

# プロジェクト名： データ同化による複雑システムの定量的理解と計測デザイン（略称：データ同化）

プロジェクトディレクター： 樋口 知之教授（統計数理研究所）

## 〔1〕 研究計画・研究内容について

### (1) 目的・目標

広範囲な分野の複雑なシステムを対象とする研究の具体的な問題解決に向けた共同研究をとおして、シミュレーションとデータ解析の作業を一体化する手法の高度化と一般化を実現する。あわせて、未適用分野の発掘を戦略的にすすめ、個別科学を横断的につなぐ新しい学問領域を創る。

### (2) 必要性・重要性（緊急性）

コンピュータの計算能力の向上とともに大規模かつ複雑精緻なものとなるシミュレーションモデルと、飛躍的に増大することが予想される観測・計測データの融合技術の開発は急務である。あらゆる研究分野で、シミュレーションが生み出す大量の計算結果をどのように評価するのか、また研究対象に関する多面的網羅的な観測・計測データをシミュレーションモデルの改良にどう生かしたらいいのか、エキスパートがごくかぎられた部分を不完全に考察しているのが現状である。このように、シミュレーションと大量データを連係させる統計数理をないがしろにしてきたことが、あらゆる科学研究の推進のボトルネックとなってきたと言えよう。データ同化はまさにこの問題に真正面から取り組む研究で、その研究の端緒はまだ20年に満たない。そのこともあり、日本においてははまだ統計数理研究所以外に、手法の総合的研究を行っているところがないという、まことに危機的状況である。データ同化技術は、初期投資として高性能の計算機を用意しそれを有効利用することで、コストを下げつつ一方推定精度は向上させる観測・実験システムの提案も可能であり、大規模予算を投入する大型装置や大規模実験の設計においても今後必須の道具となることは確実である。

### (3) 期待される成果等（学問的効果、社会的効果、改善効果等）

学問的効果としては、理論を基礎とする計算推論技術であるシミュレーションと、実験・観測データを基盤とする推測手段であるデータ（統計）解析法の両者を統合する新しい学問体系の構築がまず挙げられる。このようなシミュレーションと大量データ解析を両輪とする学問体系の確立は各個別科学分野において長年の夢であり、その波及効果はシミュレーションを研究手段に用いているあらゆる分野に及ぶ。本プロジェクトは、人間とコンピュータが協調してつくりあげる“データにもとづいて考えるスーパー科学脳”の実現を目指していると言える。

データ同化の分かりやすい目的に、予報を行うための最適な初期条件の探索や、スケールが全く異なる現象どうしをシームレスに連結するシミュレーションモデル内のパラメータ設定がある。これらにより、実はすぐにでも手元のシミュレーションを高性能化することが可能であるにもかかわらず、具体的に限定された計算資源の中でどう工夫したらよいか暗中模索の状態となっている。仮想観測ネットワーク実験や感度解析が可能になるのもデータ同化の恩恵の一つである。社会的ニーズに十分応えるスピードで、さらに限定された研究費内で最大限の知見を獲得する、観測や実験システムの立案が可能となる。時間・経費を節約できる効率的な実験・観測システムを構築することは、納税者である国民の理解を得る上で非常に大切な観点である。

これまでは、シミュレーションのような順問題的に課題を解決する研究者の養成が学術分野の体制であったが、本プロジェクトの推進により、データから理論に遡る、まさに逆問題解決のセンスも兼ね備

えた新しいタイプの研究者の養成が可能になる。これにより、どのようにして取り扱ったらよいか分からない問題に果敢に取り組める人材の育成プログラムを強化できる。

#### (4) 独創性・新規性等

データ同化の計算基盤を与えるのが状態空間モデルにもとづくフィルタリング計算技術で、その研究開発では統計数理研は誇るべき経験と実績がある。研究所内に設置された、予測発見戦略研究センターデータ同化グループは、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研究開発とともに、インパクトのある新規適用分野の開拓を行ってきた。実際に、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る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、“ものづくり”においてデータ同化の研究を開始し、まさに「統計数理研究所データ同化グループが種をまき双葉にまで育て上げた」と言える。データ同化の公開講座を同グループメンバーで平成 20 年度（4 日間連続）と 21 年度（2 日間連続）に開講したが、受講希望人数が多く締め切り前に早々と応募を締め切るなど、非常に好評であった。また現在“データ同化”のキーワードでもってインターネットで検索すると、トップサイトの 3 つは本プロジェクトに直接関連したページである。これらから、データ同化手法の研究を本グループが先導していることを物語るとともに、新規適用分野の開発を含めてデータ同化の総合的研究推進において国内の中心的役割を果たしていることは明らかである。

