

International Symposium on Snow Science (モスクワ) の報告

平島寛行, 上石 勲, 杉浦幸之助, 佐藤 威
河島克久, 山口 悟, 竹内由香里

1. はじめに

2007 年 9 月 3 日～7 日, ロシアのモスクワ (ロシア科学アカデミー, 写真 1) において, International Symposium on Snow Science が開催された. 合計 19 か国から約 60 名程の参加者があり, うち日本からの参加者は 9 名であった. プログラムに掲載された発表件数は口頭 48 件 (写真 2), ポスター 60 件 (写真 3) であったが, うち 4 割程度はキャンセルとなった. 以下 7 人の参加者からテーマごとにそれぞれ報告する.

2. 積雪モデル

杉浦幸之助 (独立行政法人海洋研究開発機構
地球環境観測研究センター)

積雪モデルそのものを主に扱った発表は, 思いの外, 多くはなかった. そのなかで特に印象に残った発表は, 以下の通りであった.

コロラド州立大学の Liston 氏は, これまで雪氷圏大気境界層のモデリングを行ってきている. 本発表では SnowModel の様々な特徴と, CLPX (Cold Land Processes Field Experiment) プロジェクトで実施された野外観測サイトへの適用例を紹介した. SnowModel とは雪氷圏の陸面過程を表現する高解像度の積雪分布モデリングシステムで, 計算に必要な大気フォーシングデータを提供する MicroMet, 地表面エネルギー交換を計算する EnBal, そして積雪の変質過程を計算する SnowPack と, 風による積雪の再配分を考慮する SnowTran-3D のサブモデルからなり, データ同化サブモデルの SnowAssim も用いている. CLPX の観測サイトはアメリカ・コロラドにあり, 地形, 植生, 気象, 積雪状態がそれぞれ明瞭

に異なっている 3 つの領域がある.

SnowModel を適用した期間は 10 月 1 日から 4 月 1 日まで, 30 m グリッドスケールの高解像度で, 30×30 km 領域の 3 つの観測サイトをそれぞれ計算した. 計算された積雪水量分布は, まばらな観測結果と比べてかなり詳細で, また空間的



写真 1 発表会場となったロシア科学アカデミー



写真 2 口頭発表の様子

に不均一性が見られた。そして計算されたそのパターンは、積雪の再配分過程を考慮して推測されるパターンとよく合っていた。このことは、Snow-Model が地形性降水、低地での融雪、風による再配分、積雪と植生間の相互作用に関して、相対的に細かいスケールで表現されているためと説明された。

モスクワ・地理学研究所の Shmakinh 氏は、積雪の変態過程を考慮した熱/水交換モデルを紹介した。このモデル SPONSOR (Semi-distributed Parameterization Scheme of the Orography-induced hydrology) をもとにした 1 次元積雪モデルで、クラストやしもざらめ雪の形成もパラメータ化されている。そして、北極圏の Franz Josef Land と中央アジアの西天山山脈といった異なる気候条件の観測サイトの気象データをもとに計算して、モデルの適用可能性を議論した。

最後に本シンポジウムに参加した感想として、国際雪氷学会のシンポジウムでありながら、積雪の記号に関して、国際分類に従った記号 (The International Classification for Seasonal Snow on the Ground) に必ずしも統一されておらず、自国の記号を用いた発表も一部見られた。現在、雪質分類の英文表記は特に統一されていないが、記号に関しては統一して発表されれば望ましいのではないかと感じた。また、個人的に興味を持っている国外での積雪の層構造について、直接発表後に確かめることができたなど、数々の有意義な情報も得られた。

3. 吹 雪

佐藤 威 (独立行政法人防災科学技術研究所
雪氷防災研究センター新庄支所)

吹雪関係の発表は少なく (4件)、そのうち 2 件は風洞を用いた基礎的な研究結果であった。F. Cierco 氏ら (Cemagref Grenoble) は、風洞内で模擬雪物質、砂の濃度変動を 500 Hz で取得した画像を処理して吹雪時の雪粒子と空気流の相互作用について解析した。風速変動との関係 (同時測定ではない) を調べ、濃度変動は 10 Hz より高周波では風速変動の影響を受けないことを示した。また、T. Sato 氏ら (防災科学技術研究所) は、吹雪による積雪面の削剥量を低温風洞で実測した結果を発表



