

「第1回 THORPEX 研究会」報告*

—中期予報の精度向上にはどのような知見が必要か、また、何ができるのか—

大淵 濟**・榎本 剛***

1. はじめに

筆者らと THORPEX (ソーベックス) との出会い
は、筆者の1人である榎本が2002年11月に東京で行わ
れた「東アジア域におけるメソスケール対流系と豪
雨・豪雪に関する国際会議 (吉崎ほか, 2003) に出席
した際に遡る。THORPEX の国際的リーダーの1人
である Melvin A. Shapiro 氏 (米国海洋大気局) は、
榎本が発表した地球シミュレータを使った全球10-km
メッシュ・シミュレーションによる梅雨前線の結果
(Enomoto, 2003; Ohfuchi *et al.*, 2004) に興味を持ち、
コーヒー・ブレイクの度にニコニコして話しかけてき
た。ロスビー波の、位相速度より速い波束のエネルギー
伝播、そして碎波が引き起こす局地的な顕著現象は、
より精度よく予測できると Shapiro 氏は考えていた。
榎本は、ロスビー波の伝播に関する研究を行なってき
たので、Shapiro 氏の熱意あふれる講演にひかれて、意
気投合した訳である。

その後、Shapiro 氏からぜひ出席して欲しいとの連
絡があり、THORPEX とは一体何なのか、あまり良く
は分かっていない状態で2002年12月、米国カリフォル
ニア州モンレー市で行われた THORPEX 科学運営

委員会ワークショップに、露木 義氏 (気象庁) と共
に筆者ら2人は参加した。

露木氏は2001年の学会賞受賞者 (露木, 2001) であ
り、世界的にも有名なデータ同化の大家であるが、筆
者等はほぼ無名の駆け出し研究者であった。当時、筆
者の1人の大淵は、海洋科学技術センター (現在、独
立行政法人海洋研究開発機構) の研究者を中心とした、
地球シミュレータを使った超高解像度大気大循環モデ
ル研究のリーダーであった。その膨大な量の出力デー
タを考えると気候研究は無理と判断し、気象研究をや
るべきだと感じていたときである。THORPEX はま
だ計画立案の段階であり、今後の見通しも良く分から
なかったが、これは渡りに船だと思いきって、「我々は
無名であるが、若く、そして野心的である」と宣言し
たところ、モンレー市に集まった THORPEX の国
際コミュニティは、我々若造を暖かく迎えてくれた。

THORPEX とは、現業機関と研究機関とが協力し
て中期予報 (1~14日) の精度向上を目指す、世界気
象機関の国際研究計画である。THORPEX という名
前は、もともと“*The Hemispheric Observing system
Research and Predictability Experiment*”であった
が、“*The Observing system and Research and
Predictability Experiment*”の略称に落ちついたよう
である。ちなみに、この名前はと考えても、もう1
人の国際 THORPEX のリーダーである Alan J.
Thorpe 氏 (英国レディング大学) の名前をもじったも
のであり、おそらくユーモア溢れる Shapiro 氏の命名
であろうと思っていたのだが、Shapiro 氏に確認した
ところ、否定されてしまった。何でも、“Northern
Hemisphere Observation and Prediction Experi-
ment”が頭に浮かんだらしいのだが、“NO HOPE”で
はいかんというのでやめたらしい。“Thor”というの

* Knowledge necessary to improve medium-range
weather forecast and future perspective: A
report on the First Meeting of Japan Working
Group on THORPEX Research.

