

第12回天気予報研究会の開催報告

第12回天気予報研究会が、2015年2月20日に気象庁講堂で開催されたので報告する。

近年はアンサンブル予報技術の開発とその実用化が進み、気象庁では、週間アンサンブル予報システム、台風アンサンブル予報システムがそれぞれ週間天気予報業務、台風予報業務の技術資料として用いられ、予報精度の改善がなされている。そこで今回は、3日から10日の中期予報に焦点を当て、主に週間予報の技術的現状と課題、および発表された予報の具体的な利活用について講演ならびに討論を行った。

研究会では、週間予報、台風予報を作成、発表する気象庁予報部から気象庁現業アンサンブル予報システムの特徴と現業業務での利活用、台風進路予報について講演があった。また、利用者の立場からサクランボ栽培と天気予報の利用、さらに、顕著現象の予測について、発表方法の提案、およびグランドアンサンブルの開発の現状と予測可能性について講演があった。討論では特に、グランドアンサンブルの利用や将来について多くの質疑があった。

当日は、気象庁、防衛庁、民間気象会社、航空会社、新聞社の職員や気象予報士等、約100人が参加した。

(下山紀夫)

2014年度天気予報研究連絡会運営委員

下山紀夫 (日本気象予報士会) 委員長
 伊藤みゆき (NHK ラジオ気象キャスター)
 黒良龍太 (気象庁予報部)
 登内道彦 (気象業務支援センター)
 中里真久 (気象庁観測部)
 平松信昭 (日本気象協会)
 吉野勝美

(所属は当時のもの)

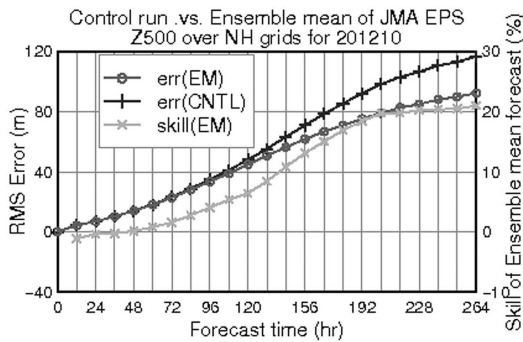
【講演】

1. 気象庁現業アンサンブル予報システムの特徴と顕著現象予測への利活用

経田正幸 (気象庁予報部数値予報課)

現在の数値予報技術は予報業務に不可欠な水準にまで達しているものの、一方で数値予報の不確実性は原理的に避けられない内在する問題でもある。数値予報による中期予報の難しさは、初期値にある僅かな誤差が増幅し、その大きさがしばしば予測結果の価値を失うほどまで達してしまう点にある。例えば、500 hPa 面高度で見た日々の大気の流れの予測値の誤差(解析値との平方根平均二乗誤差)は、予測期間後半で毎回のばらつきが大きく、9日程度先で気候値予報と同程度の大きさになる、という傾向を示すなど、中期予報では低気圧の動向の確からしさが常に問題となる。このため、近年は数値予報に不確実性があることを前提とするアンサンブル予報技術の開発とその実用化が盛んに行われている。

気象庁では、2001年3月に週間アンサンブル予報システム(週間EPS)、2008年2月に台風EPSの運用を開始し、それぞれ週間天気予報業務、台風予報業務の技術資料として用いている。毎回のアンサンブル予測値を統計処理することで様々な情報が導き出せることとなるが、実際に週間EPSによる27個の予測の平均(アンサンブル平均)を検証すると単独の数値予報や気候値予報よりも統計的に誤差が小さく有用なものであることがわかる(第1図)。また、先を見越した防災行動のために、早い段階から台風や急速に発達する低気圧に関する注意喚起を行うことが求められていることを踏まえ、台風EPSによる25個の台風中心追跡結果に基づいて台風の接近に関する情報提供可能性を検証した。ここでは、台風の接近を初期時刻から5日先までに半径120 km の円内に入る現象と定義している。第2図に示す検証結果から、高い確率の予測頻度は限られるものの、現象の予測とその実況頻度には正比例の関係があり、台風接近を高い信頼性で予測出来ていることがわかる。

