

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「シミュレーション技術の革新と
実用化基盤の構築」
研究課題「先端的データ同化手法と適応型シミュレ
ーション研究」

研究終了報告書

研究期間 平成16年10月～平成22年3月

研究代表者:樋口 知之
(情報・システム研究機構
統計数理研究所、教授/副所長)

§ 1 研究実施の概要

シミュレーションなどの数値モデルによる対象状態の時間発展更新と、装置からの部分的な観測に基づく状態補正の二つを適切に組み合わせる作業はデータ同化と呼ばれる。本研究では先端的なデータ同化手法を開発し、さらにこの技法をもとに、シミュレーションモデルを複数走らせ、データ適応的に数値モデルを切り替え、あるいはそれらを統合するようなメタシミュレーションモデルを創出するプラットフォームの創造を最終目標とした。シミュレーションモデルが含む変数の次元は、数百次元から 100 万次元程度の超大規模なものであり、データ同化の研究はいろいろな意味で計算限界への挑戦である。データ同化は逐次型と非逐次型のアプローチがあり、逐次型においてはアンサンブルカルマンフィルタなどが主に用いられているが、粒子フィルタの適用もわずかながらなされていた。我々データ同化グループでは、このアンサンブルカルマンフィルタ及び粒子フィルタの二つを基盤的技術と位置づけ、逐次データアルゴリズムの高度化とその応用研究を行った。

手法の観点からは総括して、二つの新しいアルゴリズムを開発した。一つは、融合粒子フィルタと呼ぶ粒子フィルタの変形版であり、大規模なシミュレーションモデルを用いたデータ同化システムに対しても、境界条件や初期条件、パラメータ値等のシステムが内包する不確実性を分布として適確に表現しながら、現実的な計算時間内でデータ同化することが可能となった。二つ目は、モデルの系統的比較の基礎となる尤度計算に関して、大規模なデータ同化システムでも数値的に安定して計算可能なアルゴリズムである。これにより、情報量規準にもとづくモデル比較および、モデルを混合創出する、メタシミュレーションの基礎を築けた。

アルゴリズムの開発においては、計算機環境の変化にも常に注視しておくことが大切である。近年、プロセッサのマルチコア化が劇的に進んでおり、GPGPU (General Purpose computation on Graphical Processing Units)、マルチコア等の 100 を超えるスケールの並列プログラミング環境もデスクトップパソコンで実現されつつある。粒子フィルタを高並列計算に適した形で適切に実装することで、次元の呪いにより従来は困難とされている問題を超並列計算機システムでシンプルに解決することにも取り組んだ。その結果、GPGPU から次世代スーパーコンピュータまで、さまざまな計算機アーキテクチャー上で効率よくデータ同化を行うための知見と経験が豊富に得られた。

実際にデータ同化手法の研究を行うには、具体的なシミュレーションモデルとデータセットの二つ、つまり具体的テーマの選定が必要である。そのテーマは、手法の新展開の観点から未解決の数理的及び数値的課題を内包し、併せて応用分野における知識発見や予測性能向上の観点からも興味深いものでなければならない。この観点から我々は、大気・海洋、津波、海洋潮汐、宇宙空間、ゲノムデータ同化等のさまざまな領域における具体的テーマに取り組んだ。さらには、“ものづくり”やサービスサイエンス等、これまで現場熟練者の経験と勘が特に重要であった分野に対して、生産性向上策の提案をデータ同化により効率的に実現する研究も推進した。ゲノム情報分野において世界で初めてデータ同化の概念と方法論の有効性を明らかにしたことと、今後の“ものづくり”にはデータ同化の視点が欠かせないことを啓発した二点は、応用分野の新規開拓の観点から最も成功した事例と言える。

このように本プロジェクトでは、新規アルゴリズムの開発といった理論研究と、新しいデータ同化研究分野の開拓と概念の啓発と言った応用研究をバランス良く遂行できた。

§ 2 研究構想

(1) 当初の研究構想

シミュレーションなどの物理モデルベースでの物理量状態の時間発展更新と、さまざまな観測装置からの実際の物理量の観測に基づく状態補正の二つを適切に組み合わせる作業はデータ同化と呼ばれ、地球環境問題にからむあらゆるモデル作成上もっとも重要な数理的課題である。データ同化の本質は、まず問題を線形ガウスモデルの枠組みに簡素化し、次に状態ベクトルの次元が巨大なために、状態推定に普通利用されるカルマンフィルタを近似的に達成することである。本プロジェクトでは正攻法で非線形非ガウス型データ同化

法の新規開発を行う。この技法をもとに、シミュレーションモデルを複数走らせ、データ適応的にモデルを切り替え、あるいはそれらを統合するようなメタシミュレーションモデルを創出するアルゴリズムを開発研究する。これにより、ミクロからマクロにいたる様々な個別シミュレーションモデルをシームレスに扱えるプラットフォームを提供する。

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

粒子フィルタは原理的に粒子数を増やせば最も望ましい特性をもつ逐次ベイズフィルタであるが、計算機のメモリの制約から実際に確保できる粒子数には限界がある。また、粒子フィルタのもつ別の問題点として、復元抽出を繰り返すことによる退化（言い換えれば確率分布の表現能力の低下）がある。これらの問題点は当初からある程度予想されていたが、粒子フィルタの非線形・非ガウス分布モデルを直接取り扱える（他のデータ同化手法では不可能である）点や計算機への実装の著しい平易性の点から、粒子フィルタの適用可能性については当初から相当の期待を持っていた。よって、MCMKF (Monte Carlo Mixture Kalman Filter) の研究開発を進めるとともに、粒子フィルタの改良に注力して取り組んだ。

その結果、粒子フィルタの長所を保持しつつ退化の問題を回避し、また計算効率の観点からも優れた新しいアルゴリズム—融合粒子フィルタと呼んでいる—を考案した。この方法が、システムの状態と観測との間に強い非線性がある場合にも、また、状態ベクトルの次元が 200 万を超える超高次元のモデルにも適用可能であることをテストデータや双子実験を通じて実証した。また、計算に必要なメモリ領域を線形から対数のオーダーに削減する粒子平滑化アルゴリズムを新規に開発し、同じメモリ量で粒子数を劇的に増加させることが可能となり、推定精度を高めることに成功した。別視点のアプローチとして、生物学的事前情報を組み込みパラメータの事後確率分布を最大化する手法を検討し、そのための新しい最適化アルゴリズムを開発した。これにより推定性能が大幅に向上した上、アルゴリズムの高速化にも成功した。このように粒子フィルタ法の適用に明るい見通しが得られたので、実装の平易性と拡張性の観点から劣る MCMKF の改良の研究は消極的になり、結果として MCMKF のデータ同化への応用は行わなかった。

先端的同化手法やその上位概念物であるメタシミュレーション法の幅広い分野の研究への啓発活動を通して、インパクトのある新規適用分野の開拓をスタート時から計画していた。当初は大気・海洋を中心とした宇宙・地球科学分野への高度化されたデータ同化手法の応用研究を念頭においていたが、ゲノム情報分野において世界で初めてデータ同化の概念と方法論の有効性を明らかにするとともに、“ものづくり” 分野においてもデータ同化研究を主導するなど、予想以上に適用分野を開拓し、さらには具体的な成功事例を発表できた。このように、津波、海洋潮汐、宇宙空間と、データ同化の概念を比較的柔軟に理解してもらえ分野で新しい研究テーマを複数開発できたばかりでなく、ゲノム情報分野等においてデータ同化手法の研究を開始できたことは、まさに「我々が種をまき双葉にまで育て上げた」と言えよう。

§3 研究実施体制

(○：研究代表者または主たる共同研究者)

(1)「樋口」グループ

① 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	樋口 知之	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所	副所長/教授	H16.10～H22.3
	佐藤 整尚	統計数理研究所	准教授	H16.10～H19.3
	川崎 能典	統計数理研究所	准教授	H16.10～H19.3
	上野 玄太	統計数理研究所	助教	H16.10～H22.3
	吉田 亮	統計数理研究所	助教	H19.4～H22.3
	玉田 嘉紀	統計数理研究所	助教	H18.1～H18.6
	山口 類	九州大学大学院	COE 博士研究員	H17.9～H17.12
		東京大学医科学研究所	特任講師	H18.8～H22.3
	中野 慎也	統計数理研究所	CREST 研究員	H17.4～H21.3
		統計数理研究所	助教	H21.4～H22.3
	中村 和幸	総合研究大学院大学	博士課程後期	H17.4～H19.3
		統計数理研究所	CREST 研究員	H19.4～H20.5
		統計数理研究所	特任研究員	H20.6～H21.3
	稲津 大祐	統計数理研究所	CREST 研究員	H19.4～H21.3
	石垣 司	総合研究大学院大学	博士課程後期	H17.4～H19.9
		統計数理研究所	CREST 研究員	H19.10～H20.9
		産業技術総合研究所	特別研究員	H20.10～H22.3
	齋藤 正也	統計数理研究所	CREST 研究員	H20.7～H21.11
		統計数理研究所	特任研究員	H21.12～H22.3
	林 圭佐	統計数理研究所	CREST 研究員	H21.4～H22.3
	井元 智子	統計数理研究所	特任研究員	H21.4～H22.3
	長尾 大道	統計数理研究所	特任研究員	H21.7～H22.3
	守尾 千恵子	統計数理研究所	CREST 研究補助員	H17.4～H20.3
		統計数理研究所	委託費雇用研究補助員	H20.4～H22.3
	藤原 伸子	統計数理研究所	CREST 研究補助員	H17.4～H20.3
		統計数理研究所	委託費雇用研究補助員	H20.4～H22.3

② 研究項目

- ・ PF等の逐次データ同化法の高次元化
- ・ 系統的モデル設計法の検討
- ・ メタシミュレーションの開発
- ・ 新規応用分野の開発調査

§ 4 研究実施内容及び成果

我々はデータ同化手法を統計科学の枠組みで正確に定義し、統計科学や情報科学の分野において蓄積されてきたアルゴリズムやモデリングに関する研究成果を利用しながら、これからの計算機インフラを視野に入れつつ、実装が平易かつ広い分野に適用できる逐次データ同化手法の開発を行った。

実際にデータ同化手法の研究を行うには、具体的なシミュレーションモデルとデータセットの二つ、つまり具体的テーマの選定が必要である。そのテーマは、手法の新展開の観点から未解決の数理的及び数値的課題を内包し、併せて応用分野における知識発見や予測性能向上の観点からも興味深いものでなければならない。我々は主に、大気・海洋、津波、海洋潮汐、宇宙空間(リングカレント)、ゲノム情報、ものづくりの6つの領域における新しいデータ同化実験に取り組んだ。図0.1に、各応用領域における典型的な現象の時間スケールと空間スケールの広がりを模式的に示した。領域名の左側に付してある番号(1~6)が、以下の4. *の番号に相当する。手法の観点からはアンサンブルカルマンフィルタ (EnKF: Ensemble Kalman Filter) と粒子フィルタ (PF: Particle Filter)、応用領域の観点からは6つの領域といった異なる二つの軸を組み合わせることで、シミュレーションモデルの多様性に対応しつつ先端的データ同化手法を開発する体制とした。以下は、領域の軸で整理した研究実施内容である。

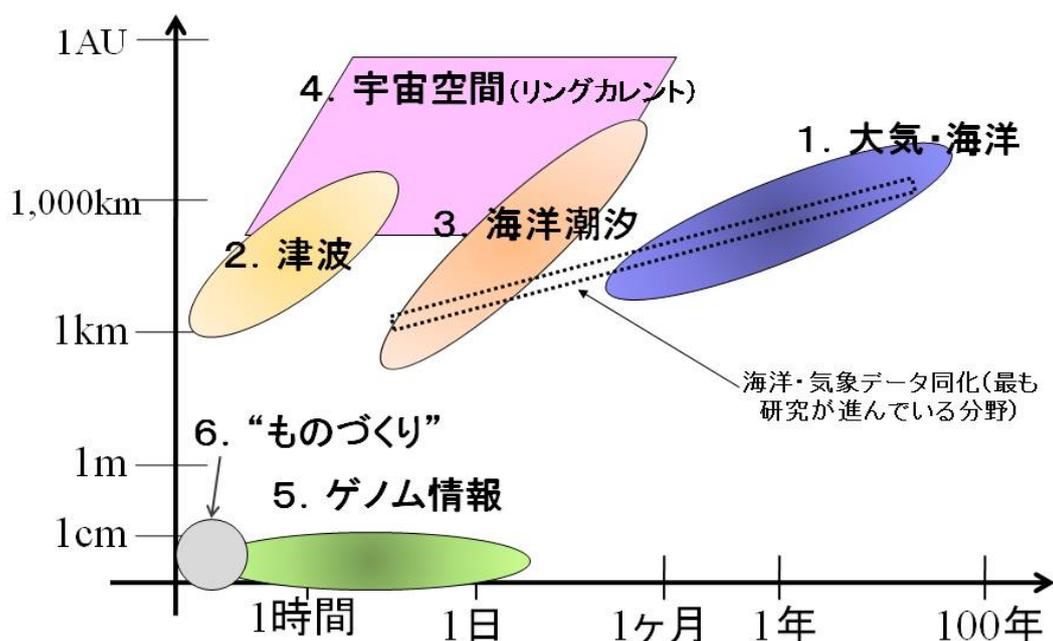


図 0.1: 本研究で取り組んだデータ同化サブプロジェクト。点線ボックスで囲んだ海洋・気象データ同化部分は、学術全般からするとデータ同化研究が最も活発な領域を示す。

4. 1 大気・海洋データ同化プロジェクト(主担当:上野玄太)

(1)研究実施内容及び成果

2007年の日本の夏は猛暑であった。この原因と考えられているのがラニーニャ現象と呼ばれるもので、太平洋赤道域の中央部からペルー沿岸にかけて、海面水温が平年に比べ

て低くなり、その状態が 1 年程度続く現象である。語源はスペイン語で「女の子」という意味である。ラニーニャ現象は長い残暑と短い秋ののち、厳冬をもたらす。ラニーニャ現象とは反対に水温が上がるケースもあり、こちらはエルニーニョ（スペイン語で「男の子」）現象と呼ばれており、日本に冷夏や暖冬をもたらす。実際エルニーニョが発生した 2009 年の日本の夏は多雨で、その結果日照時間が少なく冷夏であった。

エルニーニョ/ラニーニャ自体は単に海水温の異常を指すが、その実体は海と大気が絡み合ったフィードバックシステムの一部である。Zebiak and Cane [1987] (以下 ZC) のモデルは、太平洋赤道域に着目し、簡単ながらも海洋と大気の相互作用を取り入れ、ほぼ 4 年ごとのエルニーニョらしき海面水温の準周期的変動を再現している。我々の研究では、ZC モデルにデータを同化させ、実際にはそれほどは周期的でないエルニーニョ/ラニーニャ現象の理解と予測を目的とした。

このモデルはいくつもの非線型のプロセスを内包しているため、データ同化の基本的なカルマンフィルタ・平滑化のアルゴリズムはもはや使えない。そこで、EnKF を用いて、多数個の実現値を用いるアンサンブルベースのデータ同化手法を採用した。気象・海洋結合シミュレーションモデルに、EnKF のようなアンサンブルベースのデータ同化手法を適用し、さらに気象・海洋学的に意味ある結果を得たのは我々のプロジェクトが世界で初である。

EnKF にはいくつかの変形バージョンも提案されているが、ここで用いたのは Evensen (2003) に見られるオリジナルのものである。したがって、期待するフィルタ値を得るためや計算負荷の軽減のために、対症療法的に使われることの多い共分散膨張や局所化なども用いていない。このときの状態ベクトルの次元は 54,403 となる。同化に使用する観測データは TOPEX/Poseidon (T/P) 衛星による 10 日値 10 年分の海面高度偏差である。ZC モデルで取り扱う範囲とデータ取得位置の関係から、各タイムステップで得られるデータ点数は最大で 8,388 点となる。このうち、モデルの解像度を考慮し、 $2^{\circ} \times 4^{\circ}$ 間隔で計 1,981 点を使用することにした。また、EnKF の実施にあたり、メンバー数は 2,048 とした。メンバー数 2,048 を選んだ理由は、それがデータベクトルの次元数 1,981 よりも大きいからである。数学的に見ると、アンサンブルサイズが独立な観測データの数よりも大きいときに EnKF の能力が落ちないことが我々の研究の成果として分かっている。

これまでの同化実験の結果から、EnKF により適切なフィルタリングを行うためには、システムモデルを適切に設定することが本質的に重要であることが本研究により明らかとなった。そこで、変数の因果関係を頂点と辺で表すグラフィカルモデリングのアプローチを利用して、システムモデルの設計法を提案した。図 1.1 の最も左のパネルに示す結果は、最も右のパネルに示したデータに比較的適合していると目視で判断されたシミュレーションの結果である。つまり、データ同化はまだ行っていない。モデル出力は周期的な振動を示しており、1993/94 年と 1997/98 年にエルニーニョ、1995/96 年と 1999/2000 年にラニーニャを再現している。しかし、このモデル結果には明らかに観測値とは合わない部分がある。例えば、1993/94 年にはエルニーニョ現象は起きていないし、太平洋西部で観測される正の海面高度偏差はモデル結果には見られない。観測データに EnKF を実行した結果が左から二番目のパネルである。初めの半年以降から、フィルタ推定値は観測されるような変化を示すようになる。1997/98 のエルニーニョ現象だけでなく、年変化もフィルタ推定値に現れていることが見て取れる。

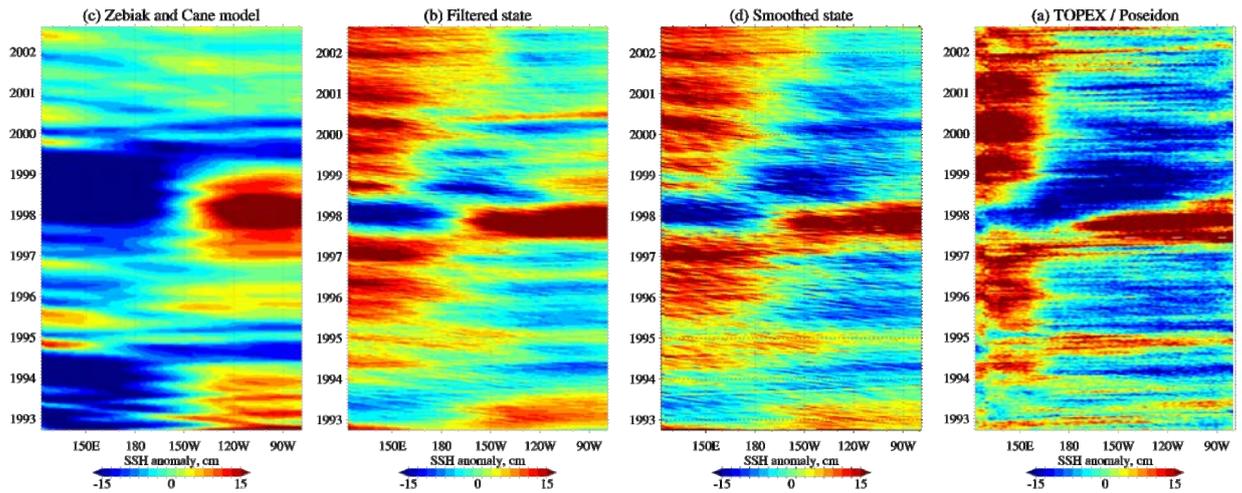


図 1.1 : 赤道沿いの海面高度偏差の時間発展。左から ZC モデル、EnKF の結果、Ensemble Kalman Smoother (EnKS) の結果、T/P による観測データ。

つづいて、アンサンブルカルマン smoother (EnKS: Ensemble Kalman Smoother) を用いることで、全期間のデータを使った平滑化推定値を求めた。当然ながら、全期間のデータを使った平滑化推定値の方が精度が向上する。EnKS の計算結果を図 1.1 の右から 2 番目に示す。フィルタ推定値よりもデータに近い値が得られていることが明らかに見取れる。フィルタ推定値と比べた時の改善点は、1999-2000 年の中央部から東部にかけての負の偏差が再現されたこと、および初期 6 ヶ月の西部における正の偏差が推定されたことである。

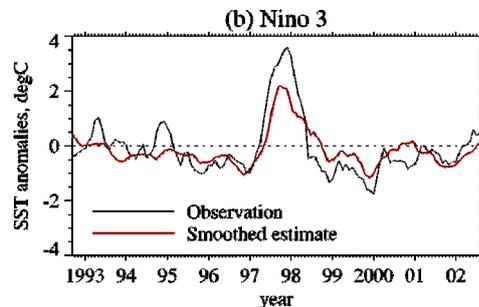


図 1.2: エルニーニョ監視海域における海面水温偏差の観測データ(黒線)と平滑化推定値(赤線)。

同化に用いたデータは海面高度であるが、ZC モデルは他の変数も合わせて解いているため、それらモデル内の変数についても同時に平滑化推定値が得られる。図 1.2 に示すのは、海面高度データの同化により得られた海面水温の平滑化推定値である(赤線)。比較対象は黒線で示す海面水温の観測データであり、同化には用いていないという意味で、独立な観測データである。この図から、水温の平滑化推定値は観測データに見られる主要な変動を捉えていることがわかる。

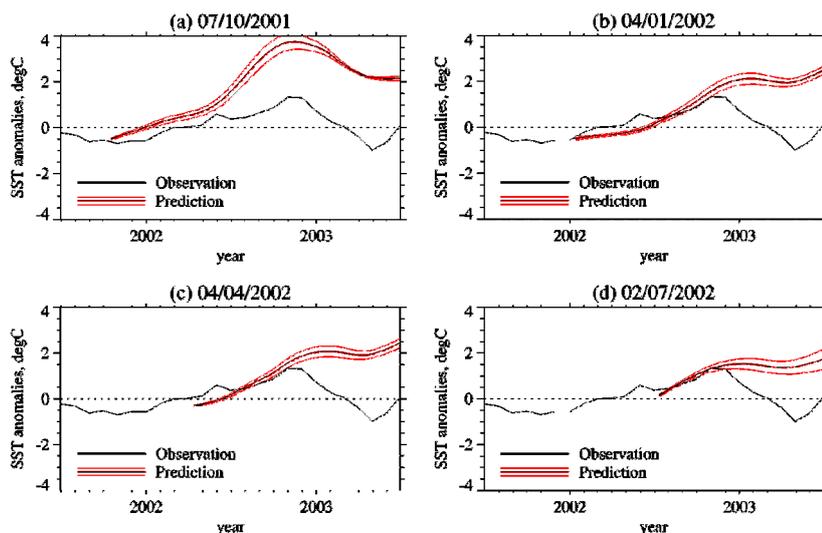


図 1.3: エルニーニョ監視海域内の海面水温偏差の予測実験。黒線は観測データ、赤線は予測推定値と誤差を示す。(a) は予測を 2001 年 10 月から始めたもの、(b) は 2002 年 1 月から、(c) は 2002 年 4 月から、(d) は 2002 年 7 月からのものである。

