

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 15 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：2014～2015

課題番号：26887007

研究課題名(和文)天候レジームの予測可能性と予測精度の予測に関する研究

研究課題名(英文)On predictability of weather regimes and prediction of their forecast skills

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) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、世界各地で起こる天候レジーム(比較的頻繁に起こり持続性のある大気の流れ)の検出、および、それらの1-2週間先までの予測可能性を調査するとともに、それらの予測精度を事前に知る手がかりを得ることを目指した。本研究により、各領域ごとに特徴的な天候レジームの予測可能性、レジーム・サーキット(ある天候レジームから始まり、複数の天候レジームを経由して、また再びその天候レジームに戻る)の存在、マッデン・ジュリアン振動が天候レジームの予測可能性を事前に知る上での指標になりうること等が分かった。

研究成果の概要(英文)：This study have assessed predictability of weather regime (persistent and/or recurring large-scale atmospheric flow pattern) on medium-range timescale and have tried to find some clues to know forecast skills of regimes in advance. My findings are that (1) predictability of regimes strongly depends on regions, (2) there are some preferred circuits of regimes in some regions, and (3) the Madden-Julian Oscillation can be a metric to know forecast skills of regimes in advance.

研究分野：大気科学

キーワード：天候レジーム 予測可能性 アンサンブル予報 異常気象 数値予報

### 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, 1993a,b)。冬季欧州域では、「北大西振動(NAO)」、「ブロッキング」、「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、しばしば周辺地域に熱波・寒波・豪雨などの異常気象がもたらされる。2014年1月、イギリス南部は250年ぶりの大洪水に見舞われ、ライフラインの切断など、各地に甚大な被害をもたらした。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次から次へとイギリスを目指し大西洋を横断して来たことが原因である。また、2010年6-7月に欧州東部やロシア南部で多くの死者を出し、農作物への甚大な被害をもたらした熱波も「ブロッキング」の持続により引き起こされた(Matsueda, 2011)。このように、近年、世界各地で異常気象が頻発しており、その人間活動への影響から、異常気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。

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・高度化されている。しかしながら、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、異常気象を現在より精度良く予測することはできても、完璧に予測することは不可能である。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、計算科学分野等の発達と共に、様々な時間スケールの予測(短中長期、季節、気候変動)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、従来の単発の予報と違い、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、ある異常気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、異常気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(異常気象は頻繁に起こらないため、従来の予報では同様の異常気象の事例を複数集めるのが困難であった)。

### 2. 研究の目的

本研究では、再解析データ、および、世界各国の数値予報機関で日々行われているアンサンブル予報を用いて、世界各地で起こる天候レジームの検出、および、それらの予測可能性を調査するとともに、それらの予測精度を事前に知る(予測する)手がかりを得ることで、社会的に影響の大きい異常気象を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

#### (1) 使用データ

天候レジームの特定、および、実況の把握には、ERA-Interim (Dee et al. 2011)を利用した。15日先までを予報期間とする現業中期アンサンブル予報データとして、TIGGE (Swinbank et al. 2016; 予報精度の高いCMC(加), ECMWF(欧), JMA(日), NCEP(米), UKMO(英)のみ利用)、および、米国大気海洋局(NOAA) GEFS 再予報 (Hamill et al., 2013) を利用した(TIGGEは2006/07-2013/14、GEFSは1985/86-2013/14を利用)。

#### (2) k-means法によるクラスタリング

Jung et al. (2005)によるk-means法を用いて、世界各地(欧州、北米、アジア域、北極、オセアニア、南米)の夏季および冬季の天候レジームを検出した。その際、各領域におけるERA-interimの500hPa高度場(Z500)偏差の20主成分に対してk-means法を適用した。

予報データについては、予報偏差(予報値とERA-Interim気候値の差)をERA-Interimから得られたEOFに射影することで得られた20主成分とERA-Interimから得られたレジーム(クラスタ中心)の距離を計算し、その距離が最も近いものを予報レジームと定義した。

### 4. 研究成果

#### (1) 世界各地の天候レジームの検出とその特徴

世界の主要な領域(欧州、北米、アジア域、北極、南米、オセアニア)の夏季および冬季に対して、k-means法を行い、天候レジームの検出を行った。例えば、図1は冬季東アジア域の天候レジームである。

