

シンポジウム報告

国際雪氷学会シンポジウム “International Symposium on Glaciology in the International Polar Year” 報告

榎本浩之¹⁾, 齋藤冬樹²⁾, 杉山 慎³⁾,
高橋修平¹⁾, 福井幸太郎⁴⁾, 藤田秀二⁵⁾

学会の概要

杉山 慎

2007–2009 年にかけて展開された国際極年 (IPY: International Polar Year) を受けて, 国際雪氷学会 (IGS: International Glaciological Society) が主催する “International Symposium on Glaciology in the International Polar Year” が開催された。会場となったのはイングランド北東部 Newcastle に位置する North Umbria 大学。開催日 (2009 年 7 月 27–31 日) は IPY 終了から数ヶ月後であるから, IPY 期間中の取り組みを情報交換して今後の方向性を探りたい, という主催者の意図が伝わってくる。真新しいコンファレンスホールと居心地の良い宿舎を準備して参加者を迎えてくれた。各国から集まった研究者は約 100 名。タイトルの割にはこじんまりとした, IGS らしい国際学会となった。

研究発表の内容は近年の氷床変動に偏っている印象を受けたが, その分野に興味を持つ参加者 (例えば私) には刺激の強い学会となった。学会を通して中心的役割を果たしたのは米英の研究者で, 特に発表全体の 6–7 割を占めた南極氷床に関する各種の観測は, この 2 国が世界をリードしていることを再認識させられる。水脈でつながった

南極氷床下湖の活動, 東南極の氷底に見出された急峻な Gamburtsev 山脈, 南極半島における棚氷の劇的な変化など, 最新の研究成果が報告された。また日本・スウェーデンおよび米国・ノルウェーの協力で実施された南極トラバース観測の速報もあり, IPY の成果発表らしい雰囲気も伝わってくる。研究発表の詳しい内容は, 日本から参加した 5 名の研究者が以下に紹介する。IGS のウェブサイト (http://www.igsoc.org/symposia/2009/northumbria/IPYprogramme_final.pdf) にて発表プログラムが公開されている他, 近日中に発行される論文集 *Annals of Glaciology* も参考にしていただきたい。現地の開催委員と学会事務局の数名で切り盛りされた会議の運営はとても



写真 1 North Umbria 大学 IGS シンポジウム会場での発表風景。IPY 前後のわずかな数年の間に多くの南極氷床下に関する研究が進んだことを説明する研究者。

- 1) 北見工業大学
- 2) 海洋研究開発機構
- 3) 北海道大学
- 4) 立山カルデラ砂防博物館
- 5) 国立極地研究所



写真 2 映画「ハリーポッター」が撮影された古城。
ポスター発表はここで行なわれた。

気が利いたものであった。川沿いのレストランでの ice breaker パーティに始まって、映画「ハリーポッター」が撮影された古城でのポスター発表、そして地元の人気サッカーチーム「Newcastle United FC」ホームスタジアムでのバンケット。程よくリラックスした雰囲気参加者が交流できたのは、ホストの努力によるものであろう。一年後に札幌での IGS 学会を準備している私にとっては、そんな学会運営に触れられたのも収穫のひとつであった。

地球温暖化と南極氷床

藤田 秀二

温室効果ガス濃度が大気中に増えて地球の温暖化がすすんだとき、その効果は潜在的には南極氷床の融解として懸念される。現代に生きる私たちが必要とされる知識は、下記の項目を含む。

- (1) 南極氷床には現在どんな変化があらわれているか？
- (2) 温暖化が仮にすすんだときにどんな内部メカニズムをもって氷床が変化するか？
- (3) 数千万年前まで過去をふりかえったとき、温室効果ガスと南極氷床の規模はどんな関係にあったか？

今回の会合では、近年の衛星観測の進歩や、国際極年で実施された集中的な極域調査や、各種モデル研究の発達によって、これらについての理解や問題意識が着実に進展していると実感した。

