

第3回 THORPEX 国際科学シンポジウム参加報告*

松枝未遠^{*1}・中澤哲夫^{*2}・別所康太郎^{*3}・榎本剛^{*4}
茂木耕作^{*5}・山口宗彦^{*6}・太田洋一郎^{*7}

1. はじめに

2009年9月14日から18日まで、米国カリフォルニア州モンテレーで開催された第3回 THORPEX 国際科学シンポジウムの様子を報告する。THORPEX とは、WMO/WWRP のもと2005年から行われている国際プロジェクトで、アンサンブル予報、データ同化、機動的観測を活用し、社会的に影響の大きい1-2週間先の大気顕著現象の予測精度を向上させることを主な目的としている。本シンポジウムは、2004年12月のカナダ・モントリオール、2006年12月のドイツ・ランツフートに続く3回目、当初は2009年5月に開催が予定されていた。しかしながら、世界各地で猛威を振るった新型インフルエンザ(H1N1型)の影響により、シンポジウム2日前に延期が決定し、今回改めて開催された。延期にもかかわらず、プログラム編成

に大きな変更はなく、アンサンブル予報、データ同化、予測可能性、台風研究、観測などに携わる研究者約200名が出席した。シンポジウムは、DAOS(データ同化と観測システム)、Observation Targeting(ターゲット観測技術)、PDP(予測可能性と力学過程)、RCCCRT(地域観測計画と横断的研究テーマ)、SERA(社会的・経済的な研究・適用)、TIGGE(THORPEX 双方向グランド全球アンサンブル)の6つからなり、口頭発表82件、ポスター発表130件(多数のキャンセル含む)が行われた(第1表)。モンテレーの緯度は東京とほぼ同じであり、朝晩はやや冷え込むものの、「カリフォルニアの青い空」と歌われるように日中はとても過ごしやすい天候であった。日本からは、本報告の著者7名が参加した(第1図)。以下、セッションごとに報告する。なお、シンポジウムのスライドは、http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/TTISS_presentations.htmlより取得できる(2010年3月26日確認)。また、本シンポジウムでの発表によるMonthly Weather Review 特集号の発行も予定されている(2010年12月発行予定)。(松枝未遠)

* A report on the Third THORPEX International Science Symposium.

*1 Mio MATSUEDA, 地球科学総合推進機構(現所属: 海洋研究開発機構 IPCC 貢献地球環境予測プロジェクト)。

*2 Tetsuo NAKAZAWA, 気象研究所台風研究部。

*3 Kotaro BESSHO, 気象研究所台風研究部(現所属: 気象庁観測部観測課)。

*4 Takeshi ENOMOTO, 海洋研究開発機構地球シミュレーションセンター。

*5 Qoosaku MOTTEKI, 海洋研究開発機構地球環境変動領域。

*6 Munehiko YAMAGUCHI, マイアミ大学気象海洋学部/気象庁。

*7 Yoichiro OHTA, 気象庁予報部数値予報課。

© 2010 日本気象学会

2. DAOS(データ同化と機動的観測)セッション
2.1 DAOS-A

A. Lorenc(UKMO)は、4次元変分法(4D-Var)のこれまでの成果と今後の課題について議論した。1967年以来現在に至るまで、およそ10年あたり1日程度予報精度が改善されている(例えば、10年前の4日予報と現在の5日予報の精度が同程度ということ)。その要因として、①モデル(特に解像度)、②衛星による放射輝度観測の同化、③4D-Var、観測の改善を

第1表 シンポジウム・プログラム.

9月14日(月)	
午前	基調講演 RCCCRT-A: T-PARC/TCS08
午後	TIGGE-A: マルチモデルアンサンブル
	ポスター: T-PARC/TCS08, RCCCRT, DAOS-A
	PDP-A: 熱帯における PDP
9月15日(火)	
午前	PDP-B: アンサンブルと感度の理論的側面 DAOS-A: データ同化技術
午後	TIGGE-B: TIGGE アーカイブの水文への応用
	ポスター: PDP-A, DAOS-A, TIGGE-A TIGGE 利用法デモ
	RCCCRT-B: IPY, HyMeX, T-NAWDEX
9月16日(水)	
午前	DAOS-B: 観測インパクト研究 PDP-C: 亜熱帯における PDP
午後	スペシャルセッション: ターゲット観測技術
	ポスター: PDP-B, DAOS-B TIGGE 利用法デモ
9月17日(木)	
午前	SERA RCCCRT-A: 天気, 気候, 地球システム
午後	TIGGE-C: 全球双方向予報システムの計画
	ポスター: DAOS-C, SERA, TIGGE-B
	DAOS-C: 衛星観測と OSSE
9月18日(金)	
午前	TIGGE-D: TIGGE データの応用 パネルディスカッション: 将来の方向性

