

# シンポジウム報告

## IUGG 2007 Perugia 参加報告

紺屋 恵子, 安成 哲平, 青木 輝夫, 成瀬 廉二  
東 久美子, 松田 好弘, 竹内 望, 藤田 耕史

### 1. はじめに

藤田 耕史 (名大・環境学研究科)

第 24 回 IUGG (The International Union of Geodesy and Geophysics Union) の総会が 2007 年 7 月 2 日から 13 日にかけて, イタリア中部の古都ペルージャにて開催された。

ペルージャはサッカーの元日本代表選手が所属したチーム名として我々にもなじみがあるが, 元々は大学の街と知られているそうである。丘の上の複雑に入り組んだ街並みには大変趣があり, 歴史を感じる一方で, おおよそ五千人規模の国際学会を開催するには不便きわまりない街であった。主催者側にどのような意図があったのかはわからないが, この地方の一大観光イベントで, 毎年 7 月に開催されているウンブリア・ジャズフェスティバルが大会期間と重なっており, 宿の予約が大変だったという話を方々で聞いた。この混乱に輪をかけたのが大会事務局の迷運営ぶりで, 前半の一週間は「どの部屋で何のセッションが開催されているのか」といった情報がほとんど案内されず, やっと苦労してペルージャにたどり着いたにもかかわらず, 発表できなかった人が数多くいたとのことであった。幸い私 (藤田) は後半の週からの参加で, 前の週に苦労した知人から貴重な情報をいただき, あまり迷うことなく過ごすことができた。

大会の公式ウェブサイト (<http://www.iugg2007perugia.it/>) によれば, 参加者の総数は 4375 名で, 日本からの参加者は米国, イタリアに次いで多い, 487 名とのことである。IUGG はその名からもわかるとおり, 地球科学に関する幅広い分野の連合であるが, 本報告では, 雪氷に関する印

象的な発表やセッションについて, 参加者からのコメントを紹介する。

### 2. UCCS/IACS 総会の報告

東 久美子 (極地研究所)

7 月 12 日に UCCS/IACS の総会が開催された。UCCS (Union Commission on Cryospheric Sciences) 及び IACS (International Association for Cryospheric Sciences) の前身は, IAHS (International Association of Hydrological Sciences) に属する commission の一つ ICSI (International Commission on Snow and Ice) である。ICSI から UCCS を経て, 7 月 4 日に開催された IUGG の理事会の議決により, 正式に IACS (IUGG 直属の association の一つ) が発足した。7 月 12 日に開催された総会は, UCCS として最後の, そして, IACS として最初の総会である。日本からも数名がこの総会に参加した。

この総会において, UCCS/IACS の会長 Georg Kaser 氏から, 旧事務局 (UCCS の事務局) 役員に対する謝辞が述べられ, 新事務局 (IACS の事務局) 役員が紹介された。また, IACS の活動目的について簡単な説明が行われた。IACS 発足を記念して ICSI 最後の会長であった Gerry Jones 氏から, ICSI の歴史, IACS 発足の経緯についての講演があった。その後, IACS 発足の最大の功労者である Gerry Jones 氏に感謝の意をこめて IACS から表彰状と記念品が渡された。IACS 発足については, 7 月 13 日に開かれた IUGG 総会の閉会式でも報告があった。IUGG 閉会式の後, IACS 発足を記念して, 雪の結晶をかたどった氷の彫刻を囲んで IACS の役員, IUGG の評議員,

IUGG の各 commission の役員がシャンペンで祝杯をあげた。

### 3. 印象的だったセッション

#### MS016: Downscaling to Local and Regional Scales

紺屋恵子 (JAMSTEC・IORGC)

このセッションでは、気候モデルを利用して気候変化の影響評価を行った発表が多かった。特に IPCC で報告されているシナリオを用いてどのような変化がどのスケールで、またはどこで起こるかというモデル計算がされていた。議論は活発に行われ、特に計算方法についての質問には休憩時間にも活発に議論されていた。プログラムも予定通り進み、進行は順調だった。最後に convener が「このような機会は貴重なので、また設けたい」と述べ、アットホームな雰囲気ですべて終了した。

