

冬季大気循環異常にかかわる夏季北極海の海水面積異常

本田明治 (海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター)

猪上 淳 (海洋研究開発機構地球環境観測研究センター)

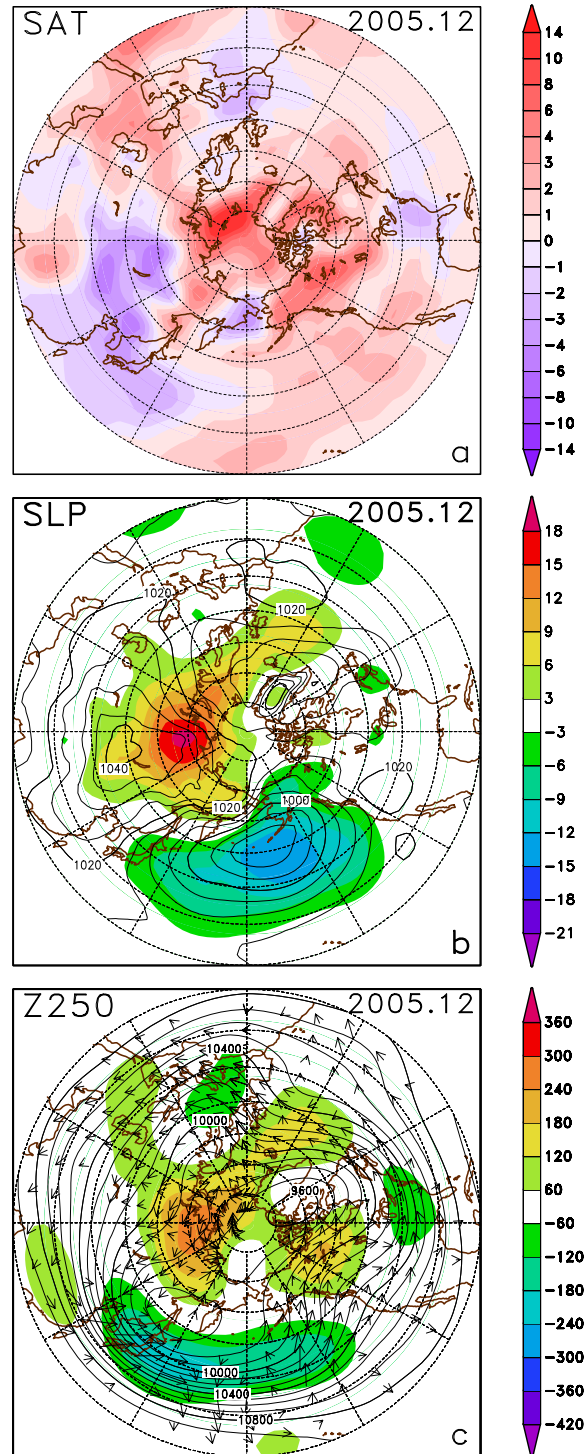
山根省三 (千葉科学大 / 海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター)

1. はじめに

2005/06年冬の日本付近は12月を中心に非常に厳しい寒さ(図1a)に加え、広い範囲で大雪に見舞われた。2005年12月の月平均の海面気圧(SLP)分布図をみるとシベリア高気圧(SH)とアリューシャン低気圧(AL)の異常な発達を確認できる(図1b)。両者の発達とその持続に直接的にかかわる要因について、北極振動、熱帯域のベンガル湾からフィリピン付近の強い積雲対流活動、極東のブロッキング、アリューシャン・アイスランド低気圧シーズの形成、北大西洋域を波源とするユーラシア大陸上の波束伝播、日本付近の海面水温(SST)異常、などさまざまな角度から調べられている。ただこれらは主に2005年12月を中心とした大気循環場の特徴そのものを解析したものがほとんどで、このような循環異常をもたらした要因を解明するものとは言えない。本研究では冬季の日本付近に寒さをもたらす何らかの先行現象を探していきたい。

2005/06年冬は他にもさまざまな顕著現象が観測された冬であったが、海氷の広がりもその例外ではなかった。日本列島が低温と大雪に見舞われる中、日本の北に位置するオホーツク海一帯は特に主な海氷生成域である北西部を中心に秋から高温傾向が持続した(図1a)。このような初冬の北西部の高温は海氷の初期の拡大を妨げ(山崎2000)この冬の海氷面積の極端に少ない状態の継続にも寄与したと予想される。結局

図1. (a) 2005年12月の地上気温偏差()の気候値からの偏差。(b)海面気圧(SLP: hPa)観測値(等値線)と気候値からの偏差(色)。(c) 250 hPa高度(Z250: m)の観測値(等値線)と気候値からの偏差(色)。矢印はTakaya and Nakamura (2001) による定常ロスビー波の活動度フラックス。