キーノート講演として、米国の C.R. Bentley 博士は南極での雪氷研究を、50 年前の IGY 期か

ら昨今の IPY 期にかけての理解の進歩について、自らの視点でとしたうえでレビューをおこなった。気温の温暖化傾向が南極の内陸部に及んでいるかという点については、今年の初頭に Steig *et al.* (2009) が Nature 誌上で過去 50 年に統計的に有意な気温上昇傾向があることを報告した。特に、西南極では、10 年あたり 0.1°C を越える上昇率であるという。では、南極氷床は縮小しているのか、あるいは拡大しているのか？この問いの答えをさぐる観測は人工衛星を用いた観測から近年複数があがっている。C. Bentley 博士は、Velicogna and Wahr (2006) がおこなった Grace 衛星による重力の時系列観測の結果を引用した。これによれば、南極氷床は、2002-2005 年の期間に $152 \pm 80 \text{ km}^3/\text{年}$ のペースで体積を減じており、これは年間 0.4 ± 0.2 ミリのペースで地球全体の海面を上昇させる量であるという。氷床流出の大部分は西南極で起こっているという。C. Bentley 博士は、さらに Rignot *et al.* (2008) を引用した。合成開口レーダの干渉法 (略称 InSAR) を用いて観測をした 1992-2006 年の期間の南極沿岸部の水の流出把握と、気候モデルを用いて計算をした内陸の降雪量との比較によって、西南極で氷の流出が卓越していることを示した。東南極の変動はずっと小さい。これら、衛星からの重力計測を用いた方法と InSAR を用いた方法、それに、衛星搭載のレーザー高度計は今後もキーとなるツールとして南極氷床の大きなスケールの変動をモニターし続けることになるであろう。衛星観測が重要な役割を果たし、過去には不可能であったような情報を取得できるようになっている。

氷床下湖についても知識量の増進がめざましい。氷床下湖については、1970 年代からの航空機レーダ観測によって約 200 あまりの湖の存在が内陸域で知られていた。内陸域の航空機観測の進展に基づいてその確認数が増えている状況にあった。2006 年になって Wingham *et al.*, (2006) が氷床下の水の大規模な移動を衛星搭載のレーダ高度計でとらえた事例を報告したのを皮切りに、その後 IceSAT 衛星搭載のレーザー高度計から大量の動的な湖、つまり、氷床表面を短期的に盛り上げたり沈降させるような氷床下の水の動きが明らかになった。氷床の縁辺部を中心に 100 をこえ

る活動的な氷床下湖 (active subglacial lakes) が Smith *et al.*, (2009) により報告されている。こうした進歩について、上の論文の著者でもある米国のスクリップス研究所の Fricker 氏が報告をした。発見される数はまさに「刻々」増えていることがアピールされていた。氷床流動を制御しているキーのプロセスとしての氷床下の水の役割が大きくクローズアップされることとなった。西南極において特に米国の研究者によって伝統的に調査されてきた氷流 (Ice Stream) の挙動も、氷床下の水が大きく支配している様相が報告されている。IceSAT 衛星搭載のレーザー高度計は、高緯度側ほど測線が密になるため、活動的な氷床下湖の同定頻度が高くなるが、おなじ南極大陸上でも低緯度側については、測線密度が低く、氷床表面の時系列の動きをとらえにくい。このため、未同定の活動的な氷床下湖はまだ大量にあり、今後さらに発見が続くことが示唆された。一方、氷床下の水の生成についてベルギーのブリュッセル自由大学の Pattyn 氏は、氷床流動のモデル研究の立場から、南極の複数の地殻熱流モデルを入力条件として、氷床下の融解の見積もりを報告した。モデル計算によれば、地殻熱流のモデルの選択によって底面の融解・非融解の様相は大きく変わることや、非融解の領域の水は長期保存されるが、融解が起こると底面の古い水は流出していることが示された。そうした融解・非融解の領域が計算上は複雑なモザイクになる様相を示した。モデルの結果として底面付近の水の年代が示されたが、±50%程度の誤差は簡単にでるという。氷床コア研究として、「より古い氷」の探索をするとき、年代の予めの同定は一筋縄ではいかないことが示されていた。

数千万年スケールの南極の気候の変遷については、ニュージーランドの Peter Barrett 教授がキーノートスピーカーとしての講演をおこなった。教授は、長く南極周辺の大陸棚の掘削研究に携わってきた人物であり、今後地球が温暖化する際に対する手がかりとして過去の環境変動史のレビューをおこなった。今から 3 千 400 万年以前の過去に、地球の大気は現在よりはるかに高いレベルの温室効果ガス濃度をもっており南極も温暖であった時代から、現在に向かい温室効果ガスが

徐々に減少し南極大陸が氷床に覆われ、北半球にも氷期・間氷期サイクルで氷床が出現する寒冷化した地球となった。今後温室効果ガスによって今後地球が温暖化したとき、目安となる温度がいくつかある。地球全体の平均温度が約 2°C あがることが、北半球氷床は出現しなくなる目安である。そして、4°C あがることが南極氷床は縮小・消滅への方向に向かう目安である。これらを政策決定者に確実に伝えていくこと、関連する未知点やサイエンスをしっかりと固めていくべきことが主張として示された。また、目安となる温度まで地球の平均温度があがったとき、南極の融解・消滅がただちに発生するわけではなく、長い時間をかけて変動が進行する。したがって、人類には英知をあつめそれに対応する時間があるはずであるということも示された。

