

# JSM-SiBUCを用いた梅雨前線の数値計算を通じた外部境界データの評価

The evaluation of external boundary data through numerical experiments of the Baiu Front by JSM-SiBUC coupled model

田中 賢治<sup>1</sup>・坪木 和久<sup>2</sup>・椎葉 充晴<sup>3</sup>・池淵 周一<sup>4</sup>

Kenji TANAKA, Kazuhisa TSUBOKI, Michiharu SHIIBA, and Shuichi IKEBUCHI

<sup>1</sup>正会員 京都大学助手 防災研究所水資源研究センター (〒 611 宇治市五ヶ庄)

<sup>2</sup>非会員 名古屋大学助教授 地球水循環研究センター (464-8601 名古屋市千種区不老町)

<sup>3</sup>正会員 工博 京都大学教授 地球環境学学資源循環学廊 (606-8501 京都市左京区吉田本町)

<sup>4</sup>正会員 工博 京都大学教授 防災研究所水資源研究センター (〒 611 宇治市五ヶ庄)

In this study, regional land-atmosphere coupled model (JSM-SiBUC) is applied to the GAME-HUBEX region to simulate the activity of the Baiu front observed on 2nd July 1998. To perform the regional 4DDA (four dimensional data assimilation) accurately, not only the used model but also the external dataset is very important. The main target of this study is to investigate the accuracy of the external dataset to be used for the regional 4DDA in future. Three dataset - GANAL, GAME-Reanalysis Ver1.1 and Ver1.5, which were produced by JMA (Japan Meteorological Agency) - are used for initial and external boundary condition. Through the comparison with upper air sounding data, raingauge data, and cloud image from GMS, the following results were obtained. 1) lower level specific humidity of GAME-Reanalysis data is smaller than observed one. 2) lower level potential temperature of GANAL data is larger than observed one. 3) due to high temperature in the GANAL data, it is difficult to simulate the meso-vortex observed on 2nd July 1998. 4) due to low humidity in the GAME-Reanalysis data, it is more difficult to simulate the above case.

**Key Words :** Regional 4DDA, external boundary condition, baiu front, GAME-Reanalysis, JSM-SiBUC

## 1. 序論

GAME-HUBEX では、メソスケール雲・降水システムのエネルギー・水循環過程のメカニズム研究に加え、集中観測と4次元データ同化による淮河流域とその周辺域の気象・水文データベースの構築が主要研究課題となっている<sup>1),2)</sup>。大気-陸面相互作用とそれがメソスケール降水システムの形成に果たす役割を明らかにすることは GAME-HUBEX における最重要課題の一つである。このような研究は高精度のデータセットが存在して初めて成立するものである。領域4次元データ同化 (Regional 4DDA) は HUBEX-IOP 期間中に取得されたデータを最大限に活用しながら、注意深くならなければならない。

著者らは GAME-HUBEX の数値モデリング研究の一環として、気象庁の日本域スペクトルモデル 1988 年度版 (JSM88) に陸面過程モデル SiBUC を導入し、大気陸面結合モデル (JSM-SiBUC) を開発した<sup>3)</sup>。領域 4DDA の精度は使用するモデルの性能が重要であることは言うまでもないが、それと同時に初期値・境界値に使用

する外部データの精度も非常に重要である。気象庁は GAME-IOP 期間中の集中観測データを活用して特別に再解析を実施した<sup>4)</sup>。特に HUBEX 領域では 21 の高層観測点が 1 日 4 回に強化されたため、GAME 再解析データはルーチンの全球客観解析データ (GANAL) よりも高い精度を持つことが期待されており、著者らは GAME 再解析データを用いた領域 4DDA の準備を進めてきた<sup>5)</sup>。

藤吉ら (2002)<sup>6)</sup>は複数のメソ数値モデルを用いて、1998 年 7 月 2 日に北緯 33 度、東経 115 度付近で観測されたメソスケール渦状擾乱の再現を試みた。その中で GAME 再解析データは ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター) の再解析データに比べて地表面温度が高すぎ、その結果対流の発生位置が実際より 200km 程度南東にずれることを指摘している。また、GANAL を用いた場合には梅雨前線や低気圧中心の位置が実際とよく一致する計算例も報告している。

