

## 質疑・討論

- 積雪アルbedoモデルをもう少し詳しく説明して下さい。

(青木) 積雪のアルbedoは雪面の日射照射条件(直達・散乱比)によって変化します。積雪アルbedoモデルは、積雪物理量(BCとダスト濃度、積雪粒径)と太陽天頂角を入力すると、black sky albedo(直達光のみに対するアルbedo)とwhite sky albedo(散乱成分のみに対するアルbedo)を出力します。GCM側で日射量の直達成分と散乱成分を計算し、それぞれに対してblack sky albedoとwhite sky albedoを掛けた上で合計することにより反射日射量が求まり、最終的なアルbedoも求まります。

- 涵養期にはOCとECの相対的な割合が増加する理由を教えてください。

(青木) ダスト濃度が涵養期には低いいため、相対的な割合として、涵養期にはOCとECが増加します。しかし、絶対量では、OCとEC濃度は涵養期よりも融雪期の方が高くなっています。

- 積雪粒径と雪面温度との間に見られた関係は定性的には理解できますが、一般的に適用可能ですか？

(青木) これは地上(及び衛星)観測の結果で、現在、この部分だけが経験的なスキームになっていて物理モデル化できていません。Snowpackモデルで積雪中の熱収支から積雪粒径を計算できるのですが、光学的に等価な粒径よりも大きな粒径が得られてしまいすぐには利用できない状態で、今後の課題です。

- 日本の雪氷現象が1980年代後半以降に大きく変化しているというのは、更に過去に遡っても言えるのでしょうか？

(広田) 近年の土壤凍結深の減少については少なくとも過去50年スケールで初めて起きている現象であることもわかりました。今後、多少の波はあるかもしれませんが・・・北陸の雪も、オホーツク海沿岸部の流水量も同じだとみています。私は一つの雪

氷現象だけではなく、日本では非常によく知られた典型的な雪氷の現象である十勝の土壤凍結、北陸平野の雪、オホーツク沿岸部の流水量これら3者が同時期に起きていること、しかも、過去このような3者同時減少が、ほぼ20年近くの比較的長期トレンドで続いていることは非常に着目すべき現象であると思います。

- 陸域変化に従い、水・エネルギーの流れおよび大陸の大気状態が変わるというのは理解できますが、大気の循環場に対してどのような影響を与える可能性があるのでしょうか？

(保坂) 低解像度モデルを用いて、シベリアの森林のある領域(60度×20度程度)を伐採したという設定での数値実験をしたことがあります。局所的な熱収支変化はありましたが、それに対応した局所的な循環アノマリはできませんでした。が、それ以上のところ(たとえばシベリア寒気への影響)となると、それほどはっきりしたシグナルは出なかったように記憶します。

- 20世紀と21世紀でシベリア寒気の強さ、寒気吹き出しの強さに違いはみられますか？

(保坂) 寒気の吹き出しですが、「弱まるのが有力」としておきたいと思います。シベリア高気圧よりは、アリューシャン低気圧の北へのシフトが効いて、日本の緯度では東に高気圧性偏差が生じ、これが北西季節風を弱めるのに寄与します。気象研の20 kmメッシュ大気モデルの結果には、アリューシャン低気圧がもともと東にあるバイアスがあるためか上の傾向は見られず、寒気の吹き出しは弱まったようには見えません。また、気象研の280 km大気海洋結合モデルも、同様にアリューシャン低気圧がやや東にあるバイアスがあり、将来予測として西高東低の気圧配置が弱まるようにはなりますが日本海から日本付近の風速はほとんど変わりません。

CMIP3モデルで、気象研の結合モデル以外にも弱まらないものはいくつかあります。そして、同じ弱まるとするもの同士でも、現象の再現性や将来予

測に伴う変化の様相は違います。そういう意味で、現時点では、「弱まるのが有力」、今後の不確実性軽減に向けた研究が必要、というところでとめておきたいと思います。

- 環境変動に敏感なホットスポットはどこでしょうか？そこでは、何が最も顕著に変動しているのでしょうか？言い換えれば、何を観測すべきでしょうか？どのような観測ネットワークの構築が必要でしょうか？

(青木) MASINGAR の結果から見ると、中央シベリア北部、東部シベリア、カナダ北部、ヒマラヤです。北極海も同様と推測されます。アルベドの立場から考えると、観測すべき要素は積雪分布やアルベドそのものなのですが、それらの変化によって雲量が増え、日射量が増える効果が放射収支には大きく効いているのではないかと作業仮説を立てています。そのため、上記の「環境変動に敏感な」領域での地上における放射収支、雲・エアロゾル観測を衛星観測と同時にやる必要があると考えています。

(保坂) 気象研の結合モデルでの春先のオホーツクの海水の有無は、夏場の北日本の気温に数度の影響があるという結果になっています。海洋モデルの収支解析と、モデルでの北極海の海洋循環の再現も必要です。

(広田) 気候変動はまず、冬の方が先に顕著に現象が現れるように思います。十勝の土壌凍結、北陸平野の雪、オホーツク沿岸部の流水量は日本でも非常によく知られた典型的な雪氷現象ですが、北陸平野の雪とオホーツクの流水量はあんなに勢いのある雪氷現象だったのに、少し温度があがるだけでこんなに勢いがなくなり、十勝は少し雪が降るようになると凍結をしなくなるなど、それぞれ気候変動の影響を非常に受けやすい敏感な地域箇所であることがわかります。さらに、十勝の農家で、いつのまにか誰にも気が付かれずに気候変動に対する適応対策をやっているように、北海道は、環境変動に敏感な

ホットスポットであり、世界にない独自の新技術も生まれようとしている風土なので、国内の雪氷に関する基礎研究のレベルもより高いものになると考えます。

- 極地、寒冷域、僻地で観測ができる人材育成に関して一言お願いします。

(青木) ある程度プロセスモデルを自分で作ることができる人材がフィールド観測を行うと、気候モデルへのフィードバックも良くなると思います。私の分野では「現場観測とプロセスモデル」、「衛星観測」、「気候モデル」の3点セットで作業を進めるのが有効であると考えています。そのためにはある程度の組織化と予算が必要です。現場観測の予算が取れない場合でも、衛星データがあれば仕事はできるので、若手が衛星ミッションの研究グループに参加できる機会を増やしてもらいたいと思います。

(広田) 北海道（あるいは北日本）は環境変動のホットスポットであると言えます。案外、研究者にも全体的にはそういう認識が薄いのではないかと感じます。また、非常に重要な時期であるにもかかわらず、国内の様々な観測網は経費節減の観点等から縮小傾向にあるのは、歴史的に非常に悔いを残すことになりかねないと思います。したがって、観測が大事だという気運が研究や学生教育の点だけでなく、もう少し深い角度と観点の考察から盛り上がると良いと思います。

- 今後どのような国際プロジェクト、共同観測の企画・体制が望ましいでしょうか？

(全員) 夏よりも冬の気候変化が先、という点で雪氷圏の変動に着目した研究が必要です。さらにシベリア、カナダ、ヒマラヤ、そしてわが国の雪氷圏を含んだ環オホーツク圏での、地元の方々との積極的な交流を基礎とした研究、特に気象要素のみではなく、生物の変動も含めた広い意味での観測・監視活動が重要です。