

2015年秋季「極域・寒冷域」及び 「観測システム・予測可能性」合同研究連絡会の報告 ～極域予測可能性研究に向けた現状と展望～

担当世話人：西井和晃*

1. はじめに

この報告では、京都テルサで開催された2015年度気象学会秋季大会の初日(2015年10月28日)の夜に行われた、極域・寒冷域研究連絡会と観測システム・予測可能性研究連絡会の合同研究連絡会の講演内容を記す。本会の趣旨及び講演者は次節を参照されたい。本会の出席者は約40名であった。

2. 本合同研究連絡会の趣旨説明

猪上 淳(国立極地研究所/海洋研究開発機構)
近年、極域の気象予測精度の向上が社会的に求められている。これは北極海航路などのローカルな人間活動に必要なだけでなく、極域の雪氷変動がもたらす中緯度帯の極端気象など、グローバルにその影響が伝播するためである。世界気象機関(WMO)の世界気象研究計画(WWRP)では、2013年から10年計画の極域予測プロジェクト(PPP)がTHORPEXの後継プロジェクトの一つとして位置づけられている。数時間から季節スケールの気象予測の精度向上を目的としたPPPでは、その核となる極域予測年(YOPP:2017-2019年)に、大気・海水・海洋の集中観測とそれに付随する数値予報を国際共同で実施する計画である。日本でも既にその準備段階の研究が進行しており、海洋地球研究船「みらい」を中心としたラジオゾンデによる国際共同観測網の構築や、JAMSTECの大気データ同化システムを駆使した観測システム実験など、国際的に高い評価を受けている研究もある。

2015年9月から始まったArCSでもPPP/YOPPへの貢献を念頭に置いている。国内におけるPPPの推進には、これまでTHORPEXで培ってきた予報データデータセットの活用、予測可能性解析技術、解析事例の蓄積など、大いに参考になる部分がある。そこで、当該分野を代表する松枝未遠氏、榎本 剛氏、吉田聡氏の3氏に研究を紹介していただき、今後の極域予測可能性研究の発展を考える機会とすることとした。

3. TIGGE および S2S データを使った予測可能性研究

松枝未遠(筑波大学/オックスフォード大学)
本講演では、2つのアンサンブル予報データセットとそれらを使った予測可能性研究について紹介した。1つ目のデータセットは、2週間先までを対象としたTIGGEデータで、10の現業数値予報機関(BoM, CMA, CMC, CPTEC, ECMWF, JMA, KMA, Météo France, NCEP, UKMO)が大気モデルによる全球アンサンブル予報データを提供している。ECMWFとCMAがそれぞれ運用するデータポータルから、予報初期時刻より2日遅れで研究および教育目的に限り取得できる。TIGGEデータは、1-2週間先の顕著現象の予測精度向上を目指すTHORPEXプロジェクトのもと2005年から2014年まで運用されてきたが、今後5年間の継続が決定した。TIGGEデータを利用した研究には、予報精度の比較、グランドアンサンブルの構築と性能評価、台風とその温帯低気圧化、温帯低気圧、MJO、偏西風、ロスビー波、ブロッキング、天候レジーム、熱波、顕著現象予測、洪水予測、準リアルタイム予報プロダクト(TIGGE Museum: <http://gvpjma.ccs.hpcc.jp/TIGGE/>)などがあり、150件以上に及ぶ(詳細は、<https://soft>

* (連絡責任著者) Kazuaki NISHII, 東京大学先端科学技術研究センター。

nishii@atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp

© 2016 日本気象学会

ware.ecmwf.int/wiki/display/TIGGE/Research+articles を参照されたい).

2つ目のデータセットは、THORPEX legacy プロジェクトの1つであるS2Sプロジェクトのもと2015年1月から提供されている、1-2ヶ月先を対象とするアンサンブル予報データ (S2S データ) である。S2S プロジェクトでは、熱帯と中緯度の相互作用やテレコネクション、MJO、モンスーン、アフリカ、極端現象などに主に焦点を当て、1-2ヶ月先を対象とした予報の精度向上を目指している。2015年10月現在、7 機関 (BoM, CMA, ECMWF, HMCR, JMA, Météo France, NCEP) が、大気海洋結合モデルによる全球アンサンブル予報データを提供している (ただし、HMCR と JMA は大気モデルを使用)。TIGGE データ同様、ECMWF と CMA がデータポータルを運用しており、予報初期時刻より3週間遅れで研究および教育目的に限り取得できる。TIGGE データと異なり、予報が毎日行われていないため、予報データを比較する際には注意が必要となるが、TIGGE データベースでは提供されていないアンサンブル再予報データを利用できるメリットがある。今後様々な研究が行われようとしているが、松枝が運用する S2S Museum (<http://gvpjma.ccs.hpcc.jp/S2S/>) にも S2S データによる各種予報プロダクトが順次追加される予定である (現時点では、MJO と成層圏突然昇温プロダクトが閲覧可能)。