GAME の特別観測データを用いたにも関わらず、本当に GAME 再解析データが ECMWF 再解析データや GANAL に比べて劣るのかどうかを慎重に判断する必

要がある。そこで本研究では、藤吉らと同じ事例について JSM-SiBUC による数値シミュレーションを実施する。この際、全球客観解析データ (GANAL)、GAME 再解析データ (Ver1.1 及び Ver1.5) から初期値・境界値を作成して異なる数値実験を行う。計算結果を衛星データ、地上気象データ、高層観測データと比較することにより、GAME 再解析データの優れている点や問題点について検討することが本研究の目的である。

## 2. モデルの概要

日本域スペクトルモデル (JSM, Japan Spectral Model)<sup>8)</sup> は気象庁で開発された数値気象予報モデルであり、ソースコードが GAME 関係研究者に公開された。モデルの格子数は自由に設定できるが、本研究では水平格子 129 × 129、鉛直 23 層 ( $\sigma$  座標) とした。

Topography for JSM-SiBUC

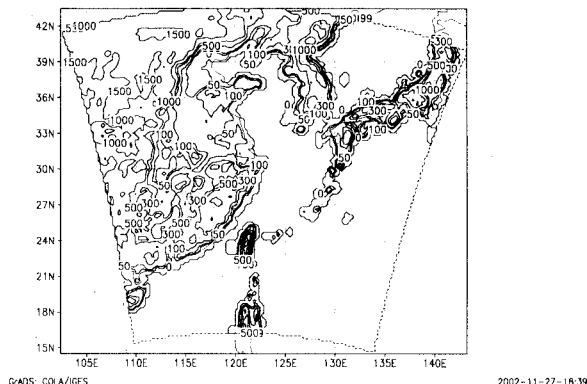


図-1 JSM-SiBUC の計算領域と地形

GAME-HUBEX の研究対象領域は東経 110~120 度、北緯 28~40 度の範囲であり、計算領域はこの領域を取り囲むように設定しなければならない。また、日本域ではモデル検証のための多数のデータが存在する。さらに、南シナ海からの多量の水蒸気が梅雨前線の形成に大きな影響を持つと考えられる。以上のことから計算対象領域を図-1 のように設定した (図中の等高線はモデル地形の標高である)。

オリジナルの JSM モデルでは陸面過程は非常に簡単に取り扱われていた。大気-陸面相互作用を正確に表現するために、新しく陸面過程モデル SiBUC<sup>9),10)</sup> が開発され、JSM に結合された<sup>3)</sup>。SiBUC はグリッド内部に土地利用が混在した条件を表現できるモザイク型の陸面過程モデルである。SiBUC では地表面の熱収支だけでなく、水収支も計算するので、さらに流出モデルとの結合も可能である。JSM モデルは主に 4 つのプログラムで構成され、SiBUC は PBL の下に組み込まれている。

表-1 JSM の主な構造

|        |                                 |
|--------|---------------------------------|
| PHYSCX | : 物理過程を計算                       |
| PBL    | : 陸面過程に関連する部分                   |
| RADIAT | : 下向き短波・長波放射                    |
| SiBUC  | : 地表面の水・熱収支を計算する                |
| VDFS   | : 境界層の鉛直拡散による変化                 |
| DYNMCT | : 力学過程を計算<br>(水平: スペクトル、鉛直: 差分) |
| MCONVT | : 降水過程を計算 (湿潤対流調節)              |

## 3. 地表面パラメータと初期値

### (1) 土地利用と植生

SiBUC モデルでは 1 つのグリッド領域は 3 つの土地利用カテゴリーと 6 つの構成要素に分かれている。

- (a) 緑地 (植物キャノピー、地面)
- (b) 都市域 (屋根面、壁面、路面)
- (c) 水体

これらの土地利用の面積率とキャノピーカバー率を各グリッドに与える。本研究では JSM グリッド内における土地利用面積率を作成するために 2 つのデータセットを利用した。日本域に関しては、空間分解能約 100m で 15 分類されている国土数値情報 (KS-202) を利用した。それ以外の領域では、空間分解能約 1km で 14 分類されている NOAA-AVHRR による全球土地利用/植生データセット (USGS より) を利用した。これらのデータセットから 8 つのカテゴリー (草地、落葉樹、常緑樹、水田、畑地、裸地、都市域、水面) に分類された土地利用データセットを作成した。