フィルタリングの計算を行わずに一期先予測の計算を繰り返すことで、最後にフィルタリングを行った時刻からの長期予測が可能である。図 1.3 には最近のエルニーニョ現象(2002–2003 年)の予測実験の結果を示す。2001 年 10 月から長期予測を始めると、2002 年終わりに見られる高温偏差(約 1.5°C)の時期にピークを迎えるが、その予測値は 3°C を超えるもので過大な値を与えてしまう。しかし、その後 3 ヶ月、6 ヶ月から予測を始めると次第にピークも減少し、妥当な予測が可能になり始める。5 ヶ月前、すなわち 2002 年 7 月からの長期予測では、実際の水温のピークが予測分布の標準偏差内という高精度で予測ができていることがわかる。

大気・海洋データ同化プロジェクトにおいて残された課題として、データ同化計算の際にあらかじめ必要となる、システムノイズ・観測ノイズが従う分布型の同定がある。なぜならば、この設定によって同化結果は大きく変わってくるからである。そこで、これまでは半ば主観的に「決め打ち」していた分布を表現するパラメータ値を、データとモデルに適応的に設定可能な方法を考案した。統計科学における時系列解析の方法に倣い、最尤法によりシステムノイズ・観測ノイズのパラメータの最適化を行うこととした。観測ノイズにガウス分布を仮定する場合、その分散共分散行列が正定値であることが必要である。しかしこれまで利用してきた分散共分散行列は、364 サンプルから求めた 1,981 次元の標本分散共分散行列を基礎に構成していたため、そのままではランク不足により正定性は満たされず、尤度の評価が不可能であった。そこでグラフィカルモデルを適用することで、この標本分散共分散行列を正定値行列へと変換する方法を提案し、数万次元の行列に対しても運用が可能となるアルゴリズムを構築した。

こうして構築した分散共分散行列を用いて、最尤法によるパラメータ推定を行った結果を示したのが図 1.4 である。中央のものが最適なパラメータを用いた場合に相当している。その左右は、システムノイズのパラメータをそれぞれ変化させた場合の結果である。シミュレーションより過ぎず、またデータにオーバーフィッティングでないものが選択されていることが見て取れる。

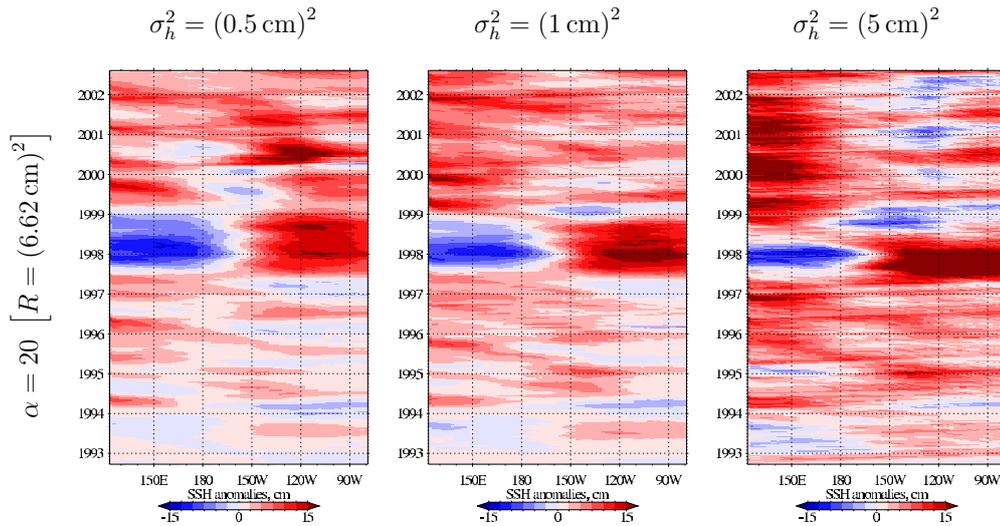


図 1.4: 異なるシステムノイズのパラメータ(σ_h^2)を用いたときのデータ同化結果。表示しているのは海面高度偏差で、横軸は経度、縦軸は時間(年)を表す。

(2)研究成果の今後期待される効果

モデルの系統的設計法やメタシミュレーションの開発の基礎となるのは、モデルの評価法の研究である。逐次データ同化のアルゴリズムはすべて統計モデルで表現できるので、超高次元統計モデルの尤度計算の高精度化がモデル評価法研究の正攻法である。観測モデル中の共分散行列が正則でない場合、その行列式や逆行列を必要とする尤度の計算が原理的に不可能であり、データ同化モデルの良し悪しの比較がこれまでできなかった。例えば観測地点数が多い割にサンプル数が少ないという気象・海洋分野でよく見られる状況においてがそうである。本プロジェクトにより、もともとの共分散行列の構造をある程度維持しながら、正則性を満たすような行列の設定が可能となった。さらに実際にデータ同化の問題が対象とする数千次元以上の行列に適用するための有効な計算アルゴリズムを開発した。これにより、大規模なデータ同化システムに対しても尤度の定義と数値的に安定な計算が可能となり、情報量規準に基づくデータ同化モデル比較への道が整備された。

4.2 津波データ同化プロジェクト(主担当:中村和幸)

(1)研究実施内容及び成果

津波に関する研究には、計算機シミュレーションが幅広く使われている。津波を計算機シミュレーションにより再現するための物理方程式は、浅水波方程式を基礎とした比較的簡単なものである。一方で、津波のシミュレーションにおいて必須の、津波発生源の形状や位置(初期条件)・波動伝播に影響を与える水深(境界条件)は無視できない誤差を含む。図 2.1 は、日本海域において使用可能な4種の海底地形データ間の水深のばらつきを求めたものである。日本海中央部の大和堆(図中央のAの線で囲った五角形部分、およびその北側)周辺や、沿岸部などの浅水域を中心にばらつきが大きいことがわかる。このばらつきは、沿岸域での津波の到達時刻・波高の予測に決定的な影響を与えるので、津波の予報という観点において適切な補正が必要である。また、海底地形の相違は、津波だけではなく海洋現象全体、ひいては大気との相互作用にも影響を与える。従って、海底地形補正は諸々の地球物理学上の問題において重要である。

本プロジェクトでは、データ同化のための観測データとして沿岸潮位計データを用い、水深(海底地形)を補正するデータ同化手法の開発を行った。本プロジェクトにおいて採用したシミュレーションモデルは、浅水波方程式を有限差分法により離散化・格子化した

ものである。モデルに含まれる変数は、各格子点における海水面高、海水の流速ベクトル、水深である。陸域と海水面の間には no slip, no flow の条件、シミュレーション領域内と領域外の間には、無反射条件を設定した。日本海域においては、シミュレーションモデルの格子点は経度方向に 192 点、緯度方向に 240 点となったため、各格子点上に前述 4 変数があり、格子点の半数弱が海上にあるため、状態変数ベクトルの次元はおよそ 9×10^4 (9 万) となる。

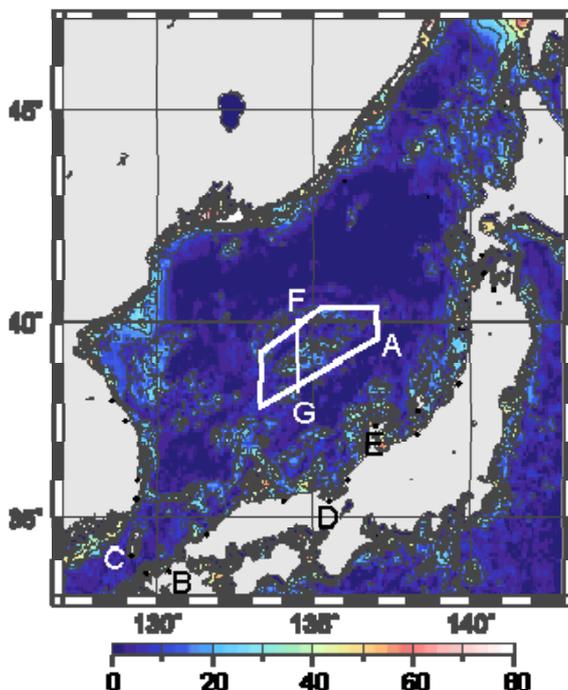


図 2.1: 4 地形間標準偏差の対水深比 (百分率)。A の線で囲った 5 角形部分の大和 (南) 堆周辺や沿岸域が誤差が大きいことがわかる。

一方観測として用いるデータは、特定の地点の海水面高を各時点において計測した沿岸の潮位計データである。観測変数ベクトルの次元数は潮位計データの観測点数となり、18 程度である。データ同化の際に注目する変数は、各地点における水深とした。これは、水深データの計測には誤差があり、データ同化によりシミュレーションモデルおよび観測データに適合した水深値を推測できるからである。またこのことにより、海底地形に対する新たな知見の獲得や、津波の正確な予測が期待できるためでもある。データ同化対象とする海域と津波の組み合わせは、

- (人工地形、人工津波)
- (日本海、北海道南西沖地震津波)

とした。実際の適用対象として日本海を選択した理由は、信頼できる潮位計データが収集できるからである。

本データ同化実験では、初期条件として与える特定の海域部分の水深値が、ある確率分布に従うと仮定した。さらに水深を形式的に時間に依存する確率変数として、シミュレーションモデル内の変数とともに状態ベクトルに組み込んだ。この水深変化に関するダイナミクスと、もともとのシミュレーションモデルを組み合わせた数値計算モデルを、データ同化用のシステムモデルとする。システムノイズは、海底地形の修正項として便宜的に導入するか、あるいは全く入れない二つのケースを検討した。一方観測モデルについては、観測点付近の海水面変動を潮位計が直接計測するとの仮定の上、構成した。

状態推定のアルゴリズムには PF を用いた。地球物理学分野においては、EnKF が逐次型データ同化における有力な推定アルゴリズムとして頻繁に用いられている。しかしながら

EnKF は、非線形観測モデルの場合には推定が PF に比べて悪くなる欠点を持つ。また、観測モデルの観測誤差分散共分散行列が対角の場合、PF の方が計算速度の観点から圧倒的に有利である。以上の理由から、津波データ同化では PF を採用した。

以下に人工データならびに実際のデータによるデータ同化結果を示す。

■双子実験

日本海において「正しい地形」と思われる地形を仮定し、シミュレーションを行うことで人工的な観測データを得る。「誤った地形」とこの人工データのデータ同化により、正しい地形の同定・復元を行う数値実験（双子実験とデータ同化の研究分野で呼ばれる）を行った。この際使用した津波は、北海道南西沖地震津波である。観測点として図 2.2 の 4 点を設定した。「誤った地形」および推定地形は、「正しい地形」から空間的に一様にずれているという仮定をした。PF の粒子数は 100 である。



図 2.2 : 黒点で示した 4 点が、双子実験における潮位測定点。

同化の結果は、図 2.3 に示した通りである。各パネルの最上部の“SKKU:”の右にある数字が、仮想的なシミュレーション時間（ステップ数）を示している。時間は左から右へ、また上から下へと進んでいく。また各パネルの右の折れ線グラフにおいて、左の図中央部の白い斜め線にそった海水面変位を赤色が、元の海底地形を緑色が、可能性のある最深、最浅深度を紫、橙がそれぞれ示す。時刻が最初の最左上パネルは、津波がおきてすぐの状態推定を示している。津波が沿岸にまだ到達していない（赤で示した海面が平坦であることで明らか）ため、逐次的なデータ同化の影響がみられない。しばらくすると津波が沿岸に到達し、その時刻以後同化プロセスにより、海底地形情報が元の地形に徐々に近づくのが確認できる。言い換えれば、津波伝播に従って、推定地形が「誤った地形」から「正しい地形」に修正されていき、なおかつ誤差範囲も収縮している。以上の結果により、少ない粒子数による推定によっても問題が解決できることが分かった。

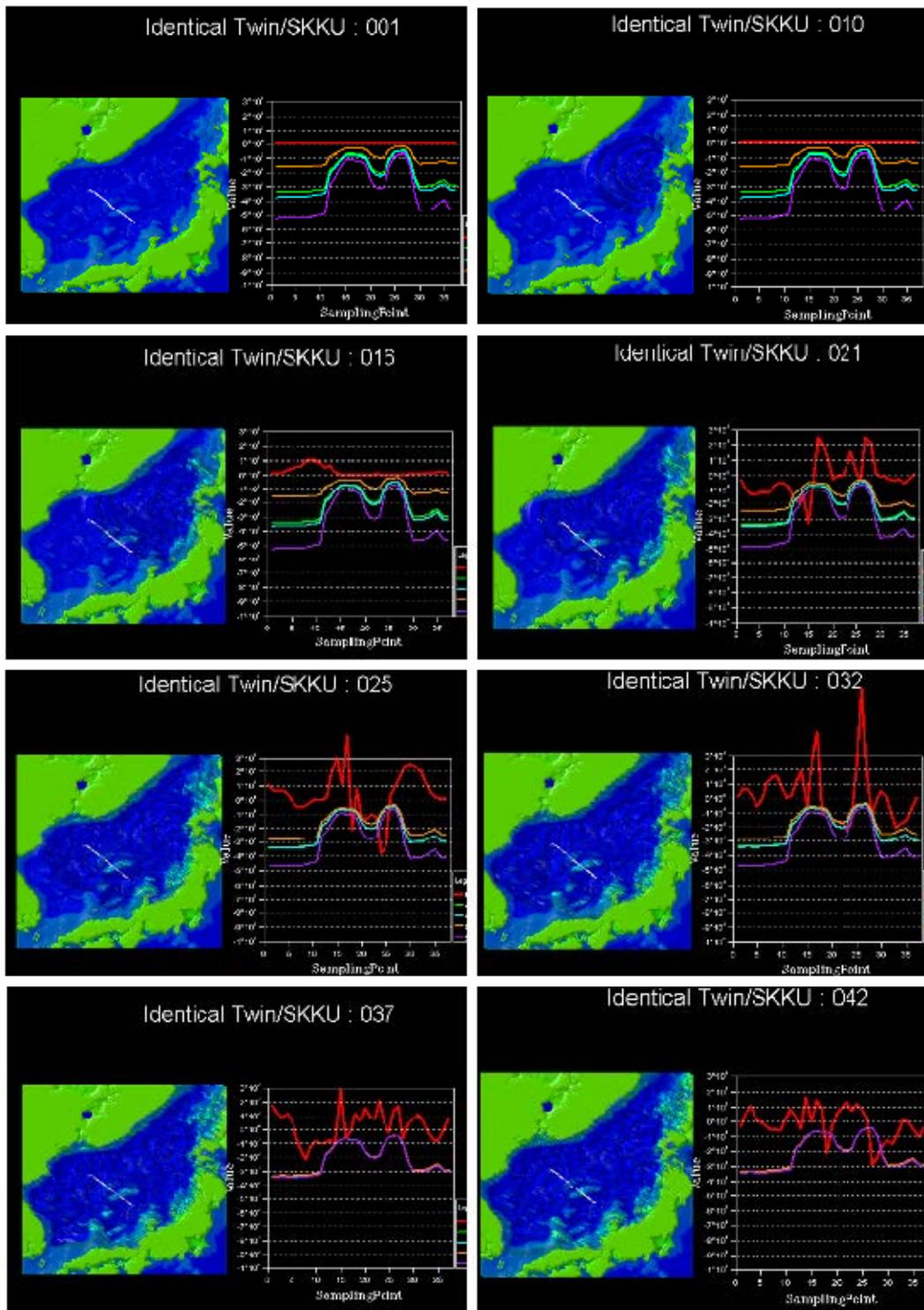


図 2.3 : データ同化の結果。各スナップショット内左側は津波の伝播の様子を表す。各パネル中の右側半分は、左側の白線に沿った断面における、海面 (赤)、「正しい地形」(緑)、推定地形 (水色)、最浅 (橙) および最深地形 (紫) を表す。

■実データ解析

北海道南西沖地震津波の際の日本海沿岸 18 点の潮位計データを用い、海底地形補正を行った。潮位計データは、時系列解析の手法 (1次元トレンドモデルのあてはめ) により、

津波成分を抽出したものを同化に用いた。補正を行う領域は、誤差の大きい大和堆周辺（図 2.1 内領域 A）とし、4 地形データの平均を初期推定地形とした。この領域に対し、推定地形が 4 地形の線形和であるという仮定のもと、海底地形推定を行った。

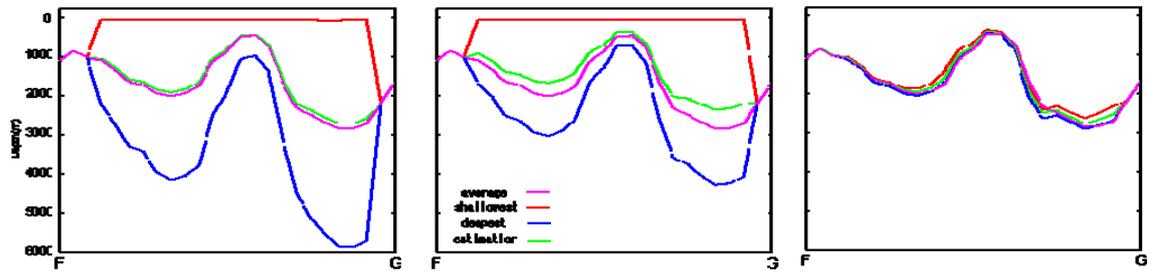


図 2.4：図 2.1 の FG に沿った断面図。紫線が水深の平均値（初期値）、緑線が推定値、赤線が最浅候補、青線が最深候補。潮位データ観測期間内の、最左パネルは最初の、真ん中は途中の、また最右パネルは最終的な時刻のデータ同化の結果である。

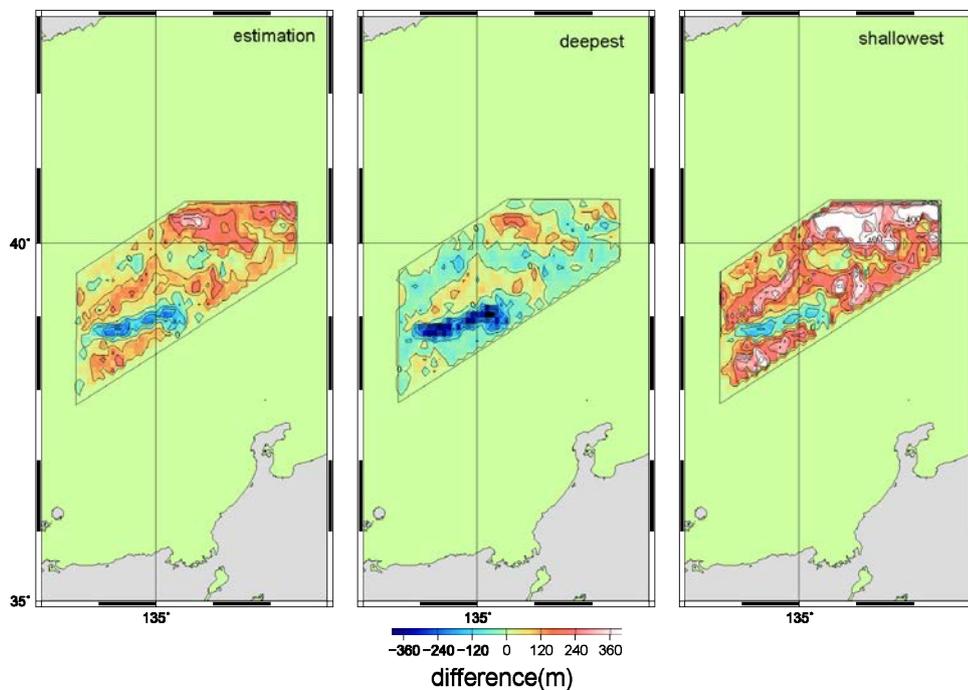


図 2.5：4 地形平均からのずれ。正であれば平均より浅い。左から順に推定地形、最深候補、最浅候補。

なお、本問題における粒子数も 100 とした。推定結果は図 2.4～2.6 に示した。この解析により、大和堆周辺は 4 地形平均よりも総じて浅いが、南側斜面はより急峻であり、深い部分もあるという結果が得られた。推定結果の吟味は必要であるが、この間 PF の欠点である極度の縮退が起こらなかったことから、双子実験の場合と同様、手法としての有効性が確保されているとみなせた。

東経 135 度の 2 点（北緯 39 度（左）、40 度（右））における推定過程を示したのが図 2.6 である。最終的な推定結果は、両パネルの最終時点（一番右側）を見ることになる。推定対象の大部分の領域においては、右側のパネルのように、浅い（太線が太破線よりも上にある）と推定されているが、南斜面の内の 1 点の推定経過をあらわす左のパネルでは、最終的に深い（太線が太破線よりも下）と推定されている。また修正が始まっている時刻は、ちょうど能登周辺で津波の影響が観測されているタイミングであり、手法がうまく働い

ていることが確認できた。さらに、誤差幅に対応する最浅、最深をあらわす細破線部が一致せず幅を持って残っていることから、粒子群が退化せず、推定がうまくはたらいっていることが確認できる。

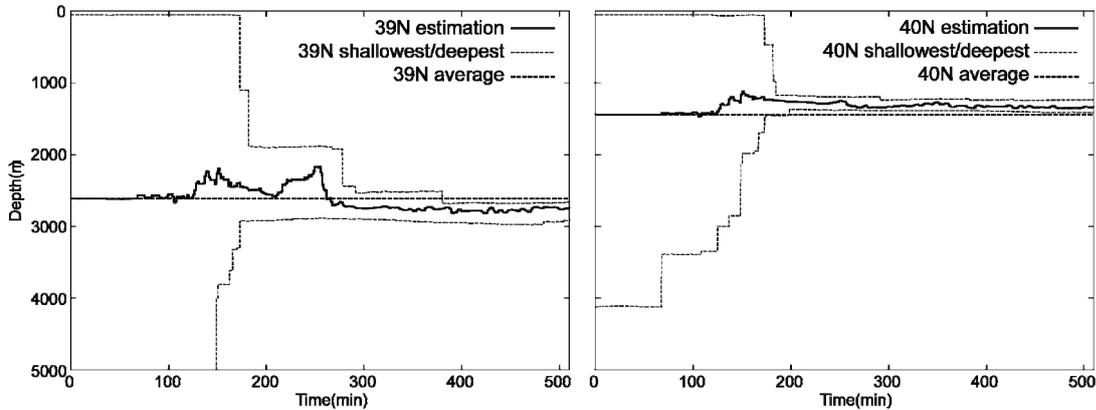


図 2.6 : 東経 135 度の 2 点 (北緯 39 度 (左)、40 度 (右)) における逐次推定の経過について示したグラフ。太線が推定、細破線が最浅・最深のサンプルに対応する水深である。また、太破線がもとの 4 地形の平均である。

(2) 研究成果の今後期待される効果

シミュレーションモデルの固有の特性として境界条件に注目し、シミュレーションモデル毎に境界条件が異なる設定で多数のシミュレーションモデルを競合させた。これは、複数のシミュレーションモデルを同時に走らせ、データ適応的にシミュレーションモデルを切り替え・混合する、言わばメタシミュレーション法と言える。さらに 2.1 で上述した大規模尤度計算により、尤度にもとづくメタシミュレーションの適用範囲がさらに拡大された。

