

「第3回アンサンブルデータ同化に関する ワークショップ」参加報告*

三好 建正**

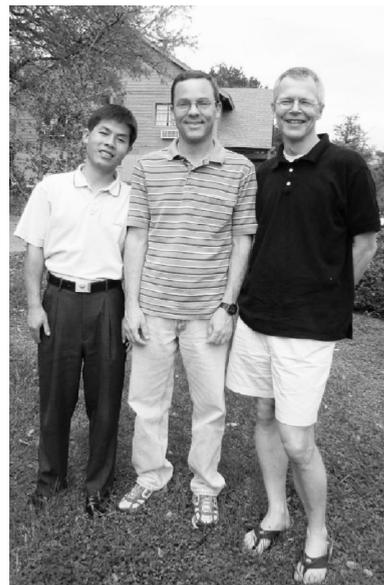
1. はじめに

アンサンブルデータ同化は、気象学の中で近年目覚しく発展している研究分野の一つである。Evensen (1994) がアンサンブルカルマンフィルタ (EnKF) を提唱して以来、多種多様な実装法や改善法、また幅広い応用研究が行われてきた。2005年1月には、カナダ気象局が EnKF の現業利用を開始した。その後も更なる改善法や新しい実装法に関する研究が進められている[†]。このような研究の発展を反映して、年々アンサンブルデータ同化に関する学会発表及び論文の数は増加している。

このような急速な拡大の中、Fuqing Zhang 教授 (テキサス A&M 大学) 及び Chris Snyder 博士 (NCAR) の呼びかけにより、2003年9月に、第1回目のアンサンブルデータ同化に関するワークショップがコロラド州の NCAR にて開催された。Zhang and Snyder (2007) によれば、この時の参加者数は20名程度であった。その後2006年4月に第2回目のワークショップをテキサス州にて開催、40名程度が参加した。今回は、この一連のワークショップの第3回目となり、参加者は50名程度と増加の一途をたどっている。一方で、本ワークショップは、実際に先端的研究を行っている研究者同士の実質的な議論・意見交換に主眼を置いている。参加者をなるべく少なく抑え、密度の濃い議論を行いたいという主催者の意図がある。このため、本ワークショップの開催は広くアナウンスされず、上述の2人に加え David Dowell 博士

(NCAR) も合わせた3名のコンピーナー (第1図) からの口伝により限定されている。そんな中、幸運にも参加する機会をいただいた。

本ワークショップは、2008年4月7日から9日にかけて、テキサス州マーブルフォールズにあるバルコン・スプリングス会議場にて開催された。現在本分野の研究をリードする研究者による講演、ポスター、議論等から成り、その内容は生の研究動向を凝縮している。このほか、午後には野外活動の時間が設けられ、参加者同士が自由に活動し、親睦を深める。その埋め合わせとして、夕食後にセッションがあり、就寝近くまで講演及び議論が続けられた。会場はテキサス州



第1図 本ワークショップのコンピーナー。左から、Fuqing Zhang 教授、David Dowell 博士、Chris Snyder 博士。

* A report on the 3rd Workshop on Ensemble-Based Data Assimilation.

** Takemasa MIYOSHI, 気象庁予報部数値予報課.

† EnKF に関する詳しい解説は、例えば、三好 (2005, 2006, 2008) などを参照いただきたい。

© 2008 日本気象学会

オースティンの郊外に位置し、オースティン中心部からは車で1時間強、町外れの方へドライブしてようやく到着する自然の中にある。会議場といっても、実際はキャンプ施設であり、木造キャビンの宿泊施設（第2図）、食堂、会議室、すべてが自然に囲まれた林の中にある。都会の喧騒から離れ、全参加者（第3図）がキャンプにこもり、起床から就寝までみっちりとし、セッション、野外活動、食事などを共にする合宿形式のワークショップである。本稿では、このちょっと異なるワークショップの雰囲気とともに、本分野の最新の研究動向について伝えたい。

