

## 第22回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG99) 報告 (2)\*

岩崎俊樹<sup>\*1</sup>・久芳奈遠美<sup>\*2</sup>・那須野智江<sup>\*3</sup>・中田隆<sup>\*4</sup>  
 円山憲一<sup>\*5</sup>・竹見哲也<sup>\*6</sup>・平沢尚彦<sup>\*7</sup>・日暮明子<sup>\*8</sup>  
 岡田靖彦<sup>\*9</sup>・楠昌司<sup>\*10</sup>・江守正多<sup>\*11</sup>・羽角博康<sup>\*12</sup>  
 榎本剛<sup>\*13</sup>・谷貝勇<sup>\*14</sup>・井上孝洋<sup>\*15</sup>・沖大幹<sup>\*16</sup>  
 谷本陽一<sup>\*17</sup>・根田昌典<sup>\*18</sup>・渡部雅浩<sup>\*19</sup>・見延庄士郎<sup>\*20</sup>  
 中村尚<sup>\*21</sup>・大谷竜<sup>\*22</sup>・川村宏<sup>\*23</sup>・小池俊雄<sup>\*24</sup>  
 井上豊志郎<sup>\*25</sup>・可知美佐子<sup>\*26</sup>

## 1. MI01 : 大気化学と気候の相互作用—エアロゾル・雲・気候

「どこに、どれだけ、どのような雲が発生するのか？」雲は大気モデリングの最大の難物の一つである。雲の生成と消滅のパラメータ化は、放射、湿潤境界層、積雲対流を通して大気モデルに複雑で大きなインパクトをもたらす。モデルの精密化に伴い、雲の問題はまず

まず重要になりつつある。筆者は雲形成のモデリング事情への興味から、関係するシンポジウムを幾つか回った。当シンポジウムは3日間のうち1日だけの出席で、かつ理解できない化学的事項も多かったので、紹介者として適当ではないが、日本人の参加が極めて少ないシンポジウムで日本の学際モデルの遅れも痛感したので、個人的な印象ではあるが報告することにする。

\* Report of IUGG99 (2).

\*1 Toshiki Iwasaki, 東北大学大学院理学研究科.

\*2 Naomi Kuba, 地球フロンティア研究システム地球変動研究所.

\*3 Tomoe Nasuno, 東京大学大学院理学系研究科.

\*4 Takashi Chuda, 東京大学海洋研究所海洋気象部門.

\*5 Kenichi Maruyama, 地球フロンティア研究システム地球変動研究所.

\*6 Tetsuya Takemi, 大阪大学大学院工学研究科.

\*7 Naohiko Hirasawa, 国立極地研究所情報科学センター.

\*8 Akiko Higurashi, 国立環境研究所大気圏環境部.

\*9 Yasuhiko Okada, 近畿大学大学院工学研究科.

\*10 Shoji Kusunoki, 気象研究所気候研究部.

\*11 Seita Emori, 国立環境研究所大気圏環境部.

\*12 Hiroyasu Hasumi, 東京大学気候システム研究センター.

\*13 Takeshi Enomoto, 東京大学大学院理学系研究科/英国・レディング大学気象学科.

\*14 Isamu Yagai, 防災科学技術研究所気圏・水圏地球科学技術研究部.

\*15 Takahiro Inoue, 財団法人高度情報科学技術研究機構.

\*16 Taikan Oki, 東京大学生産技術研究所.

\*17 Youichi Tanimoto, 地球フロンティア研究システム地球変動研究所.

\*18 Masanori Konda, 京都大学理学部.

\*19 Masahiro Watanabe, 東京大学気候システム研究センター.

\*20 Shoshiro Minobe, 北海道大学理学部/地球フロンティア研究システム.

\*21 Hisashi Nakamura, 東京大学理学部/地球フロンティア研究システム.

\*22 Ryu Ohtani, 工業技術院地質調査所地震地質部.

\*23 Hiroshi Kawamura, 東北大学大気海洋変動観測研究センター.

\*24 Toshio Koike, 東京大学大学院工学系研究科.

\*25 Toshiro Inoue, 気象研究所気候研究部.

\*26 Misako Kachi, 宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター.

このシンポジウムでの筆者の関心事は、エアロゾルが雲形成の相互作用に関連するモデリングの進展である。人為起源エアロゾルによる温暖化の緩和効果が重要な気候問題となっているため、欧米では化学と大気の学際モデルの開発が盛んである。特にエアロゾルの間接効果である第1 Twomey 効果(雲粒サイズへの影響)及び第2 Twomey 効果(雲粒の滞留時間への影響)が注目をあつめている。鉛直1次元から大気大循環までさまざまな大気モデルを使い、エアロゾルの生成と消滅、変質、放射強制力、雲や降水への影響などを評価している。

モデルの表現は大変リアルであるが、その真偽はよくわからない。最初の問題「雲形成に及ぼす影響」の答えもパラメータ依存性が大きく容易に収束しない。また、モデルの気候ドリフトや全体性能に比べてあまりにも精密な議論を展開することにどれほどの意味があるのか、という疑問も湧く。学際型モデル研究の難しさを感じる。もちろん、観測による検証が望まれるところだが、これも一筋縄ではいかない。

日本の場合、このような学際型のモデル開発は欧米に比べるとあまり盛んではない。専門の異なる研究者が広い視野を持ち、異なる分野との共同開発する仕組みをフレキシブルに作る事が大事であろう。また、モデル自身も共同開発が容易にできるように構造設計に配慮する事も必要である。そして、もちろん、信頼に足る結果を出すためには、大気モデルの基本性能の向上を図る必要がある。課題は多い。(岩崎俊樹)

筆者は大気化学には素人であるが、雲微物理の立場で凝結核が気候変動に及ぼす影響を研究しているのでこのシンポジウムに参加し、“Effect of Cloud Condensation Nuclei on the Optical Properties of a Layer Cloud”というタイトルで発表を行った。ここではIPCC1996の見積もり(人間活動起源のエアロゾルによる直接・間接の放射強制力の総和はcoolingとなる)を受けて、さらに精度良く見積もるための研究発表がなされていた。ACE2, RACE および INDOEX などに関連した、観測とモデル計算結果とを比較した発表が多く行われた。やはり、エアロゾルの直接放射強制力が中心に論じられていて、間接放射強制力を雲物理の立場から精度良く論じようという傾向はなかった。それでも筆者の雲物理の立場での発表には一応関心を持ってもらえ、共同研究の必要性を確認し合えた。間接放射強制力をモデル計算で見積もったものでも、Twomey (1959) の雲粒核数密度とそれによって生成

