

第5回気象庁数値モデル研究会・ 第5回日本気象学会 THORPEX 研究連絡会研究集会 —アンサンブル予報・解析における気象庁と大学・研究機関との連携—

コンビーナー：茂木耕作*・加藤輝之**

1. 共催での実施背景と目的

2011年9月29日に気象庁講堂で標記の2つの研究集会が合同で行われ、70名以上の参加者があった。気象関係者だけでなく、河川関係の研究者や民間企業からの参加者があり、さらに後日講演スライドと併せて公開した動画 (<http://www.jamstec.go.jp/esc/afes/thorpex/activities/20110929/>) にも一日で300近いアクセスがあった。主催側としては思った以上の反響に驚きながらもアンサンブル予報・解析のデータ利用に対する関心の高さを改めて目の当たりにし、議論継続の重要性を強く実感する機会となった。各動画には、個別にコメント・質問などを付けることも可能なので興味のある方は是非引き続き議論にご参加頂ければ幸いである。

2011年春の気象学会大会で行われた専門分科会「気象庁が提供する気象データの利用と数値モデル開発の現状・課題」の総合討論も含め、『気象庁と大学・研究機関の連携』についての議論はもっと長い時間を使って続けたいという要望が気象庁の数値モデル開発者と大学・研究機関の研究者双方から挙がっていた。そこで、2010年の9月に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 THORPEX 研究連絡会第4回研究集会（榎本ほか2011）で2日間の充実した議論を行えたことを鑑みて、気象庁数値モデル研究会と THORPEX 研究連絡会を合同にして気象庁で開催すれば、気象庁の多くの

部署からも参加しやすし、大学・研究機関からの参加者ももう少し増えると期待し、2つの研究集会の合同実施が実現することになった。具体的には、キーワードを「アンサンブルデータ」1つに絞り、気象庁と大学・研究機関の双方から3名ずつ交互に講演してもらいながら、討論の時間をできるだけ長くとることにした。

しかし、午後だけの半日開催としたため、通常通りにプログラムを組んでいては時間を掛けて議論を深めるといった目的達成には限界があった。そこで導入したのが、約70名の参加者を10名前後に分けて行うグループ討論である。各グループに講演者か主催者のいずれかが入り、種々多様な問題意識や要望を持つ利用者とデータを提供する気象庁関係者が対面しながらゆっくり議論することを目指した。また、そのグループでの討論内容をグループ代表者が所感として全体に報告し、会場一体となった議論に繋げるという形をとった。こうしたグループおよび全体での討論の時間を前半と後半に1時間ずつ設け、講演は一人15分と短くし、あくまで討論のための「問いかけ」や「提案」を中心にまとめてもらうことで、参加者全員が疑問や意見を述べてもらい、充実した議論を行えるようにした。

2. 全球アンサンブルデータの利用における問題点と技術開発課題

2.1 気象庁現業アンサンブル予報に関する現状と課題

氏家将志（気象庁数値予報課）

気象庁で現業運用を行っているアンサンブル予報シ

* 海洋研究開発機構地球環境変動領域。

** 気象庁数値予報課。

© 2011 日本気象学会

ステムのうち、主に週間アンサンブル予報システムについて、その概要やその精度、今後の課題について紹介した。日本の現業数値予報は1959年から開始され、50周年を超えた。一方、現業アンサンブル予報の歴史は浅く、1か月アンサンブル予報は1996年から、週間アンサンブル予報は2001年から運用開始されており、比較的新しい技術である。週間アンサンブル予報システムは、予報モデル・解析の改善や、初期摂動作成手法の改良とメンバー数の増強によって、運用開始以降少しずつ精度向上しており、近年は北半球500 hPa 高度のアンサンブル平均アノマリー相関係数が9日予報で0.6 (ECMWF などでは、アノマリー相関係数が0.6に達する予報時間を予測可能性の指標の1つとして見ている (Hollingsworth *et al.* 1980など)) に達している。

