

北極海上の気象データは中高緯度の気候循環の再現性向上に役立つか？

猪上 淳 (極地研・海洋機構)・榎本 剛 (京大防災研・海洋機構)・堀 正岳 (海洋機構)

1 はじめに

1.1 北極域の急激な気候変化

2012 年の北極海の海水面積は、前回最小を記録した 2007 年を下回り、記録を更新した (図 1)。年々変動に伴う増減は見られるが、海水面積は今後も縮小すると見られている。Wang and Overland (2009) は、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 4 次報告書の元となった温暖化予測に基づき、海水にほとんど覆われていない「青い北極海」が、30 年以内、早ければ 2020 年代に到来すると予想している。「青い北極海」とは、9 月の海水面積が $1 \times 10^6 \text{ km}^2$ を下回る状態を指す。北極域の急激な気候変化は、海水面積や厚さの減少だけでなく、陸上の積雪面積やグリーンランドの陸氷の減少にも見られ、「極温暖化増幅」と呼ばれている。極温暖化増幅は、既存の観測システムの再検討を迫ると同時に、新たな観測の可能性を与えている。

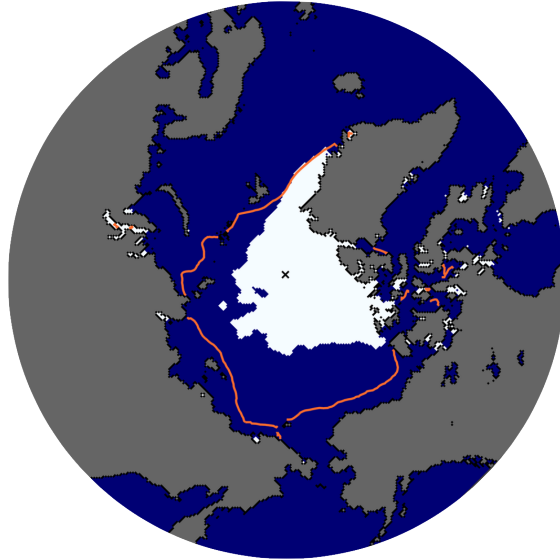


図 1: 2012 年 9 月 16 日の海水分布 (米国国立雪氷データセンター)。白は海水に覆われている領域、橙色の等値線は 1979–2000 年の氷縁の中央値。

1.2 漂流ブイによる気圧観測

北極海上の気象観測は、漂流ブイによる気圧にほぼ限定されている。漂流ブイは、海水のない海洋上のブイとは異なり、海水上に設置され海水とともに移動するもので、海水が融ければ沈んで観測ができなくなる。そのため、近年のように夏から秋にかけて、海水のない領域は観測の空白域となっている。

漂流ブイの気圧観測のインパクトを調べるため、Inoue et al. (2009) は 70°N 以北の気圧を取り除いた観測システム実験を実施した。標準実験では、精度を示す気圧の解析アンサンブル・スプレッドは、漂流ブイによる気圧観測が豊富にある海水上で陸上並みの 1.2 hPa 以下と小さく、海水のない海上では 2.4 hPa 以上と大きくばらついている (図 3)。 70°N 以北の気圧を取り除いた実験では、観測を取り除いた海水上だけでなく、北極海のほとんどの領域で気圧の解析アンサンブル・スプレッドが 2.6 hPa 以上に増大する。

この結果は、「青い北極海」で漂流ブイによる気圧観測がない場合、北極海沿岸の観測点だけからでは

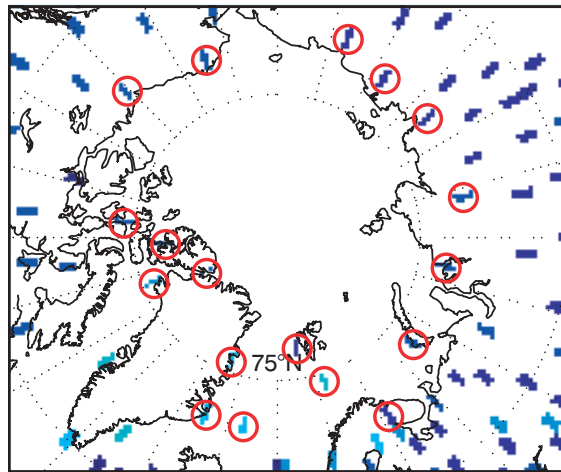


図 2: 北極域における高層気象観測 (Andersson 2007)。濃い青は 1 日 1 回、水色は 1 日 2 回 2006 年 7 月に TEMP 報が通報された地点を示す。

