

豪雨と洪水に関する国際シンポジウムの報告*

坪 木 和 久**

1. はじめに

1991年のMeiyu(梅雨)の異常に伴う豪雨は、Yangtze River(揚子江)とHuaihe River(淮河)の流域に大洪水を起こし、214万の家屋が被害を受け、約2千の死者、行方不明者を出した。この豪雨洪水災害については日本でも多くの報道があり、よく知られた事実である。この災害を契機にこのような豪雨と洪水について、その発生メカニズムと予報、さらにこのような自然災害に対処する方策を討論し研究成果を交換するため、中華人民共和国の国家気象局と国家水利局によりInternational Symposium on Torrential Rain and Flood(豪雨と洪水に関する国際シンポジウム)が、中国Anhui(安徽)省、Huangshan(黄山)市で、1992年10月5日から9日にかけて行なわれた。この国際シンポジウムは中国のいくつかの国家機関の他に、WMO、アメリカ気象学会、日本気象学会が協賛をしており、今回このシンポジウムに参加する機会を得たので、ここにその報告をする。

2. 黄山まで

黄山(Huangshan)はあまり日本では知られていない小さな街であるが、市街地から車で数時間のところにある山、黄山は、その美しさでは世界でも群を抜くものである。筆者は日本から上海に入り、そこから国内線で40分程度のところにある黄山についた。黄山空港は穏やかな丘陵地帯の田園風景の中にある。空港からは市街地までタクシーで15分ほどで、延々と広がる水田風景の中を走ると水牛をつれた農夫に出会った。シンポジウムは街の中心付近にあるHuaix Hotel(花溪飯店)で行われた。河畔の大きなホテルで、正面玄関にはこのシンポジウムの開催を告げる横断幕が掲げられており、「熱烈歓迎」とシンポジウムの参加者を迎えていた。参加者には一人一人にホテルの部屋が割り

当てられ、シンポジウム期間中は朝昼夕の食事は毎回中華料理が振る舞われた。

3. Opening ceremony と Plenary session

初日の午前から opening ceremony が会場のホールの一つで行われた。シンポジウムの行われたAnhui省は1991年の洪水で多大の災害を被った。黄山でこのシンポジウムが開催された理由の一つがここにある。このため省をあげてシンポジウムを後援しており、大会実行委員長とWMO代表の挨拶に続いて、Anhui省の代表(日本でいう知事に相当するものと思われる)がシンポジウムの開催と参加者を歓迎し、昨年のAnhui省の洪水による被害について説明した。

午後から始まった plenary session では、最初にWMO代表のSehmi氏が洪水による災害に対する人間の対応の進歩について概観し、様々なタイプの洪水に対する対策と災害軽減のための国際協力についての状況を述べた。続いて中国側から、中国の豪雨と洪水の特徴とその対応の実状、1991年の洪水の概要、中国の雨期の気候学的特徴について解説がなされた。続いて合衆国のアメリカ気象学会会長のJohnson氏による豪雨における大気の水循環過程について、日本からは木下氏(防災科学技術研究所)が洪水対策の教訓的発達について、またBangladeshのChowdhury氏によるBangladeshの豪雨と洪水についての講演があった。

plenary session は二日目午前まで続き、中国側の講演者により、1991年の豪雨について、気候学的研究、総観規模解析、メソ解析などの様々な立場からの研究と、中国の豪雨と洪水の予報システムについての講演が行われた。1991年の豪雨については第5節でまとめる。

このシンポジウムでは中国の他に、アメリカ合衆国、日本、フィリピン、インド、スリランカ、ホンコン、タイ、北朝鮮、大韓民国、オーストラリア、ヴェトナム、イタリア、マレーシア、バングラデシュ、スイスからの参加があり、出席者は約150人、口頭発表109

* Report on the International Symposium on Torrential Rain and Flood, China.