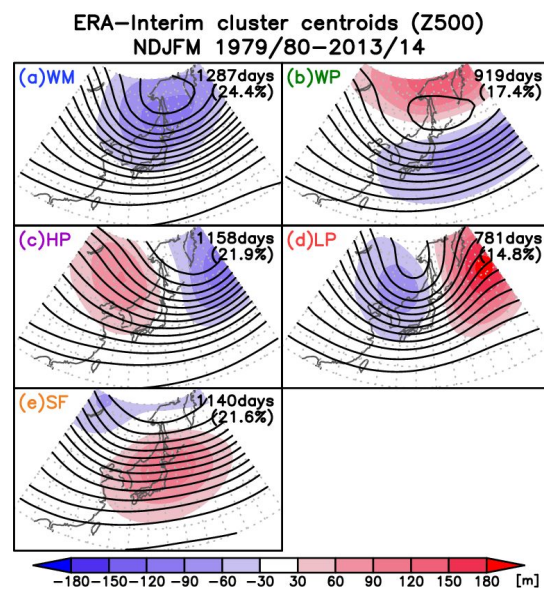


図1 冬季東アジア域における天候レジーム。(a)冬型(WM)、(b) Western Pacific型(WP)、(c)高気圧型(HP)、(d)低気圧型(LP)、(e)南風型(SF)。

冬季東アジア域の天候レジームとして、冬型(WM)、Western Pacific 型(WP)、高気圧型(HP)、低気圧型(LP)、南風型(SF)が得られた。Z500 偏差場に対して k-means 法クラスタリングを行ったにも関わらず、各レジームに対する地上気圧場は、日本人にとって見慣れたものになっている(図 2)のは大変興味深い(地上気圧場に直接 k-means 法を行ってもこのように綺麗に分類されない)。

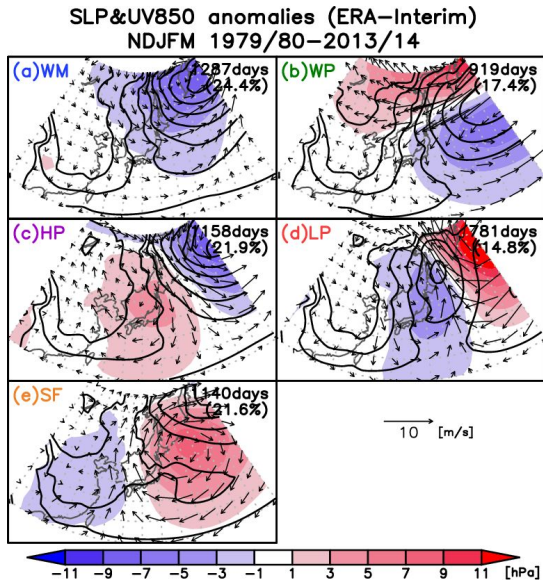


図 2 冬季東アジア域の天候レジームに対応する海面更正気圧(コンター・陰影)と 850hPa 風偏差(矢羽根)。

天候レジームは領域ごとに興味深い特徴を持っている。例えば、冬季アジア域では、レジーム間遷移が特徴的で、異なる天候レジーム間の遷移が他季節・他領域よりも頻繁に起こることが分かった(図 3; 他領域・他季節では異なる天候レジーム間の遷移頻度は高々 0.1)。

to \ from	WM	WP	HP	LP	SF
WM	0.71	0.03	<u>0.13</u>	0.05	0.08
WP	0.03	0.76	<u>0.12</u>	0.05	0.04
HP	0.08	0.06	0.68	0.01	<u>0.17</u>
LP	<u>0.19</u>	<u>0.12</u>	0.03	0.56	0.10
SF	0.08	0.02	0.06	<u>0.20</u>	0.64

図 3 冬季東アジア域のレジーム間遷移頻度。

結果として、ある天候レジームから始まり、複数の天候レジームを経由してまた再びその天候レジームに戻ってくるレジーム・サーキット(ここでは、WM (または WP) HP SF LP WM(または WP))が冬季東アジア域で頻繁に起こっていた事が分かった。このサーキットの周期は平均すると 10 日程度であり、サーキットが連続的に数回繰り返されることもあった。他の領域でもサーキットの存在

