

気候と雪氷圏 (CliC) 第1回国際科学会議参加報告*

大畑 哲夫*¹・山崎 剛*¹・藤吉 康志*²・保坂 征宏*³
阿部 彩子*⁴・榎本 浩之*⁵・山崎 孝治*⁶・平沢 尚彦*⁷
西尾 文彦*⁸・青木 輝夫*³・上野 健一*⁹

1. はじめに

本会議はWCRP(世界気候研究計画)の副プログラムであるCliC(Climatology and Cryosphere:気候と雪氷圏)の第1回目の全体会議であった。本会議について述べる前に、WCRP/CliCの性格、生い立ちと現在に至った経過について説明しておくことにする。

(1) WCRPについて

WCRPはWCPの一環として、国連機関であるWMOおよびUNESCOのIOC(政府間海洋学委員会)、とICSU(国際科学会議)が合同で推進している研究プログラムである。WCRPはIGBPとともに“地球環境の理解”を目指している2大国際研究計画の1つである。1980年に開始され、すでに長年の歴史がある。WCRPの副プログラムとして成層圏を中心としたSPARC、海洋が中心のWOCE、気候の長期変動を

扱ったCLIVAR、短時間スケールの水・エネルギー循環を対象とするGEWEX及びACSYS/CliC(ACSYSは2003年に最後のシンポジウムを開催し活動が終息した)などが存在し、それらに関する研究計画が推進されている。過去にあったTOGA/COAREもWCRPの副プログラムであり、最近ではGAME(1996~2005)がGEWEXの計画として実施された。これらの副プログラムは、地球の気候システムを理解し、それを予測精度の向上に必要と考え、実行されている計画である。各副プログラムは独立して活動する部分もあるが、気候が縫い目のない現象であるように、複数のものが連携して特定の課題を扱う場合も多く見られる。またIGBPとの連携のもとで実施している場合も数多く見られる。これらの副プログラムは、音頭取りの性格を持っており、これらが研究費を配分する機能を持ってはいない。このため各国のファンディング機関、各研究グループが協力しない限り計画の実行は出来ない。

(2) CliCについて

CliCは2000年3月のJSC(Joint Science Committee;合同科学委員会,WCRPの最高意志決定機関)で承認され、開始した計画である。当初はACSYSと合同で推進されていたが、ACSYSが2003年に終了し、CliC単独での活動となった。2000年以降毎年、計画の最高意志決定機関であるSSG(Science Steering Group;科学推進委員会)が開催され、現在はカナダ気象局のB. Goodison氏がその委員長を務めている。SSGは12名からなり大畑は2001年以来委員として活動している。ACSYSが終了したことでやっと体制が

*Report on 1st CliC International Science Conference.

*1 Tetsuo OHATA, Takeshi YAMAZAKI, 海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター。

*2 Yasushi FUJIYOSHI, 北海道大学低温科学研究所。

*3 Masahiro HOSAKA, Teruo AOKI, 気象研究所。

*4 Ayako ABE-OUCHI, 東京大学気候システム研究センター。

*5 Hiroyuki ENOMOTO, 北見工業大学。

*6 Koji YAMAZAKI, 北海道大学大学院地球環境科学研究院。

*7 Naohiko HIRASAWA, 国立極地研究所。

*8 Fumihiko NISHIO, 千葉大学環境リモートセンシングセンター。

*9 Kenichi UENO, 筑波大学生命環境科学研究科。

© 2005 日本気象学会

The First CliC International Science Conference
 第一届“气候与冰冻圈计划”国际科学大会
 11-15 April 2005, Beijing, China



第1図 会議初日に撮影された記念写真。三脚の上で回転するカメラでスキャンして撮られた。

整い、今回の会議開催に至った。

なお、過去の ACSYS/CliC SSG の動きについては滝澤 (2001) を参照してもらいたい。また CliC 承認前の1997年2月にこの計画のための専門家会議 (英国ケンブリッジ) があり、その後何度かの専門家会議や ACSYS 計画の中での討論を基に原案を作成した。これらはレポートとして出版され、最終的に2001年1月に報告書 (Allison *et al.*, 2001) が完成し、配布されている。CliC の背景・目的について網羅的に書かれているので参考にしていただきたい。これら原案の作成に関わったのは多くがアメリカの研究者で、他にはヨーロッパ・カナダの研究者が協力している程度であり、ロシア・アジア他の研究者は皆無に等しいという、残念ながら偏ったものであった。内容にもそれが現れてもいる。どうも WCRP 計画は多くの場合、このような形をとっているようである。また、最近、実行計画の準備を進めていたが、議論の末とりやめ、計画推進のためのガイドラインを作成している。