** Kazuhisa Tsuboki, 東京大学海洋研究所.

件、ポスター39件の会議であった。opening ceremonyからすべての研究発表に至るまで中国語と英語の同時通訳が付き、中国語の発表も英語に訳されて聞くことができるように配慮されていた。

4. 研究発表

シンポジウムの二日目午後から二つの会場に分かれて研究発表が始まった。研究発表は両方合わせて10のsessionがあり、それぞれのsessionで10件程度の講演があった。一つの講演時間は20分程度で、十分な討論のできるプログラムであった。基本的に第一会場は気象関係の講演で、第二会場は水文関係の講演であった。筆者は第一会場のシンポジウムに多く参加したので、ここでは第一会場の研究発表についてまとめる。

a) session 2: Climate and large-scale circulation

講演は基本的に中国側の講演と海外からの参加の講演が交互に行われた。このsessionでの中国側の講演は5件あり、これらは1991年の洪水を起こした豪雨についての降雨データや天気図および衛星データによる総観規模あるいは半球規模の解析的研究であった。これらによるとこの年のMeiyu活動は3つの豪雨期があり、1つめは東南アジアモンスーンと、2・3番目はインドモンスーンと関係があるということであった。降雨活動には20~25日の周期があり、この周期はウラル上空のブロッキング高気圧と西太平洋の亜熱帯高気圧の活動の周期と関係のあることが示された。またウラルのブロッキング高気圧はMeiyuの前半に重要で、後半ではバイカル湖からオホーツク海上に広がるブロッキング高気圧がMeiyu期間中の豪雨に重要であるという報告もあった。Yangtze・Huaihe Riverの流域の豪雨と洪水についての1860~1991年の期間の統計的研究から、この地域の洪水は停滞性の豪雨によるものと豪雨をもたらすシステムが連続的に通過することによるものに分けられ、1991年の洪水は後者によるものであることが示された。それにしても中国のこの地域には紀元前185年から2000近い洪水の歴史が残っているということで、このあたりはいかにも中国的であると感じられた。

この他にインドからの参加者の講演が2件あり、インドモンスーンの特徴とその東南アジアモンスーンとの関係などが論じられた。また合衆国のGall氏は、合衆国のアリゾナの降水と風の季節変化がアジアモンスーンとよく似た特徴を有し、しばしば“Arizona/

Mexican Monsoon”と呼ばれることを報告し、アジアモンスーンとの相違などを論じた。

b) session 4: Diagnostic studies of heavy rain-falls

このsessionにおいても中国側の講演は5件あり、全て1991年のMeiyuに関係するものであった。これらの報告によると、1991年のMeiyuにともなうlow level jet (LLJ)は非常に強く、平均で 16 ms^{-1} 、極大値で 36 ms^{-1} であった。水蒸気はこのLLJによって南西から運ばれ、豪雨がもたらされた。これは3次元のtrajectoryの解析からも裏付けられた。またこの解析から中国の北西からの寒気がYangtze・Huaihe Riverの流域で暖気と収束しMeiyu前線を形成していることや、前線上の低気圧の原因となる上層のトラフがこの寒気の活動に関係していることが示された。

このsessionでは合衆国からの講演が4件あり、そのうち2件は合衆国のMCC (Meso-scale Convective Complexes)による豪雨についてのものであった。MCCの発達を決めるパラメーターについて調べ、jetに伴う非地衡風と発散場のパターンがMCC発達のよいパラメーターを与えることを示した。この他にTripoli氏による熱帯低気圧中のレインバンドの発生の大規模数値実験が注目された。これは非静力学のメソモデルで、初期にランキン渦を与えて行ったものである。この実験によると、eye-wallで励起された慣性重力波が外向きに伝播するが、これだけではレインバンドは形成されない。先に存在していた降水の固体降水粒子の融解によってできた地表の密度流が内向きに伝播し、下層で強制上昇を起こす。この強制上昇と重力波が相互作用を起こしてレインバンドが形成されるというものであった。これが美しいカラーディスプレイによって表示され、強い印象を与える講演であった。

c) session 6: Numerical experiment and modeling of heavy rains

数値実験による豪雨の研究では雲物理過程が取り入れられたものが多かったように思われる。Yanchao氏他はMeiyuに伴う豪雨の発生には層状雲の中に積乱雲が存在することと積乱雲の中で効果的な雲物理過程がはたらくことが重要であることを示した。Zhihui氏は“cell-to-cell mapping”の方法により降水粒子の初期場を見積もり、水蒸気、雲水、雨水と雲物理過程を含むメソモデルに与えて数値実験を行い、モデルの降水の開始時間が早まったことと降水量が増加したことを報告した。

