

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

松枝未遠(筑波大学 CCS/University of Oxford)・中澤哲夫(WMO)

1. はじめに

近年の計算科学分野の発達により、世界各国の現業数値予報機関で様々な時間スケールのアンサンブル予報が行われるようになり、確率情報の提供、予報のばらつきをもとにした不確実性の定量化などに利用されるようになった。

WMO(世界気象機関)による1-2週間先の大気顕著現象の予測精度の向上を目指したTHORPEX (The Observing system Research and Predictability Experiment, WMO 2005)プロジェクトのなかで、中期アンサンブル予報データを蓄積したTIGGE(THORPEX Interactive Grand Global Ensemble, Swinbank et al. 2015)データベースが公開されたことにより、現業中期アンサンブル予報データはより身近な存在となった。本発表では、TIGGE データを利用したグランドアンサンブルによる、熱波、寒波、強風、豪雨の顕著現象発生予測プロダクトを紹介する(詳細については、Matsueda and Nakazawa, 2014を参照のこと)。なお、本プロダクトは、TIGGE Museum:

<http://tparc.mri-jma.go.jp/TIGGE/>にて準リアルタイム公開されている。

2. 手法

2.1 各種データ

本プロダクトでは、熱波、寒波、強風、豪雨を対象とするので、地上気温(T2m)、地上風速(U10m, V10m)、降水量の予報、再解析・観測データを利用した。

TIGGE データベースで利用可能な世界の10の数値予報機関のアンサンブル予報データのうち、予測精度が高く、データができるだけ長期間利用できる、ECMWF(欧州中期予報センター)、JMA(気象庁)、NCEP(米国環境予測局)、

UKMO(英国気象局)の予報データ利用した(各機関のアンサンブル予報システム(初期摂動法、アンサンブルサイズ、予報時間など)は異なる)。実況の把握には、ERA-Interim (Dee et al. 2011)、および、GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation system, Aonashi et al. 2009)を用いた。なお、予報、再解析・観測データとも1.25度格子に内挿した。

2.1 各モデルの気候学的確率密度関数を基にした顕著現象の発生確率の定義

一般に、数値予報モデルは、“くせ”をもっているため、モデル気候値は互いに異なる(例えば、降水量50mm/hrが、あるモデルにとっての豪雨であっても、他のモデルにとっても豪雨であるとは限らない。人間にも涙もろい人とそうで無い人(あるいは平熱が高い人と低い人)がいることから容易に理解できるだろう。)。そのため、複数のモデルによるグランドアンサンブルを考える場合、気候値の違いを考えることが重要である。また同様に、モデル検証の際に、観測(現実世界)の50mm/hrがモデル世界の50mm/hrと必ずしも一致しないことにも注意が必要となる。

本研究では、各モデルあるいは再解析(観測)データの気候学的確率密度関数(CPDF)を基に、グランドアンサンブルの構築およびその検証を行った。各カレンダー日のCPDFをよりもっともらしく見積もるためには、できるだけ多くのサンプルが必要となるが、TIGGEデータは高々8年程度しかない(理想的には、豊富な事例を含む reforecast データから CPDF を見積もりたいが、一部機関でしか reforecast が行われていない(Hamill et al. 2013))。そこで、対象日(例えば1月16日)の前後15日(1月1-15日と1月17-31日)は気

候学的に同じような状態にあるとみなし、できるだけ多くのサンプルを利用した。また、予報データについては、アンサンブルメンバーも CPDF の見積りに用いた。さらに、モデル気候値は予報時間に依存するため、各予報時間ごとに CPDF を見積もった。例えば、ECMWF のアンサンブルで 1 月 16 日の顕著現象予測 (3 日予報) を行う場合、CPDF の見積りに利用するサンプル数は、7,905 (=51 メンバー × 31 日 × 5 年) となる (現時点では、2006 年 10 月から 2011 年 1 月のデータから CPDF を見積もっている)。

各要素、各格子点、各モデル、各カレンダー日、各予報時間ごとに CPD を見積もった後、ある閾値 (パーセンタイル値) を超える (下回る) アンサンブルメンバーの数を数えることで確率予報値を定義した。グランドアンサンブル構築の際には、各モデルの CPD を基に、確率予報値を定義した (これによりモデルバイアスを考慮したグランドアンサンブルとなる)。本プロダクトは、高低温、豪雨、強風などの極端現象の予測を目的とするので、1, 5, 10, 90, 95, 99 パーセンタイル値を極端現象の閾値として用いた。

再解析・観測データについても、それぞれのデータの CPD (予報データと同じ期間のデータから見積もった) を基に、顕著現象の発生の有無を定義した。

2.3 確率予報の検証

本プロダクトの検証は、確率予報の検証で広く用いられる reliability diagram と Brier Skill Score (BSS) により行った (指標の詳細は Wilks (2011) を参照)。