写真 3 ポスター発表の様子

した。雪面における上向き・下向き鉛直質量フラックスの比で定義された削剥率が、軟らかな雪面の場合風速とともに直線的に増加すること、また、積雪硬度の増大とともに急激に小さくなることなどを示した。

K. Sugiura 氏ら (海洋研究開発機構) は、地球規模の水循環に対する吹雪粒子の昇華の寄与を評価する目的で、全球気象データセット (ECMWF) と海水のデータセット (ISLSCP) を用いて、Schmidt の昇華量に関する経験式により昇華量の全球分布とその季節変化を求めた。南半球より北半球のほうが広範囲で吹雪粒子の昇華が起きている、特に極域の沿岸部や高山で顕著であること、年平均で見れば昇華量は両半球でほぼ等しいことなどを示した。

D.R. MacAyeal 氏ら (Chicago Univ.) は、南極大陸のロス棚氷の割れ目に落ち込む飛雪粒子が堆積する状況を夏期 (6 ヶ月間) にカメラでモニターし、その量を算出した。その結果、吹雪量が従来の風洞実験で得られるよりも多い可能性を示唆した。

4. 雪 崩

平島寛行, 上石 勲
(独立行政法人防災科学技術研究所
雪氷防災研究センター)

本シンポジウムでは雪崩に関する発表は最も多く、16 件は雪崩の発表であった。

雪崩の発表のうち、雪崩のダイナミクスモデルに関しては、雪の取り込みの影響を考慮するよう

に改良したモデル（ロシアの A.N. Bozinsky 氏、イタリアの E. Bianchi 氏）や、密度流から煙型への遷移過程や、内部摩擦や粘塑性、粘弾性、衝突の振る舞いを考慮した Norem-Iegens-Schieldrop モデルを導入することによって、従来のダイナミクスモデルでは過大評価されていた横方向への雪崩の広がり改善したモデル（スイスの D. Issler 氏）に関する発表があった。このほか、空気と雪氷粒子の混相流として扱ったモデルを用いて雪崩内部の圧力、速度、密度の分布、壁に衝突した際の衝撃力の分布の計算結果（V.S. Kulibaba 氏）等の発表があった。

社会科学的な研究としては、地域ごとの雪崩の影響力を評価するために居住地の雪崩の発生頻度、雪崩の生活への影響力、安全対策の度合いをパラメータ化し、それをもとに地域ごとの危険性を議論した発表（ロシアの Y. Seliverstov 氏）があった。

湿雪雪崩の研究では、スイスにおいて 20 年にわたる 800 例の雪崩の事例を解析し、面発生雪崩が点発生雪崩より 4.5 倍多く、降水や気温上昇と湿雪雪崩の発生との間で高い相関が見られた一方、日射量との相関がみられなかったという研究結果が発表された（スイスの S. Baggi 氏）。

このほか、雪崩発生予測に関係した発表として、積雪表面の性質の空間的不均一性について、森林限界より高いスイスの 4 斜面上において調査を行ない、地形に囲まれて風にさらされない斜面と、風にさらされる斜面で表面の性質が大きく異なること、降雪直後は積雪表面状態がほぼ一樣になるものの、快晴の時に徐々に不均一となり、特に強風後が最も不均一になるという発表があった。強風後は SNOWPACK モデルの再現性も悪くなり、今後これらの影響を考慮することが重要であると指摘された（スイスの Schweizer 氏）。

日本からは、中越地震に関連した発表として、地震による斜面崩壊によって変化した全層雪崩の発生（防災科研、平島）や、地震によって被害を受けた雪崩防護施設（防災科研、上石）についての議論を行った。

5. 積雪の分布と長期変動

河島克久（新潟大学災害復興科学センター）

本シンポジウムでは、積雪の分布や長期変動に関連したプレゼンテーションが比較的多くみられた（20～30 件）。パラレルセッションであったため全てを聴講したわけではないが、それらは、① 積雪深・積雪水量（SWE）・積雪賦存量（snow storage）・積雪面積（SCA）・積雪日数などの広域分布や長期変動に関する研究、② リモートセンシングによって積雪分布を評価するための新技術・手法に関する研究、③ 比較的狭いエリアや斜面における積雪分布を扱った研究に大きく分けることができるであろう。