実際の到達時刻・波高の予測の精度向上のためには、沿岸域における効果を何らかの形で導入することが重要である。すでに、現状得られた推定値をそのまま適用した場合、1～2分程度の到達時刻修正がされているが、さらなる改良が可能である。これまで、ほぼ日本海を取り囲むように配置している潮位観測点で得られたデータセットから日本海中心部を推定した。これから他の津波のケースでもデータ同化実験を行っていくためには、海底情報の修正を行う部分が潮位観測点に近接している状況も想定せねばならない。この場合、本プロジェクトと比較して推定性能が異なってくるのが十分予想されるため、チューニングパラメータである、観測ノイズの分布形の設定についても再度検討が必要となる。これらを体系的にまとめることで、津波データ同化の対象とする範囲や規模、次元に応じた粒子数の設定、ノイズ分散の設定に関する指針を導けると期待している。

津波データ同化の場合、気象・海洋データ同化と比較すると、観測点数が状態ベクトルの次元に比べて圧倒的に少ない。このように、不良設定の逆問題としての側面が強い場合データ同化には研究すべき点はまだ数多く残されている。逐次データ同化アプローチだけでなく、空間統計の手法や各種逆問題手法の援用により、よりロバストに状態ベクトルやパラメータ推定が可能になることも予想される。残念ながら、これらを系統的かつ統一的に扱う方法論は整備されていない。これらを津波データ同化の場合を通じて開発し、他の流体などの場合の大規模シミュレーションモデルに対する枠組みの提供も目指せるのではないかと期待している。

4.3 潮汐データ同化プロジェクト(主担当:稲津大祐)

(1) 研究実施内容及び成果

海洋潮汐は、シミュレーションによって、外洋では高精度で予測されているが、沿岸

付近における精度は低い。アラスカ州南東部のフィヨルド（**図 3.1**）は、海洋潮汐の予測の高精度化が望まれる領域の一つである。そこで、領域的なシミュレーションを実施し、海洋潮汐を精度よく予測するために重要なパラメータの同定および最適推定を試みた。

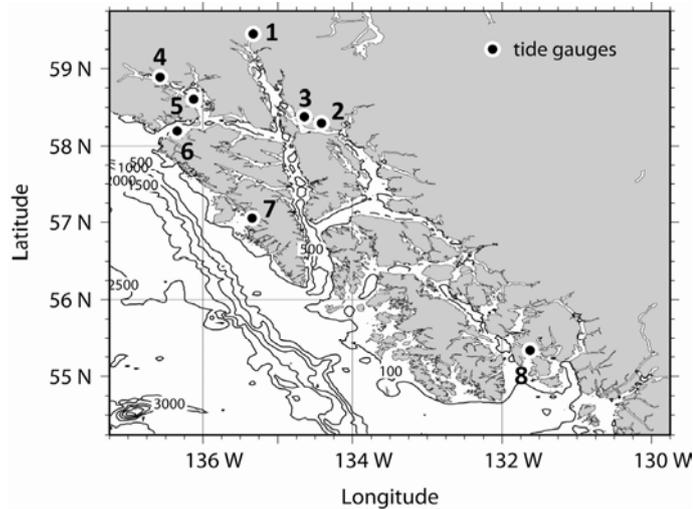


図 3.1: 計算領域と ETOPO2 に基づく海底地形。8 点の潮位観測点とともに示す。

単層の順圧海洋モデル (Hirose and Yoon, 1996) を使用し、**図 3.1** に示す海域の海洋潮汐を表現する。計算領域の境界の水位を、最新の外洋の高精度海洋潮汐モデル (Lyard et al., 2006) によって強制し、領域内部の海水運動を引き起こす。海水運動に強く作用する不確実性を内包する変数として、海底摩擦係数および水深を選択した。水深は 2 種類の海底地形データセット (**ETOPO2**: Smith and Sandwell, 1997 および **GINA**: Lindquist et al., 2004) を用いた。**図 3.2** にその高精度領域海洋潮汐シミュレーション計算の様子を示す。2 種類の海底地形を用いたシミュレーションに基づく半日周期の M2 分潮の調和定数と、8 点の観測に基づく調和定数との比較を **図 3.3** に示す。GINA を用いた場合のシミュレーションは、観測に基づく M2 分潮をきわめてよく再現したが、ETOPO2 を採用した場合は、フィヨルド湾内の再現性が悪い。海底摩擦係数はどちらのシミュレーションにおいてもほぼ一定の値が適切であると判断された。この結果より、信頼性の高い海底地形データ（この場合は GINA）を用いることが、海洋潮汐を表現するモデルにとって必要不可欠であることが示された。

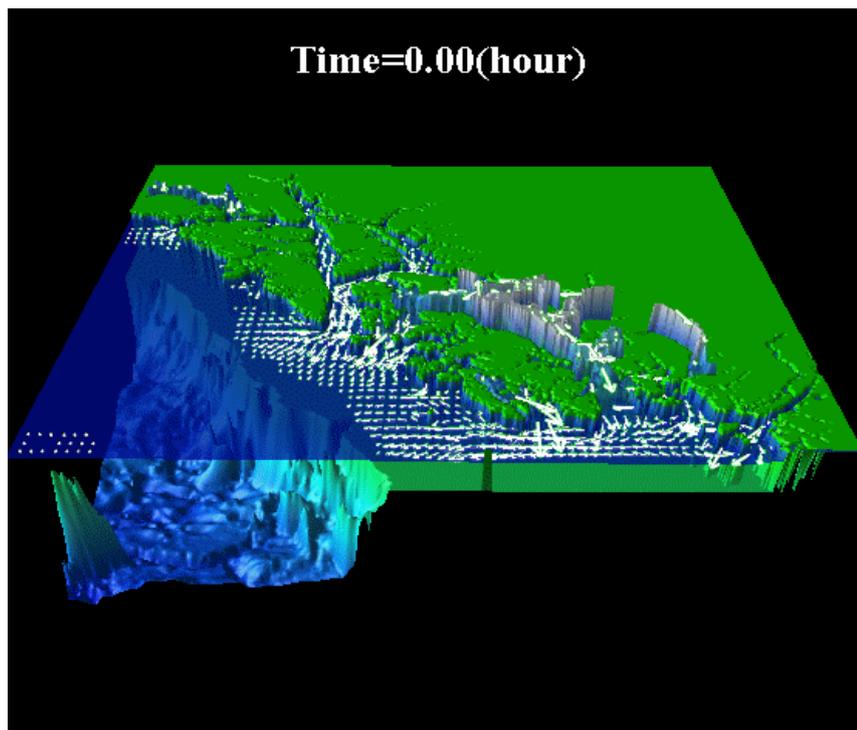


図 3.2: 海洋潮汐データ同化実験で用いられている高精度の領域潮汐シミュレーション計算の様子。

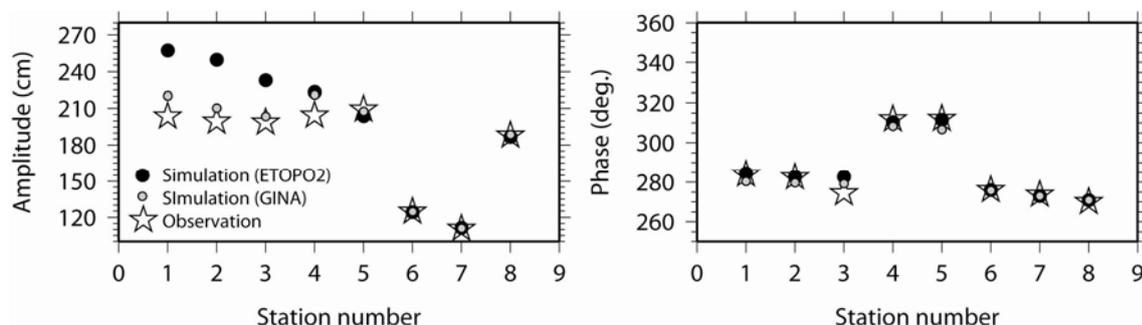


図 3.3: 2種類の地形データを用いたシミュレーションおよび観測に基づく M2 調和定数。横軸の数字は図 3.1 のものと共通。

海底地形データセットには ETOPO2 や GINA 等、人工衛星の重力観測に基づき全球にわたって推定された水深データを用いることが多い。一方で、船舶の航行時の音波による直接観測に基づく水深データは、海洋を部分的にしかカバーできないが、人工衛星起源のデータよりも高い精度を有する。図 3.4 は、前述の GINA と、音波による実観測データであるマルチビームデータの差を示したものである。人工衛星起源のデータセットには、実測値と比較して±300メートルにもなる大きな誤差があることが見て取れる。

本プロジェクトでは、船舶起源のデータがない場合にも現実的な海底地形データを備えた海洋潮汐シミュレーションモデルを得る目的のために、人工衛星起源の水深データを領域分割し、海域毎に多様に変化させた固有の境界条件を持つシミュレーションモデルを多数予め用意する。図 3.5 に、その領域分割の様子を示した。分割された各領域において、基準となる GINA の海底の深さに対して浅いものからより深いものまでの様々な値をもつ海底地形データを用意し、それらの組み合わせで構成される境界条件のもとでシミュレーション

ン計算を実行する。併せて、流体方程式内にあられる摩擦係数もパラメータとして取り扱った。最適化アルゴリズムの一つである Evolution Algorithm を用いて、最適な境界条件を自己組織的に構成することに成功した。

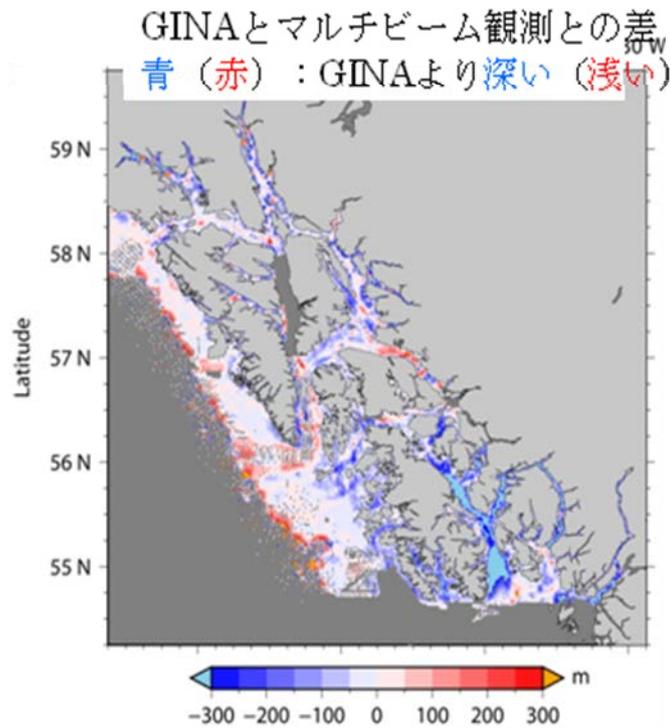


図 3.4 : 衛星データから推測した海底地形データセット GINA と、船による実観測データであるマルチビームデータの差。

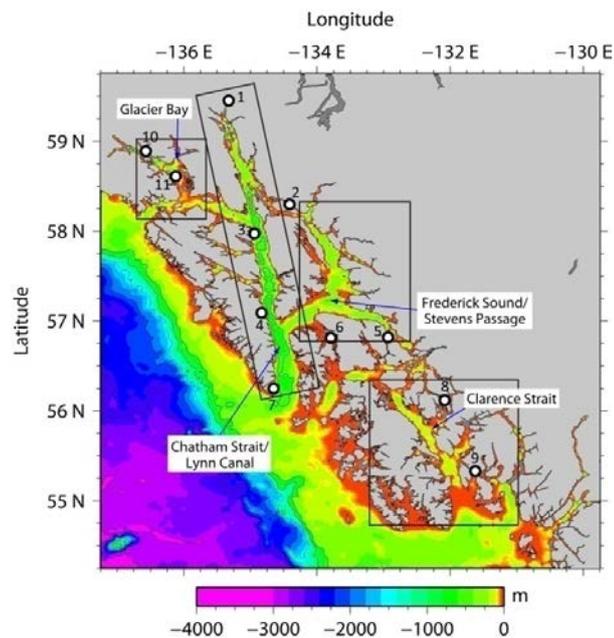


図 3.5 : 四つに大別された領域。

(2)研究成果の今後期待される効果

本プロジェクトで取り扱った流体方程式は一般的な形式のものであるので、確立されたデータ同化手法は他の応用例に対しても適用できる。実は、本プロジェクトの観測モデルはむしろ特殊であるので、一般の応用例においてはもっと自然に観測モデルが構成可能で、本研究の成果が生かせる場は多いと考える。

4.4 宇宙空間データ同化プロジェクト（主担当:中野慎也）

(1)研究実施内容及び成果

地球内部磁気圏の高エネルギーイオンは、地球を取り巻くように西向きに流れるリングカレントと呼ばれる強い電流を作っており、地上の磁場擾乱や内部磁気圏の磁場・プラズマ環境に大きな影響を及ぼしている。このようなリングカレントを構成する高エネルギーイオンのダイナミクスを理解することは、磁気圏の様々な現象を理解するためにきわめて重要である。このようなリングカレント・イオンのダイナミクスについては、これまでに数多くの研究がなされており、特に、数値シミュレーションによるモデリング研究は近年盛んに行われてきた。しかし、内部磁気圏の高エネルギーイオンの振る舞いを数値的にモデリングする際には、内部磁気圏に注入されるイオンの量や温度、内部磁気圏の電場分布などのパラメータの値を適切に与える必要がある。このようなパラメータの値を観測的に知ることは不可能であるため、如何にしてそのパラメータを設定するかが問題となっていた。

従来の研究では、過去に蓄積された人工衛星の直接観測のデータから統計処理によって得た経験的モデルに基づいてパラメータが与えられてきたものの、特に電場に関しては、これまでに得られたデータの量が十分ではないために信頼できるモデルが今のところ存在せず、経験的モデルに基づくパラメータ設定が必ずしも妥当であるとは言えない。実際、経験的モデルから電場などのパラメータを設定したうえでシミュレーションを行っても、観測事実と異なる結果が出るのが少なくない。

本プロジェクトでは、データ同化によって、観測からは知ることのできないパラメータを推定し、リングカレント・イオンのダイナミクスを正確にモデリングすることを目指した。同化するデータは、IMAGE 衛星により得られた高速中性粒子の遠隔観測のデータである。高速中性粒子は、**図 4.1**のように、磁気圏に捕捉された高エネルギーイオンと地球近傍の低エネルギーの中性粒子との電荷交換によって生成され、磁場に影響されることなく生成性源から衛星まで到達する。IMAGE 衛星は、高速中性粒子のフラックスの向きと量を観測しており、これによって高エネルギーイオンの空間分布についてのグローバルな情報が 2 次元的に得られる。一方、リングカレント・イオンのダイナミクスを扱うモデルとしては Fok et al. (2001)によって開発された Comprehensive Ring Current Model (CRCM) を用いる。このモデルは、磁気圏のイオンの 3 次元的なフラックス分布を扱うことができるモデルである。

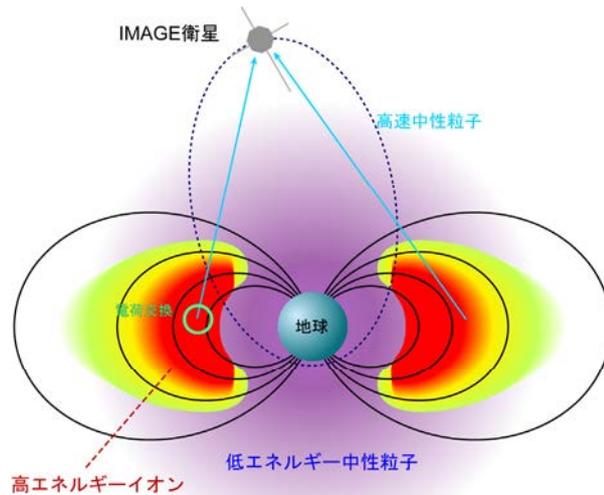


図 4.1: IMAGE 衛星による高速中性粒子観測の仕組みの概念図。

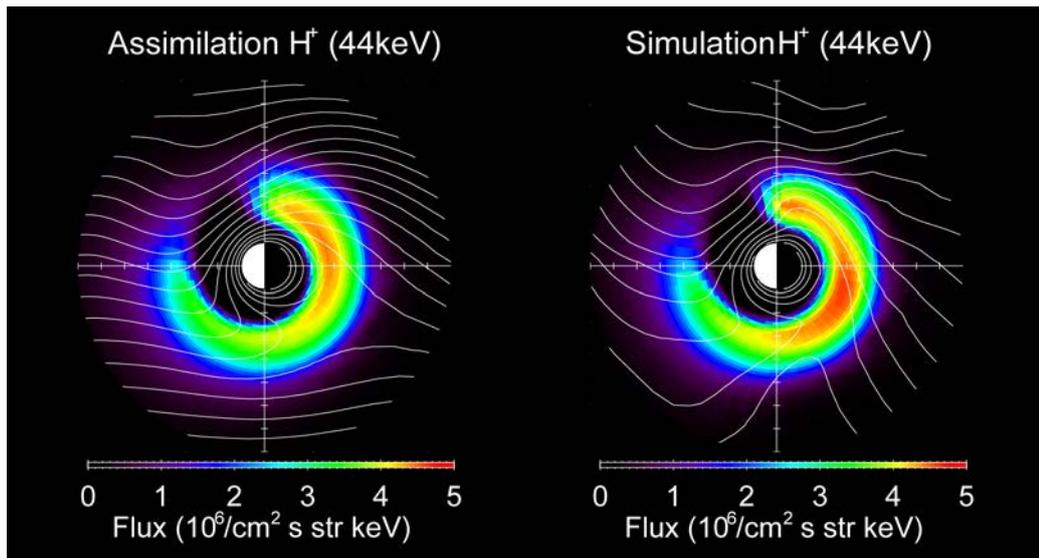


図 4.2: 右パネルは、人工データを生成したシミュレーション上のリングカレント・イオンと電場ポテンシャルの分布。色を付けて示しているのがイオンのフラックス、白線で等電位線を示す。左パネルは、人工データを同化した結果得られたリングカレント・イオンと電位の分布を示す。

実際にデータを同化する際には、モデル内の物理量を観測される高速中性粒子のフラックスの値と対応づける必要がある。しかし、CRCM 内の物理量と観測される高速中性粒子フラックスとの関係は線型ではないため、従来よく使われている拡張カルマンフィルタや EnKF といった手法を使うことができない。一方、PF は、粒子を多数必要とするという意味で計算効率が悪いため CRCM のような高次元のモデルに適用するのが難しい。さらに通常の PF は、フィルタリングを繰り返すうちに状態の確率分布をうまく表現できなくなってしまうため、高次元の問題に対してはあまり有効とは言えない。我々は、従来の PF のアルゴリ

ズムを改良し、予測分布アンサンブルから抽出した複数の粒子を組み合わせるこのにより、モデルとデータとの関係が線型でなくても比較的少ない計算コストで適用可能な融合粒子フィルタ (Merging Particle Filter: MPF) という手法を新たに開発し、それを用いることでCRCM へのデータ同化を実現した。

CRCM に入力すべき未知のパラメータには、磁気圏の磁場・電場分布、シミュレーション領域境界でのイオンの密度・温度などがある。ただし、現在のところ、磁気圏磁場分布に関しては、比較的信頼できる Tsyganenko 96 モデルという経験的モデルがあるため、このモデルによって与えることにし、磁気圏電場分布及びシミュレーション領域境界でのイオンの密度・温度については信頼できる情報がないため、データ同化によって推定することにした。なお、システム全体の状態ベクトルの次元は 2,257,944、観測ベクトルの次元は 800 である。

まず、実際に高速中性粒子データの同化によってモデリングがうまく行くのかどうかをテストするために、高速中性粒子の擬似データを人工的に生成し、この人工データを同化することを試みた。人工データは、電場やシミュレーション領域境界でのイオンの密度・温度を経験的モデルなどから与えた上で CRCM によってリングカレント・イオンの分布を計算し、その計算結果から生成した。図 4.2 の右パネルに示したのが、人工データを生成したシミュレーション上のリングカレント・イオン分布、及び電場ポテンシャルの分布である。また、人工データを同化した結果は図 4.2 の左パネルに示す。この図において、色付きで示しているのは、44KeV のリングカレント・イオンのフラックスの 2 次元分布である。白い線で示しているのは、等電位線で、ここでは 10keV 刻みで示している。両者を比較すると、同化によって推定されたリングカレント・イオン及び電場ポテンシャルの分布は、人工データを生成したシミュレーション上の分布を概ねうまく再現していることがわかる。特に電場分布については、高速中性粒子が多数生成されている地球に近い領域に関してはかなりよく再現できている。また、シミュレーション領域境界でのイオンの密度・温度についても、妥当な推定結果が得られることを確認している。したがって、高速中性粒子のデータを同化することで、うまく磁気圏のリングカレント・イオンや電場の分布をモデリングできることが確認できたと言える。

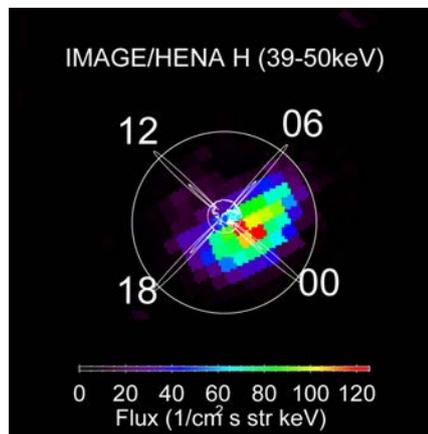


図 4.3: IMAGE 衛星によって観測された高速中性粒子の 2 次元像。

次に、実際に観測された高速中性粒子のデータの同化を試み、それに成功した。図 4.3 に示したのが、2000 年 8 月 12 日に発生した磁気嵐の時の IMAGE 衛星によって観測された高速中性粒子の 2 次元像である。このようなデータを実際に CRCM に同化させることによって得られた結果が図 4.4 である。この図では、UT10 時におけるリングカレント・イオンと電場ポテンシャルの分布についての推定結果を示している。特定の時間のリングカレント分布・電場分布を同時に推定する方法は、これまで存在しなかったものであり、実際のデータを用いてこの方法論の有効性が実証されたことにより、今後、磁気圏で起こる諸現象の

研究に寄与できるのは確実である。また手法開発当初は、電場パラメータが時間変化しないことを仮定しており、そのためリングカレント発達のダイナミクスを解析できる段階には至っていなかった。現在、電場パラメータを時間変化も含めて推定することで、ダイナミクスを詳細に解析できるようにするためのプログラムの開発を終了した。このように、異なる磁気嵐でリングカレント・イオンや電場の分布がどう異なっているかを研究する体制を整えた。

今後は、より正確にリングカレントの分布などを捉えられるようにするために、IMAGE衛星による高速中性粒子のデータだけでなく他の様々な観測データも同化できるようにプログラムを改良していきたい。一方で、今後、多数の磁気嵐についてデータ同化を行なっていき、得られた結果の解析を進めていく予定である。

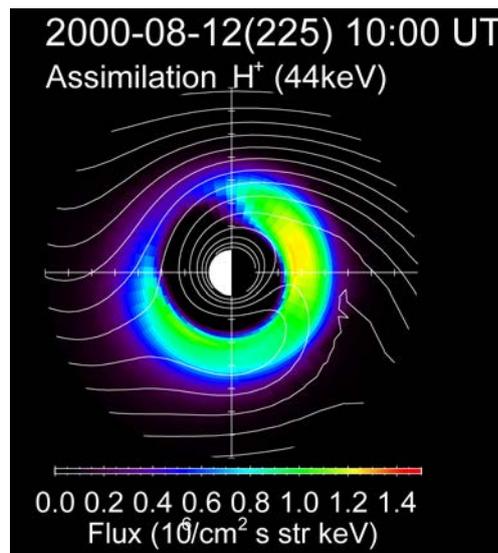


図 4.4: データ同化によって推定された 2000 年 8 月 12 日 UT 10 時におけるリングカレント・イオンと電場ポテンシャルの分布.