挙げた。今後の課題として、線型性及びガウス型の仮定の緩和を挙げ、非線型性は非線型モデルで予報することにより考慮可能であると述べた。4D-Var のこれまでの実績は誰もが認めるところであるが、その優位性の強調とアンサンブル手法に対する強い批判に対して特に反論がなかったことに驚きを覚えた。アンサンブル手法の研究者は、おそらく水掛け論を避け、それぞれの発表の中でアンサンブル手法の利点を強調する方が賢明だと考えたのだろう。

M. Buehner (カナダ環境省) は、解像度や入力する観測データ等条件を極力統一して、現業で用いられている変分法とアンサンブル・カルマンフィルタ(EnKF) との比較を行った。比較の結果、4D-Var は中緯度の短期予報に有利であり、中期予報や熱帯には EnKF が有利であった。背景誤差を EnKF から見



第1図 日本からのシンポジウム参加者(後列左から、太田、別所、山口夫人、山口、松枝、中澤。前列左から、榎本、山口夫妻愛娘、茂木)。

積り3次元あるいは4D-Var に適用すると、EnKF の結果に近い結果が得られた。

C. H. Bishop (米海軍研究所) は、誤差共分散の適応型局所化手法を提案した。アンサンブル数が有限であるために生じる偽りの誤差共分散を避けるために局所化が用いられるが、既存の手法では共分散の構造に関わらず局所化の水平スケールが一定であり、4次元同化ウィンドウの間の共分散分布の移動が考慮されていないという問題点がある。この局所化に伴う問題は、中緯度でのEnKFの精度低下(前出のM. Buehnerの講演)の一因であると考えられる。提案された手法では、誤差共分散を水平方向に平滑化し2乗することにより誤差共分散自身から局所化関数を求める。この手法では、非線型効果を取り込み、同化ウィンドウ内の線型的な移動を反映することが可能である。

T. Hamill (NOAA) は、EnKFにより生成された摂動が発達しないという問題をとりあげ、その要因を調べた。誤差共分散に係数をかけて膨張させる手法に比較して、ランダムな誤差を加算する手法は誤差の成長が小さい。その原因として、加算する誤差は流れに依存しないため、成長が期待できないことを挙げた。この問題を回避するために、ランダムな誤差の代わりに成長モードを加算する手法を提案した。成長モードの計算には低解像度モデルを用いることにより、計算コストは抑えられる。

E. D. Grell (NOAA) は、積雲対流のクロージャの仮定やパラメータを変えた物理アンサンブルにより、熱帯の誤差共分散が増大することを確認した。PDP-B

セッションで J. Teixeira (NASA ジェット推進研究所) によって示された、積雲対流パラメタリゼーションの時間変化傾向を確率的に増減させるという簡便な方法も誤差共分散の膨張に利用できる可能性がある。

J. Whitaker (NOAA) は、EnKF の相互比較の結果、カルマンフィルタの実装による精度の差はなく、差は主に計算効率に現れることを明らかにした。さらに、熱帯低気圧のような現象では流れに応じた解析誤差が重要であると述べ、最近の台風に関して3次元変分法よりも EnKF の方が位置や強度を適切に表現している事例を示した。EnKF の成績が上回ったのは、台風中心位置の同化を行ったためでもある。今後の課題として、放射輝度の同化の改善、モデルバイアスの推定、観測データの品質管理、4D-Var とのハイブリット化を挙げた。比較に用いられたコードは、<http://ncepfgs.googlecode.com/svn/branches/ensda> から誰でも取得できる。現実化されていない EnKF だけでなく、全球予報システム (GFS) モデルや GSI と呼ばれる3次元変分法を用いた解析システムのソースコードまで公開している懐の広さには感激した。データやコードについても (いちいち一筆とることなく) 公開する文化を我が国でも広げていきたいものである。

2.2 DAOS-B

F. Rabier (フランス気象局) は、アフリカにおける AMMA プロジェクトによるラジオゾンデデータの OSE (対象とする観測データの価値を定量的に評価するための実験) を行った。アフリカ北西部で実施した追加ラジオゾンデ観測によって、中緯度東部大西洋で予報誤差が軽減されたことを示した。榎本は、AFES と LETKF からなるデータ同化システム ALEDAS を紹介した後、これを用いて実施した極域漂流ブイによる気圧観測 (Inoue *et al.* 2009) と台風の中心付近の気圧観測を対象とする OSE を紹介した。E. Irvine (英レディング大学) は、GFDEX プロジェクトによるドロップゾンデデータの OSE を行い、急峻な地形のあるグリーンランド東岸のごく近くで投下されたドロップゾンデは精度に悪影響を与えることを示した。このような観測値は、空間代表性が小さく、詳細な地形の影響を強く受けているため、力学バランスが壊れていると考えられる。R. Gelaro (NASA) は、THORPEX における観測の影響評価の相互比較プロジェクトの初期的な成果について報告した。茂木は、MISMO プロジェクトによるラジオゾ

