

THORPEX 研究連絡会第 4 回研究集会の報告

榎本 剛^{*1}・茂木 耕作^{*2}・伊藤 耕介^{*3}
吉田 聡^{*4}・山口 宗彦^{*5}

標記研究集会は、2010年9月14～15日、岩手県大槌町にある東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターで開催された。テーマは、「太平洋・アジア域に影響を与える気象」で、研究動向、予測可能性と力学過程、同化手法と観測システム、アンサンブルの4つのセッションを設けた。参加者は12名で多くはないが、気象庁・気象研や様々な大学・研究機関からの参加者が集まった。大槌開催を提案したのは別所康太郎(当時気象研)であったが、気象庁観測課に異動となり業務多忙のため残念ながら不参加となった。以下、セッションの座長が所感や挿話を交えながら、集会の様子を報告する。

1. 研究動向

このセッションでは、余田成男(京大)、中澤哲夫(気象研、現在WMO)、経田正幸(気象庁)による招待講演により、THORPEXを中心とした予測可能性研究全般のレビューが示された。初日の午前中に行われる招待講演というと厳かに落ち着いた雰囲気での議論が想像されるかもしれない。しかし、この日は、出

だしから議論が白熱した。アンサンブル予報による確率的議論が有効な対象は何か、アンサンブルを用いた新たな精度指標の提案、現状で持ちうる予報データの生かし方、アジア域各国に対する日本のリーダーシップのあり方、等々。

これらの議論が初日の午前中にもかかわらず非常に白熱したのには、一つ大きな理由がある。実は、この3名の招待講演者と吉田・三瓶岳昭・山口・茂木は、同じ宿の民宿・六六工に宿泊した。そして研究集会前日9月13日の夜には、茂木と経田が相部屋で使った12畳の部屋でたっぷりと招待講演の“リハーサル”(と敢えて呼ぶ)が行われていたのである。ビールを片手にして、手のひらサイズの貝殻に握り拳サイズの貝柱がつまった信じられないほど美味なホタテをつつきながら、5時間以上も“リハーサル”したのだから、本番が盛り上がりがないはずもない。

茂木にとって特に印象深かったのは、荒天予測実証プロジェクト(SWFDP)である。このプロジェクトは、研究を目的とするTHORPEXとは別に、世界気象機関が主導する現業実験で顕著現象の予報の改善により各国の被害の軽減を目指している。各国の状況に応じた適切な警報基準などを定めるためには現象の理解が欠かせない。その点、海洋研究開発機構は、現象を理解するための研究を進めるとともに、現地現業機関のニーズを独自に調査してきた経緯がある。SWFDPの取り組みを通じて、現業機関と研究機関が互いにうまく連携できれば、双方に大きな成果が得られる可能性がある。

ここではとても書ききれないが、他にも抽象論に終わらず具体的な話が多くなされていた。完全に緊張がほぐれきったところで生産的な議論をすることはこれ

*1 Takeshi ENOMOTO, 海洋研究開発機構地球シミュレータセンター. eno@jamstec.go.jp

*2 Qoosaku MOTOKI, 海洋研究開発機構地球環境変動領域. moteki@jamstec.go.jp

*3 Kosuke ITO, 京都大学理学研究科. itokosk@kugi.kyoto-u.ac.jp

*4 Akira KUWANO-YOSHIDA, 海洋研究開発機構地球シミュレータセンター. akiray@jamstec.go.jp

*5 Munehiko YAMAGUCHI, 気象庁気象研究所. myamagu@mri-jma.go.jp

ほど楽しいものかと改めて感じた。やはり、前日のアイスブレイカー（緊張をほぐすもの：特大ホタテ）の効果は絶大であった。参加者全員が「絶対また来よう」と口を揃えたのも頷ける素晴らしい時間であった。（茂木耕作）