CliC の包括的な目標は、つぎの4課題である。

- (A) 気候システム内で、雪氷圏が相互作用を起こす物理過程およびフィードバック機構の理解を向上させる。
- (B) 気候の再現・気候変化の予測における不確実性を減少させるため、モデルにおける雪氷圏過程の表現を向上させる。
- (C) 過去および将来の気候変動と変化が、雪氷圏因子に与える影響とその帰結を評価し、定量的に把握する。特に全球水・エネルギー収支、凍土状況、海面変動、極域海水の維持についてである。
- (D) プロセス研究、モデル評価、変動探知のために、雪氷圏の観測とモニタリングを強化する。

議論開始時に比べると抽象的な表現で目標を示している、特にモデルや観測体制についての整備が明示された。当初強調されていた凍土などは内容が減少した。

気象・気候分野にとって、氷床・氷河・海氷・積雪・凍土は無視できない存在であり、いろいろな形でこれらに関連する相互作用などの研究は行われてきた。しかしながら、雪氷自体、その影響に関する系統的な研究はそれほど多くなく、また雪氷変動に直接的に影響を及ぼす大気の研究は、他の大気現象の研究に比べて遅れをとっているともいえる。このあたりの改善・向上が期待されている。CliC は今後10年程度は続けることが考えられている計画であり、これを機会にさまざまな形で実行され、また発展することを期待するものである。

CliC はノルウェーに事務局 (CIPO: CliC International Project Office) を置いており、Chad Dick 事務局長 (2005年 Victoria Lytle に交代する) と Tordis Villinger が働いていて、計画のホームページ (<http://clic.npolar.no>) が維持されている。

(3) 第1回国際科学会議について

CliC の第1回目の Science Conference は、中国関係者の強い要望と努力 (特に SSG 委員である Qin Dahe 気象局長官) により2005年4月11~15日に北京市西部の中国気象局にて実現した (第1図)。予想を上回る245名の参加 (日本からは25名、他の主な参加者はアメリカ46、中国42、ロシア33、カナダ17、ドイツ16)、137の口頭発表と125のポスター発表が行われ、成功裏に終わったといえる。 (大畑哲夫)

会議は第1表に示す4つの CliC Project Area (CPA) を柱として構成され、全体での基調講演とパラレルセッション・ポスターセッションとして各 CPA

第1表 CliCの研究課題領域 (CPA).

| CPA | 課題領域 |
|------|--|
| CPA1 | The terrestrial cryosphere and hydro-meteorology of cold regions 陸域雪氷圏と寒冷域の水文気象 |
| CPA2 | Glaciers, ice caps and ice sheets, and their relation to sea level 氷河・氷冠・氷床とそれらの海水位との関係 |
| CPA3 | The marine cryosphere and its interactions with high latitude oceans and atmosphere 海洋雪氷圏と高緯度海洋・大気との相互作用 |
| CPA4 | Links between the cryosphere and global climate 雪氷圏と全球気候との関連 |

およびその他の一般発表が行われた。本報告は山崎 剛が声をかけ、各参加者にとって強く印象に残ったことを中心に書いてもらった。詳しいプログラム、アブストラクトをご覧になりたい方はCliCのホームページを参照されたい。気候と雪氷圏に関する研究の動向、会議の雰囲気、寒冷圏を研究する参加者の熱い想いを感じ取っていただければ幸いである。(山崎 剛)

2. 領域レベルの気候研究の重要性とアウトリーチ

CliC そのものの紹介は、大畑氏から行われているので、個人的感想のみを報告するが、CliCの目的を一言で言えば、CryosphereがClimateとどのように関わっているかを明らかにすることである。5日間の会議の初日から2日目にかけては、ひたすら温暖化の影響が雪氷寒冷圏で現れているという総合報告に終始した。結果論ではあるが、北海道大学低温科学研究所が行ってきた、30年間にわたる貴重なオホーツク海の流氷変動データの話提供があるべきであった。

私は、これまで4回参加した、研究観測船「みらい」の北極航海で行った北極層雲とポーラーローの観測結果と、2004年の航海で見られた、海水温度と、エアロゾル濃度、逆転層高度、海上風速、下層雲のタイプとの間のきれいな相互作用について報告した。今回は第1回目ということもあって、雪氷、特に氷河・氷床と気候との関係が話題の中心であったので、気象関係でも私のような雲・降水のような短時間の現象にからんだ話題は、私以外に1件のみであった。私の研究に関連していたという点から、LESを海側に適用して、海水内のリードが大気との熱交換に重要な役割をもつ可能性を指摘した Igor Ezau (ノルウェー・ナンセン環境リモートセンシングセンター)の研究が興味深かつ

た。また、アイスコア中の鉛の同位体の分析が可能になり、その結果を楽しそうに話していた Hinkley Todd (米国地質調査所) や、カラコルムに気象観測点の設置について成功した中国観測隊の話などは、演者が本当に嬉しそうに発表していたのが印象的であった。