### (2) 土壌タイプ

土壌タイプの情報としては、FAO の Digital Soil Map of the World のデータ (空間分解能約 10km メッシュ) を使用した。オリジナルデータでは土壌タイプは成因等も考慮して 1000 種以上に分類されているが、本研究では砂、ローム、シルトの構成比から、11 種 (sand, loamy sand, sandy loam, silt loam, loam, sandy clay loam, silty clay loam, clay loam, sandy clay, silty clay, clay) に再分類したデータセットを作成した。

### (3) 地表面場の初期値

地表面状態量の初期化に関しては簡単に扱われている。初期の陸面温度は最下層の気温に対し土地利用、時刻に応じてオフセットをのせる。例えば、本研究の場合、計算開始時刻が 06Z (日本時間 15 時) であるため、キャノピー温度は気温より 2(K) 高く、水面温度は気温と同じなど経験的に決めている。また海面温度の初期値には SST 解析値を用いる。この計算期間は梅雨期であるため、初期の土壌水分は植物の蒸散にストレスがかからない状態 (水分ポテンシャルで -20m) に設定されている。もちろん、現実には計算対象領域全体で土壌が

湿っているわけではないので、この設定は正しくない。カルマンフィルターと地表面温度情報を用いた土壌水分データ同化システム<sup>11)</sup>を現在開発中であり、今後はより現実的な土壌水分場を設定していく予定である。

#### 4. 大気場の初期値・境界値

本研究では大気場の初期値・境界値として3つのデータセットを利用する。領域4DDAの精度が外部データの精度にも影響を受けるため、いくつか入手可能なデータを用いて再現計算を実施し、比較検討を行う。

- (a) GANAL
- (b) GAME再解析 ver1.1
- (c) GAME再解析 ver1.5

GANALはルーチンの気象庁全球客観解析データであり、オペレーショナルの予報業務として空間分解能1.25度で6時間間隔データが作成されている。気象庁はGAME-IOP期間中の集中観測データを活用して特別に再解析を実施した<sup>4)</sup>。特にHUBEX領域では21の高層観測点が1日4回に強化された。したがって、GAME再解析データはオリジナルのGANALよりも高い精度を持つことが期待される。GAME再解析データ(Ver1.1及びVer1.5)の空間分解能は0.5度で、期間は1998/4/1から10/31まで6時間間隔のデータセットである。2つの再解析データVer1.1とVer1.5の違いは、前者ではTIPEX(チベット)、HUBEX等の特別観測データが入力されていたのに対し、後者ではさらにSCSMEX(南シナ海)と北インドのデータが加わったこと、積雪深がVer1.1では気候値であるのに対し、Ver1.5では衛星データ(SSM/I)から統計的に導出されたものであることなどである。その他GAME再解析データの詳細は以下のホームページ(<http://gain-hub.mri-jma.go.jp/>)に掲載されている。

藤吉ら(2002)<sup>6)</sup>は3種類のメソスケール数値モデル(JSM(日本域スペクトルモデル)、NHM(気象研非静力モデル)、MCRM(メソ対流解像モデル))を用いて、1998年7月2日に北緯33度、東経115度付近で観測されたメソスケール渦状擾乱の再現計算を実施し、その中でGAME再解析データの問題点を指摘している。なお、Maesaka et al.(1999)<sup>7)</sup>はこの渦状擾乱について以下のように記述している。「亜熱帯高気圧の周りの南西風と北部に位置する弱い高気圧からの北東風が収束して梅雨前線を形成した。メソβまたはγスケールの渦が水平シアア域に観測され、強い対流域は渦の南西側に位置する。下層の北風が顕著であり、南風とぶつかって梅雨前線の南側に対流域を形成し、さらに対流域の背後には層状域が形成されている。」

我々はJSM-SiBUCを用いて1998年6月下旬から7月上旬にかけて見られた梅雨前線に伴う一連の降雨について再現計算を実行しているが、本研究では特に、藤吉ら(2002)が着目した7月2日の事例について検討することにする。そこで、シミュレーション期間は1998年7月1日06Z(日本時間15時)を初期時刻とし、6時