寒候季の積算海水面積は過去 36 冬の観測で最小を記録した(図 2a)。オホーツク海の海水面積と日本の冬季気温の関係は統計的に有意ではないが、海氷がかなり少ないシーズンの初冬の 11 月~12 月を中心に日本付近はしばしば低温に見舞われ、最近では 1995/96 年、1988/89 年、1983/84 年冬などがそうである。特に 1995/96 年冬は 12 月を中心に低温で、このとき SH の勢力はやや強い程度であったが、AL の勢力は 2005 年 12 月並であった。また 1995/96 年冬の積算海水面積は 2005/06 年冬に破られるまで最小の記録を持っていた。

この両冬にかかわる共通の特徴は季節を遡ってもいくつか確認できる。両冬とも低温フェーズへの移行は 11 月にカムチャッカ半島付近で発生したブロッキングがきっかけとなっており、それ以前秋から初冬にかけてのユーラシア大陸は全般に高温傾向であった。例年 9 月に最小となる北極海の海氷は 1995 年にそれまでの最小面積を記録、また 2005 年も最小の記録を更新した(図 2b)。暖候季の北極海の海氷は近年顕著な減少傾向にあるが、両年はいずれもシベリア沿岸の海氷が極端に少なかったのが特徴的である。SLP 分布異常に伴い北極海から大西洋への海氷流出が大きかった事例とみられる(猪上・菊地 2006)。本研究では、1995/96 年と 2005/06 年の夏から冬の経過の類似性などを考慮して、日本付近の冬に寒さをもたらす要因のひとつとして北極海の海水面積の異常に注目する。

2. データ解析

海氷データは英国ハドレーセンターの HadISST を用いた。日本の気温は気象庁編集の全国月平均気温、大気データは NCEP-NCAR 再解析を用いた。解析期間は 1978/79 年~2005/06 年の 28 冬とした。まず冬季日本の気温(12 月~2 月平均)に基づいて典型的な寒冬時の大気場の構造を線形回帰によって調べると、地表では SH と AL の発達が見られ、対流圏上空では北太平洋北米(PNA)パターン及びユーラシア(EU)