#### MS004: Mineral Dust Cycle and its Impact on Clouds and Radiation

安成哲平 (北大・環境科学院)

ダストを含むエアロゾルは直接的に太陽光を散乱・吸収するため気候に関わる研究として注目されている。また、エアロゾルは雲の凝結核や氷晶核になることから、間接的に雲物理に関わる。結果として、雨の抑制や雲粒による散乱効果としての 2 次的影響が考えられる。直接的な効果に関しては、今回の会合の発表でもそうだが、AERONET 等の放射の観点からの観測網が発達してきたため、大分以前に比べて、定量的な話しができるようになってきた。一方で、IPCC (2001) でもエラーバーのみ示されてきた間接効果については依然として未知な部分が多いため、上記のエアロゾル・ダスト両セッションにおいても、この間接効果について多くの研究者が現在取り組んでおり、それらの結果について各々の研究者が発表をした。そのアプローチとしては、やはり全球の大気大循環モデル (AGCM) や領域的なモデルに雲物理のスキームを取り込んで衛星などの観測データと比較するという手法が多い。しかし、雲物理の理論に関してまだまだわかっていないことが多いという状態の中で、このような計算を行っているため、聞いている方としては、これが、

たまたま観測結果にあった例なのか、モデル内の雲物理過程として、普遍的に説明できる例なのかなかなか判断できない。そもそも、大気中のエアロゾルの量や粒径分布がちゃんとモデルで再現できているのかということが非常に気になる。自然起源のダストは北半球では大きなソースとして、サハラ砂漠と東アジアのゴビ・タクラマカン砂漠がある。今回、ヨーロッパで開催されたためか、発表の多数はサハラ砂漠に関する発表が多かった。

#### MS004: Mineral Dust Cycle and its Impact on Clouds and Radiation

青木輝夫 (気象研究所)

大気エアロゾルのセッションとして、これ以外にも「MS003: Aerosols, Radiation and Clouds」があり、内容的にはかなり重なっていたが、その中でも本セッションは鉱物性ダストに特化したものであった。ダストに関する組成、光学特性、発生、輸送、沈着の観測、モデルなど包括的に扱われ、セッションを一通り聞くとダストの教科書を読んだ如く、全体像を把握できるものであった。内容的にはイタリアで開催されたということもあり、サハラダストに関するものが多かった。イタリアでは地中海に浮かぶ Lampedusa 島 (35.52 N, 12.63 E) にエアロゾルの観測所を設け、サハラダストのモニタリングを行っている。この観測結果に関する発表がいくつかあった。雪氷の立場からも、日本でも積雪中のダストや他の不純物について長期間のモニタリングは必要なことと感じる。ダストの光学特性は気候へのインパクトを見積もる際に、非常に重要な研究要素で、この点に関する発表も多かった。今まで、エアロゾルによる光吸収には様々な方法が提案されているが、精度という点ではまだ満足できる方法に到達できていないのが実情ではないだろうか。本セッションではダストサンプルに光音響法を適用することにより、高精度の吸収特性が得られたことが報告された。ダストによる雲の間接効果も大きな問題であるが、これに関しても室内実験に関する研究成果は発表された。それらの成果はエアロゾル輸送モデルに反映され、新しいモデルは現場観測や室内実験の新しい結果を取り込んでおり、モデルと

観測の融合が必要であることをあらためて感じた。

## ICESat と GRACE による南北氷床変動モニター

成瀬廉二 (NPO 法人氷河・雪氷圏環境研究舎)

地球温暖化による海面変動の問題に関連して、南極とグリーンランドの二大氷床が現在増大しているのか縮小しているのかが、大きな課題となっている。そのための古典的な測定方法は、雪上調査による涵養量と流動量から質量収支を算出することであった。1990 年頃からは、航空機および人工衛星 (ERS-1 および -2) によるレーダ高度計の観測が盛んに行われ、多くの研究者がさまざまな結果を発表してきた。それらの多くは、グリーンランド氷床の ELA (平衡線) 以下の低高度地帯では氷厚減少, ELA より内陸高地では氷厚増加, 同氷床全体ではわずかに質量増加, 一方, 西南極氷床は氷厚減少, 東南極氷床は氷厚増加という傾向を示している。しかしながら, レーダ高度計の観測値には, 種々の補正が不可欠であり, 同一データを用いても研究者により結果が 2 倍も異なるということがあった。

