

3. 北ユーラシアにおける雪氷圏変動と気候

大畑 哲夫*

1. はじめに

北ユーラシアは、最大大陸ユーラシアの北部に位置する広大な陸地である。この地域は寒冷ゆえの雪氷や、それらと共存する植生が陸面を覆い、陸面と大気との間で水・熱・物質のやり取りが行われている。この地域は北半球高緯度の陸地として、海洋あるいは全球変動との絡みで、北半球の気候形成に多大な影響を与えていると考えられる。事実、夏のモンスーン・冬の寒気団など、日本の天気の時節変化に多大な影響を及ぼしていることは良く知られている。現在の地球温暖化の影響を受け、また影響し変化しつつあるこの地域の行方は、気になるところである。

特定地域の特定要素が気候形成に与える影響を評価するのに、しばしば大気大循環モデル (GCM) シミュレーションが使われる。Bonan *et al.* (1992) が北方林 (過半がシベリアに存在) の気候学的影響のシミュレーションを行い、北方林がない場合、つまり積雪が露出した場合、春季から夏季にかけての中高緯度の気温低下が激しいことを示したように、北ユーラシアのような北方林地域は面積的に広大ゆえ、その影響力には大きなものがある。

北ユーラシアの北半球循環場への影響は、周辺地域の状況とカップリングを通じて現れてくる。一般的に、北ユーラシアを中心として東西方向、南方向、そして北方向の領域との関係が重要となる。

2. 雪氷、植生と陸水の変化

北ユーラシアには、積雪・凍土・氷河・河川氷・湖水など様々な形の雪氷が存在し、分布している。1970

年代からの気温上昇で、この地域の雪氷は徐々にではあるが、変化している。長期的に見ると、積雪期間は減少し、積雪量は増加し、また凍土表層もばらつきはあるが温度上昇の傾向にある。植生も、バイオマスとして増加の傾向にあるが、森林火災などによる減少分もあるので、いまひとつ良く分らないというのが現状である。衛星で測定できる、いわゆる植生指数 (NDVI: Normalized Vegetation Index) は増加しているとも言われているが、それが実際に何を表しているか検討が必要である。

それらに関係して、陸水状態にも変化が現れていると言われている。凍土の存在が関係して形成されている湖沼も変化している。減少しているという報告 (Smith *et al.* 2005) もあるし、いやその時々の水収支によって決まっているのだという報告もある。また、北極流入大川川の長期的流量増加の指摘は必ずしも説明できていない。

3. 最近の研究から、陸面過程についてどんなことが分かってきたか

陸域の大気への影響は、陸域状態によって制限を受けた表面での水・熱・物質交換を通じて行われる。GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) に始まり、その後海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の地球観測研究センター (IORGC) や地球環境フロンティア研究センター (FRCGC)、さらには CREST (戦略的創造研究推進事業基礎研究) などの研究プロジェクトを通じて、日本人研究者がこの地域の陸域過程を中心として、陸域変化と大気影響を研究している。この10年間、新たに観測システム・機器を設置し、それを維持しながら長期にわたるデータの蓄積を行い、また分散していた大気・水文・雪氷の信頼できるデータを収集・整備してきた (第1図)。ここでは、

* 海洋研究開発機構地球環境観測研究センター。

ohatat@jamstec.go.jp

© 2008 日本気象学会



第1図 IORGCのシベリア水循環観測網。

IORGCでの成果を中心に、得られている成果を以下に記す。

- (1) 長期（～10年）にわたる観測があると、水循環に関する季節変化（seasonal variation）や年々変動（inter-annual variation）が見えてくる。
- (2) 北極振動（AO；Thompson and Wallace 1998）など大規模な循環場と陸面での水・熱交換の間に一定の相関が見られる（Iijima *et al.* 2007）。
- (3) 森林が大気への水蒸気供給を安定化する。樹種によってルールはそう変わらず、同一の森林では年々変化が小さく押さえられている（Yamazaki *et al.* 2007）。
- (4) 凍土があるゆえに、地表層の水分量が季節・年々の時間スケールで変化が大きく、気候のメモリー効果を生じさせている（Inter-annual Process）（Suzuki *et al.* 2002など）。
- (5) 積雪のかなりの部分は、融解ではなく昇華によって失われる（Zhang *et al.* 2004など）。
- (6) まだ実態の分らない流出過程が存在する。
- (7) 降水再循環過程の存在が示された。陸面状態変化が大気に影響する可能性を示唆（Kurita *et al.* 2004）。
- (8) 凍土域南限（北モンゴル）の陸面系（森林と草地が混在する）は微妙なバランスで保たれており、温暖化によって森林分布や水循環が変化する可能性がある。

