

モンスーン変動と予測に関する国際会議出席報告*

安成 哲三^{*1}・新田 勲^{*2}
 隈 健一^{*3}・杉 正人^{*4}・篠田 雅人^{*5}

1. はじめに

上記表題の国際会議が、1994年5月9-13日の5日間にわたって、イタリアはトリエステの国際理論物理学センターで開催された。この会議は、WCRP, WMO 熱帯気象研究プログラム, TOGA 国際プロジェクト事務局など5つの組織による共催であったが、実質的にこの会議を企画したのは、J. Shukla (COLA: Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, USA) と T. Palmer (ECMWF) の2人が主宰している TOGA/WGNE Monsoon Numerical Experimentation Group (MONEG; モンスーン数値実験グループ) であった。この会議は、モンスーンに関する国際会議としては、1981年にインドネシアのパリで行われた MONEX (モンスーン観測実験の科学的成果に関する国際会議) 以来の大きな、そして重要な会議であった。最近送られてきたこの会議のプロシーディング (WCRP-84, WMO TD-No. 619, 1994. 2分冊で821ページ) の、Shukla と Palmer による前書きにも書かれているが、確かにこの会議で発表された内容は、現時点でのモンスーン変動と予測に関する最新の研究のエッセンスを、ほとんど網羅していたといえる。

会議の全参加者は40か国以上から約150人、発表数は110におよび、世界のモンスーン関係の主な研究者は、ほとんど一堂に会していたといえよう。国別参加者数は、米国41, インド18, フランス13, ドイツ10, 英国9, 日本, オーストラリア各7, 中国6などと続くが、今回の会議で目立ったのは、発展途上国の研究者の出

席も非常に多かったことで、特にアフリカ諸国からは全部で15人前後が出席し、アフリカモンスーンに関する議論も非常に活発におこなわれた。日本からは、本報告者5人の他に、時岡達志(気象庁), 村上勝人(気象研)の計7人であったが、NASA 滞在中の高藪縁(国立環境研), WMO の近藤洋輝の各氏、さらに、UCLA の柳井道雄, NMC の金光正郎の各氏も参加しておられ、日本人コミュニティとしては、かなりの数であった。

国際理論物理学センターは、ユーゴ国境近くの北イタリアの古い町トリエステの効外にあり、アドリア海に面した風光明媚な明るい海岸の高台に位置している。毎日会議が済んで、海岸のヨットハーバーまで降り、そのカフェテラスで海を眺めながら飲むワインやビールの味は、また格別であった。

2. 会議の内容と全体の雰囲気

セッションは、大きく5つに分かれており、

1. The monsoon as an interactive component of the global climate system
2. Short-and medium-range prediction of monsoon variability
3. Extended-range prediction of monsoon variability
4. The role of the Indian Ocean
5. Simulations of monsoon variability

となっていたが、発表数は、1. が全体の半数近くを占めて最も多く、ついで5. の数値実験の発表が多かった。

1. と5. のセッションを中心に、今回の会議での基調トーンとして強調されていたのは、モンスーン、特にアジアモンスーンの年々変動が、熱帯太平洋の大気・海洋系に対し、あるいは地球の気候システムの中で、積極的な役割を果たしているという指摘であった。これは、私を含めた日本のグループが、すでに数年前から主張していたことであるが、この視点が、今よう

* Report on the International Conference on Monsoon Variability and Prediction.

^{*1} Tetsuzo Yasunari, 筑波大学地球科学系.

^{*2} Tsuyoshi Nitta, 東京大学気候システム研究センター.

^{*3} Kenichi Kuma, 気象庁数値予報課.

^{*4} Masato Sugi, 国立防災科学技術研究所.

^{*5} Masato Shinoda, 東京都立大学理学部.

