

「東アジアにおけるメソ対流系と豪雨に関する 国際会議」の出席報告*

吉崎正憲^{*1}・上田博^{*2}・藤吉康志^{*3}・渡邊明^{*4}
 坪木和久^{*5}・小司禎教^{*6}・加藤輝之^{*7}・二宮洸三^{*8}
 大野裕一^{*9}・茂木耕作^{*10}・前坂剛^{*11}・瀬古弘^{*12}

1. はじめに

2000年4月24日～26日に、韓国ソウルの韓国気象庁(KMA)において、韓国気象学会主催による「東アジアにおけるメソ対流系(MCS)と豪雨に関する国際会議」が開催された。日本から著者を含め15名、またアメリカ、中国、台湾、香港、オーストラリアからも多く参加して、百名規模の会議となった(第1図)。会議は1つの招待講演と5つのセッション(1. モンスーン前線の構造と力学, 2. MCSの構造と力学, 3. 豪雨のプロセスとメカニズム, 4. MCSと豪雨の発達に対する地形効果, 5. MCSや豪雨のモデリングと予測)からなり、3日間8時30分から5時30分までみっちり行われた。また、夜はレセプション、フォーラム、バンケットとあってかなり密なスケジュールで



第1図 会議参加者の記念写真。

あった。

以下に、招待講演の概要、各セッションの概要、夜のフォーラムで議論された将来の東アジアにおける観測計画、参加者の感想を分担してまとめた。本文では敬称は省略した。また頻出する用語は適宜略字を用い説明を文末にまとめた。(吉崎正憲)

2. 招待講演

会議の始めに Kuo (NCAR) が、「メソスケール数値天気予測」(Mesoscale Numerical Weather Prediction) というテーマで招待講演を行った。貴重なレビューであるので、少々長いが概略を紹介する。

『1980年代には、メソスケール数値モデル(MNM)はその水平格子間隔が20-100 kmと粗く静水圧近似を用いていた。研究が主であって、数値天気予測(NWP)に使われることは少なかった。ところが1990年代になると、MNMに大きな変化が起きた。一つに非静水圧力学の導入であり、積雲対流まで取り扱うようになった。二つに、(中央で全て行うのではなく)NWPの分散化である。NWPを各地で行うことが可能になったのは、(1)高速計算できるワークステーションの普及、(2)ペンシルバニア州立大学/NCARメソモデル第5

* Report on "International Conference on Mesoscale Convective Systems and Heavy Rain in East Asia" (Seoul, Korea) on April 24-26, 2000.

*1 Masanori Yoshizaki, 気象研究所予報研究部。

*2 Hiroshi Uyeda, 北海道大学大学院理学研究科。

*3 Yasushi Fujiyoshi, 北海道大学低温科学研究所。

*4 Akira Watanabe, 福島大学教育学部。

*5 Kazuhisa Tsuboki, 名古屋大学大気水圏科学研究所。

*6 Yoshinori Shoji, 気象研究所予報研究部。

*7 Teruyuki Kato, 気象研究所予報研究部。

*8 Kozo Ninomiya, 東京大学気候システム研究センター。

*9 Yuichi Ohno, 通信総合研究所。

*10 Kosaku Moteki, 北海道大学大学院理学研究科。

*11 Takeshi Maesaka, 北海道大学大学院理学研究科。

*12 Hiromu Seko, 気象研究所予報研究部。

版 (MM5) など MNM の公開, (3) NCEP の解析・予報データをリアルタイムで取り込めるようになったこと, などのおかげである。現在アメリカでは18箇所以上, 外国ではイタリア, メキシコ, ペルー, 韓国, 台湾, 香港が MM5 で NWP を行っている。

MM5 に関して, ワシントン大学の取り組みとユタ州中西部を対象にした NCAR が開発している 1 km 水平格子の MNM について主に紹介した。後者の場合, 予報対象領域は Salt Lake City の近くであり, そこには塩がむき出しの土地 (Playas という) があつたりする。周囲の砂漠や緑草地とは異なる地表面特性を持つために, 海陸風と同様の日変化をする salt-land circulation が発現する。そのような循環をもっともらしく再現するには水平格子が 1 km のような細かいモデルを用いることが必要である。