これらの他に、1991年のYangtze・Huaihe Riverの流域の豪雨、中国北部で洪水を起こした豪雨、合衆国のMCC、中国のいくつかの豪雨などについての数値実験の結果が報告された。ユニークなものとしてはKuwaitの油井火災とフィリピンの火山噴火の大気大循環に与える影響を数値実験により調べたものがあった。しかしながら結果はこれらの要因が1991年の異常気象にどれほど影響があるのかあまり分からないといったのが実状のようであった。

d) session 7: Meso-scale weather system

このsessionで中国からの講演は5件あり、1991年の豪雨と洪水についてメソ解析と総観解析の立場での研究結果についてであった。これらは、Meiyu前線におけるmeso- α -scaleのクラウドクラスターの発生について論じたもの、豪雨の発生とmeso- α -低気圧、frontogenesisなどとの関係を論じたもの、Yangtze・Huaihe Riverの流域の豪雨のドップラーレーダー観測の結果、黄山付近の豪雨の事例解析、Meiyu前線の豪雨をもたらすmeso- α -scaleのレインバンドとmeso- β -scaleの積雲群の構造の解析などであった。

ここではドップラーレーダーに関する研究発表が筆者を含めて3件あった。合衆国のRay氏は主に台風などの降雨システムの強さ、運動、上陸地点などをドップラーレーダーを用いて予測するシステムを開発し、これを中国東海岸付近の台風に適用した例を示した。浅井・坪木は1988年の九州地方特別観測のときに、2台のドップラーレーダーで観測された梅雨前線にともなうレインバンドについての解析結果をまとめて示した。

e) session 9: Service and disaster reduction policy

シンポジウムの最後のsessionは中国の他に、香港、合衆国、インドからの講演があり、それぞれの国での予報の実状やその実例が示された。特に豪雨の予測とその警報について力点が置かれた。ここでも9件の講演のうち5件が1991年の豪雨と洪水についてのものであった。如何にこれが歴史的イベントであったかがわかるが、ここまで続くと少しばかり食傷気味であった。中国では、1991年のイベントについて、気候学・気象学・水文学などの様々な立場から詳細に研究を行っていた。最新の測器を導入し、新しい技術を用いて豪雨の予測や洪水の監視に勢力的に取り組んでいた。そのほかの国においては洪水を予測し監視するためのシステム作りが最も重要な課題になっているよう

に思われた。

以上に第一会場での研究発表についてまとめた。参考までに第二会場での研究発表の各sessionの題名は以下の通りである。

- session 3: Analysis of rainstorm and flood
- session 5: Flood forecasting and warning system (I)
- session 7: Flood forecasting and warning system (II)
- session 9: The effect of flood regulation and human activity on flood
- session 11: Flood control strategy

シンポジウム3日目の夜、実行委員会の提案でnight sessionが行われた。これは自由参加でfree talking形式の討論会で、豪雨と洪水の研究における気象の研究者と水文の研究者の協力についてが主なテーマであった。この討論会では、自然災害の観点から豪雨と洪水の研究において気象学と水文学の協力が不可欠であることが指摘された。どの参加国についても気象学の研究者と水文学の研究者の協力体制はまだ十分に確立されておらず、今後の重要な課題となっている。今後の気象と水文の間の協力体制や組織作りあるいはこのような両方の研究者が参加するシンポジウムの活発化の重要性が強調された。

5. 1991年の中国の洪水について

本節ではこのシンポジウムが行われるきっかけとなった1991年の中国の洪水についてまとめる。この洪水はMeiyu(梅雨)期間中にMeiyuの異常に伴う豪雨によってYangtze River(揚子江)とHuaihe River(淮河)の流域で起きたものである。この洪水で、214万の家屋が被害を受け、572万ヘクタールの田畑が水没した。最も大きな洪水は、Jiangsu, Anhui, Hubei省で起き、約2千人が亡くなった。

