

ユーラシア大陸の雪氷と地球気候システム⁴⁾

筑波大学地球科学系 安成 哲三

1. はじめに

地球の気候システムにおける雪氷圏フィードバックの役割の重要さは、さまざまな時間スケールの気候変動において指摘されている。この中で、気候の年々変動に果たす役割として注目されているのが、北半球における積雪分布の変動である。NOAA 気象衛星による北半球の積雪面積変動のデータは、地球上で最も大きい大陸であるユーラシア大陸の積雪面積変動が、事実上、半球規模での積雪変動を支配していることを示している。ここでは、ユーラシア大陸での積雪の変動が、どのような過程を通じて、気候システムの変動に関わっているか、関わり得るかを、北半球域でのデータ解析と大気大循環モデル (GCM) による最近の研究を中心に紹介したい。

2. ユーラシアの積雪と熱帯の気候システム変動

ユーラシア大陸の積雪が注目をあびることになったきっかけは、冬の積雪面積と次の夏のインドモンスーン降水量のあいだに高い負の相関があることを指摘した、Hahn and Shukla (1976) の短い論文であろう。その後の多くの研究は、彼らの結果を基本的には支持している。最近の Morinaga (1992) の解析では、真冬よりもむしろ春 (4月) の中央アジアの積雪面積が、夏のインドモンスーンと最も高い相関のあることを示している (図1)。

一方で、夏のアジアモンスーンの変動は、ENSO (エル・ニーニョ/南方振動) に代表される熱帯の大気・海洋結合系の変動と密接に関係していることが、明らかにされつつある (安成, 1989; Yasunari, 1990), 例えば図2は、アジアモンスーンの強弱が、熱帯太平洋の海水温偏差の形成に強く影響していることを示唆している。とすると、積雪変動と大気・海洋結合系にも相関のあることが期待される。図3は、まさにそのことを示しており、図1に示した積雪面積変動が、翌冬の西部熱帯太平洋の混合層水温の変動と非常に高い負の相関にあることを示している。これらの結果は、ユーラシアの積雪が、アジアモンスーンを媒介にして、熱帯の大気・海洋系の

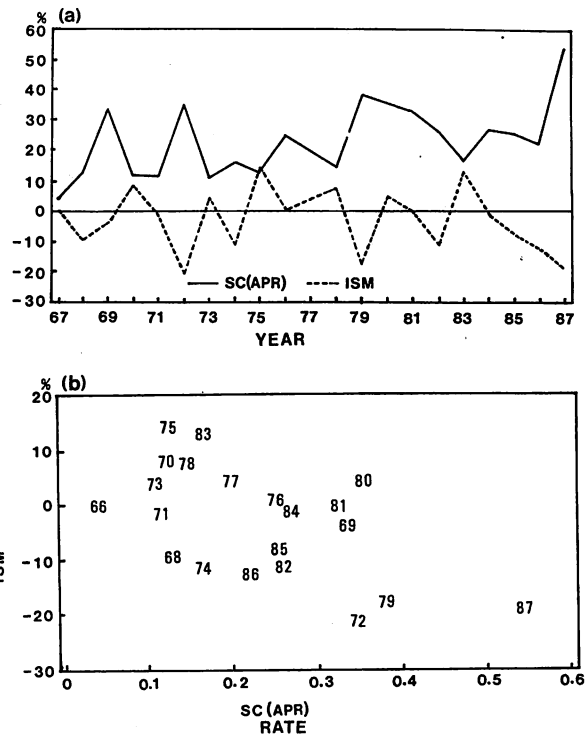


図1 4月の中央アジアの積雪面積変動とインドモンスーン降水量 (Morinaga, 1992)

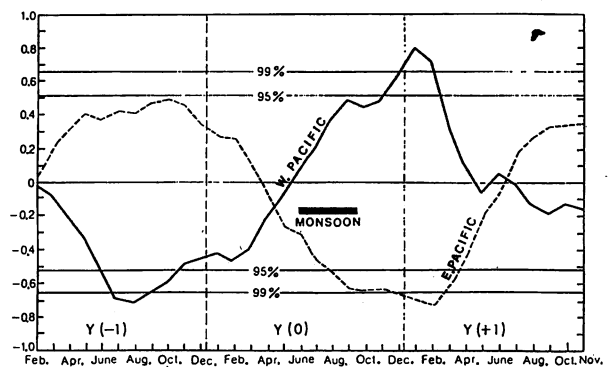


図2 インドモンスーン降水量と熱帯太平洋の海水温との時差相関 (Yasunari, 1990)