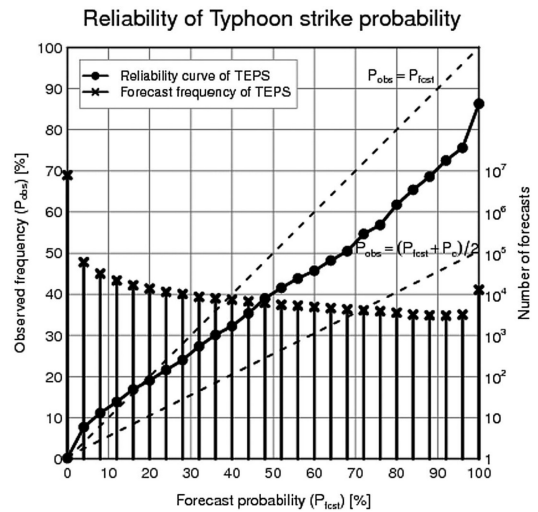


第1図 週間アンサンブル予報のアンサンブル平均予報とコントロール予報の検証結果。検証の期間は2012年10月、要素は500 hPa 面高度、領域は北半球域（北緯20度以北）である。図の横軸は予報時間（単位は時間）である。○印線と+印線は、それぞれアンサンブル平均予報とコントロール予報の平方根平均二乗誤差の月平均値（左縦軸，単位はm）を表す。また、×印線はコントロール予報に対するアンサンブル平均予報の改善率（右縦軸，単位%）を表す（経田ほか 2013）。

質疑では、単独予報の誤差が気候値予報の誤差を上回る期間でもアンサンブル平均の誤差は気候値予報より小さくなることの解釈について質問があった。こうした期間では、単独予報での日々の高低気圧の位置は、実際からずれていて、ずれの程度が高低気圧の位置を特定しない気候値予報よりも大きく、情報価値が失われていること、一方、こうした場面ではアンサンブル予報による高低気圧のばらつきは大きくなりその価値は気候値予報程度となるものの、それ以外の場面（高低気圧の位置のばらつきが小さい）ではある程度の精度があり全体の精度は気候値予報より高まる、といった結果であると解説した。

参考文献

- 経田正幸，越智健太，2014：台風アンサンブル予報システム。平成26年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，62-71。
 経田正幸，山口春季，檜垣将和，2013：週間・台風アンサンブル予報の検証。数値予報課報告・別冊第59号，気象庁予報部，34-44。



第2図 2011年から2013年までの台風アンサンブル予報（現行システムと同じ仕様で実行した予報実験の結果）による台風接近確率の確率値別出現率図。図の横軸は確率 P_{fcst} 、左縦軸は実際の出現頻度 P_{obs} である。●を結ぶ曲線は信頼度曲線、複数の×印縦線は確率毎の予測度数（右縦軸参照。対数軸であることに注意）を示す。なお、確率の信頼度が完全な場合 ($P_{obs} = P_{fcst}$) の信頼度曲線は傾き1、切片0の直線（ここでは破線で示す対角線）となる。また、ここでの気候学的出現率 P_c は約1%と小さく、no-skill line の信頼度曲線 $P_{obs} = (P_{fcst} + P_c) / 2$ は傾き1/2、y切片0.5%の破線である（経田・越智（2014）の図2.2.14から一部抜粋）。

2. アンサンブル予報技術の現業業務での活用 ～週間天気予報～

高山 大（気象庁予報部予報課）

気象庁が現在実施している現業業務のうち、中期予報にあたる週間天気予報は長期予報にあたる季節予報とともに、アンサンブル予報技術を基盤にしている。本講演では、はじめに、毎日発表している週間天気予報でのアンサンブル予報技術の利用実態を紹介した。

具体的には、現業業務で実際に使用している「週間アンサンブルモデルのFAX資料」に記載しているすべての図について、情報内容や用途および着眼点などを説明した。その際、「FAX資料にあるスプレッドと週間予報で発表している信頼度の関係は？」という質問が寄せられ、「スプレッドはその日のメンバー間のバラツキの大きさを表しており、一般的にはバラツ

キが大きいと予報の確度が下がって信頼度は低くなるという関係にある。ただし、週間予報で発表している信頼度は降水の有無に特化した情報なので、スプレッドの大きさと密接にリンクしているわけではない。」と回答した。