この中でも最も発表件数が多かったのが①に該当するものであり、長期観測データやリモートセンシング（受動型マイクロ波など）データを用い、ロシア・北ユーラシア・中国などの広大なエリアを対象とした研究が精力的に行われていることが分かった。これらの結果は単純なものではないが（地域によって逆の傾向を示すことがあるが）、概してロシアでは積雪深・積雪賦存量が近年増加トレンドにあり、その背景には気温の上昇と降水量（冬・秋）の増加傾向があるとのことである。一方、中国では、積雪深の年変動がたいへん激しく、SCA には明瞭な変化傾向が認められないとの発表があった。また、中国のタリム川流域（高標高エリア）を扱った研究では、標高によって SCA の変化傾向が異なることが報告された。さらに、将来の気候変化シナリオに基づいて推定された北ユーラシアの積雪賦存量の予測結果に関する発表もあった。

②に該当する発表は、筆者はその専門ではないため十分には理解できていないが、様々な積雪条件下における偏波マイクロ波を用いた SCA や SWE の推定方法に関する研究や、光学センサと SAR の融合による積雪域マッピングに関する研究などがあった。

③に該当するものとしては、斜面上の積雪深分布をレーザースキャナを用いて測定した場合の精度を検証した研究、雪の再移動を考慮した積雪分布モデルに関する研究、氷河上の積雪分布と質量収支との関係を議論した研究、積雪分布の不均一性と永久凍土の散在性との関係に関する研究など、一流域や山地斜面における積雪分布を扱ったプレゼンテーションが、件数的には多くはないも

の様々な専門性を持つ研究者からあった。

6. 積雪の物理・化学の発表について

山口 悟（独立行政法人防災科学技術研究所
雪氷防災研究センター）

竹内由香里（独立行政法人森林総合研究所
十日町試験地）

大まかに分類してみると、積雪の物理特性や化学分析に関する発表は口頭で約 20 件、ポスターで 10 件ほどあった。そのうち物理特性に関しては、スイスのグループによる発表が多数を占めていた。特に感じたのは、積雪のミクロな内部構造を 3 次元で表現できる手法が最近非常に進んだ結果、積雪構造の細かい変化が視覚的にわかるようになってきたことである。実際に今回の発表でも “Geometrical localization of bonds in snow (Schneebeli *et al.*)” において、積雪内部のボンドがどのように発達していくかを連続的に観察するのに利用されていたし、“Time dependence of snow microstructure and associated effective thermal conductivity (Satyawali *et al.*)” においては、さまざまな条件下でもざらめ雪が発達していく様子を詳細に観察するのに使われていた。またフィルムの解析に使用した研究もあった (3D-X ray micro tomography and 2D microstructure mapping of polar firn — a comprehensive picture by two complementary met-

hod? (Freitag *et al.*)). いずれの発表においても、式やグラフでの説明だけではなく実際の積雪の変質過程が視覚的に示されるため、非常に説得力があった。この分野は今後、積雪の変質実験や理論の証明に有効な手段となっていくのではと感じた。

一方、雪氷化学の分野では中国のグループによるチベットやテンションの氷河における積雪のイオンや同位体の分析結果が数多く発表されていた。そのほか一酸化炭素をトレーサーとして積雪内の空気の流れをその場で測定する研究 (Air movement in the snowpack using carbon monoxide as a transport tracer)、積雪の熱伝導度と積雪構造との関係を調べた研究 (Dependence of thermal conductivity of snow on microstructure (Satyawali *et al.*)) もあった。

今回のシンポジウム全体を通してのことであるが、発表のキャンセルが大変多く残念であったが、反面、もともと余裕のあるスケジュールにさらにゆとりができて、発表時間を気にすることもなく、質疑応答にも十分な時間が費やされていた。空間的にも時間的にも日本国内ではなかなか経験できない ‘ゆとり’ を随所に感じるシンポジウムだった。

(2008 年 1 月 28 日受付, 2008 年 2 月 6 日改稿受付)