今回の IUGG シンポジウムでは, 2002-2003 年に打ち上げられた ICESat (Ice, Cloud, and land Elevation Satellite) と GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) の新しい手法による南極とグリーンランド氷床の変動の研究が, 「JGS005: Observation of the Cryosphere from Space (宇宙からの雪氷圏観測)」や「JMS 016: Cryospheric Change and Sea Level (雪氷圏変動と海水面)」等の数個のセッションに分散して多数発表された。

ICESat はレーザー高度計で氷床表面の高さを精密に測定するが, アイススタシーによる氷床下の基盤の昇降や表層積雪の圧密を仮定し, それらの補正をしなければならない。一方の GRACE については, この IUGG 総会に出席するまでは何も知らなかったが, これは高度 500 km の同一軌道を 2 機の衛星が 220 km 離れて周回しており, 2 衛星間の距離が重力の不均一により僅かに変化することを検知し, 重力分布を測定するという原理だそうである。測定された重力の時間変化は, 衛星軌道下の質量の時間変化を直接反映している。

したがって GRACE のデータは, 広い領域の質量変化, すなわち陸水量の変化や氷床の質量収支変動のモニターには大変優れているらしい。多くの発表を聞いたわけではないが, 概ね上述の過去 10 年の研究結果と傾向は一致しているようだが, まだデータ抽出と解析, 補正方法は発展途上という印象を受けた。

## JMS006: Glacial-Interglacial Cycles: New Records, Analyses, and Modelling

東 久美子 (極地研究所)

氷床コア研究者や水の安定同位体研究者にとっては関連の深いセッションであったが, 最終日の午後であったため, 出席者は比較的少なく (20 名程度), 日本からの出席者は 2 名だけであった。発表 9 件のうち 3 件が安定同位体比から気温を推定する際の様々な問題 (風, 昇華, 温度勾配による水蒸気輸送など積雪堆積後の変化過程, あるいは水蒸気起源の変動による同位体の変動) に関するプロセス・スタディやモデル研究に関する発表であった。氷床コアの安定同位体から高精度で気温を復元するのは簡単なことではなく, 今後も同位体の値に影響を与える様々な要因について定量的研究を行う必要があるとの感を深めた。日本が最近掘削した南極ドームふじ氷床コアと最も関係の深い発表として, 南極ドーム C の過去 80 万年にわたる気候変動に関する発表が 2 件あり, Masson-Delmotte が各氷期と間氷期ごとの気温, 二酸化炭素, イオンフラックスの変動の特徴について, また Stenni が d-excess の値を使って補正を行って得たドーム C の気温の復元結果について報告した。その他, 氷期-間氷期サイクルに関するモデル研究, 氷期-間氷期サイクルに関する理論的研究, 最終氷期における北半球氷床発達過程に関するモデル研究, 南極海の海底コアと南極 EDML コアの比較による過去の大気-海洋相互作用に関する研究などの結果が紹介された。

## JMS016: Cryospheric Change and Sea Level

松田好弘 (名大・環境学研究所)