(2) 研究成果の今後期待される効果

本プロジェクトの自然な発展として宇宙科学において期待されているのは、複数衛星の直接観測による、磁気圏の多点観測システムへのデータ同化の応用である。すでに、多点観測データをデータ同化により統合する手法の研究に着手し、プログラムの開発は概ね終了した。現在はそのテストとして、10 機程度の人工衛星が磁気圏で観測を行っていた場合を想定し、仮想的な人工衛星で粒子観測を得た場合にプラズマ粒子分布の時間・空間変化をどの程度うまく推定できるのかについて、双子実験により検討を行った。電場ポテンシャルパターンが変化しない簡単な場合については、電場分布の大域的な構造が良く推定できることを既に確認している。

4.5 ゲノムデータ同化プロジェクト(主担当: 吉田亮)

(1) 研究実施内容及び成果

代謝、シグナル伝達、タンパク質相互作用、遺伝子制御等の生体内での物質や情報の流れは、生物学では生体パスウェイと称される。それは、複雑で多様な生体现象をシステムとして理解する上で欠かせない概念であり、各種さまざまな系のパスウェイのモデル化が進められている。各パスウェイのモデルは、膨大な実験結果、文献情報からの知見に基づき構築される。結果として得られるモデルはネットワーク図として表現されることが多いが、その一方で、ネットワーク図を基に微分方程式等を用いて、計算機により遺伝子転写産物等の時間変化をシミュレート可能なモデルも作成されている。このような、シミュ

レーションモデルにネットワークの知見を網羅的に取り込み、仮想的な計算機実験を通して複雑な生命現象の理解を目指す研究領域は、イン・シリコ システムズバイオロジー（以下ではイン・シリコ研究と略す）と呼ばれている。

イン・シリコ研究においては、細胞の環境依存性が引き起こすモデルの不完全性を前提にしなければならない。例えば、タンパク質の結合効率は外部温度に依存するため、これをモデルの結合パラメータに反映する必要がある。また、DNA のメチル化の状態は細胞の種類によって違ってくるため、転写因子による遺伝子発現制御が細胞毎に機能したり、しなかったりすることがありえる。制御メカニズムの取りこぼし、モデルのパラメータや初期条件の不確実性など、様々な要因が積み重なった結果、生化学反応シミュレーションモデルと現実とは合わないことは十分理解しておかねばならない。

本研究では、そのようなパスウェイのシミュレーションモデルを対象としている。具体的には Hybrid Functional Petri Net (HFPN; e.g., Matsuno et al. 2003) と呼ばれる、グラフィカル言語により構成されたパスウェイシミュレーションモデルを用いている。HFPN はシステムズバイオロジーの分野で比較的広範に用いられているシミュレーションエンジン作成ツールである。HFPN により、ミカエリス・メンテン方程式など、生化学反応の速度理論を模倣して、タンパクや mRNA の制御関係を記述できる。図 5.1 は、HFPN により構築された概日周期のパスウェイのモデルの例である。基本的には複数の mRNA とたんぱく質の濃度を表すノードと、その制御（発現促進、抑制、結合、分解等）を表す矢印から構成されている。HFPN により構成されたモデルの利点としては、モデルがネットワーク図で表現されることから、計算機を専門としない生物学者にも理解しやすいことが挙げられる。

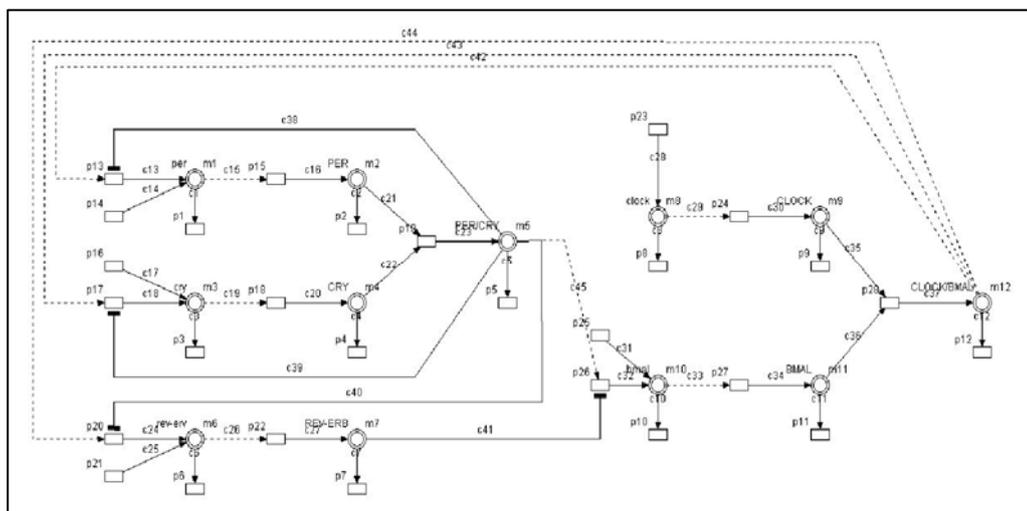


図 5.1 : HFPN により構築された概日周期パスウェイモデル

しかしながら、このようなシミュレーションモデルの利用には、二つの大きな問題が存在する。一つは、モデルに含まれるパラメータの推定の問題である。もう一つは、同じ対象に対し異なるモデルが存在する時に、モデルの善し悪しを判定する問題である。前者に関しては、これまで主に専門家が文献情報等を基にハンドチューニングを行ってきた。また後者に関しては、特に明示的な方法論は提案されていなかった。現在、生物実験の技術革新に伴い、DNA マイクロアレイチップやタンパク質量分析器を利用して、mRNA やタンパクの発現量を網羅的に測定する技術がゲノム研究の標準プロトコルになりつつある。本研究では、このような技術革新によって獲得されたデータと、パスウェイシミュレーションのデータ同化を行うことにより、上述の二つの問題を解決することを目的としている。

以下、目的をより一般的視点から再度まとめておく。通常、イン・シリコ研究のプロトコルは次のように要約される：(1) in vivo もしくは in vitro の実験結果や文献情報などに

基づき、ベースモデル（基本となるシミュレーション可能な数理モデル）を作成（2）モデルパラメータのチューニング（3）シミュレーション結果とエキスパートの知見を照合、モデルの性能検証テスト（4）リモデリング。従来のイン・シリコ研究では、エキスパートの知見・経験というある意味恣意的な規準にもとづき、（1）－（4）のプロトコルを実施してきた。本プロジェクトの最大の特徴は、（2）－（4）のプロトコルに統計科学の解析技術を明示的に取り込むことにある。統計科学の文脈において、（2）の問題は統計モデルのパラメータ推定、（3）と（4）は統計的モデル選択・評価の問題に帰着する。このように、計測データから効率的に情報を抽出することで、高性能のモデルを帰納的に構築し、データの背後にある知見に結びつけるという目的は、統計科学研究の基本原理でもある。

以下に、具体的な二つの生物学的研究テーマに対するデータ同化の適用結果を示す。

■マウスの概日周期

本プロジェクトではまず、マウスの概日周期の HFPN モデルを題材に研究を進めた。多くの生物は、ほぼ一日の周期を持つ生物時計を持っているが、そのリズムは、複数の mRNA とたんぱく質からなる自律振動系により作り出されることが知られている。マウスの脳内に存在する概日周期のパスウェイは前述した図 5.1 に示すように HFPN でモデル化されている。データ同化のために、シミュレーションモデルを一般化状態空間モデルとして表現する。その上で、状態ベクトルに含まれる mRNA およびたんぱく質の濃度およびパラメータの推定には PF を用いた。またモデル選択の規準には、周辺化尤度を採用した。まず実データを用いたデータ同化実験の前に、専門家によってパラメータを設定されたモデルから、ノイズを含む人工データ作成し、その人工データを用いて手法の検証を行った (Nagasaki et al. 2006)。

当モデルには、各 mRNA、たんぱく質の濃度の初期値、転写や翻訳の速度パラメータ、ノイズの分散等の、異なる種類のパラメータが存在する。PF を素朴に適用して全パラメータ (24 個) を推定しようとする、推定がうまくいかない。これは探索次元の高さと、生物学データに顕著なデータ時点数の少なさ（当実験では 13 時点）に起因すると考えられる。推定すべきパラメータの数を、4、5 個程度に絞れば、パラメータの種類にあまり依存せずよい推定結果が得られた。本実験では、推定できるパラメータ数の増加が課題として残ったが、それらは後述の複数のアプローチにより解決された。

モデル選択の問題に関しては、以下の実験を行った。モデルの候補群として、図 5.1 のモデルと少しずつ構造の異なるモデルを作成した。それらを図 5.2 に示す。パネル (a) は図 5.1 と同じ、元となるモデル、あとの三つは、それぞれ、元モデルに対し一本ずつ、(b) あるパスを削除、(c) ある促進パスを追加、(d) ある抑制パスを追加したものである。実験では、(a) のモデルから作成した人工データを使って、それぞれのモデルにおける周辺化尤度を計算した。結果、正解の (a) のモデルが最も高い周辺化尤度を持ち、モデル選択が正しく行われた。

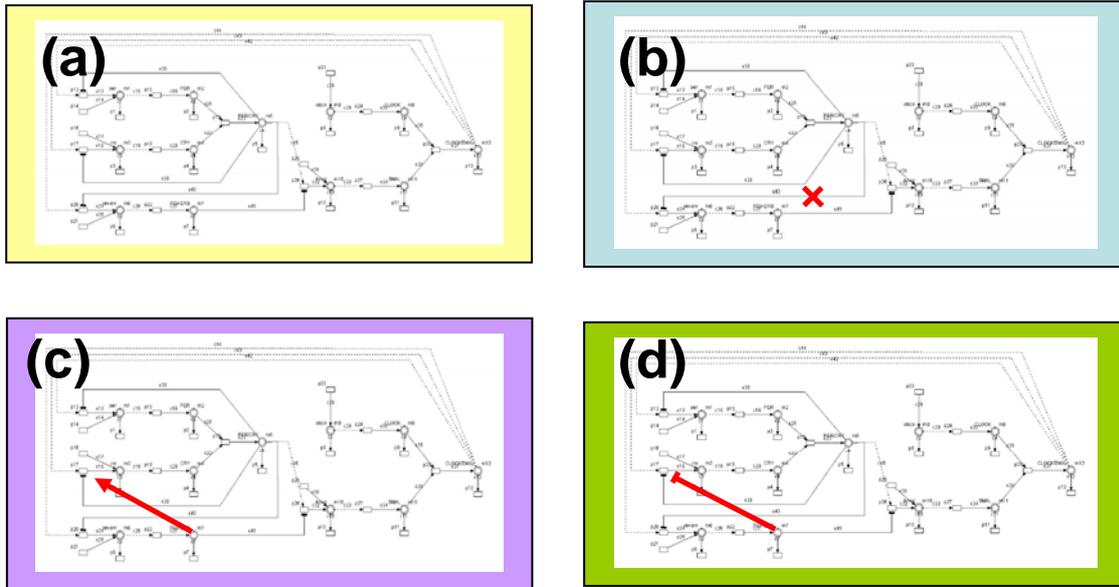


図 5.2: モデル選択実験に用いた HFPN モデル

■上皮組織増殖因子受容体下流のシグナル伝達

我々は共同研究者とともに、EGFR (Epidermal Growth Factor Receptor: 上皮組織増殖因子受容体) 下流のシグナル伝達経路の解明を目的とした、実データを用いたデータ同化実験を行った (Tasaki et al. (2007))。SILAC と呼ばれるタンパク質量分析法を用いて、EGFR 下流のタンパク質に対して、チロシンキナーゼ活性状態の計時変化を測定した。この時系列プロファイルを用いて、EGFR シグナル伝達経路のシステム同定を試みた。まず始めに、HFPN にもとづき生物学的知見を網羅的に取り込んだベースモデルを設計した。図 5.3 は、HFPN で作成した EGFR シグナル伝達経路のモデルである。モデルのパラメータは反応速度 (タンパクのリン酸化、結合速度) を規定するもので、PF を適用して推定する。

次に、推定した速度パラメータをモデルに与えたもとでシミュレーション実験を実施し、観測データに対する再現性を検証した。図 5.4 は 6 種類のタンパク質のチロシンキナーゼリン酸化活性の時系列プロファイルとシミュレーション実験の結果を示したものである。ここで、10 から 20 分の間で、p38MAPK の観測データとシミュレーション値の乖離が確認できる。この乖離の原因について、重点的な局所探索や生物学的観点からの考察など、十分な原因検証を行った結果、p38MAPK が関与する未知の制御関係が存在する可能性に至った。そこで、ベースモデルの p38MAPK 近傍のタンパク間に 10 種類の新たな制御関係を追加し、これら仮説モデルに対して周辺尤度にもとづく統計的評価を行った (図 5.5)。その結果、p38MAPK から MKK3/4/6/7 への抑制効果、p38MAPK から MAPK phosphatase への活性効果を追加したモデル群が、一様に高い尤度スコアを示すことが判明した。これらの統計的仮説検証実験によって新たな制御関係の可能性が示唆された。

このように EGFR シグナル伝達経路に関しては膨大な先行研究群が存在したことで、その知見を活用できた。具体的には、パラメータに関するある程度効率的な事前情報を得ることかでき、これらをベイズ事前分布として推定アルゴリズムに組み込むことが可能であった。しかしながら、実際の応用研究において、このようなケースは稀である。パラメータ推定問題の難しさは、データ量とモデルの複雑さのアンバランスによるものであるが、生物学的に自然な解空間の絞込みが一般的には有効な解決手段である。例えば、「mRNA の分解速度は合成速度に比べて十分に速い」といった大域的情報を積極的に取り込むことで、推定アルゴリズムの性能を大幅に向上できる。

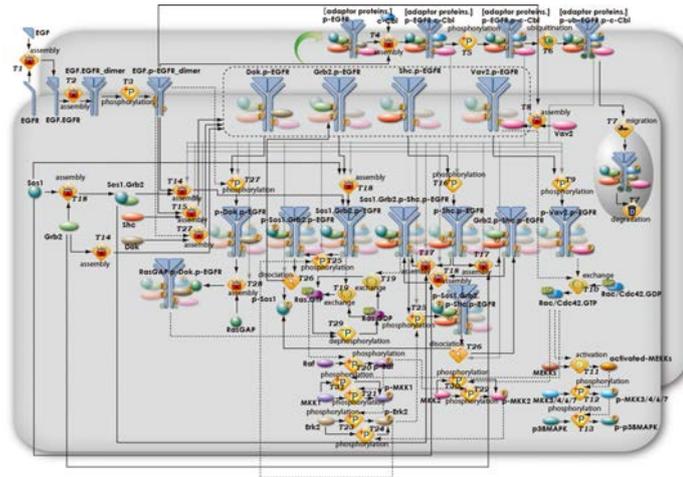


図 5.3: HFPN で作成した EGFR シグナル伝達経路のシミュレーションモデル。

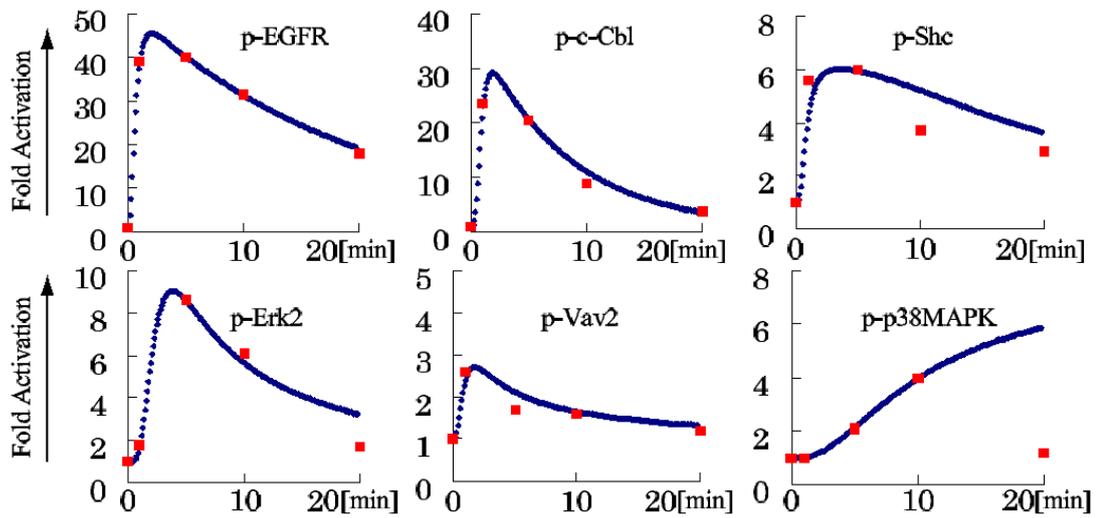


図 5.4: シミュレーションモデルの再現性検証実験。青線は推定パラメータにもとづくシミュレーション値、赤点は観測データを表す。

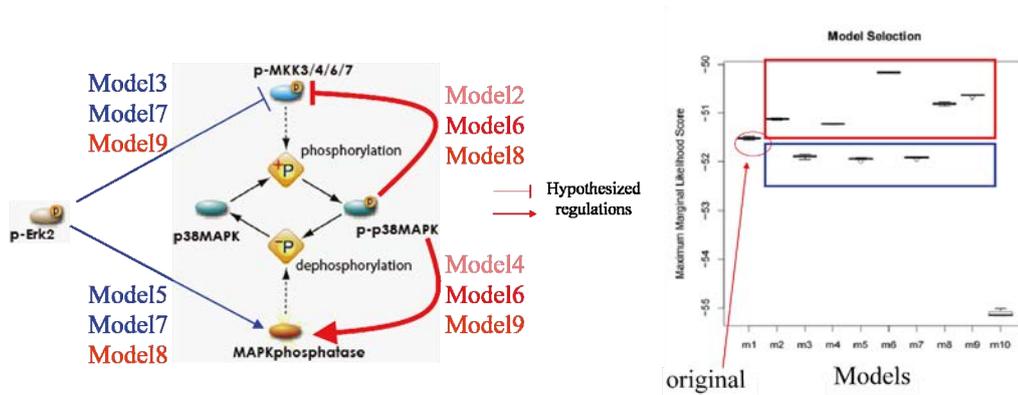


図 5.5: ベイズ周辺尤度にもとづくモデル選択。p38MAPK 近傍に追加した 10 種類の制御関係と(左図)、これら仮説モデルの周辺尤度(右図)。

■PF の大規模化による推定能力の改善

逐次データ同化では、不完全性に結びつくあらゆるシナリオをモンテカルロサンプル(粒子)で表現した上で、大量のシミュレーションを同時に走らせる。その過程において、各シミュレーションと観測データとの整合性を適切に評価しながら、現実を良く説明できるシナリオを選択的に選び出す。あるいは、合わないものを淘汰する。これを計算機上で組織的に実現するための統計計算が逐次データ同化である。データ同化では、モデルの不完全性に結びつく「あらゆるシナリオ」を粒子で表現すると先述したが、それを実現するためには数億、数兆、あるいはそれ以上の粒子を計算機上で生成する必要がある。

とりわけ、生命科学が対象とする系では、不確定要因が支配する部分がかなり大きく、必要粒子数の増加は顕著である。前述した概日周期モデルの実験においても、その問題点が明瞭になった。よって、現在の計算機性能では数億粒子の生成は大きな壁であるが、限界を探る上でも計算機のリソースを最大限に活用し、“試しに”一億個の粒子数を用いて再度パラメータを推定してみた。その結果、前述した既発表の十万個数のPFによる推定結果と比較して、格段に推定性能が向上していることが確認できた(図 5.6)。2008年9月の時点で一億粒子の実装に成功し、その成果を生物情報学の国際会議 PSB2009(Pacific Symposium on Biocomputing)において研究速報として論文を発表した。一億粒子の逐次モンテカルロ法の実装は、当時世界初の試みであり、他の研究競争相手には現時点でも未踏の領域である。実際、転写制御ネットワークのインシリコモデルに一億粒子の逐次モンテカルロを適用し、その威力を実証した。

一億個のPFを並列計算機に実装するにはそれなりの工夫が必要であるが、この性能向上は予想を大きく上回るものであった。これまで退化の問題に対して数多くの緩和策が提案されてきたが、このスケールのパラメータ推定問題においてこれほどの性能を示す手法は存在しない。現在、PFは工学を中心に幅広い応用領域で用いられているが、大抵の場合、利用する粒子数は高々数万オーダー程度であったが、「一億個に増やす」というある意味安易なアイデアによってアルゴリズムのポテンシャルが飛躍的に高まったと言える。現在は、数十億粒子の実装に向けて、GPGPUやPCクラスターなど異なるアーキテクチャー間での性能比較、新規並列計算アルゴリズムの開発を継続中である。この点については、4.7.1(GPGPUを用いたデータ同化計算プロジェクト)で改めて報告する。

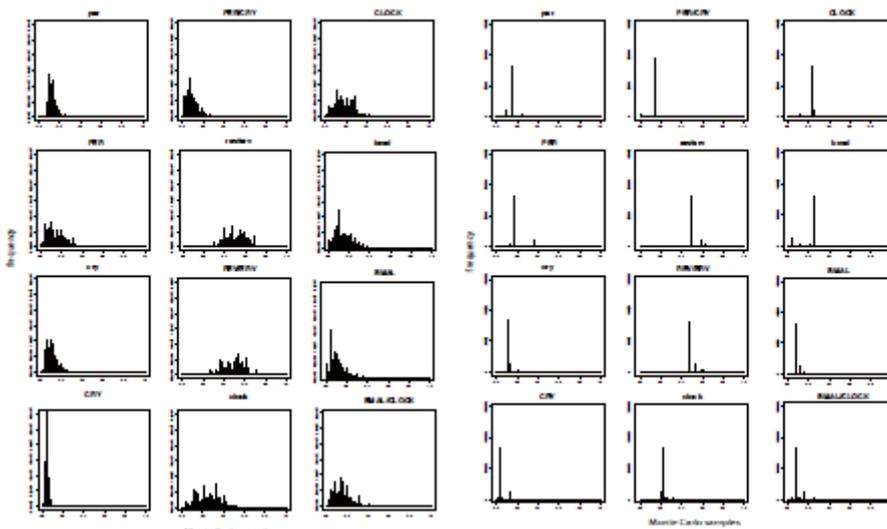


図 5.6: PF を利用した事後分布からのサンプリング。左図および右図は、12 種類の分解定数に対するモンテカルロサンプルのヒストグラムを表わす(粒子数はそれぞれ、一億(左)および十万(右))。