アンサンブル予報の本質は予報誤差の相空間上での確率密度関数を、有限のメンバーの予報で近似することにある。大気現象の予測の不確実性の要因としては初期条件、境界条件、予報モデルの3つがあり、アンサンブル予報ではそれら3つの要因を扱うことが望ましい。初期条件の不確実性を扱う手法としては、BGM法 (Toth and Kalnay 1993)、SV法 (Buizza and Palmer 1995)、アンサンブル・カルマンフィルタ (Evensen 1994) やその実装法の1つである LETKF (Hunt *et al.* 2007) を用いた方法が代表的であるが、それぞれに長所・短所がある。また、現在の週間アンサンブル予報システムではSV法が採用されているが、熱帯域に過剰な水蒸気摂動が入るなどの課題がある。境界条件の摂動については、現在の気象庁のアンサンブル予報には取り入れられていない。しかし、地表面過程は基本的に散逸系であるため、下部境界摂動がないと、地上付近は自由大気に比べてスプレッド (メンバー間の分散) が小さくなりやすいことを述べた。モデルアンサンブルについては、気象庁では2010年に確率物理過程強制法 (Buizza *et al.* 1999) を週間アンサンブル予報システムに導入し、主に熱帯域でのアンサンブル予報としての精度向上を果たした。モデルアンサンブルは近年研究が盛んな分野であり、今後も高度化のために研究・開発を進めていく必要がある。

週間アンサンブル予報のデータは TIGGE や気象研究コンソーシアムを通じて、研究利用が可能となっているが、それらのデータを利用した研究の数は少ない。研究の数の少ない理由としては、松枝氏の発表で

述べられているように、アンサンブルデータを利用する利点が見えない、アンサンブル予報についての教育を行っている大学も限られているということに加え、予報の精度に関する情報が得られにくいということがグループ討論の意見でも挙げられた。本発表では最近1年分の高解像度決定論的予報と週間アンサンブル予報の日々のスコアを紹介し、予報の精度がどの程度年内変動しているのか、予報の大外しがどのくらいの頻度で起きているのかを示した。このような予報精度や注目すべき事例に関する情報をアンサンブル提供者と利用者側で共有できる機会があれば、連携のきっかけになるので、両者が集まり、議論する機会がもっと必要であると主張した。

2.2 TIGGE でみる様々な大気現象

松枝未遠 (海洋研究開発機構

IPCC 貢献地球環境予測プロジェクト)

本講演では、初めに THORPEX の重要なサブ課題の1つである TIGGE の目的を説明し、TIGGE データベースの概要を紹介した。TIGGE では、世界中の10の現業数値予報センターの現業全球アンサンブル予報データを ECMWF、NCAR、CMA の3つのアーカイブセンターに準現業的に (予報初期日の2日遅れで) 蓄積しており、そのデータ量は1日で500 TB を超える (その半分は最も高解像度の ECMWF のデータである)。データベースの規模が巨大であるにも関わらず、2011年6月時点で TIGGE に関係した査読付き論文は世界で17編しか出ておらず、TIGGE データを利用した研究が世界的にも充分に行われていないのが現状である (英国と日本が最も多い6編ずつで、うち松枝の論文が4編)。これまで TIGGE データを利用して行われた研究のトピックは、グランドアンサンブル (4編)、台風 (3編)、洪水予測 (3編)、温帯低気圧 (2編)、ブロッキング高気圧 (2編)、マッデン・ジュリアン振動 MJO (1編)、豪雨 (1編)、総説 (1編) である。講演では、グランドアンサンブル、ブロッキング高気圧、MJO についての研究を紹介し、特定の数値予報センターの予報を他のセンターの初期値と数値モデルを利用することで改善した例 (Matsueda *et al.* 2011) や TIGGE データを利用した顕著現象発生ポテンシャル予測の試み (http://tparc.mri-jma.go.jp/TIGGE/tigge_extreme_prob.html) など様々な利用例も紹介した。