© 1995 日本気象学会

やく世界のモンスーン, ENSO のコミュニティにも, 認められてきたことを強く感じた会議であった。

そのことを示すのが, セッション1のタイトルそのものであったともいえる。このセッションでの招待講演者であった P. Webster, 安成, K. M. Lau は, それぞれ力点や焦点の置き方はちがっていても, アジアモンスーンが ENSO (熱帯大気・海洋系) に対するある種の forcing としての役割を果たしていること, そのモンスーンのは強さは北半球春あるいはプレモンスーン期の気候システムの (初期) 状態が重要な役割を果たしていること, その状態を作るのに, 中・高緯度からの影響が大きい可能性があることなど, 基本的には同じ視点での主張がされた。さらにこれに関連して, ユーラシア大陸の積雪(土壌水分)が, 夏のアジアモンスーンの変動に対する重要なパラメータ (のひとつ) であることが, Yanai (柳井) や Corte-Real らのデータ解析, Grimm らの数値実験, セッション5における Meehl や Kitoh, Arpe らの GCM 実験など, いくつかの発表で指摘されていたことも, 今回の会議の特徴のひとつであった。

以下に, 各参加者から, セッションごとの報告と感想を記す。

(安成哲三)

3. セッション1 (モンスーン変動の解析)

招待講演では Goswami と Lau の2つの発表があった。Goswami は観測事実からモンスーン変動の概念モデルを提唱した。このモデルによればインド洋赤道域にある海面水温最大に対応した収束帯とインド大陸上の収束帯の対流活動の相互作用によって季節内変動や年々変動が影響を受けており, インドモンスーン降水量の予測はこれらの微妙なバランスに左右されるというものである。Lau は東アジアモンスーンに関するこれまでの彼の研究グループによる結果をレビューし, 東アジアモンスーンは季節変化, 季節内変動, 短周期擾乱等様々な時間・空間スケールを持った変動が相互に関連しあっており, また, これらの変動が QBO, ENSO やユーラシアの積雪と関係して年々変動を形成していることをまとめた。続いて Wang は東太平洋のモンスーンの解析結果を発表し, ここでは海面水温の南北差がモンスーンを生じさせており, この地域の気候-海洋相互作用が極めて重要であることを示した。さらに Flohn は1961年8月から1962年2月にかけて5N-10Sの東アフリカで標準偏差の4倍に匹敵する異常多雨が起きたこと, この原因としてイ

ンド洋の海面水温変動とともなってインド洋域で ENSO に匹敵する程度の強い東西循環の変化があったことを示した。最近, インド洋の海面水温や対流活動の変動が全球の気候変動に与えるインパクトについて注目されてきており, 一事例解析ではあるが ENSO なみの大きなシグナルであったと言う点で興味ある現象である。

続いての発表は主にインドモンスーンと東アジアモンスーンに関して以下のような内容であった。

(1) インドモンスーン

インドモンスーンに関して, インド研究者を中心に11の発表があった。内容は大きく分けて, (1) ENSO やインド洋海面水温の年々変動との関係, (2) 季節内変動, に関するものであった。年々変動に関しては, これまでよく知られているようなエルニーニョ年にはインドやバングラデシュの降水量が減少することが報告された。Kulshrestha は119年 (1875-1993) のインドモンスーン期の降水量変動を調べ, 長期トレンドは認められないものの, 約30年のサイクルがあることを示した。Mehta は国際雲気候計画 (ISCCP) とデータを用いて, ラニーニャ年 (1984) とエルニーニョ年 (1987) の雲量変動を比較し, エルニーニョ年は平均の雲量は少ないものの, 季節内変動の振幅は大きいことを示した。同様な季節内変動の強さと ENSO との関係は Kripalani によっても示された。季節内変動に関しては, これまで知られているようにインド洋赤道域からの北上が顕著であること, 30~60日周期以外に10~20日周期も存在することが報告された。また, Grimm は季節内変動スケールで南太平洋収束帯 (SPCZ) と南大西洋収束帯 (SACZ) が関連を持ち, さらにこれらが北半球冬期のユーラシア (EU) パターンと関連しているらしいことを示し, 地球規模のテレコネクションとインドモンスーンとの関連を示唆する研究発表を行った。