高分解能モデルの精度評価研究から以下のような知見が得られた。① 高分解能 MNM は地形や海陸分布による局地循環を予測するに十分な能力を持つ。② アメリカ北西のワシントン州・オレゴン州の山岳域における寒候期の降水について MM5 の予報結果を調べると, 格子間隔を 36 km から 4 km にすると予報精度は大きく向上したが, 12 km から 4 km にしても豪雨以外では十分な向上は見られなかった。また, (山などの) 障壁の風上側で降水を過大予測, 風下側で過小予測する傾向があつた。更なる向上のためには微物理過程スキームの改良が必要である。③ モデル精度は初期場, 境界条件を与える大規模場モデルの結果に大きく影響される。④ アンサンブル予報がしばしば個々の予報の精度を大きく上回った。

今後計算機資源の発展によりモデルの分解能は上がってゆくだろう。しかし, 単に分解能を上げるだけで NWP の精度は上がることはないと思われる。さらに向上させるためには, (a) 物理過程 (例えば雲物理, 大気境界層, 大気放射, 地表面物理, 土地利用, 土壌水分の扱い) の改良, (b) 観測 (ウィンドプロファイラー, GPS, 地上観測, 衛星による放射輝度, 水蒸気風, GPS 掩蔽観測, 衛星風ベクトル, ドップラーレーダー) データの 3次元・4次元データ同化による有効利用, (c) メソスケールアンサンブル予報, (d) メソスケール予報のルーチ的な検証, などが重要となる。』

以上のように Kuo の講演は簡潔にまとめてあつて, パワーポイントを用いた説明は非常に印象的であつた。以下の各セッションの報告からもわかるように,



第2図 李氏朝鮮の世宗が1441年に領内に展開した測雨計による計測風景 (韓国気象学会誌創立20周年記念特集号 (1983年4月30日)表紙から転載. Lee 教授(ソウル大学)の好意による.). 1441年はヨーロッパ・ルネッサンスが始まった頃であり, この時期に東アジアで雨を量的に測るという科学的発想が生まれたのは驚きである。

東アジアの多くの国が MM5 を用いて研究・予報するようになった。今や MM5 は東アジアを席卷している。Kuo の講演にはそうした自信が満ちあふれていた。

(吉崎正憲・小司禎敬)

3. 各セッションの報告

a. セッション1「モンスーン前線の構造と力学」

ここでは, 11件 (日本 (6件), 韓国 (3件), 中国 (2件うち1件キャンセル), 台湾 (1件)) の発表があつた。1件は, 地衡風調節と前線の形成に関する理論的考察であつたが, 残念ながら良く理解できなかった。4件は, 梅雨前線帯の強雨域近傍に存在する非地衡風と下層ジェットに関する発表であり, 亜熱帯高気圧やメソ高気圧・低気圧による加速が, 強い降雨帯への水蒸気輸送と強い上昇流をもたらす気流の収束に重要な役割を果たしていることが強調された。2件は, HUBEX 期間中に行われた複数のドップラーレーダー観測を基に, メソ $\gamma\sim\beta$ スケールの擾乱の3次元構造と水蒸気の輸送過程を議論した内容であつた。2件は, GPS を用

いて、梅雨前線帯に発生したメソ擾乱周辺の水蒸気の水平及び鉛直分布の時間変化を示した最新の研究内容であった。これとは対照的に、残り2件は、韓国での50年或いは、200年間の降水量の変動について調べたものであり、19世紀は降水量が年々減少傾向にあったが20世紀は逆に増加傾向にあること、また19世紀には6年あるいは3-4年変動が卓越していたが20世紀には5年あるいは2.5年変動が卓越していること等々、想像力を掻き立てる内容であった。韓国には、測雨台が昔から整備され、会場の韓国気象庁には測雨計 (Chuckwoogee; 第2図) のレプリカが置いてあった。気象学の根幹は、やはり地道な観測にあるといえよう。