ンデの OSE から熱帯における強化観測のインパクトの大きさを主張した。また、観測のインパクト (観測の有無による解析・予報の差) を評価する際にモデルのスキームによって生じるノイズが無視できない大きさになってしまう問題について、ALERA が提供する解析アンサンブルスプレッドを利用した解決策を提案した。

2.3 DAOS-C

R. Saunders (UKMO) は、衛星データの OSSE (仮想的な観測データの追加に伴う効果を調査する手法) を紹介した。現在既に上がっている衛星データのうち、未使用のものをより多く使用することで明確な効果を期待でき、その一方で、将来的に打ち上げが予定されている衛星による新たなチャンネルについては、必ずしも良い効果が得られる訳ではないとのことである。C. Cardinali (ECMWF) は、ECMWF の数値予報システムを用いて、衛星データの間引き方に関する OSSE を行い、特異ベクトル (SV) によって解析された感度領域のみで間引き間隔を小さくすることでより (特に南半球で) 効果的な精度向上が期待できることを示した。H. Berger (ウィスコンシン大学) は、衛星のラピッドスキャン (一時的に 4~15 分程度の高い時間分解能で特定の領域を観測するモード) によって得られた風の場を同化した結果を紹介した。同化の際の高度補正が問題点として挙げられていた。M. Masutani (NOAA) は、ECMWF の予報・解析をリファレンスとして各国のモデルによる様々なデータの OSSE を総合的に行う取り組みを提案した。

(榎本 剛, 茂木耕作, 山口宗彦)

3. Observation Targeting (ターゲット観測技術) セッション

R. Langland (米国海軍研究所) は、DAOS ワーキンググループの立場から、ターゲット観測に対する三つの提言を行った。一つ目は、既存の衛星観測データを用いたターゲット技術の開発で、空間的に密度の高い衛星観測データをデータ同化で有効に利用する手法の必要性を述べた。二つ目として、観測実験を行う前に OSE や OSSE を実施することで、きちんと実験計画の検討を行うべきこと、三つ目として、通常観測のネットワークの最適化を目指した研究を行うべきことを主張した。Z. Toth (NOAA) は、NOAA におけるこれまでのターゲット観測の実績について説明した。それによると、ET や ETKF の感度解析技術を

用いたターゲット観測によって、全体の約7割の事例で予報誤差が減少し、ターゲット領域における予報誤差の減少幅は平均で10~20%程度とのことである。C.-C. Wu (国立台湾大学) は、2003年より実施してきた台風ターゲットのドロップゾンデ観測 DOTSTAR の概要と、T-PARC での特別観測の結果について述べた。また、T-PARC 期間中の参加各センターの感度解析結果の比較や、特別観測を用いた OSE の結果に各センター間で差異があることなどを指摘し、センター間の比較が必要であることを強調した。

続いて行われたパネルディスカッションでは、座長の I. Szunyogh (テキサス A&M 大学) が用意したスライドに沿って、聴講者を含めた自由な議論が行われた。はじめに、ターゲット観測のデータを使用することによる予報誤差の改善の割合とコストについて議論が行われた。ターゲット観測を行うための費用に対してそれに見合うだけの成果が得られているのか、平均的な値だけでなく社会的に影響のある大気顕著現象に焦点を当てた場合により大きな効果が期待できるのではないかと、といった点に議論が集中した。次に、これまでターゲット観測によって数日先程度の大気現象の予測に関しては成果が得られたが、THORPEX の扱う大気現象の時間スケールのうち、1~2週間先の予測に寄与が期待できるかどうか、といった議論がなされた。(太田洋一郎)

4. PDP (予測可能性と力学過程) セッション

4.1 PDP-A

R. L. Elsberry (米海軍大学院) は、ECMWF における1ヶ月アンサンブル予報システムを用い、熱帯低気圧発生の予測可能性について調査した。R. Mahajan (ワシントン大学) は、台風 Nuri (2008年第12号) を例に、WRF モデルの EnSRF によるデータ同化サイクルを用いた感度解析手法とその結果について説明した。その他、熱帯低気圧に関する発表が1件、MJO に関する発表が2件、アフリカにおける最適観測に関する発表が1件あった。

4.2 PDP-B

O. Talagrand (LMD) は、アンサンブル予報の基本概念について説明を行った。S. Jones (カールスルーエ大学) は、ECMWF のシステムを用いて水平解像度 T42 と T255 の SV を算出し、北大西洋のハリケーンターゲットの SV の構造 (鉛直積算したトータルエネルギーの水平分布) が解像度により大きく異なる

ことを示し、高い解像度 (T255) を用いるとハリケーンの細かい構造が表現できることを述べた。この高解像度の SV を摂動としてアンサンブル予報を行ったところ、低解像度 (T42) の場合と比べてハリケーン進路予報のスプレッドが大きくなったそうである。