第2節では、各セッションでの講演や議論の概要を述べる。これを通じて、最新の研究動向を知ることができるだろう。本報告の性質上、導入部分から逐一解説することは適わないため、EnKFに関する相当な知識や最近の研究動向の大まかな把握を前提とした。こ



第2図 林の中に佇む木造のキャビンの内部。木製の2段ベッドが並んでいる。

のため、この部分が難解、または研究の興味のない読者には、第2節は読み飛ばしていただくとうい。第3節では、本ワークショップの生活面、野外活動と親睦に関して述べ、雰囲気伝えたい。最後に、第4節に参加した所感を述べる。

なお、本ワークショップの情報は、ウェブサイト http://www.mmm.ucar.edu/events/DA_08/index.php に掲載されている。講演資料は、ウェブサイト <http://www.met.tamu.edu/people/faculty/fzhang/EnDA2008/EnDA2008.htm> から入手できる。また、前回第2回のワークショップのプログラム及び講演資料は、ウェブサイト <http://www.met.tamu.edu/people/faculty/fzhang/EnDA2006/> に掲載されている。適宜参照いただきたい。

2. 各セッションの詳細

本節では、各セッションの発表や議論の概要を紹介する。発表時間は質疑を含め各20分、各セッションの最後には30分程度の議論の時間が設けられ、本ワークショップの特徴とも言える自由で活発な議論が行われた。最先端で活躍する研究者による研究発表や生の議論であり、アンサンブルデータ同化研究の最新動向が凝縮されている。本稿では、すべての講演を網羅的に、テーマと要点のみを手短かに紹介する。このため、個々の発表の詳細に興味がある読者は、第1節末尾に示したウェブサイトから、発表資料を参照いただきたい。また、議論については、中心的なものを選び、要点のみを紹介する。以下本節では、敬称を省略する。



第3図 会議参加者の集合写真。ただし、著者と他2、3名の撮影者は、含まれない。

2.1 全球モデルへの適用（1日目8：30～10：00）

初日朝の最初のセッションは、Eugenia Kalnay（メリーランド大学）が座長となり、全球モデルへのアンサンブルデータ同化の適用に関して3件の講演があった。まずJeff Whitaker（NOAA）が、米国環境予測センター（NCEP）の全球モデルに局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）を適用した研究について発表した。NCEP 現業の格子点3次元変分法（GSI）と比較して、500 hPa 高度場では差がほとんど見られなかったものの、湿りにおいて顕著な改善が見られた。次に、著者が気象庁全球モデルを用いたLETKFと現業4次元変分法（4D-Var）との比較実験に関して講演した。衛星マイクロ波放射輝度観測データを同化しない場合、LETKFが4D-Varよりも高い予報精度を示したが、当該観測データを同化すると、南半球で4D-Varよりも性能が悪くなる。LETKFの問題点として、海上で対流圏下層気温の解析場に顕著な高温バイアスがあることを示した。最後に、Ji-Sun Kang（メリーランド大学）が、低解像度の全球プリミティブモデルに二酸化炭素濃度を予報変数に加え、表面における生成吸収過程を組み込んだ結合系におけるLETKFデータ同化に関して講演した。完全モデルの仮定下で、LETKFが二酸化炭素濃度をうまく同化できることを示した。また、濃度観測そのものでは表面フラックスがうまく解析できないのに対し、加えて濃度観測の時間変化傾向を同化すると、表面フラックスもうまく解析できることを示した。

以上の3講演に引き続き、30分程度の自由な議論の時間が与えられた。まず、著者の講演について、LETKF解析場の対流圏下層の高温バイアスに関して議論された。著者から、衛星放射輝度観測のバイアス補正に関して、4D-VarとLETKFとで異なるバイアス特性が出るのが、適用した放射伝達モデルのバージョンの違いに起因していることを解説した。その上で、高温バイアスの問題の原因について議論され、Jeff WhitakerがNCEPモデルを使った実験では同様のことは見られないことから、問題点を特定することはできなかった。気象庁モデルを使ったLETKFの改善策を探ることを、本ワークショップ中の宿題とすることになった。