変動に密接に関与していることを強く示唆している。

3. 熱帯の気候システム変動の中・高緯度への影響

一方、熱帯の大気・海洋系の変動が、中・高緯度の気候システムの変動に大きく影響していることも、理論・観測

4) The role of the cryosphere over Eurasia on the global climate system

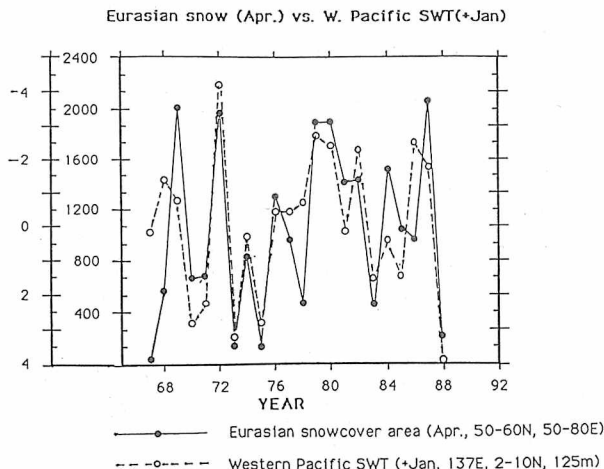


図3 4月の中央アジアの積雪面積変動と翌年1月の西部熱帯太平洋の混合層水温の時系列 (Yasunari and Seki, 1992)

の両面から、近年非常に活発な研究がなされている。その多くは、エル・ニーニョに関連した中・高緯度の大気循環の異常という視点でなされているが、著者らは、モンスーン（+大気・海洋系）の変動によって励起された（可能性のある）大気循環パターンの変動を調べた (Yasunari and Seki, 1992)。その結果、図4に示すように、例えば強い夏のモンスーンの後の冬（12月）には、中央アジアの気圧（500mb 高度）に大きな負偏差をもたらすようなテレコネクション（遠隔作用）が高い確率で存在することが明らかとなった。モンスーンの弱かった後には、ほぼ反対の偏差が生じやすくなっている。ここで注目したいのは、図4に示された循環パターンは、中央アジアに正の積雪域偏差をもたらす循環パターンにほぼ一致していることである (Morinaga and Yasunari,

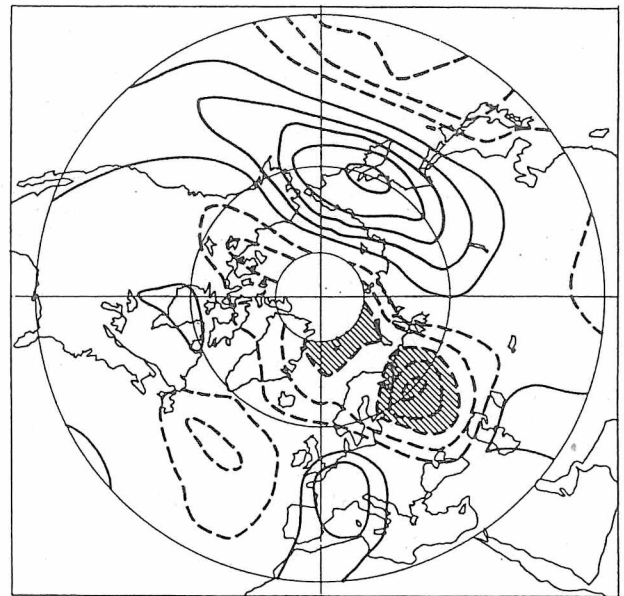


図4 インドモンスーンの降水量の多かった年の12月の500mb 高度偏差の合成図 (Yasunari and Seki, 1992)

1987)。即ち、積雪が少なく、引き続く夏のモンスーンの強かった後の冬には積雪は多くなり、次の夏のモンスーンは弱くなる、という2年振動を引き起こすフィードバックが、熱帯、中・高緯度を含む北半球の気候システムには働いている可能性がここに示される。このことを模式的に示したのが、図5である。しかし、現実の気候システムの年々変動は、必ずしも決定論的な2年振動が卓越しているわけではない、これは、特に寒候期中・高緯度循環に顕著なカオスの振舞いによる可能性があるが、真冬と春のあいだの積雪偏差に相関が弱いこと (Morinaga, 1992)、この寒候期の大気循環の特性の反

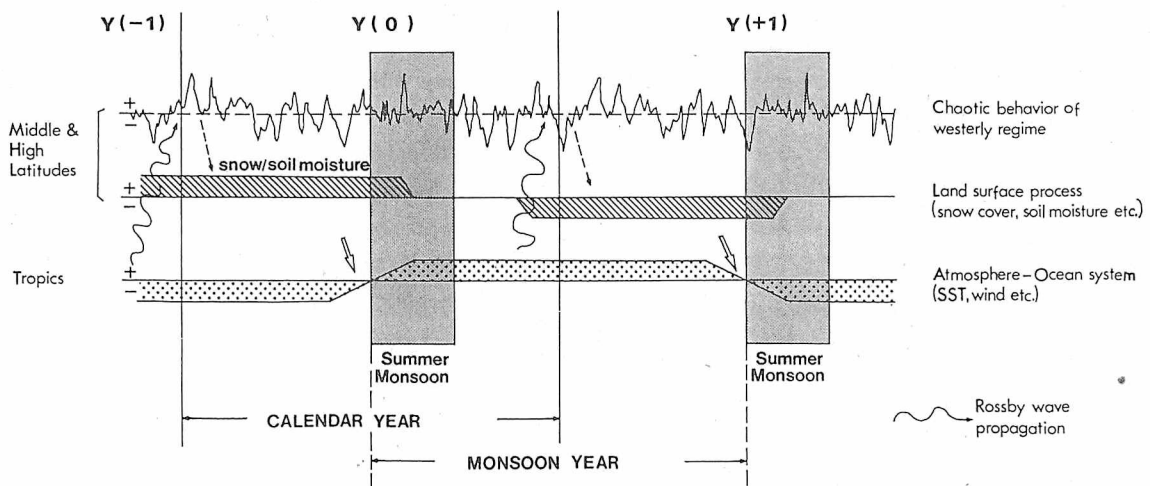


図5 アジアモンスーン、熱帯の大気・海洋結合系、中緯度の偏西風循環系の相互作用による気候システムの年々振動の模式図 (Yasunari and Seki, 1992)