される雲粒の数密度の関係に関する近似式を使用しているのが一般的で、雲物理学的に溶質効果に重点を置いて雲核の活性化を計算している筆者の研究成果から言うと、過大評価している可能性があると思われた。

(久芳奈遠美)

## 2. MI04/MI10: 雲の力学・物理とパラメタリゼーション

本シンポジウムは雲をキーワードにして、放射から雲物理、メソスケール現象、大循環モデルを使ったパラメタリゼーションに関する研究にいたるまで非常に広範な内容を含み、合計6つのセッションが4日間にわたって行われた。これらすべてについて紹介することは不可能なので、ここでは筆者らが特に興味を持った講演について報告する。(中田 隆)

### セッション1: 多重スケール雲システムと熱帯循環

観測や雲解像モデルの結果から雲集団の統計的な性質を調べたものが多く、放射や巻雲の効果に関するものが目立った。Neelin (米 UCLA) ほかは上層の巻雲からのデトレインメントによる冷却が、海面水温の上昇に対し正のフィードバックを強めることを示した。

### セッション2: パラメタリゼーションと大規模スケールモデリング

深い対流による熱的な効果だけでなく、運動量輸送(2件)、浅い対流や地表面過程(2件)、雲の微物理過程(3件)に関する扱いが問題とされた。特に雲物理過程は、今後モデルの解像度が上がるにつれ更に重要性が増すと思われた。Fowler (米 Colorado 州立大学) ほかは、雲から周囲へのデトレインメントだけでなく、周囲から雲への水蒸気や雲水、雲氷のエントレインメントを扱うモデルを用い、特に雪の扱いが気候に大きく影響することを報告した。筆者らは、メソスケールに組織化した対流を解像した熱帯低気圧モデルにおいて、サブグリッドスケールの熱放出に Kuo の仮定を用いてもある程度現実的な結果が得られることを示し、対流の振る舞いにおけるその効果を議論した。筆者らも含め、雲解像モデルや large eddy simulation からの結果に基づいてパラメタリゼーションを開発し評価するものが多く、総合討論ではもっと観測の結果との対応を重視すべきだという意見も出た。(那須野智江)

### セッション4: 降水対流雲システム

熱帯及び中緯度の降水システムに関する講演が10件あり、内容は観測・データ解析・数値シミュレーションと多岐にわたった。観測データを用いた降水雲に関

する物理量の気候値の算出、観測結果とシミュレーションとの比較、数値実験によるメソ対流系の力学解析といった発表でセッションは占められていた。特に TOGA-COARE を主として西太平洋赤道域におけるプロジェクトに係る講演が4件あったのが目立った。

最初に、Gage (米 NOAA) によりプロファイラー開発と熱帯降水系の観測についての講演があった。最近の S バンドレーダーの開発により更に高感度の測定が可能になり、積乱雲のかたと云を詳細に観測できるようになったという。シミュレーションの話題では、微物理パラメタリゼーションや水平格子間隔への依存性を調べた発表があった。微物理パラメタリゼーションの違いによる放射を観測と比較するという試みがなされており、海外の研究の進展度に刺激を受けた。その中で竹見 (大阪大学) は、乾燥地におけるスコールラインの維持メカニズムの数値実験について発表した。発表後いくつか質問があり、関心を持ってもらえたとは思っているが、発表方法はまだまだ改善すべきだと痛感した。(竹見哲也)

セッション5: 大気境界層, 浅い対流, 非降水雲

Duynkerke (蘭 Utrecht 大学) により、対流境界層では passive scalar のエネルギースペクトルと温度や速度のスペクトルとが異なる特性を持つことが示され、さらにその特性が放射や潜熱の効果等を入れた場合にどのような役割を果たすかについての講演があった。また、Stevens (独 MPI) や Lock (英気象局) は大気境界層の新しいパラメタリゼーションを提案し、その効果を報告した。このセッションの発表の多くが大気境界層を数値モデルでどのように取り扱うかが議論の焦点となった。(中田 隆)

セッション6: 微物理過程と上部対流圏雲

このセッションでは、巻雲や雲物理過程についての研究が多く発表された。いくつか紹介すると、熱帯の巻雲についてライダー、レーダーそして赤外放射計を用いた観測の結果から小さな粒子の存在を示した研究 (Platt, 米 Colorado 州立大学)、氷晶核の形状への依存性についての研究 (Mitchell, 米 Desert Research Institute)、熱帯で観測された長寿命の巻雲の維持機構に関するモデルによる研究 (Boehm, 米 Pennsylvania 州立大学)、ISCCP のデータと航空機観測データの比較を FIRE-II で観測された巻雲について行った研究、巻雲の水平非均一性と雲の占める割合についての研究 (Smith, 米 Columbia 大学)、そして GEWEX/GCSS Working Group 2 に関連した1次元

のモデル研究 (Cotton, 英気象局) などがあった。また最後に、カナダで行われた飛行機などによる過去の観測から得られたエアロゾルと雲水量、雲水量の関係などが発表 (Issac, 加 Atmospheric Environment Service) され、これに対して氷晶核の地域依存性の議論があり興味深かった。(円山憲一)

本シンポジウムでは4件のポスター発表が行われた。Cardwell (英 UMIST) は航空機による深い対流雲を対象とした氷晶および雪片の粒径分布の観測を行い、数値モデルや過去の室内実験との比較を発表した。また、Irons (英 UMIST) は雲モデルを用いて上昇流の強さの空間的な揺らぎが微物理過程に及ぼす影響について報告した。

このセッションでは4日間を通してポスターが掲示された。ただ、口頭発表の時間帯とは別にポスター発表の時間が設けられなかったこともあり、あまり議論ができないことが残念に思えた。やはり気象学会のようにポスターだけの時間帯も作ってほしい気がした。