** Wataru OHFUCHI, 独立行政法人海洋研究開発機
構地球シミュレータセンター。
ohfuchi@jamstec.go.jp

*** Takeshi ENOMOTO, 独立行政法人海洋研究開発
機構地球シミュレータセンター。
eno@jamstec.go.jp

ノルウェー・バイキングの気象を司る神様で、Thorpe氏を共同リーダーに誘うよりも前に THORPEX という名前を考えついたということである。

THORPEX は2003年5月に、世界気象機関の世界天候研究計画の下で10年計画として実施されることが決まった。しかしながら、日本においては、なかなか THORPEX コミュニティーが広がる様子が見られなかった。忙しい大学やその他の研究機関の先生方に頼るよりも、筆者らのモットーである野心的な行動を起こすべきだと考えた。そこで、日本とアジアにおけるこのプロジェクトの推進について検討するとともに、広くこのプロジェクトについて学会員に知ってもらうために、福岡で行われた2004年度秋季大会に合わせて、第1回 THORPEX 研究会を大会の翌日の10月9日(土)に九州大学理学部で行なうことにした。司会をかって出た大淵が、不面目なことに前夜の飲み過ぎで気を失ってしまつて1時間遅刻したり、台風22号による影響のため、九州外からの出席者の一部がその日のうちに帰宅出来なかつたりと、多少のハプニングがあった。また、10月初旬の体育の日の直前の土曜日ということもあり、お母さん、お父さんの研究者には都合が悪かったことが懸念されたが、台風22号のおかげ(?)で運動会が順延されたりしたこともあり、20人を超える気象庁や大学からの熱心な参加者があり、非常に活発な議論が行われた。

この記事は、第1回 THORPEX 研究会の詳細な報告というよりも、筆者らの極めて主観的な感想文である。発表は、まず、余田成男氏(京都大学)より「THORPEX までの経緯と基礎概念」、次に、アジア THORPEX 地域委員会の委員長である中澤哲夫氏(気象研究所)より「Asian THORPEX について」、さらに、経田正幸氏(気象庁数値予報課)より「現業アンサンブル予報と THORPEX」、入口武史氏(気象庁数値予報課)より「北大西洋 TReC (THORPEX Regional Campaign) 特別観測データの気象庁全球予報モデルへのインパクト」、最後に、山根省三氏(海洋研究開発機構)より「地球シミュレータでのアンサンブル実験(計画)」をお話いただいた。発表の後に1時間弱、非常に活発なオープン・ディスカッションを行った(第1図)。

2. THORPEX までの経緯と基礎概念(余田成男氏:京都大学)

余田氏は国内だけではなく、国際的にも理論家とし



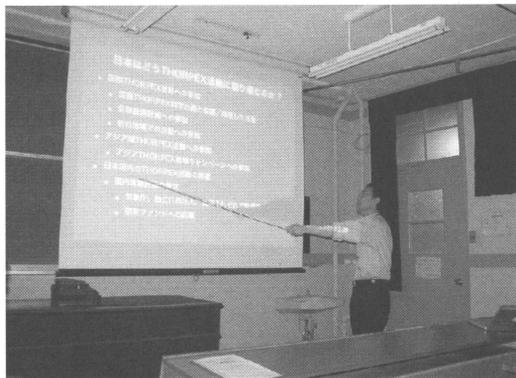
第1図 集まったそうそうたる面々。ここでテロをやられていたら、日本の気象学の将来は危うかったであろう。

て名を馳せているが、意外なことに、実学としての側面があるという認識から、天気予報の予測可能性に興味を持ったという。余田氏の予測可能性研究は、Mukougawa *et al.* (1991) に始まり、Kimoto *et al.* (1992), Yoden and Nomura (1993), Yamane and Yoden (1997), Yamane and Yoden (2001) と続いた。余田氏の研究室の大学院生であった山根省三氏(千葉科学大学/海洋研究開発機構)が学位を取得して京都大学大学院を離れて以来、予測可能性の研究は余り進んでいないということであった。米国や英国等の大学では、天気予報研究は非常に活発であり、天気予報研究である THORPEX 研究が国内の大学でも推進できるように、学生の方々にも積極的に働きかけて行く必要があると感じた。

余田氏が初めて THORPEX のことを知ったのは、仏国ニース市で2000年4月に行われた European Geophysical Society の折りに行われた THORPEX の準備会議である。現在の活動に関しては、京都大学生存圏研における津田隆敏氏による赤道 GPS 計画など最新の観測計画の動向を紹介し、このような他のプロジェクトとの連携の必要性を強調した。

3. Asian THORPEX について(中澤哲夫氏:気象研究所)

前述したように、中澤氏(第2図)はアジア THORPEX 地域委員会の委員長である。発表では、まず、アジア THORPEX 地域委員会(ARC: Asian Research Committee)の紹介が行われた。ARC は、現在のところ、日本、中国、韓国、インド、ロシアが参加してお