このほか、Ji-Sun Kangによる二酸化炭素濃度の同化に関して、濃度観測の時間変化傾向を同化することは、同じ観測を二重に利用することになるのではないかという指摘があった。これは尤もだが、現実問題

として、二重に利用した方が性能改善している。これに関しては、次のような可能性が考えられる。フラックス量と濃度の間の誤差共分散が、アンサンブルのサンプリングエラーによる悪影響を受けているとすれば、観測のもつ情報が有効に生かされない。観測の時間変化傾向を同化することで、この有効に生かされなかった情報を観測から十分に取り出すことができるため、有効に働いたのではないだろうか。

2.2 領域モデルへの適用（1日目10：10～12：00）

初日朝の後半のセッションは、著者が座長となり、領域モデルへのアンサンブルデータ同化の適用に関して5件の講演があった。まず、Ryan Torn（NCAR）が、ハリケーンカトリーナ及びリタの事例でアンサンブル感度解析法を適用し、強度予報に関して適切な感度解析が可能かどうかについて論じた。カトリーナの場合は適切に働いたが、リタの場合はうまく感度解析できなかった。また、ハリケーンの強度予報の不確定性は、海面水温（SST）の不確定性による影響が強く、大気状態の不確定性による影響は弱いことを示した。次に、Yongui Weng（テキサスA&M大学）が、ハリケーンカトリーナの事例で、地上設置及び航空機搭載のドップラーレーダーによる動径風観測データを同化したインパクトについて発表した。コントロールランでは、ハリケーンの中心位置及び強度を同化している。これに加え、地上設置レーダー及び航空機搭載レーダーの動径風データを同化した場合に、解析場が改善した。次に、Massimo Bonavita（イタリア気象庁）が、イタリア気象庁の現業領域モデルを使って、現業の3次元変分法（3D-Var）とLETKFの比較を行い、風や気圧においてLETKFが顕著に改善したことを報告した。ただし、この結果は、現業利用されている観測のうち、従来型観測のみを用いて得られた予備的なものである。今後、すべての観測を用いた実験など、現業化に向けた開発を進めるとの計画を紹介した。次に、Ellie Meng（テキサスA&M大学）が、WRF（気象研究予報）モデルにEnKFを適用し、実際の観測データを同化した場合に、3D-Varと比較して大幅に性能が改善することを報告した。また、モデル誤差に関して、マルチ物理過程アンサンブル予報を適用することで、EnKFの性能がさらに改善されることを報告した。最後に、Meng Zhang（テキサスA&M大学）が、4D-VarとEnKFのハイブリッド法に関して、Lorenzの1次元モデルを用いた理想実

験の結果について報告した。完全モデルを仮定した実験では、ハイブリッド法や4D-VarよりもEnKFが優れた性能を示した。しかし、EnKFはモデル誤差に弱く、不完全モデルの実験では、ハイブリッド法が優れた性能を与えることを示した。

本セッションでの議論の中心は、Ellie Mengの発表に関連して、マルチモデルアンサンブルのEnKFにおける意義、有用性であった。理論的には、異なるモデルは異なる解のアトラクタを持つため、その平均値からの偏差を理解することは難しい。しかし、現実問題として、マルチモデルがEnKFに良い影響を与えている。これは、モデルが不完全な場合に、様々な可能性を考慮することが重要であることを示唆している。

2.3 ポスターセッション（1日目13:00~14:30）

初日午後、Jeff Whitakerを座長とするポスターセッションが行われた。会議の期間中、講堂と食堂の壁に合計10件のポスターが貼られており、このセッション中には活発な議論が広げられた。すべてのポスターをここで紹介することは適わないため、著者が議論に参加したもののうち、二つを選んで紹介したい。

