

2007年夏季北極海の海水激減について

猪上 淳・鴨志田 隆・島田 浩二 (JAMSTEC・IORGC)

1. はじめに

北極海の海水減少は、従来から温暖化や各気候指数との関係が議論されている。しかし、毎年のように更新される夏季北極海の海水面積の減少を説明できるまでには至っていない。これは力学的・熱力的な複数のプロセスが北極海の海水減少に影響を与えているためであると考えられる。2007年は2005年以降、夏季海水面積の最少記録を更新したが、海水多寡の空間パターンは2005年とは異なる部分や類似する部分がある。本研究ではJAMSTECによる7年分の氷海用ブイを解析し、2005年の海水減少について調べ、2007年との比較を行った。また、冬の海水運動にも着目し、前年の秋から翌年の春までの衛星データを利用した海水のトラジェクトリ解析を行うことで、続く夏の海水後退の予測可能性について調べた。

2. データ

JAMSTECは米国ワシントン大学が行っているNPEO(North Pole Environmental Observatory)に2000年から参加している。本プロジェクトは、北極海の環境変化を解明するために継続的かつ時系列的な観測を北極海多年氷海域で確立することを目的としている。2006年のブイの設置で7個目となり、2000年代の海水変動を記述できるだけのデータが蓄積されてきた。特に本プロジェクトでは毎年同じ時期・場所にブイを設置するため、海水の漂流の年々変動を調べるのに適している。2000年から2005年まではJ-CAD(JAMSTEC Compact Arctic Drifter: Hatakeyama and Munk 2001)、2006年からはPOPS(Polar Ocean Profiling System: Kikuchi et al. 2007)を用いている。

一方、北極海全体の海水運動は、DMSP衛星に搭載されるマイクロ波放射計(SSM/I)で観測された85GHzチャンネルの輝度温度画像を用いて面相間法で算出した。日平均漂流速度から作成したマイクロ波放射計でカナダ海盆上の海水域として、北緯73~82度(0.5度間隔)、西経126~166度(2度間隔)の格子点を定義し、格子点上の海水を月平均海水漂流速度を用いて10月1日から8ヶ月間移動させ、翌年6月1日時点の海水位置

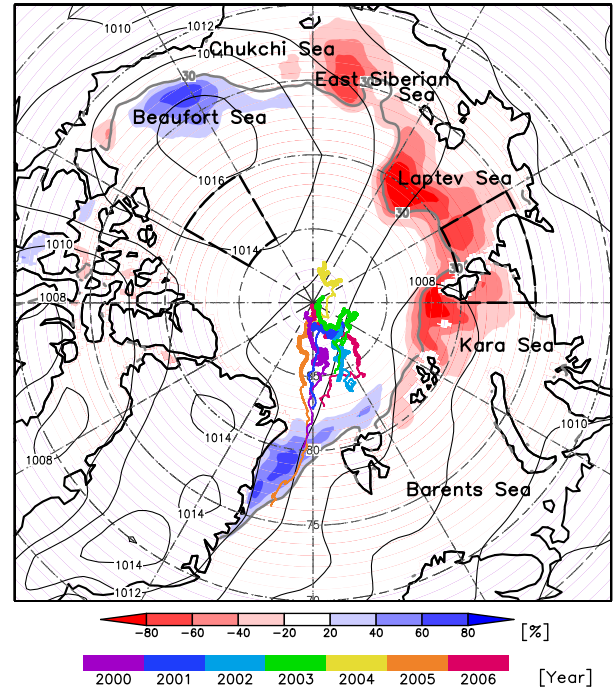


図1: 2000年から2006年に設置したブイの年別の漂流軌跡(太線: 5月以降9月まで、細線:10月以降12月まで)と、2005年6月から9月の平均海面気圧(等値線)、2000年から2004年の9月の海水密度と2005年9月の海水密度の偏差(陰影)。(Inoue and Kikuchi 2007)

を調べた(トラジェクトリ解析)。月平均海水漂流速度は、国際北極ブイプログラムで設置された漂流ブイの軌跡データを用いてトラジェクトリ解析の精度を検証したところ誤差は8ヶ月で48km以内であった。

