

# GAME-HUBEX で観測された梅雨前線沿いの降水システム

中村晃三 (地球環境フロンティア研究センター、東大海洋研)  
e-mail: nakamura@ori.u-tokyo.ac.jp

## 1. はじめに

地球の水循環の特徴の1つは、蒸発が時間・空間的に大きな規模(長時間もしくは広範囲)で少しずつ起こるのに対して、降水は時間・空間的に集中して起こることである。この集中化の傾向は、地球温暖化に伴ってさらに進むと考える研究者も多いが、その真偽は未だ明らかではない。また、このような降水の集中化は、メソスケール擾乱の発達に伴って起こるが、その発達過程の理解は、豪雨の生成メカニズムの理解にとっても重要な問題である。このときの発達に関して、どのような物理過程が重要かという問題に関しては、下層では、大規模場の収束、水蒸気輸送、中層では北からの冷たい乾燥空気の流入、そして上層ではジェットに伴って移動してくる擾乱の重要性が指摘され、さらに、地形と関係したメソスケール擾乱の卵や地表面から供給される顕熱と水蒸気、そして凝結によって解放される潜熱の影響についても指摘されている

本研究では、1998年に中国で行われたGAME-HUBEXで観測された降水系のシミュレーションを行い、どのようなこれらの過程がどのようにメソスケール擾乱の発達に寄与しているかを調べた。

## 2. 観測された降雨システム

本研究で対象とした降雨システムは、HUBEX[1]の特別観測期間中の1998年7月1~2日に、Fuyang(阜陽)のレーダー・サイト(115.83E, 32.93N)付近で観測されたものである。これはHUBEXで観測された激しい降雨のうちの1つで多くの研究(例えばXu and Xu[2], Uyeda[3]など)が行われている。

この期間中、梅雨前線は西南西から東北東の方向に沿って位置し(天気図は省略)、その前線に沿って、いくつかのメソスケールの降雨システムが次々に移動していった。図1はヨーロッパ中期予報センターで解析された日降水量で、带状の降雨域が梅雨前線に対応し、その降雨域の中にFuyangレーダー(115.83E, 32.93N)は位置している。レーダーで得られた降雨量分布や衛星画像によるとこの梅雨前線沿いに2つの降水システム(衛星画像では低温域)が西南西から東北東に発達しながら移動したことがわかり、このように複数の降雨システムが続いてできたことが大きな降水量をもたらしたことに関係したと考えられ、そのような継続的な発達を再現し、そのメカニズムを調べることが本研究の目的である。

## 3. 数値モデルと初期・境界条件

利用したモデルは、気象研究所非静力モデル(NHM)で、13.5kmの格子を用い、一辺2000km程度の領域を覆い(図1に計算領域を示した)、前線帯とそれにそったメソスケール擾乱の生成・発達を再現することを目指した。格子間隔が粗いので、積雲

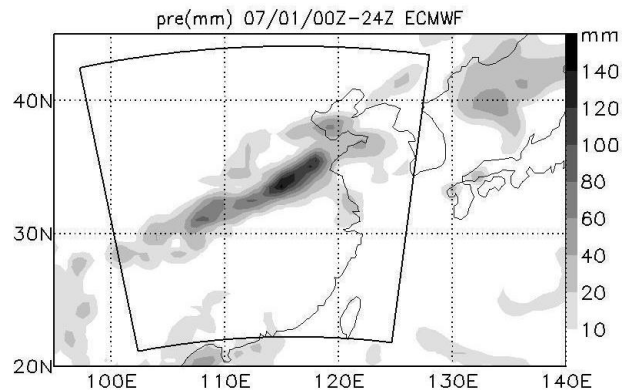


図1:ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)が解析した7月1日の日降水量分布。00UTC(世界標準時)は中国標準時(北京時間)では8時。扇形は数値モデルの計算領域。その中央やや右よりにFuyangレーダーの地点がある。