#### (5) これまでの取り組み内容の概要及び実績

統計数理研究所・予測発見戦略研究センターの平成 15 年 9 月の創設時は、データ同化グループは動的磁気圏モデル研究グループという名を掲げ、大量データにもとづく地球磁気圏の時空間経験モデルの構築を主たる研究目的としていた。平成 16 年 10 月に JST の CREST「シミュレーション技術の革新と実用化基盤の構築」研究領域に、「先端的データ同化手法と適応型シミュレーションの研究」題目で、樋口教授を代表とする同グループメンバーが提案する研究プロジェクトが採択されたため、そのプロジェクトが実質的に動き始めた平成 17 年 4 月にグループ名をデータ同化グループと変更し、研究推進体制を整備した。これまで所長のリーダーシップにより、同グループに研究スペースの配分が優遇されおり、また最低限の基盤的研究費の継続的な支援が行われている。なお、その CREST プロジェクトは平成 21 年度に終了するが、中間評価では高い評価を得ている。

機構内におけるデータ同化の研究は、これまで主に JST/CREST 事業の他には、次世代スパコンの研究開発資金により、理化学研究所を中心に機構外の複数の国内の研究機関に所属する多くの研究者群を巻き込んで行われているアプリケーションソフト開発プロジェクト（「次世代生命体統合シミュレーションソフトウェアの研究開発」）内で、生命体データ同化技術とアプリケーションの開発が行われている。その開発も統計数理研究所が担当している。これに対して、第 1 期の新領域融合研究センターの活動としてのデータ同化の研究は統数研との共同研究が、融合プロジェクト「機能と帰納」により国立極地研究所と、また育成融合プロジェクト「デジタル細胞を利用した仮説発見」により国立遺伝学研究所と小規模に行われているのが現状である。

#### (6) 国内外における関連分野の学術研究の動向

データ同化にはオンライン型（逐次データ同化と呼ばれる）とオフライン型（非逐次データ同化）がある。非逐次型データ同化は比較的昔（1990 年代中頃）から欧米の気象・海洋学の現業機関を中心に研究開発が進んできており、国内においては JAMSTEC と気象庁がその中心的存在である。一方、統計数理研究所のデータ同化グループは、オンライン型である逐次データ同化手法の研究とその応用を行って

いる。同グループは、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てきた。このような研究を行っているのは国内では同グループのみであったが、気象庁にて逐次データ同化手法の一つであるアンサンブルカルマンフィルタを用いた予報の現業化が始められつつあることからしても、逐次データ同化技術の有効性は国内においてはようやく認められてきたと言えよう。また、大気海洋結合モデルへのアンサンブルカルマンフィルタの適用は同グループが世界初であったが、同様のデータ同化研究は、中国科学院とアメリカ大気研究センター（NCAR）でも進められている。

## 〔2〕 研究計画

### (1) 全体計画

テーマ	22年度 (予備研究)	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
研究体制の編成	←→					
情報収集・整理	←→	→				
研究会・ワークショップの開催	←					→
研究体制の見直し			←→	→		
数理・計算チーム	←					→
モデリング、データデザインチーム	←					→