まとめとして、TIGGE をはじめ全球アンサンブル

予報データの利用が思うように進まない理由を挙げた。データサイズの大きさやハンドリングの問題がよく引き合いにだされるが、本質的な問題はそこではなく、不十分な大学での数値予報教育による知識不足、メソモデルより低解像度ゆえにメソ気象の解析には不向きなこと、多くの方が予測可能性よりも過去の観測事実に興味をもつこと、予測データから仮説を立ててもその検証には結局数値モデル等が必要で一般的には敷居が高いこと、などが考えられる。もちろん、現アンサンブルユーザが多くの人を魅了するような“かっこいい”利用の仕方を示せていないことも問題の1つといえるかもしれない。

「アンサンプルの森」での宝の山探しは、まだ始まったばかりである。アンサンブルデータの現ユーザであっても、その利用方法や利用可能性を全て知っているわけではなく、新たな利用の仕方や結果は今後たくさん出てくるものと思う。アンサンブルデータを新しい解析ツールとして利用する人が少しでも増え、そこで得られた情報を少しでも現業数値予報センターに還元することができれば、現業数値予報センターも巨大なデータを提供した甲斐があったと言えるだろう。

2.3 現業アンサンブル予報における MJO ～再現性と中緯度循環場への影響～

高谷祐平（気象庁気候情報課）

気象庁気候情報課で開発、運用を行っている1か月、及び季節アンサンブル予報システムの概要を説明し、1か月予報モデルにおけるMJOの評価の取り組みについて紹介した。

MJOは熱帯のみならず、中緯度の循環場、天候にも影響を与えることが知られており、アジア域においてもその影響が報告されている（例えば、遠藤・原田2008；Jeong *et al.* 2008）。また、MJOは潜在的に2-4週間程度の予測可能性があるとされ（Waliser 2006）、1か月時間スケールの予測シグナルとして期待されている。一方、数値予報モデルにおけるMJOの表現は未だ不十分である。本発表では1か月予報モデルのハインドキャスト（過去事例の予測実験）データを用い、MJOの中緯度循環場への影響と予測パフォーマンスに関する調査結果を紹介した。

このように、モデルの特性把握や現象の再現性の評価・診断は、モデルの改良に不可欠である。気象庁ではハインドキャスト実験として、過去30年程度におよぶ長期間の膨大な事例を対象としてアンサンブル予測

を行っている。本発表ではMJOの解析、診断例を紹介したが、他の様々な現象においても、ハインドキャストデータを利用することにより、各種現象の解析、予測可能性研究が進むことが期待される。気候情報課では、気象研究コンソーシアムを通じて1か月予報のハインドキャストデータを今後提供する予定である。今後、研究者の方に、MJOのみならず、幅広い現象について本データを基に調べていただければ、気象庁におけるモデル開発にとっても非常に有益である。

グループ討論でも、1週間より長い時間スケールの予測におけるMJO等の熱帯変動の予測の重要性が指摘された。また、気象庁の持つハインドキャストを含む予測データを大学や研究機関の研究者に提供して欲しいとの要望があった。

現在、WMOでは季節内から季節予測の研究プロジェクト（Sub-seasonal to seasonal prediction research project）の計画に向けて議論が進められているところである（第15回WMO大気科学委員会2006, WWRP/THORPEX/WCRP Workshop on Sub-seasonal to Seasonal Prediction 2010）。今後、1か月予報のハインドキャストの利用が進み、より一層、予測研究が発展することを期待したい。なお、第15回WMO大気科学委員会のレポートはhttp://www.wmo.int/pages/governance/tc/tc_reports_en.htmlに掲載されている。

