

## シンポジウム報告

### Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly (DACA-13) の報告

上野 健一<sup>1</sup>, 藤田 耕史<sup>2</sup>, 青木 輝夫<sup>3</sup>, 竹内由香里<sup>4</sup>, 川瀬 宏明<sup>5</sup>,  
平沢 尚彦<sup>6</sup>, 東久 美子<sup>6</sup>, 本田 明治<sup>7</sup>, 山崎 剛<sup>8</sup>

#### 1. はじめに

2013年7月8-12日の5日間、スイス・グラウビュンデン州のダボスにて Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly (通称, DACA-13) が開催された ([http://www.daca-13.org/index\\_EN](http://www.daca-13.org/index_EN)). 本会合は, 国際測地学・地球物理学連合 (IUGG) の傘下にある国際気象学・大気科学協会 (IAMAS) および国際雪氷圏科学協会 (IACS) が合同で開催し, 900人あまりの科学者が参加した。ダボスは標高 1500m に位置するコンベンション・タウンで, 会場は世界経済フォーラムの年次総会 (通称, ダボス会議) でも使用される国際会議場であった。一件が 15~30 分程度の口頭発表が 10 会場で同時進行し, 会場をつなぐ通路およびホールを利用してポスターセッションが実施された。毎日, 夕方から公開講演会が企画され, 大気・雪氷それぞれの分野から, 現在ホットな話題と今後の学問体系が目指す方向性に関してわかりやすい解説と活発な質疑が行われた。7月13日には, 本大会を運営した SLF および PMOD/WRC 研究所で見学会が実施された。本会合には日本からも多くの研究者が参加しており, それぞれの成果を世界にアピールしていた。参加者の中から, 雪氷学会に所属する有志が募って, 各自が

興味あるテーマに関して報告を行う。

#### 2. 山岳域の雪氷圏と大気陸面相互作用

(上野健一)

本会合は表題にあるように, 大気科学と雪氷学の “Assembly” として重要な意味を持つ。私は大気雪氷相互作用が卓越する中緯度山岳域における降水機構に関心があり, 降積雪過程とモデリング, 大気境界層に対する積雪域の影響, 寒冷圏での気象・雪氷観測手法といった観点で, 両分野の横断的研究成果が聞けると期待して会合に参加した。聞きたい発表を検索し時系列で並べてくれるソフト (Iplanner) が Web 上で整備されていたため, 事前に自前のプログラムを作成・印刷し, これを手にも複数会場を渡り歩いて有意義な知見を得ることができた。同種の発表が同じ時間帯に重複して実施される場面もあったが, セッションによって任意のプロジェクトを中心に話題を組み立てた影響だと思われた。ポスターの入れ替えが期間中に無かったため, 日時の制約を受けずに余裕をもってポスターを閲覧出来た。ポスター数が膨大で, 入り組んだ会場内でお目当てのポスターを見つけるのが難儀であったが, スペースさえ確保できればこのような方式は見習うべき点であると感じた。大会後に PMOD/WRC を見学したが, 衛星観測も含め, 太陽定数の長期変動解析から測器比較実験まで, 100年スケールで放射観測を維持・発展させていく重要性を改めて実感した。

地形性降水に伴う Rain on snow (ROS) と流域単位での大気雪氷相互作用に関して, スイス・オーストリアアルプスおよび北米ロッキー山脈に沿った地域研究に特に関心を持った。任意の研究対象