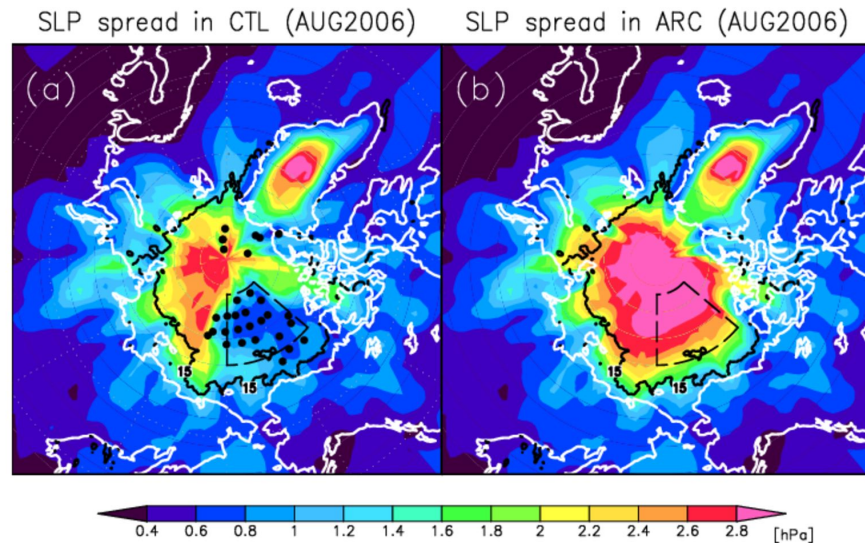


図 3: 2006 年 8 月における海面気圧の解析アンサンブル・スプレッド (hPa, Inoue et al. 2009). 左は ALERA(Miyoshi et al. 2007a), 右は 70° 以北の気圧を取り除いた実験.

北極海上の気圧分布を正確に推定することはできず、北極海上の対流圏下層の解析精度が著しく低下することを示している。すなわち、海氷面積が縮小した場合、北極域の解析精度を維持するためには、漂流ブイに代わる気圧観測手段の必要であることが示唆される。

期間や観測点は限定されているが、高層気象観測の少ない北極海上では、この航海で取得された高頻度のラジオゾンデ観測データは解析精度の向上に影響を及ぼすことが期待される。本研究では、ゾンデ観測を取り除いた観測システム実験を行い、観測の有無が及ぼす影響の範囲や大きさについて調べた。

1.3 高層気象観測

北極域の高層気象観測点は、70–75°N 付近まで分布し、カナダの島嶼や北西グリーンランドには 80°N 付近に設置されているものもある (Andersson 2007)。しかし、北極海上には現業のラジオゾンデ観測点が存在せず、対流圏中上層や成層圏における観測データは極端に少ないため詳細な解析が困難であり、数値予報や再解析データの再現性に関する議論は極めて少ない (Inoue et al. 2011)。

2010 年 9–10 月に海洋地球研究船「みらい」による北極航海 (図 4a) が実施され、ラジオゾンデ観測データを取得し、気象庁経由で GTS に通報した。ラジオゾンデ観測は、通常 6 時間間隔、集中観測時 3 時間間隔で実施した。この航海では 9 月 25 日前後に氷縁域で急速に発達する低気圧を捉えており、対流圏界面の折れ込みを観測できている (Inoue and Hori 2011)。上空の渦位アノマリーの再現性を調べる上でこの観測データは極めて貴重である。