2. 予測可能性と力学過程

予測可能性と力学過程のセッションでは4件の講演があった。のちの総合討論でも話題になったが、予測可能性に関する研究は、数値予報にとって非常に重要な議論であると同時に、それ自身で閉じた問題ではなく、何らかの力学過程と関連して議論されるべきものである。その意味で、幅広い話題に及んだ本セッションの4件は、参加者がそのことを改めて肝に銘じるよいきっかけとなったのではないかと思う。

西井和晃（東大）は、アンサンブル予報を用いた成層圏突然昇温予測への初期値誤差場への依存性について、気象庁1カ月アンサンブル予報を解析した結果について発表した。そして、スプレッドを時系列に沿って解析し、摂動のスプレッドが対流圏のプロッキング高気圧の領域に影響されて大きくなっていることを示した。さらに、簡易感度解析によって、この領域に高い感度が現れることも示された。

吉田（海洋研究開発機構）はアンサンブル再解析データ ALERA について簡単に紹介をしたあと、それを用いて、爆弾低気圧の構造に対し解析インクリメント（観測データを同化した際の第一推定値の修正量）がどのように加えられたかについて発表した。その結果、日本海やオホーツク海で発達する爆弾低気圧に関しては、システムが南に動くようにインクリメントが加えられ、太平洋上で発達する爆弾低気圧に関しては北に動くようにインクリメントが加えられていることが示された。JCDAS と ALERA では、インクリメントのパターンが大まかに似ており、そのことに関して、参加者の間で活発な議論が交わされた。

山口（気象研）は、台風渦中で成長する特異ベクトルの構造と成長メカニズムに関して発表した。発表の前半では、現業アンサンブル数値予報のデータセットを用いた解析により、台風の中心を暖気側とした傾圧性によるエネルギー変換に対応する特異ベクトルが存在し、そのような摂動を加えることにより台風の進路が変化しうることが示された。発表の後半は、非発散順圧モデルを用いて現れる台風状のシステムにおいて、特異ベクトルの成長がどのようなメカニズムに関

連しているかについて考察した。特異ベクトルの構造や渦運動エネルギーの方程式から、このシステムにおける特異ベクトルの成長は、Orr のメカニズム（シア場によって摂動の同位相軸が向きを変える）と順圧不安定によって説明されることがわかった。

三瓶（会津大）は、梅雨降水帯の形成に本質的な大規模場の力学について、JRA-25 と GPCP の降水データを用いて調べた結果について述べた。大規模場の上昇流強制となりうる要素について検討したところ、梅雨期においては、中層の温度移流と上昇流の対応関係がよいことがわかり、さらに、そのような中層の温度移流はジェット気流に沿って生じていることが示された。また、その他にも、ジェット気流は中緯度の擾乱に対する導波管となるので、強い上昇流を発生させやすいという役割をもつことにも触れられた。

（伊藤耕介）

3. 同化手法と観測システム

本セッションでは3件の発表があり、一つはデータ同化手法を利用したモデルパラメータ推定実験、あとの二つは最近行われた実際の観測に関する話題であった。THORPEX と聞くと、予報の向上をもたらすような観測場所を推定し、機動的観測を行い、予報にフィードバックをかけるという野心的な印象があるかもしれない。しかし現実には、そもそも観測が不可能だったり、研究目的の特別観測しか行えなかったりすることが多い。その意味で本セッションの講演は貴重な観測をいかに活用するかというアイデアに富んだものであった。

伊藤（京大）はアジョイント法を用いて台風状況下での海面交換係数（いわゆるバルク係数）を推定する手法を紹介した。そもそも秒速数十 m の風が吹き荒れる海上で乱流観測を行うことはほぼ不可能であり、係数の真値はわからない。しかしアジョイント法を用いると別の地点（例えば台風上空の風速）の観測同化から海面交換係数を逆推定することが可能である。現状は軸対称台風モデルによるパーフェクトモデル実験ではあるが、今後の発展が楽しみな研究であった。

