

第23回国際測地学・地球物理学連合総会

(IUGG2003・札幌) の報告 (2)*

望月 崇^{*1}・谷本 陽一^{*2}・東塚 知己^{*3}・鈴木 理映子^{*4}
 宮坂 貴文^{*5}・池田 元美^{*6}・柳 哲雄^{*7}・森 厚^{*8}
 新野 宏^{*9}・岩山 隆寛^{*10}・伊賀 啓太^{*11}・秋吉 英治^{*12}
 増田 耕一^{*13}・宮崎 真^{*14}・岡本 創^{*15}・對馬 洋子^{*16}
 河本 和明^{*17}・竹村 俊彦^{*18}・須藤 健悟^{*19}・本田 明治^{*20}
 荒井 美紀^{*21}・坂本 圭^{*22}・馬淵 和雄^{*23}・高橋 けんし^{*24}
 橋口 浩之^{*25}・村上 茂教^{*26}

1. 大気と海洋の十年から百年スケール変動 (JSP01: The Decadal to Centennial Variability of the Ocean and Atmosphere)

初日から3日間行われたJSP01の中心的な話題は太平洋と大西洋を舞台とした海洋に見られる十年スケール変動であったが、より長い時間スケールやトレ

ンドを対象にした発表、大気や陸面に見られる変動を扱った発表も見られた。招待講演7件を含めて海外の研究者による講演が大半を占め、キャンセルされた講演がほとんどなかった口頭発表は言うまでもなく、会場がやや離れていたポスター会場においても常に多くの聴衆を集めて大盛況であった。これはコンビーナー

* Report on the XIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG2003) (2).

*1 Takashi MOCHIZUKI, 地球フロンティア研究システム。

*2 Youichi TANIMOTO, 地球フロンティア研究システム/北海道大学地球環境科学研究科。

*3 Tomoki TOZUKA, 東京大学大学院理学系研究科。

*4 Rieko SUZUKI, 東京大学大学院理学系研究科。

*5 Takafumi MIYASAKA, 東京大学大学院理学系研究科。

*6 Motoyoshi IKEDA, 北海道大学大学院地球環境科学研究科/地球フロンティア研究システム国際北極圏研究センター。

*7 Tetsuo YANAGI, 九州大学応用力学研究所。

*8 Atsushi MORI, 東京学芸大学教育学部地学科。

*9 Hiroshi NIINO, 東京大学海洋研究所。

*10 Takahiro IWAYAMA, 神戸大学大学院自然科学研究科。

*11 Keita IGA, 九州大学応用力学研究所。

*12 Hideharu AKIYOSHI, 国立環境研究所。

*13 Kooichi MASUDA, 地球フロンティア研究システム。

*14 Shin MIYAZAKI, 東京大学生産技術研究所。

*15 Hajime OKAMOTO, 東北大学大学院理学研究科。

*16 Yoko TSUSHIMA, 地球フロンティア研究システム。

*17 Kazuaki KAWAMOTO, 総合地球環境学研究所。

*18 Toshihiko TAKEMURA, 九州大学応用力学研究所。

*19 Kengo SUDO, 東京大学気候システム研究センター。

*20 Meiji HONDA, 地球フロンティア研究システム。

*21 Miki ARAI, 東京大学気候システム研究センター。

*22 Kei SAKAMOTO, 東京大学気候システム研究センター。

*23 Kazuo MABUCHI, 気象研究所環境・応用気象研究部。

*24 Kenshi TAKAHASHI, 名古屋大学太陽地球環境研究所。

*25 Hiroyuki HASHIGUCHI, 京都大学宇宙電波科学研究センター。

*26 Shigenori MURAKAMI, 気象研究所気候研究部。

である見延助教授 (北海道大学) の積極的な働きかけの賜物であり、多大な貢献に対してこの場を借りて感謝したい。

太平洋では、Levitus (米・NOAA) が全球の上層水温場のデータ解析から示したように、いわゆる Pacific Decadal Oscillation (PDO) が最も卓越する十年スケール変動である。様々なレベルの大気海洋結合モデルを用いて行われてきたこれまでの諸研究に対する Pierce (米・カリフォルニア大学) の総括では、変動メカニズムとして中緯度での海洋から大気へ影響のよりも、むしろ大気の stochastic forcing (確率的強制) の重要性が強調された。しかしながら今回のセッションでは、特に黒潮統流域の水温偏差に関する研究が数多く紹介された。これは、大気を不安定化させるほどの強い結合があるかどうかはモデル間で見解に違いが見られているものの、大規模な風応力場の変動に対する海洋の遅延応答が、振動 (oscillation) として負のフィードバックを与える大気海洋結合過程の有力な候補として考えられていることに関連している。

黒潮統流域の熱収支について Kelly (米・ワシントン大学) は西岸強化流による熱輸送の重要性をデータ解析からの確かに示し、望月 (FRSGC) は明瞭な季節的サイクルについて簡易モデルを用いて調べた。また中緯度での傾圧 Rossby 波伝播について、Taguchi (米・ハワイ大学) は高解像度海洋モデルを用いて非線形効果の重要性を指摘し、Qiu (米・ハワイ大学) はその西方伝播速度に強い緯度依存性を見いだして、付随する黒潮統流域の変動による水温偏差には南北方向の非同時性があることを示した。いずれの結果も、黒潮統流域におけるフィードバックの可能性を支持するものであり、また同時により高解像度の海洋モデルを用いた研究が今後重要であることを指摘するものであった。このことは、モデル解像度よりもかなり大きな空間スケールをもつ十年スケール変動であっても、モデルのなかで表現される変動はその解像度に強く依存することを示した Dawe (米・ワシントン大学) の比較実験結果とも整合性があった。

また熱帯域に注目して、White (米・カリフォルニア大学) は遅延振動子モデルを用いて西岸での Rossby 波反射について議論し、Jin (米・ハワイ大学) は簡易結合モデルを用いて ENSO 変動の非線形相互作用が十年スケール変動を生む可能性を指摘した。そのほか、未だ変動メカニズムについて不明なところが多い 50~70年程度の時間スケールの変動に対して、Dong

(米・ウィスコンシン大学) は北太平洋中緯度の大気海洋結合過程によって説明され得ることを結合モデルから示した。また見延 (北海道大学) は20年周期変動と stochastic forcing を組み合わせた簡易遅延振動子モデルによって新たな変動メカニズムを提唱した。このようなより長い時間スケールの変動についても近い将来いくつかの仮説が提唱され、その検証が進められていくものと期待される。

一方、大西洋を舞台としては、北大西洋振動 (NAO) あるいは現在では北極振動 (AO) と呼ばれている準十年変動に関する研究が前回の IUGG に引き続き多く発表されたのに加えて、今回はもう少し時間スケールが長い数十年~百年の変動を担う大西洋の Meridional Overturning Cell (MOC) に関する研究も数多く発表された。未だ決着がついていない NAO/AO や大西洋の種々の長期変動が議論される別セッションが存在するなかでも、本シンポジウムは話題が絞られてよく編成されていた。

MOC についてはそれ自身が振動子 (oscillator) であり、それを駆動する外力が重要である。Dickson (英・CEFAS) が指摘したように、環大西洋域での水循環の変化、あるいは北極海との水塊交換などによってもたらされる大西洋における塩分分布が重要であるという研究が目立つ印象をもった。これらの指摘自体は特に新しいものではないが、現段階としては数値モデルの中で何が起きているのかを丹念に調べるところにあるように思われる。

熱帯起源の長周期変動について谷本 (北海道大学) は熱帯大西洋における水温傾度変動に関わる亜熱帯の層雲の役割を指摘した。熱帯からのテレコネクションとして励起された冬季の NAO が続く冬の NAO と関係を持つことについて、Christophe (米・NCAR) がニューファンドランド付近で夏季に形成される海面水温偏差とそれから NAO への影響を数値モデルの解析によって指摘した。これは中緯度海洋の大気への影響を示唆するもので非常に興味深い。一方、Hurrell (米・NCAR) は熱帯の南北水温傾度の変動が重要であると総括しながらも、むしろ遠く離れた太平洋やインド洋の水温偏差による寄与が大きいと結論づけた。

(望月 崇・谷本陽一)

2. 大気海洋相互作用の予測可能性の新しい視点 (JSP02: New Perspectives of Coupled Tropical Ocean-Atmosphere Dynamics and

Predictability)

7月2日の午後から7月4日までの合計2日半にわたって開催され、シンポジウムの進行は山形(東京大学/FRSGC)らによって行われた。塩分成層の重要性、インド洋の大気海洋相互作用現象、大西洋における半球間の海面水温傾度、亜熱帯セルと赤道での変動の相互作用、季節内変動、様々なスケール間の相互作用などを含む大気海洋相互作用の新しい視点からの研究の発表を目的としたシンポジウムであった。今回のシンポジウムを通して、特に、熱帯域の海面水温や大気の不連続加熱の変動、及び、熱帯と亜熱帯との相互作用の予測可能性について、多くの知見が得られたと考えられる。太平洋、インド洋、大西洋の各海盆のセッションで行われた発表の要旨は以下の通りである。

(1) 太平洋

7月2日の午後と3日の午前には、主に太平洋の様々なスケール間の相互作用について発表が行われた。中でも、エルニーニョ/南方振動(ENSO)に関して、長期変動との相互作用(Philander)、中緯度との相互作用(野中, IPRC/FRSGC; Sun, 米・NOAA-CIRES)、季節変動との相互作用(東塚・東京大学)について非常に興味深い新しい視点からの研究発表が行われた。また、鬼頭(気象研究所)は山の高さが、ENSOの振幅に与える影響について大気海洋結合モデルを用いて調べた研究成果を報告した。ENSOの発生に関しては、塩分場(Maes, 仏・IRD)、高次鉛直ケルビン波(Chu, 米・海軍大学院)、西風バースト(Lengaigne, 仏・LODYC)の重要性が示された。最近発生した2002年のエルニーニョの発生から減衰までの過程や2003年の熱帯域の展望については、Lagerloef(米・Earth and Space Research)からの報告があった。さらに、他の海盆との相互作用と言う観点では、Kang(韓国・ソウル国立大学)がENSOとインド洋の相互作用、Spencer(英・レディング大学)がインド洋や大西洋へのテレコネクションについて発表した。ENSO以外でも、興味深い発表がいくつか行われ、特に、轡田(東海大学)とFukata(東海大学)からは、最新の衛星データ等を用いて得られた赤道域の季節変動や季節内変動に関する新しい結果が紹介された。また、Godfrey(オーストラリア・CSIRO)、Seidel(米・テキサス工科大学)、Guilyardi(英・レディング大学)からは、新しいモデリングの試みが示された。

(2) インド洋

7月3日の午後と4日の午前には、本シンポジウム

のメインであるインド洋に関連する気候変動について研究報告が行われた。特に、熱帯ダイポールモード現象(IOD)が最も多かった。Hendon(オーストラリア・BMRC)は結合モデルを用いてIODの熱収支解析を行い、IODの成長は大気海洋相互作用の正のフィードバックによるものであると説明した。Behera(FRSGC)はIODがENSOとは独立した現象であることを示した。さらに、IODと遠隔地とのテレコネクションについては、Saji(米・IPRC)、Karumuri(FRSGC)、Guan(FRSGC)によって発表がなされた。以上から、世界の気候変動を考える上でのIODの重要性を深く印象づけられた。その他の大気海洋相互作用に伴う局地的な現象についての発表も多く見受けられた。例えば、Li(米・ハワイ大学)のTBO、鈴木(東京大学)の亜熱帯ダイポールモード現象、Fu(米・IPRC)の季節内変動などである。またWajsowicz(米・メリーランド大学)からはモデルによるIODの3か月予報に成功したという報告がなされ、Masson(FRSGC)からはインド洋の変動における塩分場の重要性が示された。