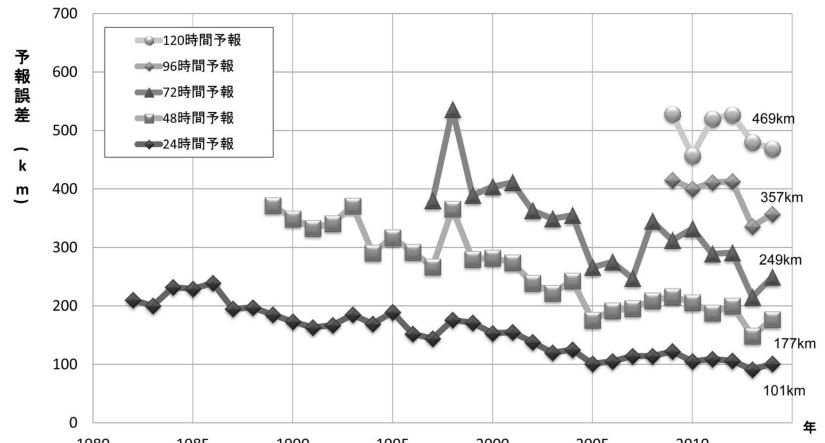
次に、週間天気予報にアンサンブル予報技術が導入された2001年から今日に至るまでどのような技術改革を実施し、週間天気予報の予測精度がどの程度向上してきているかについて簡単に説明した。技術改革の中心は解像度のアップだが、週間天気予報にアンサンブル予報が正式に導入された2001年3月に約110 kmだった水平解像度が、2007年11月に約60 kmへ、2014年2月には約40 kmにまで高解像度化させていることなどを紹介した。また、週間天気予報の予測精度については、アンサンブルモデルの技術改革だけでなく不断の多くの取り組みによって徐々に向上してきていることなどを説明した。

最後に、現業業務として1週間先までの日最高・最低気温を予測する際に作成している資料を活用して、気温に関する情報を「電力」の分野に提供している事例を紹介した。これはアンサンブル予報技術を週間天気予報で用いることによって初めて可能になった情報提供で、日々の安定した電力供給という基盤的な社会システムにアンサンブル予報技術が貢献している姿のひとつと言えるものである。

3. 気象庁の台風進路予報について

上野幹雄（気象庁予報部予報課アジア太平洋気象防災センター）

気象庁は、台風の進路予報（予報円の中心位置及び半径、移動方向及び速度）を5日先まで、強度予報（中心気圧、最大風速、最大瞬間風速、暴風警戒域）を3日先まで発表している。台風予報に利用する数値予報モデルは1日4回計算を行っており、予報官は最新初期値の結果だけでなく前回の初期値の結果も参照して予報を検討する。また、実況データでモデル予想



台風進路予報の精度

第3図 台風進路予報の精度。

の妥当性を確認し、モデルの予想進路が実際の進路からずれている場合には補正する。台風周辺の風系（偏東風、南西モンスーン、偏西風など）から予想される進路を重視してモデルの予想進路を修正する場合もある。

台風アンサンブルモデルは、2009年に台風進路予報を5日先まで延長するのに伴い導入された。単独の予報モデルによる決定論予報では進路予報の不確実性を見積もるのが困難であったが、アンサンブルモデルではスプレッド（アンサンブルメンバーの予想位置の広がり）を指標として予報の不確実性を反映した信頼度情報が得られるようになり、4日先、5日先の予報円半径の決定に利用している。また、アンサンブルモデルではメンバーの数だけ予想進路が示されるため、進路の可能性を把握することが可能となり、他の資料と組み合わせることによって、より実際の進路に近い予報ができる場合もある。一方、アンサンブルモデルであっても実際の進路を捕捉しきれない場合があるため、外国の数値予報モデルの予想進路を参照することも必要である。

気象庁の台風進路予報の精度は、第3図に示すように、予報の基盤となる数値予報技術の発展に伴い着実に改善されてきており、2014年の場合、3日先の中心位置の予報誤差は平均で約250 kmである。しかし、台風によっては予報誤差が大きい事例もあり、引き続き、数値予報モデルの改良、モデル初期値の改善、外国の数値予報モデルも含めたアンサンブル手法の活用

など、予報精度改善の取り組みが欠かせない。

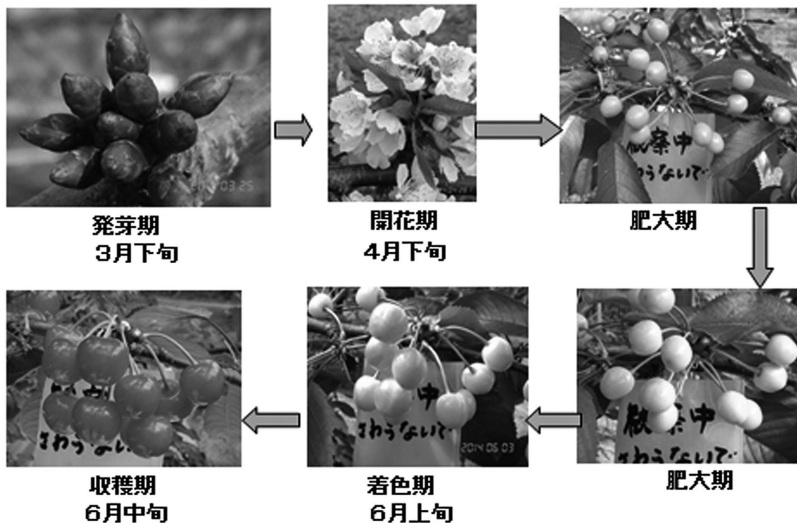
質疑応答では、予報円を円以外の形状にする計画はないかという質問をいただいた。円よりもスプレッドを反映した形状の方が、台風が進むと予想される範囲を適切に示すことができる場合がある。しかし、防災情報の伝達、特にラジオ等の音声伝達では、複雑な形状よりも円の方が簡潔な表現で伝達できて分かり易いという捨てがたい利点があるため、今のところ予報「円」の形状を変更する計画はないと回答した。