<sup>1</sup> 筑波大学生命環境系

<sup>2</sup> 名古屋大学大学院環境学研究所

<sup>3</sup> 気象研究所気候研究部

<sup>4</sup> 森林総合研究所十日町試験地

<sup>5</sup> 海洋研究開発機構地球環境変動領域

<sup>6</sup> 国立極地研究所研究教育系/総合研究大学院大学極域科学専攻

<sup>7</sup> 新潟大学自然科学系

<sup>8</sup> 東北大学大学院理学研究科

流域を複数設定し、流域単位で精密な観測網を配備したうえで数値モデルによる診断解析・感度実験を行うスタイルが定石となっていた。各試験地を管理する森林・水文・雪氷研究者が率先して気象領域モデルを運用しているのが印象的であった。リモートセンシング機材による面的なWESの算定や、航空機観測による対流混合層や安定成層形成の3次元構造の把握など、モデルの出力値を高分解能で検証できるだけの観測体系を完備した試験流域が設定されていた。これだけの機材を投入できる理由は、現業機関がプロジェクトを国際共同研究として実施していることにあり、アジアはその点で圧倒的に後進国である。私が拝聴した日本のプロジェクト研究も、質的には世界に引けを取らないが、ほとんどが個別の研究機関による成果発表であり、国際プロジェクトの一環として発表しているものは少なかった。ROS研究は中緯度擾乱が到達するアメリカ西部で注目されており(McCabe *et al.*, 2007), D. Mark (アメリカ, USDA-ARS-NWRC) は露点温度を閾値とした降雨境界高度の経年変化や、流域斜面方向での違いをまとめていた。一方で, J. Landquest (アメリカ, ワシントン大学) はシエラネバダ山脈西側で発生する下層ジェットの有無で山岳降水域が大きく変化する事を示しており、日本に置き換えた時の脊梁山脈沿いでの降雪過程と照らし合わせて勉強になった。ヨーロッパアルプスの気象研究は主に力学的側面が注目され、アジアモンスーンが支配的なチベット・ヒマラヤ域で強調される熱的循環場と対照的であった。NAO変動とスイスアルプスでのIce-albedo feedbackの関連を提示したM. Beniston (スイス, ジュネーブ大学) と念願が叶って面会でき、EC-FP7の一環として実施されたACQWAの政策者向け成果ファイルを見せていただいた。スイスでも山岳中腹など観測地点の不足があることを認めたくえて、「昔はあのような相関解析で済んだが、現代ではやはりダウンスケールリングによるモデル診断が有効や研究手法となる」と仰ったことが印象的であった。大気陸面相互作用に関しては、安定層の形成と重力流の発生に関する研究が目立った。E. Paradyjak (アメリカ, ユタ大学) はMATHERHORNプロジェクトで実施した航空機観測やタワー観測値が周辺各

斜面から発生する夜間のカタバ風の盆地内収束をとらえている様子を紹介した。R. Mott (スイス, SLF) は5m分解能の境界層モデルを使い、日中でも谷風が雪渓上で発生するカタバ風と収束して乱流を引き起こす様相や、夏に向け縮小する積雪域に伴い気流系も変化する様相を見せていた。欧米の山岳域は森林域が少なく、U字谷など比較的単純な地形で構成されており、現象をモデル化しやすい利点があるようだ。一方で、森林内のギャップ域における積雪量変化(T. Link, アメリカ, アイダホ大学) や雨雪境界標高での南北斜面の水量の違い(M. Seyfried, アメリカ, USDA-ARS-NWRC) といった狭域過程をしっかりと見る研究もあり、山岳気象観測拠点の設営地点を考えると非常に勉強となった。

### 3. 多種多様なセッションに参加して

(藤田耕史)

大会全体の印象：大気と雪氷の合同開催の大会という、せっかくの機会なので、普段あまり聞くことのないテーマのセッションに参加するように心がけた。自分が参加したセッションに限って言えば、大気と雪氷の相互作用という、大会の趣旨に沿った発表はさほど多くなかったという印象であった。

山岳積雪と雪崩に関するセッションでは、測器などが安価になってきたこともあり、流域に多くの測器を設置し、積雪分布を面的に把握する、という研究が多く見受けられた。Ground Penetrating Rader (GPR) を上に向けて地面に埋設し、積雪の構造を連続的に測ったり、Terrestrial Laser Scanner (TLS) で積雪ピット面を走査し、積雪の微細構造の空間分布を測ったりと、既存の測器の想定外の使い方が印象的な研究がいくつかあった。全体として、精緻な観測、精緻なモデリングを目指す研究が多く、そうした研究は必然的に、狭い空間スケール、短い時間スケールでの話になっているように感じた。個々の研究としてはそれで良いのだが、研究を通じて得られた知見をどのように他の地域、特に「測られていない流域、地域」へ応用、展開していくのか、という視点があっても良いと思う。