(2) 東アジアモンスーン

東アジアモンスーンに関しては7件の発表があった。中国研究者からは ENSO と中国梅雨前線活動との関係, インドモンスーンと中国モンスーンとの関連が議論された。また, Chen Longxun は東アジアモンスーンに果たす南シナ海の重要性を強調し, 「南シナ海観測計画 (SCSMEX)」の提案を行った。フィリピンおよび香港の研究者からは, 冬の寒気流出の際の観測結果及びモデル結果が示された。Nitta は9年間の GMS データを用いたモンスーン域および西部熱帯太平洋域

の対流活動の日変化の特徴について発表した。

全般にインドモンスーンと東アジアモンスーンの年々変動に関しては、これまでよく知られていた ENSO との関連に加えて、チベットあるいはユーラシア大陸の積雪の影響の重要性が解析・モデルの双方で強調された。しかし、積雪による確実な影響を実際の観測データから取り出すには、まだ解析期間が短いと思われるし、モデルの違いによって積雪のインパクトも異なっており、今後解析・モデルともこの方面の研究を一層緻密に進展させる必要があると感じた。

(新田 勅)

4. セッション2 (モンスーンの短期・中期予報)

インド中期予報センターの U. C. Mohanty が ECMWF, NMC, UK Met Office, インド中期予報センターにおけるモンスーンに関する客観解析及びモデルの予報結果を比較した。各国の結果を比較してみると、インド付近のモンスーン循環は予報だけでなく、客観解析でも大きな差があり、例えばインド洋の 200 hPa の風速の最大は ECMWF が 20 m/s であるのに対し、UK の解析では 10 m/s であった。

BMRC の MacBride は AMEX (Australia Monsoon Experiment) のまとめを報告した。Australia 付近での熱帯低気圧のほとんどが、対流圏中部の渦から発達して形成される点は興味深かった。

BMRC の Puri はオーストラリアモンスーンの予報比較実験のまとめを報告した。ECMWF の解析を初期条件にして予報実験を行うと、他のセンターのモデルにとってはスピニングの問題が深刻であることを指摘した。また、水蒸気場に GMS の情報から作成した解析を用いると、モンスーンオンセットの予報が大幅に改善されることも報告された。

ECMWF の Klinker は 12 UTC における解析と第一推定値 (予報値) の差を示し、海洋上ではほとんど予報値が解析になっており、10日予報でも解析との差はきわめて少ないと報告した。これはモデルが優れているからというより、観測の乏しさを意味している。Mohanty の報告で予報センターの間の解析の差が大きかったのも、解析がモデルの予報値で決定されていたからであろう。

CSIRO の Frederiksen は 2層モデルを用いて、季節内変動とオーストラリアモンスーンの変動について、構造とメカニズムを議論した。

気象庁の限は数値予報課で開発中の積雲対流スキ-

ムによる台風やモンスーンの数値予報について発表した。現業で用いられているスキームに比べ、台風進路予報やインドのモンスーンオンセットの予報の改善が見られた。

NMC の金光は全球モデルにネストされた領域スペクトルモデルによるモンスーンオンセット予報について発表した。このモデルは、全球モデルと同じ物理過程を適用し、全球モデルの場合からの deviation について時間積分する。分解能は 40 km でモンスーンの地域的な分布を表現することに成功している。

中国気象科学研究院の Zhao は、中国の Meiyu のインド洋-ベンガル湾の水蒸気量や南シナ海-西太平洋の水蒸気量に対する sensitivity を波数42, 11層の全球モデルで調査し、前者が東アジアのモンスーンや Meiyu の降水に大きなインパクトを与えることを報告した。

本会議のマドンナ、Moscow State univ. の Gushchina はミラノのファッション界から飛び出したような雰囲気を持ちながら、オーストラリアモンスーンの記述的研究を講演した。研究内容よりも発表者自身の方が面白かったので、残念ながら発表内容はよく覚えていない。毎晩のように有力な欧米の研究者に連れられて食事に出かけていたようなので、来年にはどこかの研究室にスカウトされているのではないだろうか、と邪推する。