また、大気循環の状況を見るために、NCEP/NCAR再解析データによる月平均海面気圧(SLP)と風データも用いた。

3. 2005・2007年夏季の大気循環と海水減少

図1に過去7年分のブイの軌跡を示す。例年、ブイは1年弱でフラム海峡を通過して北極海から流出するが、2005年は7ヶ月で北極海から流出した。これは過去6年間で最速記録である。夏季(6月-9月)の平均海面気圧によると、ポーフォート海は高気圧性循環・ユーラシア大陸側は低気圧

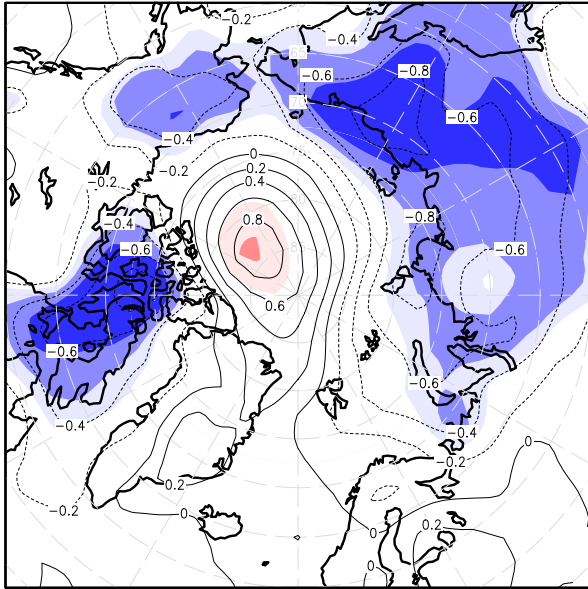


図 2: 9月の海水面積に回帰させた夏季 SLP 偏差図。陰影は 90、95、99%で有意な領域を示す。(Inoue and Kikuchi 2007)

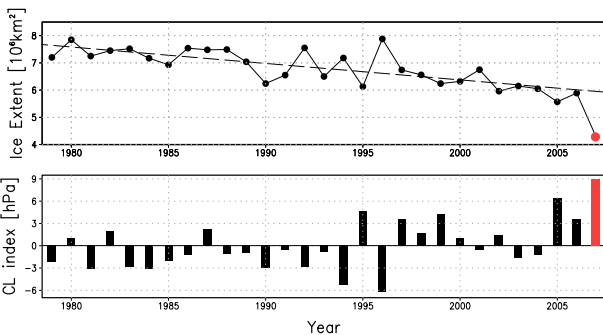


図 3: 9月の北極海の海水面積(上)と、図1の破線領域で計算された北極海上の気圧傾度(下)の時系列。赤色は2007年を示す。(Inoue and Kikuchi 2007 に加筆)

性循環であることから、Transpolar Drift Stream が強化されたと考えられる。その結果、海水面積は2000年代前半と比較して、ポーフォート海・グリーンランド海では正偏差、東シベリア海・ラプテフ海では負偏差となった。

この気圧配置は2005年特有なのかを調べるため、観測衛星データが有効な1979年以降2006年までの9月の北極海海水面積に対して回帰した、6月から9月のSLP偏差を図2に示す。夏季海水面積が少なくなる年は、北極海上で高気圧偏差、ユーラシア大陸付近で低気圧偏差になっていることが分かる。これは図1で見た2005年の気圧配置と類似する。

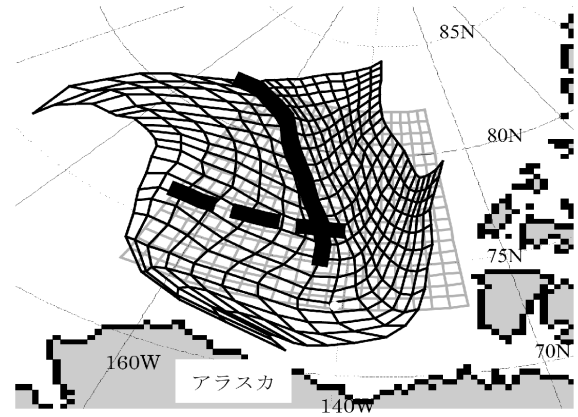


図 4: 海氷運動による海氷域の変形(2006年10月2007年6月)。太破線(10月)と太実線(6月)は解析ラインを示す。(鴨志田ほか 2007)