次に茂木（海洋研究開発機構）は2010年6月に行われた PALAU2010 で観測された大気の高層について発表した。PALAU2010 は日本のはるか南に位置するパラオ共和国で海洋研究開発機構の観測船「みらい」を中心とした、ドップラーレーダー、高層観測、海洋観測、航空機観測を展開する観測プロジェクトである。

講演では、中緯度起源の上層渦と熱帯起源の下層渦が関係しながら、日本付近の梅雨前線まで到達する様子を解析し、低緯度からの渦と中緯度渦、梅雨前線とのカップリングの可能性を示した。客観解析データでは、ぼんやりとしか現れない渦がドロップゾンデ観測ではしっかりとした渦として捉えられていることが印象的で、観測点の少ない場所での観測の重要性を再確認した。

最後に山田広幸（海洋研究開発機構）は同じPALAU2010の観測での大気・海洋観測について報告した。MJOに代表される熱帯季節内変動の進行と海洋との相互作用はホットな話題の一つであるが、発表では、東進してくる季節内変動の雲域が到達する前に西部熱帯太平洋で広範囲にわたり海面水温や海洋の貯熱量が大きく減少したことが示された。観測機器の展開の仕方など、私もこれから中緯度での大気・海洋同時観測に関係することもあって、非常に面白く、参考になった。（吉田 聡）

4. アンサンブル

本セッションではアンサンブル予報を利用した研究が4件紹介された。アンサンブル予報による顕著気象現象の予測可能性に関する発表が2件、各国の現業数値予報センターが運用しているアンサンブル予報データ、TIGGEを紹介する発表が1件、APCCの季節予報とその電力事業への応用に関する発表が1件あった。THORPEXの枠組みでアンサンブル予報を利用した研究が盛んに行われ、その有効性が示されてきた。次の課題は実際にアンサンブル予報の有効性を社会的、経済的に実証できるモデルケースを確立することであろう。先に紹介されたSWFDPや電力、農業気象といった分野でのアンサンブル予報の応用は、減災、危機管理、コスト・ベネフィットという観点から特に注目すべきであろう。

中澤（気象研）はTIGGEデータを用いて顕著気象現象の発生ポテンシャルを推定する手法について報告した。2008年11月のベトナムの洪水、2007年4月の黄砂、2009年10月の台風Lupitの進路予測に関して、ポテンシャル予測の有用性を示した。TIGGEデータはまだ4年分しかなく、また各数値予報センターでアンサンブル予報システムが更新されていく状況で、モデルの気候学的分布をどう取り扱うかが今後の課題であろう。

榎本（海洋研究開発機構）は2006年9月17日に延岡

をはじめ九州、四国各地で観測された竜巻について、そのポテンシャル予測のために海面水温の分布が重要であったことを示した。顕著気象現象は事例数が少なく統計的な検証が難しいが、できるだけ多くの事例を集め、現象が起こらなかった時のポテンシャル予測の検証も重要であるというコメントがあった。

中澤（気象研）は松枝未遠（海洋研究開発機構）に代わって、気象研で開発されたTIGGE予報結果閲覧サイトを紹介した。このサイトでは、各数値予報センターの予報成績やMJOの予測等を見ることができる（<http://tparc.mri-jma.go.jp/TIGGE/>）。また、台風進路の予測結果は、<http://tparc.mri-jma.go.jp/cyclone/>で比較されている。（要パスワード。パスワード取得はthorpex@mri-jma.go.jpまで連絡）。

TIGGEと聞くとアンサンブル予報の研究を連想する人が多いかもしれない。確かにTIGGEはマルチモデルアンサンブル予報の構築といった実用的な研究に利用されることが多い。しかし、各数値予報センター間の解析値の比較や誤差成長の比較を通じて現象の解明といった理論的な研究にも応用できる。今後更にTIGGEの利用者を増やすために、データの取得から描画に関するツールを整備することが重要であろう。

