

# オホーツク海高気圧における大気-陸面結合の役割

松村伸治, 山崎孝治, 佐藤友徳(北大院地球環境)

## 1. はじめに

2008年8月下旬に「平成20年8月末豪雨」が発生し、異常気象分析検討会により複合的なメカニズムが示された(気象庁, 2008). 高緯度に着目すると、オホーツク海付近の高気圧の持続がその一因として挙げられている. この高気圧は8月中旬以降、頻繁な出現および停滞を繰り返しており、北東風によって北日本に低温をもたらしている(図1a). このような特徴はオホーツク海高気圧の典型的事例であり、オホーツク海高気圧が発達したと考えられる.

さらに検討会では春季の東シベリアの高温との関連について言及しており、実際に春から夏にかけて高温傾向が著しい(図1b). 東シベリアでは、春の積雪変動によって引き起こされた大気-陸面水循環が夏季の気候を支配している(Matsumura et al., 2010; Matsumura and Yamazaki, 2011). 図2は東シベリアの少雪年における冬から秋にかけての大気-陸面間の季節変化を模式的に示している. 雪が少ないと土壌へ浸透する融雪水も減少し、夏季の土壌水分もまた減少するいわゆる融雪水効果(Yasunari et al., 1991)によって降水と蒸発のカップリングであるリサイクリング(Numaguti, 1999)が抑制される. このため、地表面から大気への熱フラックスの増加、雲の減少による日射の増加が陸面の高温傾向を持続させている. さらに、上昇流の強化による凝結加熱の放出などによって対流圏が加熱され、上層に高気圧偏差が強まる.

本研究では、この東シベリア起源の高気圧が8月のオホーツク海高気圧の形成に本質的な役割を果たしていることを示す. 初夏のオホーツク海高気圧の形成に関しては、これまで数多くの研究により理解されつつあるが(例えば Nakamura and Fukamachi, 2004), 晩夏である8月についてはほとんど知られていない. この

ため、8月型の典型的事例である2008年をモデルケースとして数値実験を行うとともに、再解析データを用いて経年変動についても調べ、その特徴を明らかにする.

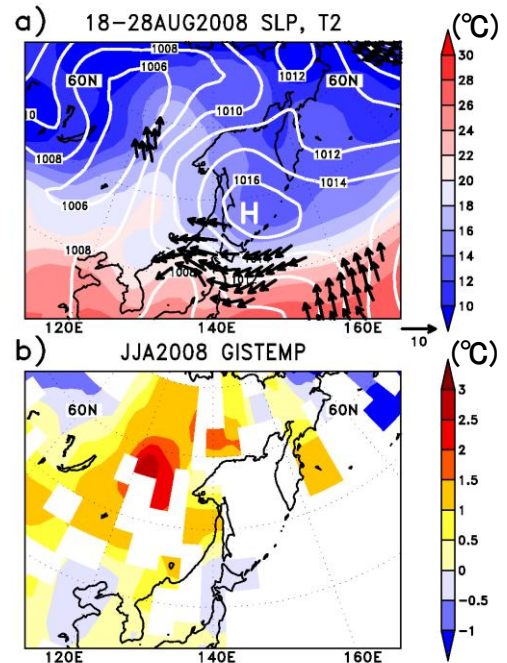


図1:(a) 2008年8/18-28の海面気圧(hPa), 2m気温(°C), 10m風速(m/s)(NCEP2), (b) 夏期(JJA)の地上気温偏差(GISTEMP).

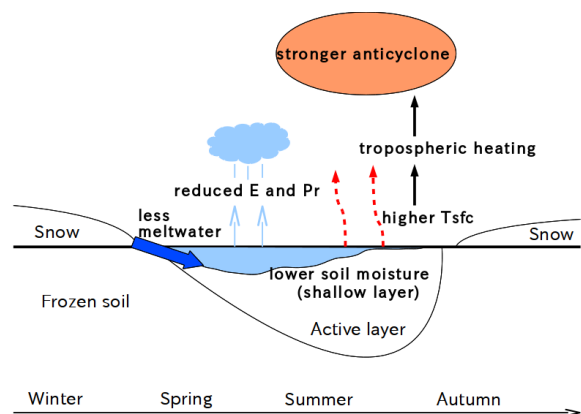


図2: 少雪年の東シベリアにおける大気-陸面水循環気候システムの模式図. 冬から秋にかけての季節変化を表している. Eは蒸発, Prは降水, Tsfcは地上気温を示す. Matsumura and Yamazaki (2011)より.