今回の会議では、氷床変動と植生変動を考慮した気候モデルの最近の進展を学ぶことができ、大きな刺激になった。また、衛星観測データも高いレベルに達していて、例えば、南極のカタバ風の起きやすい谷筋の風下域とポリニアの位置がきれいに一致していることを示した画像は、とても分かりやすかった。ただ、モデルで使われている氷床の形が丸すぎるので、より起伏に富んだ形が取り扱えるようになれば、領域気候の研究が可能になると思われる。また、Wang Muyin (米国・ワシントン大学) の海洋生態系も含んだ北極域の多様な気候変化の話もとても参考になった。更に、大きな収穫は、AO や ENSO と関連の無い、領域レベルの気候変化のアノマリー研究が大事だという指摘であった(例えば、Liu Jiping, 米国・ジョージア大学)。環オホーツク海での海洋・海水・気象・生態(植物・海洋生物)・氷河を詳細に研究する領域レベルの気候研究(実態把握から予測も含めて)がCliCへの大きな貢献になるであろう。

その他、多くの参加者が何度も強調していたことは、アウトリーチと教育プログラム、そしてデータの共有化である。我田引水になるが、北海道大学環境科学院の雪氷・寒冷圏科学コースでも、国内の他の大学にはない、海外でのフィールドでの実習を勧める教育プログラムを積極的に推進中であり、CliC内でのこのような活動を聞いて、大変心強く感じた。最後に、CliC自体は基金を持たないので、各国の研究機関の主体的な活動に頼らざるを得ない。研究プロジェクトとしては弱いものを感じた。CEOPに連動させて、2007年から2010年を第一期として各国が連動してプロジェクトを立ち上げ、この間にどのような成果が出せるかが重要と感じた。(藤吉康志)

3. 陸面水循環に関わる話題

陸面水循環では蒸発散と流出が主要な過程である。蒸発散は寒冷圏の冬季間は低温のため、量的に小さいものの、森林地帯での遮断はエネルギー収支にとっては重要であるし、強風域での吹雪に伴う蒸発も大きな課題である。しかし、今回は蒸発散に関しては特に目

立った発表はなかった。以下、主に流出に関して印象に残った発表を報告する。

Prowse (カナダ・ヴィクトリア大学) は雪氷圏と気候システムとの相互作用についてレビューを行った。その中で、融雪と河川の解氷との関係が興味深かった。温暖化は解氷による出水を妨げている河口寄りの地域の方が上流と比べて影響は大きい。流出量が変わらなくても出水のタイミングが早くなるのが気候に影響するのか。淡水供給による北極海内部の変動と絡めて論じた。なお、Saito and Cohen (2003) の積雪と北半球主要モードとの関係についても論及していた。

Lettenmaier (米国・ワシントン大学) は寒冷圏の水文観測、モデルに関して報告した。彼らは精力的にVICモデルによる北方河川の長期流出解析を行っている。これについては同じグループのSuとAdamがポスターで詳しく発表した。ECMWFの再解析データERA-40から見積もられる流出量は年に2つのピークを持ち、現実と合わない。寒冷圏の水文過程でキーとなるのは森林樹冠の効果、凍土、湖沼の凍結と解氷である。観測で重要なのは降水量と日射量、それに流出量。直接測定はネットワークとしては難しいが蒸発散量、リモートセンシングに期待するのは降水量、積雪水量、高度計 (altimeter) による湖沼・河川水量推定である。高度計に関しては、今回の会議でもKouraev (ロシア SOI/フランス LEGOS) が衛星の高度計によってオビ川の流量を推定した結果を示していた。いまのところ、この方法が適用できるのは大河川に限られると思われるが、高度計はさまざまな利用可能性を持つと感じた。

筆者は積雪モデルの現状と課題について発表した。

積雪モデルの国際比較 (SnowMIP) では日本の3モデルはいずれも大陸では早く消雪しすぎる欠点が明らかになっている。今後、アルベードの推定、森林での遮断蒸発、サブグリッドスケールの問題に関する改良と検証データの整備が課題である。今回、雪氷過程のモデルに関しては、凍土・海水に比べて積雪に関する発表は少なかった。筆者以外ではShmakin (ロシア・地理学研究所) の気候モデルに組み込む積雪モデルの発表くらいであった。(山崎 剛)

4. 気候モデル

いわゆる気候モデルに関する報告は、会議の初めのレビュー的な報告のほかは、Charbit (CEA) らのフランスのグループによる氷床モデルを含む全球モデルを

用いた温暖化実験の報告、Kotlarski (MPI-M) らのドイツのグループによる領域気候モデルでの氷河・積雪のサブグリッド表現のインパクトの紹介、Gromov (モスクワ国立大学) や Rubinshtein (ロシア連邦水文研究所) らのロシアのグループによるロシアの積雪被覆率の報告、筆者による気象研究所気候モデルでの積雪分布などの紹介程度に限られており、肩身が狭い思いであった。