歴史を知り、内在するプロセスを解明し、そして現在おこっている変化の徴候を確実にとらえていく、地球環境と南極氷床の研究の軸足を確認できたという点でとても有意義であった。同時に、研究で明らかになったことを、研究者以外の方々にも私たちが広く伝えていかなければならないものであるということも強く感じた。衛星観測や航空機観測による情報の大量取得、モデル研究の進展、そして、それと現地観測を組み合わせた洗練された研究が、IPY 期のキャンペーンによって劇的に増えたと感じたシンポジウムであった。

南極トラバース観測

福井幸太郎

今回の会合では、IPY 期間中に実施された雪上車による南極内陸トラバース観測のうち、日本・スウェーデン隊 (昭和基地-Dome Fuji-Kohnen 基地-Wasa 基地) とノルウェー・米隊 (南極点-Troll 基地往復) の最新の観測結果について発表があった。発表件数は両隊合わせて口頭発表が 7 件、ポスター発表が 2 件である。内容はアイスレーダーや地中レーダーによる氷床内部構造観測、積雪ピットや浅層ボーリング、マイクロ波放射計によるフィルン層の物性や雪温に関する観測など、物理系の観測結果が中心であった。本報告では、ノルウェー・米隊の発表で印象深かった 2 件について紹介する。

Colorado 大学の Muto 氏らは、フィルン層の温度プロファイル（深度 90 m まで）を利用して過去数十年間の東南極の気温変動を復元する研究を行っている。観測点は南極点から沿岸部にある Troll 基地間、合計 5 地点である。各観測点のデータは ARGOS システム経由で米国からダウンロード出来るようになっている。発表では通年値が得られている 3 地点の雪温プロファイルデータが紹介された。これらの雪温プロファイルデータを数値モデルから再現した温度プロファイルデータと比較すると、3 地点とも過去数十年間で 10 年あたり 0.1℃ 程度の昇温傾向が認められるようである。最近、南極内陸部でも温暖化傾向がみられると主張する論文が出ているが (Steig *et al.*, 2009), そのことを現場の観測データから実証する上でも、Muto 氏らの研究は非常に興味深いと思った。

Dartmouth 大学の Albert 氏の発表ではノルウェー・米隊のトラバース観測の概要が紹介された。発表の中でメガデューン帯の氷床表面形態や地下構造の模式図のスライドがあり、光沢雪面にできるサーマルクラックの下層にクレバスが描かれていたことが特に興味を引いた。筆者はサーマルクラックを永久凍土にできる凍結割れ目（アイスウェッジ）と同様なものと捉えていたため、光沢雪面上での雪尺観測の際も、それほど危険なものとして認識していなかった。もし、本当にサーマルクラックの下層にクレバスがあるようだったら、サーマルクラックに足がはまった場合、そのままクレバスまで転落する恐れもあるわけである。今後、みずほ基地～中継拠点の光沢雪面上で分解能の高い高周波の地中レーダーでサーマルクラック周辺を探索して、地下にクレバスが存在するのか、明らかにする必要があると思った。

氷床モデリング

齋藤 冬樹

近年は氷床モデルの開発の発展が著しく、また改良方向、新しく導入する緒過程も多岐にわたる。その内の一つは氷床の熱力学的な取扱いや相変化に関することである。Thoma 氏らは氷河と氷河湖の相互作用を含んだ数値モデルを開発し、理想化された状態下での相互作用と氷河流動への

影響について議論した。Bueler 氏らは（発表の本筋ではなかったが）従来の氷床モデルで多く使われている温度を用いた熱力学の式の代わりに Aschwanden and Blatter (2009) などで紹介されているエンタルピーの方程式を使用した。今後も様々な氷床モデルが開発されると思われるが、上記のように様々な過程を含んだより高度なモデルが現実的な氷床モデル実験に利用される機会も増えるであろう。