海氷, 氷河・氷床, 棚氷, 積雪, 凍土といった雪氷圏の変動についてのモニタリングやモデル研

究、海水準変動への雪氷圏変動の影響についての研究発表の場として設けられた。実際の発表は、南極・グリーンランド氷床の変動についての観測結果やモデル研究と、海水の面積や体積、年齢などの変動に関する発表が主であり、氷床以外の氷河に関する研究は、南米の氷河変動に関する 2 件の発表と、山岳氷河の変動モデリングについての発表の計 3 件のみであった。雪氷に関する様々な分野の研究に触れることが出来たという点では、個人的にはこのセッションは非常に楽しく有意義なものであった。しかし、IPCC 第 4 次評価報告書 (2007) によると、1961 年から 2003 年にかけての海水準変動に及ぼした要因は、グリーンランド氷床の変動が  $0.05 \pm 0.12 \text{ mm yr}^{-1}$ 、南極氷床の変動が  $0.14 \pm 0.41 \text{ mm yr}^{-1}$ 、氷床以外の氷河・氷帽の変動が  $0.50 \pm 0.18 \text{ mm yr}^{-1}$ 、海水の熱膨張によるものが  $0.42 \pm 0.12 \text{ mm yr}^{-1}$  となっているが、このことを考えると、氷河に関する発表が 3 件のみであったのは寂しく思われる。私の専門は山岳氷河であるが、氷床以外の氷河・氷帽の研究を強くアピールするためにも、このセッションのように多少専門の異なる人々が集まる場でも研究成果を発表するように努めるべきだったと自省させられた。

### MS005: Biological Ice Nucleators in the Atmosphere at the Crossroads of Physics and Biology

竹内 望 (千葉大・理学研究科)

プログラムを眺めていて、雪氷生物学が専門の私の目に留まったセッションがこれである。私自身の研究発表は、アジアの氷河のセッションと雪氷圏のセッションでそれぞれ行って、このセッションでは聴衆に徹したが、議論も活発に行われていて、たしかに興味深いセッションだった。その一部を紹介する。

セッションがはじまるまえに、座長から生物氷晶核の概略が紹介された。氷晶核とは、雪の結晶のもととなる大気中の氷晶の芽の生成を促す微粒子のことをいい、普通は黄砂などの鉱物粒子や火山灰などが知られている。生物氷晶核は、大気中に浮遊する生物活動に由来する氷晶核、つまりバクテリアなどの微生物そのものや、陸上や海上の生物に由来する浮遊有機物のことをいう。生物氷

晶核は、1970 年代中頃に発見され、1990 年代中頃から急に研究が発展したそうである。生物氷晶核の研究グループは以前から何回か小さな研究会をおこなってきており、このセッションもその延長線上にあり、セッションを作った何人かのコアになる研究者が存在するようである。座長によって現在の研究の問題点が整理され、そのなかで研究の大きな方向性は、この生物氷晶核の大気圏への影響はどれくらいなのか、を明らかにすることである、と紹介された。

はじめの発表は、気象学を専門とする Russ Schnell (NOAA, Boulder) による招待講演で、自分が生物氷晶核の研究をはじめたいきさつについての話で、単なる研究発表ではなくとても聞きやすい話であった。研究の始まりは 1969 年、コロラドの森林の上で雲が渦をまいて舞い上がる現象をみながら、これは木からなにか氷晶核となる物質がでているに違いないと思ったことからだそうである。はじめは、木がもつ物質、たとえばクロロフィルかなにかが、葉から巻き上がり雲が形成されるのではないかと考えていたそうである。その数十年後、それは物質ではなく葉の上にいるバクテリア (*Pseudomonas syringae*) が氷晶核になっていることがわかったそうである。今では、生物氷晶核は、海洋起源の核 (Ocean Derived Nuclei, ODN)、葉起源の核 (Leaf Derived Nuclei)、バクテリアの核 (Bacteria Derived Nuclei, BDN) という種類に分けられているそうである。

次は、微生物学者 Christner Brent (Louisiana State University) による、モンタナの雪の中に含まれているバクテリアの分子生物学的な分析や実験からわかったことの発表であった。彼はアイスコア中のバクテリア分析や南極ポストーク湖の微生物研究など雪氷圏のバクテリアに関する研究を幅広く行っている。今回はモンタナのスキー場で定期的に採取した雪に含まれているバクテリアの話であった。バクテリアの種類によって凍結温度が異なったり、雪 (水蒸気) の起源によってバクテリアの種類が変わったりする話で、聴衆の興味を引いていた。