4. さくらんぼ栽培と天気予報

斎藤幸宏（斉藤農園/気象予報士会東北支部）

さくらんぼ（佐藤錦）は3月下旬に芽が動き出し（発芽）、4月下旬に開花する。そして肥大しながら6月上旬頃に色づき始め、中旬頃から収穫期に入っていく（第4図）。

このように発芽から収穫までが他の果樹に比べてとても短く、栽培作業が短期間に集中する。さらにさくらんぼは気温、湿度、風、土壌水分に敏感であることから気象の影響を考慮した栽培環境の繊細な管理が重要となる。



第4図 さくらんぼの生育の推移。

さくらんぼ栽培に関する天気予報のキーワードを列記し、その利用について説明する。

- ・安全限界温度（気温の予報）
- ・霜対策（気温の予報）
- ・受粉（ミツバチの活動を支配する気温、降水、風の予報）
- ・灌水（降水の予報）
- ・乾燥対策（湿度、飽差に関する予報）
- ・日照対策（日射に関する予報）

4.1 霜対策

花芽が被害に遭う安全限界温度以下になると予想される時は、未明に散布機で木に水を散布し、花芽表面に付着した水膜を凍結させ0°Cより低下しないようにする。また、その際放出される潜熱と散布機による空気の攪拌で霜の発現を抑制する（第5図）。

4.2 受粉

開花後は、受粉に適した気象状態が数日間持続することが必要であることから天気や気温の予報に気をもむ。雨の日や風が強い時また気温が15°Cより低い時は



第5図 スプレーヤによる水の散布と花芽に付着した水の凍結。

受粉に関わるミツバチの活動が低下し、さくらんぼの生産量に大きな影響を及ぼす。そこでそれらの気象要素を予測した人工授粉も必要になる(第6図)。

4.3 灌水

発芽以降の全生育過程において土壌水分はさくらんぼ栽培に大きく影響する。各生育ステージで要求される土壌水分がそれぞれ異なるため、テンシオメータで土壌水分量を監視し降水予報を考慮して必要に応じて散水をする。

4.4 乾燥対策

植物の水分状態は相対湿度より飽差により強く影響を受けると言われている。

飽差とは、ある空気の水蒸気圧とその空気の温度に対する飽和水蒸気圧との差をいう。その空気にあとどれだけ水蒸気の入る余地があるかを示す指標で、空気1m³あたりの水蒸気のグラム数で示される。最適な飽差は3~6gm⁻³とされており、6gm⁻³より大きいと水分欠乏を感知して気孔を閉じ蒸散しなくなり、3gm⁻³より小さいと植物と空気との水蒸気圧差がなくなり蒸散できなくなる。

露地栽培では飽差の調節は難しく、散水などにより対処する。

4.5 日照対策

生育の後半は梅雨期に入り日照不足になることがある。対策として、クエン酸や酢などの有機酸を散布し葉から吸収させて光合成産物を補い着色と糖度の向上を促す。

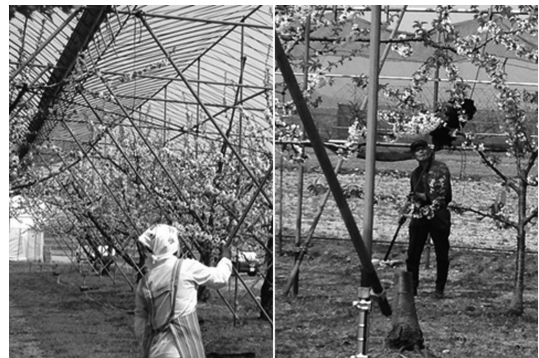
以上のようにさくらんぼ栽培では、数日先を見通した中期予報が栽培管理と作業の計画策定において有効であり、今日・明日の天気予報やナウキャストによってその不確実性を補完している。

5. 週間天気予報の最低/最高気温は平年値から大きく隔たる値をどのように予報しているか?