両極氷床の融解と安定性に関するセッションで

は、重力衛星、衛星搭載レーザー高度計などにより、広範囲での氷床の水損失量を見積もることが可能になっている中、「では、どこで、どんなメカニズムで?」という動機にもとづき研究が進められているとの印象を受けた。中でも、海洋の影響に着目している研究が多く、これまで自分が興味を向けてこなかったこともあり、大変興味深く一連の発表を聞くことができた。

一日を通してあったアジアの水河に関するセッションでは、衛星データを利用して広範囲の水河変動を明らかにした研究や、デブリ氷河を対象にした観測やモデルなどの研究が印象的であった。インドヒマラヤの水河変動に関する発表がいくつかあったものの、観測結果と近隣の気象データを併記するのみのものが多かった。ヒマラヤ地域で近年話題となっている、スス (black carbon; BC) を扱った発表も多かったが、水河変動への影響まで踏み込んだ研究はほとんど無かった。下記のアイスコアに関するセッションにおいて、ダスト粒子と BC の影響をアイスコアから見積もり、ダスト粒子の影響の方が大きい、と結論づけた研究があり、丁寧な解析が印象的であった。

アイスコアや古気候復元に関するセッションでは、グリーンランド内陸における、水蒸気中の水同位体の連続観測が印象的であった。南極内陸での通年観測とそれによる水蒸気輸送メカニズムの解明、氷床コアの気候シグナル解釈への応用などが、数年後には実現可能な状況にあることを把握できたことが、自分にとって大きな収穫であった。この他、様々な地域で得られたアイスコアの報告があったが、複数のアイスコアを利用した水蒸気起源の時空間変動の解明など、単なる時系列データの記述ではない、より踏み込んだ研究が多いことに驚かされた。

#### 4. 新しい雪氷測定技術とグリーンランドの話題

(青木輝夫)

主に雪氷測定技術に関する発表とグリーンランド関係の発表について報告する。Jeffrey Deems (アメリカ, NSIDC) は航空機や地上設置型の積雪深測定用ライダーを用いて、山岳域の複雑地形、不均一な積雪深分布を高精度に測定した積雪深

マッピング結果について報告した。山岳域では 6 km の範囲で積雪深分布の測定が可能とのことである。この装置は氷河から露場まで測定が可能で、今後様々な場所で有用な測器として期待できる。問題は価格が高いことのようなのである。Carlo Carmagnola (フランス, Météo-France/CNRS) は、積雪の光学的等価粒径を表現する 5 種類の乾燥積雪変質過程 (診断的モデル) を Crocus model に導入し、積雪水量、積雪粒子の比表面積、アルベド等の計算を行い、グリーンランドの Summit キャンプとフランス・アルプスの Col de Porte での観測結果と比較した。一般的によく使われているモデルでも精度に問題のあるものがあることなどが示され、積雪変質過程には今後研究の余地が大きく存在することが示された。Jan van Angelen (オランダ, Utrecht University) はグリーンランド氷床上の表面質量収支の長期トレンドを、11 km の分解能で領域大気気候モデルの RACMO2 による計算を行い、その結果を AWS と GRACE 衛星の観測結果と比較した。その結果、RACMO2 の計算結果は観測値とよく一致し、1960-1990 年に比べ、2007-2012 年は気温が 2°C 上昇し、積雪粒径増加に伴うアルベド低下による正味短波収支は 11% (要旨には 9% と記載) 増加した。また、近年の氷床表面融解に伴い、内陸涵養域では融解水の再凍結が起り、氷床質量減少がバッファー化されていると述べた。William Neff (アメリカ, NOAA/ESRL) は 2012 年 7 月のグリーンランド氷床表面融解イベントの原因について報告した。この高温イベントは北米の高温アノマリーが起源で、グリーンランド上空のブロッキング高気圧によって北米から暖気と水蒸気が移流したものであるとしている。また、氷床表面融解域は下層の水雲からの下向き長波放射が重要であると述べている。Von P. Walden (アメリカ, University of Idaho) は Bennartz *et al.* (2012) の内容について共著者として発表した。2012 年のグリーンランド氷床表面融解イベント時に光学的に薄い過冷却水滴の下層の水雲が存在したことにより、晴れた場合に比べ下向き短波放射量の減少が少なく、長波放射量の増加が大きいことが、標高の高い内陸涵養域において顕著な表面融解をもたらしたと述べた。また、北極域ではこのような下