4.3 PDP-C

S. Jones は、PANDOWAE プロジェクトの概要を説明した。G. Riviere (フランス気象局) は2層プリミティブモデルの理想的な数値実験によって、ジェット気流を横切る傾圧性の渦の振舞いについて定性的に説明した。松枝は、TIGGE ポータル開始前から行っていた独自のアンサンブル予報データの収集を TIGGE に似せて「MIGGE」(Mio Interactive Grand Global Ensemble, Mio は松枝の名) と呼び、膨大なデータ量とネットワークの遅さによる当時の苦労話で聴衆を本シンポジウム一番の笑いの渦に巻き込んだのち、気象庁のアンサンブル予報データを使用した感度解析とそれに基づく NCEP 初期摂動の局所的な増幅実験により、NCEP のプロッキング予報の精度を大きく改善できたことを示した。本研究は、第2回 THORPEX 国際科学シンポジウムの際に、当時博士課程の学生であった松枝が Z. Toth に開口一番「I want NCEP ensemble data.」と言ったことから始まった共同研究の成果であり、特定のセンターの予報を他のセンターの予報を利用することで改善するという TIGGE の目的を果たしたはじめての例といえよう。(松枝未遠, 山口宗彦, 太田洋一郎)

5. RCCCRT (地域観測計画と横断的研究テーマ) セッション

5.1 RCCCRT-A

中澤は、T-PARC での気象庁の貢献 (感度解析、航空機観測と OSE) について報告するとともに、他の機関によって行われている OSE についても報告した。全体的に見ると、航空機観測により台風の進路予測に改善は見られるものの、ある時刻の航空機観測のデータを同化すると著しく予報が悪化する例が見られ、その原因について今後検討が必要であると述べた。

M. Weissmann (ドイツ航空宇宙センター) も同じく T-PARC の観測データを用いた ECMWF モデルによる感度実験結果を紹介した。航空機観測データを連続的に予報解析サイクルに載せていくと実況にもっとも近づく予報となるようだ。また、台風を周回して

観測を行った DOTSTAR のデータだけを同化した場合も実況に近い進路予測結果となっており、この点は注目に値する。さらに、台風中心付近で解析値と大きなずれがあったドロップゾンデデータについては除外したそうで、台風中心付近のデータには注意が必要とのことである。

山口は、T-PARC 航空機観測のために感度解析を提供した数値予報センター、研究機関、大学を代表して、T-PARC に向けてどのような準備を行い、また T-PARC で実際にどのように感度解析を利用したかについて報告した。今後の課題として、OSE を通じて感度解析の妥当性を評価するだけでなく、感度解析結果の力学的・物理的解釈についての理解を深める必要があるだろうと述べた。さらに、感度解析技術の有効性が確立された後の将来計画として、ターゲット衛星観測、有人・無人飛行機観測、非定時のゾンデ観測等の実現可能性を検討する必要があるだろうと述べた。

P. G. Black (米国海軍研究所) は、感度実験結果などには触れず、T-PARC を構成する米国側プログラム TCS-08 の紹介をした。TCS-08 は、台風の発生と台風の急発達に焦点を絞って米国空軍の航空機による観測などが行われ、貴重なデータセットが得られたようである。今後の詳細な解析が楽しみである。

太田は、T-PARC 期間中に気象庁が実施した SV 法による感度解析システムの概要と、SV 法による感度解析結果の特徴について報告した。SV 計算の際、線形モデルでの深い対流の有無によって求まる高感度領域に違いが生じることを示し、台風をターゲットとした SV 法の感度解析では、湿潤過程が重要な役割を果たしていることが示唆されると述べた。

ポスターセッションでは、別所が T-PARC の特別観測で得られたゾンデデータ等を用いて、台風接近時の秋雨前線の詳細な構造を示した。

5.2 RCCRT-B

J. E. Kristjensson (ノルウェー気象局) は、THORPEX の枠内で実施される IPY の10個のプログラムのうち、特に極域の予報精度向上のための4つについて紹介した。O. Nuissier (フランス気象局) は、2010年から2020年にかけて行われる HyMeX について紹介した。実際には集中観測がこの期間内に何回かに分けて行われるようである。S. Jones は、2012年から実施される T-NAWDEX の紹介をし、T-NAWDEX への参加を呼びかけた。HyMeX との協

力が考えられているようである。

5.3 RCCRT-C

THORPEX 業界の大御所 M. Shapiro (コロラド大学、ベルゲン大学、NCAR) は、気象研究者と気候研究者が協調して研究を進めていく重要性を語った。