### (2) 各年度の計画

#### 平成 22 年度（予備研究・プロジェクト開始）

機構内の協力体制の強化と、機構外のデータ同化研究関連者の研究プロジェクトへの呼び込みのために、シンポジウムを開催する。統数研メンバーを中心とするモデリングチームが、このワークショップ開催準備を担当しつつ、データ同化手法のさまざまな分野への適用可能性に関する調査を行う。また遺伝研と極地研メンバーを中心にデータデザインチームを立ち上げ、計算機環境と予算を鑑みて、4～5年以内にデータ同化実験として有効なデータ獲得（観測）の戦略立案をモデリングチームと連携して行う。数理、計算チームは、実質的に研究推進を担当するポスドクの確保状況をふまえて、モデリングチームとデザインチームをサポートする体制を整える。データ同化研究プロジェクト事務局を統数研内に設置する。

#### 平成 23 年度

データ同化に関する国際会議を隔年毎に、また国内ワークショップを毎年開催する。数理・計算チームは超高次元アンサンブルベース同化手法の数値的問題点の解決に取り組む。あわせてアクセラレータを用いた粒子フィルタの高速化に注力する。グローバル MHD シミュレーションモデルの境界パラメータとして使うため、観測データを収集する。システムモデル・状態空間モデルの構築が完了し次第、データ同化のための初期実験を行う。PANSY での電離圏観測に先立って、統計モデルを用いた多チャンネル信号からの信号分離アルゴリズムの開発をすすめ、実運用に結びつける準備研究を行う。データデザインチームはデータ獲得作業を本格的に開始する。得られたデータは随時適切なレベルのデータ同化手法をパイロット的に適用し、主にモデルの改良や定量データの取得方針の改善につなげる。データ同化研究プロジェクト事務局は、NOE 構築のための各機関との連携協力作業をすすめる。

## 平成 24 年度（中間評価）

数理・計算チームはデータデザインチームと連携し、獲得したデータを用いたデータ同化実験を開始する。同時に超高次元確率ベクトルを持つ、データ同化用統計モデルの評価に関する数値的問題を研究する。アクセラレータを用いた簡便・経済効率的なデータ同化システムのプロトタイプを構築する。併せて、超並列（マルチコア）アンサンブルベース同化計算アルゴリズムの開発も進める。研究体制の見直しのために、国内ワークショップ等にデータ同化の実務経験者を招待し、データ同化実験（観測）の進め方について意見をいただく。モデリングチームは、グローバル MHD シミュレーションモデルへのデータ同化にむけて初期実験を完了する。初期実験結果と観測データを比較し、状態空間モデル内のパラメータ、誤差の評価を行う。評価にあたっては磁気圏-電離圏結合モデルの専門家から意見をいただく。解像度の向上とダイナミクスの抽出を可能とする状態空間モデルを構築し、これまで精度の高い観測が難しかった大気乱流にかかわる物理量の信頼度の高い推定値を得ることにより、データ同化結果の質の向上に結びつける。データデザインチームは、引き続きデータの取得とデータ同化への適用を行う。データ同化研究プロジェクト事務局は、引き続き各機関との覚え書き（諸外国とは MOU）締結作業などの研究連携作業をすすめる。

## 平成 25 年度

国内外のデータ同化実務機関を巻き込み連携・協力してデータ同化に関する国際会議を開催する。この国際会議に内外のデータ同化に関する識者を招待し、中間評価を実施する。数理・計算チームは、データ同化のアイデアを取り込んだ階層的シミュレーション法の研究に取り組むとともに、簡便・経済効率的なデータ同化システムの実問題への適用による評価と、超並列計算機へのアルゴリズムの実装もあわせて行う。モデリングチームは、グローバル MHD シミュレーションモデルへのデータ同化に使われる状態空間モデルや誤差について、モデルのパラメータと誤差の重みづけを再検討する。初期実験結果と観測データとの比較により、同化システムの改善を目指す。高分解能 4 次元モデルへの同化手法の開発を本格的に開始する。データデザインチームは、前年度のデータ同化実験の進め方の検討結果にもとづき、データ獲得（観測）を大規模に行う。さらには同年度までの解析結果を小括し、対外発表などを通じて他の系への応用可能性を探る。