平年値では中国のMeiyuは6月17日から7月10日の24日間である。1991年はMeiyuの終了は7月13日と平年並みであったが、その始まりが5月19日と異常に早く、この年のMeiyuは56日間続いた。この期間中に以下の期間の3回の顕著な降雨期がみられる。

- I 5月18日～5月26日
- II 6月2日～6月20日
- III 6月29日～7月13日

ただしこの区分は研究者によって若干の差がある。この期間の全降水量は上記の地域で700～1200mmで

あった。この降水量をみて不思議に思われる読者もあるかも知れない。この程度の降水は日本では取り立てて多いものではない。ここ10年間の九州地方における梅雨期6・7月の2カ月間の平均全降水量は、多いところで1200 mmを越える程度は降るのである。このことは中国と日本の洪水の形態の差異を示している。傾斜の緩い中国の地形の特性上、降水によってもたらされた水は日本のように急速に海まで流れず、陸上に溜ってしまう。その結果洪水になり、広範な地域が長期に渡り水没する。つまり日本の洪水は短期間に集中する大量の降水によってもたらされるのに対して、中国の洪水は河川の水が流れるのが遅く水が溜ってしまうことによってもたらされるのである。これは中国の河川をみれば一目で実感できることであった。

総観解析からみると Meiyu 期間の強い持続性の降水はユーラシア大陸上の異常な循環の持続に関係していることがわかる。亜熱帯高気圧が Meiyu 期間中 20~25°N 付近に停滞し、これが Meiyu 前線の定常的維持を促した。この亜熱帯高気圧の停滞には、フィリピン付近の西太平洋の海面水温偏差が負であったことが大きく影響していた。ユーラシア大陸上にはウラル地方付近に強いブロッキングが持続し、南に寒気を連続的にもたらした。この寒気と亜熱帯高気圧の循環に伴う暖湿気は Yangtze・Huaihe River の流域付近で収束し、Meiyu の停滞前線を持続させた。水蒸気の極大値はベンガル湾と South China Sea にあり、上記の降水期間中そこから大陸へ水蒸気の大きなフラックスが存在し、湿舌が 35°N の南、中国東部に伸びていた。

Meiyu の全期間中で7個の meso- α -scale のクラウドクラスターが東に移動するのがみられた。このうち5つは上記の第3番目の降雨期に Meiyu 前線に沿って発達するのが観測された。Meiyu の豪雨はこれらのクラウドクラスターによってもたらされた。

7月の上旬になると、ITCZ(熱帯収束帯)の活動が西太平洋で活発になって亜熱帯高気圧も北上し、台風も形成されるようになった。一方、1カ月以上続いたウラル地方のブロッキングが崩壊し、Meiyu の降水は7月13日に突然終わった。その後は Yangtze River と Huaihe River の流域では猛暑の天候が持続した。

おわりに

1991年、中国では Yangtze River(揚子江)と Huaihe River(淮河)の流域で豪雨とそれに伴う大洪

水が起き、多大な災害が発生し多くの人命が失われた。このシンポジウムはこの災害をきっかけに、豪雨と洪水の発生メカニズムとそれらの予報さらに対応策について各国の研究成果を交換し討論することを目的として開催された。シンポジウムでは豪雨と洪水は中国のみならず日本を含むすべての参加国において重大な問題であることが報告された。このシンポジウムにおける最大の成果は気象学と水文学の両方の研究者が一同に会して討論し、それぞれの役割と重要性を認識した点であろう。討論では、これらの自然災害の予測における気象学と水文学の協力と共同研究の重要性が強調された。さらにこのような共同研究のできる研究計画や研究組織が設立されるべきであることが指摘された。

我国において気象の研究者と水文の研究者が豪雨や洪水について共同研究を行うことはあまりなされてこなかったように思われる。豪雨と洪水は密接に結びついており、その研究において気象学と水文学の協力が不可欠であるとはこのシンポジウムの指摘するところである。最近、我国では水文水資源学会が設立され協力体制ができてきた。この点は中国でのシンポジウムの night session の討論会でも話題となった。今後のより強い協力体制と共同研究の発展が期待される。

