

106 (大気海洋相互作用；予測可能性；集中観測)

5. YOPP：北極観測と予測可能性研究の融合

猪 上 淳*

1. はじめに

中緯度で引き起こされる冬季の極端な気象現象において、近年北極域からの影響を示唆するメカニズムが多数提唱されており、日本もその重要な研究を担っている (Honda *et al.* 2009 ; Inoue *et al.* 2012 ; Sato *et al.* 2014 ; Mori *et al.* 2014 ; Nakamura *et al.* 2016). メカニズムの解明がそれらの現象を高精度に予測する

ことにつながる事が理想であるが、実際には事後の解析が中心で、予測への応用に至る事例は限られる。特に極域は、表面熱交換過程に代表されるように、激しい大気海洋相互作用が繰り広げられ、実際にその過程を観測すること自体が困難であるため、予測研究にまで発展させるには戦略的な研究体制が必要不可欠である。

極域における気象・気候研究において、特に観測・予測に関わる国際的な活動の推進には WMO との関係が極めて需要である。2007~2008年の国際極年 (IPY) では、2週間先までの社会的・経済的に影響

* 国立極地研究所国際北極環境研究センター、

inoue.jun@nipr.ac.jp

© 2019 日本気象学会

の大きな気象の予報精度向上を目指した「観測システム研究・予測可能性実験 (THORPEX)」と連携したIPY-THORPEX が立ち上げられ、欧州を中心としてポーラーロウの予報精度向上などの研究が精力的に行われた。その成果の一部は、ノルウェーの現業官署での高層気象観測の頻度を増やすなど、IPY レガシーとして現在でも予報業務に活かされている (Kristjánsson *et al.* 2011)。世界気象研究計画 (WWRP) では、THORPEX で培った予測可能性研究を極域における数時間から季節スケールの予測可能性研究に発展させるために、極域予測プロジェクト (PPP: Polar Prediction Project) を2013年に設置した。2017年半ばから2年間を Year Of Polar Prediction (YOPP) として位置づけ、観測と数値予報の集中的な研究期間として設定している (Jung *et al.* 2016)。本講演では、PPP/YOPP に関する日本の活動・方向性について整理し、中・低緯度の予測可能性研究との連携の可能性を探る。

2. どのような現象が対象か？

北極圏で気象予報の精度が向上すると恩恵を受ける人々は誰だろう？ 北極圏の人口はもともと少ないが、海水減少に伴う産業の発展は良くも悪くも避けられず、人間活動は活発になってきている。油田・ガス田開発や船舶の往来が増加傾向の北極海航路の活用は、ハイレベルの政府間協議体である北極評議会で議論の対象となっている。海上気象の視点で見ると、海水が無くなりつつある夏季北極海は、風に伴う高波や海水の移流など、船舶の運航にとっては依然として厳しい環境で、精緻な天気予報とそれをを用いた海水の予測が必要不可欠である。近年は、猛烈に発達する低気圧が度々観測されており (2012年や2016年)、そのような現象をどの程度正確に予測できるのかは、科学的にも社会的にも関心が高いと言える。

極域の予測精度を向上させることは、ローカルな現象にしか効果がないのだろうか？ 北極の観測を密に行い初期場を改良することのご利益は、中緯度の極端な気象現象の予測にも及ぶ可能性が十分ある。しかし、これまでそのような視点で観測研究は行われていないため、どこの観測データがどのような現象に対して有効なのか、未解明な部分が多い。

3. 観測データの「あり」「なし」予報実験

気象観測を担当する研究機関は、世界中のあらゆる

場所でそれぞれの科学的目的に従って観測を行っている。もし当該観測データが予報に組み込まれていたら (いなかったら)、どのような影響が出るのだろうかという影響評価は、観測を担当する者として興味深い研究である。そこで得られた知見はさらに、その研究機関の研究予算やさらには当該国の観測戦略を決める際にも重要な科学的知見となる。ところが、これを実際に確かめるのは意外と手間である。当該観測データを出し入れした複数の初期場を用意し、それを元に予報実験する必要があるからだ。