層雲の発生確率が高いことも指摘している。同時期に我々が北西グリーンランドの氷床上 SIGMA-A サイト (標高 1,590 m) で観測した表面融解イベントでも下向き長波放射が重要であることと整合する結果であった。

## 5. 大気雪氷のダウンスケーリング

(川瀬宏明)

ダウンスケーリングとは、解像度の粗い全球気候モデルの結果や再解析データから、領域気候モデルや統計モデルを用いて空間詳細な情報を得る手法である。ダウンスケーリングは総観気象と局地気象、現地観測とを結びつける。DACA13 では大気雪氷のダウンスケーリングと名のつくセッションはなかったが、関連した研究発表がいくつかあったので、それらをまとめて紹介する。まず、J. Lundquist (United States, University of Washington) が紹介したアメリカのカリフォルニア州を対象とした研究。この地域では、大気と雪氷、水文の研究者が連携し、WRF model を用いた高解像度ダウンスケーリングの結果をもとに、降水量や積雪水量の年々変動から河川流量の変動に至るまで一連の研究が行われていた。一方、ヨーロッパでは、将来の地域規模の気候変化を調べるために、全球気候変動予測のダウンスケーリングが盛んに行われている (例えば、PRUDENCE, ENSEMBLES, CORDEX)。J. Rajczak (Switzerland, ETH) は ENSEMBLES のデータを用いて、ヨーロッパにおける夏季と冬季の降水量の将来変化を調べ、平均値よりも極値の増加率が大きいことを示した。また C. Schär (Switzerland, ETH) は PRUDENCE と ENSEMBLES を用いて、気温の年々変動の再現性、及び将来変化を調査し、将来のヨーロッパでは気温の年々変動の幅が増加する可能性を示した。ただ、PRUDENCE や ENSEMBLES で実施されたダウンスケーリングは、空間解像度がそれぞれ 50 km, 20 km と粗く、複雑地形を再現することはできない。K. Ueno (Japan, University of Tsukuba) は日本の菅平高原での観測と WRF の再現実験から、山岳域で雨雪が混ざるようなイベントを再現するためには解像度 3 km 以下で地形を解像し、フェーンなどの局地気象を再現する必要があると考察している。山岳域

における気象や積雪を再現し予測するためには、より高解像度のダウンスケーリングが必要となってくる。DACA13 では将来の全球気候変動予測から局所的な積雪分布まで種々の時空間スケールの発表があったが、今後、地球温暖化などの気候変動が雪氷圏に及ぼす影響を考える上では、大気雪氷のダウンスケーリングを通じて、異なる分野の専門家が協力して研究を進めていくことが重要だと改めて認識できた。

## 6. 森林と雪の相互作用

(竹内由香里)

「森林と雪の相互作用 (Forest-snow interactions)」のセッションは、「雪、水、植生および大気境界層 (Snow, water, vegetation and the atmospheric boundary layer)」のセッションの中の 5 つのサブセッションの 1 つとして設けられた。積雪や降雪が森林に及ぼす影響と反対に森林が積雪の特性さらに気候や環境へ及ぼす影響に焦点を当てたセッションで、10 件の口頭発表とポスター発表が数件あった。内容は、森林によりアルベドが小さくなる効果や雪面の熱収支に樹幹が及ぼす熱的影響などエネルギー収支に関する発表、森林内の積雪量分布と樹冠の構造の関係や林内の雪の積もり方や融け方に対する森林の影響、森林伐採による積雪や土壌への影響などであった。筆者は流下する雪崩に対する森林の減勢効果についてシミュレーションで得られた結果を発表したが、同様に雪崩と森林に関する研究 2 件がポスターで発表されていた。T. Feistl (スイス, SLF・ドイツ, Technical University Munich) らの “Stopping behavior of snow avalanches in forests” は、雪崩が森林内を流下する際、樹幹に妨げられて質量 (流下量) が徐々に減少 (detrainment) して停止すると考えて、その過程を雪崩の運動モデル (RAMMS) で再現した。detrainment の程度を与える係数には、森林の種類や構造なども反映されていて、小規模な雪崩に対しては、森林は雪崩を停止させるのに重要な役割を果たすことを示した。「森林と雪」をテーマにしたセッションは新鮮で、有意義であった。その上、終了後には、コンピーナーの P. Bebi 氏 (スイス, SLF) が本セッションの発表者らを招いて、ご自宅の庭でバーベキューパーティーを