G. Brunet (カナダ環境省) は、M. Shapiro の話を引き継いで、気象予報モデルから気候予測モデルへのシームレスな結合を唱えていた。M. Moncrieff (NCAR) は、NICAM などの雲解像全球モデルを用いて MJO の解明を目指す YOTC について説明した。C. Thorncroft (ニューヨーク州立大学) は、2002年から実施されている AMMA の説明をした。このプログラムでは、2006年に西アフリカを中心にラジオゾンデネットワークを構築し、集中観測も行ってきたそうである。メソから気候までカバーしつつ、かの地におけるモンスーンの変動や、アフリカ偏東風波動について調査を行っているようだ。

(中澤哲夫, 別所康太郎, 山口宗彦, 太田洋一郎)

6. TIGGE (THORPEX 双方向グランド全球アンサンブル) セッション

TIGGE は THORPEX の重要な要素の一つであり、現業数値予報センターと大学間でのアンサンブル予報に関する協力の強化、アンサンブル手法（とくに、マルチモデルアンサンブル手法とバイアス修正手法）研究の促進、現業 GIFS (全球双方向予報システム) のプロトタイプに向けた研究などを目的としている。TIGGE では、2006年10月から、現業数値予報センターの全球アンサンブル予報データを準リアルタイムで蓄積し続け、今では1日に約600GB (10センターで557メンバー) のデータが、ECMWF, NCAR, CMA の各 TIGGE データポータルに集められている。各ポータルは各センターにより独自に運用されているため使い勝手は大きく異なるが、学術ならびに教育目的であれば誰でも無償でデータを利用できる。松枝は、R. Swinbank (UKMO), Z. Toth, K. Mylne (UKMO), L. J. Wilson (CMC), S. Worley (NCAR) とともに、TIGGE セッションのオーガナイザーを務め、プログラム作成等に携わった。

6.1 TIGGE-A

R. Swinbank は、TIGGE の目的、データポータルの概要、TIGGE-LAM (領域モデルのための TIGGE) の説明をしたのち、現在までに得られている TIGGE の最新の成果として、グランドアンサンブル

ルの有用性 (Park *et al.* 2008 ; Matsueda and Tanaka 2008 ; Johnson and Swinbank 2009), 洪水予測への適用 (Pappenberger *et al.* 2008) などを紹介し、最後に、GIFS に向けての現状を報告した。L. J. Wilson は、TIGGE データからなるグランドアンサンブルの精度評価について発表した。X. Zhi (南京大学) は、Kurishnamurti *et al.* (2001) の提案したスーパーアンサンブル手法を地上気温に適用した結果を示し、7日予報まではスーパーアンサンブル予報が各センターのアンサンブル予報に優ることを示した。

6.2 TIGGE-B

J. Schaake (NOAA) は、洪水予測や水資源管理を主な対象とし、現実的な水文アンサンブル予報を開発すること目的とする THEPS についての紹介をした。F. Tian (CMA) は、2008年7月23日に淮河流域で発生した極端降水の発生ポテンシャルを事前に検出できたかどうかを TIGGE データにより調べ、これらのグランドアンサンブルが各センターのアンサンブルに比べ優れていることを示した。B. Raoult (ECMWF) は、S. Worley, B. Xiaofeng (CMA) と共に、TIGGE データポータル概要、各 TIGGE ポータルの特徴と簡単な使用方法、使用状況について発表した。ECMWF ポータルに登録している国別のユーザ数は、多い順に、米国69名、英国39名、中国37名であり、日本はギリシャと並んで4位 (20名) である。日本は登録ユーザ数の割には TIGGE データを使用した研究がほとんどない。

なお、ポスターセッションの時間に、各ポータルの担当者3名が、3台のパソコンを前にデータ取得の実演、質問対応などをして各ポータルの宣伝を行っていた。

6.3 TIGGE-C

Z. Toth は、GIFS の概要を説明した。GIFS の目指すところは、大気顕著現象に対し、アンサンブル予報ベースの高品質で先進的な確率論的警報の開発とそのテストを行うことであり、そのプロトタイプとしては熱帯低気圧予報と確率論的降水予報を挙げていた。

J. Adams (COLA) は、OPeNDAP による TIGGE データの利用について紹介した。K. Mylne は、現業数値予報センターの立場から、TIGGE 研究と GIFS 開発に対する意見を述べていた。UKMO では現業化こそしていないものの、内部向けにすでにグランドアンサンブルによる確率情報をリアルタイムで作成しており (K. Mylne 私信)、いずれも説得力のあるもので