懇親会の席上、韓国気象学会長 Lee 教授 (ソウル大学) から「アジア気象学会」構想が述べられた。この構想の実現可能性はともかくとして、各国の「気象学会が主催」するワークショップを持ち回りで開催する機会を持つことは、有意義であろう。(藤吉康志)

b. セッション2「MCSの構造と力学」

セッションの発表前半10件のうち、半分以上がデュアルドップラーレーダー観測結果の紹介であった。Jorgensen (NOAA/NSSL) の航空機搭載ドップラーレーダーを用いたオクラホマにおけるメソ降水システムの3次元構造、上田 (北海道大学大学院理学研究科) ほかの中国淮河流域における対流雲の観測、若月・武田 (名古屋大学大気水圏科学研究所) の九州南部の梅雨前線帯に停滞したメソ α スケールのクラウドクラスターの観測、Liu (中国文化大学) の SCSMEX における鉛直シアに平行な MCS の構造、茂木 (北海道大学大学院理学研究科) ほかによる X-BAIU-99 期間中に観測されたレインバンドの解析結果などの紹介があった。他にも台湾におけるドップラーレーダー観測結果や観測計画の紹介があった。また、GMS の赤外データを用いた MCS の特性に関する研究や韓国における記録的な豪雨の解析結果の紹介があった。

観測に関する講演を通して東アジアにおいてもドップラーレーダー観測が定着したことが印象的であった。また、来年以降にも MCS の観測計画が各国、各地域で立てられており、ここ数年でさらにデータの蓄積が図られる事が明らかになった。中国と台湾の研究者が熱心に研究成果の発表や情報交換をしていたのが印象的であった。(上田 博)

セッション後半では、まず4件は梅雨期に各地 (韓国、中国、香港、台湾) で見られた降水事例について、

ドップラーレーダーなどによる観測と MM5 による数値実験の結果の紹介であった。ここで対象とした降水事例は、例えば Lee (ソウル大学) ほかでは (1996年7月26-27日) 朝鮮半島中西部に36時間で500 mm 以上も降ったものであり、こうした豪雨およびそれをもたらした MCS を MM5 がどの程度再現するかに関心があった。概して MM5 は MCS をもっともらしく再現していたが、まだ満足ゆくものではないという印象であった。しかしデータ同化などの手法が取り込まれてあって、大いなるポテンシャルを感じた。ほかに、数値モデルで再現した成熟期のスコールラインに対して前面と後面でどの程度エントレインメントがあるか気塊を追跡した研究、通信総合研究所ウィンドプロファイラーによる風の連続観測から得られた前線や台風などの動態、低気圧に伴う圏界面の貫入と成層圏気塊の侵入に関する VHF レーダーと NCEP 再解析データによる解析、オーストラリアで見られた切離低気圧の統計解析とその数値実験、などの紹介があった。

(吉崎正憲・小司禎教)

c. セッション3「豪雨のプロセスとメカニズム」

このセッションでは11題の報告が準備されていたが1題が欠席で報告されず10題の報告があった。Ni (中国気象科学研究所) による中国と日本の1998年から2002年までの観測計画プロジェクトの紹介、Kang (KMA) ほかによる冬季モンスーンによる降雪機構の MM5 を用いたシミュレーション、Leslie (ニューサウスウェールズ大学) ほかの独自で開発したモデル (HIRES) や Lam (香港気象局) による RSM を用いた台風による豪雨のシミュレーションを除けば、他6題は梅雨前線等に関連した豪雨の観測・解析・シミュレーションの報告であった。

報告の多くは X バンドや L バンドのドップラーレーダー、GPS、さらに TRMM の降雨やマイクロ波のデータなど最新の観測機器、技術によるデータが解析に取り入れられている。さらに観測事実を診断、検証するために気象研究所が開発した非静水圧数値モデル (2題) や NCAR が開発した MM5 (2題) などのモデルの利用されている報告が6題あり、豪雨の研究では観測→解析→モデルによる検証という方法が確立しつつある感じがした。特に加藤 (気象研究所) の報告は観測においてもシミュレーションにおいても400 km にも及ぶライン状降雨帯を明確に捉え、シミュレーションによって下層ジェット役割や移流気塊に