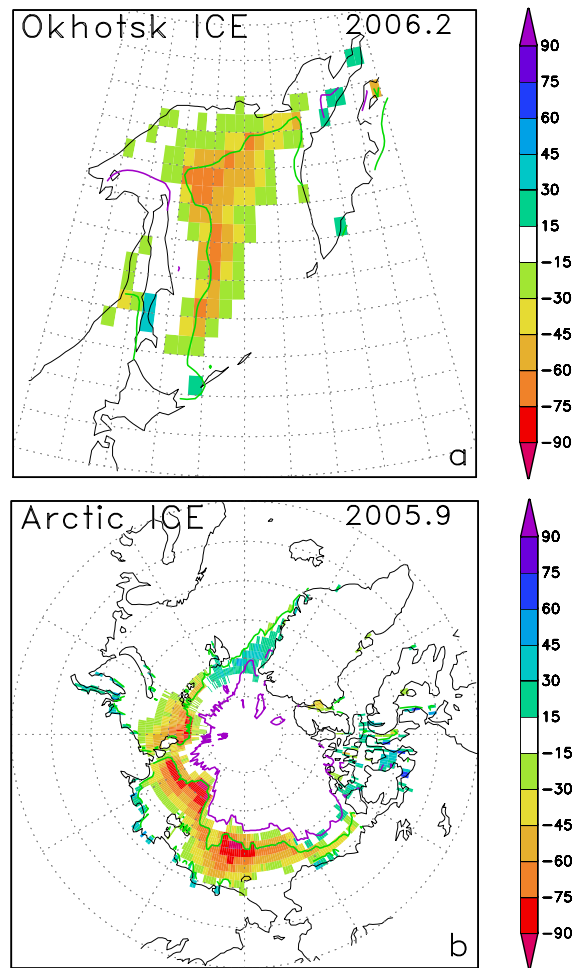
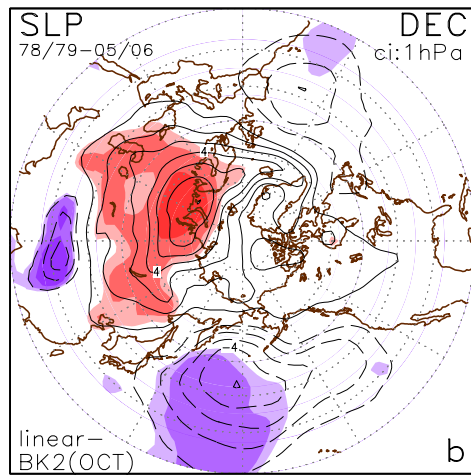
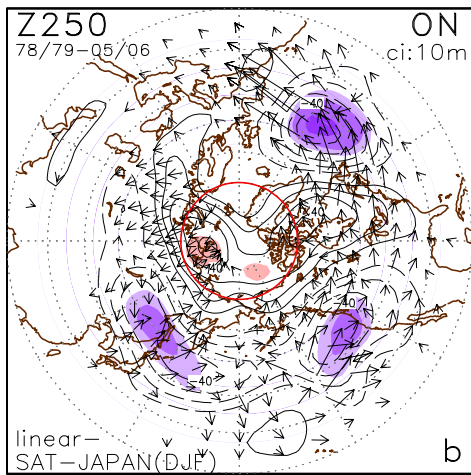
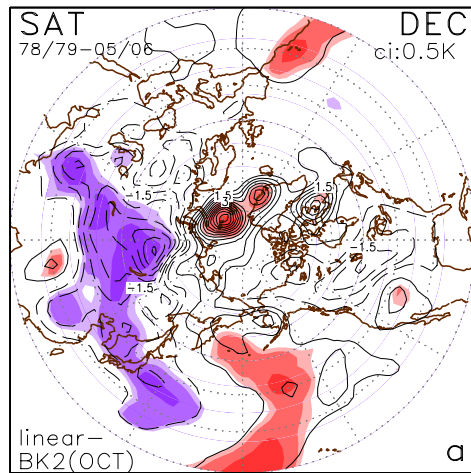
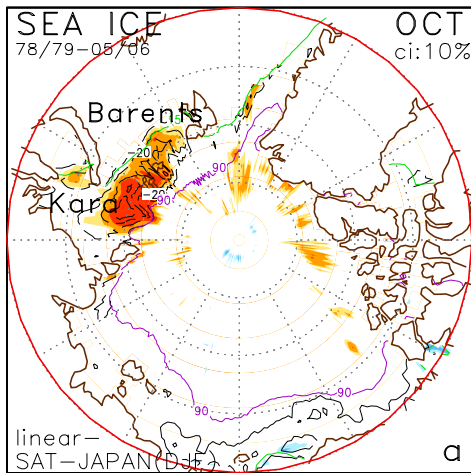


図2. (a) 2006年2月のオホーツク海の海水分布。紫と緑の等値線はそれぞれ90%と15%の海水密接度。色は平年値からの偏差。(b) (a)に同じ、ただし2005年9月の北極海の海水分布。

パターン(Wallace and Gutzler 1981)が明瞭で、極東域では典型的な南北ダイポール構造(日本付近の北緯40度帯で低気圧性偏差、北緯60-70度帯で高気圧性偏差)が特徴的である(図略)。2005年12月(図1c)の場合はこれらの特徴をよく反映しており、典型的な寒冬パターンが特に強まったケースと解釈できる。冬季日本の気温(12月~2月平均)と北極海の海氷との関係を調べると、大西洋に面しているバレンツ海~カラ海(以下BK海)の夏季の低密接度と、続く冬の日本の低温は有意に関係していることが分かった。図3aに示したのは10月の海水密接度の冬季日本気温への線形回帰だが、



→

図3. 冬季(12-2月)日本の気温との線形回帰。解析期間は1978/79年~2005/06年の28冬。冬季日本の気温が1.56(2標準偏差)低下した時に予想される偏差 (a) 10月の北極海の海水密接度(%)。色は偏差が90%、95%、99%で有意な領域。紫と緑の等値線はそれぞれ平年の90%と15%の海水密接度。外周の赤線は70°N。(b) (a)に同じ。ただし10-11月のZ250(m)。矢印はTakaya and Nakamura(2001)による定常ロスビー波の活動度フラックス。外周は20°N、赤線は70°N。

7月~11月の海水密接度も同じ傾向である。図3bに示した対応する秋季大気場の特徴は、低密接度に伴う地上気温の高温偏差と、海水偏差の東側を中心にみられる高気圧性偏差で地表から対流圏上層まで等価順圧的な構造である。この空間構造は海水偏差に伴う西風背景場の大気場の定常応答と整合

図4. バレンツ~カラ海(BK海)の10月の海水面積との線形回帰。BK海の海水面積が1標準偏差減少したときに予想される偏差。12月の(a)地上気温()と(b)SLP(hPa)で色は偏差が90%、95%、99%で有意な領域。

