

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：12102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23454

研究課題名(和文)北極大気の予測精度向上に関する研究

研究課題名(英文)A study on improvement of the Arctic atmospheric prediction

研究代表者

山上 晃央(Akio, Yamakami)

筑波大学・計算科学研究センター・研究員

研究者番号：30850135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：現業中期アンサンブル予報を用いて、北極域における予測精度急低下について調べた。年間の発生率は2008年に最大で、その後減少し、2012年以降は同程度であった。また、発生率は夏季に高く、冬季に低かった。さらに、夏季の事例は、初期の循環パターンがグリーンランドブロッキングと北極低気圧の時に起こりやすかった。

また、現業延長アンサンブル予報を用いて、北半球冬季の週平均大気変動の予測精度を調べた。北極域は2週間まで予測精度が低下するが、北太平洋から北大西洋では4週間でも精度が高かった。延長予報の予測スキルの向上には、赤道大気の海洋への応答ではなく、中緯度の偏西風バイアスの修正が必要があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

北極海氷減少に伴う北極域の環境の変化は科学的に注目されている。また、北極海航路の活用などの観点から社会的にも注目されており、北極域における正確な気象予測の重要性が増している。

予測精度急低下の研究結果は、人間活動が活発となる夏季に急低下が起こりやすいことを示すと同時に、日々の天気予報の予測の精度が下がりやすいパターンを示した。これは予報利用者にパターンによる予測の信頼度の違いについて注意喚起を行う有益な情報となり得る。

また、延長予報は意思決定に利用されると考えられる。本研究の結果は、延長予報を有効に利用するためにはさらに精度を向上させる必要があり、それには偏西風の改善が必要であることを示唆した。

研究成果の概要(英文)：Arctic forecast busts are investigated using operational forecasts. The occurrence frequency of forecast busts decreased from 2008 to 2012, and was between 2% and 6% for the period 2012-2019. Arctic forecast busts were most frequent in the May and July-September periods, but less frequent between December and March. The summertime forecast bust occurred more frequently when the initial pattern was the Greenland Blocking or Arctic Cyclone pattern rather than one of the other patterns.

Also, the sub-seasonal predictability of the weekly mean geopotential height anomaly at 500 hPa were assessed. The skill over the North Pacific, Canada, and Greenland is higher than over other areas for week-3 and -4 forecasts. These peaks correspond to the centers of action for the teleconnection patterns in the Northern Hemisphere. Results suggest that the improvement in the mid-latitude upper-level jet rather than in the response to ENSO forcing in the tropics could lead to better S2S predictions.

研究分野：大気科学

キーワード：北極大気 気象予測 アンサンブル予報 中期予報 延長予報

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化に伴い北極域の海氷が減少している。北極域での海氷減少により、海洋から大気への熱や水蒸気の供給が増加することで大気循環が変化するため、北極域の環境の変化は科学的に注目されている。また、北極海航路や北極域の天然資源の利活用などの観点から、北極域の環境の変化は社会的にも注目されている。このような背景から、北極域における正確な気象予測への社会的な要請が高まっている。

しかし、北極大気のパターンは中緯度と同様に日々変動する。特に、顕著な北極低気圧 (Arctic Cyclone; AC) の発生、発達、位置については、現業気象機関による数値天気予報においても、平均的に最盛期の2~4日前からしか正確に予測できない。ACの発生に伴い、北極域全体(北緯65度以北)においても予測スキルが下がるため、これは予測精度急低下 (forecast bust, Rodwell et al., (2013)) に対応していると考えられる。また、ACの予測精度が低いことは、地表面の風や熱の予測が悪くなり、海氷や海洋の予測精度も低くなることを意味する。

### 2. 研究の目的

AC以外にも、北極域の forecast bust を引き起こす事例(もしくは気圧配置など)が存在すると考えられる。本研究では、世界各国の現業気象機関が日々行っているアンサンブル予報データを用いて、北極大気のパターンに予測可能性に影響をもたらす要因の解析を行い、北極大気の数日から数ヶ月の予測精度を向上させるために必要なプロセスについての手がかりを得ることを目的とする。その結果、北極域での大気-海洋-海氷相互作用についての理解を進めるとともに、北極域での人間活動をより安全に行えるようにすることを目指す。

### 3. 研究の方法

現業中期アンサンブル予報 (TIGGE) および現業延長アンサンブル予報 (S2S) データを用いて、北極域の日々の予測スキルを計算し、平均的な予測可能性を調べるとともに、予測精度が高く(低く)なる時を調べる。また、予測スキルが高い(低い)ときの循環パターンや中緯度大気変動などとの関係を調べ、北極大気のパターン向上に必要な要素を調べる。