間隔のデータを内挿して作成した境界値を用いて36時間予報を実施する。

#### 5. 高層気象観測データと初期大気場

図-2はGAME-HUBEXのIOP期間中に1日4回(00Z, 06Z, 12Z, 18Z)に観測が強化された21の高層気象観測点の分布図である。本研究では特にHUBEX集中観測領域に位置するFuyangを中心とした7地点の高層観測点のデータを取り扱う。それらの位置情報をまとめたものが表-2である。

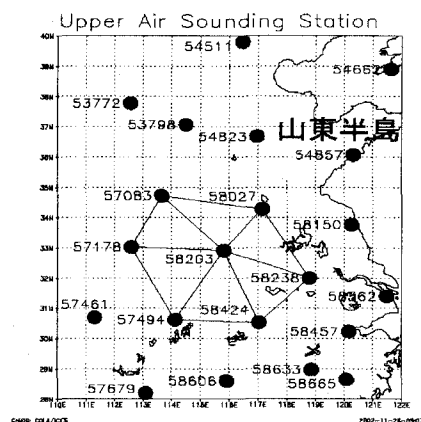


図-2 GAME-HUBEX 高層特別強化観測点

表-2 高層気象観測点の位置情報

| 地点名       | 地点番号  | 東経(度)  | 北緯(度) |
|-----------|-------|--------|-------|
| Zhengzhou | 57083 | 113.65 | 34.72 |
| Nanyang   | 57178 | 112.58 | 33.03 |
| Wuhan     | 57494 | 114.13 | 30.62 |
| Xuzhou    | 58027 | 117.15 | 34.28 |
| Fuyang    | 58203 | 115.82 | 32.92 |
| Nanjing   | 58238 | 118.80 | 32.00 |
| Anqing    | 58424 | 117.05 | 30.53 |

##### (1) 初期大気場の鉛直プロファイル

1998年7月1日06Zにおける各地の温位と比湿の鉛直プロファイルを図-3に示す。実線は観測値、一点破線はGANAL、破線はGAME再解析Ver1.1、点線はGAME再解析Ver1.5によるものである。ただし、4種のデータセット間での違いという意味で、プロファイル形状は以下の3つのグループに分類されたので、代表的な3地点のみを図示している。

- Zhengzhou, Wuhan
- Nanyang,
- Xuzhou, Fuyang, Anqing, Nanjing

ほとんどの地点で言えることであるが、GAME-HUBEX領域に関してはGAME再解析のVer1.1とVer1.5の差はほとんど見られないので、以後の議論で、特に述べない限りはGAME再解析の2つを同一に扱う。

まず、温位に関しては、GANAL ではいずれも下層(900hPa 以下)において観測値に比べて3~7(K)程度高いのに対して、GAME 再解析の方は観測値と同等、あるいはやや高めをとる。また図-3(c)のNanyangのプロファイルを見ると、Ver1.1とVer1.5の差が比較的顕著であり、前者の方が後者に比べて観測値に近い。一方、比湿に関しては明らかに GANAL の方が GAME 再解析に比べて精度が高く、GAME 再解析では下層において観測値に比べて3(g/kg)程度小さい。

これらは藤吉ら(2002)<sup>6)</sup>が指摘していることとは異なり、GAME 再解析の温度は決して高いわけではなく、むしろ GANAL の方が高いと言える。GAME 再解析の問題点はむしろ下層の比湿の低さであり、これは後に述べるが降雨の再現性を悪くする大きな原因となっている。