第2図 日本国内の THORPEX 活動の推進に関して熱弁をふるう中澤哲夫氏（気象研究所）。この人のリーダーシップなしには日本はもとよりアジアの THORPEX 活動は推進しない。

り、北米、欧州とならぶ地域委員会の1つである。ARCの第1回会合は2004年3月に韓国、ソウル市で開催され、アジア域での研究対象を熱帯低気圧と豪雨の予測にすることが決定された。2004年11月上旬の時点では、ARCの第2回会合は2004年11月中旬に中国、北京市で行われ、アジア域での実施計画書を検討し、また、アジア域の参加国の増大のための呼びかけ文を起草した。

中澤氏がもっとも強調したかったのは、「THORPEXは何をやるのか」を問うのではなく、「THORPEXの傘下で、個人や個々のグループがどのような研究開発が出来るのか」を考えるように、発想を転換して欲しいということであった。取り組みたい課題があれば、積極的に競争的資金などに応募し、もしもそれがTHORPEX貢献出来るようであれば、THORPEXとの協調、協力をお願いしたいとの発表であった。とくに予測可能性の向上のために、各専門分野にある知見をどのようにTHORPEXに役立てることが成功への道であると、さらに強調した。

4. 現業アンサンブル予報と THORPEX (経田正幸氏：気象庁数値予報課)

経田氏は、気象庁の現業アンサンブル予報の高度化に向けて、主に特異ベクトル法を使った初期擾乱生成の研究開発を行っている。これまでに、湿潤過程が入っていない接線形モデルと随伴モデルの開発が終わり、特異ベクトル法の評価を行っている。非常にポジティブな結果が得られてはいるが、湿潤過程の導入や、計

算機資源の制約によって、メンバー数に限りがあり、また、予報モデルよりも粗い解像度でしか特異ベクトル法を使えていない。ただし、計算機資源が問題である研究開発については、筆者の1人である大淵が責任者となっている地球シミュレータ共同プロジェクトの一部であり、今後の進展、さらに、THORPEXコミュニティへの貢献が期待される。

Madden-Julian 振動などの熱帯擾乱を的確に予報することによって、アジア域における2週間先の予測可能性に現実味が出てくると期待される。それに対し、向川 均氏（京都大学）からは、気象庁のアンサンブル予報の初期擾乱は、熱帯では大き過ぎるのではないかとの指摘があった。

アンサンブル予報は、気象庁だけではなく、もちろん、世界の多くの現業機関で行われている。その現状とこれまでの改善が紹介され、気象庁の次期アンサンブル予報システムでは、T319L60 M51（水平波数319、鉛直60層、51メンバー）の導入が予定されていると発表した。

気象庁数値予報課では、アンサンブル予報担当者は2名しかおらず、大学等研究機関によるサポートが必要だと感じた。また、斉藤和雄氏（気象研究所）より、気象庁/気象研究所非静水圧モデルによるメソ・アンサンブルの研究を始めつつあるとのコメントがあった。

5. 北大西洋 TReC (THORPEX Regional Campaign) 特別観測データの気象庁全球予報モデルへのインパクト (入口武史氏：気象庁数値予報課)

入口氏からは、まず、北大西洋 TReC の概要説明が報告された。この特別観測データを入れてデータ同化を行い、初期値を生成すると、わずかながらも予報の改善が見られた。

特に、上空での改善が顕著であったが、それに対し、中村 尚氏（東京大学/海洋研究開発機構）からは、もともとの変動が高度毎に異なるので規格化が必要ではないかとの指摘があった。また、予報の後半ほど改善が大きいことについては、斉藤和雄氏（気象研究所）より、予報の後半はモデル・バイアスをみているのではないかとの指摘があった。さらに、ヨーロッパからの誤差伝播が顕著だった事例に対し、余田成男氏、向川 均氏（ともに京都大学）から、アンサンブルのブレッドで評価すべきとのコメントがあった。

6. 地球シミュレータでのアンサンブル実験(計画) (山根省三氏：海洋研究開発機構)