個人的には、日本ではあまりみない (と筆者が思っているだけかもしれないが) 氷床、凍土、海水の研究報告の多さに驚いた。積雪モデルの報告の方がマイナーであった。また、気候モデルへのインパクトは不明だが、地表面の多様性を感じさせる興味深い観測的研究発表がいくつもある一方で、モデルはモザイク程度にとどまっており、まだまだやることはあると感じた。(保坂征宏)

5. 氷床・氷河と気候モデル

本会議の発表のうち4分の1ほどを占めるのが、氷床・氷河の観測やモデリングに関するものであった。氷床・氷河の観測の基調講演では、南極・グリーンランド両氷床についてK. Steffen (米国・コロラド大学)、北極圏についてM. Sharp (カナダ・アルバータ大学)、開催地中国の氷河についてはY. Shi (中国 CAREERI) がそれぞれ最新の報告を行った。とりわけ中国全土には氷河がなんと4万6298個あり、3100個の大きな氷河の調査については産業革命前にくらべて、平均で気温が1.3度上昇し、面積22.2%分が消失したという報告であった。他にさまざまな研究者がポスター発表にて観測や温暖化の状況を報告し、これまであまり集約されなかった情報がロシアでさえ地図集だけでなくデジタル (DVD?) 化して出てくるということであった。このように地道に温暖化関連のモニタリングを行い、それをデータベース化するのをサポートすることが今後の国際協力が必要であると感じた。

気候モデリング関連では筆者 (A. Abe-Ouchi) が基調講演をし、現実的氷床モデルと気候モデル (GCM) を用いた水期サイクルの再現実験の報告をし、これまでシンプルモデルで行われてきた議論が現実的な気候モデルで行われる段階にある程に気候モデリング研究が成熟してきたこと、異なる階層のモデリングの重要なことを強調した。温暖化も同様の手法で、氷床モデルと気候モデルを組み合わせ、P. Huybrechts (ベルギー・ブリュッセル自由大学)、R. Greve (北海道大

学), T. Fichet (ベルギー・ルーヴェンカトリック大学), S. Charbit (フランス CEA) らが発表し, グリーンランド氷床の大きな変化がどの時期に起こるか, 南極はどれほど安定であるか, 不確定プロセスの大きいプロセスは何かなどを議論した。雪氷圏と相互作用をしている気候システムのフィードバック機構の理解とか, モデルにおける雪氷圏過程の表現を向上させるといったことが, この会議の主題であるが, 雪氷 (氷河や氷床) そのもののモデルの精緻化ということとは別に, 気候 (全体) モデルと組み合わせたときのプロセス表現のバランスや, その組み合わせたものをいかに検証したりうまく使いこなすかが, これから重要であろう。(阿部彩子)

6. 気候と海水の研究テーマについて

海水に関する話題は, CPA3で主に扱われた。また, CPA4でも, 広域の大気変動と海水の関係が述べられた。

顕著な海水変化がおきているか: これまでの北極海海水面積の観測から, 減少傾向があることが示されていたが, 近年の研究から特に夏の終わりの面積最少期の減少が顕著であることが報告されている。2002~2004年の3年間は海水面積が最低レベルであり, 特にアラスカとシベリアの北での減少が著しい。いくつかの発表で北極圏で起きているこのような顕著な海水変化について紹介された。早急に原因を特定し, モデルでの再現, 将来予測につなぐということが重要であるが, 近年の海水変化は顕著であるのでCliCの10年程度という研究期間で考えるのではなく, なるべく早く解明していくことが必要であろう。

変動原因の解明にむけて: 近年の急速な面積縮小の説明, 厚さの年々変動のしくみの解明, 北極振動(AO) (または環状モード) など大気循環との関係が触れられていた。大気循環と海水変動については, 北半球と南半球の環状モードやNAO, ENSOといったメジャーな現象のインデックスとの相関性を示すものが多かったが, その多くは変動のプロセスについてもうひとつ踏み込みが足りないものであった。

海水データは揃っているか: 海水変動を把握する, 海水変化プロセスを理解する, モデル計算を検証する, このためのデータは充分であろうか。海水面積についてはマイクロ波衛星観測データが30年近く蓄えられていて, 気候研究のデータとして利用されている。新たな関心は海水の厚さがどうなっているかである。これ

まで約10年間隔で潜水艦による北極海中央部の海水厚さが計測され, 薄くなっていることが報告されていた。Laxon *et al.* (2003)がERS衛星搭載のレーダ高度計を使った海水観測結果を発表した。今回の会議でもこの観測結果の引用やRADARSATによる海水移動観測の組み合わせから海水輸送が推定できる話が紹介されている。海水厚については, 潜水艦データが示していた北極海中央部のトレンドに加え, 衛星から北極海の広域の海水厚分布が観測されたこと, 8年間の毎年のデータから大きな年々変動があることを示している。海水厚の大きな年々変動には, どのようなプロセスが重要なのか, 今後の研究の課題である。新たな観測技術の開発が, 海水変動に新たな問題提起を行い, それを説明し, 再現する努力が続けられている。