今回の会議参加にあたり、日本気象学会の国際学術交流委員会より旅費の一部を援助して頂きました。ここに記して深く感謝致します。(中田 隆)

### 3. MI08: 極域における放射と雲

極域における放射と雲というタイトルで催された今回のシンポジウムでは合計41件の講演がプログラムされ、招待講演は14件であった。そのうち日本からの出席発表は3名であった。中島 (東京大学) は衛星データを利用した雲とエアロゾルの全球分布の導出についての招待講演を行った。Charlock (米 NASA) と山内 (国立極地研究所) との共著の招待講演では極域の雲分布と熱収支に関するレビューが行われ、山内は別の講演で最近の観測データに基づいて衛星データによる極夜期の南極内陸での雲検出アルゴリズムについて話した。また、平沢 (極地研) は、東南極稜線上では米国ブラトー基地以来約30年ぶりに行われたドームふじ観測拠点での長波放射の通年観測の結果を報告した。

最近行われた特別観測である SHEBA や FROST に関連した成果は招待講演、一般講演の中で多く見掛けたが、それらを含めた新しい研究において頻繁に引用されていた2つの結果があった。1つは、もう30年も前に Huschke (1969) が示した北極域の雲量の季節変化である。6月に急増し、11月に急減するパターンは日本にとっての梅雨のような基本的な現象として認知されてきたようである。もう1つは、Yamanouchi

et al. (1987) が極夜期の雲検出法の原理として提案した NOAA 衛星のチャンネル 4 の輝度温度とチャンネル 4 と 5 の輝度温度差の散布図の利用である。可視光がない領域での雲検出には、新しい波長帯のセンサーを打ち上げない限り、この方法が基本になるのであろうか。

Bromwich (米 Ohio 州立大学) の講演は既に論文発表されているものであるが、永続する 1 月の気候条件の下で南極域の雲を水雲から氷晶へ、更にその粒径を変えることから生じる放射特性の違いが全球の大気循環に与える影響を考察したもので、私にとっては大変興味深かった。概して、水雲に比べて氷晶が南極大陸を覆った時には南極上空の対流圏の気温が  $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$  上昇し、カタバ風は弱まり、南極を取り巻く低気圧帯は弱まって北偏するなどの結果を示した。

紫外線関連の話題もいくつかあり、オゾンホールとの絡みからは興味深いのが、誌面の都合上ここでは割愛する。(平沢尚彦)

#### 4. MI09: エアロゾルの放射特性とリモートセンシング

本シンポジウムでは、衛星・地上観測によるエアロゾル光学特性の推定、及びその気候影響評価に関する研究発表がなされた。衛星観測では、筆者が NOAA/AVHRR の可視・近赤外波長から推定された 1989~94 年のエアロゾルの光学的厚さと粒径指標を示した他、Herman (仏 Lille 大学) が、ADEOS/POLDER のデータを用いたエアロゾル特性推定アルゴリズムを示した。POLDER は輝度データに加え、偏光データが得られるため、このアルゴリズムでは従来の可視・近赤外波長の輝度データから推定されるエアロゾルの光学的厚さと粒径指標に加え、複素屈折率の推定が可能となる。また、Hoyningen-Hune (独 Bremen 大学) は、ACE-2 の地上観測データと ADEOS/OCTS の解析から、より多波長のデータを利用することにより、粒径指数の推定精度が向上することを示した。Russell (米 NASA) は、エアロゾル特性が放射フラックスに及ぼす影響を見積もり、TARFOX、ACE-2 の観測結果から、アメリカ東岸及びヨーロッパ域の人為的影響を受けた海上では 1 次散乱アルベドはおよそ 0.9 で、これを吸収がないものとした場合、放射フラックスはおよそ 30% 増加するという結果を示した。Rosenfeld (イスラエル Hebrew 大学) は、AVHRR データを用いて粒径  $15\mu\text{m}$  以上の対流雲が海上から陸上に向い急速に対流

が厚くなり、風下側で徐々に薄くなるという現象を示し、清浄な空気塊が陸上で急速にエアロゾルの影響を受け、海上で徐々に清浄化されることを示唆した。

近年、エアロゾルの気候影響の重要性が認識されるようになり、次世代型衛星センサーの開発や ACE-1、ACE-2、TARFOX などの地上観測プロジェクトも進められ、全球規模でのエアロゾル特性の推定が急速に進展してきていることを改めて実感するものであった。(日暮明子・岡田靖彦)

#### 5. MC01: 気候モデルの発展と相互比較

このシンポジウムは気候モデルに関する様々な MIP を題材として、第 1 週の月曜日から金曜日まで行われた。内容は大気大循環に始まって、海洋大循環・海氷・大気-海洋結合・陸面過程・地域気候・大気トレーサー輸送・植生・海洋炭素循環と多岐にわたり、全体を通して参加していたのはコンピューターの Gleckler (米 LLNL) と数名の物好きな日本人くらいであったらう。MIP といえば規模・歴史ともに AMIP が代表的だと思うが、このシンポジウムでは領域モデルに関する発表が最も多かった。発表件数は 100 件あまりで、すべてが口頭発表であったのだが、発表時間は招待講演で 20 分、一般講演で 15 分とやや短めで、キャンセルのないセッションなどでは質疑応答ができないこともあった。シンポジウムの全体をここで網羅することは難しいが、以下、各執筆者の発表シンポジウムを中心に、いくつかのセッションについて紹介する。(羽角博康)

冒頭に AMIP の提唱者である Gates (米 LLNL) が挨拶した。AMIP-I から得た教訓は、(1) モデル間の特性の違いの原因を突き止めることは容易でない、(2) ある特定のモデルの系統誤差の原因を解明することさえも容易でない、(3) 複数モデルのアンサンブル平均がモデルによる最良の推定値であることを指摘した。本シンポジウム MC01 のコンピューターであり、現在 AMIP のまとめ役でもある Gleckler が、AMIP-I の後続計画である AMIP-II の現状を紹介した。(1) 積分時間が 17 年に増えたこと、複数の初期値に対するアンサンブル積分が推奨されたこと、モデルの出力変数が増加したことによりデータ量がテラバイト・オーダーに肥大化した、(2) 参加を表明しているグループのうち 1999 年 7 月 1 日現在で約 50% が積分を終了、(3) 特定の現象に注目した診断副計画 (Diagnostic Subproject) も増加しており、新規提案も受付中であることを