## 平成 26 年度

数理・計算チームはデータ同化型階層的シミュレーションアルゴリズムの超並列計算機上での実装実験を行う。同チームはあわせて、簡便・経済効率的なデータ同化システムを完成し一般に公開する。モデリングチームは、初期実験結果から改善された同化システムをグローバル MHD シミュレーションモデルに実装する。データ同化によって再現される磁気圏構造の変化、電離層電流について、サブストームの専門家から意見をいただく。大気レーダー観測データの輸送問題に関しては、極地研を中心とする既存の観測ネットワークを持つ機関との連携も図る。データデザインチームは、前年度からの大規模なデータ獲得を引き続き行うとともに、数理・計算チームと合同でデータ同化実験結果の多面的かつ慎重な検討を行い、データ同化実験用のデータセットとしての完成度を高めることに注力する。

## 平成 27 年度

数理・計算チームは、開発した理論、アルゴリズムをまとめた報告集、可能であればデータ同化理論の教科書を出版準備する。一般公開したシステムの不具合等の修正を行う。あわせて、データ同化実装に関するノウハウ等をまとめたウェブサイトを構築する。そのサイト、あるいは統合データベースセンター等で、獲得（観測）したデータ同化実験用のデータセットを公開する。モデリングチームは、グロー

バル MHD シミュレーションモデルに同化システムを実装し運用する。同化モデルと、非同化モデルについて 3D 可視化ツールによる比較を行う。比較結果はウェブサイト公開し、データ同化のインパクトを一般にアピールする。また、グローバル MHD シミュレーションの外部境界（太陽風-磁気圏）、内部境界（磁気圏-電離圏）を支配する力学モデルについて新しい発見があればこれを学会で発表し、他の研究者と意見を交換する。局所的な観測データと、世界各地あるいは極域において既存の観測ネットワークによる広域データとを融合させることにより、乱流スケールでの 4 次元データ同化を試みる。データデザインチームは、成果公開を通じてデータ同化手法の生命科学分野、特に定量イメージングデータを利用した発生細胞生物分野への普及・発展に努める。

### 平成 28 年度以降の展開

数理・計算チームでは、この時期には既に本格化していると思われる「ポストペタスケール」あるいは「エクサスケール」コンピューティングの潮流に合わせ、本プロジェクトで開発した超並列計算機用のソフトウェアや計算技術を大幅に改良することを目指す。さらには、現在の計算機リソースをもってしてもデータ同化を実施することが困難な超大規模問題について、解決することが可能かどうかを検討する。

モデリングチームでは、本プロジェクトで得たノウハウ・成果をもとにグローバル MHD シミュレーションモデルだけでなく、他の太陽圏・磁気圏・電離層モデルへの同化システムの実装を試みる。また、将来は多くの大学や研究機関がより多くのグリッド数、パラメータ数の大規模シミュレーションや多点観測網の構築に着手するであろうことを見据え、データ同化によるシミュレーションモデルの改良に貢献するとともに、データ同化による仮想観測ネットワーク実験や感度解析を行うことにより、限られた研究費で最大限の知見を獲得する効率的な実験・観測システムの立案と構築に貢献する。さらに、大気レーダーを用いた物理パラメータの抽出では、光学観測データの知能的解析による高分解能データとの有機的結合を進める。また、リアルタイムモデル同化による結果を観測システムにフィードバックすることにより、適応的に最適な観測スキームを構築する技術を検討する。これらにより、さらに進化したデータ同化に基づく観測・解析手法が生まれることが期待される。

データデザインチームは、それまでの成果を分析し、データ同化手法が効果的な問題設定、対象を体系化する。その結果を踏まえて、データ同化手法を駆使して発生細胞生物学の問題に取り組む。チーム外の生物研究者と積極的に連携し、データ同化手法導入の助言を行う。また、そのようにデータ同化手法を取り入れた生物研究者を集めて研究会を開催するなど、普及・発展に努める。