あった。

6.4 TIGGE-D

T. Hamill は、はじめに2008/09年冬季の T850, T2m を対象に CMC, ECMWF, NCEP, UKMO の4センターからなるグランドアンサンブルが、世界最高の予報精度をほこる ECMWF のアンサンブルに優ることを示した。ちなみに、JMA のアンサンブルは上記の4センターと同程度の予報精度だが、予報時間が最短の9日のため残念ながらグランドアンサンブルには含めなかったとのことである (R. Hagedorn (ECMWF) 私信)。次に、再予報 (reforecast) を用いることで、特に地上要素に対するグランドアンサンブルの性能をさらに向上できることを示し、さらなる計算コストが必要であるものの再予報は重要であると強調していた。G. Wick (NOAA) は、全球水循環の観点で重要な “atmospheric river” (降水量を描いたときに見られる細長い強雨域) の予測可能性が高いことを示した。D. Monkam (ドゥアラ大学) は、2007年5月5日のケニア航空墜落事故当時の気象状況について調べていた。L. Wiegand (リーズ大学) は、2008年5月末に起きた、サハラ砂漠での砂塵嵐 (珍しく中央ヨーロッパまで飛来した) とそれに起因するアルプス山脈南部での強雨について解析していた。J. H. Keller (カールスルーエ大学) は、2008年10月の熱帯低気圧 Bavi を対象に、熱帯低気圧の温帯低気圧化期の予測可能性について調べていた。

なお、松枝は、ポスターセッションで、CMC, ECMWF, JMA, NCEP, UKMO の5センターからなる500hPa 高度場のグランドアンサンブルが、予報中盤 (予報時間6日) 以降、ECMWF のアンサンブルに優ることを示した。

(松枝未遠)

7. まとめと所感

本シンポジウムは、T-PARC 終了後初めての大規模な国際会議だった。T-PARC 計画段階で北米地域委員会の共同議長だった D. Parsons (WMO) が、今度は WMO の国際プロジェクトオフィスでこのシンポジウムを組織する側に回り、中澤, M. Weissmann, 山口, 太田が連続して T-PARC 関連の講演をする T-PARC セッションを会議の早いところにセットするなど、T-PARC を様々な面で支援してくれていると感じた。

今回の会議では、お題目でなく、実際に予報の社会

・経済的な効果を検証する課題が数多く紹介されていた。それらは、ヨーロッパで取組まれてきた MAP という水管理、洪水予測などのプロジェクトであり、あるいは、アフリカで取組まれてきていた予報デモンストレーションプロジェクトであった。

問題はこれからである。欧米の研究者はこの T-PARC の観測データをこれから10年、20年使いこなすだろう。ところで日本の研究者はどうか。わりと簡単に観測データに見切りをつける傾向がありはしないか。例えてみると、まだ運ばれてきたばかりの温かいスープを飲み始めたばかりなのに、そのスープがほんの少しさめたかと思うと、もうそのスープには見向きもせず、もう別の温かいスープを飲もうとする。ある一つの研究にとことん取組むという風土が弱いということか。

問題は山積している。感度解析とは何なのか。OSE での観測データの同化法に改善すべき点はないのか。指向流の予報はうまくできていたのか。台風の構造はドロップゾンデデータを同化しても維持されていたのか。そもそも航空機による台風の最適観測法は採算がとれると言えるのか。国の業務として台風の進路予測改善のために航空機観測を行うための検討が必要ではないのか。研究者にしかできない課題、研究者だけの手には負えない課題などさまざまだが、「T-PARC を終えて早20年、ずいぶん台風の進路予測も進歩したものだ」とあとから言えるように、一歩でも二歩でも問題の解決に向けて取組んで行きたい。

(中澤哲夫)

予測可能性やデータ同化、アンサンブル予報に関わる研究だけを集めた本シンポジウムは、この分野が世界のメジャーな研究者達をいかに引きつけ、突っ走った結果を出しているのか、刮目するに十分なものであった。T-PARC のような大規模な研究プロジェクトや各国の予報センターに在籍しなければ、予測可能性の研究ができなかったのは一時代前のことになってしまった。今や TIGGE ポータルが完成し、誰でもアクセス可能になったからである。この TIGGE データを使って、各国の目端が利く研究者達は、注目すべき結果を早速、生みだしていた。それでも今はまだ、伝統的な「予測可能性」の研究テーマに従い、温帯低気圧の構造変化や、ブロッキング、台風の進路といったものを解析するのに、この大規模なアンサンブル予報結果のデータベースを利用しているに過ぎない。しか

し、早晚あらゆる現象を理解するために、(予測可能性の研究の枠を越えて) TIGGE は活用されるようになるであろう。その中で、TIGGE ポータルを持っている欧州、米国はいわずもがな、中国の取り組み方は特筆に値する。彼らは TIGGE データを利用した研究成果の量産体制を整えつつある。この分野の研究者の育成を急がなければ、我が国はまた中国に「後れを取る」ことになるであろう。(別所康太郎)