(3) 大西洋

7月4日の午後は大西洋の熱帯海洋に関する研究発表に充てられた。中でも、奥村(米・ハワイ大学)と岡島(同)の発表は海陸分布の南北非対称性が大気にも海洋にも大きな影響を与えることを再認識させるもので興味深かった。奥村は季節進行におけるCold tongueとITCZの間のフィードバック関係について大気モデルを基に調べ、海陸分布を反映した加熱分布がフィードバックのトリガーとなると結論づけた。岡島は赤道を挟んだ海面水温変動の南北ダイポールがWind-Evaporation-SSTフィードバックによって励起されることを大気海洋結合モデルを基に調べ、海洋東岸が経度線に対して角度を持っている場合にはダイポールの節の位置が北上することも示した。また、Chang(米・テキサス工科大学)は、ブラジル北東部における予測可能性についての発表を行った。

(東塚知己・鈴木理映子・宮坂貴文)

3. 北極環境の急激な変化 (JSP04: Arctic Environmental Change)

本シンポジウムは、発表申し込み44編のうち、5編の取下げがあったのみで、ほとんどの部分に多くの参加者があり、また議論も活発に交わされた。特に20世紀における北極環境の急激な変化とその将来予測、お

よび生物化学過程と物理過程の相互作用に関して、最新の情報を交換することができた。また米国参加者を中心として大型プロジェクトの紹介もあり、これからの国際連携を進める上でお互いの動きを効果的に利用することの重要性を認識した。以下にブロック毎の概要を述べておく。

多機関が連携したプロジェクトの紹介では、北極圏の気候変動、人為起源温暖化、汚染物質による動植物への影響など、非常に多様な学問分野を含む米国の北極環境研究計画 (SEARCH) が注目された (Morison, 米・ワシントン大学, ほか)。NSF, NOAA などへの申請を予定し活動が続いているところであるが、国際協力も重要な要素としている。現在実施中の米国 NSF プロジェクト (CHAMP) では、水循環を炭素循環や生態系など環境変化の鍵としてとらえており (Vorosmarty, 米・ニューハンプシャー大学), この視点は多分野の共同研究に有効であろう。データ管理は品質の保証まで含めるべきである (Moore, 米・UCAR)。日本発のプロジェクトでは、国立極地研究所のエアロゾルと雲・水蒸気を中心とした大気観測 (山内, 極地研究所), JAMSTEC が推進している北極ブイによる海洋構造の観測 (菊地, JAMSTEC), 地球フロンティアにおける全球気候モデルの極域部分の改善 (小峰, 地球シミュレーターセンター) が発表され、日本独自の焦点をあてて計画を立てる重要性が確認された。

モデル研究は海水海洋モデルの開発と検証が数多く発表された。既存の海水モデルと海洋モデルを結合して、さまざまな海域や特定された重要なプロセスに応用することは、地道だが必要な努力である。北極海海水の季節変化を大気データ駆動によって再現したこと (Wang, IARC ほか), パフィン湾の海洋循環を流速計データで検証したこと (Tang, カナダ・BIO), North Water ポリニアには北極海からの海水流入が大きな影響をもっていること (Arbetter, 米・コロラド大学), 北極海陸棚斜面上の海底混合層パラメータ化の重要性 (高橋, FRSGC), 効率的な計算を可能にする有限要素法をもちいた非静水圧モデルの開発 (北内, FRSGC) が報告された。観測研究としては、北極点の海水厚さと開水面積の季節変化 (Moritz, 米・ワシントン大学), および海水下混合層の夏期昇温 (McPhee, 米・McPhee Research Inc.) が今後のモデル検証に有効であると示された。モデリングと観測の結果を客観的に評価する道具であるデータ同化法をバレンツ海に応用し、漂流ブイ速度と水塊分布データの双方に最も整合性のある

場を提示した (Panteleev, FRSGC)。

本シンポジウムの主眼である多分野の研究交流に参加した地球化学・生物学研究者から次の発表を受けた。化学物質はそれ自体の化学変化に伴う役割に加えて、物理プロセスを解明するためのトレーサーとしても有効であろう。溶存有機物が河川水分布を示す指標である (Gueguen, IARC) のは事実だが、いっぽう生物活動による変化を量的に考慮する必要も強く示唆された (田中, IARC)。北極圏の温暖化が人為起源温暖化をさらに加速させる危険性が指摘される時、温室効果気体の挙動を理解する一環として、海水を通しての二酸化炭素フラックス (Semiletov, IARC), 融解する凍土からのメタン放出 (Brouchkov, 北海道大学北ユーラシア・北太平洋地域研究センター), 森林火災後の炭素固定プロセスの復活 (Kim, IARC ほか) は現場観測の重要性を顕著に示すものであった。

生物活動は化学物質を通して環境に影響を与えることが多い。海水に付随して発達するアイスアルジーは、これまでの予想より二酸化炭素を多く吸収しているかもしれない (池谷, 東京大学ほか)。大気中に放出すると雲の核となる硫黄化合物は、プランクトン活動のため北極海水中に大量存在するが、低温など極域に特有な条件によって大気に出る量は少ない (兎束, IARC)。ただし温暖化進行によって変わることもあり、そのモデリングは必須である (Deal, IARC)。安定同位体量を分析したところ、極域海洋の植物プランクトンは、海水付近で栄養塩を有効に利用して生産性を高めていることが判明した (Shin, IARC, Guo, IARC ほか)。

気候変動に関するデータ解析とモデリングは近年急速な進展を見せているが、特に信頼できるデータの多い最近40年程度について、多くの発表を受けた。海水分布の解析、および大気データによって駆動する海水海洋モデルでは、シベリア陸棚の海水経年変動をモデルで再現したこと (Armstrong, 米・マックギル大学), 90年代の海水の変化は変形した厚い海水が減ったこと (Makshatas, IARC), 近年の北極海昇温はバレンツ海を経由した大西洋水の効果が大きいこと (Gerdes, 独・AWI), シベリア沖を通運に利用する可能性が高まっていること (Brigham, 米・北極圏研究委員会) が報告された。海洋内部の状態はより少ないデータによる確認しかできないので、90年代の異常な高温高塩化は2000年以降に減衰しながらも続いていること (菊地, JAMSTEC), ロシアの化学データを見るとカナダ海盆の水塊上昇下降が北極振動の正負に対応しているこ

と(池田, 北海道大学), カナダ海盆に流入する北極陸棚水が北極振動の正負にตอบสนองして増減すること(Steele, 米・ワシントン大学)は, 貴重なデータに基づいてようやく明らかにされた観測事実である。

北極海の海水海洋以外に現れる最近の変化に関しては, 夏季の高温によって氷河の融解が起きていること(Nagornov, ロシア・モスクワ工業物理大学), シベリア河川流量の変動が陸棚環境に影響を与えていること(Berezovskaya, ロシア国立水文気象大学), 日本海北部の水塊構造は北極振動に起因していること(見延, 北海道大学/FRSGC), 大気から魚類・哺乳類に到るまで同期した変動を示していること(Overland, 米・NOAA/PMEL)が, 観測事実に基づいて示された。大気変動にตอบสนองする海水海洋のモデリングに比べ, 複雑な変動を含む大気の陸海面状態へのตอบสนองをモデルで示すことは困難であるが, 夏季のシベリア上の大気パターンを再現するアンサンブル計算を開始した(松村, FRSGC)。

20世紀全般の復元実験と21世紀の予測は, データで確認することが難しい。もっとも確実な情報源である海面気圧データに基づき, 最近50年の再解析データを拡張して, 20世紀の海水海洋変動を再現したところ, 北極海表層水の大西洋への流出に続いて海水が増加していることが示された(Koerberle, 独・AWI)。地球温暖化の進行を予測する試みは全球モデルで進められているが, 極域の特殊性は個別に検証されるべきである。その中で海水の力学過程が海水分布と大気への熱輸送を変え, 大気パターンに影響がでることを示し(Hutchings, IARC/米・アラスカ大学), また温暖化に伴う蒸発降水量の変化が海水を増やすことを見出した(Zhang, IARC)。

以上の研究発表から, 「20世紀末に至る顕著な変化は, 人為起源温暖化の進行を示しているのか」, 「化学データは物理過程解明に役立つのか」という問いかけがされたと受け止めている。(池田元美)

4. 沿岸海域における非定常過程による流速変動・物質輸送変動 (JSP08: Coastal Processes and Storm Surge)

本シンポジウムは沿岸海域における嵐などによる非定常的な過程による流速変動や底質を含む物質輸送変動とその役割に関する世界中の最新の知見を紹介しあつて, 今後の研究課題を明らかにするために, IAPSO・IAMAS・LOICZによって7月9日(水)に

札幌厚生年金会館で開催された。当初, 招待講演2題, 口頭発表19題, ポスター発表2題が予定されていたが, 取り消しが多く, 結局招待講演1題, 口頭発表12題での開催となった。

午前中のセッションでは, Saraf (エジプト・アレキサンドリア大学) が3次元モデルを用いた地中海エジプト沿岸海域での吹送流の季節変動計算結果, 馬込(愛媛大学) が瀬戸内海周防灘における洪水時の河川ブルームの挙動に関する数値実験結果, Yerubandi(カナダ・国立水研究所) がオンタリオ湖における夏季と冬季の移流・拡散過程の変動に関する観測結果, Stanev(独・オルデンバーク大学) がドイツ・ワッデン海の潮汐入り江の海水交換・底質輸送特性, Nadimikeri(インド・スリヴェンカテスワラスリベンカトラ大学) がインド東岸プリカ湖への栄養塩供給機構の季節変動, 荒井(広島大学) がセミスペクトルモデルによる潮流計算, に関する発表を行った。

午後のセッションでは Jago (英・ウェールズ大バングー校) がイギリス南西部干潟における潮流による底質輸送機構, Sharaf がエジプト北海岸における底質輸送の季節変動観測結果, Pelinovsky (ロシア・応用物理研究所) がエッジ波の増幅に関する理論計算, Storch(ドイツ沿岸研究所) が北海における40年間の高潮・高有義波統計, 高野(気象庁) がウエーブセットアップ効果を考慮した高潮モデル, Wang(中国科学院海洋研究所) が中国における LOICZ 関連研究, Chen(米・マイアミ大学) が日本海の海面波への風・潮汐・高潮の影響に関する数値実験結果, に関する発表を行った。

本シンポジウムは取り消しが多く, かつ, 当初の狙いであった嵐などの非定常過程が物質輸送などの沿岸海洋過程に及ぼす影響を直接論じた研究発表がなかったことは残念であった。しかし, このことは同時に, 嵐などの非定常過程による物質輸送の直接観測の高い困難性を物語っていて, 今後この分野における研究を大いに進める必要があることを示唆している。

(柳 哲雄)

5. 回転成層流体の力学 (JSP10: Rotating and Stratified Fluids)

初日の7月8日冒頭の招待講演で, Read (英・オックスフォード大学) は, グルノーブルの直径13mの大型回転水槽を用いた流体実験の報告を行った。底面が円錐形の回転水槽内の密度一様の流体に, 上から塩水を散布し, 強制的に鉛直対流を起こしたところ,

