

令和元年6月11日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16378

研究課題名(和文)天候レジームに関連する大気顕著現象の予測可能性

研究課題名(英文)Predictability of weather regime-related atmospheric phenomena

研究代表者

松枝 未遠(MATSUEDA, MIO)

筑波大学・計算科学研究センター・助教

研究者番号：80738691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、1.冬季欧州域の天候レジームの予測可能性、2.夏季欧州域の天候レジームと熱波の予測可能性、3.2018年西日本豪雨のような研究期間中に発生した顕著現象の予測可能性、に主に注目した。1では、負位相の北大西洋振動(NAO-)について、その持続長いほど予測精度が高くなるという他のレジームには見られない性質を見つけた。2では、欧州で広く知られている6つの熱波に関するレジームの抽出に成功し、なかでも英国・フランス熱波に関する予測がもっとも難しいことを示した。3では、気象局による現業予報と米国気象局の初期値と欧州気象局の予報モデルによる数値実験の比較から、予報精度が低い要因を特定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、熱波・寒波・豪雨・暴風などの顕著現象をもたらす天候レジームの予測可能性を調べたが、予測精度がどのような場合に高く(低く)なるのかを明らかにしたことは、学術的にも、減災の観点からも大変重要な結果である。また、予報ができなかった原因を探るために、各国の気象局が日々の予報で使っている初期値とモデルを入れ替える実験を行った。これは、予測できなかった原因が、初期値にあったのか、モデルにあったかを切り分ける非常に有益なツールであり、このような事例解析を積み重ねて初期値またはモデルを改良していくことは、より精度の高い天気予報を提供し、人々がより安全な生活を送ることへと繋がる。

研究成果の概要(英文)：In the study, there are three focused topics: 1. predictability of winter Euro-Atlantic (EA) regimes, 2. predictability of regime-related heatwave in EA summer, and 3. predictability of severe weather events occurred during the research period (e.g. the 2018 Western Japan Heavy Rainfall). Regarding the winter regimes, the most interesting result is that the longer the NAO- events persist, the higher the skill of forecasts initialised on NAO-. The skill dependency on regime duration is less clearly observed for the other regimes. Regarding the regime-related heatwave, 6 of 8 detected EA summer regimes are related to well-known heatwaves. The UK-France heatwave regime was least predictable. Regarding the predictability of the 2018 western Japan heavy rainfall which was highly predicted by NCEP operational forecast, joint analysis using operational forecasts and ensemble simulation with NCEP initial conditions and an ECMWF model revealed why ECMWF had lower skill for the event.

研究分野：異常気象の予測可能性

キーワード：異常気象 予測可能性 アンサンブル予報 天候レジーム 数値予報

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

比較的頻繁に起こり持続性のある大気の流れを「天候レジーム」と呼び、古くから多くの研究がなされてきた(例えば、Legras and Ghil 1985; Kimoto and Ghil 1993)。冬季欧州域では、「北大西洋振動(NAO)」、「ブロッキング現象」、「大西洋リッジ」などが、天候レジームとして知られている。天候レジームの再帰的・持続的な性質により、周辺地域に熱波・寒波・豪雨・暴風などの顕著現象がもたらされる。2014年1月、イギリス南部は約248年ぶりの大洪水に見舞われ、ライフラインの切断など、各地で甚大な被害が出た。これはNAO(正位相)が長期間持続したことにより、大西洋上を進む低気圧が継続的にイギリスに上陸し、豪雨をもたらしたことが原因である(UKMO, 2014)。また、2010年6-7月に欧州東部やロシア西部で多くの死者を出し、農作物へも甚大な被害をもたらした熱波も「ブロッキング現象」の持続により引き起こされた。このように、近年、世界各地で顕著現象が頻発しており、その人間活動への影響から、顕著現象の発生要因の究明とその精度良い予測への社会的要請が高まっている。地上の広い領域で起こる顕著現象は、本来、天候レジームのような大規模な大気の流れによって引き起こされることが多い。しかしながら、大規模な大気の流れを考慮せず、気候学的確率密度分布(cpdf)に基づいて顕著現象を単純に定義し、議論することが多い(特に温暖化予測分野)。例えば、熱波に関係するブロッキング現象の再現は数値モデルが不得意とすることの1つであるが、ブロッキング現象の再現できない数値モデルでいくら熱波の研究を行ったところで、それは現実的な状況を考えていることにはならない。このように、大規模な大気の流れと顕著現象を関連付けた上で、顕著現象の予測可能性を把握することは大変意義のあることである。

