

International Symposium on The Cryosphere in a Changing Climate 参加報告

砂子宗次朗¹, 杉山 慎², 齋藤冬樹³, 松下拓樹⁴,
馬場賢治⁵, 永井裕人⁶

1. はじめに

2017年2月12-17日、ニュージーランドのウェリントンにおいて IGS meeting が開かれた。Clic (Climate and Cryosphere), IUGG の中の一つの組織である IACS (International Association of Cryospheric Sciences) と IGS (International Glaciological Society) との共同開催である。今回のテーマは「The Cryosphere in a Changing Climate」. HP に具体的に書いてあったトピックは氷床・氷河の海水準上昇への寄与, 氷コア, 山岳氷河, 積雪等 13 項目あり, さらに但し書きで「以下の限りではない。」とあり, とても幅広いテーマとなった。(https://www.igsoc.org/symposia/2017/newzealand/nz2ndcirc_web.pdf). 興味深かった研究発表を中心に各自報告する。

2. 研究発表紹介

2.1 極域の氷河氷床

杉山 慎

多くの分野にテーマを広げたシンポジウムであったが, 氷河氷床ダイナミクス, 氷床の質量変化と海水準への影響, 氷河氷床と海洋の相互作用など, 極域の氷河氷床に関するセッションは特に注目を集めた。Eric Rignot による基調講演“Antarctic Ice Sheet mass balance 1979-2016”では, 衛星データと領域気候モデルを組み合わせ, 南極全域の質量変化が詳細に示された。また一昨年

「南極氷床の質量が増加している」と報告して話題を作った Jay Zwally は, 一時的な氷床質量増加をていねいに説明。東南極と西南極の異なる変動, 衛星重力測定の解釈における地殻隆起の重要性を強調した。過去 15 年あまりこの重要な問題に取り組んでいるパイオニアたちの発表にはいつも興奮させられる。

氷床と海洋の境界, すなわちカービング氷河, 棚氷, 接地線などに関する研究も活気があった。氷床・棚氷の底面融解を電波の位相を使ったレーダ (phase sensitive radar) で測定した例がいくつか紹介され, この新しい技術が広く取り入れられていることを実感する。たとえばロス棚氷では, その底面融解が末端付近で比較的大きく, 海洋と気象の影響を受けて季節的な変動を示すことが示された (Craig Stewart)。また地震波を用いた接地域の底面環境の調査 (Huw Horgan) も, 昭和基地近傍で同じような研究を目指す私には興味深い。地球物理的な手法を氷床に応用して得られた斬新な観測データは, 既存の技術に頼りがちな中堅 (中年) 研究者に「もっと頭と身体を使って工夫しろ」といっているようで耳が痛い。

氷床と海洋の境界が注目されているのは南極ばかりではない。北極では, カービング氷河前のユニークな生態系に関する研究が始まっている。ノルウェーの Harald Steen は, スバルバード諸島のカービング氷河前に集まる鳥, 魚, プランクトンに関する研究を紹介した。グリーンランドで同じテーマを追う私にとっては, ヘリコプターを使った氷河前縁での海水サンプリングなど, 非常に刺激的な内容であった。ポーランドの Jacek Urbanski から同様な発表があり, “cold” で “hot” な新しい生態系への注目を強く感じた。

1 名古屋大学

2 北海道大学低温科学研究所

3 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

4 土木研究所

5 酪農学園大学

6 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

この他、様々な切り口で極域の水氷床に関する研究発表がなされたが、特に印象に残ったのは地元ニュージーランドの研究者による極域研究である。特に南極に関しては、現地観測、衛星解析、氷コア、数値モデルなどあらゆる手法で、現在・過去・未来にわたる層の厚い研究がなされている。国外研究者の受け入れも積極的で、欧米から遠い地理にありながら世界とつながった研究が進められている印象を持った。比較的近い環境にあるわたしたちにとって見習う点は多い。