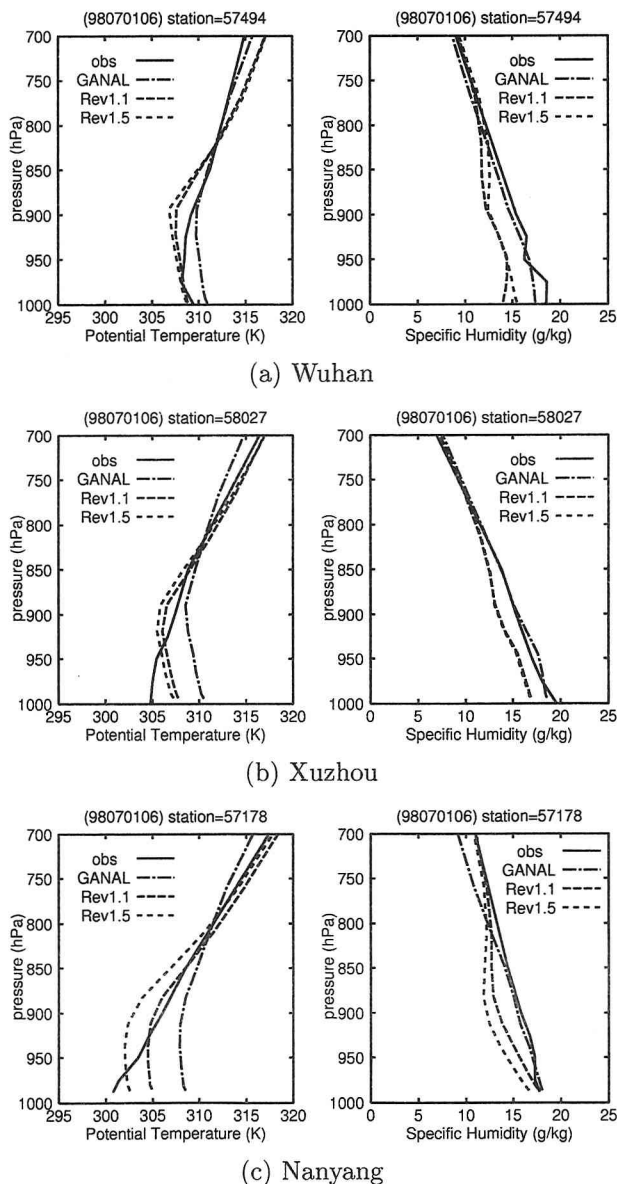


図-3 温位と比湿の鉛直プロファイル(1998年7月1日06Z)。実線：観測値、一点破線：GANAL、破線：GAME 再解析 Ver1.1、点線：GAME 再解析 Ver1.5

## (2) 初期大気場の差の水平分布

図-4は1998年7月1日06Zにおける温位と比湿の差(GAME 再解析から GANAL を差し引いたもの)の水平分布を HUBEX 集中観測域(東経110度~122度、北緯28度~40度)について高度別に示したものである。下層の温位は GANAL の方が GAME 再解析に比べて高いが、700hPa 面では GANAL の方がやや低い。またこの傾向は内陸部で顕著である。比湿に関しては GANAL が観測値に比べて高く、比湿に関しては GAME 再解析が観測値に比べて低いということに注意しなければならない。ここで図-3を改めてみると、GANAL の温位は下層で観測値よりも高く、上層で観測値よりも低くなっており、また比湿は観測値と同程度であることから、GANAL では現実よりも対流が発生しやすい条件になっているといえる。