3. アンサンブルデータを用いた顕著現象研究の課題と可能性

3.1 アンサンブルデータを用いた成層圏突然昇温発生メカニズムの理解

西井和晃（東京大学先端科学技術研究センター）

2006年1月11, 12日を初期値とする気象庁1か月アンサンブル予報データを用いて成層圏突然昇温を解析したNishii and Nakamura (2010)の研究を紹介した。なお、アンサンブル予報が提供する確率的情報は災害対策等の工学的な目的のために活用されているものの、大気現象の理解等の理学的な目的のためにアンサンブル予報データを用いた研究例は少ない。

ストームトラックの下流発達やロスビー波伝播などの物理的な現象に伴って、アンサンブルスプレッドが時間とともに伝播・増幅する。これを逆手に取り、アンサンブルスプレッドの極大の時間発展を追うことにより、成層圏突然昇温を引き起こした対流圏から成層圏への惑星波伝播の増幅メカニズムを次のように明ら

かにした。(i) 1月11日から12日かけて移動性低気圧が北太平洋上で急激に発達した。(ii) この低気圧発達を発端として、太平洋から大西洋にかけて、傾圧性擾乱のエネルギーが群速度伝播した(下流発達)。(iii) 大西洋上の移動性擾乱活動の活発化によりブロッキング高気圧が発達した。(iv) ブロッキング高気圧を波源とする上向きロスビー波が、成層圏への惑星波伝播を増幅させた。また、榎本ほか(2005)で導入された簡易感度解析を適用することにより、成層圏循環と大西洋上のブロッキング高気圧の予測は、太平洋上で発達した低気圧周辺の初期値誤差に敏感であったことを示した。この簡易感度解析の結果は上述のアンサンブルスプレッドを用いた解析と整合的であった。

冒頭に述べたようにアンサンブル予報データを学術的な目的のために用いた例は少ない。データサイズの大きさやハンドリングの煩雑さに加え、既に利用している研究者がアンサンブル予報データの有用性や“かっこいい”使い方を宣伝できていないことが原因だと思われる。かっこいい使い方の一つである簡易感度解析のスキプトの公開など、未だアンサンブル予報データを使ったことの無い研究者が利用しやすい環境を作ることが、利用者の増加のために必要だと考えられる。

3.2 台風進路予報における初期値問題

山口彦彦(気象研究所台風研究部)

数値予報システムの高度化、観測データの拡充により台風の進路予報の精度は着実に向上している。しかし、個々の予報事例を見ると3日予報で1000 km程度の誤差(東京-鹿児島間の距離に相当)が生じてしまう事例も依然として存在している。また、世界のどのアンサンブル予報システムでも実際の台風進路を捕捉できないという事例も存在する。このような事例の生じる原因について我々の理解はまだ十分であるとは言えず、予報誤差の原因を解析・特定し、それに応じて数値予報システムを改良する必要がある。

発表では、ECMWFの初期値から気象庁の全球モデルを実行した予報実験の結果を紹介した。従来の予報実験では、予報誤差の原因を特定する際、その原因が初期値にあるのか予報モデルにあるのかを区別することは難しかった。しかし、初期値を変えて予報モデルを実行することにより両者がある程度切り分けることができる。数値実験の結果、1) 初期値を変更する

ことにより進路予報が劇的に完全する事例、2) 初期位置の解析が重要そうな事例、3) 予報モデルの改良が必要そうな事例、4) 両者による誤差がともに大きい事例が存在することが分かった。データ同化や初期値化の専門家は1)や2)の事例に、また予報モデルの専門家は3)の事例に注目することで、効率的にそれぞれの開発が行えると考えられる。また1)の事例は、ECMWFの初期値を疑似観測データとしてデータ同化に取り込むことにより、最適観測法に関する研究に適用することができる。このような研究は、航空機による台風の直接観測のない北西太平洋域では非常に有効な研究手法であると考えられる。

Chan(2010)は、Chan *et al.*(2002)以降、台風の進路に関する理論的な研究はほぼ皆無であり、研究者は台風の進路に関する理論には満足していると述べている。しかし、予報誤差の原因という観点からは課題は山積していると思う。TIGGEやYOTCで公開されているデータや再解析データを用いてこのような問題が少しずつ解決されて行けば良いと考えている。