(2)研究成果の今後期待される効果

システムズバイオロジーの分野では、一見して、イン・シリコ研究と *in vivo* や *in vitro* 研究が独立に進行しているかのような印象を受ける。しかしながら、実際のイン・シリコ研究では、明示的なデータ科学技術を援用してはいないものの、「モデリング」、「パラメータチューニング」、「エキスパートナレッジにもとづくモデルの性能検証」といった原始的な統計科学の要素技術を既に取り込んでいるのが現状である。この背景には、データ環境に即した高度な統計的データ解析技術の不在が関わっている。我々は現在、肺癌のシステムズバイオロジー研究への応用を視野に入れ、ベースモデルの開発を行っている。他の反応系と比べて、癌のネットワークダイナミクスには圧倒的に多くの分子相互作用経路が関与することが知られており、モデルの大規模化は不可避である。現在の利用可能な計算機性能を最大限に活かしたデータ同化システムを構築し、システムズバイオロジーの実問題に挑戦する。我々はこのような応用研究において明確なサクセスストーリーを示すことで、イン・シリコと *in vivo*、*in vitro* 研究の融合を実現していきたいと考えている。

4.6 “ものづくり”データ同化プロジェクト(主担当:石垣司)

(1)研究実施内容及び成果

製造業では製品性能の向上やその均一化のため作業工程の効率化が図られている。しかしながら製品の設計に関しては熟練工の経験と勘に頼っているのが現状である。そこではものづくりにおける技術継承や事業規模の拡大への対応が問題となっている。そこで、それらの問題の一助とするために、今まで熟練工の経験と勘で設計されていた機器内部のパラメータの推定にデータ同化の手法を応用した。本プロジェクトでは、高圧ガス用の圧力調整器を具体例として取り上げ、データ同化の手法を圧力調整器の設計におけるツールとして用いた。

高圧ガス圧力調整器は高圧ガスタンク内の高圧な液化ガスを家庭内や商業施設内または工業用の目的に合った低圧まで減圧調整するための機器であり、**図 6.1** に示す構造をもっている。Decompression chamber 内の圧力の変動に依存してゴム製の Diaphragm が上下に振動を起こすことで Link structure を介しガスの流量を調整する。そのため圧力調整器では Spring と Diaphragm から構成される振動系のパラメータ調整は重要な役割を果たすが、その設計は従来通りの経験と勘で行われている。そこで本研究ではその振動系のパラメータの中で、実際に観測することが出来ないパラメータであるダンピング係数をデータ同化の手法を応用することで推定し、今後の圧力調整器の設計の指針とすることを目的とする。

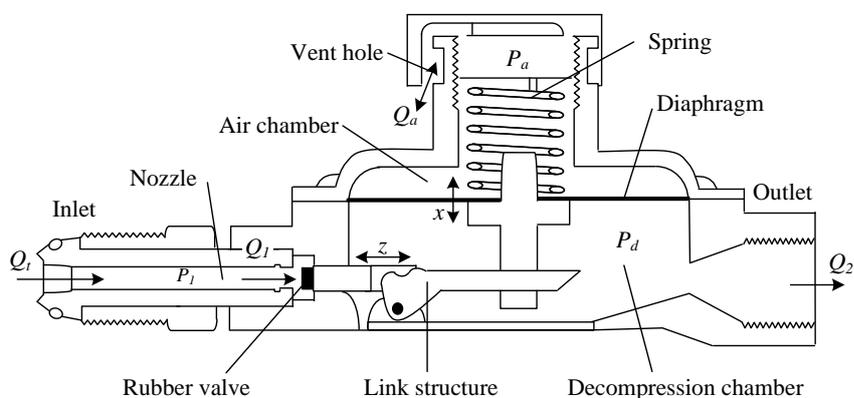


図 6.1: 圧力調整器

ここでは、圧力調整器の物理モデルと圧力調整器の故障診断のため測定された空気振

動データをデータ同化の手法により統合することで、ダンピング係数の推定を行った。機器内部の物理プロセスを表現するために、理想気体の状態方程式、オリフィス系のベルヌーイの定理、ノズルフラップ形の流体方程式などを用いて圧力調整器の全体物理モデルを作成した。これらのモデルは強い非線形性を示す。また観測データとして、圧力調整器の故障診断のために新たに開発された Diaphragm の振動を介し発生する Vent hole の空気流を測定する可搬型振動計測器により計測された空気振動データを用いた。そのデータは間接的に Diaphragm の振動をとらえているため強いノイズを含み、観測データのみからの正確なダンピング係数の推定は難しい。その観測データと物理モデルを利用した Diaphragm の振動シミュレーションを図 6.2 に示す。この物理モデルから非線形状態空間モデルを構成し PF により状態推定を行うことでダンピング係数の推定を行った。

ダンピング係数の推定結果を図 6.3 に示す。ここではダンピング係数に異なる初期値を与え、パラメータ推定のためのデータ同化による状態推定を行った。その結果、同化のステップを繰り返すことで、ある一定の値に推定結果が近づいていくことが確認できた。

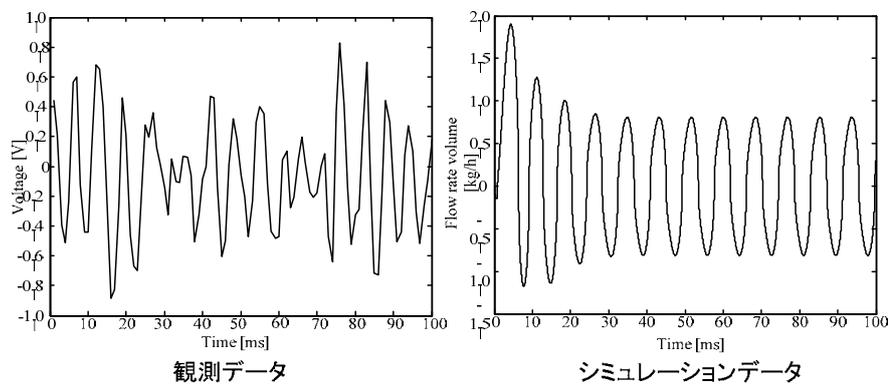


図 6.2 : 観測データと物理モデルによるシミュレーションデータ

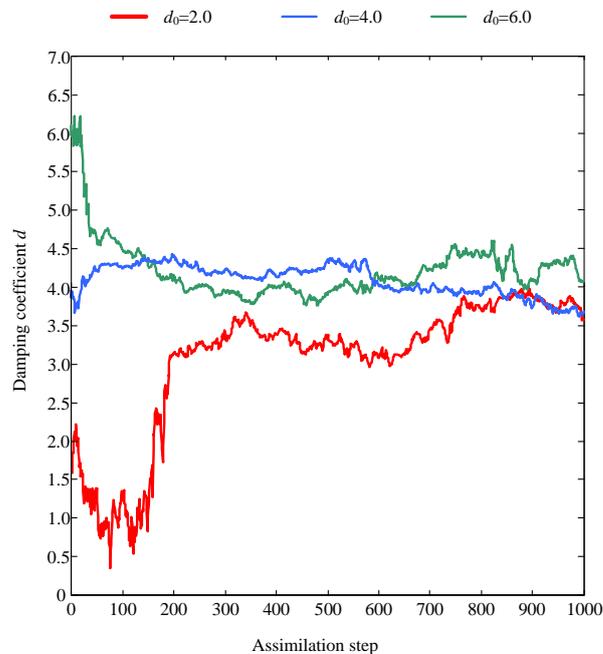


図 6.3 : データ同化によるパラメータ推定結果

(2)研究成果の今後期待される効果

ここで得られた結果を圧力調整器の設計へフィードバックすることで設計現場にとって有益な知見となることが期待できる。また、本手法は他の振動機器へも広く応用することが可能である。

4.7 さらなる展開

4.7.1 手法編：GPGPUを用いたデータ同化計算プロジェクト（担当：斎藤正也、林圭佐）

(1)研究実施内容及び成果

PF は非線形モデルを適切に扱うことができ、アルゴリズムの並列性が高いため、並列計算機のパワーをもとに現代の困難な課題に対応可能な手法の一つであると考えられる。一方計算機環境に目を向けると、コンピューティングの分野ではプロセッサのマルチコア化が近年進んでおり、GPGPU (General Purpose computation on Graphical Processing Unit)、マルチコア等の 100 を超えるスケールの並列プログラミング環境も実現されつつある。デスクトップパソコンでも並列計算による大きな計算能力を享受できるようになってきた。特に GPGPU はそのスーパーコンピュータに匹敵する演算性能から、数値計算に従事する多くの研究者・技術者の注目を集めている。元来、GPU は、その名が表す通り、画像処理に特化した限られた演算能力を与えられた演算ユニットにすぎなかったが、画像処理に要求される能力がゲームなどの要請により高度するに及び、しだいに汎用計算能力を高めていった。それとともに画像処理から離れて、それぞれの問題を GPU を用いて解決しようとする研究者・技術者が現れた。これを受けて、現在では CUDA のような汎用プログラミング言語やはじめから汎用計算に焦点を絞った Tesla シリーズのような製品も出現している。

4.5 で前述した、PF による概日周期モデルのデータ同化研究の主結果は、パラメータの推定を健全に行うには、少なくとも 1 億個の粒子が必要であり、PC (CPU) を用いた場合 1 回の推定に 8 日間を要するというものであった。そこで、本プロジェクトではその計算の一部を GPU に移譲することにより、計算時間の短縮をめざした。

PF によるゲノムデータ同化は、**図 7.1** に示されるように、多数のパスウェイに対する数値積分と、観測データと比較してのパスウェイの選択とからなる。基本戦略は、数値積分の部分を GPU に移譲することである。パスウェイ推定においては、データ測定間隔が数値積分の一ステップと比較して非常に長いため、この戦略は正当化される。微分方程式に多くの条件分岐が現れるが、GPU は CPU のような高度な条件分岐処理機構を備えていないため、速度低下の原因となる。従って、条件分岐のコンパイル時展開などを行った。

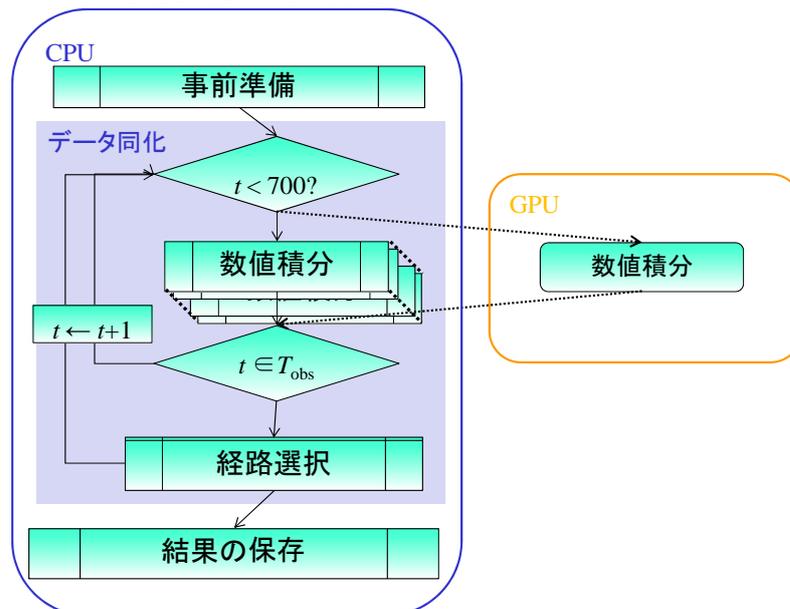


図 7.1： GPU への処理の移譲

130万粒子を用いた計算で、データ同化の部分のみの計算で15倍、事前・事後処理を含めた全体で10倍の速度向上が達成された。さらにGPGPUの持つポテンシャルを十分に引き出すためにアルゴリズムの見直しを行った。パラメータ推定問題では、所与のパスウェイ毎に観測データの尤度計算がなされる。従って、GPGPUの特性を生かした、尤度を高速に計算するアルゴリズムの開発が肝である。そのためには、マルチプロセッサのメモリー間通信が発生する、PFのリサンプリングの手続きの省略が一番手っ取り早い。それを実現するアルゴリズムを我々は開発し、無限PFと名付けた。無限PFはSequential Importance Sampling簡易版のPFを拡張したもので、粒子数を増大させながら尤度を収束計算させるアイデアに基づいている。

アルゴリズムの有効性を確認するため、時系列データに対する1階のトレンドモデルに対する尤度計算実験を行った。その結果を図7.2に示す。横軸にPFの粒子数の自然対数、縦軸に対数尤度を取ったものである。尤度は粒子数 N の増加に伴い一定の値に近づき、カルマンフィルタによる計算結果と一致した。また、GPGPUシステム上にバイオロジカルパスウェイを実装した場合、GPGPUに特化したアルゴリズムとプログラムの最適化により、CPU 1coreと比較した場合、67倍速の高速化が得られた。表7.1に計算時間をまとめた。

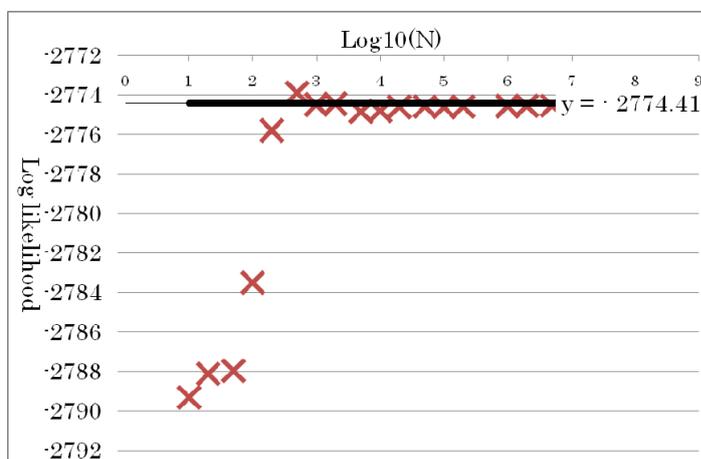


図 7.2： 無限 PF による尤度計算が真値に収束していく様子。

表 7.1 計算時間の比較

	PF CPU 1core	PF CPU + GPGPU	無限 PF CPU + GPGPU
1 億粒子の計算時間	8 日間	12 時間	3 時間

(2) 研究成果の今後期待される効果

今回の実験で、PFのGPGPUを用いた高速化は現実的であることが確認された。遺伝子発現の依存関係に対応する遺伝子ネットワークの推定、生化学反応ネットワークの数理モデルの構築は、所与のモデルとパラメータに対する尤度関数の評価に帰着できるため、本研究の成果をそのまま適用可能である。PFを、高並列コンピューティングに適した形で適切に実装することで、次元の呪いにより従来は困難とされているような問題を超並列計算機システムでできるようにし、究極的には卓上で計算できることを夢見ている。

4.7.2 応用編：環境経済データ同化計算プロジェクト（主担当：井元智子）

(1) 研究実施内容及び成果

企業などの生産者が環境に配慮した行動を取ることは、直接的な利益に結びつきにくいため一般的には消極的である。どのような要素があれば生産者が環境に配慮した行動を取るのかを明らかにすることは、今日の課題の一つである。しかしながら、そのための政策実施に伴うマイクロ経済分析は十分に研究されているとは言えず、特に時間依存性を考慮した研究はほとんどなされていない。そこでデータ同化技術のさらなる他方面への普及も目的として、農業経済・環境経済分野へのデータ同化の適用への第一歩となる研究を開始した。現時点では、データ同化にプラグインするマイクロな動きを表現するエージェントシミュレーションモデルの開発に注力している。

環境対策において、ある補助金政策を実施した場合に、その対象者にどのような経済的影響が出るのか、また政策実施の結果、補助金対象者や対象から外れた人々はどのような行動を取るのかを、時間発展するエージェントシミュレーションによって明らかにした。具体的問題として、沖縄県石垣市におけるサトウキビ生産農家の環境対策への取り組みを取り上げた。様々な設定のシミュレーションを実施した結果、以下の3つの結果を得た：①政策実施により、対象者である農家において、どのような規模の農家が経営に影響を受けるのかが明らかになった。②対象者である農家だけでなく、補助金を支出する行政、補助金政策の結果としての環境状態（緑肥実施率）の3つの主体がどのように推移していくのか予測することができた。③補助を受けることのできない小さな農家が合併し補助を受けることのできる規模を目指す行動を取る傾向を捉え（図 7.3）、その行動が地域社会全体に対して収入の増加、緑肥設置率の増加に対してどの程度の影響を与えるのかを推計し（図 7.4）、政策ありの場合となしの場合で比較することを可能とした。

これらの結果を踏まえると、環境対策として補助金政策を実施しているにも関わらず、本業である農業自体の生産力・競争力を高める方向（合併し面積を拡大することにより大規模経営を目指す）へと農家が行動するということが期待できる。これは、環境対策と経済活動が相互に好ましい影響を与えていることとなり、環境対策を推進していくために大きなポイントとなる部分である。

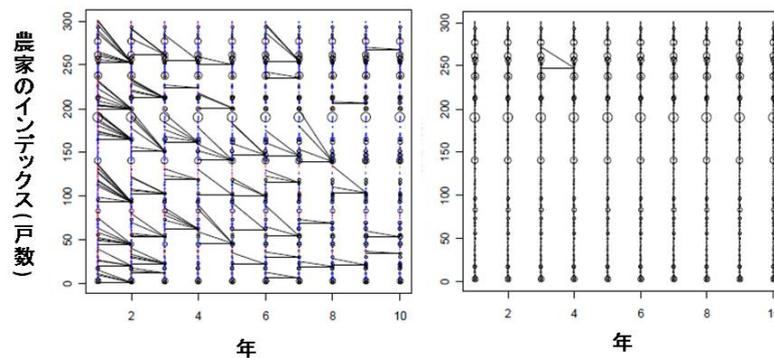


図 7.3：確率的シミュレーションに基づく10年間の農家の行動予測。合併すると次の年に一つの農家（図では点）になる。左が政策ありの場合、右は政策無しの場合の結果。

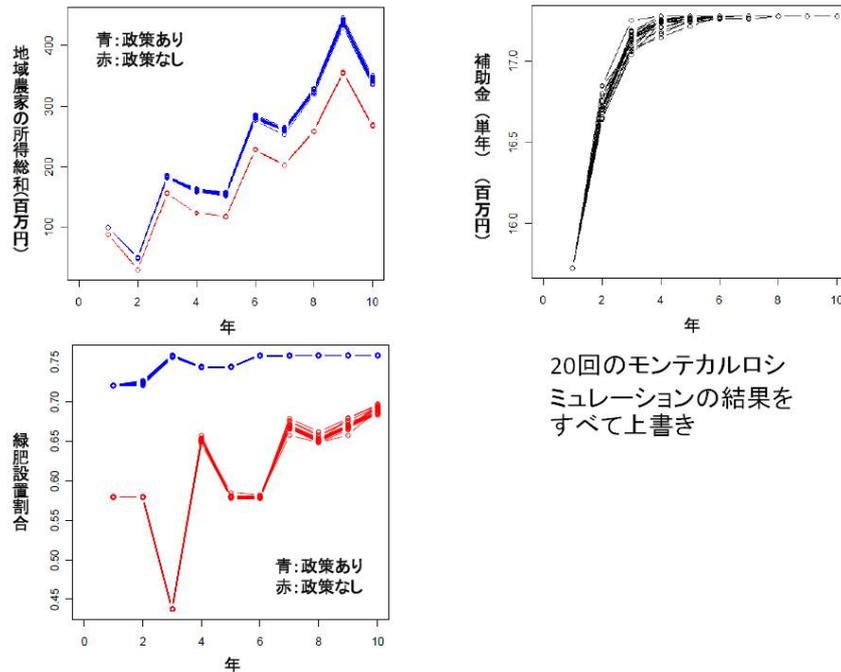


図 7.4：農家の行動の結果が地域社会全体に対して与える影響のモンテカルロシミュレーションの結果。収入の増加（左上パネル）、緑肥設置率の増加（左下パネル）、補助金の額（右上パネル）。

(2) 研究成果の今後期待される効果

実現可能なさまざまな政策とその実施による影響を網羅的に試算（シナリオ計算）することにより、取得されたデータに基づく実証分析と将来の施策提案に向けた、データ同化技術を基盤とするパッケージ技術の確立が可能である。さらに、発展的には、大規模データを用いた複合的モデルの構築とそれに基づくシミュレーションの実施が今後の課題である。これにより、地球環境と経済活動の融合モデルシミュレーションの開発が期待されている。

§5 成果発表等

(1) 原著論文発表（国内(和文)誌 4 件、国際（欧文）誌 30 件）

【論文(査読あり)】

1. J. Fukuda, T. Higuchi, S. Miyazaki, T. Kato, A new approach to time-dependent inversion of geodetic data using Monte Carlo mixture Kalman filter, *Geophysical Journal International*, 159, 17-39, #DOI 10.1111/j.1365-246X.2004.02383.x, 2004.
2. S. Ohtani, G. Ueno, T. Higuchi, H. Kawano, Annual and Semiannual Variations of the Location and Intensity of Large-Scale Field-Aligned Currents, *Journal of Geophysical Research*, 110, A01216, #DOI 10.1029/2005.JA010634, 2005.
3. S. Ohtani, G. Ueno, T. Higuchi, Comparison of large-scale field-aligned currents under sunlit and dark ionospheric conditions, *Journal of Geophysical Research*, 110, A09230, #DOI 10.1029/2005JA011057, 2005
4. 中村和幸、上野玄太、樋口知之、データ同化:その概念と計算アルゴリズム、*統計数理*、Vol. 53、No.2、211-229、2005.
5. R. Yamaguchi and T. Higuchi, State-space approach with the maximum likelihood

- principle to identify the system generating time course gene expression data of yeast, *International Journal of Data Mining and Bioinformatics*, Vol. 1, No.1, 77 – 87, 2006.
6. K. Nakamura, T. Higuchi, and N. Hirose, Sequential Data Assimilation : Information fusion of a numerical simulation and large scale observation data, *Journal of Universal Computer Science*, Vol. 12, 608–626, 2006. (Invited Paper)
 7. R. Yamaguchi, R. Yoshida, S. Imoto, T. Higuchi, and S. Miyano, Finding module-based gene networks in time-course gene expression data with state space models, *IEEE Signal Processing Magazine, Special Issue on Signal Processing Methods in Genomics and Proteomics*, no.1, 37–46, 2007.
 8. G. Ueno, T. Higuchi, T. Kagimoto, N. Hirose, Application of the ensemble Kalman filter and smoother to a coupled atmosphere-ocean model, *Scientific Online Letters on the Atmosphere* , Vol. 3, 5–8, 2007.
 9. S. Nakano, G. Ueno, T. Higuchi, Merging particle filter for sequential data assimilation, *Nonlinear Processes in Geophysics* , Vol. 14, 395–408, 2007.
 10. K. Nakamura, T. Tsuchiya, A Recursive recomputation approach for smoothing in nonlinear state-space modeling: An attempt for reducing space complexity, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.55, No.11, 5167–5178, doi: 10.1109/TSP.2007.899585, 2007
 11. J. Fukuda, S. Miyazaki, T. Higuchi, and T. Kato, Geodetic inversion for space-time distribution of fault slip with time-varying smoothing regularization, *Geophysical Journal International*, No. 173, 25–48, 2008.
 12. O. Hirose, R. Yoshida, S. Imoto, R. Yamaguchi, T. Higuchi, and S. Miyano, Statistical inference of transcriptional module-based gene networks from time course gene expression profiles by using state space models, *Bioinformatics*, Vol.24, No.7, 932–942, doi:10.1093/bioinformatics/btm639, 2008.
 13. S. Nakano, G. Ueno, Y. Ebihara, M.-C. Fok, S. Ohtani, P.C. Brant, D.G. Mitchell, K. Keika, and T. Higuchi, A method for estimating the ring current structure and the electric potential distribution using ENA data assimilation, *Journal of Geophysical Research*, Vol.113, A05208, doi:10.1029/2006JA011853, 2008
 14. R. Yoshida, M. Nagasaki, R. Yamaguchi, S. Imoto, S. Miyano, and T. Higuchi, Bayesian learning of biological pathways on genomic data assimilation, *Bioinformatics* Vol.24, No.22, 2592–2601, 2008.
 15. Y. Futaana, S. Nakano, M. Wieser, and S. Barabash, ENA Occultation: New remote sensing technique to study the lunar exosphere, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, A11204, doi:10.1029/2008JA013356, 2008.
 16. 中野慎也、上野玄太、中村和幸、樋口知之、Merging particle filter とその特性、*統計数理* Vol.56、No.2、225–234、2008.
 17. 佐藤忠彦、樋口知之、動的個人モデルによる消費者来店行動の解析(討論付)、*日本統計学会誌*、Vol.38、No.1、1–38、2008.
 18. K. Nakamura, N. Hirose, B.H. Choi and T. Higuchi, Particle filtering in data assimilation and its application to boundary condition of tsunami simulation model, *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications*, doi: 10.1007/978-3-540-71056-1, 353–366, Springer, 2009.
 19. D. Inazu, T. Sato, S. Miura, Y. Ohta, K. Nakamura, H. Fujimoto, C. F. Larsen, and T. Higuchi, Accurate ocean tide modeling in southeast Alaska and large tidal dissipation around Glacier Bay, *Journal of Oceanography*, Vol.65, No.3, 335–347, doi: 10.1007/s10872-009-0031-y, 2009
 20. S. Nakano, G. Ueno, S. Ohtani, and T. Higuchi, Impact of the solar wind dynamic pressure on the Region 2 field-aligned currents, *Journal of Geophysical Research*,

Vol.114, A02221, doi:10.1029/2008JA013674, 2009.