次に、2005年夏の気圧配置がどの程度異常であったかを調べるため、衛星の海氷データが有効な1979年から2007年までのTranspolar Drift Streamと直交する気圧傾度(場所は図1破線領域を参照)を計算した(図3)。2005年は2006年以前では夏の気圧傾度が最大で(6.4 hPa)、海氷が北極海から流出するのに最も適した状況であることが分った。同様のイベントは1995年にも起きており、この年も当時の夏季海水面積の最小記録を更新している。したがって、近年の夏期海水面積減少の原因は海氷の融解だけではなく、北極海からの海氷流出も影響していると考えられる。

図3で赤色で示した部分が2007年の状況である。気圧傾度は2005年よりもさらに大きく(8.8 hPa)、それに伴い海水面積も最小である。このようなSLP場は1990年代中ごろから次第に増加傾向である。

4. 2006/07年冬の海氷運動と海氷減少

2007年9月の海水面積は過去に比べ著しく減少した(4に相当:図3上)。これは夏の気圧配置に起因する力学的減少(移流の効果)に加え、熱力学的な減少(融解)も影響している可能性がある。海氷は氷厚が薄い程融解しやすいため、直前の冬にどれだけ海氷が成長できない環境にあったかが重要となる。そこで、アラスカ沖のポーフォート海を例として、冬季の海氷運動に着目した解析を行った。

図4は2006年10月の海氷域(灰色線の格子)が8ヶ月後(2007年6月1日)にどれだけ変形したかを示している。冬季に卓越するポーフォート高気圧によって海氷域が時計回りに回転していること

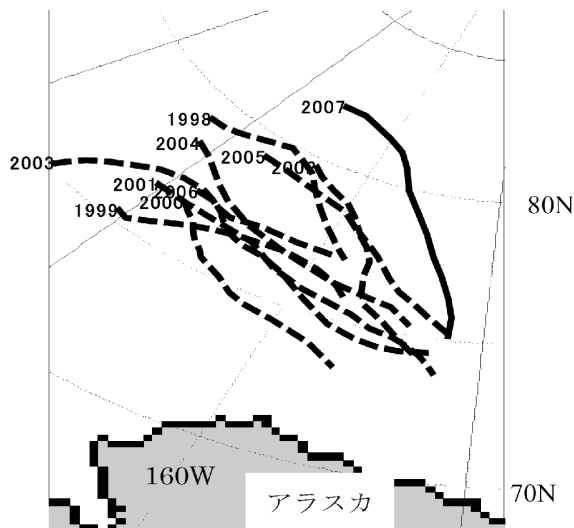


図 5: 翌年 6 月 1 日の解析ライン (年々変化)。2007 年のラインがこれまでで最北に位置することから、2007 年は海水の後退が著しいことが予測される。(鴨志田ほか 2007)

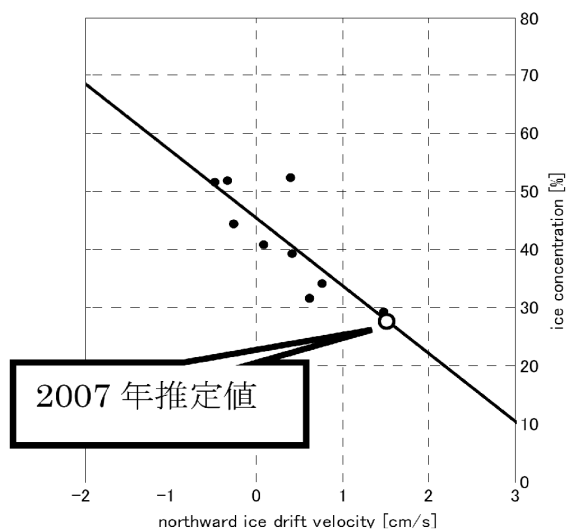


図 6: 海水運動の南北成分とポーフォート海の夏季海水氷密度の関係。(鴨志田ほか 2007)