近年の計算科学や数値予報技術の発達により、昔に比べ数値予報モデル(以下、モデル)は格段に精緻化・高度化されてきたが、予測に用いる初期値の不確実性、モデルの不完全性、大気のカオス性(初期値敏感性)などの問題により、顕著現象の予測は依然として難しい。1990年代以降、これらの問題を克服するために「アンサンブル予報」が世界各国の現業数値予報機関で導入され、様々な時間スケール(短中長期、季節、気候変動)の予測で利用されるようになった。アンサンブル予報では、初期値、モデル、境界条件等が少しずつ異なる予報(予測)を複数行うため、従来の単発の予測と違い、予測のばらつきをもとに予測の不確実性や確率の情報を得ることができる。また、ある顕著現象を予測できたものと予測できなかったものを比較することで、顕著現象の発生メカニズムや予測可能性を探ることが従来に比べ容易になった。

### 2. 研究の目的

天候レジームの再帰性・持続性により、周辺地域に熱波・寒波・豪雨・暴風などの顕著現象がもたらされ、人間活動に甚大な被害をもたらす。顕著現象の精度良い予測は社会的要請が高まっているものの、予測に用いる初期値の不確実性、数値予報モデルの不完全性、大気のカオス性(初期値敏感性)などにより容易ではない。本研究では、世界各国の気象局で日々行われているアンサンブル予報、および、数値予報モデルを用いて、数日から1ヶ月先に天候レジームにより引き起こされる顕著現象(空間スケールの大きい寒波・熱波・豪雨・暴風等)の予測可能性(どの位前から発生・持続・消滅が予測可能だったのか)を調査することで、顕著現象がもたらす被害の低減に貢献することを目指す。

### 3. 研究の方法

各種観測・再解析データ(Dee et al., 2011)、TIGGE/S2S データベース(Swinbank et al. 2016; Vitart et al. 2018)に日々蓄積されている最先端現業アンサンブル予報データ、米国大気海洋局(NOAA)によるアンサンブル再予報データ(GEFS 再予報)、および、欧州中期予報センター簡易版数値予報(OpenIFS)モデルを用いて、3つの目標(1.天候レジームに関連する顕著現象(寒波・熱波・豪雨・暴風等)の抽出、2. 数日~1ヶ月先を対象に各地域各季節で起こる各顕著現象の予測可能性の調査、3.リアルタイムで起こる顕著現象の迅速な予測可能性の調査)に取り組む。

### 4. 研究成果

#### (1) 冬季欧州域における天候レジームの予測可能性

冬季欧州域における天候レジームと地上の顕著現象の関係、および、レジームの予測可能性について調査した。冬季(11-3月)500hPa 高度(Z500)偏差のPC1-20(寄与率91.8%)に対して、k-means クラスタ法を適用したところ、正/負位相の北大西洋振動(NAO)、大西洋リッジ、ブロッキングの4つの有意な天候レジームが特定された。各レジームが起こると地上では以下のような傾向にあることがわかった。

- 正位相のNAO (NAO+): 欧州全域で高温、かつ、中央~北欧州(地中海)で湿潤(乾燥)
- 負位相のNAO (NAO-): 欧州全域で低温、かつ、中央~北欧州(地中海)で乾燥(湿潤)
- 大西洋リッジ: 欧州全域で低温、かつ、西(東)欧州で乾燥(湿潤)
- ブロッキング: スカンジナビア半島と英国(中央~南欧州)で高温(低温)偏差、中央~北欧州で乾燥