21. 吉田亮, 樋口知之, 細胞内生化学反応経路のグラフィカルモデリングと統計的推測手法の新展開, 日本統計学会誌, Vol.38, No.2, 213-236, 2009.
22. Ueno, G. and T. Tsuchiya, Covariance regularization in inverse space, The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 135, 1133-1156, 2009.
23. S. Nakano and T. Higuchi, Estimation of a long-term variation of a magnetic-storm index using the merging particle filter, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E92-D, pp. 1382-1387, 2009.

【Proceedings(査読あり)】

24. R. Yamaguchi, S. Yamashita, T. Higuchi, Estimating gene networks with cDNA microarray Data Using State-space models, Proceedings of 2005 International Workshop on Data Mining and Bioinformatics, Lecture Notes in Computer Science, Springer, 3482, 381-388, 2005.
25. R. Yoshida, S. Imoto, T. Higuchi, Estimating Time-Dependent Gene Networks from Time Series Microarray Data by Dynamic Linear Models with Markov Switching, Proceedings of Computational Systems Bioinformatics Conference(CSB2005), 289-298, 2005.
26. K. Nakamura, T. Higuchi, and N. Hirose, Application of particle filter to identification of Tsunami simulation model, SCIS&ISIS 2006, 1890-1895, 2006.
27. G. Ueno, T. Higuchi, T. Kagimoto, and N. Hirose, Prediction of ocean state by data assimilation with the ensemble Kalman filter SCIS&ISIS 2006, 1884-1889, 2006.
28. G. Ueno, T. Higuchi, T. Kagimoto, N. Hirose, Application of the ensemble Kalman filter to atmosphere-ocean coupled model, Proceedings of Nonlinear Statistical Signal Processing Workshop 2006, 2006.
29. M. Nagasaki, R. Yamaguchi, R. Yoshida, S. Imoto, A. Doi, Y. Tamada, H. Matsuno, S. Miyano, T. Higuchi, Genomic data assimilation for estimating hybrid functional Petri net from time-course gene expression data, Genome Informatics (IBSB2006), 17, 1, 46-61, 2006.
30. S. Tasaki, M. Nagasaki, M. Oyama, H. Hata, K. Ueno, R. Yoshida, T. Higuchi, S. Sugano, S. Miyano, Modeling and estimation of dynamic EGFR pathway by data assimilation approach using time series proteomic data, Proceedings of Genome Informatics 2006, Genome Informatics (17(2)), 226-238, 2006.
31. T. Ishigaki, and T. Higuchi, Parameter identification of a pressure regulator with a nonlinear structure using a particle filter based on the nonlinear state space model, The Proceedings of 11th International Conference on Information Fusion, 886-891, 2008
32. O. Hirose, R. Yoshida, R. Yamaguchi, S. Imoto, T. Higuchi, S. Miyano, Analyzing time course gene expression data with biological and technical replicates to estimate gene networks by state space models, /Proc. 2nd Asia International Conference on Modeling & Simulation/, 940-946.(AMS2008: Refereed conference), 2008
33. R. Yamaguchi, S. Imoto, M. Yamauchi, M. Nagasaki, R. Yoshida, T. Shimamura, Y. Hatanaka, K. Ueno, T. Higuchi, N. Gotoh, S. Miyano, Predicting differences in gene regulatory systems by state space models, Genome Informatics, 21:101-113, 2008
34. K. Nakamura, R. Yoshida, M. Nagasaki, S. Miyano, and T. Higuchi, Parameter Estimation of In Silico Biological Pathways with Particle Filtering Towards a Petascale Computing, The Proceedings of The fourteenth Pacific Symposium on Biocomputing, 227-238, 2009

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 樋口知之、組織的な発見への期待と予感:統計科学と発見科学、ゆらぎの科学と技術(山本光璋・鷹野致和編)、東北大学出版会、pp.45-52、2004.
2. 樋口知之、公開講演会要旨「データに潜む知を引き出すモデルと予測」、統計数理、52、No.1、189-195、2004
3. 樋口知之、全体モデルから局所モデルへ/状態空間モデルとシミュレーション、数学セミナーII、Vol. 46、No. 11、30-36、2007.
4. 樋口知之、統計数理は隠された未来をあらわにする:ベイジアンモデリングによる実世界イノベーション(監修・執筆)、東京電気大学出版局、2007
5. 樋口知之他(翻訳・監訳)、パターン認識と機械学習 上、下 - ベイズ理論による統計的予測、シュプリンガー・ジャパン、2007、2008.
6. 上野玄太、データ同化(Data assimilation)、日本知能情報ファジィ学会誌、vol.20、no. 5、2008年10月、p. 107

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 29 件、国際会議 12 件)

1. T. Higuchi*(ISM/CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Combining multiple simulation models and Ground-Based Measurement systems via data assimilation, 2004 Western Pacific Geophysics Meeting, Hawaii, USA, H16年8月16-20日
2. 上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、組織的カンニング手法としてのデータ同化、2004年度名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会 STE シミュレーション研究会、千葉市、H16年10月29日
3. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、ベイズモデルに基づくデータフュージョン、予測そして発見、大阪大学産業科学研究所知能システム科学研究部門セミナー、茨木市、H17年2月14日
4. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、ベイズモデルによる異種情報の統合:ゲノムから地球環境まで、第4回金沢大学データベースフォーラム、金沢市、H17年9月2日
5. T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Nonlinear non-Gaussian data assimilation methods and their applications, International Workshop on Modelling and Data Analysis in Environmentrics, Geostatistics and Related Areas, Fukuoka, H17年11月17日-18日
6. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Nonlinear Filtering: Ensemble-Based Approaches, 2005 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, H17年12月5日-9日
7. T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Data assimilation: time-dependent information fusion from numerical simulation and large-scale observation, The 5th IASC Asian Conference on Statistical Computing, Hong Kong, China, H17年12月15日-17日
8. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、逐次データ同化手法とその応用、応用統計ワークショップ(第14回)、港区、H18年1月20日
9. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、粒子フィルタによる時系列マイニング、人工知能学会知識ベースシステム研究会、吹田市、H18年3月9日
10. T. Higuchi*(ISM/CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), S. Nakano(CREST, JST), K. Nakamura(The Graduate Univ. for Advanced Studies), Applications to the atmosphere-ocean coupled system, the magnetosphere, and the tsunami, The National Center for Atmospheric Research (NCAR), Computational and Information Systems Laboratory (CISL), Institute for Mathematics Applied to

- Geosciences (IMAGe) Seminar, Boulder, USA, H18 年 6 月 22 日
11. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、シミュレーションとデータをつなぐデータ同化技術, 社団法人日本品質管理学会第 111 回シンポジウム、渋谷区、H18 年 9 月 4 日
 12. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、データ同化技術:シミュレーションと巨大データセットの情報統合、 第一回横幹連合総合シンポジウム、港区、H18 年 12 月 1 日-2 日
 13. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、シミュレーション科学と統計科学の融合:エルニーニョ、津波の場合、赤池元所長京都賞受賞記念 シンポジウム「ベイズモデルがもたらす実世界イノベーション」、千代田区、H18 年 12 月 4 日
 14. G. Ueno(ISM/CREST, JST), Data assimilation research project at the Institute of Statistical Mathematics and an application of the ensemble Kalman filter to an atmosphere-ocean coupled model, Institute of Geophysics and Planetary Physics seminar at UCLA , Los Angeles, USA, H18 年 2 月 27 日
 15. S. Nakano(CREST, JST), Data assimilation of global ENA data for modeling the storm-time ring current, Space Science Seminar at UCLA, Los Angeles, USA, H18 年 3 月 2 日
 16. 上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、並列計算と大規模時系列解析、 統計学会春季大会、港区、H18 年 3 月 10 日
 17. 上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、Data assimilation research project at ISM and an application of the ensemble Kalman filter to an atmosphere-ocean coupled model, 岡山大学大学院環境学研究科セミナー、岡山市、平成 19 年 3 月 26 日
 18. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、中村和幸* (CREST, JST)、データ同化:複雑システム理解の新しい道具、日本行動計量学会第 35 回大会、京田辺市、H19 年 9 月 2 日-5 日
 19. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、大規模データ解析の現状と問題点、2007 年度統計関連学会連合大会、神戸市、H19 年 9 月 6 日-9 日
 20. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、 データ同化:シミュレーション科学とデータ科学の交差点、第 306 回物性談話会、名古屋市、10 月 23 日
 21. 中村和幸(CREST, JST)、 データ同化手法による津波シミュレーションモデルへの適用について、大阪大学大学院データ科学特別セミナー、豊中市、H19 年 10 月 24 日
 22. 吉田亮(ISM/CREST, JST)、 Bayesian data assimilation of in silico regulatory networks of biochemical molecules by using Hybrid Functional Petri Net, 大阪大学大学院データ科学特別セミナー、豊中市、H19 年 10 月 24 日
 23. S. Nakano(CREST, JST), ENA data assimilation for modeling the ring current in the Earth's magnetosphere, Swedish Institute of Space Physics Seminars, Kiruna, Sweden, H20 年 2 月 7 日
 24. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、 データ同化の基礎概念と基盤的計算技術、平成 19 年度宇宙科学情報解析センターシンポジウム、相模原市、2 月 15 日
 25. S. Nakano*(CREST, JST) ,G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y Ebihara(国立極地研究所), M Fok(NASA Goddard Space Flight Center), S Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(JHU/APL), D. G. Mitchell (JHU/APL), Keika K. (Austrian Academy of Sciences), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), ENA data assimilation for ring current modeling, 第 3 回ジオスペース環境科学研究会、福岡市、H20 年 3 月 5 日-6 日
 26. 吉田亮 (統計数理研究所/CREST, JST)、 樋口知之 (統計数理研究所/CREST,

- JST)、インシリコシミュレーションにもとづく生体内分子ネットワークの統計的推測、日本統計学会春季大会 2008、世田谷区、平成 20 年 3 月 6 日
27. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、統計的モデリングによるシミュレーションとデータ解析の統合、産業技術数理コンソーシアム第 0 回フォーラム『マス・フォア・インダストリ』、福岡市、H20 年 3 月 27 日
 28. T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Data assimilation: Time-dependent information fusion from numerical simulation and large-scale observation, 北陸先端科学技術大学院大学先端融合領域研究院第 12 回多次元セミナー、能美市、H20 年 5 月 12 日
 29. 上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、データ同化システムの構築と検証、SICE 制御技術部会第 1 回研究会「大規模シミュレータによる非線形システムの状態推定—気象予測からプロセス制御まで—」、川崎市、H20 年 6 月 17 日
 30. R. Yoshida(ISM/CREST, JST), Mixed factors analysis: unsupervised statistical discrimination with kernel feature extraction, International Conference on Multivariate Statistical Modeling & High Dimensional Data Mining (HDM2008), Kayseri, Turkey, 平成 20 年 6 月 19 日-6 月 23 日
 31. 上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、アンサンブルカルマンフィルタによる大気海洋結合データ同化、九州工業大学パーティクルフィルタ研究会、北九州市、H20 年 6 月 23 日
 32. 吉田亮 (ISM/CREST, JST)、Bayesian learning of biological pathways on genomic data assimilation、統計数学セミナー、目黒区、H20 年 7 月 10 日
 33. R. Yamaguchi (Tokyo Univ.), R. Yoshida (ISM/CREST, JST), M. Nagasaki (Tokyo Univ.), S. Imoto (Tokyo Univ.), T. Shimamura (Tokyo Univ.), M. Yamauchi (Tokyo Univ.), T. Higuchi (ISM/CREST, JST), N. Gotoh (Tokyo Univ.), S. Miyano (Tokyo Univ.), Exploring biological processes with pathway simulations by data assimilation approach, The 9th International Conference on Systems Biology (ICSB2008), Gothenburg, Sweden, H20 年 8 月 22 日-8 月 28 日
 34. T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Data assimilation: Building the cyber-enabled discovery systems in data-centric science, International Symposium: Fifty Years after IGY, つくば市, H20 年 11 月 10 日-13 日
 35. 山口 類(東京大学)、生体内プロセスの予測へ向けたパスウェイシミュレーションのデータ同化、第 291 回 CBI 学会研究講演会、千代田区、H20 年 11 月 19 日
 36. T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Data assimilation: A key technology for building the cyber-enabled discovery systems in simulation and data-centric sciences, IASC (International Association for Statistical Computing) 2008, 横浜市, H20 年 12 月 5 日-8 日
 37. T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Data Assimilation: basic aspects, applications, current status of the related activities, The Road to ab initio Design of Materials and Bio-Artifacts, 港区, 平成 21 年 2 月 12 日
 38. T. Higuchi(統計数理研究所/CREST, JST)、逐次データ同化:シミュレーションと観測データのリアルタイム統融合をめざして、第 2 回 EFD/CFD 融合ワークショップ、三鷹市、平成 21 年 2 月 24 日
 39. T. Higuchi(統計数理研究所/CREST, JST)、データ同化で挑む環境変動の量的理解と観測システムデザイン、ISM シンポジウム 生態系のリスク管理と適応にむけた統計分析とその現状、港区、平成 21 年 3 月 9 日
 40. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、データ同化:データとシミュレーションの統融合、港区、第 23 回システムバイオロジー研究会、平成 21 年 6 月 26 日
 41. T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Hierarchical particle filter embedded in the

heterogenous parallel computing platform for data assimilation, Joint Computational Science Workshop 2009, 横浜市、平成 21 年 7 月 9 日-10 日

② 口頭発表 (国内会議 73 件、国際会議 28 件)

1. T. Sato(The Distribution Economics Institute of Japan), T. Higuchi*(ISM/CREST, JST), Statistical inference of stochastic switching model with time-varying price effects using Monte Carlo mixture Kalman filter, Marketing Science Conference 2004, Rotterdam, Netherlands, H16 年 6 月 23 日-26 日
2. R. Yamaguchi* (Kyushu Univ.), E. Tsuchiya (JR/jeki), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), State space modeling approach for decomposition of daily sales of a restaurant into multi factors, Marketing Science Conference 2004 , Rotterdam , Netherlands, H16 年 6 月 23 日-26 日
3. 寺石周平(京都大学)、齊藤昭則(京都大学)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、GPS 地上及び衛星観測データを用いた電離圏電子密度トモグラフィ・アルゴリズムの開発、第 116 回地球電磁気・地球惑星圏学会、松山市、H16 年 9 月
4. T. Sato*(The Distribution Economics Institute of Japan), T. Higuchi(ISM/CREST, JST) , Stochastic switching model with time-varying price effects, Recent Development of Statistical Modeling in Marketing, 港区、H16 年 12 月 1 日-2 日
5. 寺石周平(京都大学)、齊藤昭則(京都大学)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、山本衛(京都大学)、GPS 観測データを用いた電離圏電子密度トモグラフィ・アルゴリズムの開発(2)、地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会、千葉市、H17 年 5 月
6. K. Nakamura* (The Graduate University for Advanced Studies), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Performance comparison between particle and ensemble Kalman filters in data assimilation with nonlinear observation system, AOGS 2nd Annual Meeting 2005, Singapore, H17 年 6 月 20 日-24 日
7. K. Nakamura* (The Graduate University for Advanced Studies), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Accuracy comparison of state estimation and parameter identification by particle and ensemble Kalman filters for nonlinear observation System, 2005 Joint Statistical Meetings, Minneapolis, USA, H17 年 8 月 7 日-11 日
8. 寺石周平*(京都大学)、齊藤昭則(京都大学)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、山本衛(京都大学)、GPS 観測データを用いた電離圏電子密度トモグラフィ・アルゴリズムの開発(3) 118 回地球電磁気・地球惑星圏学会、京都市、H17 年 9 月
9. 西野真木*(宇宙航空研究開発機構)、藤本正樹(東京工業大学)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、寺沢敏夫(東京大学)、星野真弘(東京大学)、向井利典(東京大学)、齋藤義文(東京大学)、Geotail 衛星で観測された冷たいプラズマシートの 2 温度イオンの解析、第 118 回地球電磁気・地球惑星圏学会、京都市、H17 年 9 月
10. 上野玄太*(統計数理研究所/CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、鍵本崇(地球環境フロンティア研究センター)、広瀬直毅(九州大学)、地球科学におけるデータ同化システムの開発、2005 年度 統計関連学会連合大会、広島市、H17 年 9 月 12 日-15 日
11. 中村和幸*(総合研究大学院大学)、広瀬直毅(九州大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、データ同化手法による津波シミュレーションモデルと潮位データの情報統合、2005 年度 統計関連学会連合大会、広島市、H17 年 9 月 12 日-15 日
12. J. Fukuda*(Univ. of Tokyo.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), S. Miyazaki(Univ. of

- Tokyo.), T. Kato(Univ. of Tokyo.), Geodetic inversion for space-time distribution of fault slip rate using a statistical time series model with hierarchical structure, 東京大学 21 世紀 COE シンポジウム、文京区、H17 年 9 月 21 日-22 日
13. 福田淳一*(東京大学)、樋口知之(統計数理研究所)、宮崎真一(東京大学)、加藤照之(東京大学)、階層構造をもつ統計的時系列モデルを用いた測地インバージョン法の開発、日本地震学会秋期大会、札幌市、H17 年 10 月 19 日-21 日
 14. 福田淳一*(東京大学)、宮崎真一(東京大学)、加藤照之(東京大学)、樋口知之(統計数理研究所)、測地インバージョンによる 2003 年十勝沖地震の余効すべりの時間発展とプレート境界の摩擦特性、日本地震学会秋期大会、札幌市、H17 年 10 月 19 日-21 日
 15. 樋口知之(統計数理研究所)、データ同化入門: バイオインフォマティクスへの適用可能性を探る、「ゲノム情報科学における異種情報の統合手法」第 1 回目、沖縄市、H17 年 11 月 21-22 日
 16. K. Nakamura*(The Graduate University for Advanced Studies), G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Sequential data assimilation method and its application to coupled atmosphere-ocean and Tsunami simulation models, 国際研究集会「潜在構造モデリングと時空間データ解析 Latent Structural Modelling and Analysis for Spatio-Temporal Data」、京都市、H17 年 12 月 1 日-3 日
 17. S. Nakano*(CREST, JST)、G. Ueno (ISM/CREST, JST)、Y. Ebihara(National Institute of Polar Research)、M. Fok(NASA)、S. Ohtani(The Johns Hopkins University)、P. C. Brandt(The Johns Hopkins University)、T. Higuchi (ISM/CREST, JST)、Data assimilation to resolve the ring current structure、日本地球惑星科学連合 2006 年大会、千葉市、H18 年 5 月 14 日-18 日
 18. M. Nagasaki(Univ. of Tokyo), R. Yamaguchi*(Univ. of Tokyo), R. Yoshida(Univ. of Tokyo), S. Imoto(Univ. of Tokyo), A. Doi(Univ. of Tokyo), Y. Tamada, H. Matsuno(Yamaguchi Univ.), S. Miyano(Univ. of Tokyo), T. Higuchi (ISM/CREST, JST), Genomic data assimilation for estimating hybrid functional Petri net from time-course gene expression data, The Sixth International Workshop on Bioinformatics and Systems Biology (IBSB2006), Boston, USA, H18 年 7 月 24 日-26 日
 19. 中野慎也*(CREST, JST)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、海老原祐輔(国立極地研究所)、M.-C. Fok(NASA)、大谷晋一(The Johns Hopkins University)、P. C. Brandt(The Johns Hopkins University)、D. G. Mitchell(The Johns Hopkins University)、桂華邦裕(京都大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、Improvement of a ring current model through data assimilation、第 30 回 極域宙空圏シンポジウム、板橋区、H18 年 8 月 3 日-4 日
 20. 中村和幸*(総合研究大学院大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、広瀬直毅(九州大学)、データ同化による情報統合: 津波シミュレーションモデルの場合、2006 年度 統計関連学会連合大会、仙台市、H18 年 9 月 5 日-8 日
 21. 上野玄太*(統計数理研究所/CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、鍵本崇(地球環境フロンティア)、広瀬直毅(九州大学)、データ同化によるエルニーニョ現象の解析、2006 年度 統計関連学会連合大会、仙台市、H18 年 9 月 5 日-8 日
 22. 山口類*(東京大学)、長崎正朗(東京大学)、吉田亮(東京大学)、井元清哉(東京大学)、土井淳(東京大学)、玉田嘉紀、松野浩嗣(山口大学)、宮野悟(東京大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、ゲノムデータ同化によるパスウェイシミュレーションモデルの自動構築、2006 年度 統計関連学会連合大会、仙台市、H18 年 9 月 5 日-8 日

23. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), Application of the ensemble Kalman filter to atmosphere-ocean coupled model, Nonlinear Statistical Signal Processing Workshop 2006, Cambridge, UK, H18年9月13日-15日
24. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), Prediction of ocean state by data assimilation with the ensemble Kalman filter, SCIS & ISIS 2006, 目黒区, H18年9月20日-24日
25. K. Nakamura*(The Graduate Univ. for Advanced Studies), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), N. Hirose(Kyushu Univ.), Application of particle filter to identification of Tsunami simulation model SCIS & ISIS 2006, 目黒区, H18年9月20日-24日
26. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), Implementation of the ensemble Kalman filter and smoother for an intermediate ENSO model, GODAE Symposium on ocean data assimilation and prediction in Asia-Oceania, Beijing, China, H18年10月16日-18日
27. 中野慎也*(CREST, JST)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、海老原祐輔(国立極地研究所)、M.-C. Fok(NASA)、大谷晋一(The Johns Hopkins University)、P. C. Brandt(The Johns Hopkins University)、D. G. Mitchell(The Johns Hopkins University)、桂華邦裕(京都大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、Estimation of the ring current structure and the inner-magnetospheric electric field through data assimilation、地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS)、相模原市、H18年11月4日-7日
28. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), Analysis of ENSO with an intermediate model through the ensemble Kalman filter and smoother, 2006 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, H18年12月11日-15日
29. S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(National Institute of Polar Research), M.-C. Fok(NASA), S. Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(The Johns Hopkins University), D. G. Mitchell(The Johns Hopkins University), K. Keika(Kyoto Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Structure of the ring current and electric potential in the inner magnetosphere deduced from ENA data assimilation, San Francisco, USA, H18年12月11日-15日
30. S. Tasaki(Univ. of Tokyo), M. Nagasaki*(Univ. of Tokyo), M. Oyama(Univ. of Tokyo), H. Hata(Univ. of Tokyo), K. Ueno(Univ. of Tokyo), R. Yoshida(Univ. of Tokyo), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), S. Sugano(Univ. of Tokyo), S. Miyano(Univ. of Tokyo), Modeling and estimation of dynamic EGFR pathway by data assimilation approach using time series proteomic data, The 17th International Conference on Genome Informatics, 横浜市, H18年12月18日-20日
31. S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), A particle filter with merging procedure for sequential data assimilation, European Geosciences Union General Assembly 2007, Vienna, Austria, H19年4月15日-20日
32. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), State estimation of an intermediate coupled model by the ensemble Kalman filter and smoother, European Geosciences Union General Assembly 2007, Vienna, Austria, H19年4月15日-20日
33. 中野慎也*(CREST, JST)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、中村和幸

- (CREST, JST)、樋口知之 (ISM/CREST, JST)、逐次データ同化手法とその応用、日本地球惑星科学連合 2007 年大会、千葉市、H19 年 5 月 19 日-24 日
34. 中村和幸*(CREST, JST)、広瀬直毅(九州大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、津波シミュレーションモデルにおける逐次データ同化手法適用による海底地形補正、日本地球惑星科学連合 2007 年大会、千葉市、5 月 19 日-24 日
 35. 中野慎也*(CREST, JST)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、海老原祐輔(国立極地研究所)、M.-C. Fok(NASA)、大谷晋一(The Johns Hopkins University)、P. C. Brandt(The Johns Hopkins University)、D. G. Mitchell(The Johns Hopkins University)、桂華邦裕(京都大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、Relationship between the ring current structure and the electric potential distribution in the inner-magnetosphere deduced from data assimilation、日本地球惑星科学連合 2007 年大会、千葉市、H19 年 5 月 19 日-24 日
 36. S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno (ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(National Institute of Polar Research), M.-C. Fok(NASA), S. Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(The Johns Hopkins University), D. G. Mitchell(The Johns Hopkins University), K. Keika(Kyoto Univ.), T. Higuchi (ISM/CREST, JST), Ring current modeling with an algorithm based on the particle filter/smoothen, XXIV IUGG General Assembly 2007, Perugia, Italy, H19 年 7 月 2 日-13 日
 37. S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno (ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(National Institute of Polar Research), M.-C. Fok(NASA), S. Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(The Johns Hopkins University), D. G. Mitchell(The Johns Hopkins University), K. Keika(Kyoto Univ.), T. Higuchi (ISM/CREST, JST), Quantitative modeling of the ring current using ENA data assimilation, XXIV IUGG General Assembly 2007, Perugia, Italy, H19 年 7 月 2 日-13 日
 38. 中野慎也*(CREST, JST)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、海老原祐輔(国立極地研究所)、M.-C. Fok(NASA)、大谷晋一(The Johns Hopkins University)、P. C. Brandt(The Johns Hopkins University)、D. G. Mitchell(The Johns Hopkins University)、桂華邦裕(京都大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、Data assimilation of global ENA data into a ring current model、第 31 回極域宙空圏シンポジウム、板橋区、H19 年 7 月 23 日-24 日
 39. 中村和幸*(CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、広瀬直毅(九州大学)、津波シミュレーションモデルと潮位データの同化におけるモデリングと解析、第 4 回人工知能学会データマイニングと統計数理研究会、旭川市、H19 年 7 月 25 日-26 日
 40. 石垣司*(CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、Kullback-Leibler カーネルの正規化スペクトル判別における特性、第 4 回人工知能学会データマイニングと統計数理研究会、旭川市、H19 年 7 月 25 日-26 日
 41. K. Nakamura*(CREST, JST), T. Higuchi (ISM/CREST, JST), N. Hirose(Kyushu Univ.), Estimation of sea depth by data assimilation with Tsunami simulation model, 2007 Joint Statistical Meetings, Salt Lake City, USA, H19 年 7 月 29 日-8 月 2 日
 42. 吉田亮*(統計数理研究所/CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、一般化状態空間モデルにもとづく生体内パスウェイの統計的推測、2007 年度統計関連学会連合大会、神戸市、H19 年 9 月 6 日-9 日
 43. 山口類*(東京大学)、吉田亮(統計数理研究所/CREST, JST)、長崎正朗(東京大学)、井元清哉(東京大学)、宮野悟(東京大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、ゲノムデータ同化による生体内パスウェイシミュレーションモデルの展開、2007 年度統計関連学会連合大会、神戸市、H19 年 9 月 6 日-9 日
 44. 石垣司*(CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、ダイバージェ

- ンスに基づいたカーネル関数の正規化周波数スペクトル判別問題への適用とその応用例、2007年度統計関連学会連合大会、神戸市、H19年9月6日-9日
45. 中村和幸*(CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、広瀬直毅(九州大学)、データ同化手法による津波シミュレーションの逆解析について、2007年度統計関連学会連合大会、神戸市、H19年9月6日-9日
 46. 中野慎也*(CREST, JST)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、中村和幸(CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、Merging particle filter for high dimensional problems, 2007年度統計関連学会連合大会、神戸市、H19年9月6日-9日
 47. R. Yoshida*(Univ. of Tokyo), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), S. Imoto(Univ. of Tokyo), S. Miyano(Univ. of Tokyo), Mixed factors analysis: Unsupervised statistical discrimination with kernel feature extraction, The International Workshop on Data-Mining and Statistical Science (DMSS2007), 港区, H19年10月5日-6日
 48. 中野慎也*(CREST, JST)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、中村和幸(CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、Merging particle filterにおける重みの設定について、The International Workshop on Data-Mining and Statistical Science (DMSS2007), 港区、H19年10月5日-6日
 49. 稲津大祐*(CREST, JST)、佐藤忠弘(東北大)、中村和幸(CREST, JST)、三浦哲(東北大)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、藤本博巳(東北大)、C. LARSEN(アラスカ大学)、アラスカ州南東部における氷河後退に伴う高速地殻隆起の総合測地観測—海洋潮汐・領域モデルの改良—、日本地震学会2007年秋季大会、仙台市、H19年10月24日-26日
 50. 稲津大祐*(CREST, JST)、佐藤忠弘(東北大)、中村和幸(CREST, JST)、三浦哲(東北大)、藤本博巳(東北大)、C. LARSEN(アラスカ大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、アラスカ州南東部における氷河後退に伴う高速地殻隆起の総合測地観測—海洋潮汐・領域モデルの改良—、日本測地学会第108回講演会、和歌山市、H19年11月7日-11月9日
 51. K. Nakamura*(CREST, JST), N. Hirose (Kyushu Univ.), B. H. Choi (Sungkyunkwan Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Estimation of boundary condition in tsunami simulation model using particle filter, 津波ワークショップ、横浜市、H19年11月22日
 52. D. Inazu*(CREST, JST), T. Sato(Tohoku Univ.), K. Nakamura(CREST, JST), S. Miura(Tohoku Univ.), H. Fujimoto(Tohoku Univ.), C. F. Larsen(Univ. of Alaska), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Accuracy of regional oceanic tide model determined by bathymetric data in Southeastern Alaska, 津波ワークショップ、横浜市、H19年11月22日
 53. S. Nakano *(CREST, JST), G. Ueno (ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Merging particle filter and its application to Lorenz models, 津波ワークショップ、横浜市、H19年11月22日
 54. S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(国立極地研究所), M. Fok(NASA Goddard Space Flight Center), S. Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(JHU/APL), D. G. Mitchell (JHU/APL), Keika K. (Austrian Academy of Sciences), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Modeling of the inner-magnetospheric environment using the merging particle filter, 津波ワークショップ、横浜市、H19年11月22日
 55. 中野慎也*(CREST, JST)、上野玄太(ISM/CREST, JST)、海老原祐輔(国立極地研究所)、M.-C. Fok(NASA)、大谷晋一(The Johns Hopkins University)、P. C. Brandt(JHU)、D. G. Mitchell(JHU)、桂華邦裕(オーストリア宇宙科学研究所)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、ENA 観測から推定される内部磁気圏電場の変動、

- STE 研究所研究集会『第 3 回 磁気圏-電離圏複合系における対流に関する研究会』、岡山市、H19 年 11 月 27 日
56. S. Nakano(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(NIPR), M.-C. Fok(NASA Goddard Space Flight Center), S. Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(JHU/APL), D. G. Mitchell (JHU/APL), K. Keika(Austrian Academy of Sciences), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Variations in the ring current and inner-magnetospheric electric field deduced from data assimilation of IMAGE/HENA data, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, H19 年 12 月 10 日-14 日
 57. 中村 和幸*(CREST, JST)、稲津 大祐*(CREST, JST)、樋口 知之(ISM/CREST, JST)、津波・潮汐データ同化におけるシミュレーション可視化、第 29 回 CG・可視化研究会(CAVE 研究会)、さいたま市、H19 年 12 月 19 日
 58. 樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、逐次データ同化手法を支える基盤的計算技術、第 1 回気象研究所・統計数理研究所共同ワークショッププログラム、港区、平成 20 年 1 月 24 日
 59. 上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、アンサンブルカルマンフィルター・平滑化を用いた大気・海洋結合モデルへのデータ同化、第 1 回気象研究所・統計数理研究所共同ワークショッププログラム、港区、1 月 24 日
 60. 中村和幸 (CREST, JST)、粒子フィルタを用いた津波シミュレーションと潮位計データの同化による海底地形補正、第 1 回気象研究所・統計数理研究所共同ワークショッププログラム、港区、平成 20 年 1 月 24 日
 61. 石垣司(CREST, JST)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、粒子フィルタによる圧力調整器シミュレーションモデルのパラメータ同定、第 6 回 人工知能学会データマイニングと統計数理研究会、豊中市、平成 20 年 2 月 28 日-2 月 29 日
 62. S. Nakano(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(Nagoya Univ.), M. Fok(NASA Goddard Space Flight Center), S. Ohtani(JHU/APL), P. C. Brandt(JHU/APL), D. G. Mitchell (JHU/APL), Keika K. (IWF/OeAW), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Data assimilation of energetic neutral atom data for two-dimensional modeling of the magnetospheric ring current, European Geosciences Union General Assembly 2008, Vienna, Austria, H20 年 4 月 13 日-18 日
 63. O. Hirose(Tokyo Univ.), R. Yoshida (ISM/CREST, JST), R. Yamaguchi(Tokyo Univ.), S. Imoto(Tokyo Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), S. Miyano(Tokyo Univ.), Analyzing time course gene expression data with biological and technical replicates to estimate gene networks by state space models, The 2nd Asia International Conference on Modeling & Simulation, Malaysia, H20 年 5 月 13 日-15 日
 64. 齊藤昭則(京都大学)、藤田信幸(京都大学)、上野玄太(ISM/CREST, JST)、津川卓也(情報通信研究機構)、西岡未知(京都大学)、GPS-TEC データを用いた拘束付き最小二乗法による電離圏トモグラフィ、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、千葉市、H20 年 5 月 25 日-30 日
 65. 三好由純(名古屋大学)、上野玄太(ISM/CREST, JST)、Jordanova Vania K.(ロスマラモス国立研究所)、越石英樹(JAXA)、松本晴久(JAXA)、五家建夫(JAXA)、放射線帯のデータ同化、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、千葉市、H20 年 5 月 25 日-30 日
 66. 上野玄太(ISM/CREST, JST)、特異行列の正則化:グラフィカルモデルの応用、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、千葉市、H20 年 5 月 25 日-30 日
 67. 上野玄太(ISM/CREST, JST)、データ同化の最尤法、JST/CREST(データ同化)及び統計数理研究所共同研究による第 1 回データ同化研究ワークショップ、港区、H20 年 6 月 2 日
 68. Y. Miyoshi(Nagoya Univ.), G. Ueno(ISM/CREST, JST), V. Jordanova(ロスマラモス国

- 立研究所), G. Reeves (ロスアラモス国立研究所), H. Koshiishi(JAXA), H. Matsumoto(JAXA), T. Goka(JAXA), Data assimilation of radiation belt electrons, Asia Oceania Geosciences Society 5th Annual General Meeting, Busan, The Public of Korea, H20 年 6 月 16 日-20 日
69. K. Nakamura(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Assessment of ensemble efficiency in ensemble-based filters and smoothers for prediction, Asia Oceania Geosciences Society 5th Annual General Meeting, Busan, The Public of Korea, H20 年 6 月 16 日-20 日
70. S. Nakano(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Estimation of an uncertain parameter in dynamic nonlinear models using ensemble-based data assimilation schemes, Asia Oceania Geosciences Society 5th Annual General Meeting, Busan, The Public of Korea, H20 年 6 月 16 日-20 日
71. 吉田亮(ISM/CREST, JST)、長崎正朗(東京大学)、山口類(東京大学)、井元清哉(東京大学)、宮野悟(東京大学)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、ペトリネットによる転写制御ネットワークのモデリングと統計的推測、情報処理学会・第 13 回バイオ情報学研究会、沖縄市、H20 年 6 月 26 日-27 日
72. T. Ishigaki(CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Parameter identification of a pressure regulator with a nonlinear structure using a particle filter based on the nonlinear state space model, The 11th International Conference on Information FUSION, Cologne, Germany, H20 年 6 月 30 日-7 月 3 日
73. 上野玄太(ISM/CREST, JST)、どこまで同じ? 逐次型データ同化と変分型データ同化、第二回気象研究所・統計数理研究所共同ワークショップ、港区、H20 年 7 月 17 日
74. K. Nakamura(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Modeling and estimation of physical parameters in data assimilation, 2008 Joint Statistical Meetings, Denver, USA, H20 年 8 月 3 日-7 日
75. 中村和幸(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、統計的モデリングとしてのデータ同化と工学シミュレーションへの応用、日本行動計量学会第 36 回大会、武蔵野市、H20 年 9 月 2 日-5 日
76. 樋口知之(ISM/CREST, JST)、統計的モデリング応用、平成 20 年度総研大レクチャー「赤池情報量規準と統計的モデリング」、港区、H20 年 9 月 5 日
77. 樋口知之(ISM/CREST, JST)、データ同化入門、平成 20 年度総研大レクチャー「赤池情報量規準と統計的モデリング」、港区、H20 年 9 月 5 日
78. 中村和幸(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、上野玄太(ISM/CREST, JST)、佐藤整尚(ISM/CREST, JST)、生命体シミュレーションにおけるデータ同化、2008 年度統計関連学会連合大会、横浜市、H20 年 9 月 7 日-10 日
79. 山口類(東京大学)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、長崎正朗(東京大学)、井元清哉(東京大学)、島村徹平(東京大学)、山内麻衣(東京大学)、後藤典子(東京大学)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、宮野悟(東京大学)、パスウェイシミュレーションを用いたデータ同化による生命内プロセスの予測、2008 年度統計関連学会連合大会、横浜市、H20 年 9 月 7 日-10 日
80. 中村和幸(ISM/CREST, JST)、超多数粒子フィルタによる生命体シミュレーションのデータ同化、日本機械学会第 21 回計算力学講演会、沖縄県中頭郡西原町、H20 年 11 月 1 日-3 日
81. K. Nakamura(ISM/CREST, JST), Sequential data assimilation: information fusion of numerical simulations and measurements, RIKEN SEMINAR, 和光市, 11 月 6 日
82. 中村和幸(ISM/CREST, JST)、データ同化手法による非線形現象の理解、「階層構造の科学+現象数理学」研究会、熱海市、H20 年 11 月 30 日-12 月 1 日

83. R. Yamaguchi(Tokyo Univ.), S. Imoto(Tokyo Univ.), M. Yamauchi(Tokyo Univ.), M. Nagasaki(Tokyo Univ.), R. Yoshida (ISM/CREST, JST), T. Shimamura(Tokyo Univ.), Y. Hatanaka(Tokyo Univ.), K. Ueno(Tokyo Univ.), T. Higuchi (ISM/CREST, JST), N. Gotoh(Tokyo Univ.), S. Miyano(Tokyo Univ.), Predicting differences in gene regulatory systems by state space models, The 19th International Conference on Genome Informatics (GIW2008), Gold Coast, Australia, H20年12月1日-3日
84. 井元清哉(東京大学)、山口類(東京大学)、島村徹平(東京大学)、玉田嘉紀(東京大学)、長崎正朗(東京大学)、斉藤あゆむ(東京大学)、植野和子(東京大学)、畑中洋亮(東京大学)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、山内麻衣(東京大学)、後藤典子(東京大学)、宮野悟(東京大学)、バイオマーカー・分子標的探索のための動的ネットワークを予測する計算科学的方法の開発、第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学大会合同大会(BMB2008)、神戸市、H20年12月9日-12日
85. 後藤典子(東京大学)、山内麻衣(東京大学)、山口類(東京大学)、長崎正朗(東京大学)、島村徹平(東京大学)、井元清哉(東京大学)、斉藤あゆむ(東京大学)、植野和子(東京大学)、畑中洋亮(東京大学)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、河野隆志(国立がんセンター研究所)、横田淳(国立がんセンター研究所)、宮野悟(東京大学)、システム生物学的方法論による肺癌の新規バイオマーカー及び分子標的の探索、第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学大会合同大会(BMB2008)、神戸市、H20年12月9日-12日
86. 稲津大祐(CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、中村和幸(ISM/CREST, JST)、進化アルゴリズムを用いた海底地形データセットの最適化、第73回数理解モデル化と問題解決研究会(MPS73)、沖縄県国頭郡恩納村、H21年3月5日-6日
87. 上野玄太(ISM/CREST, JST)、逆行列空間における共分散行列の正則化:巨大次元行列に向けて、日本地球惑星科学連合2009年大会、千葉市、平成21年5月16日-21日
88. 稲津大祐*(東北大学)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、中村和幸(明治大学)、化アルゴリズムを用いた海洋潮汐モデルの境界条件およびパラメータの最適化、日本地球惑星科学連合2009年大会、千葉市、平成21年5月16日-21日
89. 上野玄太*(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、鍵本崇(地球環境フロンティア研究センター)、広瀬直毅(九州大学)、大気海洋データ同化システムの構築と検証、第58回理論応用力学講演会、港区、平成21年6月9日-11日
90. 中野慎也*(ISM/CREST, JST)、上野玄太(ISM/CREST, JST)、海老原祐輔(名古屋大学)、Fok Mei-Ching(NASA)、大谷晋一(JHU)、C:son Brandt Pontus(JHU)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、データ同化による磁気圏プラズマ分布の推定、第58回理論応用力学講演会、港区、平成21年6月9日-11日
91. 中村和幸*(明治大学)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、長崎正朗(東京大学)、宮野悟(東京大学)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、遺伝子ネットワークモデルにおけるデータ同化と大規模並列粒子フィルタによる実装、第58回理論応用力学講演会、港区、平成21年6月9日-11日
92. 稲津大祐*(東北大学)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、中村和幸(明治大学)、海洋潮汐データとシミュレーションの統合による海底地形データセットの最適化、第58回理論応用力学講演会、港区、平成21年6月9日-11日
93. 樋口知之(ISM/CREST, JST)、LiSDAS-Life Science Data Assimilation System-の開発ロードマップと現況報告、第9回データ解析融合ワークショップ、港区、平成21年8月7日
94. S. Nakano*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Monthly-scale variation of the DST index and its relationship with solar-wind conditions, IAGA 11th Scientific Assembly, Sopron, Hungary, 平成21年8月23日-30日

95. S. Nakano*(ISM/CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), S. Ohtani(JHU), T. Higuchi (ISM/CREST, JST), Statistical analysis of influence of the solar-wind pressure enhancement on the region-2 field-aligned currents, IAGA 11th Scientific Assembly, Soporon, Hungary, 平成 21 年 8 月 23 日-30 日
96. 中野慎也*(ISM/CREST, JST)、上野玄太(ISM/CREST, JST)、海老原祐輔(名古屋大学)、M-C. Fok(NASA)、大谷晋一(JHU)、P. Brandt(JHU)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、Merging particle filter による状態推定 一宇宙科学への応用一、2009 年度統計関連学会連合大会、京田辺市、平成 21 年 9 月 6 日-9 日
97. 上野玄太(ISM/CREST, JST)、土谷隆(ISM)、逆行列空間での共分散行列の正則化、2009 年度統計関連学会連合大会、京田辺市、平成 21 年 9 月 6 日-9 日
98. 中村和幸*(明治大学)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、長崎正朗(東京大学)、樋口知之 (ISM/CREST, JST)、超多数粒子フィルタによる遺伝子ネットワークデータ同化、2009 年度統計関連学会連合大会、京田辺市、平成 21 年 9 月 6 日-9 日
99. 井元清哉*(東京大学)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、次世代の計測と計算、2009 年度統計関連学会連合大会、京田辺市、平成 21 年 9 月 6 日-9 日
100. 山口類*(東京大学)、井元清哉(東京大学)、島村徹平(東京大学)、山内麻衣(東京大学)、長崎正朗(東京大学)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、後藤典子(東京大学)、宮野悟(東京大学)、状態空間モデルからの動的予測に基づく遺伝子発現制御関係の差異の探索、2009 年度統計関連学会連合大会、京田辺市、平成 21 年 9 月 6 日-9 日
101. 井元智子*(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、環境補助金政策に対するエージェントシミュレーションを用いた生産者変動分析、環境経済・政策学会 2009 年大会、千葉市、平成 21 年 9 月 26 日-27 日

③ ポスター発表 (国内会議 15 件、国際会議 33 件)

1. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), Application of ensemble Kalman filter to coupled atmosphere-ocean model, 2004 Western Pacific Geophysics Meeting ,Hawaii, H16 年 8 月 16-20 日
2. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST,JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.),Application of ensemble Kalman filter to coupled atmosphere-ocean model,2004 AGU Fall Meeting, San Francisco, H16 年 12 月 13-17 日
3. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST,JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.),Application of ensemble Kalman filter to coupled atmosphere-ocean model, 4th WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography, Prague, H17 年 4 月 18 日-22 日
4. S. Nakano*(CREST,JST), G Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(National Institute of Polar Research), M Fok(NASA Goddard Space Flight Center), S. Ohtani(The Johns Hopkins University), P C Brandt(The Johns Hopkins University), T .Higuchi(ISM/CREST,JST),A data assimilation model of the storm-time ring current,2005 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, H17 年 12 月 5 日-9 日
5. K. Nakamura(The Graduate University for Advanced Studies), G. Ueno*(ISM/CREST, JST), S. Nakano (CREST,JST) , T. Higuchi(ISM/CREST, JST),Ensemble-based filtering and smoothing methods for the sequential data assimilation with highly nonlinear observation system , 2005 AGU Fall Meeting, San Francisco,H17 年 12 月 5 日-9 日
6. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier

- Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), Assimilation of sea surface observation with coupled ocean-atmosphere model via ensemble Kalman filter, 2006 Ocean Science Meeting, Hawaii, H18年2月20日-24日
7. K. Nakamura*(The Graduate University for Advanced Studies), N. Hirose(Kyushu Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Particle filter method for real Tsunami assimilation with shallow-water equations model, 2006 Ocean Science Meeting, Hawaii, H18年2月20日-24日
 8. G. Ueno*(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), Assimilation of sea surface observation with coupled model via ensemble Kalman filter: System design with graphical modeling, European Geosciences Union General Assembly 2006, Vienna, H18年4月2日-7日
 9. S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(National Institute of Polar Research), M. Fok(NASA), S. Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(The Johns Hopkins University), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Use of data assimilation to estimate physical parameters in a ring current model, European Geosciences Union General Assembly 2006, Vienna, Austria, H18年4月2日-7日
 10. S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(National Institute of Polar Research), M. Fok(NASA), S. Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(The Johns Hopkins University), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Application of the particle filter technique to magnetospheric physics, Vienna, Austria, H18年4月2日-7日
 11. S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(National Institute of Polar Research), M. Fok(NASA), S. Ohtani(Johns Hopkins Univ.), P. C. Brandt(Johns Hopkins Univ.), D. G. Mitchell(Johns Hopkins Univ.), K. Keika(Kyoto Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Estimation of the ring current structure through data assimilation of global ENA data into a ring current model, 2006 Geophysical Joint Assembly, Baltimore, USA, H18年5月23日-26日
 12. S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(National Institute of Polar Research), M. Fok(NASA), S. Ohtani(Johns Hopkins Univ.), P. C. Brandt(Johns Hopkins Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Data assimilation of global ENA data into a kinetic ring current model, GEM 2006 Summer Workshop, Snowmass, USA, H18年6月25日-30日
 13. K. Nakamura(The Graduate Univ. for Advanced Studies), T. Higuchi*(ISM/CREST, JST), N. Hirose(Kyushu Univ.), Information fusion of Tsunami simulation model and tide gauge data through sequential data assimilation, 2006 AGU fall meeting, San Francisco, USA, H18年12月11日-15日
 14. M. Nagasaki(Univ. of Tokyo), R. Yamaguchi(Univ. of Tokyo), R. Yoshida(Univ. of Tokyo), S. Imoto(Univ. of Tokyo), A. Doi(Univ. of Tokyo), Y. Tamada, H. Matsuno(Yamaguchi Univ.), S. Miyano(Univ. of Tokyo), T. Higuchi*(ISM/CREST, JST), Assimilating Genomic Data with a Hybrid Functional Petri Net via Generalized State Space Model, The Pacific Symposium on Biocomputing (PSB) 2007, Maui, H19年1月3日-7日
 15. 中野慎也*(CREST, JST)、上野玄太(統計数理研究所/CREST, JST)、海老原祐輔(国立極地研究所)、M.-C. Fok(NASA)、大谷晋一(The Johns Hopkins University)、P. C. Brandt(The Johns Hopkins University)、D. G. Mitchell(The Johns Hopkins University)、桂華邦裕(京都大学)、樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST)、Data assimilation for modeling the ring current evolution, 第122回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、名古屋市、H19年9月28日-10月1日

16. S. Nakano*(CREST,JST), G. Ueno(ISM/CREST,JST), Y Ebihara(国立極地研究所), M Fok(NASA Goddard Space Flight Center), S Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(JHU/APL), D. G. Mitchell (JHU/APL), Keika K. (京都大学), T. Higuchi(ISM/CREST,JST), Data assimilation for modeling the ring current evolution, SCOSTEP CAUSES International Symposium, 京都市, H19年10月23日-27日
17. T. Higuchi(ISM/CREST, JST), S. Nakano*(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(NIPR), M.-C. Fok(NASA Goddard Space Flight Center), S. Ohtani(The Johns Hopkins University), P. C. Brandt(JHU/APL), D. G. Mitchell (JHU/APL), K. Keika(Austrian Academy of Sciences), Application of ENA data assimilation to global modeling of space plasma environments, AGU Fall Meeting, San Francisco, H19年12月10日-14日
18. D. Inazu*(CREST, JST), T. Sato(Tohoku Univ.), K. Nakamura(CREST, JST), S. Miura(Tohoku Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), H. Fujimoto(Tohoku Univ.), C. F. Larsen(Univ. of Alaska), Accurate modeling of regional oceanic tides for detiding gravimeter data at southeastern Alaska, AGU Fall Meeting, San Francisco, H19年12月10日-14日
19. K. Nakamura*(CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), N. Hirose (Kyushu Univ.), Bathymetry inversion by sequential data assimilation of Tsunami simulation model, 2008 Ocean Sciences Meeting, Orlando, H20年3月2日-7日
20. D. Inazu*(CREST, JST), T. Sato(Tohoku Univ.), K. Nakamura(CREST, JST), S. Miura(Tohoku Univ.), H. Fujimoto(Tohoku Univ.), C. F. Larsen(Univ. of Alaska) , T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Accurate tide modeling and semidiurnal seiches in Southeastern Alaska, 2008 Ocean Sciences Meeting, Orlando, H20年3月2日-7日
21. G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Tsuchiya(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), and N. Hirose(Kyushu Univ.), Regularization of singular covariance matrices with graphical models, European Geosciences Union General Assembly 2008, Vienna, Austria, H20年4月13日-18日
22. S. Nakano(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Parameter estimation for dynamic nonlinear models using the merging particle filter, European Geosciences Union General Assembly 2008, Vienna, H20年4月13日-18日
23. 上野玄太(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、広瀬 直毅(九州大学)、アンサンブルカルマンフィルターによる大気海洋結合データ同化、日本地球惑星科学連合 2008年大会、千葉市、H20年5月25日-30日
24. 中村和幸(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、アンサンブル型逐次データ同化における予測性能、日本地球惑星科学連合 2008年大会、千葉市、H20年5月25日-30日
25. S. Nakano(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y Ebihara(Nagoya Univ.), M Fok(NASA Goddard Space Flight Center), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), A feasibility study of data assimilation of multi-satellite observations for ring current modeling, 日本地球惑星科学連合 2008年大会、千葉市、H20年5月25日-30日
26. 中野慎也(CREST, JST)、上野玄太(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、Merging particle filter による非線型システムモデルのパラメータ推定法、日本地球惑星科学連合 2008年大会、千葉市、H20年5月25日-30日
27. 中野慎也(CREST, JST)、上野玄太(ISM/CREST, JST)、海老原祐輔(名古屋大学)、Fok Mei-Ching(NASA)、大谷晋一(JHU/APL)、Brandt Pontus C. (JHU/APL)、Mitchell Donald G. (JHU/APL)、桂華邦裕(IWF/OeAW)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、データ同化による磁気圏リングカレント発達過程のモデリング、日本地球惑星

科学連合 2008 年大会、千葉市、H20 年 5 月 25 日-30 日

28. S. Nakano(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y Ebihara(Nagoya Univ.), M Fok(NASA Goddard Space Flight Center), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), A feasibility study of ring current modeling using data assimilation of multi-satellite observations, Asia Oceania Geosciences Society 5th Annual General Meeting, Busan, The Public of Korea, H20 年 6 月 16 日-20 日
29. G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), State estimation of a coupled ocean-atmosphere system by the ensemble Kalman filter and smoother, the 9th World Conference of the International Society for Bayesian Analysis (ISBA), Hamilton Island, H20 年 7 月 21 日-25 日
30. G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), T. Kagimoto(Frontier Research Center for Global Change), N. Hirose(Kyushu Univ.), Data assimilation with ensemble Kalman filter and maximum likelihood, Kickoff Tutorials & Workshop of SAMSI 2008-09 Program on Sequential Monte Carlo Methods, Research Triangle Park, H20 年 9 月 7 日-10 日
31. 山口類(東京大学)、長崎正朗(東京大学)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、井元清哉(東京大学)、山内麻衣(東京大学)、斉藤あゆむ(東京大学)、中村和幸(ISM/CREST, JST)、島村徹平(東京大学)、鄭恩娥(東京大学)、李晨(東京大学)、植野和子(東京大学)、池田恵美(東京大学)、関谷弥生(東京大学)、小島要(東京大学)、玉田嘉紀(東京大学)、藤田アンドレ(東京大学)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、後藤典子(東京大学)、宮野悟(東京大学)、生命体パスウェイシミュレーションのためのデータ同化手法およびソフトウェアの開発、東京大学生命科学研究ネットワークシンポジウム 2008、文京区、H20 年 9 月 23 日
32. S. Nakano(CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), Y. Ebihara(Nagoya Univ.), M. Fok(NASA Goddard Space Flight Center), S. Ohtani(JHU/APL), P. C. Brandt(JHU/APL), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Fusion of observations and a dynamic model for modeling the inner magnetosphere, 2008 年度磁気圏電離圏シンポジウム, 相模原市, H20 年 11 月 26 日-28 日
33. S. Nakano(CREST, JST), Data assimilation approach and its applications to the modeling of the dynamics in the magnetosphere, International Symposium: Fifty Years after IGY --Modern Information Technologies and Earth and Solar Sciences--, Tsukuba, H20 年 11 月 10 日-13 日
34. G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Tsuchiya(ISM), Covariance regularization through a Gaussian graphical model, WWRP/THORPEX Workshop on 4D-Var and ensemble Kalman filter inter-comparisons, Buenos Aires, H20 年 11 月 10 日-13 日
35. 山内麻衣(東京大学)、山口類(東京大学)、長崎正朗(東京大学)、島村徹平(東京大学)、井元清哉(東京大学)、斉藤あゆむ(東京大学)、植野和子(東京大学)、畑中洋亮(東京大学)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、河野隆志(国立がんセンター研究所)、横田淳(国立がんセンター研究所)、宮野悟(東京大学)、後藤典子(東京大学)、システム生物学的アプローチによる新規肺癌マーカーと分子標的の探索と解析、第 31 回日本分子生物学会年会・第 81 回日本生化学会大会合同大会(BMB2008)、神戸市、H20 年 12 月 9 日-12 日
36. D. Inazu(CREST, JST), T. Sato(Graduate School of Science, Tohoku Univ.), K. Nakamura(CREST, JST), S. Miura(Graduate School of Science, Tohoku Univ.), H. Fujimoto(Graduate School of Science, Tohoku Univ.), C. F. Larsen(Univ. of Alaska), T. Higuchi(ISM/CREST, JST) Accurate ocean tide modeling in southeast Alaska and large tidal dissipation around Glacier Bay, 2008 AGU Fall Meeting, San Francisco, H20 年 12 月 15 日-19 日

37. G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Tsuchiya(ISM/CREST, JST), Covariance regularization through a Gaussian graphical model and its application to ocean data assimilation, 2008 AGU Fall Meeting, San Francisco, H20 年 12 月 15 日-19 日
38. 中村和幸(ISM/CREST, JST)、吉田亮(ISM/CREST, JST)、長崎正朗(東京大学)、宮野悟(東京大学)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、ペタスケールコンピューティングに向けた超多数粒子フィルタの実装: 遺伝子ネットワークモデルのパラメータ推定への適用、バイオスーパーコンピューティング・シンポジウム 2008、千代田区、H20 年 12 月 25 日-26 日
39. 齋藤正也(CREST, JST)、中村和幸(ISM/CREST, JST)、中野慎也(CREST, JST)、樋口知之(ISM/CREST, JST)、並列演算アクセラレータを活用した粒子フィルタ計算の高速化-予備実験と研究計画-、バイオスーパーコンピューティング・シンポジウム 2008、千代田区、H20 年 12 月 25 日-26 日
40. K. Nakamura(ISM/CREST, JST), R. Yoshida(ISM/CREST, JST), M. Nagasaki(Tokyo Univ.), S. Miyano(Tokyo Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Parameter Estimation of In Silico Biological Pathways with Particle Filtering Towards a Petascale Computing, Pacific Symposium on Biocomputing (PSB) 2009, H21 年 1 月 5 日-9 日
41. S. Nakano*(ISM/CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), K. Nakamura (Meiji Univ.), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Implementation of the particle filter and the merging particle filter in parallel computing systems, European Geosciences Union General Assembly 2009, Vienna, Austria, 平成 21 年 4 月 19 日-24 日
42. G. Ueno, (ISM/CREST, JST), T. Tsuchiya(ISM), Covariance regularization with a graphical model, European Geosciences Union General Assembly 2009, Austria, 平成 21 年 4 月 19 日-24 日
43. 中野慎也*(ISM/CREST, JST)、上野玄太(ISM/CREST, JST)、中村和幸(明治大学)、樋口知之 (ISM/CREST, JST)、入れ子型粒子フィルタアルゴリズムとその並列計算機上でのデータ同化への応用、日本地球惑星科学連合 2009 年大会、千葉市、平成 21 年 5 月 16 日-21 日
44. 中野慎也*(ISM/CREST, JST)、樋口知之 (ISM/CREST, JST)、Long-term component of the variation of the Dst index、日本地球惑星科学連合 2009 年大会、千葉市、平成 21 年 5 月 16 日-21 日
45. M. Saito*(CREST, JST), K. Hayashi(CREST, JST), K. Nakamura(Meiji Univ.), S. Nakano(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST)Acceleration of Particle Filter using GPGPU in Genomic Data Assimilation, Joint Computational Science Workshop 2009, 横浜市、平成 21 年 7 月 9 日-10 日
46. S. Nakano*(ISM/CREST, JST), M-C. Fok(NASA), P-C. Brandt (JHU), T. Higuchi (ISM/CREST, JST), Development of an EUV data assimilation technique for plasmasphere modeling, IAGA 11th Scientific Assembly, Soporn, Hungary, 平成 21 年 8 月 23 日-30 日
47. S. Nakano*(ISM/CREST, JST), M-C. Fok(NASA), P-C. Brandt (JHU), T. Higuchi (ISM/CREST, JST), Feasibility of EUV data assimilation for the modeling of the plasmasphere, 第 126 回地球電磁気・地球惑星圏学会(2009 年 SGEPPS 秋学会)、金沢市、平成 21 年 9 月 27 日-30 日
48. S. Nakano*(ISM/CREST, JST), G. Ueno(ISM/CREST, JST), T. Higuchi(ISM/CREST, JST), Merging particle filter for high-dimensional nonlinear problems, The 5TH WMO Symposium on Data Assimilation, Merbourne Australia, 平成 21 年 10 月 5 日-9 日

(4)知財出願
特になし

(5)受賞・報道等

①受賞

1. 平成 18 年度応用統計学会優秀論文賞（上野と樋口らが共著者の論文に対して）
2. Yamaguchi et al. (論文 33))が、GIW2008 にて「FINALIST - BEST PAPER AWARD」を受賞
3. 中村和幸(CREST, JST)等のポスター発表(ポスター発表 38))が、バイオスーパーコンピューティング・シンポジウム 2008 でポスター賞を受賞

②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. 日本経済新聞朝刊サイエンス欄で研究内容が紹介される、平成 18 年 12 月 3 日
2. 日刊工業新聞に掲載 統計データ解析 計算途中を可視化、平成 18 年 3 月 22 日
3. 科学新聞、書評欄に『統計数理は隠された未来をあらわにする』がとりあげられる、平成 19 年 6 月 29 日
4. 朝日新聞でベイズ統計に関する樋口教授の談話が紹介される、平成 19 年 11 月 24 日
5. テレビ東京、ワールドビジネスサテライト”ハイライト”のコーナーにて研究内容が紹介される、平成 20 年 3 月 28 日

③その他

1. ネットニュースで紹介 [ZDNet]統計数理研究所、統計科学研究分野で可視化新手法を導入、平成 18 年 3 月
2. ネットニュースで紹介 [IT Media] 「不確実性を科学的なアプローチによってモデリングする」——統計数理研究所の可視化新手法、平成 18 年 3 月
3. 津波データ同化研究成果の可視化の様子が日本 SGI Web マガジンに取り上げられる、平成 19 年 7 月 19 日
4. (株)KGT のユーザー紹介に、データ同化チームの研究『データ同化:そのインパクトを3Dで実感する』が掲載、平成 19 年 8 月 20 日
5. Nakano et al. (論文 13))が、地球科学で最も権威のある雑誌群を刊行している AGU (American Geophysical Union)の This Week's Most Downloaded Articles にランクされる、平成 20 年 5 月 21 日

(6)成果展開事例

① 社会還元的な展開活動

- 本研究成果をインターネット(URL; <http://daweb.ism.ac.jp/>)で公開し、一般に情報提供している。

[教育・普及活動]

- 東北大学応用情報科学専攻複雑系統計科学集中講義
樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST), 情報システムとは何か, 仙台, 5 月 24 日
- 東北大学応用情報科学専攻複雑系統計科学集中講義
樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST), データ爆発の時代に生きる, 仙台, 6 月 7 日
- 慶應義塾大学大学院基礎理工学専攻データサイエンス特別講義
樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST), データ同化手法:シミュレーション科学と統計科学の融合プラットフォーム, 横浜市, 11 月 28 日
- 岡山大学大学院環境学研究科集中講義

樋口知之(統計数理研究所/CREST, JST), データ同化:シミュレーション科学と統計科学の統合プラットフォーム, 1月17日-1月18日

- 統計数理研究所公開講座 データ同化論:状態空間モデルとシミュレーション
樋口知之、上野玄太、中野慎也らが企画、及び講師を勤める、平成20年10月
- 統計数理研究所公開講座 データ同化論・実践編
樋口知之、上野玄太、中野慎也らが企画、及び講師を勤める、平成21年4月

[デモンストレーション]

- 第15回産業用バーチャルリアリティー展(IVR)にて、津波データ同化研究成果を3次元可視化表示(日本SGI(株)ブースにて)、平成19年6月
- 国際会議 SC07 (International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis)に出席し、デモを行った。Reno, 平成19年11月
- 国際会議 S08 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis 2008 <http://sc08.supercomputing.org/>)において、情報・システム研究機構(ROIS)としてブースを出展した。実質上は統計数理研究所が中心となって運営し、データ同化プロジェクトメンバーも参加協力を行った。津波データ同化および海洋潮汐データ同化の計算結果の立体化可視化の様子および、データ同化プロジェクトの概要紹介を行った、平成20年11月
- 情報・システム研究機構国立極地研究所・統計数理研究所 移転記念式典においてデータ同化の研究成果のデモンストレーションを行った、平成21年7月
- 霞ヶ関子供見学デーにおいてデータ同化の研究成果のデモンストレーションを行った、平成21年8月

[セッション企画]

- 日本地球惑星科学連合 2008年大会にて中野慎也らがセッション「逆問題解析の新展開～データからダイナミクスに迫る」を企画開催した、平成20年5月
- K. Nakamura(CREST, JST), D. Inazu(CREST, JST), P. J. van Leeuwen(Institute for Marine and Atmospheric research Utrecht), 2008 Ocean Sciences Meeting,セッション”Contribution of Data Assimilation to Ocean Modeling”を企画、多数の参加者があり有意義な議論となった。Orlando, 平成20年3月
- 日本地球惑星科学連合 2009年大会にて上野玄太、中野慎也らがセッション「逆問題解析の新展開～データからダイナミクスに迫る」を企画開催した、平成21年5月

§6 研究期間中の主な活動(ワークショップ・シンポジウム等)

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成18年12月25日(月)～12月26日(火)	JST/CREST・NICT 合同シミュレーション研究会	統計数理研究所	23名	地球圏において生起している現象のような複合系の科学の理解のための、高精度かつ現実的なシミュレーションの実用化を議論
H20年6月2日	データ同化ワークショップ	統計数理研究所	30人	本研究所データ同化研究グループでは、大規模なシミュレーションシステムに対する

				<p>先端的なデータ同化手法の開発とその適応拡大を目指し研究プロジェクトを推進している。</p> <p>本ワークショップの目的は、関連する分野の研究者を招待し、講演・議論を通し本研究所および外部の研究者が、それぞれさらなる躍進の端緒を得ることである。</p> <p>本ワークショップは一般公開とし、当該分野に興味をもつ研究者や学生に対しても、最新の研究成果について自由に意見が交換できる場を提供する。</p>
H20年12月12日	第2回データ同化ワークショップ	統計数理研究所	15人	同上

§7 結び

逐次データ同化手法の研究を行っているのは国内においては我々チームの数人のみといった状況で研究をスタートしたが、“非”逐次データ同化手法のリーダー的存在である気象庁・気象研究所と合同でデータ同化に関する研究会を定期的で開催するなど、逐次データ同化技術に関しては、本プロジェクトにより日本国内において自他共に認められる存在に成長できた。研究スタート時、チームは若いポストドク研究者集団と言ってもよい編成であったが、最終年度はその中から、准教授一人、講師二人、助教三人が育ち、日本においても唯一と言ってもよい、比較的まとまったデータ同化研究グループを形成できた。これもJST/CRESTの本プロジェクトの支援なしには考えられない。あらためて、JST および領域アドバイザーの先生方に感謝申し上げます。

研究費に関して、研究全体の進捗状況を見ながら研究代表者のリーダーシップで柔軟かつ弾力的に予算執行計画及び執行が可能なCREST制度は、さまざまな競争的研究資金の中で最も研究プロジェクトがやりやすい制度と感じている。データ同化という、シミュレーション領域において専門的研究者がほとんどいない環境下で本プロジェクトはスタートしたため、結果的に研究者を育成しながらのプロジェクト推進となった。そのため、人件費の割合が当初は少なかったが、年次進行とともに我々の啓発活動の影響もあり、ポストドク研究員を複数人、最終年度まで雇用できたことは望外の喜びである。また、購入したクラスターやサーバ等の計算基盤を十二分に活用することにより、本研究所の移転およびスーパーコンピュータのシステム更新という、計算機インフラの点では本プロジェクトにとって障害となる状況をうまく乗り越えられた。開発した可視化ソフトも、さまざまな機会にデモ紹介でき、データ同化の啓発に極めて有効であった。

○メンバーの集合写真（左から：中野、斎藤、吉田、長尾(大)、樋口(研究代表者)、林、藤原、長尾(由)、上野、守尾、井元。右上端から、現在研究所外で活躍中の前 CREST 研究者の石垣(現 産総研)、中村(現 明治大学)、稲津(現 東北大学)）



○アメリカのデータ同化研究を牽引する、アメリカ海洋大気局 NCAR (National Center for Atmospheric Research) のデータ同化研究チームとの意見交換のあとランチをいっしょに。2006年6月。(左端(樋口)、その後ろ(上野)、右端から二人目(中野))



○開発した津波データ同化立体視可視化ソフトを、4Kの大画面で紹介。2007年6月27～29日、産業用バーチャルリアリティ(IVR)展にて。



○開発した可視化ソフトのデモの様子： SC07 (Reno, Nevada, US) にて。2007年11月。(前列中央(中村)、右端(上野))



○2008年5月27日、「CREST12」での展示風景(中村(右)、稲津(左))