2.2 氷床モデリング・アイスコア

齋藤冬樹

大規模な氷床モデリングに関する話題は毎回 IGS シンポジウムで一定の割合を占める重要な研究課題の一つであると思われる。しかしその傾向は、当然ではあるが、シンポジウム毎に異なる。

近年は、氷床流動モデリングよりは、他の過程との間の相互作用に重点を置いたものが多く見られる傾向にあったが、今回のシンポジウムでは特にそれが顕著であったと感じた。また、多くの新進気鋭の若い学生やポストドクが、過去、現在、将来、南極、グリーンランドを問わず、様々な課題に取り組んでいることが見られた。

それらの発表のうち少なくない割合が、自分の持つ氷床変動に関わる課題にどう取り組んでいくか、ゴールに向かって現在どこまで進んだか、というような、ある意味途中段階の発表であった。

しかしいずれの発表においても、発表者の熱意で、氷床モデリングの現状の問題点がよく整理され、道具としてのモデルをこれからどう使うかもよく練られており、今後の研究の進展が待ち遠しく思えるものであった。

Daniel Lowry *et al.* は Roosevelt Island Climate Evolution Project (RICE) による同位体記録、気候モデル、氷床モデルを組み合わせることで、最終氷期極大期以降の Ross 棚氷の退氷を再現し、棚氷過程のより深い理解を目標にした研究である。

気候モデルは LOVECLIM (LOch-Vecode-Ecbitl-CLio-agIsm Model) や CCSM3 (Community Climate System Model ver. 3.0) を用いており、氷床モデルでは PISM (Parallel Ice Sheet Model) を

用いている。発表では解像度をかえた PISM の試験的な実験を紹介されたが、今後の結合実験による棚氷再現実験結果が期待出来る。

モデル開発そのものに関する話題は少なかったが、その中でも Thomas Reerink *et al.* が印象に残った。気候モデルと氷床モデルの結合モデル開発において、その結合を司る部分の OBLIMAP の紹介である。技術的な詳細は発表では特に触れられなかったが、両モデル間の領域や座標系の違いに柔軟に対応した、高速の結合モジュールのようである。氷床気候結合モデル開発は氷床モデリング研究において現状もっとも重要なものの内の一つであり、OBLIMAP の手法は大いに参考になるであろう。

アイスコア研究は、一つの発表を除いて並行するセッションがあり、部分的にしか聴講することが出来なかった。

Laura Kehrl *et al.* はその中でも手法が独特で興味深かった。表面質量収支の性質および急な上り斜面の基盤地形という特徴から、氷の流動が深部から上方向に向かい、古い時代の氷が表面付近まで流れてくることがある。それにより、時代の違う氷が通常の水氷床コアのように垂直に並ぶのではなく、水平的に並ぶ可能性がある。南極の Allan Hills Blue Ice Area では 120m 深の氷を集めることで、EPICA Dome C の 80 万年を超える氷床コアの可能性が示唆された。ただ、発表でも触れられていたが、流動の履歴など年代の解釈にとって不確定な要素が多く、今後の進展が期待される。

2.3 海氷

馬場賢治

海氷に関する話題は、海氷面積のトレンド、海氷と気候の相互作用、氷床や海氷と海洋との相互作用に関するテーマの発表が行われていた。海氷のトレンドに関しては、南極域について Raphael や Hobbs *et al.* などが長期の気候変動と関連性をモデルや観測事実などから報告をしていた。海氷と気候の相互作用について、Renwick *et al.* は、SAM (AAO) や ENSO の条件下での Amundsen-Bellinghshausen Sea におけるブロッキング発生場が異なり、それらが海氷面積偏差を変化させていることを明らかにしていた。大半は南極域を対象

域として扱ったテーマであったが、一部オホーツク海や北極を対象域とした発表もみられた。氷床や氷と海洋の相互作用に関しては、沢山のプロジェクトが動いている関係から、東南極域沿岸を対象とした数多くの研究発表があった。特に海洋の暖水流入による氷床融解に関する研究が多く、モデルや観測による現状の理解や将来予測など多岐に渡っていた。また、舌状に海に伸びる氷床によるポリニア域での海水生成・融解などの研究報告もあった。