一つは、David Kuhl（メリーランド大学）による化学物質の同化に関するポスターである。完全モデルの仮定の下、局所EnKF（LEKF）を用いた大気中オゾン濃度の同化を行ったところ、オゾン濃度に関しては良好な結果が得られたものの、オゾン濃度の同化によって他の力学変数の解析精度が悪化した。オゾン濃度と力学変数の間の共分散にサンプリングエラーが大きく含まれているためではないか、といった議論がなされた。次に、Jidong Gao（オクラホマ大学）による浅水モデルを用いたEnKFと4D-Varの比較に関するポスターを取り上げたい。この発表の要点は、EnKFは4D-Varよりもスピニアップが遅く、立ち上げ当初に大きな不利がある、というものである。この研究では、最初のアンサンブル初期値として、力学バランスなどを無視した乱数から決めており、特に不利となる条件がそろっていた。現実の場合のように、最初のアンサンブル初期値を適当な解析値とBredベクトルといった力学的に意味がある摂動から選べば、もう少し不利が小さくなるのではないかと、などの議論があった。なお、本ポスターは第2.7節でのEugenia Kalnayによるスピニアップ加速化と密接に関連している。

2.4 局所化の技術（1日目19:00~20:30）

午後の野外活動の後、夕食を済ませて、初日夜のセッションが行われた。座長はCraig Bishop（米国海軍研究所：NRL）、局所化の技術に関するセッションで、3件の発表があった。最初の講演は、Craig Bishopによる適応型の局所化技術に関するものである。アンサンブルによって見積もられる誤差共分散には、サンプリングエラーが含まれる。このサンプリングエラーによる悪影響を抑えるために局所化が適用されるが、通常はある一定の距離に応じた重み関数を用いる。一方、ここで新たに提案されたのは、誤差相関関数に指数関数を適用し、さらに平滑化をかけて得られる重み関数を使った局所化である。この局所化関数は、流れに応じて適切に変化することを示し、さらに計算コストの面でもそれほど問題とならないことに言及した。次に、Fuqing Zhangが、逐次的局所化をハリケーンフンベルトの事例に適用した研究について発表した。逐次的局所化の基本的な考え方は次の通りである。レーダー観測のように密な観測がある場合、まずはこれを大幅に間引き、少数の互いに遠く離れた観測データとして、大きな局所化スケールで同化する。次に、残った観測を程々に間引き、互いに程々に離れた観測データを中くらいの局所化スケールで同化、最後にそれまで同化されなかった多数の互いに近接した観測データを小さい局所化スケールで同化する。このように逐次的に処理することで、大きなスケールの観測は大きな局所化で同化され、細かいスケールの観測は小さな局所化で同化される。これをハリケーンフンベルトの事例でドップラーレーダー動径風観測に適用し、良好な性能を得た。最後に、Shu-Chih Yang（メリーランド大学）が、LETKFを高速化するための重み内挿法に関して講演した。この手法は、解析する格子点を飛び飛びにして減らすことで、LETKFの計算量を減少させる技術である。飛び飛びの格子点でしかLETKFを計算しないので、間を補完する必要がある。解析値を内挿して補完すると性能が落ちるが、解析値を計算する際に用いる重み関数を内挿すれば、性能が落ちないばかりか、適度な平滑化がかかってむしろ性能が向上することもあり得ることを、準地衡流チャンネルモデルを使った理想実験により示した。

本セッションでの議論の中心は、マルチスケールにおけるデータ同化のあり方である。端的には、仮に全球1km解像モデルを使ったデータ同化をするとして、いわゆる総観規模のゾンデ観測と、局所的なドッ

プレーレーダー観測とを同様に扱ってよいものか、局所化スケールはどう扱うべきか、という問題である。一つのアドホックな解として、Fuqing Zhang の講演で紹介された逐次的な扱いがある。これは非常に難しい問題で、今後研究を進める必要がある。