特別観測を用いた OSE に関して、中澤氏も指摘するように、数値予報システム毎に異なる実験結果の解釈が今後の課題であろう。サイクル解析による解析場と、ある解析時刻だけに観測データを同化した場合の解析場の比較や、観測データの同化手法の違いが解析や予報に与える影響を調べる必要があるだろう。例えば、Aberson (2008) は、熱帯低気圧中心から約110 km 以内のドロップゾンデデータを同化することで予報精度が悪化するという実験結果を示している。このように、数値予報システムに応じて異なるデータ同化手法の詳細を調べる必要もあるかもしれない。また、解析場における熱帯低気圧の表現も各システムによって異なっているだろう。ECMWF の TIGGE ポータルでは、主要な数値予報センターのアンサンブル予報の初期場だけでなく、ECMWF の高解像度モデルの初期場も提供している。これらのデータを使用して、センター毎に異なる熱帯低気圧の初期表現を比較することも重要であろう。

個人的に最も興味を持った発表は、S. Jones による SV の解像度依存の発表であった。T-PARC では SV に基づいた感度解析結果を基に観測領域を決定した。熱帯低気圧の進路、強度または発生等、予報対象に応じて感度領域または要素(風、気温、水蒸気等)は異なるであろう。熱帯低気圧をターゲットして算出される SV が何を表しているのか、どういった力学的メカニズムで成長し、進路、強度または発生等にどのような影響を与えるのかを SV の解像度、ノルム、評価時間等を変えて調査することが重要だと感じた。

(山口宗彦)

本シンポジウムの発表には THORPEX をテーマとする実に様々なものがあつた。その分、多くの発表が観測実験や地域プロジェクトの概要の説明となり、技術的に詳細な議論よりは、俯瞰的な立場からの議論が多かったように思う。特に、THORPEX 自体の今後

のあり方や、ターゲット観測の費用対効果の問題については、参加者の間で熱い議論が交わされた。今後も、これらの問題は機会があるごとに議論されるものと思われる。

一方、T-PARC に関しては、多くの機関およびシステムで、気象庁と同様に OSE が行われ、大まかな結果が揃いつつある印象を受けた。今後は、これらの異なるシステムで行われた実験結果について比較検証し、差異が生じた部分について詳細に調べる必要があると感じている。(太田洋一郎)

TIGGE に関するセッションをもつ初の国際会議であったため、開催前からどのような発表がされるのか非常に楽しみであった。ところが、蓋を開けてみると、どの発表者も TIGGE の膨大なデータに悪戦苦闘している様子で、アンサンブルデータの旨味を十分に抽出した解析はほとんどなかったように思う。TIGGE ポータルの運用開始から3年経ったが、TIGGE データを利用した論文は世界で8編ほどしかない(うち2編は松枝によるものである)。TIGGE データのハンドリングの大変さからその利用を断念した人も少なからず居たであろうが、R. Swinbank との会話の中で、まだまだ TIGGE の宣伝が足りないのではないかという話になった(これをうけて、松枝と中澤は以前より個人的にアーカイブしていた TIGGE データによる日々の天気図や予報成績等を <http://tparc.mri-jma.go.jp/TIGGE/index.html> にて広く公開することとした)。確かに、日本でも、気象庁関係者と予測可能性研究をしている一部の研究者にしか TIGGE の存在は知られていないように思う。TIGGE はそのデータ量こそ膨大ではあるが、その分たくさん「宝」が埋もれているはずである。本報告書によって、TIGGE という「アンサンブルの森」に潜む「宝の山」に勇敢に立ち向かう若くてエネルギー溢れる学生や研究者が少しでも現れてくれれば嬉しい限りである。

最後に、本出張に際して、国際学術交流委員会より渡航費用を援助いただいたことに対し深く感謝いたします。また、TIGGE セッションのオーガナイザーにご推薦くださいました竹内義明氏(元気象庁予報部数値予報課、現気象庁観測部観測課)、筑波大学博士課程在籍時の気象庁予報部数値予報課との共同研究の際に、アンサンブル予報の醍醐味を一から教えていただきました経田正幸氏(気象庁予報部数値予報課)に心

よりお礼申し上げます。

(松枝未遠)