開いて下さり、ダボス最後の夜を満喫した。

## 7. 降雪量観測の精度向上に対する世界的な関心

(平沢尚彦)

この学会の最後の2日間に“Methods and challenges of snow measurements”(セッションコード:C4.5)が開かれた。発表件数は口頭、ポスター合わせて19件であった。

我々人類の観測技術において、気象を表す基本的な要素である気温、気圧、風向・風速、湿度については、気象を理解し予測するために十分な精度で計測できるようになってきた。それに比較して、降水量、とりわけ降雪量についての計測精度は現在も高くない。最も重大な問題は、風による降雪粒子捕捉率の低下と融解させるための加熱による蒸発である。精度低下の影響は、多くの場合、降雪量の過小評価として現れる。Rasmussen *et al.* (2012) によるレビューでは現用の個々の測器と観測手法の問題点を整理し、実際の降雪量の20~50%程度しか計測できていない場合があることを示している。地球温暖化に伴い降雪量を含む降水量は増加すると考えられているが、現在の降雪量が正しく測られなければ、将来の地球の状態を正しく把握することはできない。世界中の降雪量の観測値が大きな過小評価をしていることは明らかであり、WMO(世界気象機関)はその改善に向けた国際的なプログラム SPICE(固体降水測定法比較観測)を発足させた(Qiu, 2012)。日本では新潟県上越市と北海道陸別町の2地点が観測サイトとして登録された。

セッション:C4.5はSPICEに関わる研究発表を集めた。初めに、SPICEプログラムの取りまとめ役である Rodica Nitu(カナダ, Environment Canada)がまとめたプログラムの概要を、SPICEプログラムの代表である Yves-Alain Roulet(スイス, MeteoSwiss)が講演し、それに続いて各国がこれまで取り組んできた結果のレビューと今後の計画がそれぞれ紹介された。日本からも平沢尚彦(N. Hirasawa, 極地研究所)と小西啓之(H. Konishi, 大阪教育大学)が陸別町の観測結果や観測計画についてそれぞれの講演を行った。また、別に設けられた“Quantifying solid precipitation :

measuring and modelling challenges”(セッションコード:C2.2)は気象プロセスに重点を置いており、C4.5と姉妹セッション的な印象だった。日本からは三隅良平(R. Misumi, 防災科学研究所)と SPICE 参加者である中井専人(S. Nakai, 防災科学研究所)が、雪片観測やレーダー観測とモデリングとの比較をそれぞれ行った。

今から約20年前にはSPICEと同様の取り組みが行われ、その結果は Goodison, *et al.* (1998) に集大成されている。当時はまだ十分に実用化されていなかった重量式の自動計測器(校正用の標準器に今回採用)や様々なメーカーのディストロメータ(個々の雪片の粒子径と落下速度計測器)が今回は各国の観測サイトに配備されていた。会場には南極での観測や研究を進めている研究者も見かけ、極域での降雪量観測に対する要求の強さも感じた。あと数年先には降雪量の観測精度や補正アルゴリズムが格段に進歩することを期待し、日本からもこれに大いに貢献したいと考えつつスイスを後にした。

## 8. 「アイスコアと気候」のセッション

(東久美子)

このセッションは7月12日(金)に1日をかけて開催された。主コンピーナーが Margit Schwikowski(スイス Paul Scherrer 研究所)、副コンピーナーが Carlo Barbante(イタリア, ペニス大学)で、口頭発表が17件、ポスター発表が9件あった。日本からは川村賢二(国立極地研究所)と河村公隆(北海道大学)が口頭発表、鈴木香寿恵(統計数理研究所)と筆者がポスター発表を行った。