内山常雄(日本気象予報士会神奈川支部)

気温の平年値は、日常生活を送る上で重要な目安となっている。それに対して、実況値が平年値と5°C以上異なる日もある。このような日では、服装の変更が必要で、対策を取らないと風邪を引いたり、上着やコートが邪魔になったりと、不便を感じると思われる。その準備を1週間前から立てるには、7日前の気温予報の精度を知る必要がある。

2013年と2014年の東京の最高気温と最低気温の実況



第6図 人工授粉作業の様子。佐藤錦は自家受精できないので他の品種の花粉を毛ばたきにつけて受粉する。

第1表 2013年と2014年の東京の日最高気温と日最低気温の平年値からの偏差。

偏差統計	最高気温	最低気温
平均偏差	+0.70°C	+0.55°C
最小マイナス偏差	-9.5°C	-6.5°C
最大プラス偏差	+12.6°C	+9.7°C
偏差の標準偏差	3.1°C	2.3°C

第2表 2013年と2014年の東京の日最高気温と最低気温が平年値から±5°C以上隔たった日数。

	-5°C以下	+5°C以上
最低気温	3	25
最高気温	16	59

値と平年値との差を調べると、最高気温の実況値は平年値より平均で0.70°C高く、最低気温は同じく0.55°C高かった。近年気温は平年値より高めではあるが、平年値が日常生活をするうえで利用しやすい予報値であることに違いない。一方、実況値と平年値との差の標準偏差は、最高気温で3.1°C、最低気温で2.3°Cであり(第1表)、年間で5%程度の日は平年値との偏差が±5°C以上ある。実際、この2年間では、最低気温で28日、最高気温では75日の日では、実況値と平年値との差が5°C以上あった(第2表)。

これらの日の7日前の気温予報を調べると、予報値が平年値と実況値との中間となっている例が多く、2, 3日前になると予報値が急速に実況値に近づく例が多かった。

この傾向を定量的に評価するため、7日前予報の改善率を、(7日前予報値-平年値) / (実況値-平年値) で定義した。改善率は、7日前予報値が実況値と等しければ1となり、平年値であれば0となる(実際には予報値は1°C単位、実況値は0.1°C単位なので、改善率が0や1となることはまれである)。

最高気温、最低気温ともに実況値が平年値より5°C以上高い日の7日前予報の改善率は0.47で、平均的には、実況値と平年値の中間の気温を予報していた。最低気温が平年値より5°C以上低い日はその例が少なかったが、その改善率の平均は0.60で、予報精度が高かった。それに対して、最高気温が5°C以上低い日の改善率は0.24で予報精度が低く、7日前予報の精度が低いことが分かった(第3表)。

今回の調査で、気温変動の大きな春の気温の予報精度が意外にも高いことがわかった。一方、夏から初秋の最高気温の7日前予報値は平年値に近く、時として

訪れる低温日の気温は直前で予報される例が多く、最高気温が低い日の7日前予報値の改善率の平均値を下げていた。

6. 夏の1か月予報～週間予報支援図から集中豪雨を予測できないか？

藤井 聡 (日本気象予報士会)

近年、「平成26年8月豪雨」など集中豪雨が夏に多発している。1か月予報や週間予報では豪雨の発生を予報することは現行では困難なため、具体的な防災情報として発表することはできないが、その大まかな可能性を早期に発信して、新しい気象情報に注意喚起することは可能に思う。そこで、1か月予報資料2007～2014年の6月最終週、7～8月初期値の北半球予想図から、災害時自然現象報告書にある豪雨について500hPa高度偏差を実況から1週前の予想、2週前の予想に戻って調べると、第4表のように2週前の予想からほぼ全国的に負偏差予想が継続することが多い。

これらについて週間予報支援図FZCXから予想の経過を、500hPa高度及び渦度から5820m正渦やトラフの位置、850hPa高相当温位の暖湿気の流入、降水予想頻度分布50～90%以上の地方を検出した(第7図)。