## [3] 研究推進・実施体制

研究代表者

〔統計数理研究所〕 樋口知之

共同研究者

〔統計数理研究所〕 佐藤整尚、上野玄太、吉田 亮、中野慎也、長尾大道、齋藤正也、井元智子、  
齊藤正也、林 圭佐

〔国立情報研究所〕 三浦謙一

〔国立遺伝研究所〕 相賀裕美子、木村 暁、大久保祐亮、佐々木伸雄、小山宏史

〔国立極地研究所〕 門倉 昭、宮岡 宏、小川泰信、田中良昌、元場哲郎、中村卓司、堤 雅基、  
富川喜弘、山内 恭、山岸久雄、西村耕司

〔東北大学〕 太田雄策

〔東京大学〕 宮野 悟、佐藤 薫

〔千葉大学〕	中田裕之
〔名古屋大学〕	海老原祐輔、藤井良一、三好由純
〔京都大学〕	宮崎真一、佐藤 享
〔岡山大学〕	村上 章
〔山口大学〕	松野浩嗣
〔九州大学〕	田中高史、河野英昭、広瀬直毅、吉川顕正
〔長崎大学〕	万田敦昌
〔JAMSTEC/ESC〕	松岡大祐
〔気象大学校〕	藤田 茂
〔情報通信研究機構〕	村田健史、中溝 葵

#### 〔4〕 研究の進捗状況

（数理・計算チーム）

数理・計算チームでは、(1)データ同化によってシミュレーションと観測データを「つなぐ」際のエンジン部分となる逐次ベイズフィルタの発展研究、(2)統計計算プログラムを社会に還元するためのクラウドコンピューティングサービスシステムの構築、および(3)データ同化の結果を可視化するためのソフトウェアの開発を中心に、平成 22 年度の研究開発を実施した。(1)においては、神戸ポートピアアイランドに建設中の京速コンピュータ「京」のネットワークトポロジーである 3 次元トラス構造を意識し、粒子フィルタ法におけるノード間の粒子交換を効率的に実施するための技術を開発した。また、シミュレーションモデルに含まれるパラメータの事後分布を粒子フィルタ法によって高精度で得るため、「京」上で動作させることを前提に開発中の生命体データ同化システムソフトウェア LiSDAS に MCMC 法の一つである Adaptive Direction Sampling 法を実装し、理研が所有する 8192 並列の分散型超高並列計算機システム RICC においてテスト実行した。(2)においては、カルマンフィルタによる時系列解析システムとして 10 年以上の実績がある WebDecomp に続き、粒子フィルタによる多変量時系列解析システム CloCK-TIME を新たに開発した。(3)においては、統計数理研究所と極地研究所の融合研究と関連の深い「バーチャルオーロラ」を継続的に発展させたほか、統計数理研究所と遺伝学研究所の融合研究と関連する細胞科学のための可視化ソフトウェア「4-Dimension Cell」を新たに開発した。

なお、データ同化に関する 10 件を超える研究会、ワークショップ、セミナー等を企画・開催した。特に 2011 年 3 月 11 日に統計数理研究所で開催されたデータ同化研究開発センター設立記念シンポジウム「データ同化：計測と計算の限界を超えて」が大規模なものであった（開催中に東北地方太平洋沖地震が発生したが、講演は予定通り行われた）。

それぞれの研究の詳細について、以下に報告する。

##### (1) 超高次元粒子フィルタ技術の高度化

大規模並列計算機において大量の粒子を用いた粒子フィルタを実行する場合、リサンプリング時に発生するノード間のデータ交換を効率的に実行する必要がある。通常の実装では、リサンプリング時のノード間通信は任意の 2 ノード間でランダムに発生するため、並列化が困難で、特に高並列度で計算する際には、著しい速度低下の原因となり得る。また、「京」のようなトラス型ネットワークで構成される並列計算機で実行する場合には、離れたノード間の通信が頻繁に発生する可能性があり、計算ノード間のネットワークにも大きな負荷を掛けることになる可能性もある。

並列計算機で効率的に粒子フィルタを実行する方法として、計算ノードを幾つかのグループに分割し、グループごとにリサンプリングを行うという方法が提案されている。グループ化を行うと、粒子の移動に必要なノード間通信は、グループごとに並列に実行できるため、計算効率を大きく向上させることが