BMRC の Davidson は、AMEX 期間中の熱帯擾乱の渦度収支を説明するためには、サブグリッドスケールの渦度鉛直輸送を考慮する必要があると議論した。

North Carolina State univ. の Raman は10層のネストされた領域グリッドモデルを用いて、インド西岸での地形性降水について、Kuo と Betts-Miller の積雲対流スキームの結果を比較した。Kuo スキームの方がよい結果を与えたが、Betts-Miller スキームもパラメータの調整により、改良の余地があることを示した。

・感想

セッション5のシミュレーションと比較すると、数値的手法による短期中期予報は発表も少なく、やや寂しい印象を持った。特に欧米のモデラーの多くは、ENSO 等と関係するモンスーン研究には興味があるが、モンスーン自体のオンセットや総観規模の擾乱の予報などにはあまり興味がないようである。モンスーンそのものへの興味が大きいアジアのモデラーの活躍の場が残されている分野であろう。ENSO との関係についても、概念的な議論から定量的な議論に関心が移

りつつあり、擾乱やモンスーンの季節内変動をきちんと表現できるモデルが、これから重要になってくるはずである。(限 健一)

5. セッション5 (モンスーン変動のシミュレーション)

今回の会議を主催した MONEG は、数値モデルによるモンスーンの変動と予測についての研究を推進することを目指しているグループである。その意味で、このセッションのテーマは、今回の会議のメインテーマと言ってもよい。口頭27, ポスター13の論文発表があった。MONEG の課題実験である87/88年のシミュレーションを扱ったものが最も多く、次いで、AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project) の10年ランに関するもの、20年以上の長期ランに関するもの等となっている。

87/88年は、エルニーニョ/ラニーニャの年で、モンスーンは弱/強く対照的な年であった。MONEG では、この2つの年のモンスーンの違いが GCM により正しく再現できるかどうかを、課題実験としてとりこんできた。これまでの結果は、一言で言うと、87/88年の実測の海面水温を用いれば、熱帯の大規模場の2つの年の違いは多くのモデルで再現されるが、インドモンスーン降水量の差はモデルによってばらつきが大きいということである。

セッション5の最初に、まず今回は会議全体のチェアマンの一人である Shukla (COLA) が COLA の GCM による87/88年の実験結果を報告した。COLA の GCM は、以前はインドモンスーン降水量の分布があまり良くなかったが、エンペロープマウンテンのかわりに普通の山を用いることにより結果が大幅に改善された。その結果、87年と88年の降水分布の差が実測に近いものが再現できた。初期値を少しずつ変えた3つのランとも、ほぼ同じ結果となった。従って、87/88年のモンスーンの違いは、太平洋の海面水温の差に強く支配されていると言える。この結果は、海面水温が正しく予測できればモンスーン予測も可能であるという立場を支持している、というのが Shukla の主張である。

Shukla に自信たっぷりによりこのように主張されると、87/88年の差を正しく再現できるのは良いモデルで、正しく再現できないのはモデルの欠陥のためであるという結論になりそうである。これに対して、別の見方も可能であることを主張したのは、会議のもう一人の

チェアマンである Palmer (ECMWF) であった。彼は、ECMWF のモデルで初期値の少しづつ異なる9つのメンバーからなるアンサンブル予報実験を行った。その結果、6つのケースでは実測と同じように88年の方がインドモンスーン降水量が多くなったが、他のケースでは逆の結果となった。この結果は、インドでは季節内変動が大きいため、海面水温の影響が単純な形では表れないためと解釈できる、というのが Palmer の主張である。

AMIP の10年ランでは、Sperber (ローレンス・リバモア研究所) が、AMIP に参加している10数個のモデルのモンスーンシミュレーション結果の比較について報告した。その結果は、大規模循環場の年々変動は、モデルにより比較的よく再現されているが、インドモンスーン降水量については、モデルによるばらつきが大きいというもので、MONEG の課題実験の結果を再確認するものであった。

20年以上の長期ランに関するものでは、杉 (防災科研) が、気象庁モデルの34年ランの結果について発表した。34年ランでシミュレートされたインドモンスーン降水量の年々変動は海面水温との相関が小さい。また、気候値の海面水温を用いたランでも実際と同じくらいのモンスーン降水量の年々変動がシミュレートされた。Arpe (マックス・プランク研究所) も同様の結果を報告した。Palmer は、モデルのインドモンスーン降水量の年々変動に対する海面水温の影響の強さは、モデルの中の季節内変動の強さに依存しているのではないかと、というコメントを述べた。