(榎本浩之)

7. 気候関連の話題

CliCは雪氷圏と気候のプログラムなので全体に雪氷プロパーの人の発表が多かった。そのなかで気候関連の話題を紹介する。北極振動で有名な米国コロラド州立大学のDavid Thompsonは, Recent trends in the atmospheric circulation and linkages with the cryosphere (最近の大気循環のトレンドと雪氷圏との関連) というタイトルで講演した。環状モードはいかなるものであるかを雪氷グループ (CliC community) に説明するレビューであった。北極 (南極) 振動という名前より北 (南) 半球環状モードという名前のほうが好ましい。なぜなら, 特定の周期をもつ振動ではないからといったことから始まり, 成層圏との関係, 最近の正のトレンド (北半球では1990年代以降は顕著ではないが), 北極海の海水の運動・広がり北極振動で説明できるという話をした。環状モードは雪氷の世界でもENSOと並ぶ重要な気候変動パターンとして認知されており, 環状モードとの関係の発表もいくつかあった。そのなかで, 米国ジョージア工科大学のJiping LiuのRecent sea ice variability and its association with large-scale processes (最近の海水変動と大規模過程との関連) という題の講演がまともだったように思う。1979年以降の衛星データを用いて両極域の海水密度の年々変動に対するENSOと環状モードの影響を調べた。それぞれの海水変動は力学・熱力学的に合理的であることを示す解析も行った。トレンドの観点からの解析も行っている。環状モードは両半球ともに正のトレンドがあるがENSOは負のト

レンドがある。この2つの主要な気候変動モードで線形的に説明できないトレンドがあり、特に北半球では顕著な負のトレンドが残り、これが温暖化に関係しているのか、関係しているならどのようなメカニズムなのか興味深い。ただし、Liuの研究は季節ごとには調べていない。北極海の海水面積の減少トレンドは夏季に顕著であるが、Thompson and Wallace (1998, 2000)のAOインデックスには夏季に顕著な上昇トレンドはない。一方、我田引水になるが、私たちの最近の研究 (Ogi *et al.*, 2004, 2005) では夏季の環状モードは冬とは構造が異なり、また顕著な正のトレンドを持っていることを示した。海水と大気循環の関係についても季節性を掘り下げて調べることが今後の課題であろう。

私は Seasonal variation of the atmospheric hydrological cycle in polar regions and the relation with annular modes (極域での大気水循環と環状モードとの関係) という題で私の学生であった大島和裕君の博士論文の内容を発表した。ECMWFの再解析データから両極域のP-E (降水量-蒸発量) を求め、北極域ではP-Eは暖候季に大きく、南極域では寒候季に大きいことを示し、この理由を半経験的に説明した。P-Eの季節変化は主に非定常 (Transient) の極向き水蒸気フラックスによって決まる。さらに Transient 極向き水蒸気フラックスは水蒸気量の南北傾度と Transient eddy の活発度で決まる。この2つの要因の季節変化の大きさで両極の季節変化の違いを説明できる。環状モードとの関係については時間の関係で割愛した。

気候関連以外では、棚氷 (ice shelf) の下の海洋循環の話は日本で研究者がいないせいか、初めて聞く話でおもしろく感じた。オーストラリア南極気候・生態系統合研究所のJohn Hunterは、Ice-shelf/ocean interaction in the Antarctic, with a focus on the Amery ice shelf (南極アメリカ棚氷における棚氷-海水相互作用) という題で講演した。Amery棚氷の厚い氷の下に数100mの深さの洞窟状に外洋とつながった海水があり、その海洋循環をシミュレーションで調べていた。普通の海洋循環とは異なり、上端を厚い氷で覆われ、かつ海底地形も考慮した海洋循環シミュレーションである。棚氷下の洞窟の奥深いところでは、 -2.6°C であるが圧力効果によって融解しており、軽くなった海水が上昇し洞窟出口の外洋に近いところでは -2.3°C で再凍結し重くなり沈降する。このようにし

て鉛直循環が形成されている。

GEWEX/GAMEが水文研究者と気象・気候研究者を結びつけたように、CliCは雪氷研究者と気象・気候研究者を結びつける契機となることを予感させる会議であった。(山崎孝治)