が明瞭である。例えば、北緯 76.5 度の解析ライン上の海水 (黒破線) が北緯 80 度を越えて移動していることは (黒太線)、それより南の夏季に開水域であった領域で形成された融けやすい一年氷も北まで移動していることを意味している。同様の解析を 1998 年から 2006 年にも適用したところ、図 4 の解析ラインは 1998 年や 2002 年で北緯 80 度付近まで達していることが判明した (図 5)。両年に共通することは夏季 (9 月) の海水の後退が著しいことで、これは一年氷がより北へ輸送され夏季にそこで融解したためと考えられる。

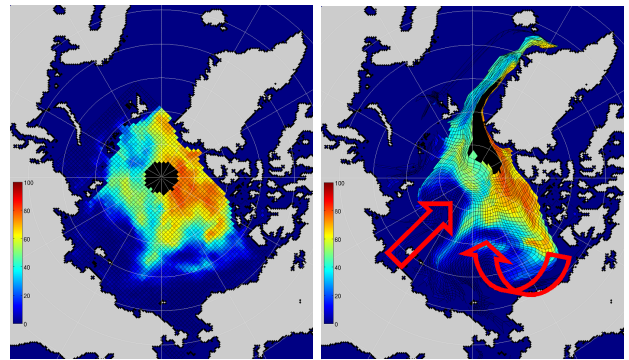


図 7: 2006 年 10 月の多年氷の密度 (左) とトラジェクトリー解析で得られた 2007 年 6 月 1 日の多年氷の密度 (右)。

そこで秋から春までの解析ライン上の海水運動の南北成分と続く夏の海水氷密度 (北緯 70 ~ 80 度、西経 125 ~ 180 度) との関係調べたところ、北向き輸送が大きい年ほど翌夏の海水氷密度は小さくなる関係を得た (図 6)。この関係式に 2007 年の春における海水運動の南北成分を当てはめると、この領域では 2007 年 9 月には過去最小の海水氷密度になることが予想され (28%)、実際に 21% の海水氷密度を観測したことから、春先までの海水運動による薄氷の輸送が続く夏の海水面積に影響を及ぼすことが確認できた。

2006 年 10 月の多年氷の密度データ (図 7 左) を用いて、同様のトラジェクトリー解析を北極海全体にも適用した。8ヶ月後の分布が図 7 (右) である。北極海全体で考えても、春先の多年氷が卓越する領域がカナダ多島海からグリーンランド側に偏在していることから、2007 年の夏は北極海の海水面積が最小となる可能性が春の時点で潜在的に存在していたことになる。

5. 海水運動の長期変動

海水運動は主に風によって駆動されるため、北大西洋振動 (NAO) や北極振動 (AO) との関係が示されている (例えば Deser et al. 2000; Rigor et al. 2002)。ところが、近年は必ずしもそのような関係は顕著ではなく、海水が減少し続けるモードに入ってしまったという研究もある (Lindsay and Zhang 2005)。Shimada et al. (2006) は、1990 年代後半にポーフォート海上の海水運動が急激に早まり、太平洋からの暖かい水が効率良く北極海に流入したことが、海水減少の一因と考えている。