水の安定同位体に関する研究、ダスト、イオン、金属、気体成分などに加えて、従来研究例が少なかった特殊な有機物や黒色炭素に関する発表が合わせて8件あった。微量成分の分析技術の進歩がめざましいことを実感した。本セッションでは、アジアなどの山岳地域の浅層コアに関する発表が多かった。中でも、特にロシアで掘削されたアイスコアに関する発表が多く、ロシアにおいて山岳アイスコアの研究が盛んになってきたとの印象を受けた。

アイスコア中の黒色炭素については、2007年に

アメリカの研究者がグリーンランドのデータを Science 誌に発表して注目を集めたが、その後の複数の研究により、分析者によって分析値が大きく異なることが問題になっていた。今回、S. Lim (LGGE) らが黒色炭素の分析方法に関する詳細な検討を行った結果をポスターで発表した。Lim らの分析法は、Science 誌の論文に比べて大きく改良されている。Lim はこの発表が評価され、ポスター賞を受賞した。筆者も最近、積雪やアイスコア中の黒色炭素の分析を開始したので、この発表は大変参考になった。黒色炭素は、最近大きな関心を集めており、IACS の総会において、R.P. Singh (アメリカ、チャップマン大学) が黒色炭素に関するワーキンググループを作ることを提案した。

この他、個人的に特に印象に残っているのは、H.C. Steen-Larsen (コロラド大学) によるグリーンランドの水蒸気中の水の安定同位体に関する発表と J. Levine (British Antarctic Survey) による南極内陸の海塩成分のモデリングに関する発表である。Steen-Larsen の最新の水蒸気のデータは、従来のアイスコアの水安定同位体データの解釈を再考する必要があることを示している。Levine は、南極内陸における海塩エアロゾルの起源として以前から論争になっている、開水面と海水の寄与について議論したが、決着をつけるためには、今後の更なる研究の発展が望まれる。

## 9. 極域寒冷域の気候変動にかかわる雪氷圏 (本田明治)

雪氷圏変動が気候システムに及ぼす影響に一番の関心がある私は、主に「A4 Polar Climate change and the Cryosphere」に参加していた。3つのサブセッションのテーマは、「A4.1 リモートセンシングによる海水の計測」、「A4.2 海水と大気海洋相互作用」、「A4.3 高緯度気候変動と雪氷圏」で、2つが海水をキーワードとしていた。雪氷圏の中でも近年特に顕著な変化を示している海水への関心の高さを示すものである。

A4.1 ではこれまでの約40年に及ぶ衛星による海水域観測において、測定値をいかに正確に海水に関する諸量に結びつけるか、地道な多くの取り組みがあることを改めて実感した。海水と言えば、密接度の正確な見積もりに以前は主眼が置か

れていたが、次第に海水域の熱収支に関わる薄氷域の把握、そしていよいよ氷厚をいかに正確に見積もるかが主眼となってきている。氷厚については現場観測データがほとんどなく、気候値すら十分に把握されていない中で、確実に量的な減少が進んでいる状況の中で早急な解決が求められているようである (S. Kern ドイツ ハンブルク大、Ricker ドイツ AWI など)。一方、40年に及ぶデータセットも、センサーの変更に伴うアルゴリズムの見直しなどによって、改めて品質管理が進められているようである (J. Comiso 米国 NASA など)。

A4.2 はサブセッションの中でも講演数が最も多く、気候システムにかかわる雪氷圏の要素の中で海水が最も着目されていることを感じさせた。現在も進行している海水域の減少に伴う大気海洋場の現況、また海水減少に将来予測とそれに伴う大気海洋場の変化に関する解析のみならず、海水の素過程に関する観測的研究・数値的研究 (モデリング及びデータ同化) も多く紹介されており、海水の研究も最早マイナーではないことを実感した。私自身も取り組んできた近年の北極海の海水域減少の気候場への影響 (特に冬季ユーラシアを低温化) についてはここ数年多く研究が進められてきたが、今回も何件か紹介されており (S. Solokina ノルウェー ベルゲン大など)、より多角的に詳細な解析が進められているようだ。海水変動の大気場への影響という、ある意味マイナーな研究を続けてきた筆者にしてみると、このようなセッションが開かれて多く研究成果が発表される時代が来たことは、ある意味感慨深い。逆に言えば、欧米の研究者が本格的に取り組み始めたということで、これまでのように細々とやっていたは太刀打ちできない時代になってきたのかもしれない。ただ研究コミュニティが広がることは歓迎すべきことで、今後もどんどん新しい結果を出していきたい、と改めて思い直した。