8. 南極域における大気の現場観測データの解析

CliCプログラムでは、雪氷圏と大気圏との関わりに議論が及ぶことになる。そこでは地表面と大気境界層との間の熱、水、物質の移動に関する知見を得ることが重要であろう。私は南極域の大気の観測データを基にした研究発表について関心を持って出席した。300件近い発表の中で、南極の気象データを中心に解析した研究はそれほど多くなかった。ここでは私の発表を含めて3件を紹介する。

私 (Hirasawa) は、ドームふじ基地 (南緯 77° 、東経 40° 、標高3810 m) で観測した接地気温逆転層の季節変化と氷床と大気境界層・自由大気間の水のやりとりについて議論した。それを基に、南極氷床表面における水の輸送過程を明らかにするためには、カタバ風帯より高所に位置したドームふじ基地のような地域、カタバ風帯のみずほ基地のような地域、及び氷床末端域での観測が必要と結んだ。Hudson (米国・ワシントン大学) は、南極点 (標高2800 m) のゾンデデータを基に気温逆転層の解析を行っていた。20 mより下層で気温逆転が特に顕著という結果は我々のものと共通している。また、最近氷床コア掘削のために開設されたドームC基地 (南緯 75° 、東経 123° 、標高3306 m) の夏のデータを基に気温逆転層の日変化を解析し、ドームふじ基地と同じく日中には逆転層は消失し、夜間 (太陽は出ている) には30 mより下層で明瞭に逆転層が現れるということであった。

一方、Repina (ロシア) はミルヌイ基地 (南緯 66° 、東経 93° 、標高30 m) とベリングハウゼン基地 (南緯 62° 、東経 59° 、標高36 m) の地上観測データから風速、気温、及び乱流フラックスの日変化について解析を行っていた。どちらも海岸沿いの基地であり、カタバ風の末端に位置していると考えられる。物理的な詳しい解釈は分からなかったが、気温と風速とにある位相関係をもつて2つずつの極大と極小が見られていた。

その他に、大気の観測データを詳しく解析したものではないが、南極半島で検出される長期間の気温の変化の実態や南極氷床の涵養量を衛星データから見積もる研究などが興味深かった。

今回の会合では雪氷研究者の比率がかなり大きかったように思われるが、CliCプログラムの今後として、大気の現場観測データに基づいた研究を広げていくことが課題なのだろうと感じた。(平沢尚彦)

9. 衛星リモートセンシング

CliCプロジェクトにおける衛星リモートセンシングの役割は非常に大きい、本会議では各課題(CPA)の目的を達成するための手法として位置づけられているようで、唯一まとまったリモートセンシングに関するセッション(4日目午後)での発表数は少なかった。各セッションの中で目に付いた発表と、前述のリモートセンシングセッション、雪氷圏を対象とした2つの衛星、ICESat (NASA, 2003年1月打ち上げ, <http://icesat.gsfc.nasa.gov/>)とCryoSat (ESA, 2005年後半打ち上げ予定, <http://www.esa.int/esaLP/cryostat.html>)に関する発表について報告する。なお、海氷のリモートセンシングについては、第6節に報告があるのでここでは除くことにする。

Armstrong and Brodzik (2001)による陸域積雪面積の経年変動は温暖化の指標としてIPCCレポートやNSIDCのウェブサイトにおいてしばしば引用されてきた。R. Armstrong (米国NSIDC)らによる最新結果では1978~2004年の期間はNOAA/AVHRRとSSM/I等のマイクロ波データ、2002年からはMODISとAMSRデータが追加され、空間分解能の向上が図られた。氷床スケールではERSデータを用いて、グリーンランドの内陸部で標高が増加し、沿岸部で低下していることが報告された。南極では南極半島周辺ではLandsatやASTERデータの解析により急激な雪氷の減少が起こっていることが報告され、特に、棚氷が海底の接地面よりも内陸側から流出している場所もあった。一方、氷河スケールではASTERデータを組織的に利用し、全球における氷河変動をモニターするためインベントリを作成するGLIMSプロジェクトの紹介や、山岳域における雪崩などの防災利用に関する報告が行われた。一般的に雪氷圏では雲の影響の少ないマイクロ波センサーの利用が多いが、固有の問題もあり光学センサーもよく利用されている。また、質量収支や雪氷物理量の抽出には、センサーの複合利用、単一センサーでも複数波長を利用している発表が多かった。

4日目のリモートセンシングセッションでは中国国内のリモートセンシング結果に関するものが多かった。中国における積雪分布の推定手法の提案では、

NOAA/AVHRRの2チャンネルを用いている。ここでは植生の存在する領域で、積雪分布に植生指標を考慮しているが、物理的な定義の明確でない指標を示して質問が多数出た。チベット高原でMODISとAMSR/Eを併用して、より詳細に積雪分布域を判読する手法の提案に関する発表では、MODIS画像で雲の多い解析事例を示して、積雪域の正確な識別ができないという問題が指摘された。カナダにおける積雪水当量の発表では、カナダ国内の多くの水文データを使用して現業で運用されていることが紹介された。マイクロ波データによる陸域地表面温度の検出では、まだまだ、検証データとの相関がよくないという印象であった。