## 2. モデルと実験方法

モデルはNCARのWRFを使用した。計算領域は北東ユーラシアとオホーツク海を中心としており、大気の水水平解像度30km、鉛直28層である。陸面モデルは4層のNoah(Chen and Dudhia, 2001)を用いた。初期値と境界値にはNCEP2の再解析データ、海面水温にはOISSTを使用して、2008年5月から9月末までを計算した(CTLラン)。さらに、Matsumura et al. (2010)と同様に、CTLランの初期値である5月1日の積雪を3倍にして同様の計算を行った(SNOWラン)。これにより、融雪期の積雪偏差の影響を抽出することができる。ここで、CTLランは少雪(早い融雪)、SNOWランは多雪(遅い融雪)状態を表している。実際、2008年の東シベリアでは、融雪が早いことが観測されている(図略)。

## 3. 実験結果

### 3.1 東シベリアの大気陸面結合

図3は東シベリア(60°N, 120°-130°E)における大気陸面の各変数の5日移動平均を施した時間変化を示している。地上気温は観測との比較のために、観測点Olekminsk(60°N, 120°E)を用いて代表している。全般的な傾向として、両実験ともに観測された変動によく対応している。融雪期の5月末まではアルベド効果や融雪熱などにより、地上気温はSNOWランで低温、CTLランで高温となっており、表層の土壤水分はSNOWランで湿潤となっている。ところが、6月にはSNOWランで高温、CTLランで低温となっている。これは、CTLランで対流性降水が強まったことによる雲の影響と関係していると考えられる。その後、SNOWランでは7月以降、降水量の増加とともに土壤水分も増加し低温傾向となっている。一方、CTLランでは土壤水分も降水量も少なく、このため、高温が持続するフィードバックが働いている。このCTLランで高温、SNOWランで低温傾向をもたらしているのは対流性降水よりも大規模降水の寄与が大きい。

ところが、9月以降の気温は観測と大きな差

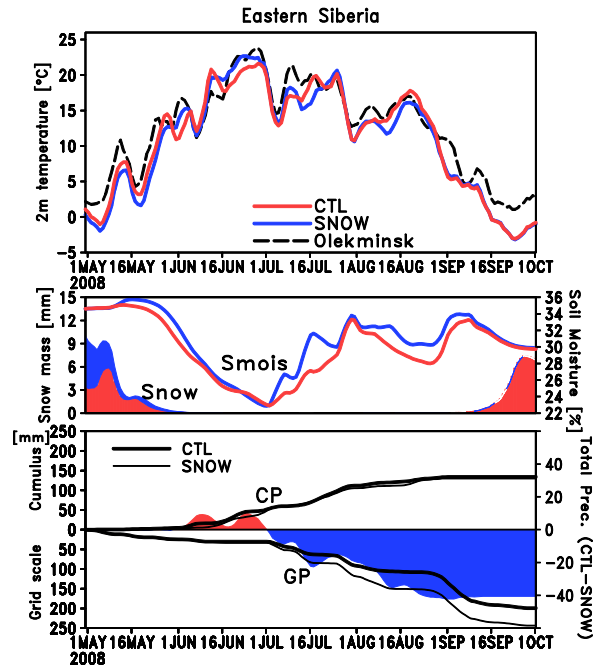


図3: 東シベリア(60°N, 120°-130°E)における大気陸面の各変数の5日移動平均した時間変化。上段: 2m 気温(°C)、中段: 積雪(mm)と30cm 土壤水分(%). それぞれ赤色がCTLラン, 青色がSNOWラン, 破線がOlekminsk(60°N, 120°E)における地上観測を示している。下段: 積算対流性降水量(mm; CP)と大規模降水量(mm; GP). 太線がCTLラン, 細線がSNOWラン. カラーは全降水量の差(CTL-SNOWラン)。

が生じており、むしろCTLとSNOWランがほぼ一致している。土壤水分や積雪、降水量においてもその差がほとんど見られない。これは、初期の土壤水分偏差(ここでは積雪偏差)による、いわゆる気候メモリが数ヶ月程度しか持続しないことと整合的である。しかし、永久凍土帯である乾燥した東シベリアでは、両実験による夏季の降水量偏差がその偏差を保ったまま地中に浸透することにより、9月の深層の土壤水分に気候メモリが形成される(図略)。