山根氏は京都大学大学院で余田成男氏の指導の下、単純化された地球流体力学モデルによる予測可能性の研究(Yamane and Yoden:1997, 2001)で博士号を取得した、日本だけではなく、世界的にも希有な専門家である。この研究会では、現在、筆者等と始めつつある超多メンバー・アンサンブルによる研究の速報を発表した。

初期擾乱作成、ならびに、データ同化に、今後はアンサンブル・カルマン・フィルタを使って行く予定であるが、現段階では、気象庁数値予報課から提供された25メンバー・アンサンブルの初期値を使い、AFES(Ohfuchi *et al.*, 2004)で積雲対流パラメタリゼーション等、4つのケースと気象庁の予報を加えた、マルチ・モデルによる125(25[初期値]×5[モデル])メンバーのアンサンブル予測を紹介した。今後は、地球シミュレータでの多メンバー・アンサンブル、初期値とモデルの不確定性を調べる計画である。しかしながら、余田成男氏(京都大学)から、125メンバーでは少な過ぎるし、また、複数モデルよりも、初期擾乱で1000程度のアンサンブル予測をまず調べるべきであるとのコメントがあった。これに対し、向川均氏(京都大学)からは、成長するモードは1000もないであろうとのコメントがあった。

7. オープン・ディスカッション

7.1 研究体制について

向川均氏(京都大学)より、気象庁から大学等の研究機関に技術移転を。また、逆に、気象庁で学生の受け入れが出来れば良いとのコメントがあった。それに対し、斉藤和雄氏(気象研究所)から、気象庁では韓国の学生を受け入れた例があり、また、気象庁内でTHORPEXのワーキング・グループがあり、要望を数値予報課に出してもらえれば、気象庁におけるTHORPEX研究計画に織り込める可能性があるとの返答があった。

THORPEXアジア領域委員会の委員長である中澤哲夫氏(気象研究所)からは、THORPEXに貢献できそうなテーマ毎に、大学や研究機関で積極的にリーダーシップを取って、研究を推進して欲しいとの要望が出された。

向川氏からは、気象庁が保有するデータや情報を出来るだけ公開して欲しいとの要望も出された。それに

対し、田中博氏(筑波大学)からは、田中氏が所属する計算科学研究センターにおいて気象データベースの構築を進めているので、ディスクスペースを提供することを検討したいとのコメントがあった。

また、余田成男氏(京都大学)からは、厳密にターゲットを絞り込まなくても、他の観測計画のデータの利用をしながらインパクト評価をして行くべきだとの指摘があった。

7.2 研究対象について

澤井哲滋氏(気象研究所)から、THORPEXがターゲットとしている、1日から2週間という予報時間スケールと、もっと短い時間スケール顕著現象の予報にはギャップがあるとの意見が出された。この点については、いわゆるナウキャスト的なものをTHORPEXに含めるべきかどうか、国際レベルで協議されているようである。

向川均氏(京都大学)からは、中緯度の中期数値予報の高精度化のためには、ブロックングのより良い予報が必要であり、そのためには、予報モデルの対流圏界面における鉛直高解像度が必要であるとの指摘があった。

ところで、THORPEXアジア領域委員会は、日本、韓国、中国、インド、ロシアが参加しているのだが、ロシアの参加は名目上になりつつある。その1つの理由は、上記の中澤氏の発表にあったように、とりあえずのターゲットが台風と豪雨になってしまったからかも知れない。中村尚氏(東京大学)からは、日本の冷夏や梅雨活動にも影響を及ぼす高緯度の現象もアジア域の研究対象に含めれば、ロシアの参加を促すのではないかとコメントがあった。

吉崎正憲氏(気象研究所)から、ロスビー波の碎波にともなうフィラメント状の構造とメソ現象との関係を調べて欲しいとの要望があった。特に、顕著なメソ現象では上層のポテンシャル渦度の分布などだけではなく、下層の風と水蒸気の分布が重要であるので、それらも研究対象になると指摘した。

遊馬芳雄氏(北海道大学)は、観測機器やモデルなど顕著現象を研究するための道具が豊富になったので、対象に応じて適切な方法を用いれば効率的な研究ができるとコメントした。また、新野宏氏(東京大学)は、過去の顕著現象の事例を丹念に調べることも重要であるとの指摘があった。