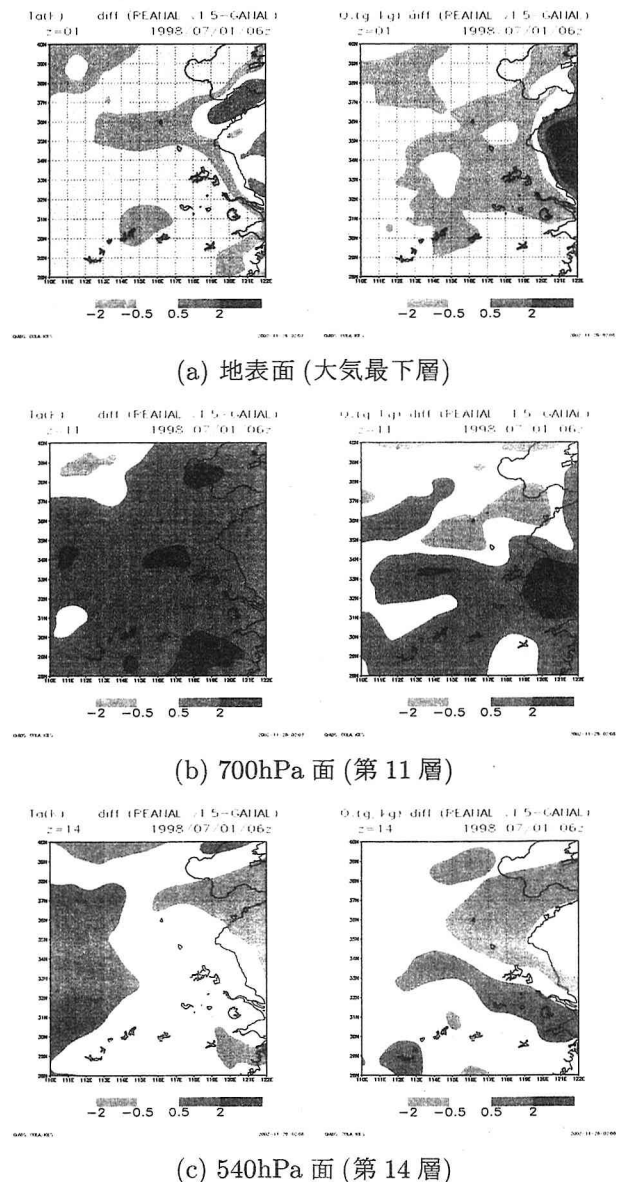
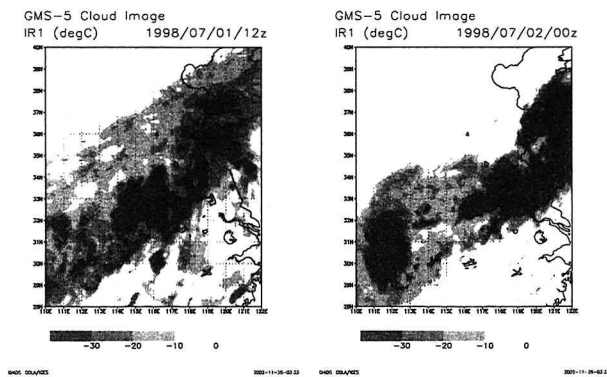


図-4 GANAL と GAME 再解析の差の水平分布(1998年7月1日06Z)。左図：温位差、右図：比湿差

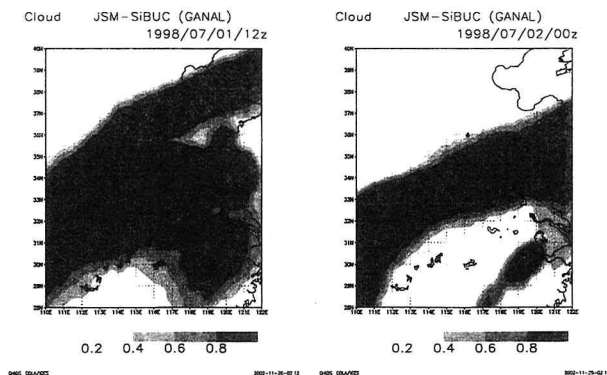
## 6. 計算結果

### (1) 雲域の分布

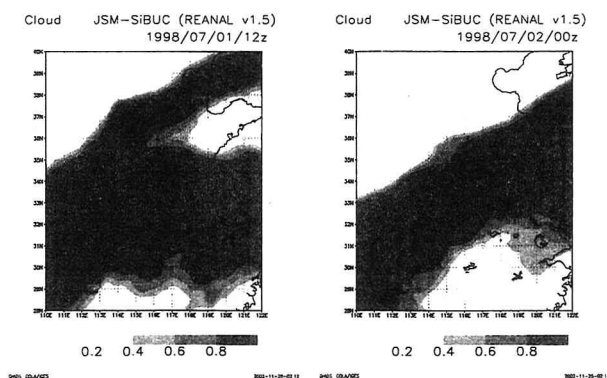
図-5は1998年7月1日12Zと7月2日00Zにおける雲の水平分布を示したものである。GMS画像(a)によると、7月1日12Zの時点で、山東半島の付け根で発達しつつある対流が7月2日00Zでは山東半島上でさらに発達していることが確認できる。一方、GANALを用いた計算(b)では、山東半島付近の雲の様子は比較的良好に再現できているが、GMS画像では見られない対流が長江南部で発生している。また、GAME再解析を用いた計算(c)では、7月1日12Zの時点で山東半島の付け根でまだ雲が発達していない。



(a) GMS 雲画像 (IR1)



(b) 雲カバー率 (GANAL+JSM-SiBUC)



(c) 雲カバー率 (GAME再解析+JSM-SiBUC)