Arpe はさらにモンスーンシミュレーションが土壌水分の初期値に影響されることを示し、積雪とモンスーンの関係を示唆した。雪とモンスーンの関係については、Vernekar (メリーランド大学、発表は Shukla) が、ユーラシアの積雪量が夏のモンスーンに及ぼす影響に関する数値実験を行い、雪の多い年はモンスーンが弱くなるという結果を、これまでに行われた同様の実験よりずっとクリアに示した。一方、鬼頭 (気象研、発表は時岡) は、気象研究所の GCM の20年ランの結果を解析し、夏のモンスーンと、その前の冬から春のチベットの積雪量との間に相関があることを示し、さらに、チベットに雪を多く降らせる冬の循環パターンと海面水温との関係があることを示唆した。

Meehl (NCAR) は、大気・海洋結合モデルの50年ランの結果をもとに、モンスーン2年サイクルのメカニズムを議論した。夏のモンスーン期間から秋にか

けては土壤水分がシステムのメモリーの役割を果たし、残りの季節は海洋がその役割を果たし、中緯度の循環場への影響を通して、次の年のモンスーンに影響を及ぼすというものである。但し、このようなメカニズムがモデルで検証されたというにはまだ不十分で、今後、より高度な大気・海洋・陸面結合モデルによる実験が必要である。

全体の印象として、モデルの改良により、モンスーンのシミュレーションは現実近づいてきているが、モンスーンの降水分布の再現には多くのモデルで問題がある。従って、その年々変動が本物かどうかという点で曖昧さが残ってしまう。モンスーンの年々変動を支配しているのは、海面水温なのか、積雪なのか、あるいは、内部力学的変動要因が大きく予測が困難なのか、明確な答をだすためには、モデルの一層の改良が必要である (杉 正人)

6. アフリカモンスーンに関する研究をめぐって

アフリカモンスーンに関する研究発表は、大会初日に集中していた。最初に招待講演者として登場したのは、サヘル降水量変動で有名な Lamb 博士である。サヘル地域に降水をもたらすメソスケール擾乱、スコールラインのふるまいを、日降水量データを用いて調べ、その規模や強度が近年のサヘル降水量の減少傾向に伴って、ともに小さくなってきていることを示した。この擾乱を引き起こす大規模場の特徴として、中層の偏東風ジェットがあげられるが、この強さには顕著な長期傾向が認められないことを指摘した。

今回は、中央アフリカ地域と南アフリカ共和国を除く、アフリカ各地域から研究者が大勢集まった。これには、第三世界からの研究者を優先的に招待するという本学会の方針があったためらしい。アフリカンセッションの座長は熱帯気象の解析的研究の大御所である Hastenrath 教授である。舞台慣れしていないアフリカ人研究者の発表に対しても、encourage するような質問・コメントを投げかけていたのが印象的だった。フランス語圏である西アフリカからの研究者は、本学会が英語での発表しか認めないということで、相当のハンディーがあったわけであるが、なんと Hastenrath 教授は Multilingual で通訳もこなしていた。

アフリカ人研究者によるそれぞれの地域をテーマにした発表が続いた。このセッションのなかで印象に残った発表をいくつか紹介しよう。ガーナの Opoku-Ankomah さんは、7～9月におけるギニア湾沿岸域

の降水と赤道大西洋の海面水温に正の相関があることを示したが、これはサヘルにおける両者の負相関と対照的である。この現象は、赤道大西洋が高温の場合、熱帯の降水帯の中心が、サヘル位置する北緯10度以北から、南のギニア湾方向へと変位するためと解釈できる。また、ギニア湾沿岸の降水は ENSO との関係が弱いというが、Tadesse さんは、エチオピアにおいて、El Nino 年に降水が減少する傾向があることを述べた。こうした、一国レベルの研究発表を聴いていて思ったことは、地域スケールの総観現象を十分に考慮しつつ、世界の気候変動との関係をみていくことの重要性である。