その他、発表はキャンセルも多かったが、世界各地の雪の中に含まれていた微生物の報告や、凍結特性の実験結果などが発表された。IUGG なら

ではの物理や生物をふくむさまざまな分野の研究者が、それぞれの視点で活発な質問、議論をおこなっていた。はたして本当に生物が雪をコントロールしているのか、未知の可能性に挑む研究者たちの野心が垣間見えたセッションだった。

#### JMS026: Ice Core and Climate

藤田耕史 (名大・環境学研究科)

主に両極氷床で得られたアイスコアの研究に加え、パタゴニアや中央アジアなどで得られたアイスコアの研究発表があった。東氏が紹介している氷期-間氷期サイクルのセッションとの間で発表が分散したためか、ヨーロッパでの開催であったにもかかわらず、EPICA グループの発表はそれほど活発という印象はなかった。毎年春に開催されている EGU (European Geophysical Union) の方が、研究者同士の情報交換という点では有効に機能しているようである。とはいえ、発表者を含め、会場にはこの業界で名の通った(特に中堅所の)研究者たちが顔をそろえており、新参者の私にとっては大変刺激的であった。本セッションでの発表は、南極やグリーンランドでの新規掘削計画の紹介、よりマニアックな分析・解析の研究、これまでアイスコアが得られていなかった地域での掘削・分析結果の3種類に大別できる。現在進められているグリーンランド (NEEM 計画) と南極 (Dome A) での新規掘削計画には、「古い氷を掘り出すのだ」というメッセージはよくわかるのだが、「それが手に入ると何がうれしいのか」という肝心なところが今ひとつ不明確で、失礼ながらアイスコア研究という分野の閉塞感を感じてしまった。その一方で、グリーンランドで得られてきた複数のアイスコアの解釈に、DNA の解析などに使われる自己組織化マップ (多変量情報を有するデータ同士の相関を低次元情報に落とし可視化し、データマイニングに用いられる手法) を応用した発表などは、私にとって「マニアックな研究」の最たるものであった。この「マニアックさ」は普通に思いつくことはやり尽くしてしまったという行き詰まり感の裏返しでもあるのだろうと想像するが、何とかして新しい情報をひねり出そうとする貪欲さに感心させられる発表であった。

#### 4. 印象的だった発表

紺屋恵子 (JAMSTEC・IORGC)

Global glacier mass losses and mass balance sensitivities assessed from observations and girded climate data (Regine Hock)

「気温を指標とした質量収支モデルと ERA40 (ECMWF の 40 年再解析データ) を利用して、約 100 の氷河質量収支の気候感度を計算した。値は ERA-40 のグリッドごとに求め、その値と気象データを利用して、各氷河の質量減少量の計算を行った。その結果、世界の氷河の質量減少量はこれまでの計算よりも大きい値を示した。」というもの。この結果については異議とも思える質問が出ていた。この発表では、ある程度大雑把な計算をしているとも思えるが、世界の氷河について計算していることを考慮するとこれまでの研究よりも正確さは増していると思った。

On the influence of topographic and geometric changes on modelled glacier mass balance (Frank Paul)

「Klok and Oerlemans (2004) のモデルを利用して、スイスのいくつかの氷河の質量収支を計算した。その際、氷河の大きさの変化や気候条件を考慮するため、デジタル標高データと気象データに 19 世紀と 20 世紀のそれぞれのデータを組み合わせた 4 通りの計算を行った。氷河域の大きさの変化が与える影響は大きく、今後は質量収支の計算に考慮する必要があることが分かった。」というもの。スイスの氷河にある豊富なデータを利用した研究であるが、結果がやや曖昧だという印象が残る。また、この分野の研究としてはオリジナリティに欠けるように思える。

安成哲平 (北海道大学大学院環境科学院)

Multi-size saltation process from fallow-wheat-field in Australia during JADE IOP (Masao Mikami)

これまで、ダスト発生の理論的研究においては、発生するダストは同質の発生状態という仮定のもと話しが進められてきた。しかし、本発表では Sand Particle Counter による観測で、表面付近のわずかな高度差 (10~30 cm 程度) でも発生