Rhines 効果により外惑星に見られるような帯状流が形成された。奥野 (九州大学応用力学研究所) は、水平発散の効果がある β 平面上の地衡流乱流を1.5層モデルの数値計算で調べ、Rhines スケールが変形半径より大きく、発散が効く場合には、流れは等方的になり、Rhines 効果が抑制されることを示した。

谷口 (北海道大学) は、赤道付近の成層圏界面付近に見られるパンケーキ構造に関連して、 β 面上の浅水系の東西流の線形安定性を調べた。その結果、あるパラメータ範囲では、卓越東西波数がゼロでなく、この不安定性には連続モードが関係していることが示唆された。伊賀 (東京大学) は、金星大気を想定して、4通りの帯状流の安定性を浅水系で調べ、線形不安定モードの成因を波の相互作用の観点から明らかにした。不安定モードによる角運動量の南北輸送は、スーパーローテーションの維持と整合的であった。Schaeffer (仏・LGIT) は、差分回転する2つの球殻に挟まれた流体運動を数値実験と室内実験で調べた。差分回転が大きな場合には軸対称な流れは順圧不安定を生ずる。臨界状態付近では不安定擾乱の水平スケールは小さいが、不安定度が大きくなると、曲率の影響により擾乱は流体全体に広がることを示された。

ポスターセッションは参加取り消しと口頭発表へ回った発表が多く、残念ながら閑散とした雰囲気であった。内本 (北海道大学) は、南極周辺の周極流に関連して、簡単な海底地形を持った β チャネルの海洋上に、一様な風応力を与えた場合の造波抵抗を調べ、中程度の強制力の場合には、2種類の定常解があり、造波抵抗は必ずしも平均流速には比例しないことを示した。久保川 (北海道大学) は、局在化したダイポール型風応力に対する海洋の非線形応答を検討し、応力の水平スケールが外部変形半径よりも大きい場合、順圧モードと第1傾圧モードが作る流れ場は、第2傾圧モードのロスビー波の伝搬を妨げ、ダブルジェット構造を形成することを示した。

石田 (神戸大学) は、エクマンポンピングによる渦の減衰について、最近提案された4通りの方程式系について詳細な検討を行い、Inviscid Balanced 近似についての幾つかの問題点を指摘した。Flor (仏・LEGI) は、成層流体中で翼を鉛直方向を回転軸として回転させた時に見られる不安定 (Helical wave instability) について室内実験で調べた。 (森 厚)

7月9日は最初に Killworth (英・サザンプトン海洋

学センター) が招待講演を行い、衛星による海面高度の観測で見られる惑星波の位相速度が、線形理論に比べて倍近く速いのは、海底地形と平均流の効果が大きいことを指摘した。Mak (米・イリノイ大学) は β 平面上の2層準地衡風モデルを用い、ストーム・トラックが、局所的に強化される西風ジェットのもとでの不安定波束の共鳴的な相互作用によって生ずるという仮説を提示した。また、西風ジェットが強くなる真冬に傾圧波の活動が弱くなる事実 (Nakamura, 1992) を barotropic governor 効果により説明したが、会場からは観測事実と整合的でないとの指摘があった。杉本 (京都大学) は f 面の浅水系の数値実験において、従来の地衡風調節では予期されない重力波が間歇的に放出されることを見つけ、その挙動が線形安定論から予想される水平シア流の重力波不安定とも異なることを指摘した。von Storch (独・ハンブルク大学) は簡単な dry の全球モデルで極と赤道の温度差を変えたときの傾圧波の振舞について報告した。

Wake (オーストラリア・西オーストラリア大学) は、円筒に満たされた2層流体の半円の部分だけ層厚を変えた場合の地衡風調節を調べた。初期に現われる double gyre は線形論でよく記述されるが、その後は非線形レジームに移行し four gyre が現われるなどの特徴が見られた。Reszka (カナダ・トロント大学) は傾いた海底の効果も含むフロントモデルに生ずる傾圧不安定に関する数値実験の結果を報告した。Stegner (仏・IPSL) は非線形地衡風調節を室内実験で調べた。底の空いた円筒に閉じ込められた真水を塩水で満たされた容器の中で開放するとき、高度場はほぼ Rossby の理論とよく一致するが、シア不安定などの3次元運動により運動エネルギーは半分程度失われるということであった。Boyer (米・アリゾナ州立大学) は軸対称な大陸棚斜面上の海流の安定性を調べるため、成層流体のスピン・アップ (ダウン) により底面地形に相対的な流れを室内実験で作り出し、浮力振動数とコリオリ係数の比及びロスビー数に対する安定性の変化を調べた。穂積 (京都大学防災研究所) は回転成層流体中の3次元的な山に気流が当たったときに、風下側にできる流れの形態とその機構を数値実験によって調べて報告した。

Swater (カナダ・アルバータ大学) は粘性のある高密度水が斜面を流下するときの不安定性を議論した。相木 (FRSGC) は、地中海から大西洋に流れ出した高温高塩の水が Meddy と呼ばれる渦を作り出す過程を

数値実験によって調べ、渦の形成に半島の存在と岸近くの東向きジェットが重要なことを示した。Sutherland (カナダ・アルバータ大学) は、回転円筒水槽の円錐状の底面から同心円状に放出した密度の大きな流体が生み出す軸対称流の安定性を調べた。Sommeria (仏・LEGI) は2層流体の地衡風調節とこれに伴う傾圧不安定波を室内実験で調べ、その結果を海洋のデータ同化のモデル研究として使う試みを示した。Sutherland (カナダ・アルバータ大学) は2層流体の中間の密度を持った流体が2層流体の境界面に貫入する過程を室内実験により調べた。

増田 (九州大学応用力学研究所) は、質量保存と圧力の連続だけを考慮した新しいアイランドルールを提案した。野口 (東京大学海洋研究所) は拡散型二重拡散対流により、安定成層流体で自発的に層構造が形成される機構を解明した。森 (東京学芸大学) は、回転系の非線形水平対流の時間発展と定常解の特性を、非回転系の非線形相似解に基づいて明らかにした。新野 (東京大学海洋研究所) は非線形のヒートアイランド循環の室内実験や数値実験に見られる2つのレジームの成因が、上記相似解に基づいて理解できることを示した。吉川 (九州大学応用力学研究所) は回転流体中で水平シアを持った熱対流問題において、過渡的に現われる transverse mode の形成機構を明らかにした。

(新野 宏)

7月10日は、17件の講演が行われた。話題の内訳は、Diapycnal mixing など海洋現象を動機とする研究が4件、乱流・渦力学に関する研究が10件、成層流体の室内実験や波動力学に関する話題が4件であった。主として流体物理学の分野で活躍する日本人研究者3名 (福本 (九州大学)、高橋 (電気通信大学)、宮崎 (電気通信大学)) の発表があったこともこの日の特徴の1つであった。以下、著者の印象に残った講演の要点を記す。

花崎 (東北大学流体科学研究所) は、成層流体中の乱流におけるパッシブスカラー流束とアクティブスカラー (密度) 流束の初期条件依存性を Rapid Distortion Theory を用いて解析を行った。上記2種類のスカラーの相関が初期にはゼロであっても、非常に長い時間ののちには両者の間に完全な相関が生じるなど、従来の知見と異なる幾つかの興味深い結果を示した。

Clercx (オランダ・アイントホフエン工科大学) は正方形と円形領域内の減衰性2次元乱流を室内実験

と数値実験により調べた。従来の多くの研究は、無限領域か周期境界条件を対象としてきたが、最近講演者と van Heijst は精力的に粘着条件を課した有限領域内の2次元乱流の研究を行っている。準平衡状態やそれに至る減衰過程は初期角運動量に大きく依存し、周期境界条件を課した数値実験では観測されない渦の単極構造や三重極構造の準平衡状態が生じる場合があること、粘着境界条件のもとでは境界が渦度の発生源となりスペクトルや渦度の統計に影響を及ぼすことを示した。岩山 (神戸大学) は、Charney-Hasegawa-Mima 方程式 (準地衡流渦位方程式) に従う高 Reynolds 数の減衰性乱流について、数値実験および理論的考察を行った。変形半径が小さい極限における系の時間発展は、Batchelor の相似仮説によって極めてよく説明できることを数値実験によって示し、さらに波数空間のダイナミクスの観点から、この結果を理論的に裏付けた。Velasco Fuentes (メキシコ・CICESE) は、2次元減衰性乱流において渦が互いに移流や衝突・合併する現象を動機として、等しい大きさで循環を持った2つの渦パッチの移流・合併過程を Lagrange 的な視点から数値実験で解析した。渦の半径を R 、渦間距離を d とすると、 $d/R < 3.3$ のときには2つの渦は合併し、 $3.3 < d/R < 3.45$ では渦は filament を放出するが合併はしない。 $3.45 < d/R$ では渦は移流し合う。このような regime の変化を、流れ関数から求められる流体粒子の Lagrange 的軌道の安定多様体と渦境界との相対的位置関係によって説明した。なお、実際の乱流中では、衝突合併に際して粘性の影響が無視できない、渦領域はパッチ状でなく例えば Gaussian であるなどの指摘が会場からあった。

Montgomery (米・コロラド州立大学) は、回転系上の Boussinesq 流体中で渦が自発的に軸対称化する過程を理論と数値実験で調べた。f 面上の準地衡流方程式系において、軸の傾いた渦を、軸対象渦と渦の上・下端に存在する vortex Rossby wave (VRW) との重ね合わせと考えたところ、VRW の振幅は時間と共に指数関数的に減少することが示され、数値実験もこの結果を支持した。Lynch (アイルランド・ダブリン大学) は三波共鳴相互作用する Rossby 波の振幅方程式が、ばね振り子の運動方程式と数学的に等価であることを示した (Lynch, 2003; <http://www.maths.tcd.ie/~plynch/Publications/Publications.html> 参照)。

(岩山隆寛)

最終日の7月11日は、乱流に関する講演が中心となった。計算機性能の向上に伴って3次元乱流の直接計算の数居も低くなってきている。本セッションでは数値計算による成層流体の乱流に関して、北村(東京大学)がエネルギー注入スケールとエネルギーカスケードによる $-5/3$ 乗スペクトル形成との関係についての発表を行い、木村(名古屋大学)は、成層乱流で特徴的なパンケーキ型の構造の形成を数値計算の結果から議論した。この成層乱流のパンケーキ構造についてはCambon(仏・Ecole Centrale de Lyon)による、wave-turbulenceの理論からの発表もあった。また、Riley(米・ワシントン大学)は成層乱流の数値実験において、水平スケールが大きくなるとともに鉛直スケールが小さくなり、局所的なK-H不安定が起こる過程について発表した。

成層・回転系の乱流を単純化したCHM乱流(2次元準地衡流乱流)に関しては、伊賀(九州大学応用力学研究所)が高波数域でおこるわずかなエネルギー散逸の見積りとそのスケリング則に及ぼす影響を議論し、増田(九州大学)は、その議論も含めてCHM乱流に関する種々の性質の理論的導出を示した。

流れと波の相互作用に関する研究としては、Lelong(米・North West Research Associates)による、流れの不安定から重力波が発生・伝播する条件に関する発表があり、Staquet(仏・LEGI)は、傾圧流のそばに捕捉される内部重力波の数値実験の結果をWKB理論と比較しながら議論した。また、Caulfield(米・カリフォルニア大学)は、成層シア流の不安定による混合について、混合過程と最終状態における密度分布に注目した発表を行った。