これらのレジームの予測可能性を TIGGE データ(2006/07-2013/14)および GEFS 再予報データ(1985/86-2013/14)を用いて確率論的検証(ブライアスキルスコア; BSS)により調べたところ、2006/07 年以降(とくに NAO- が活発であった 2009/10 年以降)、NAO- の予測可能性がもっとも高いことが示された。しかしながら、NAO- の活動が不活発であった 2009/10 より前は、むしろ NAO- の予測可能性が 4 つのレジームの中で最も低いことがわかった(図 1 左)。より詳細に調べたところ、NAO- はその持続が長い(短い)ほど予測可能性が高い(低い)ことが分かった(図 1 右)。これは他のレジームには明瞭に見られない性質であり、予報開始時において NAO- が今後も持続するかどうかのシグナル(海洋などの境界条件等)を検出さえできれば、NAO- とそれにより欧州にもたらされる寒波の予測精度を事前に知り得ることを示している。これらの結果は査読付き論文として掲載された(Matsueda and Palmer, 2018)。

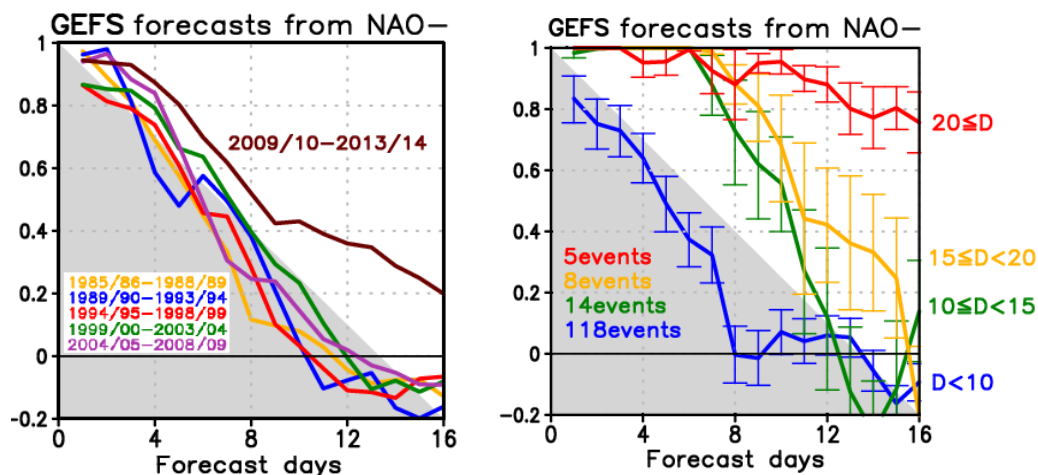


図 1: GEFS 再予報による NAO - 初期場からの予報に対するブライアスキルスコア(BSS)。(左)4 または 5 年毎の BSS (色は各期間を表す)。(右)NAO - の持続期間による BSS の違い(例えば、赤は 20 日以上持続した 5 つの NAO - イベントの初日を予報初期日とした予報の BSS)。

## (2) 夏季欧州域における天候レジームと熱波の関係、および、レジームの予測可能性

夏季欧州域における天候レジームと熱波の関係、および、それらの予測可能性について調査した。夏季(6-9 月)Z500 偏差の PC1-4(寄与率 41.0%)に対して、k-means クラスタ法を適用したところ、8 つの有意な天候レジームが特定された。そのうち 6 つのレジームは、広く知られている欧州各地の熱波(スカンジナビア、北西/中央/東ヨーロッパ、地中海、英国・フランス)にそれぞれ関連しており、従来の 4 つ、あるいは、5 つのレジームよりも地上の極端現象を議論するのに適していることが分かった。また、これらの熱波に関連するレジームのうち、2003 年 8 月に発生したような英国・フランス熱波に関する UFHW が最も予測可能性が低く、地中海熱波に関連する NAO- が最も予測可能性が高いことが分かった(図 2)。