アフリカからの視点という意味で印象的だったのは、アフリカ人気象学者の第一人者であるケニア、ナイロビ大学の Ogallo 教授のスピーチであった。彼がいうには、東アフリカで雨が多かったとか、少なかったといっても、すべての地域が一様にそうなる訳ではない。というのも、東アフリカの地形が複雑であること、水蒸気を運ぶ風系や季節や地域によって大きく異なることなどがその原因となっている。また、ビクトリア湖をとりまく湖陸風循環によって、多量の雨がそこで起こりうることも指摘していた。こうした地域スケールの現象は、ENSO などのグローバルスケールの変動の影響も受けているが、地域特有の地表面環境がその気候を大きく支配しているというのだ。

地方色あふれるアフリカンセッションにあつて、西欧で学んだ、あるいは西欧の研究者からは、大陸スケールの現象に関する発表も聴かれた。たとえば、ニジェールの Jegeda さんは、1979年の静止気象衛星 Meteosat の雲風ベクトルデータを用いて、北アフリカにおける中層と上層の偏東風ジェットの軸がそれぞれ北緯14度と8度にあることを示した。また、フランスの ORSTOM (海外科学技術研究所) の Citeau 博士は、Meteosat の水蒸気バンドのデータと ECMWF の客観解析データを用い、500 hPa で水蒸気量が極小となる位置から、亜熱帯高気圧の中心を決定した。

その他、特筆すべきは、気候学の歴史的存在、ボン大学の Flohn 教授 (Hastenrath の先生だったらしい) の健在ぶりである。この発表は別のセッションで行われたが、1961年秋の東アフリカの大雨が、インド洋の対流活動の西へのシフトと関係していることを述べていた。

最後は総合討論になったが、ひとつの論点は「世界的にみて、なぜサヘルにだけここ数年間、降水の長

期トレンドがあるか」ということであった。モデル研究の立場から、Shukla 博士は、人間活動による地表面被覆の変化の大気に対する影響がこの地域だけに増幅されるメカニズムがあるのではないかと述べた。一方、Palmer 博士はたとえ地表面被覆の変化がなくても、海水面温度の長期変動があれば、その影響を増幅するフィードバックメカニズムがサヘルのような半乾燥地域にあるのではないかとコメントした。それに関連して、私は、インド洋の海水面温度の上昇傾向がサヘルの降水減少にとって重要であろうと指摘した。

最後は座長である Hastenrath 教授のまとめにはいったが、サヘルの長期干ばつは、大西洋の海水面温度が重要で、そこで観察される風の収束帯の南下傾向によるものと自説を述べた。しかし、サヘルの降水傾

向に対して、どこの海水面温度が重要なのか、また、海水面温度と地表面被覆の変化のどちらの影響が大きいか、突っ込んだ議論はされなかった。この問題は、ここ何十年来、決着をみていないのが現状のようだ。今後、この分野の研究は、こうした両要因のサヘル干ばつにおける役割をある程度、定量的に評価していく段階に入ってゆくものと考えられる。そのためにも、従来の海水面温度データの解析を精緻化していくとともに、近年、蓄積されてきた衛星データを利用して、広域的な地表面被覆の経年変化を解析していかなければならないだろう。同時に、こうした観測事実を基にして、現実的な地球表面の境界条件を考慮した数値モデル研究も進めていく必要がある。(篠田雅人)

1995年度日本気象学会春季大会予稿集の落丁について

既に発送した予稿集の一部に業者の不手際で落丁がありました。お詫び申し上げます。

お手許の予稿集を点検して頂き、交換の必要がある場合は下記に葉書または FAX でご連絡下さい。

新しく印刷した予稿集を送料など業者の負担でお送りします。お手許の予稿集は返送の必要はありません。

日本気象学会事務局

記

連絡先 〒113 東京都文京区湯島 3-20-12

第二ツナシマビル

日本印刷株式会社 佐藤 行義

FAX 03-3833-3883