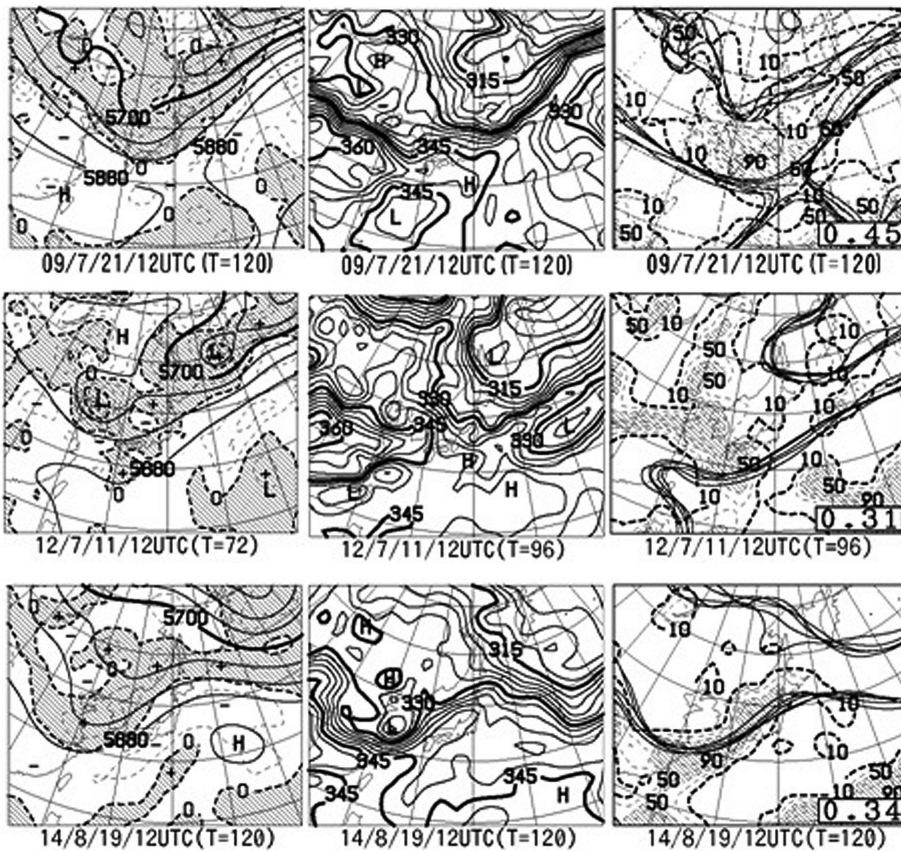
夏の1か月予報支援図でほぼ全国的に負偏差が見られるときで、かつ週間予報支援図で500hPaトラフ顕在化、850hPa暖湿気北上の予想が続く場合、例えば「週の中ごろは九州から中国地方にかけて大気の状態が不安定になり、局地的に大雨が降る可能性もあるので、新しい情報に注意してください」などと注意喚起してもよいのではないかと考える。

第3表 実況値が平年値から±5°C以上隔たった日の7日前予報値の改善率。

平年値との偏差	最低気温		最高気温	
	< -5°C	> 5°C	< -5°C	> 5°C
平均	0.60	0.47	0.24	0.47
標準偏差	0.04	0.20	0.31	0.35

第4表 災害時自然現象報告書にある豪雨と500hPa高度偏差(負偏差となった地方を●として表示)。

災害時自然現象報告書にある豪雨	初期値	実況			1週前予想			2週前予想		
		北日本	東日本	西日本	北日本	東日本	西日本	北日本	東日本	西日本
		●	●	●	●	●	●	●	●	●
台風第4号と梅雨前線による大雨	2007/7/12 2007/7/19	●	●	●	●	●	●	●	●	●
平成20年8月末豪雨	2008/8/28		●	●	●	●			●	
中国・九州北部豪雨	2009/7/23	●	●	●	●	●	●	●	●	
台風第9号大雨	2009/8/13	●					●			
新潟・福島豪雨	2011/8/4		●	●		●		●	●	
九州北部豪雨	2012/7/12	●	●	●	●	●	●	●	●	
島根県と山口県の大雨	2013/8/1	●	●		●	●	●	●	●	
秋田県・岩手県の大雨	2013/8/8	●	●		●		●	●		
島根県の大雨	2013/8/29	●	●	●	●	●	●	●	●	
台風第8号及び梅雨前線による大雨	2014/7/9	●	●	●	●		●	●	●	
平成26年8月豪雨	2014/8/13 2014/8/20	●	●	●	●	●	●	●	●	



第7図 豪雨前の週間予報支援図 (FZCX より)。

㊦平成21年7月中国九州北部豪雨前の予想。500 hPa トラフ (5820 m) が西日本に見られ、348K 暖湿流が北上、九州～中国地方に降水予想頻度分布90%が T=120 から見られる。

㊧平成24年7月九州北部豪雨前の予想。T=96から500 hPa トラフ (5820 m) が九州付近で明瞭になり345K が覆うようになる。九州に降水予想頻度分布50%が現れ始めた。