そのような観測と予報の架け橋となる手法がデータ同化であり、観測システム実験 (OSE) である。JAMSTEC では観測資源も計算機資源にも恵まれているため、独自に実験的アンサンブル大気再解析データを構築し (e.g. Enomoto *et al.* 2013)、OSE を通じて誤差伝播のメカニズムを解明し、観測網の構築やデータ同化システムの改良に反映させている。観測に携わる研究者を積極的に集め、データ同化の開発グループと共に OSE を実施する研究グループは世界を見回しても例がないだろう。

当初は、熱帯域や北極域での短期的な観測キャンペーンの影響評価が中心であったが (Moteki *et al.* 2007; Inoue *et al.* 2013)、北極に関しては観測点の空間密度がもともと小さいこともあり、他国と協力して広域の特別観測期間を設定するなど、国際色が次第に高まってきた。このような実績のある日本が国際観測キャンペーンを企画し (他国に観測を依頼する)、データ同化による影響評価も担当することで、北極の大気予測可能性研究のコミュニティーにおける日本のプレゼンスが大きくなってきた。

3.1 北極の夏

夏季北極海は研究船が航行しやすい氷況であるため、気象データを比較的取得しやすい。日本の海洋地球研究船「みらい」も2012年以降は毎年北極航海があり、ラジオゾンデ観測も頻繁に行っている。PPP が立ち上がった2013年に、予測可能性研究を目的とした観測網を設定し、「みらい」と同期したラジオゾンデ特別観測をニーオルスン (78.9°N)、アラート (82.5°N) とユーリカ (80.0°N) で実施した。2週間の短期間ではあったが、ニーオルスンでは1日6回 (通常1回)、アラートとユーリカでは1日4回 (通常2回) に頻度を上げて、北極の大気循環の再現性、さらには予測にどの程度影響があるかを調査することにした。

北極の夏は海水が風に応答しやすく、そのため風の

予報精度が海水分布の予報精度に直結する。特にロシア沿岸の北極海航路上では海水の分布が運行計画を左右するため、海上風の予報精度が鍵となる。観測海域の日平均風速が10 m/sとなった2013年9月20日を対象とした5日予報を行った結果、「観測あり」予報ではこの風をもたらす高気圧を良く予報できたのに対し、「観測なし」予報では高気圧の移動が早く、風向・風速とも大きくはずしてしまった (Inoue *et al.* 2015)。また、これらの風の予報データを強制力として、海洋-海水結合モデルを駆動させると、「観測あり」予報による風を用いた場合には海水分布を良く予報できた。このような実験は2012年8月に北極海上で猛烈に発達した低気圧の事例でも行い (観測はドイツ砕氷船上のラジオゾンデデータを利用)、ローカルな気象現象と海水分布への影響を評価している (Yamazaki *et al.* 2015; Ono *et al.* 2016)。

3.2 北極の冬

一方、冬の北極の観測は極めて難しく、北極海上となると皆無に等しい。しかし、近年の北極の海水の減少が引き起こす中緯度での寒波への影響を、予測可能性の観点で調べるには追加観測データが必要不可欠である。残念ながら日本では冬季の北極海上での観測データを取得する手段は無いが、他国が実施した観測データに対してその影響評価を行うことは可能である。ここ数年は、このような形で外国との共同研究が行われることが多くなってきた。

2015年冬にはノルウェー極地研究所が研究船 Lance 号を北極海に閉じ込める観測航海を半年間行い、そこでもラジオゾンデ観測が行われた (Granskog *et al.* 2016)。中緯度では暖冬傾向で推移した冬ではあったが、2月上旬には東京の最低気温が氷点下2度を下回る冬型の気圧配置、2月中旬には北米東岸でも100年ぶりの大寒波など、注目に値する現象に見舞われている。そこでこれらの事例に対して、北極の特別観測の影響を世界に先駆けて調べることにした。「観測あり」と「観測なし」の初期場を作成し、予報実験をおこなったところ、「観測あり」の方が海上で発達する低気圧の位置や強さ、そしてそれらの予報のバラツキなどが改善された (Sato *et al.* 2017)。上空の高度場のスプレッド差などの追跡から、北極で観測を強化した結果、極渦中に観測の情報 (初期場を改善する情報) が取り込まれ、予報期間中に正の渦位偏差として南下する際に、中緯度の予測精度が改善されるということが明らかとなった。興味深いのは、同様の