2.5 地上観測の同化（2日目8：30～10：20）

2日目の朝、最初のセッションは、Ryan Torn が座長となり、地上観測の同化に関して4件の講演があった。まず、Joshua Hacker (NCAR) が、境界層の単一カラムモデルを使って地上観測を同化した研究について発表した。移流、放射のパラメタリゼーション、データ同化のそれぞれの効果を評価したところ、複雑な関係にあることが分かった。次に、David Stensrud (米国シビアーストーム研究所：NSSL) が、2007年の3月から6月にかけての実際の場合について、地上観測データを含む同化サイクル実験を日々行い、メソスケール現象をよりよく捉えることを示した。調べたすべての事例で非常に良好な結果が得られ、実際の場合でも地上観測の有用性が示された。次に、David Dowell が、対流の立ち上がりに着目して、地上観測データ同化の効果について発表した。地上観測を同化することで、対流の位置の予報は向上するが、表面付近のモデル表現の不完全性のために、必ずしも良いとは限らないことに言及した。モデル誤差の取り扱いの難しさを示す良い例である。最後に、Jili Dong (オクラホマ大学) が、地上観測同化に関する観測システムシミュレーション実験 (OSSE) について発表した。完全モデル、不完全モデルの双方の仮定下で、地上観測による精度向上が認められた。不完全モデルの場合は、マルチ物理過程アンサンブルを適用すると、より良い結果となった。

2.6 微物理とパラメータ推定（2日目10：40～12：10）

2日目午後の後半のセッションは、David Dowell が座長となり、微物理とパラメータ推定に関して3件の講演があった。まず、Glen Romine (イリノイ大学) が、微物理過程を含むメソモデルを使った偏波レーダーの同化について発表した。一般に偏波情報による効果は小さく、反射強度やドップラー速度の同化に加えて偏波情報を同化することで多少の効果が見られるとの結果を示した。また、示された事例では、激しい対流に伴う寒気塊 (コールドプール) の表現には

改善が見られず、偏波レーダーの同化には課題が多いようだ。次に、Yongsun Jun (オクラホマ大学) が、偏波レーダー同化に関する OSSE について発表した。完全モデルの仮定下では、偏波レーダーの同化により解析精度が改善されることを示した。また、モデル微物理過程の降水粒子の捕捉率といったパラメータの動的推定の実験を行ったところ、結果は複雑で、場合によって改善、改悪が見られた。最後に、Will Lewis (ウィスコンシン大学) が、熱帯低気圧における微物理量の同化に関する予備的調査について報告した。状態変数と共に、水物質の捕捉率といった微物理過程パラメータも同時推定する手法で、ハリケーンリタの事例で同化実験した。推定されたモデルパラメータの変動がゆっくりしているものの、解析場は、ハリケーン中心位置など精度が高い。予報実験を行ったところ、EnKF による改善は顕著であり、パラメータ推定は若干の改善を与えることが確認された。

2.7 新技術（2日目13：00～14：30）

2日目午後のセッションは、Fuqing Zhang が座長となり、EnKF に関わる新技術に関して3件の講演があった。まず、Eugenia Kalnay が、EnKF のスピニアップを早くする “Running in place” と呼ばれる手法を紹介した。この手法は、EnKF サイクル実験を始める最初のデータ同化窓を繰り返し計算することで、最初の時点でのアンサンブル初期値を現実に近いものにし、スピニアップ期間を短くする。通常の EnKF サイクルはスピニアップが長く、特に対流スケールのデータ同化を行う際に、問題となる。4D-Var は EnKF と比べて格段にスピニアップが短い。ここで紹介された “Running in place” 法は、4D-Var よりもさらにスピニアップが短くなることを、準地衡流モデルを用いた理想実験により示した。このほか、4D-Var でアウトーループを複数回計算することで、非線形問題において改善が得られることに対応して、EnKF でもアウトーループを複数回計算する試みを紹介し、Lorenz の3変数モデルを用いた理想実験で改善が得られることを示した。次に、Qin Xu (NSSL) が、解析時刻の周りの複数の時刻のアンサンブル予報値をサンプリングする新技術について講演した。これにより、アンサンブル予報数を増やすことなく、アンサンブルのサンプルサイズを増やすことができる。この技術の適用により、同じアンサンブル予報数で明確な精度改善が理想実験により確認された。実際の対

流の事例についても実験を行ったところ、改善が確認された。最後に、Jeff Anderson (NCAR) が、共分散膨張係数を動的に推定する手法について講演した。共分散膨張係数の空間変動を許し、実際に全球モデルでこの手法を適用した場合に、尤もらしい膨張係数の空間分布が得られ、精度も改善されることを示した。