報告した。

一般に AMIP-II ではモデルの改善が認められるが、陸面過程ではモデル間のばらつきが大きく問題がある。SMIP 関連では楠(気象研究所)による大気季節予測可能性の発表のみであった。物理過程を取り除いて力学だけを比較する Dynamical Core Inter-comparison Project, 海だけの水惑星による比較実験, 雪面過程の比較実験 SnowMIP 等の紹介もあった。決して悪いことではないが「何とか MIP」が増えず、対応しきれない危惧を感じた。(楠 昌司)

海洋大循環モデルに関しては、他のモデルと異なり、未だに MIP は存在しない。したがって発表も個々の研究グループにおけるモデルの進展や成果の紹介という形であった。発表件数も10件(うち2件キャンセル)と少なめで、「海洋のセッションもおつき合いで作らなければならなかった」という印象が否めない。IAPSO が4年前の IUGG に参加しなかったことにも現れている通り、海洋コミュニティーは IUGG に対して冷淡である。とくにアメリカの大きな研究機関の人々があまり参加せず、できたての結果を持ってきて議論をするという場には残念ながらなっていない(これは海洋に限らないかもしれない)。かく言う筆者も既に論文としてまとめた結果を発表しに行ったのだが、OMIP をどうするべきかという議論は現在進行中である。海洋モデルの場合には境界条件の統一や結果の検証という MIP の大前提となることに困難があり、MIP の意義に関して否定的な意見を持つ人も少なくない。結合モデラーも自称する筆者としては結合の要である海水モデルにも思い入れがあり、SIMIP (CMIP と同じ発音をするらしい。ややこしい) に関する発表にやや期待をもって臨んだのだが、残念ながら期待外れであった。力学・熱力学ともに筆者がまだフォローしきれないモデルはいくつもあるのに、それらのモデルについては全く言及されなかった。SIMIP はまだ海水モデリングのコミュニティーに十分浸透していないのだろうか。(羽角博康)

地域気候モデルに関しては、1日半をかけて30件近くと、多くの発表があった。計算領域を限定することで高分解能(現在は水平解像度数10 km 程度)を実現する地域気候モデルは、近年の計算機能力の向上による全球高分解能モデルの出現で存在意義が危うくされているかと思っていたが、まだまだ元気であった。地域気候モデルの比較は、ヨーロッパの MERCURE, 北米の PIRCS など対象領域毎にいくつかが行われてい

る。これらのグループでは、長期積分に耐える高度な物理過程をモデルに組み込み、検証用データも地点データに留まらず、衛星から見積もられた降水量、雲、GPS による可降水量、河川流量などおおよそ使えそうなものを全て使おうという姿勢で、「気候モデルとして」しっかりしたものを作ろうという意気込みが感じられ、共感を覚えた。一般に、中高緯度の冬の降水分布は分解能を上げるほど目に見えて再現性がよくなるが、積雲対流パラメタリゼーションが重要になる夏の降水分布は、どこもうまく行かず苦労しているようだ。IPCC において、地域気候モデルは将来の気候変化の地域規模シナリオ作成のツールとして大きな期待を受けている。このような応用を考えると、モデルの検証は努めて丹念に行われるべきである。今後は水循環、年々変動の再現性、アンサンブル実験などがキーになる気配であった。(江守正多)

## 6. MC10: 亜熱帯高気圧

このシンポジウムでは、主に夏の亜熱帯高気圧の成因と変動について、少人数ながら活発な討論が行われた。

まず、Hoskins (英 Reading 大学) がハドレー循環の下降域として理解できる冬の亜熱帯高気圧とは異なり、夏の亜熱帯高気圧はハドレー循環では説明できないと問題提起した。Rodwell (英 Hadley Centre) は、GCM 実験をもとに夏の亜熱帯高気圧の成因は、加熱に対する西向きロスビー応答であるという「モンスーン=沙漠仮説」を示した。再び Hoskins が演台に立ち、Lu (中国科学院) が Reading 大で行った「モンスーン=沙漠仮説」の検証実験の結果を示した。

一方、Wang (米 Illinois 大学) は、観測される高気圧の季節進行には、非断熱加熱、地形、非定常成分の3種類の強制的非線形効果が重要であることを GCM を用いて示した。Chen (米 NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center) は、 $\beta$  面上の準地衡モデルを用いて、非断熱加熱に対するロスビー応答を調べ、観測される基本的な構造を説明できるとした。

Wu (中国科学院) は亜熱帯高気圧の基礎的力学について述べ、中国科学院における研究のレビューを行った。その詳細は、中国科学院の研究者により発表された。その他 SST 偏差の亜熱帯高気圧に対する影響や、ブラジル沖の冬の亜熱帯高気圧が強化し総観規模擾乱をブロックする現象についての研究等があった。筆者もここで、チベット高気圧に伴うような上層の東西非

一様な基本場におけるロスビー波のふるまいに関する数値実験について報告した。(榎本 剛)

### 7. MW02: 気候モデル大気過程評価・改良のための全球データセットの利用

MW02では気候モデルの大気物理過程を検証したり改良するための全球データセットについて議論した。この目的のために利用可能な全球データは限られていて、ECMWFとNCEPがそれぞれ作成した再解析データ(1979~93年)と気象衛星データを直接解析したものである。ECMWFの再解析データ(ECMWF Re-Analysis)をERAと略称している発表者が多く、それに対して「それならNCEPの再解析データはNRAと呼ばないといかん」というジョーク(?)があったが\*, 日本に戻ってからECMWFの報告書を見るとERAという略称を使っていた。