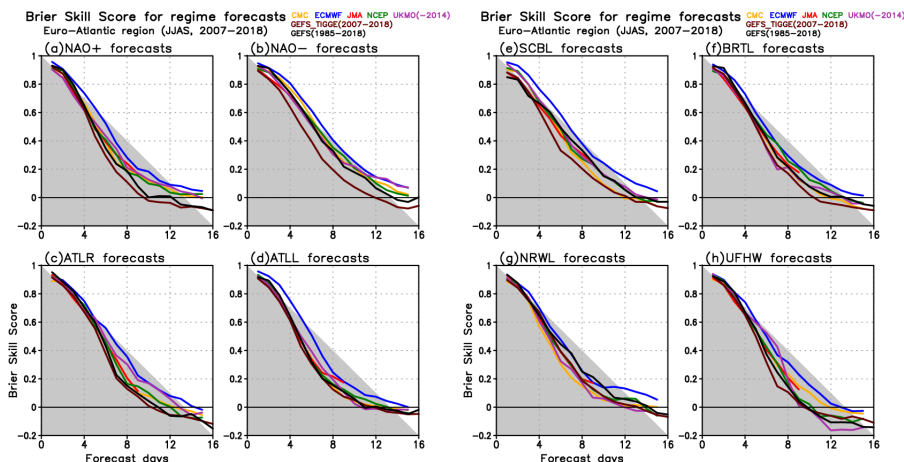


図 2: 夏季欧州域の 8 つのレジーム(NAO+, NAO-, 大西洋リッジ(ATLR)、大西洋低気圧(ATLL)、ブロッキング(SCBL)、英国低気圧(BRTL)、ノルウェー低気圧(NRWL)、英国・フランス熱波(UFHW))に対する確率予報の BSS。

(3) 2018年西日本豪雨の予測可能性

欧州、日本、米国の現業中期アンサンブル予報データ、および、筑波大学に移植した欧州中期予報センター (ECMWF) 簡易版数値予報 (OpenIFS)モデルを用いて、2018年7月上旬に日本列島で発生した豪雨 (平成30年7月豪雨)の予測可能性について調査した。この豪雨の発生要因は、日本列島が異常に発達した北太平洋高気圧と列島北側の高気圧リッジに挟まれたことによる熱帯から西日本への水蒸気の過度な流入である。現業アンサンブル予報によると、この7月6-7日の豪雨イベントは、少なくとも5日前(7月2日初期日)から予測可能であったことが分かった(図3)。米国のアンサンブル予報は最も早い7日前(6月30日初期日)から発生を予測していたため、米国のアンサンブル予報の初期値を用いてOpenIFSモデルによる予報実験を行った。実験結果は、欧州の現業予報と変わらず5日前からのみ豪雨を予測していた(図3最下段)。このことは、この豪雨イベントの予報改善には、初期値の改善よりもむしろ予報モデルの改善が必要であることを示している。本実験の手法は、顕著現象の予報ができなかった原因を切り分けるのに非常に有効であり、今後更に事例を増やすことで、顕著現象の予測精度改善に大きく貢献することができる。これらの結果は、査読付き論文として掲載が決定した(Matsunobu and Matsueda, 2019)。

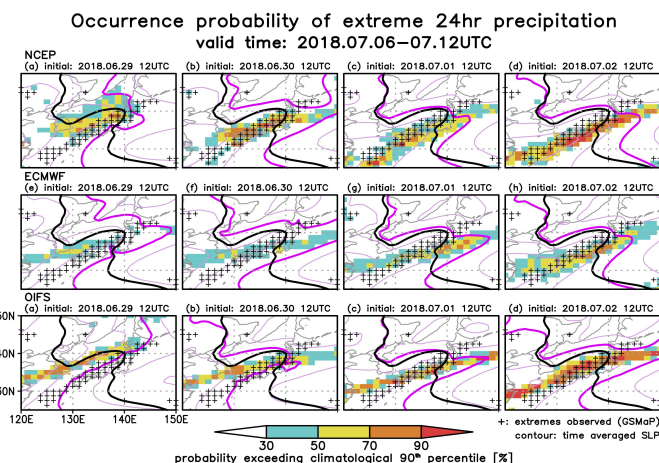


図3: 2018年西日本豪雨時(7月6-7日)を対象とした確率予報(シェード)。上段からNCEP(米国)、ECMWF(欧州)、OpenIFSモデル-NCEP初期値による実験。予報初期日は、左列から6月29日、30日、7月1日、2日。+は豪雨が発生した地点、コンターは海面更正気圧(黒:観測、ピンク:アンサンブル平均)。