今回のシンポジウムは国内の気象学会と日程が重なり日本の気象関係の参加者が少なかったことが残念であった。中国は1991年の災害以来、わずか半年でこれほど大きな国際シンポジウムを企画立案し諸外国から多くの研究者を集めた。その対応の早さと実行力には驚かされる。物事によってはこのような即応性が重要であることもある。日本もこのようなシンポジウムを参考にしたいものである。

今回初めて中国に行く機会を得た。これは日本のアジアにおける位置づけを認識する良い機会であったと思われる。シンポジウム期間中にフィリピンから来た女性の研究者と話す機会があった。彼女は親日的であったが、彼女の知人には今も日本の戦時中に犯した犯罪を心底憎んでいる人がいることを話してくれた。日本は経済援助ばかりではなく、科学の面においてアジア諸国の福祉に貢献し、過去の罪を償いつつアジアの国々の人々と協調していくべきであることをこのシンポジウムを通して強く感じた。

最後にこのシンポジウムに参加することを勧めて頂いた浅井富雄教授とその準備を手伝って下さった方々に感謝いたします。また、私のような若輩者に対して

も終始手厚い歓迎でもてなして頂いた中国の方々に感謝しつつこの稿を終わります。

日本気象学会および関連学会行事予定

行事名	開催年月日	主催団体等	場所	備考
第16回レーザセンシングシンポジウム	1993年6月3日 ～4日	レーザレーダ研究会 シンポジウム実行委員会	山梨県石和町	通信総合研究所 (有賀 規) Tel. 0423-27-7614
日本水文科学会 春季学術大会	1993年6月19日 ～20日	日本水文科学会	立正大学大崎校舎 (品川区)	Vol. 40, No.2
第7回太平洋学術中間会議	1993年6月27日 ～7月3日	日本学術会議, 日本気象学会他	宜野湾市, 那覇市	
IAMAP・IAHS'93 (第6回国際気象学大気物理学協会科学会議及び第4回国際水文科学協会科学会議合同国際会議)	1993年7月11日 ～23日	日本学術会議, 日本気象学会他13学会	横浜国際平和会議場 (横浜市)	Vol. 38, No. 7 No. 9 No. 12 Vol. 39, No. 4 No. 7 No. 11
第25回乱流シンポジウム	1993年7月27日 ～29日	日本流体力学会	東北大学工学部 (仙台市)	東北大学 流体科学研究所 Tel. 022-241-6792
第4回計算流体シンポジウム	1993年7月30日 ～31日	日本流体力学会	戦災復興記念館 (仙台市)	日本流体力学会 Tel. 03-3714-0427
第16回極域気水圏シンポジウム	1993年8月4日 ～5日	国立極地研究所	国立極地研究所講堂 (板橋区)	Vol. 40, No. 2
第4回大気科学とその大気質への応用国際会議	1993年8月16日 ～21日	WMO 他	ウラジオストック	大喜多敏一 鈴木 伸
IGRASS'93 地球科学とリモートセンシング国際シンポジウム	1993年8月18日 ～21日		工学院大学 (新宿区)	リモートセンシング技術センター(本村夏彦) Tel. 03-3403-1761
第6回国際ワークショップ「大気中の流れと拡散に関する風洞・水槽モデリング」	1993年8月25日 ～27日	6th Workshop 国内組織委員会, 国際組織委員会, EURASAP	阿蘇プリンスホテル (熊本県阿蘇)	6th Workshop 事務局 (植田洋匡 他) Tel. 092-573-9611
第25回国際水理学会会議	1993年8月30日 ～9月3日	第25回国際水理学会会議 国内組織委員会, 土木学会	京王プラザホテル (新宿区)	
1993年度 日本雪氷学会全国大会	1993年10月18日 ～21日	日本雪氷学会	新庄市・新庄市民プラザ (山形県)	
日本気象学会 1993年度秋季大会	1993年10月26日 ～28日	日本気象学会	宮城県民会館 (仙台市)	
国際 HEIFE シンポジウム	1993年11月8日 ～11日	京都大学防災研究所, 中国蘭州高原大気物理研究所	京大会館 (京都市)	京大防災研究所 (光田 寧)