よる対流発達の違い等を解明するなど先端的な研究と評される。また、Zhao (中国科学院) ほかの報告では、朝鮮半島付近の豪雨解析の診断をするために水平格子間隔 $1^\circ \times 1^\circ$ の広領域モデルを用い、梅雨期の前線帯には中国、韓国、日本でそれぞれ水平温度傾度などに異なった特徴があることを示すなど興味ある報告がなされた。また、筆者が報告した1998年8月末の豪雨の5日間で1256 mm、1日で607 mmの降水量の記録は今回の報告の中でもチャンピオンデータであって、改めて発生した豪雨の強さを実感することができた。

全体的に観測技術がどんどん進展する中、その多くはこれまでの理論の実証にとどまっており、豪雨の発生に水蒸気移流や地形効果の重要性などが指摘されるだけで、新しい事実や理論がやや乏しい感じがした。また、国際会議と銘打ってなされた会議であるのに、インドシナ半島諸国の参加は皆無であった。熱帯は多くの豪雨が発生する場所であると同時に水蒸気源でもあるわけで、こうした国々の研究者の参加を考慮した会議の開催を望みたい。(渡邊 明)

d. セッション4「MCSと豪雨の発達に対する地形効果」

ここではタイトルにあるように地形効果による降水の発達と強化についての発表が行われた。このセッションでは6件の発表があったが、実は地形と豪雨についてはこのセッション以外でもいくつかの発表があり、豪雨と地形の関係が注目されていたことが分かる。6件の発表のうち2件は長崎半島の風下にてできる降水バンドに関する話題であり、吉崎(気象研究所)ほかはそのモデリングを中心に、耿驃(地球フロンティア研究システム)ほかは1997年の特別観測のドップラーレーダーによる解析について発表した。その他の3件は台湾からで、台湾の地形によってMCSが影響を受けて降水が強化されるというもので、台湾の脊梁山脈に台風の流れが当たって豪雨が起るというもの、そして台湾の地形から離れた海上で降水帯が形成されるメカニズムについての観測的研究が発表された。残る1件は韓国南部の孤立峰による降水の形成についてで、その風上での形成と、ハイドロリックジャンプによる風下での降水の発生についてであった。全般的に降水事例を観測してモデルを使ってそのメカニズムを調べるといったのが多かったような印象を受け、モデリングが一般的になってきたように思われた。(坪木和久)

e. セッション5「MCSや豪雨のモデリングと予測」

13題の発表があり、その内容は数値予報モデルにおける最適なスキームの選択、データ同化およびその手法、再解析、水蒸気場の影響などであった。その中で一番多かった発表は30 km以下の高分解能モデルにおける最適な降水スキームの選択に対する研究で、昨年6月からMM5を水平分解能30 kmで現業運用しているKMAのLeeは複数の対流のパラメタリゼーションと雲物理過程の相性を統計的に調べた結果を紹介した。また、Abbs(CSIRO)は水平分解能7 kmのモデルで対流のパラメタリゼーションの有無について、Yang(中国文化大学)は水平分解能5 kmのMM5で雲物理過程を取り替えて、その影響について調べた結果を紹介した。Tao(NASA)は水平分解能20 kmのMM5で降水過程以外にも地表面過程、大気放射過程、山岳の有無における豪雨に対する影響について報告した。Wee(ソウル大学)は対流のパラメタリゼーションにおける新しいトリガー関数について、Yuan(南京大学)は境界条件に関するアジョイントコードについて紹介した。Oh(韓国気象研究所)は韓国で行っている客観解析の成績についてNCEPの再解析データと比較した結果について、Zongshen(中国気象センター)はHUBEXの再解析について報告した。Park(メリーランド大学)は水平分解能1 kmのモデルを用いて、水蒸気場の豪雨に与える影響について報告した。データ同化については、Chang(NASA)が雷データを、Lim(ヨンセイ大学)がドップラーレーダーのデータを同化した結果を示した。最後に、Choi(韓国気象研究所)がMM5を27 km, 9 km, 3 kmモデルとワンウェイにネストし、済州島を対象とした局地気象モデルを16台のパソコンを接続することにより実行できる安価なシステムの紹介を行った。