(4) その他、研究期間中に発生した顕著現象の予測可能性

ブロッキング現象(北米域のレジームの1つ)の持続により米国・カナダで発生した2017年12月下旬の寒波、および、ユーラシア大陸からの寒気の吹き出し(アジア域のレジームの1つ)により日本付近で発生した2018年1月下旬以降の寒波の予測可能性について調査した。米国・カナダの寒波は、ピークの10-11日程度前からであれば精度良く予測可能であったが、ピークの12日以上からの予測では、ブロッキング現象が十分に発達せず、寒波の強さが過小評価されていた(図4)。日本付近の寒波については、1月下旬の寒波は15日以上前から十分に予測可能であったが、2月中旬以降の寒波は10日程度前からようやく予測可能となり、11日以上前からだとむしろ温暖な天候を予測しているモデルが多かった。

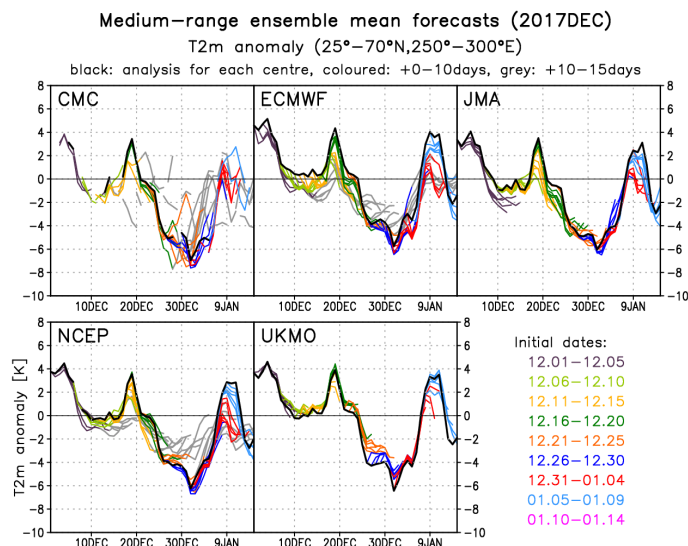


図4: 北米大陸(25-70N, 110-60W)での地上気温のアンサンブル平均予報(カナダ(CMC), 欧州(ECMWF), 日本(JMA), 米国(NCEP), 英国(UKMO))。黒線が実況で、色線が予報(初期日により色が変わり、10日予報以降は灰色)。

## 5 . 主な発表論文等

### [ 雑誌論文 ] ( 計 5 件 )

- (1) Matsunobu, T. and M. Matsueda, 2019: Assessing the predictability of heavy rainfall events in Japan in early July 2018 on medium-range timescales. *SOLA*, **15A**. (accepted). doi:10.2151/sola.15A-004.
- (2) Yamagami, A., M. Matsueda, and H. L. Tanaka, 2019: Skill of Medium-range Reforecast for Summertime Extraordinary Arctic Cyclones in 1986-2016. *Polar science*, doi:10.1016/j.polar.2019.02.003. (accepted)
- (3) Yamagami, A., M. Matsueda, and H. L. Tanaka, 2018: Medium-range Forecast Skill for Arctic Cyclones in Summer of 2008-2016. *Geophys. Res. Lett.*, **45**, 4429-4437. doi:10.1029/2018GL077278.
- (4) Matsueda, M. and T. N. Palmer, 2018: Estimates of flow-dependent predictability of wintertime Euro-Atlantic weather regimes in medium-range forecasts. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **144**, 1012-1027. doi:10.1002/qj.3265.
- (5) Matsueda, M. and M. Kyouda, 2016: Wintertime East Asian flow patterns and their predictability on medium-range timescales. *SOLA*, **12**, 121-126. doi:10.2151/sola.2016-027.