A4.3 では雪氷圏と気候変化のリンクがテーマであったが、高緯度を謳っていたこともあったのか両極またはローカルな極地の気候変化を取り上げているものが多かった。本田 (M. Honda 日本新潟大) は、再解析データを用いた極向きエネルギーの近年の増加は主に定常成分によってもたら

されており、子午面循環は主に夏季に、東西波動成分は冬季に寄与していることを示した。エネルギー収支に関しては他にはグリーンランドやスピッツベルゲンなどの局所的な研究 (C. Cox 米国アイダホ大, T. Berntsen ノルウェー オスロ大など) があつたのみで、少し寂しい感じがした。自身の発表セッションであったが、後半は他セッションに出向いていたので、詳しくはこれ以上記すことはできない。どの会議でもそうであるが、聞きたいセッションの重複があり、セッションの途中であちこち移動することを余儀なくされ、毎度ながらもどかしい思いをした。

全般に多くの日本からの参加発表があつた中で、A4 セッションではあまり日本からの発表は少なかったように思う。ひとつには雪氷圏変動と大気海洋循環の関係について、「A2 Coupling Processes in weather and climate」でも同様なサブセッションがあり、A4 と中途半端に分散されているようなプログラムとなっていたこともある。また 30 分の時間枠を取っている招待者級の講演のキャンセルや代理発表が多かつたのもやや気になった。講演を聞くだけではなく、議論できればと考えていた方々が何名も見えなかつたのは少し残念であつた。しかしながら、今回は IAMAS と IACS の会議ということで、当然大気と雪氷が主役であるが、1000 人規模の参加者があつたということに、驚かざるを得ない。大気と雪氷は密接な関係にあることは誰もが疑う余地のないことであり、古くからの課題でもある。しかしながらこれまで大気研究者と雪氷研究者の間に密接な関係があつたかと言えば、そうでもない。また比較的最近まで、極域・雪氷研究のカテゴリーにグローバルな大気・海洋循環はほとんど含まれていなかったような印象を持っていたが、少なくともそのような時代は過ぎ去つたようだ。日本においても雪氷学会とは気象学会や海洋学会がより近づいてほしいと思う。

## 10. 積雪モデルおよび水文・積雪分布

(山崎 剛)

積雪モデルそのものに関する発表は今回あまり多くはなかつた。現在、積雪構造を表現できる積雪モデルの代表格はスイスの SNOWPACK とフ

ランスの Crocus といえるだろう。これらのモデルに関して以下の 2 件の発表が印象に残つた。C. Carmagnola (フランス, Météo-France) は青木氏も紹介しているように SURFEX/ISBA-Crocus に光学的等価粒径 (optical diameter) を導入した。これは比表面積などと直接関わる量なので、従来使われていた dendricity よりも直観的に取り扱うことができる。N. Wever (スイス, SLF, 同 M. Lehning が代理発表) は SNOWPACK に導入されている不飽和流のリチャーズ式の解法や雪の性質が異なる層間における透水係数の平均方法の影響などを報告した。積雪内の液体水の挙動は氷板の形成などを通して、弱層の形成に関わる重要な問題である。また、上野氏が紹介している Rain on snow (ROS) とも密接に関係する。日本は本州を中心に湿雪の期間が長く、この分野の研究は防災科学技術研究所の山口氏や平島氏らによって研究されており、そのことについても M. Lehning は言及していた。