㊨平成26年8月豪雨前の予想。T=120より500 hPa トラフ (5820 m) が明瞭になり342K が九州～北陸まで伸びるようになる。九州～中国地方に降水予想頻度分布90%が覆う。

7. グランドアンサンブルによる顕著現象予測

一より信頼できる予報を目指して一

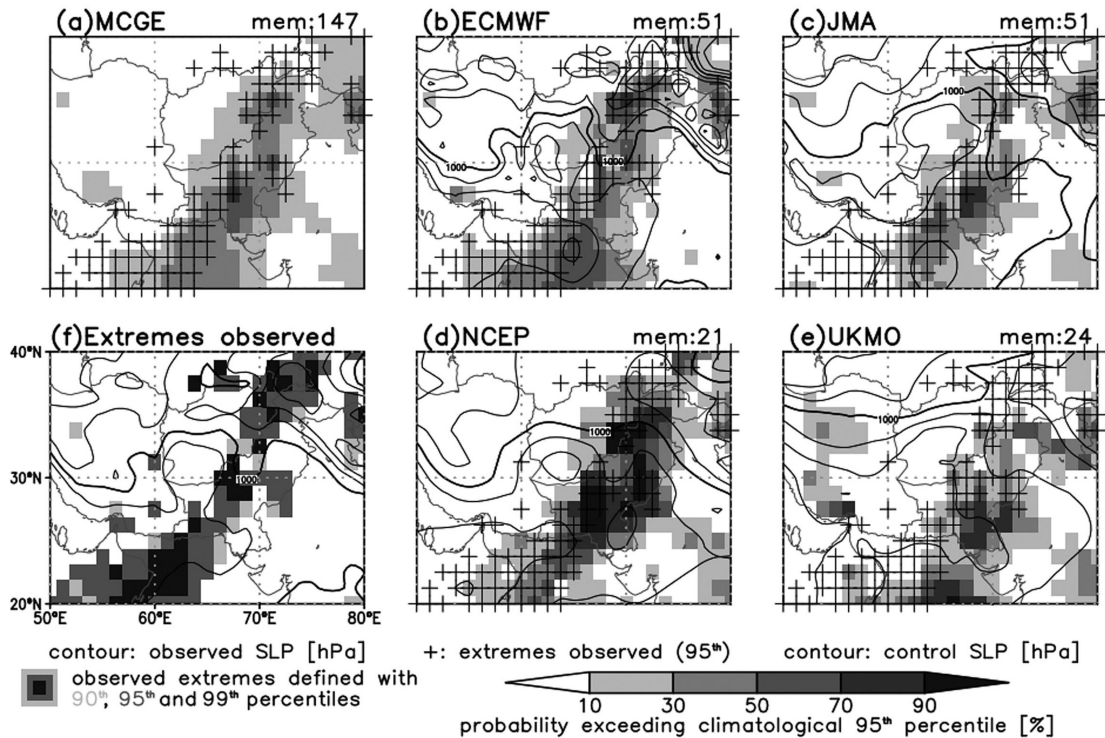
松枝未遠 (筑波大学計算科学研究センター/
University of Oxford)

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) 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) 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 Museum : <http://tparc.mri-jma.go.jp/TIGGE/>にて準リアルタイム公開されている、TIGGE データを利用したグランドアンサンブル (複数機関のアンサンブル予報を合わせたアンサンブル予報) による熱波、寒波、強風、豪雨を対象とした顕著現象発生予測プロダクトを紹介した。

本プロダクトでは、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 (各アンサンブル予報システムの詳細は異なる) を利用した顕著現象