4. 現在、何かが起きている

IORGCなどのグループが実施している観測に基づき、最近の陸域の傾向に関して以下のことが分かってきた。

- (1) 1970年以降1990年代中ごろまでは、気温上昇が続いたが、その後は顕著な変化はない。北半球高緯度での気温上昇の中心は2000年ごろからは北極域の方へシフトしていった。

(2) レナ川流域での地温は、気温変化とは関係が薄く、ここ数年の多降水時期に対応し、観測史上最高温度になりつつある。

- (3) それに伴い、陸面が湿潤化している。レナ川流域ではアラス（タイガ森林帯の中の自然ないし人工的にできた開地）の湖沼が拡大し、洪水の発生が増えて規模も大きくなっている。そしてそれは、地表層の融解を促進している。温暖化がまず進み、それに続いて、湿潤化（多降水、水循環の強化）が起きているとも説明できる。こうした変化はレナ川流域の大部分で起きていると思われる。

5. おわりに

大気変化に伴い陸域が変化しているのは事実であろう。それに従い、水・エネルギーの流れおよび大陸の大気状態は変わるが、陸面が大気の挙動、特に循環場に与える影響の解明は、空間スケールのより大きな現象に依存しているので、陸域だけの情報だけでは予測が難しい。

また、凍土・植生など陸域の状態の変化は時定数が長いと考えられる。一旦気温が上昇しても、地中が暖まり凍土中の氷が融解するには一定の時間がかかる。また森林が変化するにはさらに時間がかかり、逆にそう簡単には回復しないであろう。

現在起きている変化は、たとえば、一般的認識である「温暖化とともに陸域表層は乾燥化する」というシナリオどおりに進んでいるとは、必ずしも言えない

状態であることは確かである。これが過渡的な遷移にすぎないことなのか、北極域を中心とした降水量増加の予測が関係しているのか、あるいは北極の現在の急激な海水変化との関係があるのかなどの点も検討が必要である。

今後探求が必要と考えられる研究課題・活動を以下にまとめる。

- (1) 高緯度陸域として、より広範囲の一部として把握すること。大気関係者に興味を持ってもらい、解析してもらうこと（衛星解析、再解析結果を用いた研究の強力推進）。
- (2) 陸域状態を含め、キーエリアで大気・陸面・地表層の水・熱・物質の監視を継続すること。
- (3) また、要素として重要であり、今後変化がありそうな要素など、特に地表下（地下水の量など）、植生の挙動に関しては空間分布を早急に把握すること。

気象学会が終わり、この原稿を整理している2007年12月にさらに新たな状況が起こっていることを研究員から指摘された。それは河川流量の増加に関する指摘であったが、やはりシベリア地域を含む北ユーラシアの水循環が変調をきたしているようである。北極域の強温暖化、今年話題となった北極の海水減少、水循環の変調、シベリアの雪氷と植生の変化、それらが複雑に絡み合って北極域というか北半球高緯度の気候システムの変動をもたらしているようである。

参 考 文 献

- Bonan, G. B., D. Pollard and S. L. Thompson, 1992 : Effects of boreal forest vegetation on global climate. *Nature*, **359**, 716-718.
- Iijima, Y., K. Masuda and T. Ohata, 2007 : Snow disappearance in eastern Siberia and its relationship to atmospheric influences. *Int. J. Climatol.*, **27**, 169-177.
- Kurita, N., N. Yoshida, G. Inoue and E. A. Chayanova, 2004 : Modern isotope climatology of Russia : A first assessment. *J. Geophys. Res.*, **109**, D03102, 10.1029/2003JD003404.
- Smith, L. C., Y. Sheng, G. M. MacDonald and L. D. Hinzman, 2005 : Disappearing Arctic Lakes. *Science*, **308**, 1429.
- Suzuki, K., J. Kubota, T. Ohata, N. Vasilenko, S. Zhuravin and V. Vuglinski, 2002 : Characteristics of spring runoff in the Mogot experimental watershed, in the southern mountainous taiga of eastern Siberia. *Proceedings of ISSW2002*, 1-5.
- 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.
- Yamazaki, T., T. Ohta, R. Suzuki and T. Ohata, 2007 : Flux variation in a Siberian Taiga forest near Yakutsk estimated by a one-dimensional model with routine data, 1986-2000. *Hydrol. Process.*, **21**, 2009-2015.
- Zhang, Y., K. Suzuki, T. Kadota and T. Ohata, 2004 : Sublimation from snow surface in southern mountain taiga of eastern Siberia. *J. Geophys. Res.*, **109**, D21103, doi : 10.1029/2003JD003779.