3. 事例解析

3.1 ハリケーン Sandy (2012)

ハリケーン Sandy の元となるストームは、2012 年 10 月 22 日にカリブ海で発生し、10 月 24 日にジャマイカ周辺でハリケーンとなった。その後、アメリカ東岸に沿うように北東に進み、そのまま大西洋へ進

むと思われたが、10 月 29 日に突如進行方向を北北西に変え、New Jersey 州に上陸した (その時の中心気圧は 946 hPa)。Sandy による強風は中心から 800km にまでおよび、高潮、洪水、停電などを広範囲にもたらした。

図 1 は、2012 年 10 月 23 日 12UTC を初期値とする Sandy 周辺での強風 (95 パーセンタイル値で定義) の確率予報 (6 日予報, 図 1a-e) と実況 (図 1f および図 1a-e の+) である。ECMWF と UKMO は Sandy の位置と強風の発生位置をよく予測できていたのが分かる。JMA と NCEP は Sandy の進路が東から南東にずれる傾向にあったため、強風の発生位置の確率予報にも影響した。このように機関ごとに予報確率に大きな違いがあるものの、これらを組み合わせた、グランドアンサンブルは、強風の発生を 50% 以上の確率 (黄色) でとらえることができた。

3.2 パキスタン洪水 (2010)

2010 年 7 月 29 日から 8 月 26 日にインダス川全域で発生したパキスタン史上最悪の洪水は、約 2,000 万人に直接影響を及ぼしただけではなく、約 1 億 3,000 ヘクタールの農耕地を浸水させ、特に、綿、サトウキビ、米、小麦に甚大な被害を及ぼした。

図 2 は、2010 年 7 月 21 日 12UTC を初期値とするインダス川流域での豪雨 (95 パーセンタイル値で定義) の確率予報 (7 日予報, 図 2a-e) と実況 (図 2f および図 2a-e の+) である。NCEP が豪雨の発生を 90% 以上の高確率で予測できていたのに対し、それ以外の機関は 50% 以下の低確率で豪雨の発生範囲を予測していたことが分かる。結果として、30-70% の確率でグランドアンサンブルも豪雨の発生範囲をとらえることができた。NCEP は 10 日予報であっても、豪雨の発生を 70% 以上の確率で予測できており (図省略)、NCEP にとっては予測可能性の高い現象であったと言える。

Occurrence probability of extreme surface wind speed
Initial: 2012.10.23.12UTC, Valid: 2012.10.29.12UTC

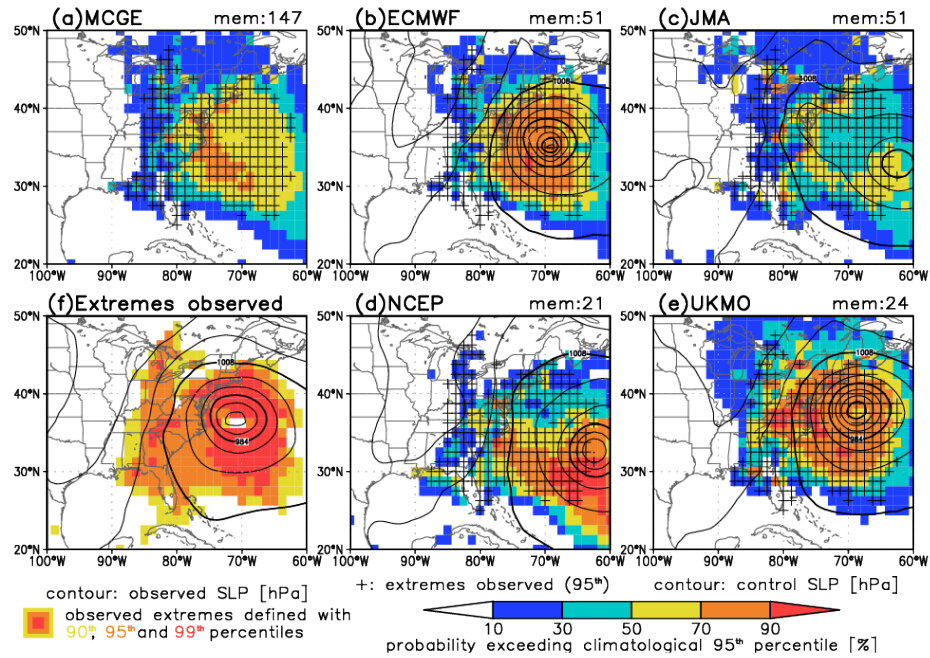


図 1: ハリケーン Sandy による強風の発生確率 (a: グランドアンサンブル, b: ECMWF, c: JMA, d: NCEP, e: UKMO)と(f)実況(95 パーセンタイル値を超えた格子点は a-e にも+で示した)。2012 年 10 月 23 日 12UTC を初期時刻とする 6 日予報。(b)-(e)のコンターはコントロールランの SLP。