近年、日本国内の学会や研究集会では、大気力学や地球流体に関するセッションでも室内実験の研究発表が少なくなりつつあるが、本セッションでは室内実験の研究発表が非常に多かったことは印象的であった。招待講演のSommeria(仏・LEGI)は回転台上の成層乱流の実験において、3次元乱流的なエネルギーカスケードが起きなかったり、低気圧性渦が支配的になるなどの現象が見られたことを紹介した。低気圧性渦が支配的になる現象は、Stegner(仏・LMD, IPSL)による、円柱の下流の渦列の実験でも見られた。Eiff(仏・IMFT)は水槽実験による山岳波の碎波を数値実験の結果と比較した。また、Moulin(東京大学海洋研究所)は、順圧渦と傾圧渦の領域に伝播してくる重力波の振舞いに関する水槽実験の結果をWKB理論による予

想と比較し、Dohan(カナダ・アルバータ大学)は、成層流体中の乱流領域から励起される重力波の実験の結果を紹介した。

本シンポジウムでは3日半にもわたる多くの講演があったが、講演の順序は(キャンセルが出た後の振替の講演も含めて)内容の連続性に配慮してあり、議論も活発で、よいシンポジウムになったと思う(ただ、ポスター発表はキャンセルが多かったのと会場が離れていたのとで人が少なかったのが残念であったが)。コンペーナをはじめ、運営に関わった方々に感謝したい。

(伊賀啓太)

6. 火山活動と地球大気 (JSV02: Volcanism and the Earth's Atmosphere)

このシンポジウムは、大会初日の6月30日から7月1日までの、2日間の比較的小きなシンポジウムであったが、研究発表内容は多岐に渡っていた。JGR-Atmosphereのeditorの1人であり、このシンポジウムのコンペーナであるAlan Robock(米・Rutgers大学環境予報センター)が、この2日間のセッションの座長をすべて務めた。彼の興味を中心は、火山爆発が気候に及ぼす影響であり、これに関連する様々な研究が集められたようだった。内容は、GCMを用いた火山爆発のグローバルな気候への影響の研究、17世紀くらいからのヨーロッパにおける地表気温の観測データをもとにした火山爆発の影響の研究(Ammann, 米・NCAR; Jones, 英・East Anglia大学)、北極オゾン破壊への影響(Tabazadeh, 米・NASA)、火山周辺地域への火山灰の輸送の研究、衛星と気球観測による成層圏エアロゾル層の観測(Thomason, 米・NASA)、火山爆発によって排出されたガスのモニタリング(Tupper, オーストラリア気象局)、火山ガスの化学反応過程の研究(Oppenheimer, 英・ケンブリッジ大学)、火山ブリュームの発達過程の研究などであった。研究の動機も様々で、火山爆発による成層圏硫酸エアロゾルの突然増加という外力に対して、グローバルな大気が放射-化学-輸送過程を通してどのように応答するかを明らかにしたい、といったグローバルな数年スケールの変動の解明を目的にしたものから、現在から過去数百年にまで遡って火山爆発の気候への歴史的な影響を明らかにしたい、火山の周辺地域への危機管理に役立つ、航空機の安全に貢献できる、噴火直後の火山周辺域でのガスの成分やその化学反応過程を知りたい、ブリュームの発達と崩壊過程を流体力学を適用し

て解明したい, などの数 km~数十 km の空間スケール, 数時間の時間スケールに至るものまでずいぶんと幅があった. 研究対象となった火山も, ピナツポ(フィリピン), エルチチョン(メキシコ), セントヘレンズ(米国), エトナ(イタリア), 有珠山, 三宅島, 富士山, 阿蘇山, 桜島など様々であった.

次に, 火山爆発のグローバルな気候や大気中の硫酸バジェットに及ぼす影響に関連した研究について少し詳しく述べる. まず, Robock が, このシンポジウムの冒頭で, 火山爆発の大気に及ぼすグローバルな影響についてのレビューを行った. 1991年6月のピナツポ火山爆発後 AVHRR で観測された大気の光学的厚さおよび気温変動のデータを示し, 直後の冬の北米, ヨーロッパ, シベリアにおける地表気温の高温傾向は, ピナツポ火山爆発後に増加した成層圏硫酸エアロゾルのグローバルな放射効果と力学効果との兼ね合いで生じたものであるということを示した. 火山爆発の気温やオゾンへの正味の影響を調べるには, QBO の影響を差し引かねばならず, QBO の位相と増加したエアロゾルの影響との兼ね合いによって, 全球での気温の観測事実をかなりよく説明できることを示した.

もう1つ興味をそそいだのは, 火山爆発によって放出されたガスの成分のうち, どのくらいが最終的に成層圏まで入っていくかという問題である. エトナ火山などによる大きな火山爆発が, 火山周辺あるいは対流圏空気の硫黄量に及ぼす影響は, 都市の大気汚染地域と同程度の寄与があるらしいが(Aiuppa, 伊・Palermo 大学), その定量的な把握にはまだ不確定性が大きいようだ. 放出された二酸化硫黄や塩化水素がどの程度雨やエアロゾルなどに取り込まれ, どの程度が対流圏に気体として残り, どの程度が気相のまま, あるいは液相となって最終的に成層圏まで達するのか, この問題の解決のためには, 対流圏空気と雨滴にそれぞれ含まれるこれらの物質の量を測定し, また, エアロゾルの微物理過程や積雲対流の効果を考慮した3次元モデルを開発する必要があると言っている(Graf, 独・Max-Planck 研究所). 成層圏エアロゾル生成の微物理過程を導入した3次元モデルについてのポスター発表もあった(Timmreck, 独・Max-Planck 研究所).

最後に, 日本からの研究発表について簡単に述べる. 山本(気象研究所)は, ネスティングを施した領域モデルで, 1977年の有珠山と1707年の富士山爆発後の火山灰の輸送をシミュレートした. 森(東京大学)は, 阿蘇中岳において火山ガス成分の FTIR 観測を過去

8年間にわたって行った結果を示した. 中島(九州大学)は, 三宅島火山の火山雲の発達過程を2次元モデルでシミュレートし, 大気中の水蒸気の火山雲へのエンTRAINメントが火山雲の到達高度を数 km 上昇させることを示した. 木下(鹿児島大学)は, 桜島と三宅島から放出された二酸化硫黄ガスの移流を衛星による火山雲の可視画像によって推測し, 地表付近で高濃度の二酸化硫黄濃度が観測される気象条件について考察した. 滝川(FRSGC)は, 硫酸の生成過程を含むCCSR/NIES(東京大学気候システム研究センター/国立環境研究所)化学気候モデルを開発し, ピナツポ火山爆発によって生じた硫酸エアロゾルの輸送と, その化学過程, 放射過程, およびオゾン層への影響を議論した. 秋吉(国立環境研究所)は, 鉛直1次元光化学-放射結合モデルによる計算により, ピナツポ火山爆発後の下部成層圏の昇温の解消時間は, 増加した硫酸エアロゾル上で起こる不均一反応過程の影響を受けて約1年短くなることを示した. (秋吉英治)

7. 水・熱収支ワークショップ (JWM01: Water and Energy Budget Workshop)

このシンポジウムの呼びかけ人のRoads(米・Scripps 海洋研究所)は, GEWEX の中で, GAME を含む各地域の大陸スケール実験観測(CSE)の結果を総合するWEBS(水・エネルギー収支研究所)と, CEOPの柱のひとつであるWESP(水・エネルギーのシミュレーションと予測)の両方の旗ふりをしている. したがって, 発表はそのいずれかに関連するものが大部分をしめた.

一方, IUGG への参加者には, まず発表内容を決めてから, 相対的に近そうな題目のシンポジウム・ワークショップを選ぶ人が多いこともいわず, 内容は悪くないのだが場違いとしか思えない発表もあった. また, 初日の午前中は出席者が特に少なく, 会場にいたのはその日に発表がある人と数人の関係者だけという状態であった. それと, 発表のキャンセルがとても多かった. 他のシンポジウムではポスターセッションの発表者などから埋め合わせたりしていたが, このシンポジウムでは発表件数がそれほど多くなかったために, すべてが口頭発表であった事もあり, キャンセルされた時間はただ休憩が入ってしまったのが残念であった.

CSEのWEBSに関しては, Roadsがミシシッピ川流域で行なわれたGCIPについて, Szeto(カナダ気象局)がマッケンジー川流域のMAGSについて総合的

報告をした。残念ながらアマゾンのLBAの発表は取り消し、バルト海のBALTEXやオーストラリア、アフリカのプロジェクトの発表はもともとなかったが、GAMEおよびその関連のアジアでの実験観測については、中国のMa(寒冷乾燥地域環境工学研究所)によるチベット高原と敦煌での地表面熱収支、韓国のPark(ソウル国立大学)による南シナ海の水蒸気収支についての発表があった。それに日本からは、増田(FRSGC)によるシベリアのレナ川流域多数の水収支、宮崎(東京大学生産技術研究所)によるGAME-AANプロジェクトで観測された熱収支クロージャー、田中(京都大学防災研究所)による琵琶湖流域の熱水収支、徐(FRSGC)による中国チベット高原における熱水収支の算出、東(東海大学)によるインドシナ半島におけるラジオゾンデ観測による熱水収支、谷田貝(総合地球環境学研究所)によるGAME再解析データとGAME-AANの観測との比較などの発表があった。これらの発表は、出席者がお互いの仕事を知るうえでは有意義だったと思う。ただし、ほとんどが観測の報告か特定の事例についてのデータ相互比較であった。

このシンポジウムの目的である全球の熱・水収支の評価について、観測研究の立場から考えると、現在、欧米や日本を中心に世界各地で熱・水収支に加えて炭素収支も含めた観測ネットワークが構築されており、今回もそれぞれのプロジェクトで行われたものについて、別々に報告がなされていたが、プロジェクトの枠を超えるような研究発表がほとんどなされなかった。やはり、本当の意味でグローバルな熱・水収支の研究をするならば、プロジェクトの枠を超えて議論できるようなデータセットの構築が必要だと言うことを痛感した。その前段階として各プロジェクトからCD-ROMがリリースされつつあるが、客観解析データのように、それを1つにまとめて同じフォーマットのデータセットであれば、使いやすくなり、プロジェクトの枠を超えて研究するのに役立つと考えられる。ただし、いわゆる熱水収支の算定方法には様々なものがあり、その点に関しても注意をしないと用いることが難しいという点が観測データにはあるので、ドキュメントも十分に用意をする必要がある。しかし、これをやれるような研究者が自分を含めているかどうかと言われると、その労力に対する見返りとのバランスを考えると非常に実現が難しいかもしれない。

ところで、GAMEのWEBSとして何がわかったのかと言われると困るが、それに答えられるまでにはま

だたくさんの仕事が必要だろう。わたし(増田)はWEBSが必ずしもWESPに向かうものとは考えていないが、そういう方向も確かに考えられると思うようになった。道のひとつはモデルの性能向上であり、小池(東京大学)の陸水の水平移動を含めた水文モデルの開発とチベットでの検証や、Arritt(米・アイオワ州立大学)の多数の領域気象モデルによるミシシッピの比較予報実験などに代表されるだろう。もう1つは経験をやや抽象化して地域間の共通性と違いを考えることであり、金光(米・Scripps海洋研究所)の、降水量・蒸発量・水蒸気収束量の時系列としての相関関係を類型化し因果関係を推測する話は、ヒントとして有益だと思った。(増田耕一・宮崎 真)