は確認できたが、東アジア域ほど高頻度でサーキットが起こっているわけではなかった。

(2) エルニーニョ/ラニーニャ現象やマッデン・ジュリアン振動(MJO)と天候レジームの関係

海洋の卓越変動であるエルニーニョ/ラニーニャ現象と天候レジームの関係調べたところ、エルニーニョ/ラニーニャ現象が世界各地の特定の天候レジームの出現頻度を有意に変えうることが示された。冬季東アジア域を例にとると、エルニーニョ現象は、高気圧型(HP)と南風型(SF)の出現頻度を有意に増加させ、Western Pacific 型(WP)の出現頻度を有意に低下させるのに対し、ラニーニャ現象は、高気圧型(HP)の出現頻度のみを有意に増加させるのが分かった(表 1)。

	WM	WP	HP	LP	SF
El Nino (35 months)	24.4%	<b>10.2%</b>	<b>25.5%</b>	12.6%	<b>27.2%</b>
Neutral (112 months)	24.4%	20.3%	19.7%	15.4%	20.2%
La Nina (28 months)	26.3%	14.7%	<b>26.0%</b>	15.0%	20.0%

表 1 エルニーニョ期/ニュートラル/ラニーニャ期における天候レジームの出現頻度(太線(下線)は、有意水準 5%(10%)でその出現頻度が変化する事を表す)。

また、熱帯大気卓越変動である MJO が天候レジームに与える影響も調べた。その結果、エルニーニョ/ラニーニャ現象同様に、MJO が世界各地の特定の天候レジームの出現頻度を有意に変えうることが分かった。図 4 は、MJO の位相(活動活発域)ごとの、冬季東アジア域天候レジームの出現頻度の変化を表す。MJO の東進(右から 2 列目上から 1-3 つ目のパネル)に伴い、低気圧型の出現頻度が有意に増加(オレンジ色)をしているのが分かる。このことは、MJO が低気圧を介してサーキットに影響を及ぼしうることを示唆している。

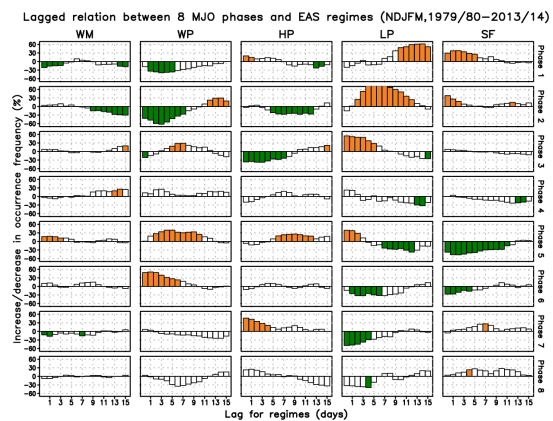


図 4 MJO の位相(活動活発域)と冬季東アジア域天候レジームの出現頻度との関係(縦軸:天候レジームの出現頻度、横軸:天候レジームの MJO に対する遅れ)。オレンジ(緑)は、天候レジームの有意な増加(減少)を示す。

さらに、MJO の位相(活動活発域)ごとに、天候レジームの予測可能性を調べたところ、MJO が特定の領域で活発な時にレジームの予

測精度が向上(低下)することがあることが分かった(予報精度を向上(低下)させる MJ0 の活動活発域は地域により異なる)。例えば、図 5 は、MJ0 の活動活発域が低気圧型(LP)レジーム(冬季東アジア域天候レジームの1つ)の予報精度に与える影響を見たものである。MJ0 がインド洋上を東進しているとき(右図、phase 2)、LP レジームの予報精度が著しく低下しているのが分かる(通常(左図)は15日先まで価値のある予報が行えるが、MJ0 がインド洋を東進する際(右図)は7日程度で予報としての価値がなくなる)。このことは、天候レジームの予報精度の善し悪しを MJ0 の活動活発域により事前に知ることができることを意味する。

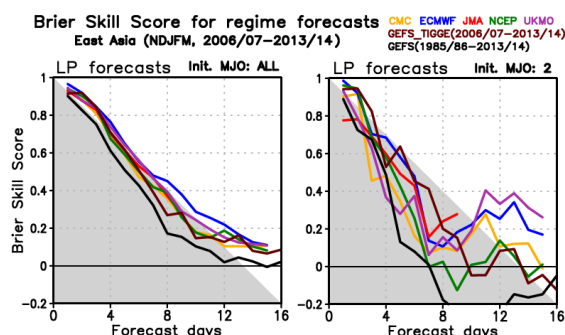


図 5 MJ0 の活動活発域が低気圧型(LP)レジームの予報精度(ブライアスキルスコア; 1 は完全予報、0 以下は予報として価値がないことを表す)に与える影響(左: 全予報サンプルに対するもの、右: MJ0 がインド洋を東進しているときのもの)。