積雪の分布に関して、今回強く感じたのは藤田氏や青木氏も触れているが、ライダーを使った研究が非常に多かつたことである。J. Deems (アメリカ, NSIDC) は航空機ベースと地上ベースのライダーによる山岳域の季節積雪観測について、包括的な発表を行った。非常に高い空間分解能での積雪分布が測定でき、積雪深、堆積、融解に関する情報はもちろん、降水量や吹雪に関する情報も得られる可能性を示した。今後はレーザー(電波)や分光測定などの併用により、様々な積雪特性が測定されるようになると思われる。また、森林域の積雪は不均質性が高く、取り扱いが難しいが、ライダーは積雪とともに植生の構造を知ることができる。ライダーによる植生構造情報と雪の堆積を結び付ける研究 (D. Moeser, スイス, SLF) などが発表された。なお、ライダーによる測定については、本会合でも多く引用されていた Deems *et al.* (2013) に詳しくまとめられている。

筆者はボリビアの熱帯山岳氷河の融解について、GRANDE プロジェクトで行っている研究を発表した。本会合でも南米アンデスの氷河に関する発表もかなりあつた。S. MacDonell (チリ, CEAZA) はチリの氷河に関して現在と将来の融解量の評価を行った。ペニテンテと呼ばれる氷柱

群が発達する氷河と平面的な氷河の熱収支の比較が参加者の関心を引き、多くの質問が出させていた。このほかのチリやペルーの氷河関係の発表も含めて、水文・水資源としての重要性、昇華の卓越、面的な考察に必要な雨量・日射・アルベドの与え方など、共通の認識と問題点を確認できた。将来予測に関して、M. Huss (スイス、チューリッヒ大学) は氷河を含む流域に関する氷河面積や流域からの流出量予測について、その不確実性を考察した。使用する領域気候モデルの選択がとりわけ重要で、これに次いで氷河体積の初期値、冬期の堆積データのよい推定が不確実性を減少させることを示した。

### 略語表

ACQWA: Assessing Climate impacts of the Quantity and quality of Water  
 AWI: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research  
 AWS: Automatic Weather Station  
 CORDEX: COordinated Regional climate Downscaling Experiment  
 CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique  
 EC-FP7: European Commission, Seventh Framework Programme  
 ETH: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
 GRANDE: Glacier Retreat impact Assessment and National policy DEvelopment  
 GRACE: Gravity Recovery and Climate Experiment  
 IAMAS: International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences  
 IACS: International Association of Cryospheric Sciences  
 MATERHORN: Mountain Terrain Atmospheric Modeling and Observation Program  
 NSIDC: National Snow and Ice Data Center  
 NASA: National Aeronautics and Space Administration

NOAA/ESRL: National Oceanic and Atmospheric Administration / Earth System Research Laboratory  
 PMOD/WRC: Physikalisches-Meteorologisches Observatorium Davos/ World Radiation Center  
 PRUDENCE: Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects  
 RACMO2: Regional Atmospheric Climate Model 2  
 SLF: WSL (Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research), Institute for Snow and Avalanche Research  
 SPICE: Solid Precipitation Intercomparison Experiment  
 USDA-ARS-NWRC: U. S. Department of Agriculture, Northwest Watershed Research Center  
 WES: Water Equivalent of Snow  
 WRF: Weather Research and Forecasting

### 文 献

Bennartz, R., Shupe, M. D., Turner, D. D., Walden, V. P., Steffen, K., Cox, C. J., Kulie, M. S., Miller N. B. and Pettersen, C., 2012: July 2012 Greenland melt extent enhanced by low-level liquid clouds, *Nature*, **496**, 83-86, doi:10.1038/nature12002.  
 Deems, J. S., Painter, T. H. and Finnegan, D. C., 2013: Lidar measurement of snow depth: a review. *J. Glaciol.*, **59**, 467-479.  
 Goodison, B. E., Louie, P. Y. T. and Yang, D., 1998: WMO solid precipitation measurement intercomparison. *WMO Instruments and Observing Methods Rep.* **67**, WMO/TD-872, 212 pp.  
 McCabe G. J., Clark, M. P. and Hay, L. E., 2007: Rain-snow events in the western United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 319-328.  
 Qiu, J., 2012: Snow survey hopes for avalanche of data. *Nature*, **491**, 312-313. doi: 10.1038/491312a.  
 Rasmussen, R., and 14 coauthors, 2012: How well are we measuring snow: The NOAA/FAA/NCAR winter precipitation test bed. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **93**, 811-829. doi: http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00052.1.

(2013年10月2日受付)