対流の効果は対流調節スキームを使って表した。この中で格子間隔が5kmと1.5kmのモデルを使って小規模な対流を直接表すシミュレーションを行っているが、本報告では一番大きな格子での結果のみを議論する。

初期値・境界値のデータには、GAME再解析データとECMWF解析データを用いた。どちらも、空間解像度は0.5度ごと、時間間隔は6時間ごとである。7月1日14時(中国標準時、世界標準時では06UTC)を初期値とし、6時間間隔のデータを内挿して作った境界値を用い、2日08時(00UTC)までの18時間の積分を行った。どちらのデータでも、顕著な亜熱帯高気圧が日本の南に解析され、中国南部への南風が大量の水蒸気を梅雨前線帯へ運んでいた。朝鮮半島の付近には東へ移動中の低気圧があって、その通過後(西側)には北よりの風が吹き、前線帯の収束に寄与していた。2つのデータの間では、中国南部での下層の気温に顕著な差が解析され、GAME再解析データでは、ECMWFデータより3度程度暖かい結果が得られていた。

## 4. 結果と議論

どちらのデータを使った計算結果でも、計算を始めてから2~3時間後にFuyangレーダー付近で対流雲が発達した。その後、GAME再解析データを使った結果では、対流は弱まりながら北東へ移動し、またそこから発散する気流と南からの気流の収束域(前線に対応する場所よりも南側にできる)にできる対流も流れに沿って東へ移動したため、このあたりの前線付近では、降雨はとまってしまった。

これに対して、ECMWFデータを使った結果では、初期の対流雲が東北東へ移動すると同時に、上流からいくつかの対流システムが発達しながらつぎつぎと前線に沿って移動してくるため、多くの降水が再

現された。GAME 再解析データを使った結果の対流の移動速度は、平均的な風速よりほんの少し小さいだけで、下層風はその移動速度に対して相対的には北風になったのに対し、ECMWF データを使った結果の対流の移動速度は、風速よりもはるかに遅く、相対風は南から流入し、対流直下にできた冷氣プールの上に湿った南風が乗りあがることで次々と対流が発達したためにこのような違いが生じたと考えられる。

計算開始から 18 時間の間の積算降水量の分布を図 2 に示す。図 2 左の GAME 再解析データを使った結果では降水量の多い領域は海岸線にあり、その値もあまり多くはなかった。一方、中央の ECMWF データを使った結果では、線状の降雨域が作られ、最大降水量も観測で得られた 140mm 程度にまでなった。(図 2 右は、下層の湿度を変えた結果で後に議論する)。

このようなメソスケール対流システムは、しばしば降雨領域の右前方に大きな渦度領域を伴うといわれている。この降雨と渦度の関係を見ると、2 つのどちらの場合も最初の降雨システムは、09UTC 頃に東経 115 度付近に現れ。それと関係した渦度はどちらもかなり大きく、特に、GAME 再解析データを使った結果では、およそ  $7 \times 10^{-4} [s^{-1}]$  程度にもなった。この降雨システムは、およそ時速 100km の速さで、渦度の大きな領域とともに、東へ移動した。

これに対して、ECMWF データを使った結果では、渦度の発達はややゆっくりで、降雨が持続し、時間が経つにしたがって、広い範囲で強い降雨と大きな正渦度が見られるようになった。大きな渦度が対流が次々と発達するのに重要である一方、対流が解放する潜熱が渦度の生成に寄与しているようにみえる。

何がこのような違いをもたらしたかを調べるため、湿度を変えた 2 つの実験を行った。

このモデルでは、地表からの水蒸気(潜熱)輸送は地表温度での飽和水蒸気量があったとした場合の値に湿度( $w$ )を掛けて表している。前に示した実験では、海上では  $w=1.0$ 、陸上では  $w=0.1$  を用いたが、実験 A として、全ての地表面で  $w=1.0$  とした実験を行った。このとき、地表面を湿らせたため、蒸発が活発になるが、その分、温度変化は小さくなるため、結果として、地表面の影響は大きくないことがわかった。