THORPEX プロジェクトは終了したが、これらのアンサンブル予報データを利用することで、TIGGE/S2S プロジェクトのみならず、残り2つの THORPEX legacy プロジェクト (PPP, High Impact Weather (HIWeather) project) にも貢献することができる。なお、TIGGE/S2S データの詳細については、観測システム・予測可能性関連研究連絡会ウェブサイトにある講演資料 (<http://www.dpac.dpri.kyoto-u.ac.jp/thorpex/activities/20151028/>) あるいは、TIGGE/S2S Museum を参照されたい。

4. アンサンブル予報を用いた簡易予報感度解析

榎本 剛 (京都大学防災研究所/
海洋研究開発機構 APL)

本講演ではアンサンブル予報を利用した簡易感度解析 (Enomoto *et al.* 2015) について紹介した。予報感度解析とは、注目している領域 (検証領域) において検証時刻に擾乱の成長に影響を与える初期擾乱の地

理的分布を求める手法である。この手法は、初期値を改善することにより数値予報の精度を向上させるために行われる追加的な観測 (機動的観測、最適観測) の領域を特定するために用いられる。

随伴法及びSV法に基づく感度解析には時間を遡るために接線型モデルや随伴モデルが用いられてきたため、感度解析を行うことができるのは予報現業機関などに限られていた。共著者の山根省三 (同志社大) は、アンサンブル予報を用いた随伴法及びSV法感度解析を定式化した。予報感度解析は、規格化された初期擾乱が1という条件の下で、検証時刻に検証領域で評価関数 (随伴法) あるいは擾乱 (SV法) の極値を求める問題である。接線型モデルや随伴モデルを用いる場合も、アンサンブル予報を用いる場合も、ラグランジュの未定乗数法を用いて統一的に導出される。このアンサンブルに基づく手法は、接線型モデルや随伴モデルが不要であり、モデルの自由度よりも小さいアンサンブル数の行列の計算で済むため、パソコンでも簡単に計算できる。

この手法を検証するため、日本域を対象としたアンサンブル随伴及びSV感度解析を気象庁週間アンサンブル予報に適用した。まず、アンサンブルSVが検証時刻に最も大きくなることから、適切に計算されていることを確認した。次に2003年1月及び8月の顕著な事例に対する感度や感度の月平均について示した。さらに、2002年8月に中欧に洪水をもたらした切離低気圧の事例において、アンサンブルSVの摂動の成長と水平解像度約20 kmのAFESを用いて計算した非線型成長とを比較して、アンサンブルSVが適切に誤差成長を捉えていることを示した。

この手法のアンサンブルデータ同化への利用例として、アンサンブルSVを共分散膨張に適用した研究 (Yang *et al.* 2015) について紹介した。アンサンブルデータ同化では、サンプル数不足に起因する共分散の過小評価を補うために、共分散膨張という手法が用いられている。最も簡単な共分散膨張は定数をかける乗算型 (multiplicative) があるが、加算型 (additive) の方が優れていることが示されている。加算型では何を足すかが問題であり、さまざまな手法が提案されている。流れに依存し、成長する擾乱が適切であるという考えから、同化サイクルの中で得られるアンサンブル予報から計算されるアンサンブルSVを共分散膨張に利用することにした。準地衡風流路モデルを用いた同化実験で、アンサンブルSVはランダムな擾

乱よりも実際に成長した誤差に類似しており、擾乱として適切であることが確認された。アンサンブルSVは大きなスケールの誤差を低減し、同化初期の収束を加速し、解析精度向上に寄与することが分かった。

山口宗彦（気象研）から、長い予報時間にも適用できるかという質問が出た。アンサンブル感度解析は、アンサンブルを用いない感度解析の近似であり、非線型モデルを用いているものの擾乱の線型成長を仮定しているため、長い予報時間に対する適用には注意を要する。さらに、初期のアンサンブルSVが個々のアンサンブルメンバーよりも大きいので、成長率で見た場合これが最も成長したモードと言えるのかという質問もあった。その場では上手に答えられなかったが、初期擾乱の規格化を省略したためであろう。

5. 日本付近で発達する爆弾低気圧の予測可能性

吉田 聡（海洋研究開発機構）

爆弾低気圧は強風や吹雪、高潮などをもたらす「冬の台風」とも言える気象災害要因の一つである。しかしながら、台風と違い、予測精度がどの程度あるかについての知見は少なく、その誤差要因も明らかではない。そこで本講演では、気象庁の週間アンサンブル予報を元にした日本付近の爆弾低気圧の予測可能性について紹介した。爆弾低気圧の定義は通常中心気圧の時間変化率を元にするが、本解析ではKuwano-Yoshida (2014) に基づき、各格子での地表気圧 p_{src} のオイラー的な時間変化率を用いた局所発達率 (LDR24)、

$$\text{LDR24} = - \frac{p_{\text{src}}(t) - p_{\text{src}}(t-24\text{h})}{24} \left| \frac{\sin 60^\circ}{\sin \theta} \right|$$