そこで、近年海水が風に対してどれだけ動きやすい状況になったかを、約 10 年毎の海水速度と

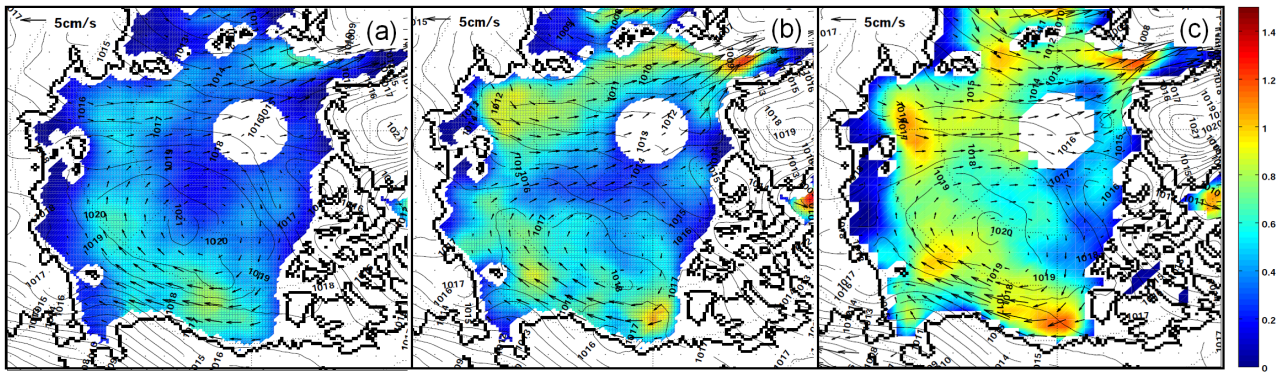


図 8: 風速係数 (陰影) と海水運動 (ベクトル)。左から 1979-1988 年、1989-1998 年、1999-2007 年の平均場。

風速の比 (風速係数) から調べた (図 8)。風速係数は、風速の何%で海水が移動するかを示す係数であるため、この値が大きいほど海水は風の影響を受けて動きやすくなったことを意味する。1980年代と比べ 2000年代は風速係数がほぼ全域で2倍になっており、その傾向は特に北米沿岸からユーラシア沿岸で顕著で、近年の海水減少が著しい領域と一致している。これは海水自体が薄くなったことが原因の一つであろう。北極海での海水の滞在期間が短くなれば、それだけ成長する期間が短くなるため、北極海全体の氷厚はさらに薄くなる。

6. 結論

夏の海水面積が減少するのは融解による効果もあるが、本研究で示されたとおり海水が動くことによる効果も極めて重要である。夏のポーフォート海上の高気圧・ユーラシア上の低気圧という独特の気圧配置によって形成される風系で、大西洋への海水流出は強化される。この気圧パターンは1990年代前半までは見られなかったが、1990年代後半からは頻発するようになり、特に2005年、2007年は顕著であった。それに加え、冬の海水の運動も30年間で2倍ほど風に応答しやすくなり、海水の流出による面積減少 (力学的減少) が著しい。十分に成長できずに夏を向かえた薄氷は融解しやすく (熱力学的減少)、海水面積はますます減少する。数値モデルでは再現できていない海水の変化 (Stroeve et al. 2007) を確実に追えるよう、船舶や漂流ブイなどによる観測を今後も継続的に行うことが極めて重要である。

謝 辞

漂流ブイ観測・データセット作成に貢献してくださった菊地隆氏深く感謝します。

参考文献

- Deser, C., J. E. Walsh, and M. S. Timlin, 2000: Arctic sea ice variability in the context of recent atmospheric circulation trends. *J. Climate*, **13**(3), 617–633.
- Hatakeyama, K., and T. Munk, 2001: Development and deployment of a compact Arctic drifting platform, *Sea Technol.*, **42**(7), 37–47.
- Inoue, J., and T. Kikuchi, 2007: Outflow of summertime Arctic sea ice observed by ice drifting buoys and its linkage with ice reduction and atmospheric circulation patterns. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**(6), 881–887.
- 鴨志田隆・猪上淳・島田浩二, 2007: 夏季北極海カナダ海盆における海水後退の推定, 日本海洋学会2007年秋季大会予稿集, 106.
- Kikuchi, T., J. Inoue, and D. Langevin, 2007: Argo-type profiling float observations under the Arctic multiyear ice, *Deep-Sea Res. I*, **54**(9), 1675–1686.
- Lindsay, R. W., and J. Zhang, 2005: The thinning of Arctic sea ice, 1988–2003: Have we passed a tipping point?, *J. Climate*, **18**(22), 4879–4894.
- Rigor, I. G., J. M. Wallace and R. L. Colony, 2002: Response of sea ice to the Arctic oscillation, *J. Climate*, **15**(17), 2648–2663.
- Shimada, K., T. Kamoshida, M. Itoh, S. Nishino, E. Carmack, F. McLaughlin, S. Zimmermann, and A. Proshutinsky, 2006: Pacific Ocean inflow: Influence on catastrophic reduction of sea ice cover in the Arctic Ocean, *Gephys. Res. Lett.*, **33**(8), L08605.
- Stroeve, J., M. M. Holland, W. Meier, T. Scambos, and M. Serreze, 2007: Arctic sea ice decline: Faster than forecast, *Geophys. Res. Lett.*, **34**(9), L09501.