度は変わらない場合もあり、理由を明らかにするためにさらにOSEの研究を進める必要がある。

4.3 NHMによる数値実験

RSM(あるいはMSM)は水平解像が約20km(あるいは10km)と粗くて、総観規模の寒冷前線の様子は再現できてもその中の降水バンドの対流セルまでは再現できない。対流セルまで再現しようとすると、細か



第6図 1999年6月29日の寒冷前線の事例に関して、レーダーアメダス解析雨量と特別観測データをon/offしたOSEの3時間降水量の水平分布(郷田ほか, 2000)。上から09-12, 12-15, 15-18, 18-21時の積算降水量を表す。左図はレーダーアメダス解析雨量、中図と右図は6月29日09時を初期値としたMSMの予報結果である。中図は特別観測データを利用した場合で、右図はしなかった場合である。等値線は、1 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mmで、薄いハッチは20 mm未満、濃いハッチは20~50 mm、白抜きは50 mm以上の降雨域を表す。



第7図 1999年6月29日寒冷前線が北九州地方を通過する8時における(a)レーダーアメダス解析雨量図と、(b)水平格子2 kmのNHMでシミュレートされた降水量の水平分布(加藤ほか, 1999)。等值線の単位はmm/hである。

い水平格子を持ち対流セルの物理をきちんと含んだNHMが必要になる。

加藤ほか(1999)は、気象研で開発されたNHM(齐藤・加藤, 1996)を使って、6月29日の寒冷前線の内部構造を再現した。まず8時のレーダーアメダス解析雨量図を第7図aに示す。寒冷前線に沿って降水バンドが見られるが、その中の対流セルは前線より北寄り

の北北東に動いて、降水バンド内に複数のメソ対流系を構成していた。次に、第7図bに水平格子2 kmのNHMによるシミュレーションの結果を示す。線状構造が良く再現されていて、対流セルが降水バンドの南西端や南側で発生してバンドの中で発達するのが見られた。再現された降水強度も観測と比べてもっともらしい値であった。

他の事例に関する数値実験の経験から、この事例のように寒冷前線など大きな擾乱場がRSMで的確に捉えられるならば、NHMは現実的なメソ対流系を再現できうることがわかった。しかし、NHMは全ての降水系を再現できるほど万能ではない。例えば、第7図の中で寒冷前線以外の降水系に注目すると、観測では甑島から発するような地形性降水バンドが見られるが、数値実験ではそのようなバンドは再現されていないのに気づく。また熱雷のようなきわめて局所的な降水系もNHMはほとんど再現できていない。こうした問題を解決するには、例えばNHMへの観測データのデータ同化やNHMの初期値化法などの開発・改良が必要である。

5.まとめ

ここでは、まず観測体制や観測期間中の天気概況について、X-BAIU-99の全体的な紹介を行った。特別観測としては、事故もなく降水事例もいくつか観測できたので成功したと言えよう。これまで梅雨前線に関して同様の特別観測がいくつか行われてきて、中間規模擾乱、クラウドクラスター、メソ対流系などの存在、多重スケール構造など数多くの知見が得られた。しかし、従来に比べて、X-BAIU-99で梅雨前線やその中の降水系の理解が大いに進展すると期待されるのは、強化観測期間にいくつかの降水系が観測網を通過した幸運、新しい測器(TRMM, GPS, 境界層レーダーなど)も加わった大規模な観測、NHMを大きな計算領域で適用できるスーパーコンピューター環境の実現などのおかげである。4節では、6月29日の観測事例をもとに新しいトピックだけを取り上げた。他にもいろいろな事例についていろいろな手法で解析や数値実験を行われているので、詳しくは吉崎(2000)の報告集あるいは今後の発表を参照してほしい。

この記事で多くの人にこの観測に关心を持ってもらえたならと思っている。そして研究してみたいというような人が現れれば、我々にとって喜ばしいことである。そのためにも、X-BAIU-99で得られた観測データを

早く公開するようにしたい。

X-BAIU-99では梅雨期の降水系—暖候期のメソ対流系が対象であった。しかし、他の地域や季節にも知りたいメソ対流系が数多くある。その一つとして、冬季日本海では収束バンドや小低気圧などに伴って豪雪をもたらす降雪系—寒候期のメソ対流系がある。現在2001年1月に日本海側でメソ対流系を対象とする特別観測を行う計画を立案している。概要がまとまり次第、この欄を使ってあらためて皆さんに紹介したい。

謝 辞

X-BAIU-99の観測にあたって、科学技術振興事業団、宇宙開発事業団、気象庁予報部、観測部、気候・海洋気象部、福岡管区気象台、鹿児島地方気象台、気象庁観測船、気象研企画室、長島町役場、川内市役所、吹上町役場、GPS気象学グループにはお世話になりました。心より感謝します。

参 考 文 献

- 郷田治稔、榎原茂記、万納寺信崇、2000：X-BAIU観測データの広島豪雨予報へのインパクト調査、「九州における梅雨特別観測に関するワークショップ」報告集、31-33。
- 加藤輝之、X-BAIU-99観測グループ、1999：1999年6月29日福岡で豪雨をもたらした寒冷前線と下層ジェットの強化機構(序報)、1999年日本気象学会秋季大会講演予稿集、76, 99。
- 斎藤和雄、加藤輝之、1996：気象研究所非静水圧ネスティングモデルの改良について、天気、43, 369-382。
- 小司禎教、X-BAIU-99観測グループ、2000：X-BAIU99期間のGPS可降水量解析、「九州における梅雨特別観測に関するワークショップ」報告集、9-11。
- 吉崎正憲、1999a：メソ対流系(I)、天気、46, 783-790。
——、——b：——(II)、天気、46, 833-841。
- 吉崎正憲編、2000：「九州における梅雨特別観測に関するワークショップ」報告集、50pp.



第6回大気化学討論会のお知らせ

下記の要領で第6回大気化学討論会が開催されます。本討論会は、対流圈・成層圏を中心とする大気化学および関連する諸分野の研究者が集い、最新の研究成果の発表を行うと共に、意見交換や今後の研究計画を話し合うことを目的としています。ふるってご参加下さい。

主 催：大気化学研究会

会 期：2000年5月31日(水)から6月2日(金)

会 場：鳥羽国際ホテル

発表申込締切：2000年4月21日(金)必着

発表申込方法：次の要領で講演要旨をお送り下さい。

なお、正確かつ迅速に講演要旨集を作成するために、極力、電子メールをご利用頂けますようお願いいたします。お送りいただいた原稿は、講演要旨集として当日配布いたします。

1. 郵送の場合：A4用紙を用いて、縦11×横17cmのサイズ内に、講演題目、氏名(発表者の前に丸)、所属、発表の概要を記入し、さらに余白に申込者氏名、連絡先(住所、電話、ファックス、e-mail)を記入して下さい。

2. e-mailの場合：上記と同様の項目を入力してお送り下さい。現地実行委員会で編集いたしますので、特殊文字の使用はなるべく避けてください。

参加登録費：26,000円(2泊3日の宿泊費、朝食、懇親会費、講演要旨集代を含む)

申込先：〒464-8601 名古屋市千種区不老町

名古屋大学 太陽地球環境研究所 東山分室
長田 和雄

電話：052-789-4305, Fax：052-789-4306

E-mail：osada@stelab.nagoya-u.ac.jp