8. おわりに

上記の中澤哲夫氏（気象研究所）の呼びかけに呼応するように、この研究会のあと THORPEX の傘下で、最近少し廃れつつあるこの日本の伝統芸能を復活させようという動きが活発になってきた。こういう提案が出てくるのは、筆者等が願っていた展開であり、喜ぶべきことである。その結果、もしかすると一大国家プロジェクトが立ち上がるかもしれない。しかしながら、筆者の1人である大淵には多少複雑な思いがある。本当は筆者等の小さなグループで人知れず少数派であり続けたかったのだな、と感じている。

地球シミュレータ職員である大淵の政治的(?) 願望は、地球シミュレータの有効利用としての天気予報研究の推進である。今後の気象学におけるハイ・パフォーマンス・コンピューティングの必要性をキチンと示さなければ、気象学の未来は無いとまでは言わないが、重要な一角を欠く可能性がある。すなわち、観測、理論とともに、大規模数値シミュレーションは将来の気象学にとって重要な役割を果たすと思っている。大淵は、地球温暖化研究や地球システム・モデリングと同等か、もしかするとそれら以上に天気予報の高精度化が納税者への貢献になると信じている。そして、予測可能性や顕著現象のプロセス研究は我々の気象力学のより良い理解につながり、気象の統計状態である気候のより良い理解にもつながると思っている。THORPEX 研究が多くの大学院生の方々にとって魅力的であることを願っている。

日本や海外における THORPEX 研究やその計画、策定は急展開しつつある。詳しくは THORPEX 研究連絡会のホームページ¹¹を参照願いたい。

謝辞

会場を用意するなど、いろいろとお手伝いして下さった九州大学の川野哲也さん、中島健介さんに感謝いたします。写真は、別所康太郎さん（気象研究所）から提供していただきました。筆者の怠慢により出版が大変遅れました。関係者の方々に深くお詫び申し上げます。

参考文献

- Enomoto, T., 2003: Simulations of global to regional phenomena using a 10-km mesh AGCM on the Earth Simulator, Proc. International Workshop on NWP models for heavy precipitation in Asia and Pacific Areas, Tokyo, Japan, February 2003, 165-171.
- Kimoto, M., H. Mukougawa and S. Yoden, 1992: Medium-range forecast skill variation and blocking transition: a case study, Mon. Wea. Rev., 120, 1616-1627.
- Mukougawa, H., M. Kimoto and S. Yoden, 1991: A relationship between local error growth and quasi-stationary states: case study in the Lorenz system, J. Atmos. Sci., 48, 1231-1237.
- Ohfuchi, W., H. Nakamura, M. K. Yoshioka, T. Enomoto, K. Takaya, X. Peng, S. Yamane, T. Nishimura, Y. Kurihara, and K. Ninomiya, 2004c: 10-km mesh meso-scale resolving simulations of the global atmosphere on the Earth Simulator: Preliminary outcomes of AFES (AGCM for the Earth Simulator), J. Earth Simulator, 1, 8-34.
- 露木 義, 2001: 湿潤過程を含んだ4次元変分法による熱帯の4次元データ同化の研究—2001年日本気象学会賞受賞記念講演—, 天気, 48, 863-871.
- Yamane, S. and S. Yoden, 1997: Predictability variation and quasi-stationary states in simple non-linear systems, J. Meteor. Soc. Japan, 75, 557-568.
- Yamane, S. and S. Yoden, 2001: Finite-time evolution of small perturbations superposed on a chaotic solution: experiment with an idealized barotropic model, J. Atmos. Sci., 58, 1066-1078.
- Yoden, S. and M. Nomura, 1993: Finite-time Lyapunov stability analysis and its application to atmospheric predictability, J. Atmos. Sci., 50, 1531-1543.
- 吉崎正憲, 藤吉康志, 村上正隆, 耿 驪, 中村晃三, 加藤内蔵進, 斉藤和雄, 中井専人, 川島正行, 中村健治, 新野 宏, 上田 博, 小林文明, 加藤輝之, 2003: 「東アジアにおけるメソ対流系と豪雨・豪雪に関する国際会議」の報告, 天気, 50, 189-196.

¹¹ <http://www.es.jamstec.go.jp/esc/research/AtmOcn/thorpex/>