話題の中心は気象衛星データから雲を調べること、ERAとNCEP再解析データ及びGCMのシミュレーション結果を比較して議論することだった。雲は、地表に住む人間にとってはなじみのものであるが、衛星観測やGCMとの対応となると未だに不明な点が多い。雲の解析を中心になってやってきているRossow(米NASA)は大気循環による雲の生成について、境界層の乱流のスケールから気象学的な変動についてまで議論した。その後、Chen(独MPI), Jakob(ECMWF), Bauer(ECMWF)はMPIのモデル結果とデータ解析の比較をしており、冬のストームトラックについても調べていた。谷貝(防災科学技術研究所)はサンプリングタイムエラーという、TRMMなどの特殊な衛星出現によって今日的な問題になった事柄を報告した。この種のエラーは変化して移動する現象、日変化、そしてtidal fluctuationで起こることをGCMとERAから示した。

このシンポジウムでは20分間話すことができ、落ち着いて議論ができて良かった。会議中のバーミンガムは夏のイギリスとしては異例の涼しさで夜の大学寮は暖房が欲しい状況であったが、その代わり日中の階段教室は蒸し暑さがなく議論には最適だった。

(谷貝 勇)

### 8. MW03: 高分解能気候モデリングの発展

このワークショップは、高分解能気候モデリングの現状と課題について議論することを目的に、杉(気象研)の呼びかけにより開催された。発表は高分解能GCMの現状が7件、将来の計算機能力の増大に関連した目標、課題や新しい計算スキーム等が7件、地域気候モデルの現状が5件の計19件であった。

GCMについては、水平分解能10kmのモデルが気候研究に利用されはじめており(気象研, ECMWF, 米GFDL), さらに水平分解能5~10km相当を見込んだモデルが開発されようとしている(FRSGC, RIST, ECMWF)。モデルの高分解能化の恩恵の一例として、全ての気候モデルに共通して見られる冬極対流圏界面付近の低温バイアスが、高分解能化により改善されることが報告された(英気象局, 米GFDL)。

技術的な話題としては、全球で一様性の高い水平格子が組めるConformal cubic gridが複数のモデルで利用されており(豪CSIROほか), また、高分解能モデルの開発に当たっては、計算機上の計算負荷の均等化、データ移動、数値結果の可視化等の重要性が指摘された(米UCLA)。

地域気候モデルに関しては、気候再現実験などを行った例が報告され、その利点として少ない計算機資源で高分解能の計算ができ、地形性の降水や局地的な強風などの再現に有効であることが強調された(気象研, 環境研ほか)。

質疑応答や全講演終了後の討論は非常に活発であった。高分解能気候モデルは、その気候状態が実際のスケールに近い気象現象の集積であるという点で、低分解能気候モデルとは質的に違うと考えられる。参加者の多くはモデルを単に高分解能化するだけでは不十分で、同時にモデルの物理的、力学的特性への影響を理解していくことが必要であると認識しているようであった。たとえば、モデルの高分解能化にかかわる問題として、積雲対流、重力波、渦度のカスケード、乱流などがあげられた。高分解能気候モデルは文字どおり走り始めたばかりであり、今後のより一層の議論の必要性を感じたワークショップであった。

(江守正多・井上孝洋)

### 9. JSM24: 大陸域における水のフラックスと存在量

本シンポジウムはIUGG第2週初めに開かれた。部屋は大教室であったが聴衆も少なく、こじんまりとし

\* 編集委員会注: NRA といえば National Rifle Association of America (全米ライフル協会) がある。

た雰囲気であった。6月に北京でGEWEXの会議があったばかりであるし、気候モデル全般や水文・気象のグローバルデータ、地表面モデルなどのシンポジウムが別にあったため分散してしまったのだろう。日本からの発表が全体の1/3位を占めるが、「わざわざイギリスまで来て日本人の発表を英語で聞かずとも」などと思わず、当該分野における日本のプレゼンスの高さを誇りと思わねばなるまい。ともすれば、日本人は日本からの発表を軽んじるきらいがある。

発表内容でインパクトがあったのは、Rutgers大学(米)に移ったRobockらが、彼が収集構築した土壤水分データバンク観測値に基づいて、世界各地の7~9月の土壤水分がここ20~30年増加傾向にあることを示したものである。これに対しGFDLのGCMによると、温暖化に伴い北半球中高緯度夏の土壤水分は減少すると予測されており、今後のモデルとのつき合わせ、検討が期待される。その他、セッションの詳しい内容については<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~taikan/WebRep/1999/iugg1999/>を参照されたい。

ひとつ残念だったのは、このシンポジウムに限らず、今回のIUGGではポスターがあまり大事に取り扱われていなかったことである。1995年コロラドでのIUGGの際には、associationを問わずすべてのポスターが室内競技場のフロアで展示・発表され、夕方そこに行くビールが飲める、という趣向であった。ビールまでは簡単ではないにせよ、次回2003年札幌大会では、ポスター発表の取り扱いを手厚くした方が良いのではないかと思った。(沖 大幹)

#### 10. JSP25: 海洋/大気の変動性と予測可能性

JSP-25では、ENSO(コンビーナー: Davey, 英 Hadley Centre), Seasonal-Decadal (同: Stephenson, 仏 Paul Sabatier 大学), Decadal-Centennial (同: 見延・北海道大学) のセッションが行われた。大きな国際会議でありがちな「対象が絞りがきれていない」印象はなく、コンビーナーの構成力に敬意を表したい。以下、いくつかのセッションの報告を記す。(谷本陽一)

##### (a) 混合層及び大気海洋相互作用 (7月26~27日)

Alexander (米 Colorado 大学) が指摘したように、混合層の3次元的な熱収支という観点からSSTの変動が調べられ、気候に対する大気海洋相互作用の働きに注目した。今回は、大気海洋結合モデルを用いて、結合の有無によるSST変動の差が議論されたが、程度差こそあれ本質的に結果は変わらなかった。混合層

の熱収支の様相は季節変動が大きく、必ずしも海面の熱フラックスや水平熱輸送のみが重要ではないと考えられ、根田(京都大学)も簡単なアプローチによってこのことを確認した。また、海面の熱フラックスとして、気候値ではなく衛星データから得た観測値を用いることにより、季節変動と年々変動では卓越する過程が異なる可能性を示した。一方、Kim (韓国気象局) は観測に基づく海洋内部の熱収支計算から、混合層貯熱量に対する混合層下部におけるentrainmentの効果の過大評価を指摘した。大気海洋間の境界条件がモデルのpredictabilityにどう影響するのかという点について、Chu (米 Naval Postgraduate School) と Cassou (仏 CERFACS) が海洋と大気にそれぞれ重点をおき議論した。この観点からも、北大西洋振動(NAO)は注目されていた。(根田昌典)