リモートセンシングによる氷床観測

榎本 浩之、高橋 修平

Horwath らはグリーンランドの氷床質量変化について Envisat のレーダー高度計と Grace による重力測定の結果を紹介した。両方の衛星とも 2003 年、2004 年から観測が始まっており、近年変化が激しくなっている極域の変動をモニターするのに活躍している。同様な質量変化に注目する研究は IPY の時期に世界各地で実施されているが、IPY 以降のこれからの研究に貢献することが期待される。SAR と GPR (ground penetrating radar) による涵養量の観測についても、Müller らおよび Binder らの研究発表があった。この GPR を用いた涵養量測定は各国が取り入れており、日本でも今回の IPY における日本－スウェーデン共同観測で長距離の連続した GPR データが取得され (Fukui 他)、日本がこれまで行なってきた表面状態の丹念な観測と内部構造をつなぐ仕事のスタートになった。新しい涵養量のモニター、涵養プロセスの研究が期待できる。

また実用的には 400 MHz の地中レーダーにより、ヒドゥンクレバスを検知できた研究発表があった。極地氷床の内陸調査の安全確保に大きな貢献をするものと思われる。

今回、筆者（榎本、藤田、杉山、福井）は、ほぼ同時期に同じ南極大陸上を移動、ルートの交差、衛星電話での交信などを行なった他の南極内陸トラバースメンバーと IGS シンポジウムで会うことが出来た。それぞれが通ったルート、得た成果について話しあうことが出来、氷床で会うことはなくても、ほぼ同時期に同じ大陸の上で、この時代の氷床の様子を確認したということを改めて感じた。IPY シンポジウムならではの特徴とい

えるかと思う。

参考文献

- Aschwanden, A. and H. Blatter (2009): Mathematical Modeling and Numerical Simulation of Polythermal Glaciers. *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1029/2008JF001028, in press.
- Rignot, E., J.L. Bamber, M.R. v.d. Broeke, C. Davis, Y. Li, W.J. v.d. Berg and E. v. Meijgaard, 2008: Recent Antarctic ice mass loss from radar interferometry and regional climate modelling, *Nature Geoscience*, **1**, 106–110.
- Smith, B.E., H.A. Fricker, I.R. Joughin and S. Tulaczyk, 2009: An inventory of active subglacial lakes

- in Antarctica detected by ICESat (2003–2008), *J. Glaciol.*, **55** (192), 573–595.
- Steig, E.J., D.P. Schneider, S.D. Rutherford, M.E. Mann, J.C. Comiso and D.T. Shindell, 2009: Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year, *Nature*, **457**, 459–462.
- Velicogna, I. and J. Wahr, 2006: Measurements of Time-Variable Gravity Show Mass Loss in Antarctica, *Science*, **311** (5768), 1754–1756.
- Wingham, D.J., M.J. Siegert, A.P. Shepherd and A.S. Muir, 2006: Rapid discharge connects Antarctic subglacial lakes, *Nature*, **440**, 1033–1036.

(2009 年 12 月 15 日受付)

「2009 年度雪氷防災研究講演会」報告

根本 征樹¹⁾

2009 年度雪氷防災研究講演会が秋田市において開催された（主催：(独)防災科学技術研究所（防災科研），後援：国土交通省東北地方整備局能代河川国道事務所，秋田県，(社)日本雪氷学会東北支部，日本雪工学会北東北支部）。雪氷防災研究講演会は，雪国住民および雪氷災害対策に関連するさまざまな機関を対象に，最近の研究成果を広く知ってもらい，雪国の生活向上に寄与すべく開催されているものであり，今回で 49 回目となる。図 1 に会場の様子を示す。今回の参加者は 76 人であった。

開催の概要を以下に記載する。

日時：2009 年 11 月 18 日 13：30～16：30

場所：秋田市民交流プラザ（アルヴェ）2 階

多目的ホール

主催：独立行政法人防災科学技術研究所

後援：国土交通省東北地方整備局 能代河川国道事務所，秋田県，社団法人日本雪氷学会東北支部，日本雪工学会北東北支部

プログラム

・開会の挨拶

防災科学技術研究所 理事長 岡田義光

・来賓挨拶

秋田県 総務企画部 次長 鈴木長彦

・講演

「東北地方の雪水量分布とその年々変動，長期平均値について」

秋田大学 教育文化学部地学研究室 准教授
本谷 研

「冬の視程障害における能代河川国道事務所の取り組みについて」

国土交通省 東北地方整備局
能代河川国道事務所 調査第二課
設計係長 佐藤貴之

「県内の多雪地域における高齢化等集落の実態とその対策の展開方向」

秋田県 総務企画部 総合政策課
活力ある農村集落づくり推進チーム
副主幹（兼）班長 千葉俊成

「防災科学技術研究所における雪氷ハザードマップの研究開発」

防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター
主任研究員 上石 勲

「屋根雪問題の克服を目指して」

防災科学技術研究所
雪氷防災研究センター新庄支所

1) 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