8. 雲・エアロゾル・放射と気候 (MI02: Clouds, Aerosols, Radiation and Climate Symposium)

このシンポジウムでは4日間にわたり、雲とエアロゾル、それらと放射の相互作用について、多数の研究発表が行われた。前半には雲に関しての発表が、後半はエアロゾルや雲とエアロゾルの相互作用に関する発表があった。まず多くの参加者の注目を集めたのが、Randall(米・コロラド州立大学)によるAGCMを用いた雲の再現実験に関する講演であった。従来のAGCMではペルー沖やカリフォルニア沖の低層雲の再現性が悪く、逆に上層雲は一般にAGCMが過大評価の傾向にあるという問題があった。今回、Randallは雲解像モデル(CSRM: Cloud-system-resolving model)をAGCMに組み込んだスーパーパラメタリゼーションを紹介し、これにより放射過程もサブグリッドスケールで扱うことで、ISCCPによる雲量分布とよく一致するようになることを示した。また上層雲については、氷から雪への変換効率が長波放射強制力の精度向上につながることを示した。このRandallの講演の他にも、本シンポジウムや「雲モデルや気候モデルにおける降水過程の扱いに関するシンポジウム(JSM12)」において、CSRMに関する発表が多数あり、この種のモデルに対する関心の高さが窺えた。

一方、Gultepe(カナダ気象局)は、航空機による雲水(氷)量と湿度の観測値から雲量を求めるパラメタリゼーションを提案した。RACE, FIRE, ACE, AIRS等の観測キャンペーンでのデータを用い、従来のものより優れていることを示した。彼らの手法は航空機観測を利用するため、衛星リモートセンシングから得ら

れるものより高い鉛直分解能が得られるが、湿度測定
の誤差から、雲が低温の場合や混合相雲では不確定性
が大きくなることが問題点として指摘された。Fu(米・
ワシントン大学)は、気候モデルにおける放射過程の
取り扱いとその問題点のレビューを行った。水蒸気の
放射吸収、氷雲の光学特性、雲の水平不均質やオーバ
ラップ等、その内容は多岐にわたった。Ackerman
(米・PNL)は、AGCMにおける雲のパラメタリゼー
ションの改良をその目的として掲げ、採り得る観測的
手法について論じた。現状では観測により雲の全球3
次元分布を得ることができないことから生じる困難さ
を指摘し、複合観測による統合的アプローチを提案し
た。これは、2年後に控えた雲レーダ、ライダーを搭載
した米国主導の衛星計画(CloudSat, CALIPSO)に加
え、ARMサイトに代表される地上観測システムや、近
年の機器の発展から得られる航空機観測による新しい
観測結果を相補的なものとして利用することで、上記
の目的を達成しようというものである。米国によるこ
れらの衛星計画の他にも、日欧共同でアクティブセン
サー搭載の衛星計画が提案されている。雲、エアロゾ
ルと放射の解明を目的に掲げる EarthCARE 計画が
それだが、木村(NASDA)はこの衛星に搭載予定のセ
ンサーと計画の概要について紹介を行った。岡本(東
北大学)は、EarthCAREの先駆的地上研究として、類
似のセンサーを観測船「みらい」や航空機に搭載し、
雲・エアロゾルを観測した結果について報告した。雲
レーダとライダーによる雲の微物理抽出の観測結果を、
ライダー2波長から得られるその雲底下のエアロゾル
の情報と合わせることで、エアロゾルと雲の相互作用
の研究に有効であることを指摘した。

Ramanathan(米・スクリプス海洋研究所)は、大気
汚染の悪化の著しいアジア域に関する研究として
ABCプロジェクトを紹介した他、1990年代後半にイン
ド周辺で行われたエアロゾル研究である INDOEX の
成果を発表し、エアロゾルが地域気候に及ぼす影響
の解明の重要性を主張した。他の地域に比べて南アジア
では、太陽放射を吸収する人為起源エアロゾルである
黒色炭素等の大気中での含有率が高いが、CGCMに黒
色炭素の直接効果を導入することにより、大気安定度
が増して雲生成が抑制され、インド周辺で観測されて
いる1980年代以降の降水の減少が再現されることを示
した。東アジアでの人為起源エアロゾルの増加傾向に
ついては早坂(総合地球環境学研究所)が報告を行い、
中国都市部では1960年頃からエアロゾルの光学的厚さ

が増加していることを示した。また、三上(気象研究
所)は、黄砂に関する研究プロジェクト ADEC で行わ
れているダスト発生メカニズムの観測結果を報告した。
一方、中島(東京大学)は、東アジア域における雲・
エアロゾルの統合的研究プロジェクトである APEX
による集中観測や数値モデルの成果を示し、エアロ
ゾル間接効果に対する評価の不確定性を減らすため
にはさらに研究を推進していく必要があることを述
べた。

Kaufman(米・NASA/GSFC)は、米国の衛星搭載
センサーMODISによるエアロゾル観測結果を紹介
し、それと地上観測網 AERONET と、エアロゾル輸
送モデル(GOCART)の結果との相互比較を行い、全
球規模でのエアロゾル分布の把握が急速に進展しつ
つある状況を紹介した。山内(極地研究所)は2000
年春にノルウェーのスパルバードを中心とする地域
で行った集中観測 ASTAR2000の結果を紹介した。
これは Arctic haze を対象とし、中緯度から相当量
の人為起源の黒色炭素が極域の対流圏中部に輸送さ
れる場合があることを報告した。加藤(米・ハンプ
トン大学)は、CERESのデータを用いて海洋上の
エアロゾルによる直接効果を評価した。放射フラク
スの見積りのために、地表面タイプ、エアロゾル
の光学的厚さ、風速に依存する ADM(Angular
Distribution Model)を用いている。大気上端での
エアロゾルによる放射効果は北半球で6~7
[W/m²]、南半球で2~3 [W/m²]で、森林火災
やダストの影響は30 [W/m²]にもなることが示
された。また、Hoeller(NASDA)は、GLIセン
サーの紫外域チャンネルを用いて陸上エアロゾル特
性の抽出を試みた。GLIは比較的小さな瞬時視野
を持ち、部分雲による影響を受けにくい。解析手
法としては380 nmのエアロゾルによる吸収と380
nmと400 nmの放射輝度比から2次元メッシュ
を作り観測データとの比較から同定する。この手
法を予備的に中国上の衛星データに適用して光
学的厚さを決定した。今後の課題としては単一散
乱アルベドの推定と他チャンネルの利用が挙げら
れる。一方、河本(総合地球環境学研究所)は
AVHRRデータを用いた低層雲特性のリモートセ
ンシングの結果とSO₂排出量の比較から両者には
良い相関があり、その振る舞いは、いわゆる Twomey
効果によって説明され得ることを示した。また、
1995年の粒径や雲粒子数は、1985年の値よりも
それぞれ小さいことと多いことを指摘し、この期
間に増加したSO₂排出によるエアロゾルによる
間接効果を示唆した。

Lohmann (カナダ・ダルハウジー大学) はエアロゾルの間接効果に関するレビュー、及び自身の最近の研究成果を発表した。その中で、いわゆるエアロゾル間接効果とはエアロゾルが増加すると降水を抑制する現象である。だが、エアロゾル直接効果による放射収支の変調をも考慮せねばならない現実的な状況では、水循環自体が変化するため、エアロゾルが増加しても降水量が単純に減少するわけではないことを強調した。また、エアロゾルの氷雲への影響についても報告したが、上昇流との関連づけが今後の課題とされていた。

一方、雲微物理モデルを用いた研究としては、Khain (イスラエル・ヘブライ大学) がエアロゾル増加に対する積雲の感度を検証したものがあり、陸上の不安定大気では降水が減少する一方、海上や水蒸気量の多い陸上では降水生成高度が上昇して水蒸気量が増加し、その結果ダウンドラフトが強化されて降水が増加することを示した。また、久芳 (FRSGC) は、2次元の詳細雲モデルを用いて降水効率に対するCCNの粒径依存性を検証する実験を行い、サブミクロンサイズのCCNが増加すると降水効率は減少するが、スーパーミクロンサイズのCCNが増加しても降水効率はほとんど変化しないことを示した。ただし、サブミクロンサイズのCCNが存在すると、ある程度の上昇速度によりスーパーミクロンサイズのCCNも降水効率に影響を及ぼすことも併せて示した。全球モデルの研究としては、竹村 (九州大学) が、エアロゾル輸送・放射モデルSPRINTARSを用いて、エアロゾルの直接・間接効果による気温・雲水量・降水量の変化を検証した。エアロゾル間接効果による地表気温低下と雲水量増加の傾向は殆どの地域で見られるものの、降水量の変化については、前にLohmannが述べたように地域により増減にばらつきがあることを具体的に示した。

本シンポジウムに関連するものとして、4日目の昼食時にRosenfeld (イスラエル・ヘブライ大学) による「寿司レクチャー」が行われ、エアロゾルの降水に対する影響評価に関する彼の研究成果を中心に講演が行われた。今後エアロゾルの増加により、基本的には現在と同じレベルの降水量を得るためには、雲が今より10~20%程度多いことが必要であると結論され、また地域毎に見ると正味の降水量は減少する方向である等、ここで提起された事柄は非常に重要であり、またその社会的な影響の大きさからも、今後のさらなる検討が必要である。

(岡本 創・對馬洋子・河本和明・竹村俊彦)

9. 化学と気候の相互作用 (MI03: Chemistry-Climate Interactions)

このシンポジウムは化学と気候の相互作用と言う題であるがほとんどの発表者は成層圏について議論を行った。Johnson (米・GSFC/SSAI) はNASAのDistributed Active Archive Center (DAAC) における大気化学に関連する各種データ(衛星からのオゾン、NO_y濃度など)の詳細(データ容量とか)について聴衆3人の前で現状を報告した。Taha (米・アリゾナ大学) からはSAGE IIIのミッションの概要と最初の1年目の観測結果について報告があった。Daerden (ベルギー・BIRA-IASB) は極域オゾンホールについてMIPAS1.2の観測データと2002年のECMWFデータを用いた4次元データ同化について議論を行った。彼らの結果では2002年のPSCの生成は氷がメインでありオゾンの破壊率はどの等温位面でも-50ppbv/day程度であることが示された。貫禄たっぶりのHudson (米・メリーランド大学) はオゾン鉛直プロファイルのデータから対流圏界面のフロントの構造の変動についての解析を紹介した。これによるとオゾンプロファイルの変動は3種類に分けることができ、それぞれが気候変動や太陽サイクルの影響を受けて変動しているとのこと。Powson (Chatfield (米・NASAエイムズ研究センター) から代役として変更) は雷から生成されるNO_xや半球間輸送が対流圏オゾン分布に与える影響について議論を行い、熱帯域オゾン観測プログラムSHADOZについても紹介した。Yurganov (FRSGC) は衛星とレイヤー観測(1998年)から得られた対流圏一酸化炭素のカラム量とかを解析した。Fioletov (カナダ気象局) は成層圏オゾンの予測可能性の議論として、中緯度の長期的なオゾン全量トレンドを解析し、南半球中緯度のオゾントレンドが意外にも大きいことを示した。忠鉢 (気象研究所) は2001年の日本(稚内とつくば)でのオゾン鉛直プロファイルデータを解析し、日本上空でも極起源の空気塊の影響がある可能性を紹介した。これによるとつくば上空の450K面でも極渦の影響を受けてオゾン破壊が起こっている可能性があり、また観測された気温約-80°Cからは極域成層圏雲(PSCs)が出来る可能性も示唆された。

