

2008年春季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会2008年度春季大会(横浜)3日目(5月20日)のセッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会が大会A会場(開港記念会館 講堂)にて行われた。出席者は約60名であった。今回の極域・寒冷域研究連絡会は、「さまざまな視点で見た北極圏の変化」と題し、21世紀になって顕著な変化が観測されるようになった北極圏についての講演会を行った。この数年、北極海では海水の減少が顕著で、昨年秋には海水面積が観測史上最小を記録した。また、IPCC 4次報告において、21世紀後半には夏の北極海海水の大部分が消滅する可能性が指摘され、マスコミでも大きく取り上げられるなど、北極圏の気候変化は社会的にも大きな注目を集めている。さらに、北極海付近だけでなく、シベリアなど大陸の高緯度地域でも注目すべき変化が起きている。そこで、今回は、様々な視点から北極圏の変化を論ずべく、4名の方に講演をお願いした。まず、日本航空(JAL)の現役機長より講演をして頂いた。そこでは、実際の飛行中に撮影された海水やシベリア上空の写真などを紹介して頂きながら、ご自身で目の当たりにされた環境変化についてお話して頂いた。続いて、観測により判明した海水変動及びシベリア凍土の変動について、さらには数値モデルによる温暖化実験で見られる雪氷圏の将来予測について、最新の研究成果を紹介して頂いた。以下に、各講演者より寄せられた講演要旨を紹介する。

代 表 :

山崎孝治(北海道大学地球環境科学研究所)

世話人 :

平沢尚彦(国立極地研究所)

中村 尚(東京大学大学院理学系研究科)

浮田甚郎(新潟大学自然科学系理学部)

高田久美子(地球環境フロンティア研究センター)

阿部彩子(東京大学気候システム研究センター)

佐藤 薫(東京大学大学院理学系研究科)

本田明治(地球環境フロンティア研究センター)

齋藤冬樹(地球環境フロンティア研究センター)

猪上 淳(地球環境観測研究センター)

高谷康太郎(地球環境フロンティア研究センター)

http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl_index

話 題 :

「さまざまな視点で見た北極圏の変化」

1. 「空から見た極地・寒冷地域の変化」

小林宏之(日本航空 機長)

私は、38年間世界の空を飛び続けていますが、1990年代から、空からみる極地・寒冷地域の様子が少しずつ変わってきました。特に2000年前後からの数年間の変わり様、温暖化は著しいものがあります。アメリカのゴア元副大統領が製作された「不都合な真実」の内容と全く同様な光景を目にしています。

ただ、私がお話することは、学術的な裏付けを持った発表ではなく、あくまで、空から見続けてきた感想に過ぎません。

私が見てきた最近の急激な変化、温暖化には次のようなものがあります。

(1) 北極海の氷の溶解

30年前後以前には、真夏でも北極海は一面の水で、せいぜい割れ目が見える程度でしたが、この2~3年は夏になると徐々に氷が溶け始め、2007年8月に飛行した際には第1図のような光景が目に入りました。

(2) グリーンランドの変貌

以前は真夏でも、白い雪や氷に覆われた「白いグリーンランド」しか見たことがありませんでしたが、2007年の夏には第2図のような茶色の地肌が見えるグリーンランドを初めて見ました。

(3) 姿を消す氷河

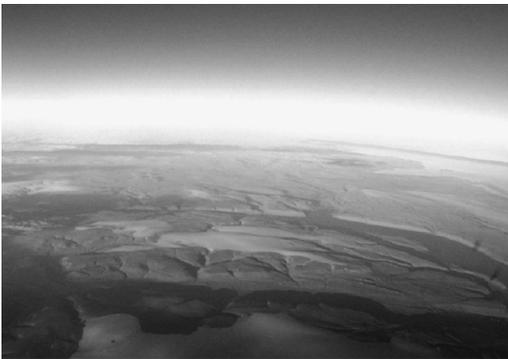
アラスカの氷河がここ数年、溶け始めてきており、場所によっては、第3図のように、氷河の末



第1図 融解する北極の水 (2007年8月28日 2350 UTC, 北緯77度 西経129度, 高度10 km から東北東方向を撮影)。



第3図 姿を消す水河 (2007年7月29日 1810 UTC, 北緯63度 西経158度, 高度11 km から北北西方向を撮影)。



第2図 地肌に見えるグリーンランド (2007年8月29日 0140 UTC, 北緯83度 西経55度, 高度10 km から東北東方向を撮影)。



第4図 シベリアの積乱雲 (2006年7月3日 0730 UTC, 北緯61度 東経121度, 高度10 km から西北西の方向を撮影)。

端がドンドン上流に上がってきています。

(4) シベリアの森林火災と積乱雲の発達

30年前後以前のシベリア大陸の森林火災を見た経験はほとんどありませんが、最近、6月下旬～9月上旬にかけて、シベリアを飛行するたびに数件の森林火災を発見します。また、以前は、圏界面の高度が低かったためか、飛行高度の1万メートル付近までは積乱雲が発達しておらず、これを回避して飛行したことはほとんどありませんでしたが、最近温暖化のためか、対流圏、圏界面の高度が1万メートル以上にまで高くなり、従って積乱雲も第4図のように1万メートル以上まで発達し、夏場のシベリア上空飛行では、積乱雲を回避する回数が増えてきています。