2.4 山岳氷河

砂子宗次朗

山岳氷河に関するセッションは、Climate change and mountain glaciers としてシンポジウム 3~4 日目に行われたが、山岳氷河を対象とした研究は他のセッションでも散見した。また、研究対象地域はヒマラヤからカナダまで多様であったが、特に開催国であるニュージーランドを対象とした研究が多く見受けられた。例えば Huw Horgan *et al.* は、ニュージーランド最大のデブリ氷河である Tasman 氷河上に残置した GPS のデータと降水量の時系列データの関係から、豪雨時にはデブリ域の流動速度が通常時より最大 36 倍まで上昇したと報告した。

また、Brian Anderson *et al.* は、デブリ域も考慮した熱収支モデルと流動モデル (Ice-flow model) を用いて、ニュージーランド・南アルプスに位置する氷河の質量が 1800 年代後半から現在までに 30% 程度損失したと示した。

Lauren Vargo *et al.* では、Brewster 氷河を対象に、1977 年と 2015 年の地上撮影画像から Structure from Motion (SfM) 技術を用いてオルソ画像と Digital Elevation Models (DEMs) を作成し、DEMs の差分から表面高度変化を求めた。また、この氷河では 1977 年より融解期末期の雪線を撮影しており、この研究は作成した他時期のオルソ画像から雪線の標高変化を捉えることを目的の一つとしていたが、その結果には詳しく触れられていなかった。これらの研究の多くは、我々が現在ヒマラヤ地域の氷河を対象に行っている研究と似た手法で行われており、大変興味深かった。

2.5 衛星・リモートセンシング

永井裕人

Steven Baker により、CryoSat-2 を用いた北極海における海氷厚測定の校正検証 (CryoVal-SI) についての報告がされた。検証データはウェブ公開されるという。また Andy Aschwarden によってグリーンランド氷床の過去の涵養過程について、CReSIS レーダーエコーによって得られたデータと既存モデルとが比較された。Samuel U. Nussbaumer 他は、The Global Terrestrial Network for Glaciers (GTN-G) を紹介していた。これは従来の GLIMS, WGMS, NSIDC を内包する "Umbrella" 的なグループであり、モデル、地上観測、リモートセンシング観測を統合的に扱うということであった。

基調講演で面白かったのは、Trevor Chinn のニュージーランドの氷河の航空写真撮影の話である。彼は 1973 年からニュージーランド南島の氷河について毎年 end of summer snowline (EOSS) survey を航空機を使って行い、今回アーカイブとしてまとめた。エクセルファイルにびっしりと並べられたデータは圧巻である。写真データをまとめる苦勞を講演の後に聞いたが、次世代で活用されるにはこのように「記録し、まとめる」地道な作業が大切なのだなと思い知らされた。

2.6 積雪

松下拓樹

積雪に関する発表はそれほど多くはなかったが、そのうちのいくつかを報告する。フランス気象局の Matthieu Lafaysse は、ESCROC という雪崩予報に活用されている積雪変質モデル Crocus の不確実性を定量化させるアンサンブルシステムを紹介した。Crocus における圧密や変態などの物理過程や新雪密度や熱伝導率などの設定条件が、積雪深、積雪水量、密度などの計算結果に与える不確実性を、Col de Porte (標高 1325 m) の観測値を用いて 7776 のアンサンブルメンバーにより検証した。その結果、一つのベストモデルではなく、複数のアンサンブルメンバーにより不確実性を考慮した結果の提示が重要であることが示された。また、ESCROC は、気候の将来予測の不確実性も客観的に定量化することができるとの説明