### 4. 研究成果

数値天気予報における予測精度急低下事例を forecast bust と呼ぶ。本研究では、主要な5つの数値予報センター(カナダ、欧州、日本、米国、英国)の現業中期アンサンブル予報データを用いて、北極域における forecast bust の統計的な特徴と、夏季の bust と循環場の関係について調べた。

初めに、北極域での forecast bust の定義が存在しないため、2008年から2019年の日々の予報データを用いて、アノマリー相関係数 (ACC) と根二乗平均誤差 (RMSE) を計算した。予測スキルは月ごと、センターごとに異なるため、本研究ではそれぞれのセンターの月ごとの ACC および RMSE の 10%-ile 値および 90%-ile 値を bust の基準として用いた。つまり、ACC が 10%-ile 値以下となり、同時に RMSE が 90%-ile 値以上となった時に forecast bust が発生したとみなした。

その基準を用いたところ、北極域での bust の年間の発生頻度は、2008年では予報の7-13%であったが徐々に減少し、2012年以降は2-6%程度となった。2012年以降は発生頻度に変化はなかった。また、月別頻度では、全てのセンターで5月と夏季(7-9月)に多く(約6-7%)、冬季(12-3月)は少なかった(約4%)。したがって、

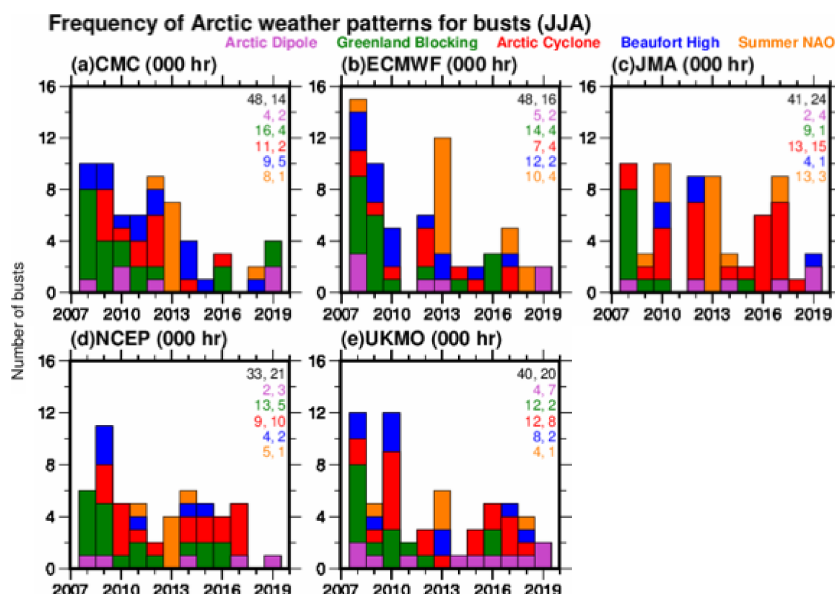


図 1: 各数値予報センターの、年毎の夏季北極域の forecast bust の発生頻度と発生時の初期パターン。

北極域における bust は夏季に発生しやすいことが示された。

夏季の北極域の循環パターンを、Arctic Dipole (AD), Greenland blocking (GB), Arctic Cyclone (AC), Beaufort High (BH), Summer NAO (SNAO)の5つに分類し、bust の発生頻度との関係を調べた。その結果、初期場が AC パターンと GB パターンの時に、bust が起こりやすいことが示された(図1)。2008-2013年の bust 事例では、全てのセンターで GB パターンと AC パターンから発生する bust の頻度が多かった。しかし、GB パターンからの予測で発生する bust の頻度は年々減少しており、近年(2014-2019年)の予報では、カナダと欧州の forecast bust は特定の循環パターンに伴う傾向は見られない。一方で、日本、米国、英国の予報では、2008-2013年同様に AC パターンからの bust の頻度が多かった。つまり、数値モデルの改善により GB からの予測は改善されたが、AC からの予測はいまだに難しいことを示唆している。また、bust 発生の予報対象日の循環パターンに特徴は見られず、特定のパターンを予測する際に bust が発生するわけではないことが示された。

また、S2S 時間スケール(2週間から2ヶ月程度)における北極域を含む北半球の予測可能性についても調べた。S2S 時間スケールでの数値天気予報は、中期予報(数日から2週間程度)のように初期状態の影響を受けるには予報時間が長すぎ、季節予報(3ヶ月以上)のように海洋などの影響を強く受けるには予報時間が短すぎるため、予測可能性の砂漠と呼ばれている。本研究では、上記5つの数値予報センターの延長アンサンブル予報データを用いて、冬季北半球における週平均大気変動の予測可能性を調査した。

2週間予報までは全ての領域で相関係数は0.6以上であったが、3週間予報以降では北極域と地中海から徐々に予測スキルが低下した。その一方で、3,4週間予報でも北太平洋、北米、北大西洋域では予測スキルが相対的に高かった(図2)。これらの領域は、北半球での支配的なテレコネクションパターンである、太平洋-北米パターン(PNA)および北大西洋振動(NAO)の作用中心と対応している。したがって、これらのテレコネクションの予測がS2S時間スケールの予報に影響していることが示された。