2. 「止まらない北極海の海氷減少」

猪上 淳 (海洋研究開発機構
地球環境観測研究センター)

近年の夏季北極海の海水の激減について、小林宏之氏が北極海上空から撮影した海水の写真の写真を題材に解説を行った。

例年、北極海の海水面積は9月中旬に最小となる。海水の減少には、夏季の融解・海水の流出・冬季の成長抑制が主要因であるが、衛星観測史上最小値を記録した2007年は、海水の融解及び流出が著しかったと考えられる。これは6月～9月にかけて存在したシベリア上の低気圧とボーフート海上の高気圧によって形成される風系が、海水をシベリア沿岸から大西洋へ向けて移流させることが一因である (Inoue and Kikuchi 2007)。その移動速度は2005年 (当時海水面積最

小値を記録)を上回っていた。海水の移動速度が速い場合は、海洋表層に蓄積された日射による熱が鉛直混合によって海水下まで輸送され、底面融解を促進させるため (Inoue and Kikuchi 2006), この夏は融解がより進行しやすい状況であったと考えられる。

小林氏の写真 (第1図: 2007年8月28日撮影) は、北緯77度・西経129度で撮影された。この写真から、(1) 快晴、(2) 海面が広く存在、(3) 氷盤が小さい、などの特徴が読み取れる。例年夏季北極海では、冷たい海水上に大陸からの暖湿気塊が移流することで下層雲が形成されるため (例えば、Inoue *et al.* 2005), 上空から海水や海面を識別することは稀であるが、2007年は高気圧が発達していたため明瞭に海水と海面を区別することができる。夏の太陽放射を遮る雲が無く、海面が広く露出していることから (2005年比で約25%増加: Comiso *et al.* 2008), 海洋に蓄積される熱は異常に増加し、これは海水の融解の促進だけではなく、秋口の結氷の遅延をもたらし、冬季の海水成長の抑制も予想される。

海水の減少をもたらした夏の特徴的な気圧配置は、陸域を含む北極圏の変動の結果なのだろうか? それとも原因なのだろうか? 北極圏では凍土の融解や降水量の増加など海水以外にも急激な変化が観測されており、水循環の時間スケールが明らかに短くなってきている。今後、大気・陸面・海洋の相互作用に着目した研究により、北極圏変動の包括的な理解を目指すことが重要である。

3. 「水循環変化をもたらすシベリア凍土環境の変化」

飯島慈裕 (海洋研究開発機構
地球環境観測研究センター)

北極圏では、最近の海水面積の急減に代表される自然環境変化が顕在化している。陸域に広がる永久凍土も地表面付近の融解が進行しており、北極域の温暖化の証左となる観測事実としてよく取り上げられている。そのような状況下で、地球環境観測研究センターが観測を展開している東シベリアにおいても、近年急激な永久凍土上の地温上昇が確認された。しかし、その要因を調べていくと、そこにはシベリア周辺の大気変動に伴う、水循環変化の実態が浮かび上がってきた。

レナ川中流域の観測点の一つ (ポコロフスク) では、3.2 m 深の年平均地温が2004年以降上昇し、2007

年には -1.2°C に達している (1970-2000年の平均は -2.2°C)。この急激な地温上昇は、レナ川中流域の左岸・右岸で地球環境観測研究センターが過去10年にわたり行ってきた地温観測網でも現れており、地温上昇に伴う活動層厚の増大 (地表面付近の永久凍土層の融解) が確認されている。この地温上昇の特徴は、2004年以降に活動層内の土壌水分量が同調するように急激に増加している点にある。

この同時的な地温上昇と土壌水分増加の要因として、夏季 (特に後半の7~9月) の降水量と、冬季の積雪量の増加が影響していると考えられた。ヤクーツクの気象観測点データでは、2004/2005年冬季以降、最大積雪深と引き続き夏季降水量がともに $+\sigma$ (σ は1970-2007年の年々変動の標準偏差) を連続して超える年が2005~2007年の3年間連続して現れていた。年間の最大積雪深と夏季降水量がともに $+\sigma$ の偏差となる年は1970年以降でわずか4例しかなく、実にその3例が集中していることになる。したがって、積雪の増加が断熱的な効果を強め冬季の土壌凍結を抑えたとともに、融雪水量の増加として春の土壌を湿潤化させ、夏季の過剰な降水が表層土壌に浸透・滞留し、土壌の熱伝導率、熱容量を増加させ、地温上昇と凍結の抑制を更に促進させるという連鎖が続いたことが、こうした急激な地温と土壌水分の変化をもたらしたと考えられる。また、東シベリアの気象観測点における夏季降水量と最大積雪深の2005年~2007年の偏差分布から、夏季降水量と最大積雪深が同様に $+\sigma$ を越える地点は、ヤクーツクを含む北緯65度付近のレナ川中流域から南部の山岳地域にかけて分布していた。これらの結果から、同様の地表面付近の湿潤化と地温上昇はレナ川上流から中流域の広域にわたり現れている可能性がある。