本セッションでは、EnKF でアウトーループを複数回計算することに関して白熱した議論が繰り広げられた。アウトーループを複数回計算すると、同じ観測を複数回使うことになるようにも思える。一方、4D-Var で複数回使用していないと言えるのか、と反論がある。原理的には、4D-Var は評価関数の最小値を探索しているのであって、非線形の高解像度モデル及び観測演算子によって評価関数を定義すれば、この最小値探索においてアウトーループを複数回計算するのは自然とも言える。しかし、インクリメント法において、非線形性を考慮すると、より精度の高い第一推定値を使うことが重要になる。この第一推定値の計算を複数回行うことは、実際 EnKF で高解像度のアンサンブル平均値からのコントロール予報を複数回計算し、第一推定値を作り直すという操作と同等ではないかという指摘に、議論の場では俄かに理論的正当性を詰めることができず、平行線をたどった。このアウトーループの問題については、多くの EnKF 研究者にとって寝耳に水の発想であり、今後研究が進められ成熟していくことを期待したい。

2.8 予測可能性と敏感性 (2日目19:00~20:30)

2日目の夜のセッションは、Jeff Anderson が座長となり、予測可能性と敏感性に関して3件の講演があった。まず、Elizabeth Satterfield (メリーランド大学) が、アンサンブル予報の流れに依存した性能評価に関して発表した。予報誤差が大きいくところでは、アンサンブル摂動によって誤差がよく説明されており、さらに E-dimension (Patil *et al.* 2001) が小さいことを示した。つまり、誤差成長が速いとき、E-dimension が小さく、誤差構造がアンサンブルによってよく説明される。このことは、E-dimension が予測可能性の指標となることを示しており、「予測可能性の予測可能性」が高いことを示す。次に、Dusty Wheatley (NSSL) が、地上観測同化によるメソ対流システムの予報へのインパクトについて講演した。複数の実際の事例において、正のインパクトが確認された。最後に、Junjie Liu (メリーランド大

学) が、アジョイント法を使わず、アンサンブルにより観測の影響評価を行う手法について発表した。Lorenz の1次元モデルを使って上述の2手法を比較し、アンサンブルによる手法がアジョイント法と同様に観測のインパクトを評価できるばかりでなく、アンサンブルの方が優れているとも取れる結果を示した。このほか、大気赤外サウンダ (AIRS) の湿りのリトリバル量を NCEP の全球モデルを使った LETKF で同化したインパクトについても紹介し、湿りの同化が他の力学場の精度向上に貢献することを示した。不思議なことに、解析変数に湿りを含めるだけで、湿りの観測を同化しなくても、風の解析精度が改善した。このセッションの議論でも話題になったが、理由は良く分かっていない。

2.9 対流スケールデータ同化 (3日目8:30~9:50)

3日目最終日の朝のセッションは、Dave Stensrud が座長となり、対流スケールデータ同化に関して3件の講演があった。まず、Nate Snook (オクラホマ大学) が、実際の竜巻の事例におけるレーダー観測の同化に関して発表した。オクラホマにおける CASA プロジェクトのレーダー4基による精細な観測データを同化することで、竜巻に対応するメソ渦がよりよく再現された。次に、Nusrat Yussouf (NSSL) が、OSSE による高頻度のレーダーデータ同化に関して発表した。完全モデルの仮定下、5分間隔と1分間隔のレーダーデータ同化をそれぞれ比較したところ、1分間隔のレーダーデータを同化した方が、特に鉛直流の再現性などにおいて優れていることを示した。最後に、Ming Xue (オクラホマ大学) が、Mingjing Tong (NCEP) の研究成果として、竜巻を伴う雷雨現象のデータ同化に関して報告した。完全モデルの OSSE では、良好な動作を示した。100 m 解像度で真の場を作り、1 km の解像度で同化サイクルを行う不完全モデルの OSSE では、完全モデルと比べて性能は大幅に悪化した。さらに、物理過程においても不完全性を仮定した OSSE を行ったところ、さらに性能は悪化した。マルチ物理過程アンサンブルの適用により、性能の大幅改善が見られた。発表後、マルチ物理過程アンサンブルに関して、初日朝のセッション (第2.2節) とも関連付けながら、議論された。