最終日の全体セッションではICESatとCryoSatに関して、それぞれのセンサーのチーフサイエンティストによる講演があった。はじめにNASAのJ. Zwallyは、ICESatのレーザ高度計とERSのレーダ高度計によるグリーンランド氷床および南極氷床における質量収支の紹介を行った。ERSのレーダ高度計の時代に比べICESatのレーザ高度計では、急峻な沿岸付近の地形変化を計測できるようになった。そのために、基盤に接地した氷床 (grounded ice) と海に浮かぶ棚氷 (floating ice) の変化を区別して測ることができる。その結果、海水面変動と氷床の質量収支の関連を、より正確に知ることができるようになった。しかし、レーザ高度計の寿命は短く、ICESatの計測は短期間で終わると予想される。ICESatのレーザ高度計のデータ(2002~2004年)から求めた南極氷床の質量収支の現在の結果は、南極氷床での質量収支が、 -66.9Gt/年 、これによる海面変動は $+0.19\text{mm/年}$ となる。一方、グリーンランド氷床の質量収支は $+10.5\text{Gt/年}$ 、海面変動は -0.03mm/年 となる。この結果は、予想と違い南極氷床が、現在の海面上昇に大きく寄与していることになる。グリーンランド氷床の高度1500m以下では、現在、融解が激しいが、それ以上の高度では降雪量が大きく、正の表面質量収支が観測されている。

引き続き、ロンドン大学ユニヴァーシティカレッジのD. Winghamが、2005年後半打ち上げ予定のCryoSatによる雪氷圏のリモートセンシングについて発表した。この衛星には、SIRALという、合成開口レーダと干渉レーダ高度計の機能を持つセンサーが搭載されている。このセンサーは第1世代のレーダ高度計に比べ空間分解能が1桁向上し、海水変動、氷床質量収支観測を主な研究課題としている。

雪氷圏を対象としたリモートセンシング分野は雪氷変動のモニタリングを中心に長い歴史があり、地球温暖化の監視に大きな役割を果たしてきた。今後は雪氷の量や面積という量的なものだけでなく、大気や海洋との相互作用との観点から雪氷の性質を衛星リモートセンシングによって求める必要があるだろう。アメリカのICESatとヨーロッパのCryoSatは、米欧のSpace Agency 二大勢力が雪氷監視の重要性を強く意識した結果である。日本においてもまもなく打ち上げられるALOSのデータなどを利用し、独自の雪氷リモートセンシングに関する研究が進むことを期待したい。(西尾文彦・青木輝夫)

10. CliC への日本の貢献は何か？

Cryosphereを“雪氷圏”と訳すのか“寒冷圏”と訳すのか、会議期間中の食事に話題になったことを思い出す。低温時に固体(雪や氷)に相変化する水の物性は、水循環過程にとって重要な働きを持つ。個人的な印象として、前者の“雪氷圏”という用語は、水循環研究の一環として使用される場合が多いように思う。日本からの参加者に関しても、着雪・凍土融解・氷床形成などに関するプロセス研究に主眼を置いた“雪氷学的”研究発表が多かったようだ。一方、高緯度・高標高域といった寒冷な地域(いわゆる寒冷圏)における気候系・生態系の変動把握は地球システム科学の取り組むべき重要な方向性として近年注目を集めている。諸外国(特に北米・ヨーロッパ)の基調講演でこのような“寒冷圏”科学を意識したものが多かったのは、来る温暖化に伴う自国周辺の水循環・生態系変貌を客観的に把握し将来予測を行うことは人事ではない、という彼らの意気込みの現れでもあろう。

CliCはWCRP傘下のもと、従来の国単位での観測・研究体系を寒冷圏全域で統合し、気候変化に伴うインパクト予測に必要な大陸規模のプロセス研究(広域“雪氷”研究)を推進していく方向性を明瞭に打ち出していた。その意味では、既に日本は諸分野で世界に引けをとらない優れた“雪氷研究”を先行させているとも言えよう。これらは防災科学や土木建築工学などの応用分野で既に実用化されており、世界的な技術貢献もしている。しかし残念ながら、日本国内における寒冷圏の変貌(例えば、日本海側豪雪の激減や山岳水資源の定量化など)や海外プロジェクト研究(南極氷床掘削計画やGAMEシベリアなど)の成果を地球環境変動の1シグナルという観点で世界にアピールす