野原大輔（電中研）は、マルチモデル季節予報の電力事業への応用に関して報告した。電力需要は気温の依存性が高く、特に夏季と冬季に多くなる。例えば夏季の場合、平年より1度気温が上がると電力需要は約2%増加する。この関係と季節予報の結果を組み合わせることで電力需要予測が可能になるという。一方、マルチモデルアンサンブルを構築する際、精度の悪いモデルを加えると全体の精度が悪化する、全体の予測精度がENSOの振幅が大きいモデルの予測結果に大きく左右される等の課題もあるようである。

（山口宗彦）

5. 総合討論

1日目の総合討論は、中澤（気象研）のリードで行われた。気象庁は、2週先までのより高解像度なアンサンブル予報の実施に合わせ、その再予報の実施も検討している。莫大な計算が必要となるため、単に統計データとする以外にも予測可能性研究の基盤となるデータであると考えられる。研究や社会的応用にどのような可能性があるか検討し、データ提供の要望を取りまとめていく必要がある。SWFDPやTIGGEに関連して、日本がどのように世界、特に東南アジア各国

に貢献するかということも話題になった。英国気象局は韓国やオーストラリアにモデルを、欧州中期予報センターは研究者らに再解析等プロダクトを提供することにより、開発体制を維持・発展させるとともにモデル等の改良の参考としている。余田（京大）はこのような例をあげ、「日本が何をすべきか」という科学技術外交の哲学が問われると述べた。

榎本が担当した2日目の総合討論では、今後の研究連絡会の活動に関して議論した。THORPEX に関連する集会として、2008年度秋季大会スペシャルセッション、2010年度春季大会専門分科会等を開催していたので、活発に動いていたつもりではあったのだが、研究連絡会の研究集会としては、4年ぶりになってしまった。今後若手研究者を複数世話人に追加して、活性化をはかっていくことになった。研究集会は、多くの方の参加が見込める春季秋季大会にあわせたものと、集中して議論ができる今回のような集会のどちらが効果的か参加者に意見を求めたところ、両方が必要だとの意見がだされた。早速茂木（海洋研究開発機構）が代表者となり、2011年度の共同利用研究集会を申し込んだので、採択されれば大槌で研究集会が開催できる。

本研究集会の発表資料は、THORPEX 研究連絡会のウェブサイト (<http://www.jamstec.go.jp/esc/afes/thorpex/>) に掲載したので、興味のある方はご覧頂きたい。 (榎本 剛)

謝 辞

この研究集会は、東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター共同利用研究集会として開催され、旅費の補助を受けました。お世話になりました大気海洋研の道田 豊教授、新野 宏教授、関根理沙様、大森弘光係長をはじめ、センターの職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

略語一覧

- AFES : AGCM for the Earth Simulator 地球シミュレータ用大気大循環モデル
- AGCM : Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル
- ALERA : AFES-LETKF experimental Ensemble Reanalysis AFES-LETKF 実験的再解析
- APCC : APEC Climate Center APEC 気候センター
- APEC : Asia-Pacific Economic Cooperation アジア太平洋経済協力
- ENSO : El Niño Southern Oscillation エルニーニョ・南方振動
- GPCP : The Global Precipitation Climatology Project 全球降水気候値プロジェクト
- JCDAS : JMA Climate Data Assimilation System 気象庁気候データ同化システム
- JMA : Japan Meteorological Agency 気象庁
- JRA-25 : Japanese 25-year ReAnalysis 気象庁・電力中央研究所が実施した長期再解析
- LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ
- MJO : Madden-Julian Oscillation マッデン・ジュリアン振動
- PALAU2010 : Pacific Area Long-term Atmospheric observation for Understanding climate change 2010 2010年5～6月に海洋研究開発機構が西太平洋域で実施した大気海洋集中観測
- SWFDP : Severe Weather Forecasting Demonstration Project 荒天予測実証プロジェクト
- 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 双方向統合全球アンサンブル
- WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関