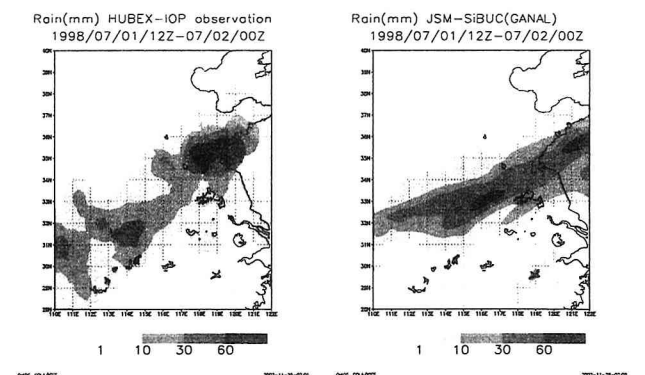
図-5 GMS 雲画像 (IR1) とモデルで計算された雲カバー率の分布 (左図: 98070112Z、右図: 98070200Z)

### (2) 降雨域の分布

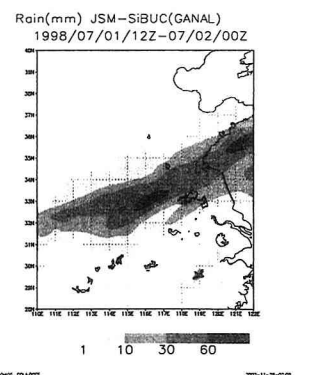
図-6は1998年7月1日12Zから7月2日00Zの12時間積算雨量の観測値とJSM-SiBUCによる計算値の水平分布を示したものである。GANALを用いた計算(b)では観測値(a)に近い雨量強度となっているものの、観測値に比べてやや連続的な分布形状となっている。GAME再解析を用いた計算(c)、(d)では全体的に降雨強度が弱く、60(mm/12hr)以上の強雨域が現れない。

実際には山東半島の付け根付近で十分に発達した渦上擾乱により強い降雨がもたらされているが、GANALでは比湿の精度がよいものの、下層の大気の温度が高すぎるので対流が立ちやすく、山東半島に達する前に淮河流域中央部から比較強い降雨が発生し、広範囲に強雨域が分布している。一方GAME再解析では下層の比湿が小さすぎるため、対流が十分に発達せず、降雨量が小さくなった。

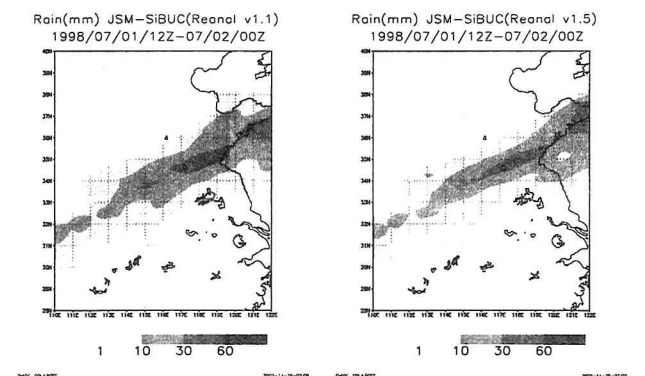
前坂ら(2002)<sup>12)</sup>はドップラーレーダーデータの解析と、NHM(気象研非静力モデル)を用いた数値実験から、「層状降水域内に発生した線状降水システムの形成とそれに伴うメソ $\alpha$ 低気圧の発生には水蒸気が地表付近に偏在し、中層には降水を蒸発させるだけの乾燥空気が存在することが重要である」と指摘していることから、下層の水蒸気の不足はこの事例の再現にとって致命的と言える。



(a) 観測値



(b) GANAL



(c) GAME再解析 Ver1.1 (d) GAME再解析 Ver1.5

図-6 12時間雨量の分布 (98070112Z - 98070200Z)

## 7. 結論

GAME-HUBEX では数値モデリング研究として、領域 4DDA を計画している。そこでは使用するモデルもさることながら、境界条件となる外部データの精度も再現の精度を左右する。本研究では、メソスケール数値予報モデル JSM-SiBUC を GAME-HUBEX 領域に適用し、1998 年 7 月 2 日に北緯 33 度、東経 115 度付近で観測されたメソスケール渦状擾乱の再現計算を実施し、藤吉ら (2002) が報告している GAME 再解析データの問題点について検討した。その結果、以下のことが判明した。