が 1 hPa day^{-1} 以上のものとした。この手法は低気圧の移動の効果を含んでしまうものの、低気圧中心を追跡する必要がなく、簡便な計算で爆弾低気圧を抽出でき、アンサンブル予報のような膨大なデータを扱うのに適している。解析期間は2006年11月から2015年4月の間の11月から4月までで、データは12UTC初期値の1日から8日予報までを用いた。予測と比較する解析値としてJRA-55を用いた。アンサンブル予報の各メンバーと再解析データの地表気圧から求めたLDR24を用いて、爆弾低気圧の予測精度を評価した。予測精度の指標として、格子毎にJRA-55で $\text{LDR24} \geq 1$ の時、アンサンブルメンバーで $\text{LDR24} \geq 1$ になったメンバーの割合（的中率）、JRA-55で

$\text{LDR24} < 1$ の時、アンサンブルメンバーで $\text{LDR24} \geq 1$ となっているメンバーの割合（空振り率）、JRA-55で $\text{LDR24} \geq 1$ の時のアンサンブル予報平均とのLDR24の差（バイアス）を各予報時刻に対して評価した。

日本付近 ($120^\circ\text{E} \sim 180^\circ$, $25^\circ\text{N} \sim 60^\circ\text{N}$) で平均した各予報時刻の的中率は、24時間予報で70%程度あるものの、8日予報では15%にまで低下していた。この中の低下は予報時間が長くなるにつれて、発達率が小さくなるバイアスに起因していた。このバイアスは 150°E 以東の北西太平洋上で顕著になる傾向があった。

一方、的中率は新たな観測の同化や数値予報システムの改良に伴い年々改善しており、2006年では60%程度だった1日予報は2014年では80%近くに上昇していた。しかしながら、6日予報より長い予報時間では改善率が小さかった。

データ期間が短く、サンプル数も限られているため、改善率の地理的分布から改善率が低い要因を見いだすことは難しい。そこで、的中率が低かった最近の事例として2015年1月15日に急発達した低気圧を選び、予報誤差要因を考察した。この低気圧は典型的な南岸低気圧であったが、4日予報より長い予報では実際より西側で発達し、確率も低く予報されていた。4日予報のアンサンブルメンバーを用いて、実際に急発達した位置でのLDR24と500 hPa ジオポテンシャル高度とのアンサンブルラグ相関を取ると、初期値の段階で中国南部でのトラフの振幅に高い相関が見られた。位置ずれが解消した3日予報との差も同様の特徴を示しており、このトラフの発達を予報できなかったことが誤差要因と考えられた。

謝辞

講演を快く引き受けてくださった諸氏に感謝申し上げます。また、会場の準備をしていただいた大会実行委員会の皆様に感謝いたします。

略語一覧

AFES: AGCM for the Earth Simulator

ArCS: Arctic Challenge for Sustainability Project 北極域研究推進プロジェクト

BoM: Bureau of Meteorology オーストラリア気象局

CMA: China Meteorological Administration 中国気象局

- CMC : Canadian Meteorological Center カナダ気象センター
- CPTEC : Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos ブラジル気象予測気候研究センター
- ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts 欧州中期予報センター
- HMCR : The Hydrometeorological Centre of Russia ロシア水文気象センター
- JAMSTEC : Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology 海洋研究開発機構
- JMA : Japan Meteorological Agency 気象庁
- JRA-55 : Japanese 55-year ReAnalysis
- KMA : Korea Meteorological Administration 韓国気象庁
- LDR : Local deepening rate
- MJO : Madden-Julian oscillation マッデン・ジュリアン振動
- NCEP : National Centers for Environmental Prediction 米国環境予測センター
- PPP : Polar Prediction Project 極域予測プロジェクト
- S2S : Sub-seasonal to seasonal prediction project
- SV : Singular vector 特異ベクトル
- THORPEX : The Observing System Research and Predictability Experiment 観測システム研究・予測可能性実験計画
- TIGGE : THORPEX Interactive Grand Global Ensemble
- UKMO : United Kingdom Met Office 英国気象局
- WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関
- WWRP : World Weather Research Programme 世界気象研究計画
- YOPP : The Year of Polar Prediction 極域予測年

参 考 文 献

- Enomoto, T., S. Yamane and W. Ohfuchi, 2015: Simple sensitivity analysis using ensemble forecasts. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 199-213.
- Kuwano-Yoshida, A., 2014: Using the local deepening rate to indicate extratropical cyclone activity. *SOLA*, **10**, 199-203.
- Yang, S.-C., E. Kalnay and T. Enomoto, 2015: Ensemble singular vectors and their use as additive inflation in EnKF. *Tellus A*, **67**, 26536, doi:10.3402/tellusa.v67.26536.