3.3 THORPEX は日本の気象学を変えたか

榎本 剛(京都大学防災研究所)

発表では、THORPEXの理念をおさらいして、日本の気象業界に与えた影響について議論し、今後の展望に関する討議の材料を提供することを試みた。

THORPEXは、2週間程度先までの顕著現象の予測精度向上を目指しているが、現業機関の技術開発ではなく研究計画である。優れた研究成果を現業に取り入れるとともに、現業機関から新たな研究課題を提示することを目指している。そのためには、大学・研究機関と現業機関との連携が重要であるが、欧米と日本とでは両者の関係は必ずしも同じではない。Reading大学に滞在していた1999年頃にもUKMOのサテライトが大学にあったし、UKMOのUnified Modelを使った研究が大学でも行われていた。指導して下さったB. J. Hoskins教授はECMWFにサバティカルで滞在されて、R. Buizza博士やT. Palmer博士と確率的物理過程の議論をしていた。アメリカではNOAAやNASA、海軍等が研究費を負担して大学と共同研究をしている。THORPEX以来、連携はさらに緊密になっていると思われる。このような欧米流を望む声もあるが、我が国では気象庁GSMやJMA-NHMの貸与制度があり、気象研究コンソーシアムを通じて気象庁のデータが提供されている。大学発の成

果が現業に活かされている例としては、波の活動度フラックス (Takaya and Nakamura 2001) や熱帯初期擾乱生成手法 (Chikamoto *et al.* 2007) が挙げられる。

私が THORPEX に出会ったのは、地球シミュレータが稼働してすぐに実施した「メソスケール解像実験」を紹介するために参加した ICMCS 2002 で THORPEX の提唱者のひとり M. A. Shapiro 博士の講演を聴いたことがきっかけだった。Shapiro 博士にとって我々のシミュレーションは社会に影響を与えるメソスケールの現象が大循環の影響を受けていることを示す格好の宣伝材料となった。私は定常ロスビー波束が顕著現象を連鎖的に引き起こしているという Shapiro の講演を聞いて、これまで主に理論的興味から研究してきたロスビー波の研究が役に立つということを強く認識した。この出会いを契機に日本でも天気予報研究を推進したいと思い、大淵 濟博士、山根省三博士とともにアンサンブル手法に関する科研費提案をまとめた。残念ながらこの提案は採用されなかったが、三好建正博士の LETKF を用いたデータ同化の共同研究、その後の海洋研究開発機構における観測システム・予測可能性研究として開花結実した (Miyoshi and Yamane 2007; Miyoshi *et al.* 2007a, b; Moteki *et al.* 2007; Inoue *et al.* 2009; Enomoto *et al.* 2010; Moteki *et al.* 2010)。これと並行して、THORPEX 研究連絡会の設立が認可され、研究集会等の活動を行ってきた。

我々が興味本位に進めてきた研究がどの程度天気予報研究の発展に貢献できたかはよく分からない。しかし、顕著現象 (極端現象) やデータ同化は多くの人が意識するようになり、気象学会の春季・秋季大会で開催される気象予報のセッションでも数値予報課・気象研究所以外の方の参入が増え活性化されたことから、日本の気象学は THORPEX の影響を大いに受けたと結論してもよいのではないかと思う。

今後日本において天気予報研究を進展させていくには、まず計算機資源や多様な観測手段を確保することが重要である。地球シミュレータの存在が当たり前になっているが、計算機資源はアンサンブル手法の研究でも欠かせない。日本の気象業界にはない砕氷船や観測用飛行機など観測手段の多様化も必要であろう。また、天気予報研究の発展には多くの研究者の関心を集めることが重要である。データ同化システムによって、観測研究者との連携は確立したように思われる。