- (a) GANAL データは下層 (900hPa 以下) において温位が観測値に比べて 3~7(K) 程度高く、また上層 700hPa 付近で低くなっており、現実よりも対流が発生しやすい条件となっている。
- (b) GAME 再解析データは下層 (900hPa 以下) において比湿が観測値に比べて 3(g/kg) 程度小さい。
- (c) GANAL を用いた計算では下層の気温が高すぎるので対流が立ちやすく、山東半島に達する前に淮河流域中央部から比較的強い降雨が発生し、広範囲に強雨域が分布する。
- (d) GAME 再解析を用いた計算では下層の比湿が小さすぎるため、対流が十分に発達せず、降雨量が小さくなる。

なお、本研究で得られた結論は、対象期間 (1998 年 7 月 1 日 06Z~7 月 2 日 18Z) に発生した渦状擾乱の再現性に絞った検討から得られたものである。その他の期間についての精度評価は今後進めていく予定である。

**謝辞:** 本研究で使用した GANAL データ並びに SST データは、気象庁気象研究所の山崎信雄氏から提供を受けたものである。また同氏からはデータ解析結果について貴重なコメントをいただきました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 武田喬男・坪木和久: モンスーンアジア地域のエネルギー・水循環のプロセス解明-亜熱帯・温帯モンスーン地域観測研究計画 (中国淮河流域観測計画), *GAME Publication*, No.1, 1996.

- 2) Takeda, T. : Preliminary Research Report on Japanese GAME/HUBEX, *GAME Publication*, No.9, 1998.
- 3) 田中 賢治・中村 忠則・山本 卓生・椎葉 充晴・池淵 周一: SiBUC-JSM88 結合モデルのテストラン, 京都大学防災研究所年報, 第 41 号 B-2, pp.135-154, 1998.
- 4) 谷田貝亜紀代・山崎信雄・釜堀弘隆・高橋清利・植田宏昭・青梨和正・隈健一・竹内義明・多田英夫: GAME 再解析について, 水文・水資源学会誌, Vol.13, No.6, pp.486-493, 2000.
- 5) Kenji Tanaka, Kazuhisa Tsuboki, Michiharu Shiiba and Shuichi Ikebuchi: Numerical simulation of JSM-SiBUC initialized and externally forced by GAME reanalysis data, *Proc. of International GAME/HUBEX Workshop Sapporo 2000*, pp.39-41, 2000.
- 6) 藤吉康志・山崎正紀・中村晃三・坪木和久・川島正行・斎藤和雄・吉崎正憲: GAME/HUBEX98 で観測された梅雨前線のメソスケール渦状擾乱の数値実験 (その 1), 気象学会 2002 年春季大会予稿集, pp.107, 2002.
- 7) Takeshi Maesaka and Hiroshi Uyeda: Structure of Precipitation Systems Derived from Dual-Doppler Radar Analysis in Comparison with Water Vapor Budget during GAME/HUBEX IOP, *Proc. of the Workshop on Meso-scale Systems in Meiyu/Baiu Front and Hydrological Cycle*, pp.34-37, 1999.
- 8) Segami, A., K.Kurihara, H. Nakamura, M. Ueno, I. Takano and Y. Tatsumi: Operational Mesoscale Weather Prediction with Japan Spectral Model, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol.67, pp.907-924, 1989.
- 9) 田中賢治・池淵周一: 都市域・水体をも考慮した蒸発散モデルの構築とその琵琶湖流域への適用, 京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-2, pp.299-313, 1994.
- 10) 田中賢治・中北英一・池淵周一: 琵琶湖プロジェクトの陸面過程モデリング, 土木学会水工論文集, 第 42 巻, pp.79-84, 1998.
- 11) 田中賢治・中村忠則・椎葉充晴・池淵周一: 地表面温度情報と Kalman Filter を用いた土壌水分データ同化, 土木学会水工学論文集, 第 45 巻, pp.271-276, 2001.
- 12) 前坂剛・上田博・加藤輝之・吉崎正憲: GAME/HUBEX'98 で観測された線状降水システムの形成過程とメソ $\alpha$ 低気圧の発生, 気象学会 2002 年春季大会予稿集, pp.108, 2002.

(2002. 9. 30 受付)