できる。我々は、このグループ化の考え方に基づき、「京」のトーラス型ネットワークトポロジーを想定して、図1に示すような2種類のグループ分けパターンを交互に切り替えるというアルゴリズムを考案した。図1では2次元トーラスネットワークを想定して、各グループを $2 \times 2$ の4ノードで構成した例を示しているが、3次元トーラス構造を活用する場合には $2 \times 2 \times 2$ の8ノードで各グループを構成するようにすれば、同じ考え方を適用できる。このように各グループをトポロジー上の近接するノードたちで構成することで、遠隔ノード間の通信を抑えることができる。また、このようなグループパターンを考えると、わずか2種類の通信用テーブルを用意しておけば、何回かリサンプリングを繰り返すことで、それぞれのノードが持っている情報を全体に伝播させることができるという利点もある。

この方法の有効性を検証するため、実際に簡単なモデルへの適用も試みた。表1は、グループを構成するノードの数を変えて、真の値がわかっている問題(双子実験)に適用した結果である。ここでは、1ノードあたりの粒子数を固定し、ノード数を増加させていくと、それに伴って粒子数も増えるという設定の下で実験を行った。通常の粒子フィルタでは、表に示すように、粒子数を増やすと推定性能(ここでは、平均自乗誤差の平方根を推定性能の評価に用いる)は向上するが、莫大の計算時間が必要とされるようになる。しかし、本研究で提案した方法では、少数ノードを用いた場合とほぼ同程度の計算時間で、通常の粒子フィルタとほぼ同じ推定性能が実現されている。これにより、大規模並列計算を用いて従来にない高次元システムの状態推定を行うための基礎技術が確立できたと言える。

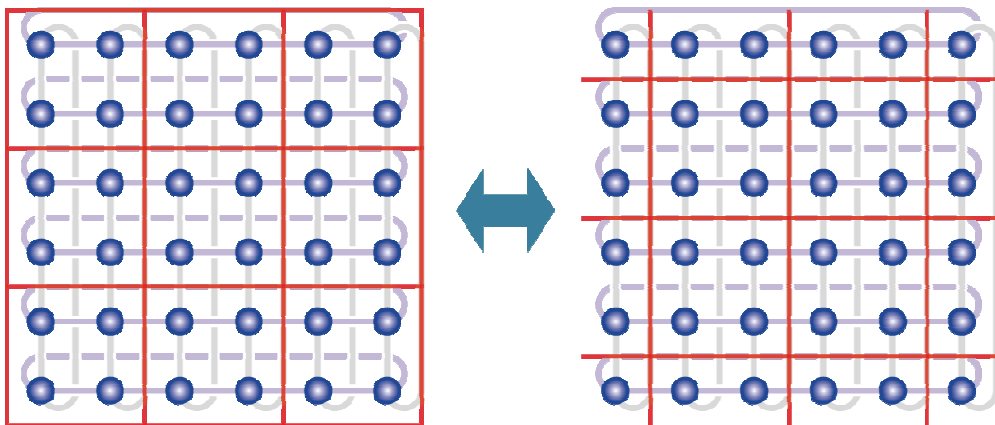


図1: トーラス型ネットワークトポロジーにおける2種類のグループ分け法。

PEs	粒子数	通常の粒子フィルタ		本研究の実装	
		RMSE	経過時間	RMSE	経過時間
4x4	65536	0.92	01m34s	0.94	00m54s
8x8	262144	0.85	04m56s	0.86	00m59s
16x16	1048576	0.81	18m41s	0.81	01m02s
32x32	4194304	0.79	73m54s	0.80	01m04s

表1: グループに属するノード数を変化させた場合の、本研究で提案する手法と従来の手法との性能比較。

### 1. MCMC を用いた時不変超高次元パラメータ推定技術の開発

LiSDAS に実装されている非逐次型データ同化法による時不変超高次元パラメータの推定をより強化するために、MCMC 法の一つである Adaptive Direction Sampling (ADS) 法をプラグインする予備実験を行った。図2に、ADS 法の原理および分散型並列計算機上での実行に関する概念図を示す。ADS