顕著現象そのものを研究しているメソ研究者や背景場の変動を研究している気候力学研究者にも、当たったり外れたりする予報データの面白さに着目していただきたいと願っている。TIGGE からはもちろん、NCEP や ECMWF からも直接予報データを取得できるようになっている。気象庁にも予報データ提供の拡充を望みたい。

台風や集中豪雨はもちろん広範囲に長期間にわたって影響を与えるブロッキング高気圧や熱波など日本にとって重要な顕著現象はたくさんある。2005年に始まった THORPEX も折り返し地点を過ぎた。必ずしも最新の動向や事情には通じていないのだが、D. Burridge 博士による中間報告には10年間限り (one decade only) と明記されていた。残り3年少々の成果も併せて、天気予報研究が次の段階に進めるようになり、それが社会へと還元されること願っている。

4. グループ討論と今後の課題

加藤輝之・経田正幸 (気象庁数値予報課)

茂木耕作 (海洋研究開発機構地球環境変動領域)

第1節で述べた通り、「気象庁と大学・研究機関の連携」をいかに模索していくかという点に主眼を当て、本集会では短時間で密度の高い議論を目指して10人前後の小グループによるグループ討論を行った。この討論により、通常行われる総合討論では十分発言できない異なる所属の参加者同士の議論が活発に行われた。

前半では、講演者の話題も盛り込んで「全球アンサンブルデータの利用における問題点と技術開発課題」について討論してもらった。グループ分けは、講演者と主催者が散らばること以外は、ランダムに気象庁と大学・研究機関からの参加者が混ざるようにした。まず、簡単な自己紹介と研究集会に参加するに当たっての各人が抱える問題意識や課題を具体的に述べてもらい、講演者の話題との繋がりを探りながら議論した。後半の「アンサンブルデータを用いた顕著現象研究の課題と可能性」では、具体的な討論が行えるように、全球アンサンブルとメソアンサンブルに分け、参加者にグループを選択してもらった。また、それらとは別に MJO などの熱帯の現象に特化したグループも設けた。前半と後半ともに、内容的にある程度重複しながらグループから全体への討論に広がっていった。

アンサンブルデータについては、水文、農業、商業、保険などの分野において潜在的な価値があること

が話し合われ、気象庁が提供しているデータの利用に関しては、その特徴・特性を説明し、精度検証の結果も積極的に公表して欲しいという要望が多数あった。そのためは、氏家氏の発表にあったように気象庁数値予報課や気候情報課等の職員が本集会のような場だけでなく、他分野の学会等との連携を念頭に多様な場合に積極的に参加して気象庁の提供データおよびその問題点を説明するとともに、ハインドキャストも含めた気象庁現業システムに対する要望のリサーチなどを積極的に行うべきであろう。データの共有においては、気象研究コンソーシアムの枠組みでの提供の他、気象業務支援センターからの配信や THORPEX のもとでの TIGGE アーカイブがあるが、応用気象での研究や商用利用の促進の観点からその拡充とともにデータ処理プログラムや処理済みデータの共有も望まれるところである。

不確定性情報の伝達については、様々な切り口で、アンサンブル予報をユーザに使いやすい情報として見せる努力が求められた。また、リスク管理への応用には、気候情報利用分野との共同研究の中で取り組まれていることが紹介され、ダム管理などをターゲットに大雨などの顕著現象に対する気象情報においても今後取り組むべき研究課題であることが確認された。