る側面が弱い。その結果、他国に負けない参加人数の割に、一部の基調講演を除いて日本人研究者の影が薄かった。その要因の1つに、国内における研究発表組織の分散があるように思われる。日本気象学会では極域・寒冷域研究連絡会が関係しているようだが、他にも日本雪氷学会、水文・水資源学会、極域気水圏シンポジウム(国立極地研究所)などが、それぞれの研究集会でCryosphereを取り扱っている。欧米に比べて研究者層が薄い日本では、主要研究者が各々の研究集会に重複参加している(個人的にはそろそろ水循環関連の学会組織統合を望むのだが、これはさておき、)。これらを統括してALL-JapanとしてCliCに臨む側面があっても良いように思った。(上野健一)

略語一覧

- ACSYS : Arctic Climate System Study
- ALOS : Advanced Land Observing Satellite 陸域観測技術衛星
- AMSR : Advanced Microwave Scanning Radiometer
- AO : Arctic Oscillation 北極振動
- ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer
- AVHRR : Advanced Very High Resolution Radiometer 改良型高分解能放射計
- CAREERI : Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute (中国の研究機関)
- CEA : Commissariat a l'Energie Atomique (French Atomic Energy Commission) フランス原子力庁
- CEOP : Coordinated Enhanced Observing Period 統合地球水循環強化観測計画
- CliC : Climate and Cryosphere 気候と雪氷圏
- CLIVAR : Climate Variability and Predictability Project 気候変動と予測に関する国際研究
- COARE : Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment 海洋-大気応答研究計画
- CPA : CliC Project Area (第1表)
- ECMWF : European Center for Medium-range Weather Forecasting ヨーロッパ中期予報センター
- ENSO : El Nino and Southern Oscillation エルニーニョ南方振動
- ERS : European Remote-Sensing satellite
- ESA : European Space Agency ヨーロッパ宇宙機関
- GAME : GEWEX Asian Monsoon Experiment アジアモンスーンエネルギー水循環研究計画
- GEWEX : Global Energy and Water Cycle Experiment 全球エネルギー水循環研究計画

GLIMS : Global Land Ice Monitoring from Space
 ICSU : International Council for Science 国際科学会議
 IGBP : International Geosphere-Biosphere Programme 地球圏-生物圏国際共同研究計画
 IOC : Intergovernmental Oceanographic Commission 政府間海洋学委員会
 LEGOS : Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (Laboratory of Studies in Space Geophysics and Oceanography)
 LES : Large-Eddy Simulation
 MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
 MPI-M : Max-Planck-Institut für Meteorologie (Max Planck Institute for Meteorology) ドイツ・マックスプランク気象学研究所
 NAO : North Atlantic Oscillation 北大西洋振動
 NASA : National Aeronautics and Space Administration 米国航空宇宙局
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋気象庁 (およびその衛星シリーズ)
 NSIDC : National Snow and Ice Data Center 米国雪氷データセンター
 SAR : Synthetic Aperture Radar 合成開口レーダ
 SIRAL : SAR/Interferometric Radar Altimeter
 SnowMIP : Snow Models Intercomparison Project
 SOI : Vavilov State Optical Institute ロシア国立光学研究所
 SPARC : Stratospheric Processes And their Role in Climate
 SSM/I : Special Sensor Microwave/Imager
 TOGA : Tropical Ocean Global Atmosphere 熱帯海洋地球大気計画
 UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 国際連合教育科学文化機関
 VIC : Variable Infiltration Capacity land surface model (陸面水文モデルの名称)
 WCP : World Climate Program 世界気候計画
 WCRP : World Climate Research Program 世界気候

研究計画
 WOCE : World Ocean Circulation Experiment
 WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関

参 考 文 献

Allison, I., R. G. Barry and B. E. Goodison Eds, 2001 : Climate and Cryosphere (CliC) Project Science and Co-ordination Plan version 1. WCRP-114, WMO/TD No. 1053, 76pp.
 Armstrong, R. L. and M. J. Brodzik, 2001 : Recent Northern Hemisphere snow extent : A comparison of data derived from visible and microwave sensors, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 3673-3676.
 Laxon, S., N. Peacock and D. Smith, 2003 : High interannual variability of sea ice thickness in the Arctic region, *Nature*, **425**, 947-950.
 Ogi, M., K. Yamazaki and Y. Tachibana, 2004 : The summertime annular mode in the Northern Hemisphere and its linkage to the winter mode, *J. Geophys. Res.*, **109**, D20114.
 Ogi, M., K. Yamazaki and Y. Tachibana, 2005 : The summer northern annular mode and abnormal summer weather in 2003, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L04706.
 Saito, K. and J. Cohen, 2003 : The potential role of snow cover in forcing interannual variability of the major Northern Hemisphere mode, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1302.
 滝澤隆俊, 2001 : ACSYS から CliC へ—WCRP 極域気候変動研究の動向—, *天気*, **48**, 345-347.
 Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 1998 : The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1297-1300.
 Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 2000 : Annular modes in the extratropical circulation. Part I : Month-to-month variability, *J. Climate*, **13**, 1000-1016.