2 観測システム実験

本研究では、アンサンブル大気データ同化システム ALEDAS2 を用いた。ALEDAS2 は、モデルに地球シミュレータ用大気大循環モデル AFES (Kuwano-Yoshida et al. 2010)、解析アルゴリズムに LETKF を用いている (Miyoshi et al. 2007b)。AFES の解像度は T119L48 (水平格子間隔約 80 km、鉛直 48 層) で、アンサンブル・メンバー数は 63 である。観測データ源は、NCEP が編纂し UCAR でアーカイブされている PREPBUFR を使用している。PREPBUFR には、「みらい」のゾンデ観測が含まれている。ALERA2 (Enomoto et al. 2013) を標準実験 (CTL) とした。観測システム実験 (OSE) では、PREPBUFR から「みらい」のゾンデ観測に対応する 70°N 以北の高層気象観測データを取り除いた。そのほかの領域での観測は、CTL と同じものを与えている。

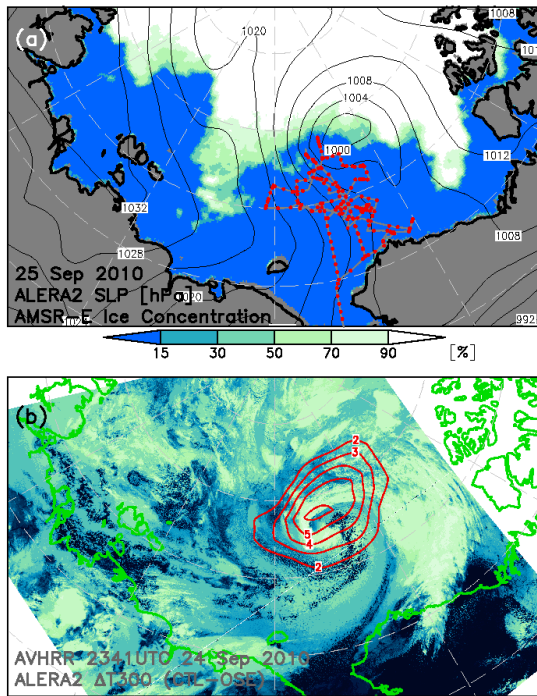


図 4: (a)「みらい」による高層気象観測点, (b) 300 hPa 面の気温偏差 (CTL-OSE). 海水分布, 海面気圧, 衛星画像は低気圧が観測された 2010 年 9 月 25 日のものを使用 (Inoue et al. 2013).

3 結果

図 4b に低気圧が発達した 9 月 25 日の CTL-OSE の 300 hPa 面気温偏差を示す. CTL の方が気温が 5 度程度高い. これは, ゾンデ観測により低気圧に伴う対流圏界面の折れ込みの再現性が向上していることを示している. この傾向は観測期間中持続した.

次に遠隔影響を調べるため, 9 月 24 日から 10 月 13 日まで時間平均した東西平均場を調べた. 圏界面が低い状態は 9 月 25 日以降 2 週間持続し, その影響範囲は「みらい」の観測緯度帯 (70–80°N) を越えて, 60°N にまで及んでいる (図 5a). 圏界面高度偏差に対応して, 気温には 65°N 以北の対流圏で -0.2 K 程度の低温偏差, 70°N 以北の成層圏下部で 0.2 K 程度の高温偏差が見られる (図 5b). 55–75°N では, 気温の南北傾度が強まり, 亜寒帯前線ジェットが数%強化されていた (図 5c).