ここで、特に議論が深まった2つのテーマを紹介したい。1つ目は松枝氏が紹介した TIGGE データであり、大学関係者だけでなく防衛省や民間研究機関の参加者からも強い関心が寄せられた。現状 TIGGE の利用者は少ないが、松枝氏の示した MJO、ブロッキング高気圧、ある閾値以上の強風域の発生する確率など様々な例から応用範囲の広さを感じ取った参加者が多かったと思われる。その一方、アンサンブル予報・解析という扱い慣れないデータの利用方法がわかりづらいという声が非常に多かった。この討論を受けて、松枝氏は集会後に2つの解決策を示した。1つは、TIGGE データの利用登録から代表的ないくつかの図を描画するまでのツールをまとめたスクリプトパッケージの公開である (http://tparc.mri-jma.go.jp/TIGGE/TIGGE_sample.tar.gz: サンプル TIGGE データも含めて約50 MB, Linux や Mac で動作確認済み)。これは、アンサンブルの次元を扱える GrADS2の利用を前提としたスクリプト群により、TIGGE データのダウンロードからサンプル図作成までを数分で行えるようにしたものである。興味を抱きながらも漠然と敷居の高さを感じられている方は、是

非ともお試し頂き、使用や開発における成功・失敗等をフィードバックして欲しい。もう1つは、気象学会大会前後の日程かつ開催地でアンサンブルデータ関連の基礎知識に関する簡単な講座を開催することである。学生でもあまり肩肘張らず気楽に聞け、かつ追加的な旅費などが必要のない場で、アンサンブル予報・解析に対する興味から使う面白さまで引き上げられるような取り組みを今後考えていきたい。

2つ目のテーマは、山口氏が話題提供した台風予報での初期値問題である。航空機を用いてゾンデ観測点を追加し、初期値精度向上を目指す試みは、T-PARC などの大規模プロジェクトにより実験的には大成功を収めている。そうした取り組みによって確立されつつある手法を如何に継続的かつ業務的にやるようにするかが今後の課題である。防衛省からの参加者もあり、航空自衛隊の航空機を利用した台風観測の将来的な実現可能性についても話が及んだ。直ぐに出来る話ではないが、災害対応で高く評価されている自衛隊が将来的には災害予防という観点からも行動してもらえるのではという1つの方向性が示されたと思われる。

謝 辞

今回の研究会を開催するに当たって、会場の準備・運営をしていただいた気象庁数値予報課、海洋研究開発機構の有志の方々に感謝します。また、グループ討論に参加された多くの方々にもお礼申し上げます。

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
- BGM法: Breeding of growing mode 成長モード育成法
- CMA: China Meteorological Administration 中国気象局
- ECMWF: European Centre for Medium-range Weather Forecasts 欧州中期予報センター
- 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