このセッションも午後になってようやく聴衆が増えだし、イギリス気象局(UKMO)のBraesickeの発表から始まった。UKMOにおける成層圏・対流圏の化学モデルについて紹介があり、成層圏力学場に対するオゾン変動のフィードバックのモデル解析や気候変動

が対流圏オゾン分布に及ぼす影響の実験結果について触れた。特に彼らが実験した対流圏オゾン分布への気候変動の影響は日本の化学気候モデルによる結果 (以下に記述) に近く興味深い。続いて、Tabazadeh (米・NASA) はメタノールの雲粒子上における不均一反応の可能性を実験室データから紹介しこれが大気酸化能に及ぼす影響について議論した。メタノールの反応は特に森林火災の plume 中で重要であることを示している。Beagley (カナダ・ヨーク大学) は南極オゾンホールを GCM を用いた再現実験を行っていて、シミュレートされたオゾン変動の評価について報告した。やはりオゾンホールの再現に関してはモデル中の極渦の再現性がネックになっているとのこと。Sankey (カナダ・トロント大学) は mixing barrier としての対流圏界面の定義について中層大気モデルを用いて議論を行い、トレーサーの濃度と濃度勾配や拡散係数 (effective diffusivity) などとの相関を試した。その結果、トレーサーの混合比と温位との相関がベストであることを確認している。Sigmond (オランダ・アイントホーフェン工科大学) は GCM (ECHAM) を用いた CO₂ 倍増実験を行い気候への影響を議論した。この研究では CO₂ を全球一様に増加させた場合と対流圏/成層圏でコントラストを付けた場合などの複数のケースで実験を行っていて、特に一様に CO₂ を増加させた場合には中緯度ジェットが強化されるという結果であり、彼らの解析によるとこれは成層圏の CO₂ 増加に起因するものらしい。須藤 (FRSGC) は化学気候モデル (CHASER) を用いた対流圏オゾンや硫酸エアロゾルの将来予測実験 (1990→2100年) について報告した。この中で、将来の気候変動が及ぼす影響も議論され、気候変動により対流圏下層のオゾン増加は概して緩和されるが逆に上部対流圏では成層圏からのオゾン輸送が活発化するためオゾンは更に増加するという結果を示している。先に紹介した UKMO モデル (Braesicke, 英・ケンブリッジ大学) でも同様の予測が行われている。最後に Bourqui (スイス・チューリッヒ工科大学) からはメタンの増加が成層圏オゾンにどう影響するかについての実験を紹介した。実験は1980年から2060年までであり、メタン増加による放射的影響と成層圏での化学 (メタンの酸化) の変化について別々に議論していたが、化学過程としてハロゲン系の化学反応が入っていないので定量的には問題がありそうである。(須藤健悟)

10. 大気大循環の大規模変動：力学、気候へのインパクト、最近の気候変化への役割 (MI05: Large Scale Patterns of Atmospheric Variability: Dynamics, Climate Impacts, and Role in Recent Climate Change)

熱帯から極域まで対流圏を中心とした大気大循環変動にかかわる広範囲のテーマについて、大会最後の3日間行われた。口頭約50件、ポスター約10件であった。Thompson (米・コロラド州立大学) と Baldwin (米・NWRA) がコンビナーであることを反映してか話題の中心は北極振動 (AO)/環状モード (AM; NAM は北半球, SAM は南半球) であったと言えよう。一般的に見ても北半球を研究の対象としたものが多かった。スケジュールは、初日は AO/NAM や北大西洋変動 (NAO) などを中心とした対流圏の変動, 2日目午前は成層圏変動との関連, 午後はエルニーニョ・南方振動 (ENSO) を中心とした熱帯～亜熱帯の変動, 3日目は、海洋変動に対する大気場の応答とその他の中高緯度循環場変動であった。全てに触れることはできないので、印象に残った講演を中心に順不同で述べたい。

半分以上の講演は何らかの形で AO/NAM に関わっていたと思われる。一般的な印象としては、良くも悪くも煮詰まってきた感じである。5年前の華々しい AO の登場から、AO/NAM 及び SAM に関わるメカニズム、NAO/AO 論争などを経ての循環場変動における位置づけ、気候場へのインパクトなど、だいたい出揃って、起承転結になぞらえれば「転」の段階に入ってきたのかな、という印象である。

それでも AO/NAM のメカニズムについてはまだまだ議論は絶えないようだ。AO/NAM そのものの力学を様々な視点から捕らえるものに加え、その形成過程に着目する研究も増えてきたようだ。本セッションでは対流圏の力学的振る舞いの理解を目指した研究がやはり多く、ストームトラック (Hoskins, 英・レディング大学), 角運動量保存 (von Storch, 独・ハンブルク大学) の観点からの解析的研究, 順圧モデル (田中, 筑波大学), 線形傾圧モデル (渡部, 北海道大学) を用いての数値的研究など内容も多彩であった。また山崎 (北海道大学) や西沢 (京都大学) は AGCM を用いて、山岳の効果が卓越パターンである環状構造へ本質的な影響していることを示した。

成層圏対流圏結合の観点から AO/NAM のメカニズムを追求する研究も相変わらず盛んなようだ。Shepherd (カナダ・トロント大学) は力学強制, 角運動量,

放射強制, 化学過程, エネルギー論などこれでもかと思われ, 考えられるメカニズムのオンパレードという感じであった。Dunkerton (米・NWRA) や黒田 (気象研究所) は NAM の鉛直構造に関して力学強制と熱強制の役割の違いとその兼ね合いなど考慮して形成過程や維持過程の片鱗を明らかにしつつあった。SAM のメカニズムに関しては, Gillett (カナダ・プリティッシュコロンビア大学) によるオゾン変動と関係, 塩竈 (京都大学) によるジェットの変移過程など, ごく数件の発表のみであった。

その他の中高緯度変動では, 中村 (東京大学), 山根 (FRSGC), 本田 (FRSGC) によるアリューシャン低気圧 (AL) とアイスランド低気圧 (IL) 間のシーズン関係について, シーズン活発期と不活発期では基本場構造に本質的な違いがあること, そのような変動が AGCM による長期ランの中に自然変動として確認されること, またシーズンの予測が難しいことなどを示した。Cohen (米・AER) は NAO/AO に伴う気温場の非対称性がシベリアの積雪変動によってもたらされることを示した。高谷 (FRSGC) はシベリア高気圧の形成に西方からの波動伝播型と太平洋起源のものがあることを示した。Shwierz (スイス・ETH) はプロッキングの視点から NAO や PNA などの主要な変動の理解を試みていた。AO や NAO の統計的な予測を試みる研究もみられた (Baldwin, 米・NWRA; Appenzeler, スイス気象局)。

SST など海洋変動に対する大気への応答については, 介在するストームトラックの重要性をいずれも指摘していた (Li, 仏・LMD; Peng, 米・NOAA-CIRES CDC; 稲津, 北海道大学)。また山本 (東海大学) は北半球海水域に卓越する変動と NAO の間に負のフィードバックが働いていることを示した。

AO の登場当初は, AO は ENSO など熱帯の変動とは本質的に無関係な中高緯度独自の変動である, という感覚で捕えられていたと思う。しかし, 今回は熱帯域の変動との関連を示した発表も多く見られた。Thompson は少し前から AO/NAM の熱帯域の気温場や風の影響を調べていたが, 今回はついに南半球の中緯度帯への影響を示唆する結果を示していた。一方, 熱帯域の強制に対する AO の応答 (Lin, カナダ・マギル大学), アマゾンの降水との関係 (Fu, 米・ジョージア工科大学), MJO との関係 (Zhou, 米・NOAA/NCEP/CPC) など, AO 研究の裾野の広がりを感じさせる。

このように, AO/NAM に関わる研究は相変わらず盛んであるが, Robinson (米・イリノイ大学) は, AO あるいは AM の実態や物理的意義に対する疑念は解消しておらず, 依然根深く存在することなど, 警句を発していた。伊藤 (九州大学) は AO が空間的に NAO と PNA の中間に位置していることを示し, 基本的にこの両者の枠組みで北半球の変動を理解できることを示した。森 (東京学芸大学) は独立成分分析の適用によって統計的に独立なモードを抽出でき, AO は AL-IL シーズンと, トレンドを持つ AL と IL の同位関係の 2 つのモードの重ねあわせで説明できることを示した。

従来通り EOF を用いた解析でも, EOF 第 1 モード (EOF1) のみではなく EOF2 も考慮した両者の位相空間上で, 北半球にみられるさまざまな現象を捕えようとする動きも出てきている (Quadrelli, 米・ワシントン大学; Corti, イタリア・ISAC/CNR など)。特に Quadrelli は EOF1 と EOF2 の位相空間上で, NAM, PNA, トレンド, COWL, AL-IL シーズンなどが捕えられ, その中の直交関係を考慮して卓越パターンの組み合わせを抽出すればよい, と提唱した。また今回は, 対象とする現象の非対称性や非線形性に着目している研究もいくつか見られた (Shepherd, Peng, Shwierz, Quadrelli, Cohen など)。EOF という線形論の枠組みの中で出てきた AO の解釈も, 転換の時期に差し掛かってきたということであろうか。

熱帯から亜熱帯の変動に関する発表件数は少なかったものの, EOF1 と EOF2 の位相空間上で対象とする現象を解釈することの有効性は Mechoso (米・カリフォルニア大学) による太平洋・南米パターンの ENSO との関係, 富田 (熊本大学) による梅雨フロントの時空間スケールの違いによる変動の解釈などによく示されていた。他, Vecchi (米・ワシントン大学) による ENSO 時の赤道近傍の風の振る舞いの特性の解明は ENSO 終息の予測に有効かもしれない。

ところで, 海外の発表者の中には, スライドに密かに日本語を忍ばせたり, 最後の挨拶を日本語で行ったりと, 場の雰囲気と和ませるような光景もあった。

本シンポジウムは, 大会 B 会場では恐らく最も広い会場で実施され, 昼間には「Sushi Lecture」なるものも開催されていた。余談ではあるが, 寿司でも食べさせてくれるのかと覗いてみたら, 何のことはない, 助六寿司など会場で販売している弁当を買って, 食べながら特別講演を聴くというものであった。アイデアと

しては良いと思うが、この名称は明らかに誤解を招くもので、実態を知って残念がる(?)人々もいた。それはともかく300人は収容できそうな大きな会場でありながら、本シンポジウムの聴衆は全般に少なかった。最も多かったと思われる Hoskins の招待講演でも100人程度、だいたい30~50人程度で、大会最終日でもあった3日目は更に少なくなっており、寂しい気配も漂っていた。この手の大規模な大会には有りがちな、関連する複数のシンポジウムの並行開催がやはり大きな要因であろう。そのようなわけで、講演者やその時間帯の話題などによって、聴衆の出入りが激しかったのも致し方ない。ある時間帯ではコンビナーの2人とも他のシンポジウムへの発表に行ってしまう、やむを得ないとは言え何とかならないのかと思った。ポスター発表でも完成度の高い研究はいくつも紹介されていた。しかし、離れた会場という悪条件に加え、口頭発表との同時開催では、果たしてどのくらいの人々が足を向けたのであろうか?