### 3.2 オホーツク海高気圧の発達

図3の結果より、東シベリアで高温が持続した8/9-28の20日平均のCTLランを図4に示す。図1aと比べて全般的に気圧が高い傾向にあるが、オホーツク海高気圧および北東風がよく再現されている(図4a)。SNOWランとの差

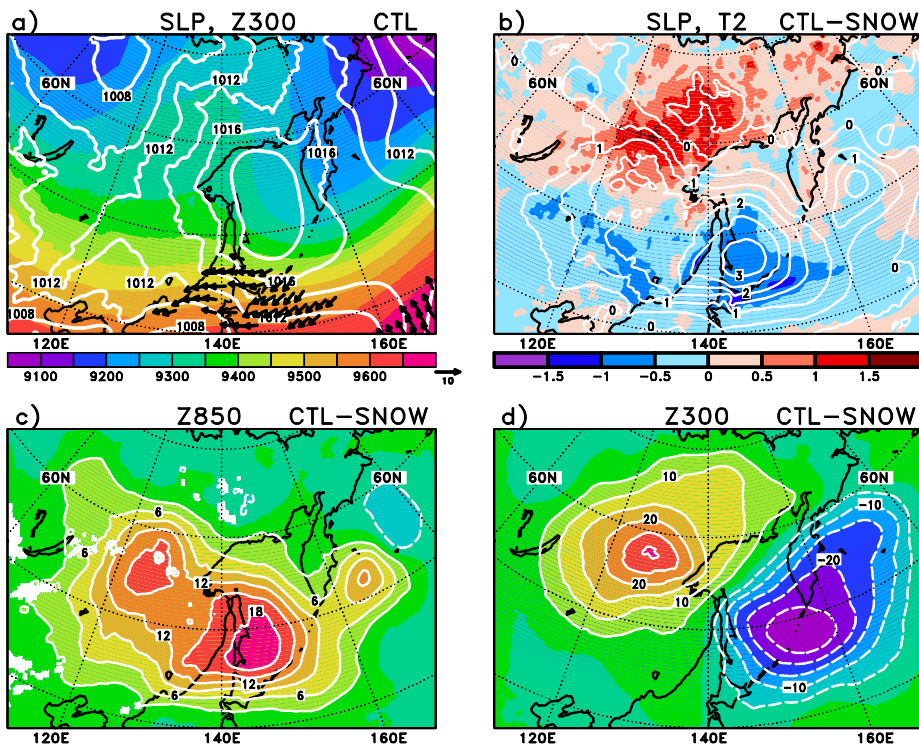


図4：(a) CTL ランの 8/9-28 の海面気圧 (hPa), 10m 風速 (m/s), 300hPa 高度 (m). (b) CTL と SNOW ランの差 (CTL-SNOW)の海面気圧 (hPa; 白線), 2m 気温 (°C; カラー). (c) 850hPa 高度差 (m), (d) 300hPa 高度差 (m).

(CTL-SNOW ラン) では, CTL ランで強まっており, SNOW ランではオホーツク海高気圧は弱まることを示している. さらに, 東シベリアの高温, オホーツク海および北海道の低温のコントラストが顕著となっている(図 4b). 850hPa 高度においても, 東シベリアから南東方向に高気圧偏差が分布している(図 4c). ところが対流圏上層では, 東シベリアで高気圧偏差, オホーツク海で低気圧偏差が形成された傾圧構造となっている(図 4d). このため, 東シベリアの南東方向のオホーツク海に地上高気圧が強まることになる. 2008 年は融雪が早いために夏期の高温をもたらし, 東シベリア上で高気圧偏差が強まり, 8 月のオホーツク海高気圧が傾圧的に形成されたと考えられる.

#### 4. 8 月のオホーツク海高気圧の経年変動

8 月のオホーツク海高気圧の構造を確認するために, NCEP2 の再解析データを用いてその経年変動を調べた(図略). Tachibana et al. (2004) と同様に, オホーツク海高気圧の指標を定義して, 1979~2008 年の 30 年間について線形回帰を施した. その結果, 東シベリアの対

流圏上層に強い高気圧偏差のシグナルが得られた. 鉛直構造は東シベリア上で地表から対流圏上層にかけて高温のシグナルを示し, 高度も西側に傾いた著しい傾圧構造を示している. このことから 8 月のオホーツク海高気圧は東シベリア上で傾圧的に発達すると考えられ, モデル実験の結果とよく対応しており, 東シベリアの陸面変動による寄与が示唆される.