同様の会議が2年前に名古屋大学が主催して日本で行われ、筆者も参加した。その会議では、台湾、中国、韓国に比べ日本はかなり進んでいた印象であったが、今回の会議では、中国を除き、台湾、韓国、香港はかなり日本のレベルに近づいてきた印象を持った。それも、研究の道具としてMM5という数値モデルをNCARのKuoグループから手に入れたことにあると思われる。MM5は無料で利用者に配布を行っており、アメリカを始め、多くの研究機関で用いられている現状を実感した。ただ、研究内容は道具を手に入れて、再現実験を始めた段階であり、内容的には今ひとつと

いう感があった。今までは、台湾、韓国、香港における豪雨に関する気象庁の現業用モデルを用いた研究が中心であったのが、アメリカのものに置き換えられたことは何か悲しい気がした。(加藤輝之)

4. 夜のフォーラム「東アジアにおける将来の観測計画」

近年東アジアでMCSに関する充実した観測が求められている。このような状況を反映して、2001年・2002年の東シナ海での観測計画を立ち上げようとしている韓国の音頭で、4月25日の夕食後に「東アジアにおける将来の観測計画」が行われた。日本からは吉崎(気象研究所)は戦略的基礎研究による観測計画、藤吉(北海道大学低温科学研究研)はロシア機を用いた航空機観測、上田(北海道大学大学院理学研究科)は観測フロンティアによる研究計画について紹介した。また、Ni(中国気象科学研究院)は長江流域の豪雨観測計画の紹介を行い、Oh(韓国気象研究所)は済州島の南南西約100 kmの海上に建設予定の気象・海洋観測プラットフォームを含む東シナ海での観測計画を紹介した。韓国では、済州島に移動型のドップラーレーダーを持ち込み既存のドップラーレーダーと組み合わせた観測も計画しており、順調に予算が認められると密な観測網を構築できることになる。さらに、Jou(台湾大学)が台湾の観測計画を紹介してTao(NASA)はデータ公開に関してコメントした。データの公開については、韓国や台湾の研究者は早い時期から積極的であったが、中国は慎重であり東シナ海における共同観測でもその態度を崩さなかった。しかし、2001年以降CEOPとも連携する形で東シナ海周辺においてMCSに関する集中観測が行われることは間違いなく、各国が協力しやすい形で国際協力のフレームワーク作りには日本が協力することが必要である。(上田 博)

5. 参加者の感想

東アジアのメソ降水系と豪雨について多様な研究発表がなされた事は慶ばしい。参加者はそれぞれ今後の研究に役立つ情報やヒントを得ることができた。

優れた発表もあったが、気がかりな点もある。第1に、大きな観測プロジェクトのデータが未だ総合的に活用されず断片的な解析に終わりがちである。第2にメソモデル実験の結果と観測事実との対比が不十分で“looks like”の段階にとどまりがちである。第3に今回も観測プロジェクト事後報告や新事業計画報告があ

り、研究の過程手段としての事業が主目的に転化しがちな傾向が見られる。

まだトップグループとの差は縮んでいない。近年東アジアでも大きな観測プロジェクトが実行され、メソモデル実験も盛んになった。今後は自転車操業に陥らず、問題を深く掘り下げる研究が大切だ。

東アジアの多くの国がMM5を用いて研究・予報するようになり、MM5が東アジアを席卷している事実には強い印象を受けた参加者が多い。言うまでもないが、MM5と充実したKuoの基調講演の背景には、Anthes, Kuo等の研究グループの4分の1世紀にわたる、堅実なモデル開発、多くの数値予報実験、世界各国との研究交流、さらにモデル公開の実績がある。あらためて、継続する堅実な研究の大切さを痛感した。

(二宮洸三)

プログラムを1週間前まで知らせてこないなど、出かける前には主催者の会議運営を少々心配していたが、蓋を開ければ立派な会議場で、発表件数も適度で、質疑や議論も活発で、韓国観光旅行の日程を変更して参加した甲斐があった。私はウィンドプロファイラーによる前線、台風などの観測例を紹介したが、香港などプロファイラを解析に取り入れた発表がいくつかあり、アジアでもプロファイラのメソ気象研究への利用は始まりつつある。数年後にこうした会議があれば、プロファイラの風をデータ同化したメソ数値予報の研究発表が数多く見られることであろう。(大野裕一)