的である(Honda et al. 1999)。この高気圧性偏差から弱いながらも停滞性ロスビー波の活動度(Takaya and Nakamura 2001)を下流方向に伝播し、極東付近に中心をもつ低気圧性偏差を伴っている(図3b)。このような南北構造は北緯50-60度付近でのジェットやストームトラックの弱まりに対応し、ブロッキングが起きやすい環境場を作っていると言い換えることもできる。更に季節進行に伴い、両偏差は東方に拡大し日本付近が低温になる極東域の南北ダイポール構造をよく反映するようになる(図略)。

続いて10月のBK海北部(75-85°N,

30-90°E) の海水面積時系列と大気場の関係をみる。10 月及び 11 月の大気場は図 3b のような大気場を再現していない。この時期の海水偏差を形成する大気場のシグナルなども混入するからであろう。しかし 12 月の大気場の 10 月の BK 海水時系列への線形回帰図は、BK 海の海水減少に伴い日本を含む極東～中央アジアの有意な低温を再現している(図 4a)。対応する SLP 場は SH と AL のいずれも有意に発達することを示している(図 4b)。これらの空間構造の特徴は 2005 年 12 月の状況(図 1)をかなりよく反映している。ただし対流圏上層では日本付近上空の有意な低気圧性偏差は確認できるが、高緯度側の高気圧性偏差は有意ではなく、ユーラシア上空の波動伝播の状況は EU パターンとは異なっており、太平洋上の PNA も見られない(図略)。しかしながらこの結果は、秋口の北極海特にシベリアセクターの海水面積異常冬季日本の気温を決めるさまざまな要因のひとつであることを示唆するものである。

3. 数値実験

続いて BK 海の海水が大気場に及ぼす影響について大気大循環モデルを用いた感度実験によって確かめた。用いたモデルは AGCM for Earth Simulator (AFES, Ohfuchi et al. 2004) の Ver. 2.5 である。水平方向の分解能は三角波数切断 42 で約 2.8 度、鉛直方向は最上層を 8 hPa として 20 層取った (T42L20)。10 月～12 月の BK 海のみ海水の多少を設定(30-90°E で、多氷は気候値の海水密接度が 10%以上の海域を 90%に、少氷は気候値の密接度が 90%未満の海域を海水無しとした。領域は図 3a 参照)し、他の海域の海水分布と SST は全て気候値に設定した。ちなみに 12 月の対象海域はほぼ密接度 90%以上の海水に覆われているため、実質的に 10 月と 11 月の海水域の違いを反映するものとみなしてよい。同じ大気の初期条件より「多氷」、「少氷」それぞれの境界条件で翌 3 月まで走らせる感度実験を、コントロールランの 6 年目～10 年目の

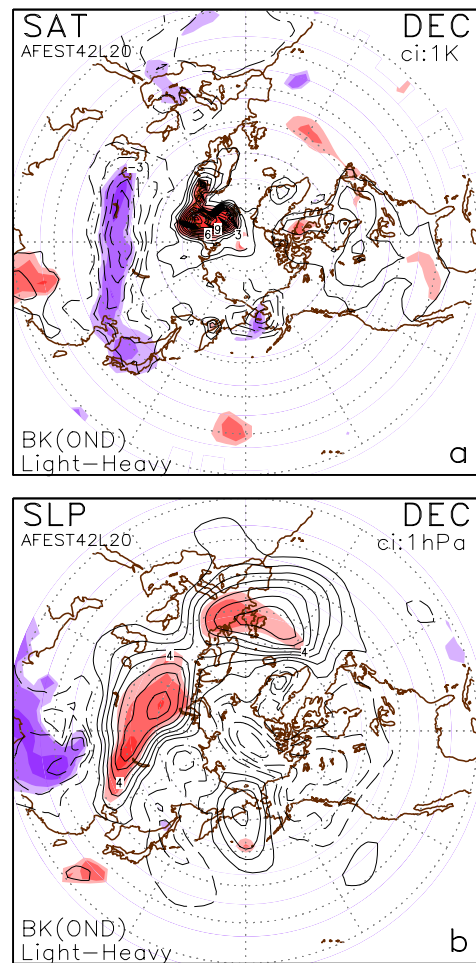


図 5. 数値実験による 10-12 月の BK 海の海水の多少に伴う、12 月の大気場応答の差(少氷ラン - 多氷ラン)。12 月の (a) 地上気温 () と (b) SLP (hPa) で色は差が 90%、95%、99%で有意な領域。数値実験の詳細は本文参照のこと。