一方、実験 B として、下層 2km までの高度で、相対湿度を ECMWF の場合の値になるように水蒸気を増やした実験を行った。その結果は、図 2 右に示されるように、18 時間積算降水量の分布では広い範囲で大きめの降水量になり、領域全体の総降水量では ECMWF データを使った場合よりも多くなったが、地点ごとの値では ECMWF データを使った場合ほど大きな値にはならなかった。また、渦度の生成も十分ではなく、降水システムの継続的な発達は見られなかった。持続的な対流の発達が起こるかどうかは、対流内に生成する下降流が地表面にぶつかって広がる流れと環境の風とのバランスで決まる(例えば、小倉<sup>[4]</sup>)と考えられているので、ちょうど良い環境風ができていることが継続的な降雨システムの発達に重要なようである。

## 5. おわりに

梅雨前線上に生成したあるメソスケールの降雨システムのシミュレーション結果について、擾乱と下層の湿度の関係について示した。今後、上層擾乱や地形効果を調べる必要がある。メソスケールの降水システムがどのような過程で発達するかは、豪雨メカニズムの解明の観点からのみでなく、全球水循環の観点からも重要な問題であり、今後も、発達しつつある数値モデルを十分に使って研究を進めていきたい。

## 引用文献

- [1] <http://www.hyarc.nagoya-u.ac.jp/game/phase-1/game-hubex.html> (GAME/HUBEX ホームページ)
- [2] Xu, S. and H. Xu, 1999: Evolution of meso- $\beta$ scale precipitation systems in Meiyu front in 1998. Proc. of Workshop on Meso-scale Systems in Meiyu/Baiu front and Hydrological Cycle. Xi'an, China, 56-59.
- [3] Uyeda, 2000: Various aspects to solve the problems on water circulation in and around the precipitation systems during the GAME/HUBEX 98 IOP. Proc. of International GAME-HUBEX Workshop, Sapporo 2000, Sapporo, Japan, 45-48.
- [4] 小倉義光, 1997, メソ気象の基礎理論, 東京大学出版会, 215pp.

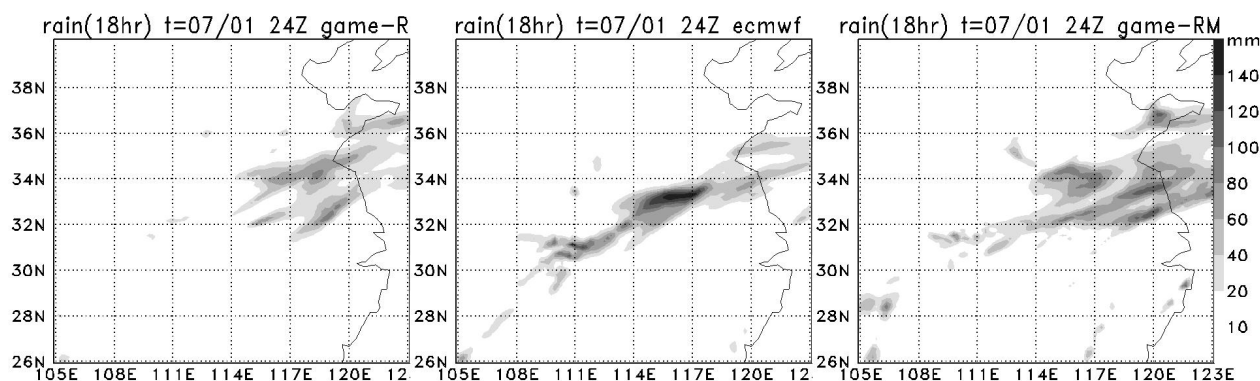


図 2 : モデルで計算された 18 時間積算雨量の空間分布。(左) GAME 再解析データを初期値・境界値に使った結果。(中央) ECMWF 解析データを初期値・境界値に使った結果。(右) GAME 再解析データを用い下層の湿度を増やした場合の結果。