Occurrence probability of extreme 24hr precipitation
Valid: 2010.07.21.12UTC +6-7days

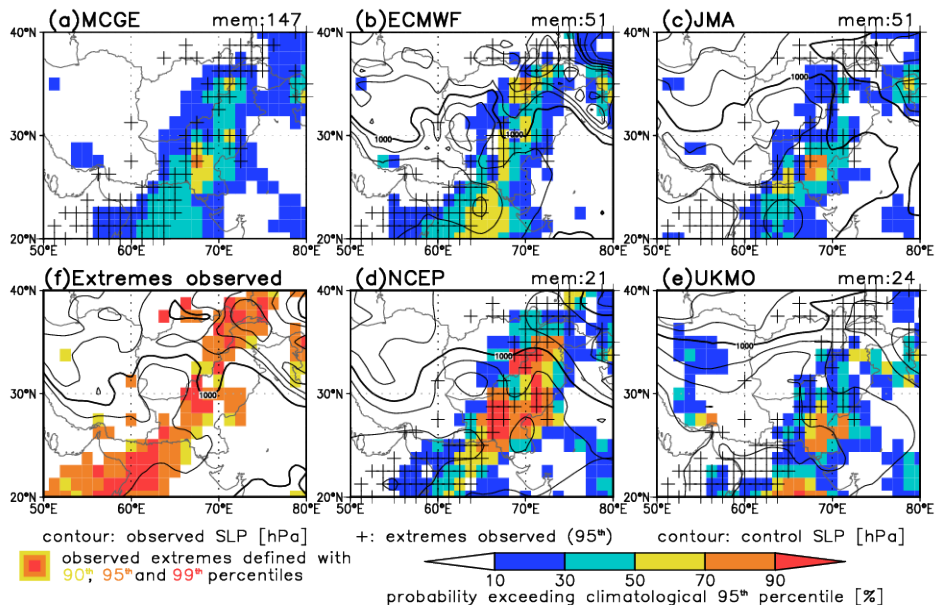


図 2: 図 1 と同じ。ただし、2010 年 7 月にパキスタンに史上最悪の洪水をもたらした豪雨の確率予報。2010 年 7 月 21 日 12UTC を初期時刻とする 7 日予報。

4. Reliability diagram と BSS による検証

図 3 は、95 パーセンタイル値で定義した豪雨の確率予報に対する reliability diagram と BSS である。どの予報時間においても、ECMWF が他機関を上回っている。しかしながら、ECMWF の 3 日予報であっても回帰直線の傾きが理想とされる 45 度より小さい overconfident (例えるなら「オオカミ少年」)であり、9 日先までに気候学的確率予報と同程度のスキルになる (BSS=0 で気候学的予報と同スキル)。これは、高低温・強風においても見られる (図は原論文を参照)。

各モデルの CPDF に基づきグランドアンサンブルを構築することにより、すべての予報時間において、その回帰直線の傾きは 45 度に近づくようになり (図 3 最左列)、単独機関のアンサンブル予報を上回るようになる。しかしながら、それでもなお overconfident であり (強風については、5 日予報までの回帰直線の傾きはほぼ 45 度になる)、9 日予報では気候学的確率予報に勝るものの、15 日予報では依然として気候学的確率予報に劣る。以上の結果は、他の要素や他のパーセンタイル値で定義した極端現象についても同様に見られた。

グランドアンサンブルの構築による reliability の改善理由 (回帰直線が 45 度に近づく理由) を ECMWF の reliability diagram を基に考えてみる。図 1 と図 2 から分かるように、極端現象の予測においては、特定の機関が常に極端現象を精度良く予測するわけではなく、事例により精度の良い機関は異なる。そのため、例えば、ある極端現象が 100% の確率で起こると ECMWF が予測していても、他機関がそれを否定すれば、グランドアンサンブルでの発生確率は下がることになり (高確率のサンプル数も減る)、逆に、肯定すればグランドアンサンブルの発生確率も高いままとなる (おそらくこの場合は、顕著現象が実際にもよく発生するだろう)。結果として、ECMWF の予報に他機関の予

報を加えることで、高確率の予報の数は減るものの、(多数決に基づいた) より信頼できる高確率の予報が残ることになり、回帰直線の傾きが 45 度に近づくようになる。

5. まとめ

TIGGE データを用いた準リアルタイム顕著現象発生予測プロダクトを開発し、その性能評価を行った。各モデルの CPDF に基づいたグランドアンサンブルの構築により、高低温・豪雨・強風などの顕著現象に対して、単独機関のアンサンブルよりもより信頼度の高い、高性能の確率予報が得られることが分かった。