プロセスが東アジア域でも北米域でも確認できたことである。

そこでこのような実績から、2016年12月には、ドイツとフィンランドに依頼し、冬季の陸上の高層気象観測を強化する実験を行った。期間中は、札幌で50年ぶりに90 cmを超える積雪になるなど顕著な現象が観測されたため、この特別観測の予報への影響などを調べているところである (大島ほか 2017)。

また、ここで得られた誤差伝播メカニズムは夏にも適用できるため、北極の影響が出現していそうな事例 (台風やハリケーンの進路予報) を現在解析しているところである。このように北極の観測データは、中緯度の気象予測に対して好影響を及ぼすということが、複数の事例解析から見えてきたところである。

4. 極域-中緯度-熱帯をつなぐ予測・観測研究

日本を含む中緯度域の気象・気候は、北極、中緯度、熱帯など、各領域からの影響を様々に受ける。観測網が密な中緯度ではあるが、観測データの少ない低緯度と高緯度の影響は数値予報の精度に多少なりとも影響を及ぼす可能性がある。中緯度の海洋上では熱帯のデータが、大陸上では北極のデータが数値予報の精度向上に役立つなどの研究例もある (Jung *et al.* 2014)。これまでは、過去の事例を用いた予報実験が主流であったが、2017年から2019年にかけては、以下の理由により予測可能性研究にとって特別な期間となる。

極域の YOPP と熱帯の YMC (Years of Maritime Continent) は期間が重複しているため、高緯度・低緯度の観測データが通常よりも充実する。したがって、大気再解析データの解析誤差が低減するばかりではなく、現業の数値予報の精度向上も見込まれる。ECMWF では大気海洋結合再解析プロダクトの提供も予定しており、低・中・高緯度の双方向の遠隔応答を予測可能性の観点から調べられるチャンスが到来する。観測に関しては、熱帯でも日本が大きな貢献を果たすことが予想されるため (米山氏の講演を参照)、YOPP-YMC によるデータセットを用いた研究を推進できる状況が整う。観測領域が異なる研究者が共同で研究を行う例も増えてきており (Katsumata *et al.* 2016; Kawai *et al.* 2017)、低・中・高緯度の様々な研究者が連携することで、大気・海洋相互作用研究がさらに進展することを期待する。