この会議の出席者には学生が少なかったせいもあるが、自分以外の研究者の発表及び議論がとてもレベルの高いものとして感じられ、内容的にも自身の研究にとって非常に有意義なものであった。研究内容だけではなく台湾や中国などの研究者の精神的なハングリーさにも深い感銘を受けた。なかなか思うようには整わない環境のなかでもより優れた成果をあげていくためには、そのような精神を見習っていかなければならないと感じた。研究発表の合間に設けられたコーヒープレイクでは、発表中に厳しい表情で議論を交わしていた研究者達の和やかな雰囲気や肩を叩き合う光景が印象的であった。中でもあの有名なドクターが大の甘党でチョコチップクッキーを大喜びでほおぼる姿は、あまりに微笑ましくとても親しみを感じた。ポケットにもっていたキャンディーを僕が差し出すと、それも大喜びで受け取ってくれ、このキャンディーは韓国でキ

ムチより思い出深いものになった。楽しく、嬉しくそして実のある充実した韓国出張であった。(茂木耕作)

セッション1と2についての感想を述べてみたい。セッション1では、梅雨前線周辺の非地衡風循環、総観スケールの下層ジェットとメソスケールの下層ジェットなどの力学構造、それに伴う水蒸気輸送の解析が主であった。しかし、これらを統一的に議論した発表はなく、今後、これらスケール間の相互作用の理解が必要であると思った。セッション2では、東アジアの様々な場所においてのデュアルドップラーレーダー観測結果の紹介が主であった。異なる地域において、MCSの発生・発達・維持に共通点や相違点が解析され示されたのは興味深かった。(前坂 剛)

これまでに何度か国際会議に参加する機会を得ているのだが、それらに比べて今回の会議はとてよかった。東アジアの降水現象という絞ったテーマについて、3日間という長い時間をかけて海外の研究者と議論する事ができた。他の国際会議、たとえばアメリカ気象学会の年会では、もちろん気象学の最新の成果や情報が多いのだが、梅雨などの東アジアのメソスケール現象を扱った発表は数えるほどしかなく、同じ問題意識を持った研究者も少なかった。また今回の国際会議では研究発表だけでなく、観測プロジェクトの情報交換も行われた。私のような1研究者でも、他の参加国の研究者と情報交換を通じて、日本には入手できなかったデータを手に入れる事ができた。東アジア各国の研究者が集える国際会議は非常に重要であり有用であると実感した。できれば、今回のような国際会議を少なくとも数年に1度は開催してほしいと思った。

(瀬古 弘)

謝 辞

小司、加藤、瀬古、茂木の4名がこの会議に出席するにあたり、科学技術振興事業団・戦略的基礎研究からサポートを受けた。また、会議参加および図の使用に関して、主催者のD.-K. Lee教授(ソウル大学)とT.-Y. Lee教授(ヨンセイ大学)にはお世話になった。心より感謝したい。

略語一覧

- CEOP Coordinated Enhanced Observation Period (合同強化観測期間プロジェクト)
- CSIRO Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation(オーストラリア国立科学技術研究機構)
- GPS Global Positioning System(全地球測位システム)
- HUBEX Huaihe River Basin experiment(中国淮河流域観測計画)
- KMA Korean Meteorological Administration(韓国気象庁)
- MCS Mesoscale Convective System(メソ対流系)
- MM5 The Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model(ペンシルバニア州立大学/NCARメソモデル第5版)
- MNM Mesoscale Numerical Model(メソスケール数値モデル)
- NASA National Aeronautics and Space Administration(アメリカ航空宇宙局)
- NCAR National Center for Atmospheric Research(米国大気研究センター)
- NCEP National Center for Environmental Prediction(米国環境予測センター)
- NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration(アメリカ大気海洋庁)
- NSSL National Severe Storms Laboratory(アメリカシビアストーム研究所)
- NWP Numerical Weather Prediction(数値天気予測)
- RSM Regional Spectral Model(気象庁領域スペクトルモデル)
- SCSMEX South China Sea Monsoon Experiment(南シナ海モンスーン観測実験)
- TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission(熱帯降雨観測衛星)
- X-BAIU-99(1999年東シナ海・九州梅雨観測)