参考文献

- Aonashi K, and coauthors, 2009: GSMaP passive, microwave precipitation retrieval algorithm: Algorithm description and validation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87A**, 119–136.
- Swinbank R. and coauthors, 2015: The TIGGE project Project and its Achievements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* (in revision).
- Dee DP, and coauthors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, **137**, 553–597.
- Hamill TM, and coauthors, 2013: NOAA's second-generation global medium-range ensemble reforecast data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **94**, 1553–1565.
- Matsueda, M. and T. Nakazawa, 2014: Early warning products for severe weather events derived from operational medium-range ensemble forecasts. *Meteorol. Appl.* doi: 10.1002/met.1444.
- Wilks D. 2011. *Statistical methods in the atmospheric science, third ed.* Academic press, Oxford.
- WMO. 2005. `THORPEX.` WMO-No. 978, Geneva.

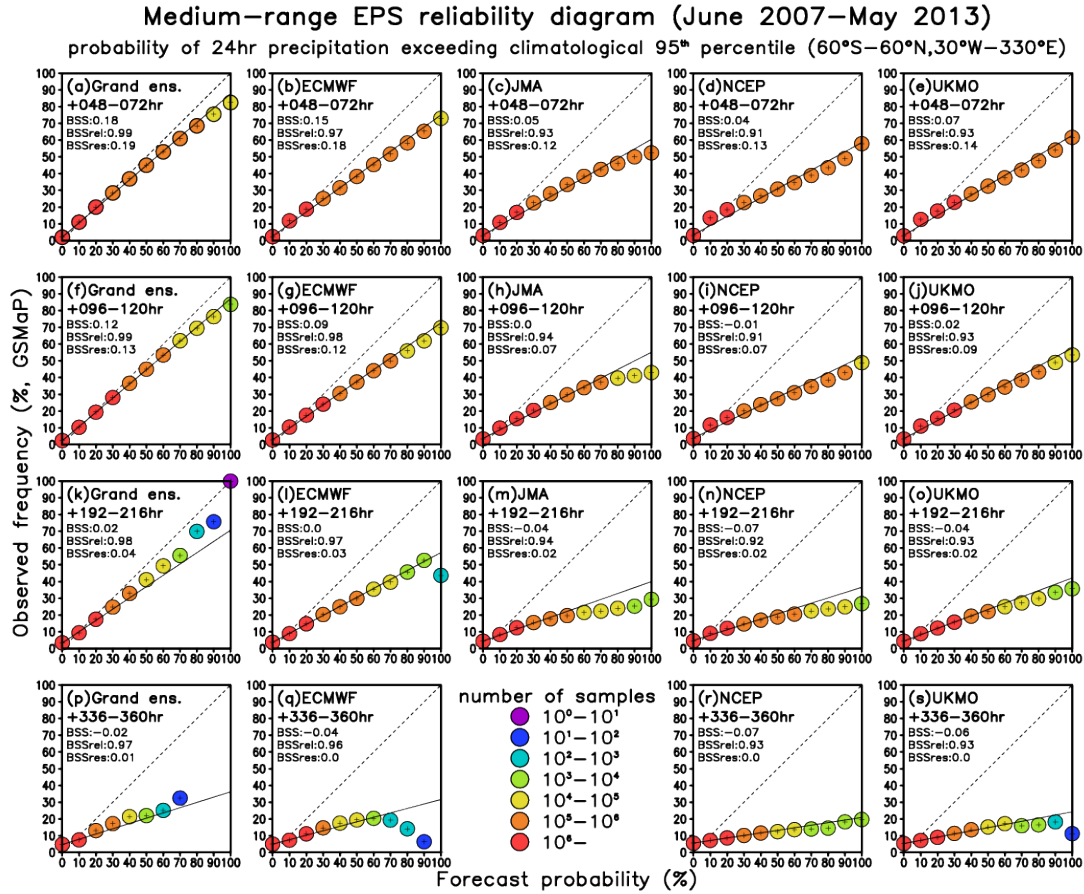


図3: 95パーセンタイル値によって定義した豪雨の確率予報に対するreliability diagramsとBSS ((a)–(e)3日予報、(f)–(j)5日予報、(k)–(o)9日予報、p–s: 15日予報)。左列からグランドアンサンブル、ECMWF、JMA、NCEP、UKMO。検証期間は2007年6月から2013年5月で、観測データが利用可能な南緯60度から北緯60度を対象とした。サンプル数により加重した回帰直線、および、BSSを分解した際の各要素 ($BSS=BSS_{rel}+BSS_{res}-1$)を各パネルに示した。