しかしながら、アジアで初めての IUGG 大会が滞りなく実施されたのは、本当に多くの方々への入念な準備と適切な運営があったからであることは疑う余地もない。本大会の運営に、特に縁の下の手力ちとなって携わった全ての方々への感謝をもって本稿を終えたい。

(本田明治)

11. 海洋上の中高緯度大気の力学 (MI06: The Dynamics of Mid-latitude and Polar Weather Systems over the Open Ocean)

このシンポジウムでは、海洋上の中高緯度大気の力学というテーマで、メソスケールから惑星規模まで幅広い研究成果が発表された。口頭発表前日のポスター発表は、1件のみであった上、会場の立地等に問題があり、閑散としていた。口頭発表でも、参加者は常に10人弱という寂しい集まりとなった。総観規模の現象では、三瓶(東京大学)が北太平洋ストームトラックの midwinter suppression (真冬に見られる擾乱成長の抑制傾向)は、強い亜熱帯ジェットによる総観規模擾乱のトラップに要因があるという解析結果を示した。同じく midwinter suppression について、Myoung (米・テキサス農工大学)は、ストームトラック入口での対流圏上層のトラフとの関連についての解析結果より、春・秋季より冬季にトラフが浅いことを示した。Baines (オーストラリア・CSIRO)は、オーストラリア大陸の熱強制に対する応答としてのロスビー波の挙

動について報告した。荒井(東京大学)は順圧準地衡流モデルを用い、ブロッキング現象の成因について論じた。Schwierz (スイス・チューリヒ工科大学)は2001年秋季のハリケーンの渦位解析から、上層の渦位の引き伸ばしによってその影響が中緯度にまで達したことを示した。

メソスケールでは、坂本(東京大学)は上層寒冷低気圧について1999年夏季の北太平洋上の事例解析を行い、切離過程と消滅過程において、対流雲の上昇流と潜熱加熱の効果が重要であることを、メソモデル MM5 を用いて示した。また、Martin (カナダ・トロント大学)はグリーンランド西岸に発達する大気のカムバックの証拠である北進するメソスケール低気圧の挙動について、観測データと MM5 による実験結果を報じた。Ahmadi-Givi (イラン・テヘラン大学)は、地中海低気圧の季節変化について統計解析を行い、さらに中東への影響を調べた。二宮 (FRSGC) は上層の寒冷低気圧や短波トラフなどがよく再現できれば、日本近海のポーラーロウが AGCM によってシミュレーション可能であることを示した。Lagun (ロシア・AARI) は温帯低気圧とメソスケール擾乱の ENSO や AO との関連について論じ、また温暖化の下では温帯低気圧の数が増加することを示した。

力学という共通言語で様々な規模の現象を語るというシンポジウムの趣旨は非常に興味深く、個々の現象についての理解は深まったが、全体的に発表者や聴衆の背景が異なるために、活発な議論を展開するまでには至らず、やや消化不良気味の印象を受けた。

(荒井美紀・坂本 圭)

12. 陸面一大気境界域における気候スケール相互作用 (MI07: Climate Interaction at the Land-Atmosphere Interface)

本シンポジウムでは、7月10日午後札幌メディアパーク (Site D) においてポスターセッションが、また、最終日の7月11日の午前および午後、札幌厚生年金会館 (Site B) においてオーラルセッションが行われた。シンポジウム MI07 においては、陸面植生の変動と気候変動の相互作用に関する気候モデルを用いた研究、および、陸面における特に蒸発散・二酸化炭素交換の再現を目的とした陸面植生一大気相互作用モデルの開発・改良に関する研究、以上の2つのテーマを中心とする気候モデル関連の研究の成果が発表対象とされた。本シンポジウムのコンビナーは、デンマークの

リソ国立研究所大気物理部門の N. O. Jensen 博士で、植生-大気相互作用を中心とする微気象学の専門家である。本シンポジウムにおいては、当初、口頭発表16件、ポスター発表6件が行われる予定であったが、口頭発表5件のキャンセルがあり、本国際会議前に問題化した SARS が影響したのではないかと感じられた。

11日のオーラルセッションにおいては、午前中に広域的な気候モデルを用いた研究および衛星データを用いた研究の成果発表があり、午後は陸面植生モデルおよび植生-大気間エネルギー・物質交換をテーマとした比較的小スケールの研究に関する成果発表があった。筆者は、午前中に、全球気候モデルを用いたアジア域熱帯植生の変動が気候に与える影響に関する数値実験の結果について発表したが、午前中のプログラムで予定されていた、気候モデル実験に関する研究発表が3件キャンセルされた。これらの研究は、筆者にとって大変関心のある研究であったので、それらの発表がキャンセルになったのは非常に残念であった。衛星データ関連の研究として、ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection) ラジオメータデータを用いた地表面エネルギー収支の推定に関する研究成果の発表があったが、チャレンジ的な研究だと感じた。また、発表キャンセルで生じた時間を利用して、陸面過程の研究で有名な R. E. Dickinson 博士 (米・ジョージア工科大学) により、気候モデル関連での土壌水分と地表面アルベドに関する話題提供があり、大変興味深かった。11日午後の口頭発表は、1件のキャンセルがあった他はプログラム通り行われた。陸面モデルのスキームの高度化や off-line でモデル検証に関する研究の成果発表が3件あったのに加え、プロットスケールでの陸面エネルギー収支や、植物の根の温度環境が水収支に与える影響の評価、FACE (Free Air CO₂ Enrichment) 実験など、多彩な研究の成果発表があった。また、午後にも、Dickinson 博士による地表面水収支に関する講演があり、全体的に有意義なオーラルセッションであった。時間が前後するが、10日の午後行われたポスターセッションでは、大気-植生間のエネルギー交換および二酸化炭素交換に関する観測的研究の成果が多く発表された。最近、その重要性が認識され、世界的に積極的に行われている陸面でのフラックス観測関連の研究の成果が、続々と出始めていると感じた。

シンポジウム MI07の全体的な印象としては、筆者が個人的に関心のあったいくつかの研究発表のキャン

セルはあったものの、オーラルセッション、ポスターセッションともに内容のある発表および話題提供と討議が行われ、充実したシンポジウムであったと感じた。

(馬淵和雄)

13. 室内実験による大気科学研究 (MI08: Laboratory Studies on Atmospheric Issues)

Laboratory Studies on Atmospheric Issues (MI08)のシンポジウムでは、6件の口頭発表と3件のポスター講演がありました。Laboratory studies と言ってしまうと、物理学と化学の両面からのアプローチがあり、双方の立場から最新の研究成果が発表されました。極域成層圏雲をはじめとして雲や水晶の成長に関する物理化学的研究、レーザー分光学的手法を用いた大気化学反応の研究、エアロゾル不均一反応などに関して興味深い発表がありました。例えば Crowley (独・マックスプランク研究所)らのグループは、エアロゾルフローチューブ法を用いた実験によって、サハラダストに対する HNO₃、N₂O₅ の適応係数を明らかにしていました。松見ら (名古屋大学) は、独自に開発した波長可変真数紫外レーザー誘起蛍光分光装置を用いて、オゾン等のシンプルな大気分子の化学反応を詳細に研究していることを報告しました。この他にも、反応チャンバーの内壁の影響を受けないような水晶成長の観測法の開発等も報告され、うまくデザインされた革新的な新しい実験手法が、大気の物理・化学過程のラボ研究にブレイクスルーをもたらすためにも、必要不可欠であることを強く感じさせるシンポジウムになったと思います。一方で、特色のあるシンポジウムとしてコーディネートするには、もう少しシンポジウムタイトルと内容を絞り込んでよかったのではないかと感じました。

(高橋けんし)

14. 新しい観測装置と測定技術 (MI09: New Instruments and Technology, Advances in Remote Sensing)

本シンポジウムは2日間に渡って開催され、11件の口頭発表と2件のポスター発表が行われた。内容は多岐に渡り、いずれも興味深いものであった。

まずレーダーに関する発表が4件続いた。足立 (通信総合研究所) は、最近完成した沖縄県大宜味大気観測施設の400 MHz 帯ウィンドプロファイラについて紹介した。RASS による温度観測のためアンテナ全体が回転台に乗っていることに特徴があり、気象予報を

目指した実時間データ処理アルゴリズムについて詳しく述べられた。大野 (通信総合研究所) は, Lhermitte (1988) により提案されたミー散乱特性を利用した降水エコーからの鉛直流推定手法を, 同研究所の W バンド (95 GHz) レーダー-SPIDER に適用し, 重力波に対応すると思われる鉛直流変動を捉えることに成功した。Gernot (京都大学) は, MU レーダーを使った SA 法観測が乱流構造の非等方性の研究に有効であることを示し, 水平風の鉛直シアとの関係を議論した。古本 (京都大学) は, MU レーダー/RASS を使って水蒸気プロファイルを高時間・高度分解能で推定する手法について紹介した。ラジオゾンデ観測では不可能な短時間変動を捉えることができる本手法の, 赤道大気レーダーや下部対流圏レーダーへの応用が期待される。

Panuganti (インド・熱帯気象研究所) は, DIAL 技術を使った同研究所のライダーシステムについて紹介した。観測結果はまだ得られていなかったが, 今後の熱帯域におけるオゾン研究が期待される。松見 (名古屋大学) は, 従来よりも波長の短い 440 nm 帯でレーザー誘起蛍光検出法 (LIF 法) を使った NO₂ の in-situ 測器を紹介した。440 nm 帯の利用により高い S/N が得られ, 簡易なシステムながら高精度観測を実現していた。Hallett (米・NCAR) は, 捕捉した雨粒や氷粒の質量を測定する航空機搭載用と地上設置用の測器について紹介した。原理は電熱板の温度を一定に保つように加える電力を調節し, その電力量から質量を推定するものであり, 航空機搭載用では 0.1 秒の反応時間を実現していた。Schmugge (米・農務省農業研究サービス) は, 地表放射を測定する衛星搭載のセンサーである ASTER ラジオメーターについて紹介し, 南ニューメキシコにおける地上測定結果との比較を示した。

最後に中国からの発表が 3 件続いた。Zhao (中国・国家気象管理局) は, 従来の作物の成長モデルに新たにリモートセンシングデータを組み合わせることで, 収穫予測の精度が上がることを示した。Han (中国・グリアン工科大学) は, 衛星観測データから Zhalong 湿地の特性を分類する手法として, 4 層のニューラルネットを使うことが有効であることを示した。Lu (中国・科学院) は, アルベドや大気エアロゾルの衛星リモートセンシングの地上検証のために, 上空と地上を同時に観測可能なバルーン搭載の全天・全地表イメージャを開発し, その初期観測結果を示した。

ポスターでは, 橋口 (京都大学) が L 帯と VHF 帯のウィンドプロファイラのシステム開発に関して 2 件

発表した。1 つは気象庁の WINDAS にも採用されている下部対流圏レーダーシステムで, もう 1 つはインドネシアの西スマトラ州に完成した赤道大気レーダーシステムについてである。(橋口浩之)

15. 完新世以前の気候モデリング (MI10: Modeling of Pre-Holocene Climates)