中緯度 (40–50°N) にも 250 hPa 付近に低温偏差が見られる. 「みらい」の位置からの前方トラジェ

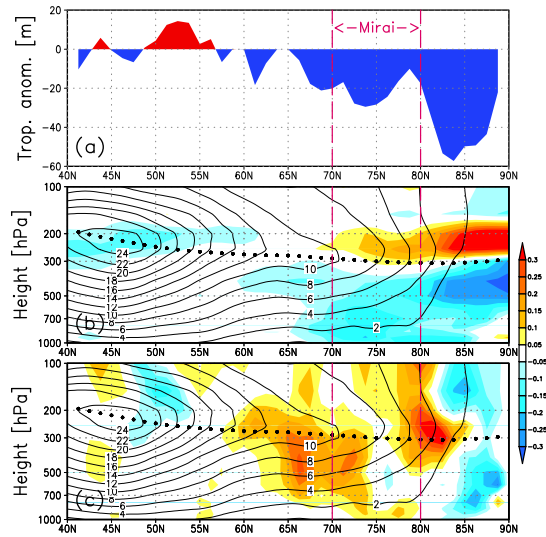


図 5: CTL-OSE の, (a) 圏界面高度偏差, (b) 気温偏差 (°C), (c) 西風偏差 (m s^{-1}). 9 月 24 日から 10 月 13 日まで時間平均された東西平均場. 等値線は CTL の東西平均東西風 (ms^{-1}). 点線は圏界面高度 (Inoue et al. 2013).

クトリ解析によると, 北極域の気塊が中緯度に広がっていることが分る. ユーラシア大陸上の現業の高層気象観測の頻度は 1 日 1–2 回程度であり, 空間密度も小さいため, 今回のような時間的に密な観測データの影響は対流圏上部を介して中緯度へ及んでいる可能性が高い. また, 低温偏差は季節進行が大きい領域と一致することから, ゾンデ観測の累積的な効果により, 季節進行の再現性が改善されたと考えられる.

4 おわりに

ポーフォート海は, 2006 年 8 月には海氷に覆われており, 漂流ブイによる気圧観測が多数存在していた. Inoue et al. (2009) では, これらのブイのインパクトを調べた. 2010 年には, この海域を「みらい」が航海し, 高頻度のラジオゾンデ観測が得られた. 観測システム実験が示すように, ラジオゾンデ観測は局所的な圏界面位置の精度向上に寄与するだけでなく, その影響は中緯度にまで及んでいる. この実験結果は, 夏～秋に海氷が融ける領域では, 砕氷能力のない通常の観測船による観測も有効であること示すものである.

参考文献

- Andersson, E., 2007: Data assimilation in the polar regions. *ECMWF Newsletter*, **112**, 10–15.
- Enomoto, T., T. Miyoshi, Q. Moteki, J. Inoue, M. Hattori, A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and S. Yamane, 2013: Observing-system research and ensemble data assimilation at JAMSTEC. *In Data Assimilation for Atmospheric Oceanic and Hydrologic Applications II*, S. K. Park and L. Xu, Eds., Springer, *in press*.
- Inoue, J., T. Enomoto, and M. E. Hori, 2013: The impact of radiosonde data over the ice-free Arctic Ocean on the atmospheric circulation in the Northern Hemisphere. *Geophys. Res. Lett.*, *in press*.
- Inoue, J., T. Enomoto, T. Miyoshi, and S. Yamane, 2009: Impact of observations from arctic drifting buoys on the reanalysis of surface fields. *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L08501, doi:10.1029/2009GL037380.
- Inoue, J. and M. E. Hori, 2011: Arctic cyclogenesis at the marginal ice zone: A contributory mechanism for the temperature amplification? *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L12502, doi:10.1029/2011GL047696.
- Inoue, J., M. E. Hori, T. Enomoto, and T. Kikuchi, 2011: Intercomparison of surface heat transfer near the arctic marginal ice zone for multiple reanalyses: a case study of september 2009. *SOLA*, **7**, 57–60, doi:10.2151/sola.2011-015.
- Kuwano-Yoshida, A., T. Enomoto, and W. Ohfuchi, 2010: An improved statistical cloud scheme for climate simulations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **136**, doi:10.1002/qj.660.
- Miyoshi, T., S. Yamane, and T. Enomoto, 2007a: The AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis: ALERA. *SOLA*, **3**, 45–48, doi:10.2151/sola.2007-012.
- Miyoshi, T., S. Yamane, and T. Enomoto, 2007b: Localizing the error covariance by physical distances within a local ensemble transform Kalman filter (LETKF). *SOLA*, **3**, 89–92, doi:10.2151/sola.2007-023.
- Wang, M. and J. E. Overland, 2009: A sea ice free summer arctic within 30 years? *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L07502, doi:10.1029/2009GL037820.