参 考 文 献

- 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. Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II, S. K. Park and L. Xu ed.), Springer, Berlin, 509-526.
- Granskog, M. A., P. Assmy, S. Gerland, G. Spreen, H. Steen and L. H. Smedsrud, 2016: Arctic research on thin ice: Consequences of Arctic sea ice loss. *Eos Trans. Amer. Geophys. Union*, **97**, 22-26.
- Honda, M., J. Inoue and S. Yamane, 2009: Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L08707, doi: 10.1029/2008GL037079.
- Inoue, J., M. E. Hori and K. Takaya, 2012: The role of Barents Sea ice on the wintertime cyclone track and emergence of a warm-Arctic cold-Siberian anomaly. *J. Climate*, **25**, 2561-2568.
- 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.*, **40**, 864-869.
- Inoue, J., A. Yamazaki, J. Ono, K. Dethloff, M. Maturilli, R. Neuber, P. Edwards and H. Yamaguchi, 2015: Additional Arctic observations improve weather and sea-ice forecasts for the Northern Sea Route. *Sci. Rep.*, **5**, 16868.
- Jung, T., M. A. Kasper, T. Semmler and S. Serrar, 2014: Arctic influence on subseasonal midlatitude prediction. *Geophys. Res. Lett.*, **41**, 3676-3680.
- Jung, T., N. D. Gordon, P. Bauer, D. H. Bromwich, M. Chevallier, J. J. Day, J. Dawson, F. Doblas-Reyes, C. Fairall, H. F. Goessling, M. Holland, J. Inoue, T. Iversen, S. Klebe, P. Lemke, M. Losch, A. Makshtas, B. Mills, P. Nurmi, D. Perovich, P. Reid, I. A. Renfrew, G. Smith, G. Svensson, M. Tolstykh and Q. Yang, 2016: Advancing polar prediction capabilities on daily to seasonal time scales. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **97**, 1631-1647.
- Katsumata, M., S. Mori, B. Geng and J. Inoue, 2016: Internal structure of ex-Typhoon Phanfone (2014) under an extratropical transition as observed by the research vessel Mirai. *Geophys. Res. Lett.*, **43**, 9333-9341.
- Kawai, Y., M. Katsumata, K. Oshima, M. E. Hori and J. Inoue, 2017: Comparison of Vaisala radiosondes RS41 and RS92 launched over the oceans from the Arctic to the tropics. *Atmos. Meas. Tech.*, **10**, 2485-2498.
- Kristjánsson, J. E., I. Barstad, T. Aspelién, I. Fjøre, Ø. Godøy, Ø. Hov, E. Irvine, T. Iversen, E. Kolstad, T. E. Nordeng, H. McInnes, R. Randriamampianina, J. Reuder, Ø. Sætra, M. Shapiro, T. Spengler and H. O'lafsson, 2011: The Norwegian IPY-THORPEX: Polar lows and Arctic fronts during the 2008 Andøya Campaign. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **92**, 1443-1466.
- Mori, M., M. Watanabe, H. Shiogama, J. Inoue and M. Kimoto, 2014: Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in the past decades. *Nature Geosci.*, **7**, 869-873.
- Moteki, Q., R. Shirooka, K. Yoneyama, B. Geng, M. Katsumata, T. Ushiyama, H. Yamada, K. Yasunaga, N. Sato, H. Kubota, K. K. Reddy, H. Tokinaga, A. Seiki, M. Fujita, Y. N. Takayabu, M. Yoshizaki, H. Uyeda and T. Chuda, 2007: The impact of the assimilation of dropsonde observations during PALAU2005 in ALERA. *SOLA*, **3**, 97-100.
- Nakamura, T., K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, Y. Tomikawa and J. Ukita, 2016: The stratospheric pathway for Arctic impacts on midlatitudes climate. *Geophys. Res. Lett.*, **43**, 3494-3501.
- Ono, J., J. Inoue, A. Yamazaki, K. Dethloff and H. Yamaguchi, 2016: The impact of radiosonde data on forecasting sea-ice distribution along the Northern Sea Route during an extremely developed cyclone. *J. Adv. Model. Earth Sys.*, **8**, 292-303.
- 大島和裕, 堀 正岳, 佐藤和敏, 浅井博明, 荒木健太郎, 2017: 2017年春季「極域・寒冷域研究連絡会」の報告—マルチスケールで考える, 都市における降雪・積雪—, *天気*, **64**, 823-826.
- Sato, K., J. Inoue and M. Watanabe, 2014: Influence of the Gulf Stream on the Barents Sea ice retreat and Eurasian coldness during early winter. *Env. Res. Lett.*, **9**, 084009, doi:10.1088/1748-9326/9/8/084009.
- Sato, K., J. Inoue, A. Yamazaki, J.-H. Kim, M. Maturilli, K. Dethloff, S. R. Hudson and M. A. Granskog, 2017: Improved forecasts of winter weather extremes over midlatitudes with extra Arctic observations. *J. Geophys. Res. Oceans*, **122**, 775-787.
- Yamazaki, A., J. Inoue, K. Dethloff, M. Maturilli and G. König-Langlo, 2015: Impact of radiosonde observations on forecasting summertime Arctic cyclone formation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **120**, 3249-4273.