ダストの粒径分布が変わることが示された。これまでになされてきた多くのモデル研究が定量的に間違っただけの見積もりをしていたことになる。このように、発生という初期段階でまだまだわかっていなかったことが多い状態で、その後の話をしていくということ、我々はわかった上でこれらをより精度良く評価できるようにしていく必要がある。

Aging of mineral dust: comparative studies over desert and downwind regions in East Asia based on balloon and aircraft measurements (Atsushi Matsuki)

東アジア域での観測及び ASTAR2004 (Arctic Study of Tropospheric Aerosols, clouds and Radiation) という北極域でのフィールドキャンペーン時に採取された大気エアロゾルの分析結果について報告がなされた。これらのエアロゾルサンプルについて電子顕微鏡 (SEM と TEM) による観察及び組成分析 (SEM-EDX) を行った結果、かなりの量の Ca リッチな球形粒子が自由対流圏で発見されたという。形状の観察などにより、これは主に硝酸による変形を受けたカルサイト (炭酸カルシウム鉱物) ではないかということである。この Ca リッチの球形粒子が硝酸カルシウムのような状態であれば、相対湿度が 10% 程度であっても潮解し液相として存在できるため、雲の凝結核として有効に機能し、大気からの湿性沈着が起りやすくなると考えられるため、大気中の存在状態がよく説明がつくという。

実際、大気中で起こっているダストの振る舞いを観察する研究は、雪氷・雪氷圏研究にとっても非常に重要である。鉱物ダストは、大気中で氷晶核として働くことがわかっており、対流圏上層でのダストによる巻雲生成量への影響が考えられる。そして、雲量変化による太陽光による放射収支の変動が更に気候へ影響を与える可能性もある。また、春季に黄砂が大量に雪面へ沈着した際には、雪面のアルベドを減少させ、融雪を早める可能性もある。このように鉱物ダストは、雲物理、気候、雪氷圏と考えると非常に重要な研究対象なのである。

青木輝夫 (気象研究所)

Dust-snow/ice interactions: a glacial cycle modulator or trigger? (Charlie Zender)

ダストの発生、輸送、沈着過程を大気大循環モデルを用いて計算し、雪水中への沈着によってアルベドが低下する効果と大気-地表を冷却する効果を、現在気候と Last Glacial Maximum (LGM) に対して示した。現在気候下では、ダストによる放射効果は大気上端で  $0.02 \text{ W m}^{-2}$  の加熱、全球年平均気温は  $0.03\text{-}0.07 \text{ K}$  の上昇であると見積もっている。一方、LGM では  $0.26 \text{ W m}^{-2}$  の加熱、平衡温度を  $2 \text{ K}$  上昇させる効果を持っているとしている。このためダストは LGM 後の急激な温度上昇の “modulator or trigger” であると結論付けている。最後の結論における大胆な仮説も印象的だったが、前半の見積もりは我々の同様の計算とは数値が大きく異なっており、今後、アルベド低下プロセスを含めて検討を要する問題である。

Impact of disturbed desert dust on mountain snowcover duration (Painter Thomas)

北米の砂漠から舞い上がったダストがロッキー山脈の積雪域に降下し、アルベドが低下することにより積雪期間が短くなることについて、数年間のダストイベントと積雪期間の関係が示された。また、コロラド州の San Juan 山脈に設置した自動気象観測装置で測定した積雪深やアルベドデータとの関係から、雪面におけるダストの放射強制力は、2005 年が  $25 \text{ W m}^{-2}$ 、2006 年が  $49 \text{ W m}^{-2}$  と見積られた。これに対応し、融雪モデルによる計算結果では、2005 年が 22-33 日早く消雪し、2006 年は 18-35 日早かった。このようにこの地域における積雪期間がダストによって大きく影響を受けており、またこの地域では山岳域の積雪が貴重な水資源であることから、社会的な影響が大きいと述べている。ダストによる放射効果は、全球的な影響を大きく上回る地域的な影響を持っているため、日本でも同様の調査を行う必要がある。

東 久美子 (極地研究所)

Investigating a Dansgaard-Oeschger warming evidence for a tropical precursor? (Liz Tho-

mas)