- GrADS2 : Grid Analysis and Display System version 2
 GSM : Global Spectral Model 全球スペクトルモデル
 ICMCS : International Conference on Mesoscale Convective Systems and heavy rainfall/snowfall in East Asia メソスケール対流系と東アジアにおける豪雨・豪雪に関する国際会議
 JMA : Japan Meteorological Agency 気象庁
 JMA-NHM : JMA nonhydrostatic model 気象庁非静力学モデル
 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
 NASA : National Aeronautics and Space Administration 米国航空宇宙局
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気局
 SV法 : Singular Vectors 特異ベクトル法
 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
 T-PARC : THORPEX Pacific Asian Regional Campaign THORPEX 太平洋アジア域実験
 UKMO : United Kingdom Met Office 英国気象局
 WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関
 YOTC : The Year of Tropical Convection 熱帯対流年
- 参 考 文 献
- Buizza, R. and T. N. Palmer, 1995 : The singular-vector structure of the atmospheric global circulation. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 1434-1456.
 Buizza, R., M. Miller and T. N. Palmer, 1999 : Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF ensemble prediction system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **125**, 2887-2908.
 Chan, J. C. L., 2010 : Movement of tropical cyclones. *Global Perspectives on Tropical Cyclones* (J. C. L. Chan, ed.), World Scientific, 133-148.
 Chan, J. C. L., F. M. F. Ko and Y. M. Lei, 2002 : Relationship between potential vorticity tendency and tropical cyclone motion. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 1317-1336.
 Chikamoto, Y., H. Mukougawa, T. Kubota, H. Sato, A. Ito and S. Maeda, 2007 : Evidence of growing bred vector associated with the tropical intraseasonal oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L04806, doi : 10.1029/2006GL028450.
 遠藤洋和, 原田やよい, 2008 : マッデン・ジュリアン振動と冬期の日本の天候および循環場との関係. *天気*, **55**, 159-170.
 榎本 剛, 山根省三, 大淵 濟, 2005 : アンサンブル予報を用いた簡易感度解析. 第3回「異常気象と長期変動」研究集会予稿集, 40-43.
 Enomoto, T., M. Hattori, T. Miyoshi and S. Yamane, 2010 : Precursory signals in analysis ensemble spread. *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L08804, doi : 10.1029/2010GL042723.
 榎本 剛, 茂木耕作, 伊藤耕介, 吉田 聡, 山口宗彦, 2011 : THORPEX 研究連絡会第4回研究集会の報告. *天気*, **58**, 245-248.
 Evensen, G., 1994 : Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics. *J. Geophys. Res.*, **99**, 10143-10162.
 Hollingsworth, A., K. Arpe, M. Tiedtke, M. Capaldo and H. Savijärvi, 1980 : The performance of a medium-range forecast model in winter — Impact of physical parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1736-1773.
 Hunt, B. R., E. J. Kostelich and I. Szunyogh, 2007 : Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos : a local ensemble transform Kalman filter. *Physica D*, **230**, 112-126.
 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.
 Jeong, J.-H., B.-M. Kim, C.-H. Ho and Y.-H. Noh, 2008 : Systematic variation in wintertime precipitation in East Asia by MJO-induced extratropical vertical motion. *J. Climate*, **21**, 788-801.
 Matsueda, M., M. Kyouda, Z. Toth, H. L. Tanaka and T. Tsuyuki, 2011 : Predictability of an atmospheric blocking event that occurred on 15 December 2005. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 2455-2470.
 Miyoshi, T. and S. Yamane, 2007 : Local ensemble transform Kalman filtering with an AGCM at a T159/L48 resolution. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 3841-3861.
 Miyoshi, T., S. Yamane and T. Enomoto, 2007a : The AFES-LETKF Experimental Ensemble Reanalysis : ALERA. *SOLA*, **3**, 45-48.
 Miyoshi, T., S. Yamane and T. Enomoto, 2007b : Localizing the error covariance by physical distances within a local ensemble transform Kalman filter (LETKF). *SOLA*, **3**, 89-92.
 Moteki, Q., R. Shirooka, K. Yoneyama, B. Geng, M.

- Katsumata, T. Ushiyama, H. Yamada, K. Yasunaga, N. Sato, H. Kubota, K. K. Reddy, H. Tokinaga, A. Seiki, M. Fujita, Y. N. Takayabu, M. Yoshizaki, H. Uyeda and T. Chuda, 2007 : The impact of the assimilation of dropsonde observations during PALAU2005 in ALERA. SOLA, 3, 97-100.
- Moteki, Q., K. Yoneyama, R. Shirooka, H. Kubota, K. Yasunaga, J. Suzuki, A. Seiki, N. Sato, T. Enomoto, T. Miyoshi and S. Yamane, 2011 : The influence of observations propagated by convectively coupled equatorial waves. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 137, 641-655.
- Nishii, K. and H. Nakamura, 2010 : Three-dimensional evolution of ensemble forecast spread during the onset of a stratospheric sudden warming event in January 2006. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 136, 894-905.
- Takaya, K. and H. Nakamura, 2001 : A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow. J. Atmos. Sci., 58, 608-627.
- Toth, Z. and E. Kalnay, 1993 : Ensemble Forecasting at NMC : The generation of perturbations. Bull. Amer. Meteor. Soc., 74, 2317-2330.
- Waliser, D.E., 2006 : Predictability of tropical intraseasonal variability. Predictability of Weather and Climate (T. Palmer and R. Hagedorn, eds.), Cambridge University Press, 275-305.
-