### [ 学会発表 ] ( 計 1 4 件 )

- (1) Matsueda, M., and A. Yamagami, 2018: The S2S Museum - a website of ensemble forecast products -. International Conferences on Subseasonal to Decadal Prediction. 17th - 21st September 2018, Boulder, USA.
- (2) Matsueda, M., and T. N. Palmer, 2018: Predictability of winter Pacific weather regimes and its connections with MJO on medium-range timescales. International Conferences on Subseasonal to Decadal Prediction. 17th - 21st September 2018, Boulder, USA.
- (3) Yamagami, A and M. Matsueda, 2018: Forecast Verification of Pacific/North American (PNA) Teleconnection on Sub-seasonal to Seasonal Timescales. Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting. 3rd - 8th June, 2018, Hawaii, USA.
- (4) Matsueda, M., and T. N. Palmer, 2018: Estimates of flow-dependent predictability of wintertime Euro-Atlantic weather regimes in medium-range forecasts. European Geoscience Union General Assembly 2018. 8th - 13th April, 2018, Vienna, Austria.
- (5) Yamagami, A., M. Matsueda, and H. L. Tanaka, 2018: Forecast verification of summertime Arctic cyclones on medium-range timescales. European Geoscience Union General Assembly 2018. 8th - 13th April, 2018, Vienna, Austria.
- (6) Matsueda, M., 2018: Flow-dependent predictability of wintertime Euro-Atlantic weather regimes in medium-range forecasts. Workshop "Predicting the NAO: overconfident, underconfident, or just right?". 20th Feb 2018, Oxford, UK.
- (7) Matsueda, M., and T. Nakazawa, 2017: Early warning products for severe weather events derived from operational medium-range ensemble forecasts. Conference on Predictability and Multi-Scale Prediction of High Impact Weather. 9th - 12th October, 2017, Landshut, Germany.
- (8) Matsueda, M., T. Nakazawa, and A. Yamagami, 2017: The TIGGE and S2S Museums - websites of ensemble forecast products -. 7th Verification Workshop. 8th - 11th May 2017, Berlin, Germany.
- (9) Matsueda, M., and T. N. Palmer, 2017: Predictability of winter Pacific weather regimes and its connections with MJO on medium-range timescales. European Geoscience Union General Assembly 2017. 23rd - 28th April 2017, Vienna, Austria.
- (10) Matsueda, M., 2016: Predictability of wintertime Pacific weather regimes on medium-range timescales. American Geophysical Union Fall Meeting. 12th - 16th December 2016, San Francisco, USA.
- (11) Matsueda, M., 2016: How well do medium-range ensemble forecasts simulate atmospheric blocking events? High Impact Weather and Climate Conference. 6th - 8th July 2016, Manchester, UK.
- (12) Matsueda, M., 2016: How well do medium-range ensemble forecasts simulate atmospheric blocking events? Workshop on Atmospheric Blocking. 6th - 8th April 2016, Reading, UK.
- (13) 松枝未遠, 経田正幸, 2016: 冬季東アジア域における大循環場の予測可能性. 東アジア

- ア域における大気循環の季節内変動に関する研究集会. 2016年11月8-9日, 黄檗.
- (14) 松枝未遠, 2016: アンサンブルの森に誘われて. 日本気象学会正野賞受賞記念講演. 日本気象学会 2016年度秋季大会, 2016年10月26-28日, 名古屋. (招待講演).

〔その他〕

ホームページ等

- (1) Matsueda, M., 2016: The S2S Museum. S2S News Letter No.4, 3-4 (October 2016).
- (2) 高谷祐平, 中澤哲夫, 松枝未遠, 2017: 季節内から季節予測プロジェクト (Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project). 天気, 64(6), 51-56.
- (3) The TIGGE Museum: <http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/TIGGE/>
- (4) The S2S Museum: <http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/S2S/>

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。