##### (b) 大西洋の十年~数十年規模変動 (7月28~29日)

話題の中心だったNAOは古くから知られているものの、谷本(地球フロンティア)が示したように熱帯および北大西洋decadal SST変動にNAOが関わっていること、長期変動には1960年頃から顕著なdecadalの振動が見られることから、NAOの長周期変動を予測する実験が盛んになっている。NAOは欧州の冬季気温変動に大きく影響するために、欧州、特に英国Hadley Centreがこの動きをリードしている。実際、彼らはAGCMの長期アンサンブルランでNAOのdecadal変動を再現している(Rodwell *et al.*, 1999)。最近、Sutton (英 Reading 大学), Rodwell, Mehta (米 NASA) らがさらに実験を進め、北大西洋SSTはNAOのdecadal変動に影響を与えており、アンサンブルの数を増やせばシグナルは検出可能であることを強調した。しかし、Stephenson (仏 Paul Sabatier 大学) が紹介した17の気候モデルでは、NAOの再現性にかなりのばらつきがあり、その長期変動の予測可能性にはまだ課題が多い。他方、NAO強制に対する海洋の応答もHalliwell (米 Miami 大学) や Gladman (英 Reading 大学) がOGCM実験で議論した。さらに、渡部(東京大学), Jewson (英 Hadley Centre) は熱帯大西洋SSTがNAOに、ENSOが北大西洋SSTにインパクトをもつというGCM実験の結果を示した。中村(東京大学)は北太平洋からの波束伝播が北大西洋の大気変動の種になり得ることを示すなど、大西洋大気海洋系をとりまく多様なプロセスが今後さらに明らかにされてゆくと思われる。

(渡部雅浩, 谷本陽一)

(c) 太平洋の十年～数十年規模変動 (7月30日)

謝 (北海道大学) は理論的考察から、幅の広い太平洋では Walker 循環と赤道湧昇との相互作用で ENSO の様な赤道対称な海水温変動が卓越するのに対し、幅の狭い大西洋では風・蒸発・海水温フィードバックが働き、観測同様に赤道反対称の変動が卓越することを示した。Jin (米 Hawaii 大学) は、ENSO の長期変動が大気テレコネクションを介して中緯度に影響し、それが海洋ロスビー波応答をもたらす北太平洋亜熱帯循環系独自の長期振動を乱すという十年～数十年規模変動 (DICE) の理論モデルを提唱した。一方、Miller (米 Scripps 研) は、海洋ロスビー波とともに亜熱帯循環系による水温偏差移流の重要性も強調した。Venzke (独 MPI) は大気海洋結合モデル (CGCM) 出力を解析し、冬季の大気強制により亜熱帯北太平洋の混合層に形成され主温度躍層に沈み込んだ水温偏差が赤道には到達できないことを示し、Gu and Philander (1997) が提唱した DICE の機構の是非は今後は南太平洋で検証されるべきと指摘した。Schneider (米 Scripps 研) は CGCM 実験に基づき、貿易風の変化に伴う北赤道海流の強弱により、主温度躍層の等密度面で北からの冷たく塩分の薄い水の移流が変化し、それが赤道の東西海面水温傾度の偏差に反映されるという新型の DICE の存在を示唆した。見延は、1970年代後半の様な急激な気候遷移は、北太平洋にある20年と50年周期の2つの DICE モードの重畳によると主張した。また、中村は観測データを基に北太平洋中高緯度固有の DICE の存在を指摘し、それに伴う海洋亜寒帯前線の位置や強度、微細構造の系統的な変化を人工衛星からの水温データの解析に拠って示した。

(中村 尚)

(d) 十年～百年規模変動 (Dec-Cen) セッションの総括

Dec-Cen 全体の研究内容は、数値モデルと観測データの解析が主であり、理論モデルと古気候データ解析が若干発表された。数値モデルでは、既存メカニズムの検証・新規メカニズムの提案・hindcast が発表され、特に hindcast ではアンサンブル実験が主流になりつつある。データ解析の研究は、DICE の同定と、関連する諸量の変動解析が報告された。再解析データを対象とした解析や、比較的新しい手法である MTM-SVD によって時間・空間の自由度を有効に生かした解析は、今後多くの研究がなされるであろう。また、太平洋の数十年変動が経年変動や季節内変動に与える影響を同定した発表も複数紹介され、この面からも様々な取り

組みが行われることを予想させた。なお、観測自体を主体とした発表は無かったが、Levitus (米 NODC) がデータの救出とデジタル化の重要性を主張するなど、十年～百年時間スケールの研究において観測データをどのように取り込むかの問題が、改めて浮き彫りになった。Dec-Cen の研究全体の発展について言えば、従来はなるべく多くの観測シグナルを同定しさらにそのメカニズムを提案するという、アイデアを多く出すことが重要なブレインストーミングの段階であった。今後は、それらのアイデアがより精密な数値実験やデータ解析によって、厳しく検証されていくであろう。(見延庄士郎)

### 11. JSG28 : GPS による大気探査

本シンポジウムでは、2日間にわたって午前は口頭、午後はポスターによる、地上型、宇宙型 (電離層の研究も含む) の両 GPS 気象学の50件以上の研究発表が行われた。地上型 GPS 気象学のセッションでは、積雪やアンテナ特性などによる可降水量推定誤差の調査、移動体からの水蒸気量の推定といった基礎的・技術的研究のみならず、GPS 可降水量の準リアルタイム推定システムの開発・評価と数値予報への同化実験、トモグラフィ的手法による水蒸気の3次元分布の推定法の開発や、GPS 可降水量で捉えられた、ENSO や台風による水蒸気変動の研究等気候・気象学への応用、また GPS 観測網で得られる時空間的な水蒸気情報を利用した GPS や SAR 観測における測位誤差の解明や補正といった測地学的研究等、様々な分野に GPS 水蒸気情報が活用された発表が行われ、この分野の研究の活発さを示していた。イギリスが開催地のためか、ヨーロッパ各国での GPS 観測網を利用した可降水量推定 (特に数値予報等のための準リアルタイム解析法の確立) に関する発表が目をついた。一方、宇宙型 GPS 気象学では、太陽活動の活発化を反映してか、IGS の GPS ネットワークを利用した定常的な電離層のモニタリング等、電離層の話題が比較的多かった。掩蔽法に関する話題は思ったより少なかったが、米国の GPS/MET 計画から得られた全球気温データと各国機関の全球客観解析データとの比較評価など興味深い結果が紹介された。また、更に時空間分解能を高めることを狙った、野心的な COSMIC 計画の紹介も印象的であった。(大谷 竜)