本発表はグリーンランド NGRIP コアを用い、Dansgaard-Oeschger (DO) イベント 8 (約 3 万 8 千年前) 付近を高時間分解能で分析した結果を報告したものである。本研究では、イオンと水の安定同位体を、それぞれ 2 mm (10-12 サンプル/年の時間分解能に相当) 及び 2 cm の分解能で分析した。その結果、イオン濃度の季節性が DO イベントの温暖化の際に変化したことが見出された。陸域起源のイオンは春に変化しており、海洋起源及び非陸域起源のイオンは夏に変化していた。また、酸素同位体比は温暖化の際に 5-10 年で変化しており、d-excess は 1 年程度で変化していたことが明らかになった。このことは、気候・環境変動が従来の推定よりもずっと短期間で生じたことを示している。酸素同位体比、d-excess、陸域起源のダスト、海塩起源イオン等の変化のタイミングと変化の速度から、DO イベントの温暖化に先立ち、大気循環、海洋循環、ダスト発生域の環境が変化したことが示唆された。著者らは、このイベントの引き金は低緯度、おそらくは熱帯域にあるのではないかと推定している。

#### 松田好弘 (名大・環境学研究科)

Evidence for enhanced ablation vs. enhanced accumulation in southern South America: assessing the net balance (Gino Casassa)

この研究では、地図 (1968 年, 1975 年, 1995 年) と Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 2000 年) のデータから、南北パタゴニア氷原とダーウィン山脈アイスフィールド (フエゴ島) の氷河表面の低下量を求めた。その結果、南北パタゴニア氷原における氷河体積の減少の様子が示された。また、ダーウィン山脈アイスフィールドの西側や北西側では氷河末端位置が前進しており、東側では後退しているが、これらの地域の氷河表面高度の変化は認められなかった。次に、SRTM (2000 年)、飛行機搭載のレーザー高度計 (2002 年) のデータから、近年の南北パタゴニア氷原の表面高度の変化も求めた。その結果、南北パタゴニア氷原の涵養域では小さいが明らかな氷河表面高度の上昇が見られたが、これは涵養量の増加によるものと推定している。最後に、ダー

ウィン山脈アイスフィールドの西側の氷河では涵養量増加の影響によると思われる氷河拡大が見られるが、パタゴニア・フエゴ島全体で見れば、温暖化による融解量増加の方が涵養量増加分よりも大きいので、この地域の氷河は全体として縮小傾向にあると結論付けている。

氷河変動の主な気候的要因は、気温と降水量の変動である。温暖化が起きると、融解量が増えるだけでなく、雪で降っていた降水が雨になることによる涵養量の減少も起こる。また、温暖化が起こらなくても降水量が減少するだけでも涵養量が減少し、氷河縮小は起こる。よって、氷河変動だけでは気温と降水量がどの様に変動しているのかは簡単に分からない。しかし、パタゴニアやフエゴ島における気温と降水量、両者の変化傾向を氷河変動から示唆することができたという点で、この研究は興味深く感じられた。

Future volume changes for six glaciers forced by hypothetical warming scenarios: flowline modelling vs volume-area scaling (Valentina Radic)

長期の氷河変動を推定する場合には、質量収支だけでなく、氷河面積とその高度分布の変化も求める必要がある。そうしないと、実際には融けて無くなってしまった氷河末端部でも、モデル上では融解しつづけるということが起きてしまうからである。この研究は、氷河の面積とその高度分布の変化を「簡単に」推定する方法について考察したものである。氷河面積とその高度分布の時間変化は、氷河流動モデルを使えば計算することが出来るが、氷河の流動を計算するためには、様々なパラメータが必要である。そのため、氷河の体積と面積または長さとの関係の経験式を使って、氷河の体積変化 (質量収支) から氷河面積とその高度分布を推定する方法が広く用いられている。この研究では、6 つの山岳氷河を対象に、体積-面積の関係式を用いた氷河体積の変化と、体積-長さの関係式を用いた体積変化について、1 次元流動モデルによって計算した体積変化と比較した。質量収支の高度分布は同じ値を用いた。その結果、体積-面積の関係式を用いた場合は、流動モデルの結果に比べて最大 50% 小さく体積変化を

