

第1回データ同化ワークショップの報告

川畑拓矢^{*1}・藤井陽介^{*2}・上野玄太^{*3}
中野慎也^{*4}・茂木耕作^{*5}・増田周平^{*6}

気象研究所および統計数理研究所のデータ同化関連研究者は、2008年より「気象研究所・統計数理研究所共同ワークショップ」というデータ同化研究に関するワークショップを4回にわたって開催してきた。ここでは、粒子フィルタ、アンサンブルカルマンフィルタ、変分法などの様々なデータ同化手法や、多岐にわたる分野におけるデータ同化の応用について、発表が行われてきた。今後、より広範囲な話題、参加者を募り、データ同化を用いた研究の発展に資することを目的として、これまでの共同ワークショップを発展、拡大した研究集会を開催することとなった。そこで海洋研究開発機構 (JAMSTEC) よりデータ同化関係の研究者を招き、「第1回データ同化ワークショップ」を2011年4月22日に気象研究所で開催した。ここでは1人40分の時間を配分して、十分な議論を行うよう設定し、5件の講演および活発な議論が行われた。以下に講演の概要を紹介したい。

露木 義 (気象研究所) は、「データ同化と数値天気予報」と題して、データ同化理論の概要を述べ、数値予報における発展と展望について講演を行った。数値予報におけるデータ同化は、時間発展する複雑なシステムを対象としており、数値モデルの初期値推定、包括的な4次元データセットの作成、モデルパラメータの推定、観測システムの評価・設計に用いられている。このような系では自由度が大きいために、確率密

度関数の平均値を用いるカルマンフィルタ、あるいはモードを用いる変分法が適用されている。また、非線形性をより適切に考慮するために、弱拘束4次元変分法、アンサンブルを用いた4次元変分法などが提案されている。また、全球雲解像データ同化や大気海洋結合データ同化を実現しようとする、スケールの異なる現象を同時に扱う必要があり、それについてカルマンフィルタを簡単なモデルに適用した実験結果を紹介した。

茂木耕作 (JAMSTEC) は、「熱帯気象研究におけるアンサンブルカルマンフィルタの効能」と題して、観測研究者の立場からデータ同化の有効な利用方法について提案を行った。茂木は熱帯で自らゾンデ観測を行い、局所アンサンブル変換カルマンフィルタを適用した全球データ同化システムを用いて、その影響範囲を推定した。用いた手法は、解析アンサンブルスプレッドからノイズを除去して規格化するというもので、これによって、どこで、どのような観測を行うと、全球解析に対してどのような影響が現れるのかを定量的に示した。さらに、この指標を分析することで、赤道ケルビン波が台風の発達に影響している様子など、気象学的に興味深い現象を明らかに出来ることを示した。

中野慎也 (統計数理研究所) は、「大規模並列粒子フィルタ」と題して、極めて多数の粒子を計算する必要がある粒子フィルタについて、超並列計算を効率よく行う手法について述べた。粒子フィルタでは、尤度に応じて粒子数を増減させるリサンプリング処理が行われる。各粒子の時間発展は完全に並列処理が可能だが、リサンプリングの時に粒子を振り分けるので、ノード間通信が発生する。ここで超並列計算機では、大量の通信が発生し、計算効率が著しく低下する恐れ

^{*1} Takuya KAWABATA, 気象研究所.

^{*2} Yosuke FUJII, 気象研究所.

^{*3} Genta UENO, 統計数理研究所.

^{*4} Shin'ya NAKANO, 統計数理研究所.

^{*5} Qoosaku MOTOKI, 海洋研究開発機構.

^{*6} Shuhei MASUDA, 海洋研究開発機構.

がある。このことに対処するために、粒子を前もってグループ化しておき、この中でリサンプリングを行う手法を考案した。この場合、事後分布は、粒子全体でリサンプリングを行った場合の近似となり、多様性が失われやすくなる（退化）が、並列化しやすい。テストの結果、各ノードあたりの粒子数を一定とし、ノード数を増加させることで、計算速度を落とすことなく推定性能を向上できることを示した。

長尾大道（統計数理研究所）は、「粒子フィルタ法を利用した日本沿岸部における潮位の長期変動解析」と題して、1884年から連続的にデータの存在する150地点の潮位計データを用いて、地殻変動の検出を行う研究について講演を行った。例えば関東大震災の前後では、油壺観測所において1,000 mm 以上もの潮位の不連続が観測されている。これは観測所の海拔高度が変動したためであり、このような変動を検出することで、過去の大地震のメカニズム解明につながる可能性がある。また、このような変動は不連続であるために、カルマンフィルタなどは不向きであり、粒子フィルタが必要とされる。観測所を地域毎のクラスターに分け、様々なノイズを除去するために、多変量モデルと一変量モデルを比較したところ、多変量モデルの方が変動をよく検出できることが分かった。そして、宮城県沖地震（1978年）の検出に成功した。

増田周平（JAMSTEC）は、「四次元変分法データ同化手法を用いた全球海洋環境の再現」と題して、4次元変分法海洋データ同化システムを用いた過去50年間にわたる海洋環境の再現について講演を行った。加速法を用いた3,000年間の積分に続き、気候学的季節変動実験、経年変動実験を順次スピニングアップとして行

い、これを初期値とした。1957年からの50年間を同化ウィンドウとして設定し、海面水温、垂表層水温・塩分プロファイル、海面高度偏差の観測データを4次元変分法アジョイント手法を用いて同化した。得られた結果は過去の観測データと整合的に4次元の海洋環境場を再現しており、さまざまな気候変動現象の力学解析等に有力なものである。例えば、このデータセットの解析と本同化システムを用いたアジョイント感度解析実験から北太平洋の底層昇温のメカニズムを検証した結果、その原因が約40年前の南極アデリー海岸沖のフラックス変化に起因することを解明している。

本ワークショップへは、各地より70名近い方に参加頂いて、会場では立ち見が出るほどであった。議論も活発に行われ、様々な分野の研究者との交流が行えた。ここで講演者および参加者には深く感謝したい。もちろんデータ同化技術は地球物理の分野にとどまらず、さまざまな分野で活用されており、このような場を利用してそれぞれと交流を行っていくことは非常に有用である。今後とも本ワークショップを継続して開催していくため、気象研究所、統計数理研究所、JAMSTEC の関係者で事務局を組織し、本稿の著者がその任を務めることとなった。さらに、統計数理研究所のサーバーにホームページ (<http://daweb.ism.ac.jp/DAWS/>, 2011年6月27日閲覧) を設置し、ワークショップ開催のお知らせなど、データ同化に関する情報交換の一助となるようメーリングリスト (enkf@googlegroups.com) を活用している。本メーリングリストへの参加を希望する方は、事務局 (dawsjimu@mri-jma.go.jp) までご連絡を頂ければ幸いである。