## 12. JSM41: 全球モニタリングへの衛星観測の貢献

IAPSO と IAMAS, IAG, IASPEI, IAHS, IAVCEI との共催で, 上記のシンポジウムが行われた。コンビナーは, Ohring (米 NOAA) で「全球観測システムと国際共同」を担当し, 川村 (東北大学) が副コンビナーで「海洋モニタリング」を担当した。他の副コンビナーは, 「大気・気候モニタリング」, 「陸・雪氷圏モニタリング」を担当した。衛星搭載リモートセンシング・センサーによる観測は, 全球をカバーし, 運用期間も十分に延びたので, いまや地球環境や気候変化のモニターの役割まで果たしつつある。このシンポジウムは, 季節変化・経年変化から10年に及ぶ時間スケールの変動を観測するという観点から, 衛星観測の貢献を評価しようと言うものであった。つまり, 1) 地球環境/気候変動監視のための衛星観測に対する要求, 2) 地球システムの各コンポーネント (大気, 海洋, 陸域, 雪氷圏) と地球規模の強制力 (太陽・地球放射と人間活動) に対する観測結果, 3) G3OS (すなわち, GCOS, GTOS, GOOS) や CEOS と関連する衛星地球観測計画, に関する発表を募った。

各圏のモニタリングに先駆けて, 4人の招待講演者による G3OS に関する発表が行われた。まず, Stephens (米 Colorado 州立大学) が大気・気候観測において衛星観測が保持しなければならない特性を評価し, 次いで GTOS を代表して Cihar (カナダ リモートセンシングセンター) が全球陸域観測の戦略を披露した。GCOS を担当した Bretherton (米 Wisconsin 大学) は, 最終的な Goal の1つとして衛星観測とエンド・ユーザーとのリンクを強調した。Smith (豪気象局) は, 今立ち上がりつつある衛星観測を取り込んだ近未来海洋観測システムについて紹介した。

大気圏では, Chedin が TOVS pathfinder プログラムについて, また, Ohring が AVHRR の pathfinder プログラムで解析された結果について紹介した。長期間の大気や雲の情報が算定されており, これらのデー

タを使った解析を進める上でも, Chedin は日本の研究者との共同研究を望んでいた。Barrett (英 Bristol 大学) は衛星による降水観測についてのレビューを行い, TRMM の後継についての紹介もした。Adler (米 NASA/GSFC) のグループも衛星による降水観測について全球およびアマゾンでの結果について報告した。大物が多く顔を見せていたものの, 今後の方向に結びつくような議論は無かった。

海洋圏では10件の発表があった。招待講演者は, 石坂 (長崎大学) と Cheney (米 NOAA) で, それぞれ衛星海色観測と海面高度計観測の現状を紹介した。Kazmin (地球フロンティア) と川村が, 長期に蓄積された赤外 SST による海洋フロントの変動について, それぞれ10年スケールと短期変動予測の立場から論じた。可知 (NASDA) は, TRMM 搭載マイクロ波センサーによる海面水温推定の現状を紹介し, 新しい方向を示した。Coleman (豪 Tasmania 大学) が海面高度計と XBT によるオーストラリア海域の海洋モニタリングの現状を紹介した。Nerem と Nuth (共に米 Texas 大学) は, 測地学的な立場にたつて, 海面高度計技術の現状と新しい利用法についてそれぞれ発表した。

陸域では, 招待講演として, Armstrong (米 Colorado 大学) が積雪を, Jackson (米農務省) が土壌水分について講演し, それぞれの分野の包括的なレビューは参考になったが, いずれもアクティブマイクロ波には一言も触れず, 狭いマイクロ波リモートセンシングのコミュニティにも関わらず, 世界では相変わらずパッシブとアクティブではっきりグループ分けされていることを実感した。今後の計画の話題では, ADEOS-II と EOS-PM 搭載の AMSR が重要な位置を占めていたが, ESA が, 土壌水分と海洋塩分濃度観測を目的として, 2002~03年に計画している2D インタフェロメトリ<sup>11</sup>を用いた Lバンド<sup>12</sup>マイクロ波放射計観測計画 (SMOS 計画) を, 紹介用ビデオを上映して上手に宣伝していた。土壌水分観測にとって長年の念願である Lバンドのマイクロ波放射計が ESA によって phase B に移行したことは, NASA の HYDROSTAR<sup>13</sup>が行き詰まっている状況下において, 参加者の大きな期待を抱かせた。同時に, 堅実路線の Cバンド<sup>14</sup> AMSR でしっかりした成果を出しておくことの重要性を改めて認識した。

(川村 宏・小池俊雄・井上豊志郎・可知美佐子)