10 月 1 日を初期値として 5 メンバーずつ実施した。解析は「少氷ラン」と「多氷ラン」の 5 メンバーのアンサンブル平均の差の場に主に着目した。

10 月～11 月の「少氷 - 多氷」の場は観測データの解析結果と同様図 3b のような大気場を有意には再現していない。しかしながら 12 月の「少氷 - 多氷」の場を見ると(図 5a)、有意な領域は狭まったものの、日本を含む極東から中央アジアにかけて低温偏差が広がっており、観測データの解析結果(図 4a)や 2005 年 12 月の状況(図 1)とも整合的である。ただし日本付近の温度偏差は

1~2 度程度で、それほど大きいものではない。対応する SLP 場では SH の発達を確認できるが太平洋上の AL に有意な偏差は見られない(図 5b)。対流圏上層では日本付近の低気圧性偏差を除き典型的な寒冬時の構造とは異なっている(図略)。

ここで注意すべきことは、この実験は 2005 年 12 月の状況は念頭に置いているが、そのものを再現することが第一の目的ではないことである。この実験結果から示唆されることは、秋の BK 海の海水の多少は日本の冬の気温場に何らかの有意な影響を及ぼし得るということである。実際今回の実験における対流圏上層の振る舞いは、典型的な寒冬時の構造や、2005 年 12 月のような北半球規模の循環異常とは異なっている部分も多く、他の要因に拠るものと考えるのが妥当であろう。ただし感度実験の結果が 2005 年 12 月の状況をユーラシアセクターで部分的ながら再現していることは、秋口の BK 海の海水変動が 2005 年 12 月の大気場の構造を形成した要因の候補のひとつであることを示唆するものである。

BK 海水偏差に対する 10 月~11 月の大気場の振る舞いのメカニズムも解明していく必要がある。空間スケールの BK 海が大規模な循環場変動を直接励起するとは考えにくく、むしろローカルな影響に留まると考えるのが自然であろう。しかしそれは循環場異常をもたらす何らかのきっかけを与えるかもしれない。2005/06 年や 1995/96 年の寒冬フェーズへの移行の前にいずれも極東域でブロッキングが発生していたが、BK 海がそのきっかけを作っている可能性は否定できない。アンサンブル平均ではなく個々のメンバーを解析していく必要もあるだろう。

4. まとめと今後

2005 年 12 月のような異常低温をもたらした要因のひとつとして夏~秋の北極海の海水面積異常に着目した。観測データの解析から、秋の BK 海の海水面積が少ない(多い)時、続く冬の日本の気温が有意に低く

(高く)なっていることが示された。大気大循環モデルを用いた感度実験でもこの関係が確認され、秋口の BK 海の海水面積異常が冬季日本の気温を決めるさまざまな要因のひとつであることを示唆するものである。しかし秋口の大気場の応答などメカニズムには未解明な部分があり計算結果を更に詳しく見ていく必要がある。

今回は日本の冬季気温との関係から BK 海のみ着目したが、2005/06 年や 1995/96 年の特徴である北極海シベリア沿岸全体の少氷、続く冬のオホーツク海の極端な少氷と北半球循環場異常に関係も今後調べていく予定である。また夏季北極海の海水面積はその前の冬の北大西洋振動(NAO)の影響を強く受けているとも考えられている。1995 年及び 2005 年冬の NAO はいずれも高指数で、続く夏のシベリアセクターの低密接度の要因のひとつとして注目していきたい。ただ最近 10 年ほどの北極海の海水面積が著しい減少傾向にあることは注意すべき点である。また近年の温暖化傾向や十年規模変動も考慮して解析を進めていく必要がある。

参考文献

- Honda, M., K. Yamazaki, H. Nakamura, and K. Takeuchi, 1999: Dynamic and thermo-dynamic characteristics of atmospheric response to anomalous sea-ice extent in the Sea of Okhotsk. *J. Climate*, **12**, 3347-3358.
- 猪上淳, 菊地隆, 2006: 2005 年の北極海における海水減少 - プイ観測から - 日本気象学会 2006 年度秋季大会予稿集, A151.
- Ohfuchi, W., H. Nakamura, M. K. Yoshioka, T. Enomoto, K. Takaya, X. Peng, S. Yamane, T. Nishimura, Y. Kurihara, and K. Ninomiya, 2004: 10-km mesh meso-scale resolving simulations of the global atmosphere on the Earth Simulator. -Preliminary outcomes of AFES (AGCM for the Earth Simulator) -. *J. Earth Sim.*, **1**, 8-34.
- Takaya, K., and H. Nakamura, 2001: A

formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608-627.

Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981:

Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784-812.

山崎孝治, 2000: オホーツク海の海氷面積と冬の大気循環との相互作用. *雪氷*, **62**, 345-354.