見積もったが、体積一長さの関係式を用いた場合は、流動モデルの結果に比べて最大 15% の差に留まった。

氷河変動の海水準への寄与に関する研究は、藤田 (2006) が紹介しているが、氷河の面積変化も考慮して全球的な氷河の体積変化を推定した研究は未だ 2 件のみであり、それらの研究で用いた方法の妥当性についても更なる議論の必要があろう。そのような観点から見ると、この研究は氷河変動モデル研究にとって非常に有用である。この研究のような、氷河流動の立場から「シンプルかつ信頼度の高い」氷河変動モデルの研究を推し進めてくれる研究に、今後も期待したい。

#### 藤田耕史 (名大・環境学研究所)

Melting ice sheets, Earth's gravity field and global sea level (Michael Kuhn)

最初に発表者の名を見た時は、「エッ?」と思ったが、オーストリアの大御所とは全くの別人(若者)であった。「JMS016: Cryospheric Change and Sea Level (雪氷圏変動と海水準)」のセッションでの最後の発表だった。氷床が融けて無くなった場合、海水準が何 m 上昇するか? という見積もりは、メディアを通じて昨今様々なところで知らされている。だが、これらの見積もりでは巨大な氷の質量そのものが極域から海洋にばらまかれることによる重力場の変化は考慮されていない。本発表では重力場の不均一が海水準分布に与える影響についてモデルを使って見積もったもので、北半球中緯度域での海水準上昇が単純平均した見積もりよりも 3 割近くも大きいという結果を示していた。ある日突然氷床が全部水になったら、という荒唐無稽な仮定をおいてはいるものの、いわゆるモデルを使った研究のあり方としては大変おもしろいと感じる発表であった。ちなみに、「海洋分布が不均一であるがゆえに、海水準上昇による重力場の変化が一律でない」ことによる影響は、成瀬氏が触れている GRACE 衛星の観測結果の解釈にも影響するという報告が最近の GRL に掲載されており、決して無意味な研究ではないことを申し添えておく。

Surface variations of Sagarmatha National Park (Nepal) glaciers in the second half of the 20th century by historical maps (Franco Salerno)

Glacier Evolution in the Sagarmatha National Park of Nepal 1956-2006 (Giovanni Kappenberger)

The 3D evolution of the front of the high altitude glacier Lobuche in Everest National Park (Giorgio Vassena)

「JMS027: Glacier Fluctuations in the Asian High Mountains (アジア高山域の氷河変動)」という、このセッションのプログラムを最初に見た時、ぎょっとしたのがこの 3 件の発表であった。現在、名古屋の研究室ではエベレストから流れ出るクンプ氷河を対象に測量と衛星によるデジタル標高データを利用して氷河変動量を求める解析を進めており、この連中はどんな手法でどこまでやっているんだろうかという不安感を抱きつつ、このセッションに参加した。Salerno 氏による発表は、古い地図と最近の地図を比較して氷河変動を求めたものである。手法自体はデジタル化や誤差評価の点で参考になることもあったが、使った古い地図の精度がこういう研究に耐えられる代物ではなく、労多くして得るところの少ない研究という印象である。Kappenberger 氏は 50 年前にクンプ地方の氷河台帳を初めて作成した Fritz Müller 氏の写真を元に、同じアングルで写真を撮ってきたという報告であった。いわゆる研究としては成立しづらいだろうが、彼の地になじみがあるものにとっては、スライドショーとして大変楽しい報告であった。ちなみに、一番変容していたのはナムチェバザールであった。最後の Vassena 氏はペルージャにくる途中で交通事故に遭い、共著者によって限定的に報告されるにとどまった。しかし、その内容はたこ揚げによる氷河表面のデジタル標高データの作成や、レーザスキャン装置による氷河末端地形の図化など、我々をあわてさせるのに十分なものであった。

(2007 年 8 月 25 日受付, 2007 年 10 月 1 日改稿受付)