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

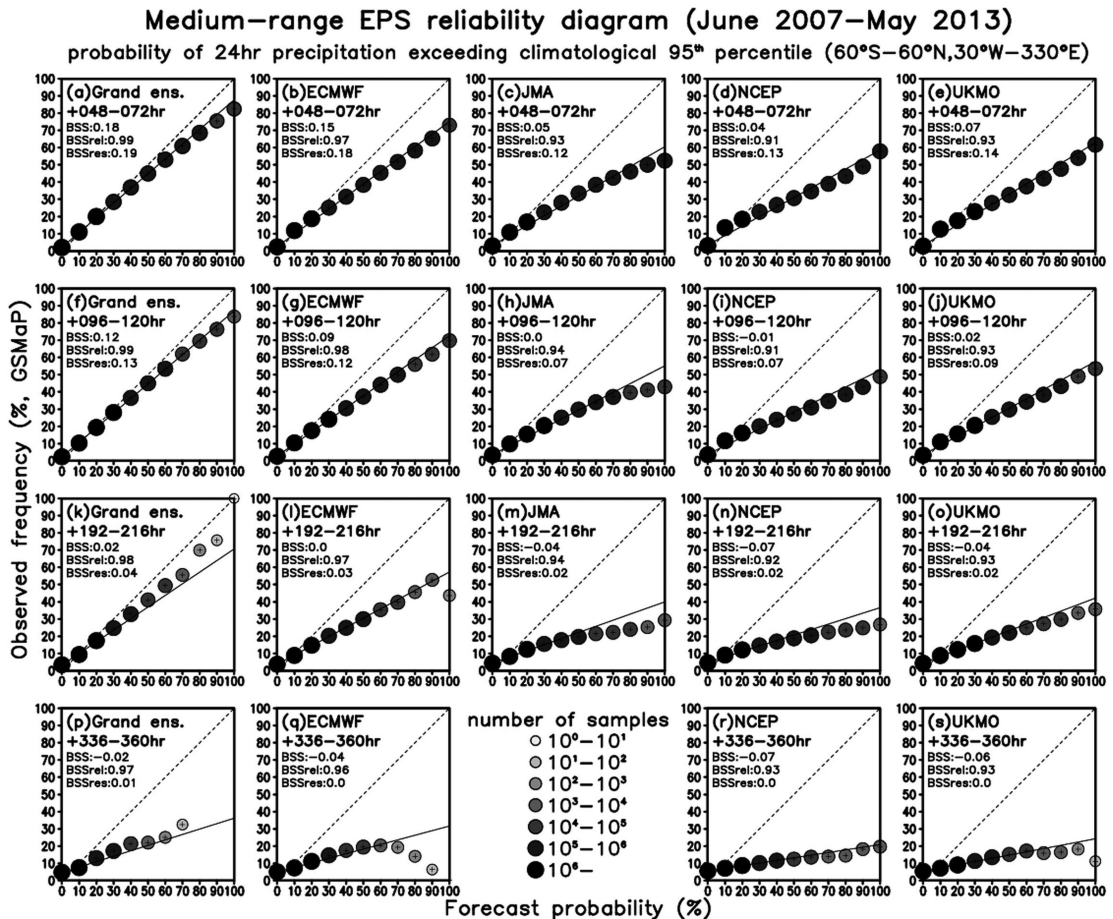


第8図 2010年7月にパキスタンに史上最悪の洪水をもたらした豪雨の確率予報 (a: グランドアンサンブル, b: ECMWF, c: JMA, d: NCEP, e: UKMO) と (f) 実況 (95パーセントイル値を超えた格子点はa-eにも+で示した)。2010年7月21日12UTCを初期時刻とする7日予報。(b) - (e) のコンターはコントロールランの海面気圧。

発生の確率予報を提供している。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50 mm/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。このことは、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)。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、気候値の違いを考慮することが重要となる。また同様に、予報精度の検証の際に、観測 (現実世界) の50 mm/hrがモデル世界の50 mm/hrと必ずしも一致しないことにも注意が必要となる。本プロダクトでは、ある閾値 (各モデルの気候学的パーセントイル値) 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、各要素、各格子点、各カレンダー日、各予報時間ごとに、確率予報値を定義した。各モデル

のパーセントイル値を閾値に用いることにより、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。極端現象の閾値には、1, 5, 10, 90, 95, 99パーセントイル値を用いた (例えば、気候学的95パーセントイル値は、20年に1度発生するような顕著現象をさす)。実況での顕著現象の発生の有無についても、再解析・観測データの気候学パーセントイル値を利用した。

講演では、過去に起こった顕著現象 (2010年夏ロシア熱波、2010年7月パキスタン洪水、2012年10月ハリケーン Sandy (第8図など) を紹介したのち、確率予報の精度検証の結果 (プライア・スキル・スコア (BSS) と reliability diagram) を示した (第9図)。顕著現象の予測においては、特定の予報機関のアンサンブル予報がつねに精度が高いとは限らず、予報精度の高い機関はケースバイケースであり、それが結果と



第9図 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 (横軸：予報確率，縦軸：実況での発生頻度)とブライア・スキル・スコア (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。回帰直線が左下から右上に向かう対角線になれば，信頼できる予報と言える。

して，単独機関のアンサンブル予報よりも精度が高く (BSSが大きく)，より信頼度できる (第9図の回帰直線の傾きが大きい) グランドアンサンブルへとつながることを示した。

講演後の質疑応答では，パーセンタイル値の見積りに関する質問，グランドアンサンブルにおける見逃し率についての質問，顕著現象がなぜ予測出来なかったかの原因究明に関する質問等が会場からあがった。