#### < 引用文献 >

- Legras, B., and M. Ghil, 1985: Persistent anomalies, blocking and variations in atmospheric predictability. *J. Atmos. Sci.*, 42, 433-471.
- Kimoto, M., and M. Ghil, 1993a: Multiple Flow Regimes in the Northern Hemisphere Winter. Part I: Methodology and Hemispheric Regimes. *J. Atmos. Sci.* 50. 2625-2643.
- Kimoto, M., and M. Ghil, 1993b: Multiple Flow Regimes in the Northern Hemisphere Winter. Part II: Sectorial Regimes and Preferred Transitions. *J. Atmos. Sci.* 50. 2645-2673.
- Matsueda, M., 2011: Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L06801, doi:10.1029/2010GL046557.
- Dee, D. P., and 35 co-authors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 137, 553-597. DOI: 10.1002/qj.828.
- Swinbank, R., M. Kyouda, P. Buchanan,

- L. Froude, T. M. Hamill, T. Hewson, J. H. Keller, M. Matsueda, J. Methven, F. Pappernberger, M. Scheuerer, H. Titley, M. Yamaguchi, and L. Wilson, 2015: The TIGGE Project and its Achievements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 97, 49 - 67. doi:10.1175/BAMS-D-13-00191.1.
- Hamill T.M., 2012: Verification of TIGGE Multimodel and ECMWF Reforecast-Calibrated Probabilistic Precipitation Forecasts over the Contiguous United States. *Mon. Wea. Rev.*, 140, 2232-2252. doi: http://dx.doi.org/10.1175/MWR-D-11-00220.1.
- Jung, T., T. N. Palmer, and G. J. Shutts. 2005: Influence of a stochastic parameterization on the frequency of occurrence of North Pacific weather regimes in the ECMWF model, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L23811, doi:10.1029/2005GL024248.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件、査読あり)

- Swinbank, R., M. Kyouda, P. Buchanan, L. Froude, T. M. Hamill, T. Hewson, J. H. Keller, M. Matsueda, J. Methven, F. Pappernberger, M. Scheuerer, H. Titley, M. Yamaguchi, and L. Wilson, 2016: The THORPEX Interactive Grand Global Ensemble (TIGGE) and its Achievements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 97. 49 - 67. DOI:10.1175/BAMS-D-13-00191.1.

[学会発表](計6件)

- Matsueda, M., S. Corti, and T. N. Palmer, 2015: Flow-dependent predictability of summertime uro-Atlantic weather regimes at medium-range timescale. Workshop on sub-seasonal predictability. 2nd - 5th November 2015, Reading, UK.
- Matsueda, M. and T. N. Palmer, 2015: Flow-dependent predictability of summertime Euro-Atlantic weather regimes at medium-range timescale. 26th IUGG General Assembly 2015. 22th June - 2nd July 2015, Prague, Czech Republic.
- Kyouda, M. and M. Matsueda, 2015: Predictability of wintertime East-Asian weather regimes in medium-range forecasts. PANDOWAE Final Symposium. 18th - 21st May 2015, Karlsruhe, Germany.
- 松枝未遠, 経田正幸, 2015: 冬季東アジア

ア域における天候レジームの予測可能性.  
日本気象学会 (秋季). 2015 年 10 月 30  
日, 京都府京都市.

松枝未遠, 2015: TIGGE および S2S デー  
タを使った予測可能性研究. :「極域・寒  
冷域」及び「観測システム・予測可能性」  
合同研究連絡会. 2015 年 10 月 28 日, 京  
都府京都市.

松枝未遠, 2015: グランドアンサンブル  
による顕著現象予測 - より信頼できる  
予報を目指して -. 第 12 回天気予報研  
究会. 2015 年 2 月 20 日, 東京都千代田  
区.

松枝未遠, 中澤哲夫, 2014:TIGGE データ  
を利用した顕著現象発生予測プロダクト  
の開発とその評価. 急発達する低気圧の  
実態・予測・災害軽減に関する研究集会.  
2014 年 11 月 17 日, 京都府宇治市.

〔その他〕

ホームページ等

TIGGE Museum:

<http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/TIGGE/>

## 6. 研究組織

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: 8 0 7 3 8 6 9 1