略語一覧

- AFES : AGCM for Earth Simulator 地球シミュレーター用大気大循環モデル
- AGCM : Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル
- ALEDAS : AFES-LETKF Data Assimilation System AFES-LETKF データ同化システム
- ALERA : AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis AFES-LETKF 実験的アンサンブル再解析
- AMMA : African Monsoon Multidisciplinary Analyses アフリカモンスーン学際的解析
- CMA : China Meteorological Administration 中国気象局
- CMC : Canadian Meteorological Center カナダ気象局
- COLA : Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies 海洋陸面大気研究センター
- DAOS : Data Assimilation and Observing System データ同化と観測システム
- DOTSTAR : Dropwindsonde Observation for Typhoon Surveillance near the TAIwan Region 台湾周辺での台風監視のためのドロップウインドゾンデ観測
- ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts 欧州中期予報センター
- EnKF : Ensemble Kalman Filter アンサンブル・カルマンフィルタ
- EnSRF : Ensemble Square Root Filter アンサンブル平方根フィルタ
- ET : Ensemble Transform アンサンブル変換 (NCEP で行われている初期摂動作成法)
- ETKF : Ensemble Transform Kalman Filter アンサンブル変換カルマンフィルタ
- GFDEX : Greenland Flow Distortion EXperiment グリーンランド気流変形実験
- GFS : Global Forecast System NCEP 全球予報システム
- GIFS : Global Interactive Forecast System 全球双方向予報システム
- GSI : Gridpoint Statistical Interpolation 格子点統計的挿入 (NCEP で行われているデータ同化手法)
- HEPEX : Hydrologic Ensemble Prediction EXperiment 水文アンサンブル予測実験
- HyMeX : Hydrological cycle in the Mediterranean eXperiment 地中海における水循環実験
- IPY : International Polar Year 国際極年
- JMA : Japan Meteorological Agency 気象庁
- LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter

- 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ
- LMD : Laboratoire de Météorologie Dynamique フランス気象力学研究所
- MAP : Mesoscale Alpine Programme メソスケールアルプスプログラム
- MISMO : Mirai Indian Ocean cruise for the Study of the MJO-convection Onset MJO 対流オンセットの研究のためのみらいによるインド洋航海
- MJO : Madden-Julian Oscillation マッデン・ジュリアン振動
- NASA : National Aeronautics and Space Administration 米国航空宇宙局
- NCEP : National Centers for Environmental Prediction 米国環境予測局
- NICAM : Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model 全球非静力学雲解像モデル
- NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気庁
- OPeNDAP : Open-source Project for a Network Data Access Protocol ネットワークデータアクセスプロトコルのためのオープンソースプロジェクト
- OSE : Observing System Experiment 観測システム実験
- OSSE : Observing System Simulation Experiment 観測システム再現実験
- PANDOWAE : Predictability ANd Dynamics Of Weather systems in the Atlantic-European sector 大西洋-欧州域の天候システムの予測可能性と力学
- PDP : Predictability and Dynamical Processes 予測可能性と力学過程
- RCCCRT : Regional Campaigns and Cross Cutting Research Topics 地域観測計画と横断的研究テーマ
- SERA : Societal and Economic Research and Applications 社会的・経済的な研究・アプリケーション
- SV : Singular Vector 特異ベクトル
- TCS-08 : Tropical Cyclone Structure -08 (熱帯低気圧構造変化研究観測実験)
- THEPS : THORPEX/HEPEX Hydrologic Ensemble Prediction System THORPEX/HEPEX 水文アンサンブル予報システム
- THORPEX : The Observing system Research and Predictability EXperiment 観測システム研究・予測可能性実験
- TIGGE : THORPEX Interactive Grand Global Ensemble THORPEX 双方向グランド全球アンサンブル
- TIGGE-LAM : TIGGE for limited-area models 領域モデルのための TIGGE
- T-N A W D E X : THORPEX - North Atlantic Waveguide and Downstream impact EXperiment THORPEX 北大西洋導波・下流インパクト実験
- T-PARC : THORPEX Pacific Asian Regional Campaign THORPEX 太平洋アジア地域観測計画
- TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission 熱帯降雨観測衛星
- UKMO : United Kingdom Met Office 英国気象局
- WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関
- WRF : Weather Research and Forecasting (NCEP/NCAR の開発した次世代メソスケールモデル)
- WWRP : World Weather Research Programme 世界気象研究計画
- YOTC : Year Of Tropical Convection 熱帯対流年

参 考 文 献

- Abersson, S. D., 2008 : Large forecast degradations due to synoptic surveillance during the 2004 and 2005 hurricane seasons. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 3138-3150.
- Inoue, J., T. Enomoto, T. Miyoshi and S. Yamane, 2009 : Impact of observations from Arctic drifting buoys on the reanalysis of surface fields. *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L08501, doi : 10.1029/2009GL037380.
- Johnson, C. and R. Swinbank, 2009 : Medium-range multimodel ensemble combination and calibration. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **135**, 777-794.
- Krishnamurti, T. N. *et al.*, 2001 : Real-time multianalysis-multimodel superensemble forecasts of precipitation using TRMM and SSM/I products. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2861-2883.
- Matsueda, M. and H. L. Tanaka, 2008 : Can MCGE outperform the ECMWF ensemble? *SOLA*, **4**, 77-80.
- Pappenberger, F., J. Bartholmes, J. Thielen, H. L. Cloke, R. Buizza and A. de Roo, 2008 : New dimensions in early flood warning across the globe using grand-ensemble weather predictions. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L10404, doi : 10.1029/2008GL033837.
- Park, Y.-Y., R. Buizza and M. Leutbecher, 2008 : TIGGE : Preliminary results on comparing and combining ensembles. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **134**, 2029-2050.