2.10 総合討論（3日目10:10~11:40）

最終日午前の後半では、本ワークショップのコンピーナーである Chris Snyder, Fuqing Zhang, David Dowell が司会をしながら、本ワークショップ全体を振り返って、重要な論点を洗い出し、議論を交わした。議論の内容は、前節までに記述した各セッションでの議論と重複するため、ここでは論点のキーワードをリストアップする。これは、今後のデータ同化研究の方向性と深く関わっている。

- ・適応型の局所化法及び膨張法
- ・マルチスケールのデータ同化の方法について
- ・モデル誤差とマルチモデルアンサンブルの EnKF における有効性、理論的背景
- ・アウトーループ問題

このほか、初日朝（第2.1節）で宿題となっていた気象庁の LETKF に関しては、非線形ノーマルモード初期値化に問題がありそうだという説が有力な解となった。また、学生への教育的効果や、次回のワークショップ開催の可能性についても言及された。最後にコンピーナーへの拍手をもって、本ワークショップは成功裏に終了した。

3. 野外活動と親睦

第1節でも述べたが、本ワークショップは人里離れたキャンプにおける合宿形式である。昼の2時半から夕方6時の夕食まで自由時間となり、野外活動で親睦を深める。野外活動は、敷地内にある湖の対岸までターザンのようにぶら下がり滑り降りていく Zip Line を筆頭に、カヌー（第4図）、テニス、バレーボール、バスケットボール等、様々な活動が可能である。怖がりの著者は Zip Line を傍で眺めながら他の参加者と談笑し、敷地内を散策した後、バレーボールに参加した。バレーボールは屋外のビーチバレーボールで、普段の運動不足が祟って思い通りに動けず、



第4図 カヌーを楽しむ Eugenia Kalnay 教授。

チームメートに迷惑をかけたばかりか、翌日以降は筋肉痛に悩まされる羽目になった。Chris Snyder 博士をはじめ、中にはセンスの良い動きをする経験者も多かった。通常の会議では見られない、著名な研究者の素の姿を見られるのも、本ワークショップの醍醐味である。

このほか、食事は、第5図のように、自由に入り乱れて座り、参加者同士が談笑する。当然皆の興味は共通してアンサンブルデータ同化にあるから、研究の話が弾むことも多い。第5図は、アンサンブルデータ同化の開拓者といえる4人の研究者と、たまたま著者が同じテーブルに着いたシーンである。Anderson, Whitaker, Bishop といえば、アンサンブル平方根フィルタの先駆者3人である。Kalnay は LETKF を開拓した一人であり、NCEP/NCAR 再解析といえば誰もが思いつく名前であろう（著者の大学院時代の指導教官であった）。アンサンブルデータ同化を勉強して、これらの名を知らぬ者はいるまい。著者のような若輩者にとって、このような著名な研究者と身近に食事を共にし、研究の話や、様々な四方山話に盛り上がるのは、夢のようなうれしい体験である。

4. まとめと所感

本ワークショップは、2003年の第1回目、2006年の第2回目に引き続き、アンサンブルデータ同化に関して研究をリードする研究者による講演や議論を目的として開催された。講演に引き続き議論に重きを置く点が特徴的である。

まず、本ワークショップが、アンサンブルデータ同化という非常に特化した分野に限っている点は、特筆に価する。我が国において、アンサンブルデータ同化といって集まる研究者がどれほどいるだろう、と想像



第5図 食事風景。左から、Jeff Anderson 博士、Jeff Whitaker 博士、Eugenia Kalnay 教授、Craig Bishop 博士。いずれも、著名なアンサンブルデータ同化の開拓者である。