<sup>11</sup> 2D インタフェロメトリ: 2つのアンテナとその相対距離から位相差を計算し, 観測データの分解能を上げる手法。

<sup>12</sup> Lバンド: 周波数帯 1.0~2.0 GHz。

<sup>13</sup> HYDROSTAR: NASA の Lバンド放射計。全球土壌分布の計測が目的だが, 打ち上げは未定。

<sup>14</sup> Cバンド: 周波数帯 4.0~8.0 GHz。AMSR は周波数帯 6 GHz を観測する。

## 略語一覧

- ACE Aerosol Characterization Experiment
- ADEOS Advanced Earth Observing Satellite 環境観測技術衛星「みどり」
- ADEOS-II Advanced Earth Observing Satellite-II (宇宙開発事業団が2000年に打ち上げ予定の地球観測衛星)
- AGCM Atmospheric General Circulation Model
- AMIP Atmospheric MIP
- AMSR Advanced Microwave Scanning Radiometer 高性能マイクロ波放射計
- AVHRR Advanced Very High Resolution Radiometer 改良型超分解放射計
- CEOS Committee on Earth Observation Satellites 地球観測衛星委員会
- CERFACS Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (European Centre for Research and Advanced Training in Scientific Computation)
- CGCM Coupled GCM 大気海洋結合モデル
- CIRES Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (米国・NOAA と Colorado 大の共同研究施設)
- CMIP Coupled MIP
- COSMIC Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate
- CSIRO Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation オーストラリア国立科学技術研究機構
- Dec-Cen Decade-to-Century-Scale 十年～百年規模変動
- DICE Decadal/Interdecadal Climate Event 十年～数十年規模変動
- ECMWF European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ヨーロッパ中期天気予報センター
- ESA European Space Agency 欧州宇宙機関
- ENSO El Niño/Southern Oscillation エルニーニョ/南方振動
- EOS-PM Earth Observing System PM (NASA が2000年12月に打ち上げ予定の地球観測衛星)
- ERA ECMWF Re-Analysis
- FIRE First ISCCP Regional Experiment 第一次 ISCCP 地域実験計画
- FROST First Regional Observing Study of the Antarctic Troposphere
- FRSGC Frontier Research System for Global Change 地球フロンティア研究システム
- GCM General Circulation Model 大循環モデル
- GCOS Global Climate Observing System 全球気候観測システム
- GCSS GEWEX Cloud System Study GEWEX 雲システム研究
- GEWEX Global Energy and Water Cycle Experiment 全球エネルギー-水循環実験観測計画
- GFDL Geophysical Fluid Dynamics Laboratory 地球流体力学研究所 (NOAA)
- GOOS Global Ocean Observing System 全球海洋観測システム
- GPS Global Positioning System 全球測位システム
- GPS/MET Global Positioning System/Meteorology
- GTOS Global Terrestrial Observing System 全球陸上観測システム
- IAG International Association of Geodesy 国際測地学協会
- IAHS International Association of Hydrological Sciences 国際水文学協会
- IAMAS International Association for Meteorology and Atmospheric Sciences 国際気象学・大気科学協会
- IAPSO International Association for the Physical Sciences of the Ocean 国際海洋物理学協会
- IASPEI International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior 国際地震学・地球内部物理学協会
- IAVCEI International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior 国際火山学・地球内部化学協会
- IGS International GPS Service
- INDOEX Indian Ocean Experiment
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル
- ISCCP International Satellite Cloud Climatology Project 国際衛星雲気候計画
- IUGG International Union of Geodesy and Geophysics 国際測地学地球物理学連合

- LLNL Lawrence Livermore National Laboratory  
ローレンス・リバモア国立研究所 (米国)
- MERCURE Modelling European Regional Climate, Understanding and Reducing Errors
- MIP Model Intercomparison Project
- MPI Max Planck Institute マックスプランク研究所
- MTM-SVD Multitaper Method-Singular Value Decomposition
- NAO North Atlantic Oscillation 北大西洋振動
- NASA National Aeronautics and Space Administration 米国航空宇宙局
- NASDA National Space Development Agency of Japan 宇宙開発事業団
- NCEP National Center for Environmental Prediction 国立環境予測センター (米国)
- NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気庁
- NODC National Oceanographic Data Center 国立海洋データセンター (米国)
- OCTS Ocean Color and Temperature Scanner 海色海温走査放射計 (ADEOS 搭載)
- OGCM Oceanic General Circulation Model 海洋大循環モデル
- PIRCS Project to Intercompare Regional Climate Simulations
- POLDER Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances 地表反射光観測装置 (ADEOS 搭載)
- RACE Radiation, Aerosol and Cloud Experiment
- RIST Research Organization for Information Science and Technology 財団法人高度情報科学技術研究機構
- SAR Synthetic Aperture Radar 合成開口レーダー
- SHEBA Surface Heat Budget of the Arctic Ocean
- SIMIP Sea-Ice MIP
- SMIP dynamical Seasonal prediction MIP
- SMOS Soil Moisture and Ocean Salinity
- SST Sea Surface Temperature 海面水温
- TARFOX Tropospheric Aerosol Radiative Forcing Observation Experiment
- TOGA-COARE Tropical Ocean-Global Atmosphere Programme 熱帯海洋地球大気計画/海洋一大気応答研究計画
- TOVS TIROS Operational Vertical Sounder タイロス実用鉛直測定器
- TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission 熱帯降雨観測衛星 (1997年11月に打ち上げられた日米共同のミッション衛星)
- UMIST University of Science and Technology in Manchester
- XBT Extendable Bathythermograph 投下式中層流測定装置
- IUGG99におけるシンポジウム, ワークショップのコード**
- JSM, JSP, JSG: Inter-Association Symposia (Workshop). 3文字目は主催学協会を示し, M: IAMAS P: IAPSO G: IAG.
- MI: IAMAS Inter-Commission Symposia
- MC: IAMAS Commission Symposia
- MW: IAMAS Workshop

#### 参 考 文 献

- Gu, D. and S. G. H. Philander, 1997: Interdecadal climate fluctuations that depend on exchanges between the tropics and extratropics, *Science*, **275**, 805-807.
- Huschke, R. E., 1969: Arctic Cloud Statistics from 'Air-Calibrated' Surface Weather Observations, RAND Corporation Memorandum RM-6173, Santa Monica, California, P.79.
- Rodwell, M. J., D. P. Rowell, and C. K. Folland, 1999: Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate, *Nature*, **398**, 320-323.
- Twomey, S., 1959: The nuclei of natural cloud formation, Part II: The supersaturation in natural clouds and the variation of cloud droplet concentration, *Geofis. Pura. Appl.*, **43**, 243-249.
- Yamanouchi, T., K. Suzuki, and S. Kawaguchi, 1987: Detection of clouds in Antarctica from infrared multispectral data of AVHRR, *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 949-962.