また、上記のテレコネクションを引き起こすエルニーニョ南方振動(ENSO)時に予測精度がどのように変化するかを調べた。その結果、エルニーニョ時には、PNAの位相と振幅の2-4週間予報のスキルが、NAOの位相の3-4週間予報のスキルが高くなることが示された。ラニーニャ時にも予測の改善は見られたが、エルニーニョ時ほど顕著ではなかった。このことから、S2S予報にはテレコネクションパターンの正確な予測が重要であることが示された。また、エルニーニョ、ラニーニャ時それぞれの場合における赤道での海面水温変動、上層発散(ENSOによる海面水温変動に対する大気への応答)、中緯度の東西風のコンポジットを観測と予測で比較した。その結果、3-4週間予報においても海面水温変動とそれに対する大気への応答は正確に予測できていた。一方で、中緯度の東西風は、エルニーニョ時には観測よりも予報の方が弱く、ラニーニャ時には予報の方が強かった。これは、赤道域での強制力により発生したテレコネクションの中高緯度への伝わりやすさが観測とモデルで異なることを示している。したがって、S2S時間スケールの予測を改善するには、ENSOに伴う赤道大気への応答予測ではなく、中緯度の偏西風のバイアスを修正する必要があることが示唆された。

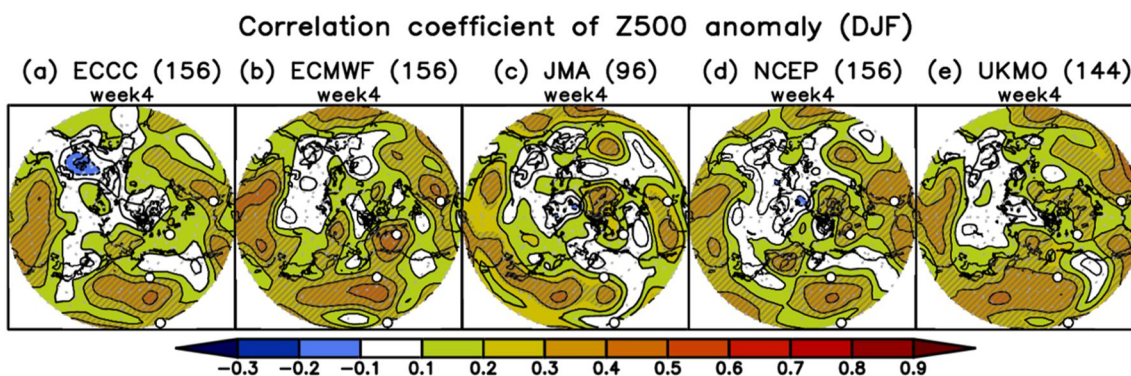


図2 4週間予報のスキル。白い点がPNAの作用中心を示している。

(参考文献)

Rodwell, M.J., Magnusson, L., Bauer, P., Bechtold, P., Bonavita, M., Cardinali, C., Diamantakis, M., Earnshaw, P., Garcia-Mendez, A., Isaksen, L., Källén, E., Klocke, D., Lopez, P., McNally, T., Persson, A., Prates, F. and Wedi, N. (2013) Characteristics of occasional poor medium-range weather forecasts for Europe. Bulletin of the American Meteorological Society, 94, 1393-1405. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00099.1>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamagami Akio, Matsueda Mio	4. 巻 47
2. 論文標題 Subseasonal Forecast Skill for Weekly Mean Atmospheric Variability Over the Northern Hemisphere in Winter and Its Relationship to Midlatitude Teleconnections	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020GL088508	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamagami Akio, Matsueda Mio	4. 巻 e1038
2. 論文標題 Statistical characteristics of Arctic forecast busts and their relationship to Arctic weather patterns in summer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Science Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/asl.1038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Akio Yamagami, Mio Matsueda
2. 発表標題 Assessment of sub-seasonal forecast skill over the Northern Hemisphere in operational ensemble forecasts
3. 学会等名 The Tenth Symposium on Polar Science（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akio Yamagami, Mio Matsueda
2. 発表標題 Predictability of weekly mean atmospheric variability over the Northern Hemisphere on S2S timescales
3. 学会等名 The 35th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akio Yamagami, Mio Matsueda
2. 発表標題 Forecast skill for wintertime atmospheric variability over the Northern Hemisphere and its relationship to mid-latitude teleconnections.
3. 学会等名 American Geophysical Union fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山上晃央, 松枝未遠
2. 発表標題 S2S時間スケールにおける北半球冬季の週平均場の予測可能性とテレコネクションとの関係
3. 学会等名 日本気象学会 2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------