すると、やはり米国の研究者層の厚さを痛感させられる。これだけ分野を限って、50名の参加者を得、奥の深い議論を戦わされるのは、非常に有意義であった。分野が近いからこそ、同じ言葉をしゃべり、多くを説明せずとも核心を議論できる。このような分野を狭く限ったこの規模のワークショップは、密度の濃い議論をする上では理想的である。

また、人里離れたキャンプにおける合宿形式という形態もすばらしい。以前著者も参加した日欧先端科学セミナー（秋山ほか 2006）もそうだったが、朝から晩まで参加者が生活を共にすることによる効果は大きい。さらに、著名な研究者、この分野の開拓者と親密に語られる、その機会は何事にも代えがたい本ワークショップの果実である。

論文で見た名前を人間として見て、語らい、遊び、この人間くさい科学の進展の一翼を担うのだという意識を醸成する。この規模、環境という条件がそろって、初めて可能であったのではないかと思う。当然のことながら、個別の科学的な情報収集や議論は大きな収穫となったが、それに勝るとも劣らず、この人間的な交流が、著者にとって最も大きな収穫であったと感じている。

Fuqing Zhang 教授には、著者が参加をためらっていた際にも強くお誘い頂いた。また、気象研究所の斉藤和雄室長には、年度始めにも関わらず、出張に際して多大なご支援をいただいた。このほか、出張の事務を担当いただいた方々や、数値予報課の諸氏を含め、今回の会合参加の機会を支えてくださったすべてのご支援等に、この場を借りて深く感謝の意を表したい。

謝 辞

本出張に関して、科学研究費補助金基盤研究（B）「豪雨の力学的予測のための初期値解析と予測信頼性の評価に関する研究（研究代表者：斉藤和雄気象研究所室長）」より旅費支出を受けた。

略語一覧

A&M : Agricultural and Mechanical
 AIRS : Atmospheric Infrared Sounder
 CASA : the center for Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere
 GSI : Grid-point Statistical Interpolation
 EnKF : Ensemble Kalman Filter アンサンブルカルマ

ンフィルタ

LEKF : Local Ensemble Kalman Filter 局所アンサンブルカルマンフィルタ

LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ

NCAR : National Center for Atmospheric Research 米国大気研究センター

NCEP : National Centers for Environmental Prediction 米国環境予測センター

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気庁

NRL : Naval Research Laboratory 米国海軍研究所

NSSL : National Severe Storms Laboratory 米国シビアス torm 研究所

OSSE : Observing Systems Simulation Experiment

SST : Sea Surface Temperature 海面水温

WRF : Weather Research and Forecasting model 米国の気象研究予報コミュニティモデル

3 D-Var : 3-Dimensional Variational method 3次元変分法

4 D-Var : 4-Dimensional Variational method 4次元変分法

参 考 文 献

- 秋山博子, 有本昌弘, 植村 立, 大石龍太, 財城真寿美, 佐藤友徳, 大楽浩司, 田口正和, 東塚知己, 豊田隆寛, 長島佳菜, 長野宇規, 西澤誠也, 西田 哲, 堀 正岳, 三好建正, 安中さやか, 山口耕生, 山田和芳, 吉川知里, 渡邊英嗣, 2006 : 日欧先端科学セミナー「気候変動」参加報告. 天気, **53**, 913-918.
- 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.
- 三好建正, 2005 : アンサンブル・カルマンフィルタデータ同化とアンサンブル予報の接点一. 天気, **52**, 93-104.
- 三好建正, 2006 : アンサンブル・カルマンフィルタデータ同化との融合一. 数値予報課報告・別冊, (52), 気象庁予報部, 80-99.
- 三好建正, 2008 : カルマンフィルタ. 露木 義・川畑拓也編, 気象学におけるデータ同化, 気象研究ノート, (217), 69-95.
- Patil, D. J., B. R. Hunt, E. Kalnay, J. A. Yorke and E. Ott, 2001 : Local low dimensionality of atmospheric dynamics. Phys. Rev. Lett., **86**, 5878-5881.
- Zhang, F. and C. Snyder, 2007 : Ensemble-based data assimilation. Bull. Amer. Meteor. Soc., **87**, 565-568.