映であるかもしれない。いずれにせよ、ユーラシアの積雪は、気候システムの変動において、熱帯のモンスーン/大気・海洋系と中・高緯度の偏西風レジームをリンクさせる重要な役割を果たしていると思われる。

4. 積雪・大気フィードバックの物理過程

ところで、図1に示されたような積雪から大気へのタイムラグを持った相関は、どのような物理過程に因るのであろうか。積雪の大気に与える影響としてはアルビード効果(図6(a))がまず挙げられるが、この効果では2-3カ月以上のタイムラグを説明するのは難しい、そこで注目されているのが、積雪の融雪水文学的效果(図6(b))である。これはGCMを用いた実験により指摘されている効果(Yeh et. al, 1983; Yasunari et al., 1991な

ど)であり、融雪が土壌水分に影響を与え、土壌水分の偏差が、暖候期の熱収支に影響し、ひいては大気循環にも影響するというものである。この効果は、まだ実測値による検証はなされていないが、このためには、衛星からのマイクロ波センサーによる広域の積雪水量(Morinaga and Igarashi, 1991)や土壌水分の時空間変動の定量的測定が今後の不可欠な課題となろう。

文 献

- Hahn, D. G. and Shukla, J., 1976: An apparent relationship between Eurasian snow cover and Indian monsoon rainfall. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 2461-2462.
- Morinaga, Y. and Yasunari, T., 1987: Interactions between the snow cover and the atmospheric circulation in the northern hemisphere. *IAHS Pub. No. 166*, 73-78.
- Morinaga, Y. and Igarashi H., 1991: Relationship between the snow cover extent and snow mass derived from Nimbus-7 SMMR data over the Eurasian continent. *Climatological Notes*, No. 40.
- Morinaga, Y., 1992: Interactions between Eurasian snow cover and the atmospheric circulations in the Northern Hemisphere. Ph. D Thesis, Institute of Geoscience, University of Tsukuba, 82pp.
- Yeh, T. C., Wetherald, R. T. and Manabe, S., 1983: A model study of the short-term climatic and hydrologic effects of sudden snow cover removal. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1013-1024.
- 安成哲三, 1989;ユーラシア大陸の積雪と ENSO. —雪氷・大気・海洋結合系の提唱—, *地学雑誌*, **98**, 83-92.
- Yasunari, T., 1990: Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere/ocean system in the tropical Pacific. *Meteor. & Atmos. Phys.*, **44**, 29-41.
- Yasunari, T., Kitoh, A. and Tokioka, T., 1991: Local and remote responses to excessive snow mass over Eurasia appearing in the Northern spring and summer climate. -A study with the MRI GCM-. *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 473-487.
- Yasunari, T. and Seki, Y., 1992: Role of the Asian monsoon on the interannual variability of the global climate system. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, (in press).

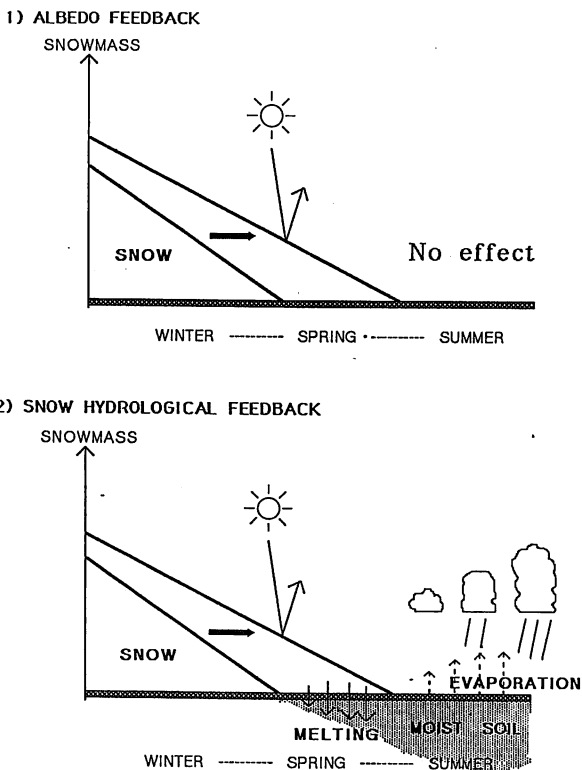


図6 積雪が大気に与える二つの効果の模式図 (Yasunari et al., 1991)