一般に, オホーツク海高気圧は 4 月末から 9 月初め頃までの期間に発生し, 5 月では順圧構造, 7 月では下層で傾圧, 上層で順圧構造であることが報告されている(Nakamura and Fukamachi, 2004). そこで, 8 月のオホーツク海高気圧の経年変動と同様に夏期の 6, 7 月について調べてみたところ, 6 月では順圧構造, 7 月では下層で傾圧, 上層で順圧構造であることを確認した(図略). つまり, オホーツク海高気圧は初夏と晩夏で構造が異なり, 季節進行に伴って順圧から傾圧構造へシフトすることが示唆される.

#### 5. 結論

2008 年 8 月の異常に発達したオホーツク海

高気圧について、大気陸面結合の観点から領域モデル実験によってその形成メカニズムを明らかにした。すなわち、春季の少ない積雪が東シベリアの夏季の土壌水分および降水の減少をもたらし、地表面の高温傾向を持続させている。この高温が対流圏上層の高気圧を強め、その傾圧的な構造により南東方向にオホーツク海高気圧を形成する。また、8月の経年変動においても傾圧的な構造が確認され、東シベリアの大気陸面結合の寄与が示唆される。オホーツク海高気圧は季節進行に伴って、順圧から傾圧構造へシフトするために、初夏と晩夏で構造が異なることが分かった。

北ユーラシアでは過去数十年間で融雪が早まっており、このために2008年のような顕著なオホーツク海高気圧が発達した可能性が考えられる。従って、夏季における地域的な大気陸面結合が異常気象を増幅し得る(他に Fischer et al. (2007)による欧州熱波など)ことへの理解をさらに深める必要がある。2008年のケースでは、北日本の低温だけでなく、日本列島上で集中豪雨が多発したことで、8月のオホーツク海高気圧の発達に関連性があるかどうかを検討すべきであると考えている。これまで8月型のオホーツク海高気圧にはほとんど着目されていなかったが、熱帯の動向次第では将来的に頻繁に発達する可能性もある。今後、初夏も含めた将来的なオホーツク海高気圧の変化を調べていきたい。

#### 謝辞

本研究は環境省の環境研究総合推進費(S-8-1[2])の支援により実施された。

#### 参考文献

Chen, F., and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced land-surface/ hydrology model with the Penn State/ NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation, *Mon. Weather Rev.*, 129, 569-585.

Fischer, E. M., S. I. Seneviratne, P. L. Vidale, D. Lüthi, and C. Schär, 2007: Soil moisture-atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave, *J. Climate*, 20, 5081-5099.

気象庁, 2008: 「平成20年8月末豪雨」等をもたらした大気の流れについて, 異常気象分析検討会

Matsumura, S., K. Yamazaki, and T. Tokioka, 2010: Summertime land-atmosphere interactions in response to anomalous springtime snow cover in northern Eurasia, *J. Geophys. Res.*, 115, D20107, doi:10.1029/2009JD012342.

Matsumura, S., and K. Yamazaki, 2011: Eurasian subarctic summer climate in response to anomalous snow cover, *J. Climate*, doi:10.1175/2011JCLI4116.1, in press.

Nakamura, H., and T. Fukamachi, 2004: Evolution and dynamics of summertime blocking over the Far East and the associated surface Okhotsk high, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 130, 1213-1233.

Numaguti, A, 1999: Origin and recycling processes of precipitating water over the Eurasian continent: Experiments using an atmospheric general circulation model, *J. Geophys. Res.*, 104, 1957-1972.

Tachibana, Y., T. Iwamoto, M. Ogi, and Y. Watanabe, 2004: Abnormal meridional temperature gradient and its relation to the Okhotsk High, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 82, 1399-1415.

Yasunari, T., A. Kitoh, and T. Tokioka, 1991: Local and remote responses to excessive snow mass over Eurasia appearing in the Northern Spring and Summer climate, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 69, 473-487.