東シベリアでの夏季と冬季の降水量増加について、NCEP/NCAR 再解析データを用いて大気場を解析したところ、2005~2007年の夏季 (7~9月) は、850 hPa 面での5日以下の短周期擾乱成分が有意な正偏差を示す領域がシベリア中央部の北極海沿岸地域からレナ川中流域にかけて延びており、この地域の夏季降水量増加とよく対応していた。擾乱成分の正偏差の強まりは、同期間におけるシベリア側の北極海上での非常に強い低気圧性偏差と関係している。この低気圧活動の強化は、2005年や2007年の北極海の海水面積の急減にも寄与しており、北極域の大気-陸面-海洋が連鎖する変化を特徴付ける注目すべき現象といえる。こ

の時、水蒸気フラックスはシベリア中央部、北極海沿岸、オホーツク海からレナ川中流域へ向かって収束する傾向が見られた。一方、冬季降水に寄与する10-11月の場では、短周期擾乱成分には有意な偏差が見られず、期間平均として低気圧性偏差が現れ、その際東シベリアへの水蒸気フラックスは南東の太平洋側からの流れが示されていた。

従来、シベリアでは永久凍土の融解の要因として、単純に気温の温暖化そのものとの対応関係や、森林火災による地表面変化などが注目されてきた。一方、今回新たに湿潤化の強化による凍土環境の変化が捉えられた。この現象は、温暖化のもう一つの側面である「水循環の強化」がいち早くシベリアにて陸域の環境変化として現れていると見ることもできる。これが気候の周期的な変動の一部を示しているだけなのか、もしくは、現在そして近い将来に、東シベリアに広大に広がる永久凍土上の水文気候システムを変える可能性があるのか、今後さらに注視していく必要がある。

4. 「氷床変動のシミュレーションについて」

齋藤冬樹（海洋研究開発機構
地球環境フロンティア研究センター）

本発表では氷床変動のシミュレーションとそれに関連する話題について、基礎的なことから現在の最先端の成果までを駆け足で概観した。

氷床変動は、氷床流動だけでなく、境界条件である大気海洋や基盤地形にも依存する。それぞれの再現に対して不確実性があり、氷床変動のシミュレーションに大きく影響を与える。特にIPCC AR4の報告を含め複数の文献（Vaughan and Arthern 2007；Shepherd and Wingham 2007など）で指摘されているが、現在の氷床モデルではice streamと呼ばれる周囲より速い流動をする現象の再現が不十分である。

Greenland 氷床については、ここ十年で減少傾向が加速しており、温暖化の気候下でこの傾向が継続し、

氷床変動の時間スケールが長いために数世紀以上に渡って変動が続くと考えられている。加えて、上記のice streamの効果の過小評価を考慮すると、現実の変動は現段階の見積りより早く縮小するだろうという指摘がある。

なお、Greenlandの名称の由来に関して会場内で質疑があったが、私はその回答に自信がなく、その後の追調査でも（私の調査の範囲が狭すぎたせいだが）確実な回答を得られなかった。どなたか詳しい方にご教示いただければ幸いである。

謝 辞

講演を快く引き受けてくださった諸氏に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- Comiso, J. C., C. L. Parkinson, R. Gersten and L. Stock, 2008 : Accelerated decline in the Arctic sea ice cover. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L01703, doi : 10.1029/2007GL031972.
- Inoue, J. and T. Kikuchi, 2006 : Effect of summertime wind conditions on lateral and bottom melting in the central Arctic. *Ann. Glaciol.*, **44**, 37-41.
- Inoue, J. and T. Kikuchi, 2007 : Outflow of summertime Arctic sea ice observed by ice drifting buoys and its linkage with ice reduction and atmospheric circulation patterns. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 881-887.
- Inoue, J., B. Kosovic and J. A. Curry, 2005 : Evolution of a storm-driven cloudy boundary layer in the Arctic. *Bound.-Layer Meteor.*, **117**, 213-230.
- Shepherd, A. and D. Wingham, 2007 : Recent sea-level contributions of the Antarctic and Greenland ice sheets. *Science*, **315**, 1529-1532.
- Vaughan, D. G. and R. Arthern, 2007 : Why is it hard to predict the future of ice sheets? *Science*, **315**, 1503-1504.