本シンポジウムは「原生代後期におけるスノーボール・アースから完新世の温暖期まで」のおよそ 10 億年にわたる地質時代上の様々なイベントを対象とした古気候モデリングの研究を集めたもので, コンビナーはカナダ・トロント大の W. R. Peltier, 英・レディング大の Paul Valdes, フランス・環境気候科学研究所 (LSCE) の Masa Kageyama 他であった。予定されていた口頭発表 22 件のうち 6 件が日本人あるいは日本のグループに関係するもので, 日本人の比率が比較的高かった。この種の研究は欧米では結構盛んであるものの, 日本の気象学会においてはマイナーな分野だと思っていた筆者には少し意外に感じられた。日程的にはこれらの発表に一日半が割り当てられ, また多少のキャンセルもあったので, あまり持ち時間にとらわれない余裕のある運営がされていたようである。初日午前には, 近年話題の原生代スノーボール・アースに関連した研究発表が 3 件あり, 石渡 (北海道大学) は太陽定数を広範囲に変化させることにより, エネルギーバランスモデルで得られる (全球凍結, 暴走温室状態を含む) 各気候レジームと AGCM の時間積分による解を対応づける研究を紹介していた。本井 (FRSGC) は第三紀中頃の南極周極流の成立に伴う全球的な寒冷化と関連させて, ドレーク海峡が現在のように開いている場合と閉じた場合の感度実験を GFDL の結合モデルを用いて行った。午前中の後半と午後には第四紀氷河時代, 特に最終氷期に関連するモデルを用いた研究が数多く発表された。Ramstein (仏・LSCE) は最終氷期初期の大陸氷床形成期における海洋循環の役割について, 結合大循環モデルと中間的な複雑度気候モデルによる結果を発表していた。Kageyama は中間的な複雑度の気候モデルに三次元の氷床モデルを結合させた長期シミュレーションを紹介していた。阿部 (東京大学 CCSR) は CCSR/NIES AGCM と三次元の氷床モデルを用いた一連の感度実験により, 北米大陸及びヨーロッパ氷床の維持に関わる各種フィードバック効果の見積もりを行った。また, 氷期と現在における基本場としての気候状態の違いが ENSO の周期や振

幅にどのような影響を及ぼすかという発表も2件あり、PeltierはNCAR CCSMを用いたシミュレーションに基づく結果を報告していた。少し趣の変った研究として、Hargreaves (FRSGC)は複数の古気候データ時系列のウェーブレット解析から、氷期終焉のタイミングを決める試みを報告していた。また、村上(気象研究所)は、気象研結合モデルを用いた最終氷期シミュレーションにみられる南北熱輸送の増大を最大エントロピー原理に基づく簡単な理論計算と対比させて論じた。2日目には招待講演としてValdesがハドレーセンターの結合モデルをベースにした白亜紀後期の気候シミュレーションの紹介を行った。白亜紀後期は(若干の相対的寒冷期を除いて)、二酸化炭素濃度が現在よりかなり高く大陸上の氷床も存在しなかったと考えられており、顕生代における代表的な温暖期の1つである。また、テチス海が存在など海陸分布にもそれなりの違いがみられ、古気候モデリングの対象としては魅力的な時代といえる。彼らのシミュレーションでは気候の温暖化に対し雲が強い正のフィードバックを持っており、二酸化炭素濃度が産業革命前の値の4倍で太陽定数を変化させないという条件のもとでは地上気温が平衡に達せず、議論的となっていた。類似の研究(ただし海陸分布は現在のまま)は本井によっても紹介されたが、こちらでは雲の効果は負のフィードバックを持っており結果は対照的であった。なお当日の講演には、申し込み時のミスにより本来MI01で行うべきであった発表も1件含まれていた。このように本シンポジウムで扱われた題材は多岐にわたり、この方面の研究に入ってまだ日の浅い筆者には少し荷の重い報告であった。誤解や抜けは少なくないであろうが、今後重要度が増してゆくと思われる、古気候モデリング研究の雰囲気だけでも伝えられれば幸である。

(村上茂教)

参 考 文 献

- Lhermitte, R, 1988 : Observations of rain at vertical incidence with a 94 GHz Doppler radar : an insight of Mie scattering, *Geophys. Res. Lett.*, **15**, 1125-1128.
- Lynch, P., 2003 : Resonant rossby wave triads and the swinging spring, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **84**, 605-616.
- Nakamura, H., 1992 : Midwinter suppression of baroclinic wave activity in the Pacific, *J. Atmos. Sci.*, **49**, 1629-1642.

略語一覧

- AAN : GAME Asian Automatic Weather Station Network アジア自動気象観測所ネットワーク
- AARI : Arctic and Antarctic Research Institute ロシア北極南極研究所
- ABC : Asian Brown Cloud
- ADEC : Aeolian Dust Experiment on Climate Impact
- ADM : Angular Distribution Model
- AER : Atmospheric and Environment Research, Inc.
- AERONET : Aerosol Robotic Network
- AGCM : Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル
- AIRS : Alliance Icing Research Study
- AL : Aleutian low アリューシャン低気圧
- AM : Annular Mode 環状モード
- AO : Arctic Oscillation 北極振動
- APEX : Asian Atmospheric Particulate Environment Change Studies
- ARM : Atmospheric Radiation Measurement Program 米エネルギー省の大気放射観測プロジェクト
- ASTAR : Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation
- ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection
- AVHRR : Advanced Very High Resolution Radiometer 米国気象観測衛星 NOAA 搭載の改良型高分解能放射計
- AWI : Alfred-Wegener-Institut für Polar-und Meeresforschung アルフレッド・ウェーゲナー極地海洋研究所
- BALTEX : Baltic Sea Experiment バルト海実験計画
- BIO : Bedford Institute of Oceanography ベッドフォード海洋研究所
- BIRA-IASB : Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie-L'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (Belgian Institute for Space Aeronomy)
- BMRC : Bureau of Meteorology Research Centre オーストラリア気象研究センター
- CALIPSO : Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations
- CCN : cloud condensation nuclei 雲凝結核
- CCSM : Community Climate System Model NCAR コミュニティ気候モデル
- CCSR : Center for Climate System Research 東京大学気候システム研究センター
- CDC : Climate Diagnostics Center
- CEFAS : Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science 英国・環境・水産・養殖科学セ

- ンター
- CEOP: Coordinated Enhanced Observation Period
合同強化観測実験
- CERES: Clouds and the Earth's Radiant Energy System 地球観測衛星 EO-1, TRMM, TERRA, AQUA
搭載の雲・地球放射エネルギー観測装置
- CGCM: coupled atmosphere-ocean general circulation model 海洋大気結合モデル
- CHAMP: Community-wide Hydrological Analysis and Monitoring Program
- CICESE: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada エンセナダ科学研究・高等教育センター
- CIRES: Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences
- CloudSat: 2004年打ち上げ予定の米国の雲観測衛星 (cloud profiling radar 搭載).
- CNR: Consiglio Nazionale delle Ricerche (Italian National Research Council)
- COWL: Cold Ocean and Warm Land pattern
- CPC: Climate Prediction Center
- CSE (s): Continental-scale experiment GEWEX の地域・大陸規模実験計画
- CSIRO: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation オーストラリア国立科学技術研究機構
- DIAL: Differential Absorption Lidar 差分吸収ライダー
- EarthCARE: Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explore
- ENSO: El Nino and Southern Oscillation エルニーニョ/南方振動
- EOF: Empirical Orthogonal Function 経験的直交関数
- ETH: Eidgenossische Technische Hochschule (Swiss Federal Institute of Technology) スイス工科大学
- FACE: (Free Air CO₂ Enrichment)
- FIRE ACE: First International Regional Arctic Cloud Experiment
- FRSGC: Frontier Research System for Global Change 地球フロンティア研究システム
- FTIR: Fourier-transform Infrared spectrophotometer フーリエ変換赤外分光光度計
- GAME: GEWEX Asian Monsoon Experiment アジアモンスーンエネルギー水循環観測研究計画
- 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 米・NOAA 地球流体力学研究所
- GLI: Global Imager 地球観測衛星 ADEOS-II 搭載の光学センサー
- GOCART: Georgia Tech/Goddard Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation and Transport model
- GSFC: Goddard Space Flight Center NASA ゴダード宇宙飛行センター
- 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 Oceans 海洋物理学国際協会
- IARC: International Arctic Research Center 国際北極圏研究センター (FRSGC/アラスカ大学)
- IL: Icelandic low アイスランド低気圧
- IMFT, Meteo-France: L'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse フランス気象局トゥールーズ流体力学研究所
- INDOEX: Indian Ocean Experiment
- IOD: Indian Ocean Dipole Mode
- IPRC: International Pacific Research Center 国際太平洋研究センター (ハワイ大学)
- ISAC: Institute of Atmospheric Science and Climate
- ISCCP: International Satellite Cloud Climatology Project
- ITCZ: intertropical convergence zone
- JAMSTEC: Japan Marine Science and Technology Center 海洋科学技術センター
- LBA: Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia アマゾン地域における大規模生物圏—大気圏実験計画
- LEGI: Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels (The Laboratory of Geophysical and Industrial Fluid Flows) 地球流体産業流体研究所
- LGIT: Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique 地球内部物理学・テクトニクス研究所
- LMD, IPSL: Laboratoire Meteorologie Dynamique, Institut Pierre Simon Laplace ピエール・サイモン・ラプラス研究所気象力学研究所
- LODYC: Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie Physique
- LOIC: Land-Ocean Interactions in the Coastal 沿岸域における陸地—海洋相互作用研究計画
- LSCE: Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement 環境気候科学研究所
- MAGS: Mackenzie GEWEX Study マッケンジー川 GEWEX 研究計画
- MIPAS: Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding

- MJO: Madden-Julian Oscillation
- MM5: The Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model 米国ペンシルバニア州立大学とNCAR 共同開発のメソモデル
- MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer 地球観測衛星 TERRA・AQUA 搭載の中分解能撮像分光放射計
- NAM: Northern Hemisphere Annular Mode 北半球環状モード
- 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
- NCAR: National Center for Atmospheric Research 米国大気研究センター
- NCEP: National Centers for Environmental Prediction 米国環境予測センター
- NIES: National Institute for Environmental Studies 国立環境研究所
- NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気庁
- NSF: National Science Foundation 全米科学財団
- NWRA: NorthWest Research Associates, Inc.
- PMEL: Pacific Marine Environmental Laboratory NOAA 太平洋海洋環境研究所
- PNA: Pacific-North American pattern 太平洋・北米パターン
- PNNL: Pacific Northwest National Laboratory
- 米・エネルギー省パシフィック・ノースウェスト国立研究所
- PSC: Polar Stratospheric Cloud 極成層圏雲
- QBO: quasi-biennial oscillation 準2年周期振動
- RACE: Radiation, Aerosol, and Cloud Experiment
- RASS: Radio Acoustic Sounding System 電波音波併用レーダー
- SAGE III: Stratospheric Aerosol and Gas Experiment III ロシアの Meteor-3M 搭載の米国の大気センサー (2001年12月打上げ)
- SAM: Southern Hemisphere Annular Mode 南半球環状モード
- SEARCH: Study of Environmental Arctic Change 北極環境研究計画
- SHADOZ: Southern Hemisphere Additional Ozonesondes
- SPRINTARS: Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species
- SSAI: Science Systems and Applications, Inc.
- SST: Sea Surface Temperature 海面水温
- TBO: tropospheric biennial oscillation
- UCAR: University Corporation for Atmospheric Research
- UKMO: United Kingdom Meteorological Office
- WEBS: (GEWEX/GAME) Water and Energy Balance Study
- WESP: Water and Energy Simulation and Prediction
- WINDAS: Wind Profiler Network and Data Acquisition System 局地的気象監視システム (気象庁)