があった。

Inka Koch は、高標高地域において自動観測データから降水の雨雪を判別する方法を提案した。これまで主に用いられている気温に加え、雪面のアルベドを判別要素に用いることが特徴で、降雨によって雪面が濡れるとアルベドが低下することを利用する方法であり、判別結果も良好であった。また、スイス国立雪・雪崩研究所の Mareike Wiese は、積雪の変質に対する気候変動の影響について考察を行った。ただし、発表は概念的な一般的傾向の説明にとどまった。会場からの質問にあったように斜面積雪の安定性への影響など防災面からの検討も期待していたため残念であったが、気候の変化によって積雪がどのような影響を受けるのか、一つ一つの過程を丁寧に考察することは基本的で大切だと感じた。

その他、山岳地などの積雪の時空間変動を気候モデルによって再現した結果がいくつか報告されたが、信頼できる精度を持つ結果を得るまでには至っていない印象を受けた。複雑な過程を経て変化する積雪の量と質を数値計算で表現することの難しさと、その将来予測を行うための課題が多いことを改めて感じ、最初に報告した発表のように計算結果の不確実性を客観的かつ定量的に示すことがますます重視されると感じた。

3. Nature 編集者による講演

杉山 慎

一般の研究発表が終わったシンポジウム最終日には、“Presentation and discussion about publishing ‘climate’ papers in Nature” と題して、Nature 誌の Senior Editor である Michael White による講演が行われた (図 1)。Nature 誌はどのような論文を掲載するのか、どのような論文が査読に回らずリジェクトされるか、シンプルなスライドに具体的な例を織り交ぜた力強い発表であった。大学教員の職を辞してこの業界に飛び込んだ彼の出版に関するビジョンには説得力がある。特に雪水、極域、気候、大気などの分野を担当する編集者とあって、その広い知識と深い理解には感心させられた。講演後の質疑応答では、Nature 姉妹誌や Scientific Reports 誌の位置づけ、査読者の選定や査読プロセス、リジェクトに対する反論の



図 1 Nature 誌の Senior Editor である Michael White による講演 (撮影：杉山 慎)。

可能性など様々な質問が飛び交って、影響力の強い学術誌への強い関心を再確認した。本シンポジウムには彼ともう一人の編集者が Nature グループから参加しており、初日から最終日まで熱心に聴講し、積極的に参加者と交流する姿が印象的であった。Nature 編集者の仕事は寄せられる原稿を待っているばかりではない。様々な学会に参加して研究分野の動向を知り、研究者と意見を交換し、最先端の研究発表に身を浸す。彼らは我々の研究を評価してその出来を判断する「出版業界の人」ではなく、研究者と共に科学の将来を切り開く意気込みを持った同志 (のような人) だと感じた。

6. その他

砂子宗次朗, 永井裕人

シンポジウム 3 日目の mid エクスカーションでは、ウェリントンの中心地から約 90 km 離れた Martinborough を訪れた。この地域は、数キロ四方に 20 以上のワイナリーがひしめくニュージーランド屈指のワイン産地である。途中、Kaitoke Regional Park とワイナリー近くの丘陵地に立ち寄り、この地域の断層についての説明を受けた。最後にはワインと合わせて早めの夕食も用意され、他国からの参加者との交流も盛り、大変満足 of the いく内容であった。



図 2 バンケットで話すニュージーランドの水河研究者 Trevor Chinn. (撮影: 杉山 慎).

シンポジウム 4 日目夕刻にはバンケット(宴会)が風光明媚なウェリントン港の広場に面したビアホールにおいて開催され, IGS 事務局 Magnusson 氏らにより, ウェリントン大学など地元実行委員会各員の表彰, 学生優秀発表賞の表彰が行われた(図 2).

次の IGS meeting は, 今年 8 月コロラドで行われる予定である. テーマは 'Polar Ice, Polar Climate, Polar Change'. また来年 2018 年 3 月には京都で 'Cryosphere and Biosphere' というテーマで開催される予定となっている.

(2017 年 3 月 7 日受付)