法の特徴の1つとしては、各子ノード内で事前分布からサンプリングする粒子数が数個程度とごく少数であることが挙げられ、これによりメトロポリス法による目標分布（ここでは事後分布）への収束を非常に迅速に達成することができる。事後分布に十分収束させた後は、必要な粒子数が確保できるまで粒子を増殖させる。増殖中、メトロポリス法のステップごとにサンプリングを実施してしまうと相関が出てしまう。そのため、通常は数ステップ分の粒子を捨てるという操作を実施するが、本法では粒子を親ノードに一旦集めて子ノードへ再配分するという操作を頻繁に挿入することにより、効率的にサンプリングすることができる。逐次計算が基本となるMCMC法の中であって、ADS法は各子ノード内でほぼ独立にメトロポリス法を実施するため、並列計算機に適した手法であると言える。

H22年度は、ADS法の推定性能を評価するための数値実験を、哺乳類動物の概日周期に関する転写制御ネットワークモデルをテストケースとして実施した。図3は、シミュレーションモデルとなるMichaelis-Menten方程式に含まれる各モデルパラメータについて設定した事前分布、およびADS法を適用して得られた事後分布である。後者については、メトロポリス法での反復回数によって色分けしてあるが、上述した原理通り、かなり早い段階で収束していることが確認できる。図4は、事後分布を最大にするパラメータセット（MAP解）から復元されたシミュレーション時系列を、マイクロアレイ実験で得られたmRNAの観測データと比較したものである。これまでに実施した1億個の粒子を用いたショットガンサーチで得られた最尤パラメータから復元されたシミュレーション時系列と比較したところ、観測データをより良く説明する方向に改善できることが確認できた。ただし、予め良いと分かっているモデルパラメータから復元された時系列と比べると、観測時系列の再現性はおよぼ、さらなる手法の改良が必要であることも明らかになった。

ADS法による詳細なパラメータ推定が可能になれば、構造学習を用いたモデル改良の際に有力な情報を与えることができると期待される。また、パラメータ数が数千にも及ぶような大規模モデルについても「京」上で適用できるように、MPIとOpenMPによるハイブリッド並列化や、ネットワークトポロジーを意識した通信効率化アルゴリズムの開発とその理論的解析を行った。

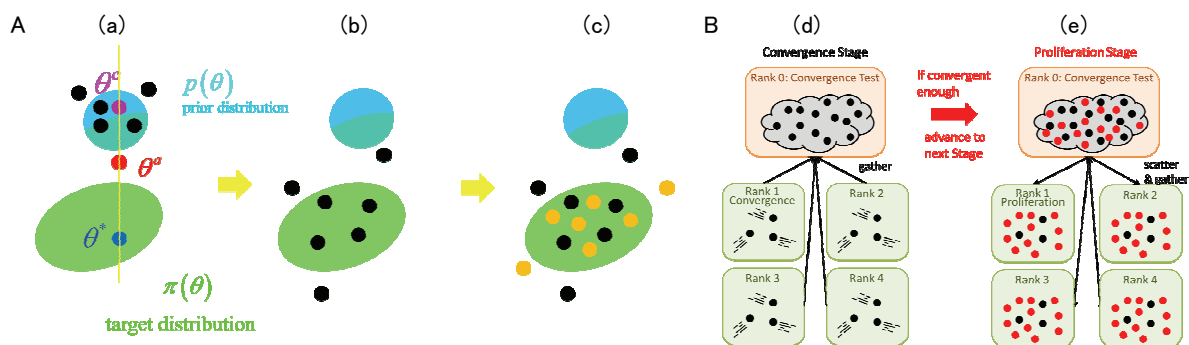


図2: [A] ADS法の原理および[B]並列計算機上での実行方法の概念図。(a)事前分布 $p(\theta)$ (青)からサンプリングされた少数のパラメータセット $\theta$ の実現値「粒子」を、(b)メトロポリス法によって目標分布 $\pi(\theta)$ (緑、ここでは事後分布)に収束させる。(c)その後、十分な粒子数が確保できるまで増殖させる。(d)メトロポリス法による目標分布への収束は子ノード内で実行し、(e)粒子の増殖は、親ノードを介した集約と再配分を繰り返しながら子ノード内で実行する。



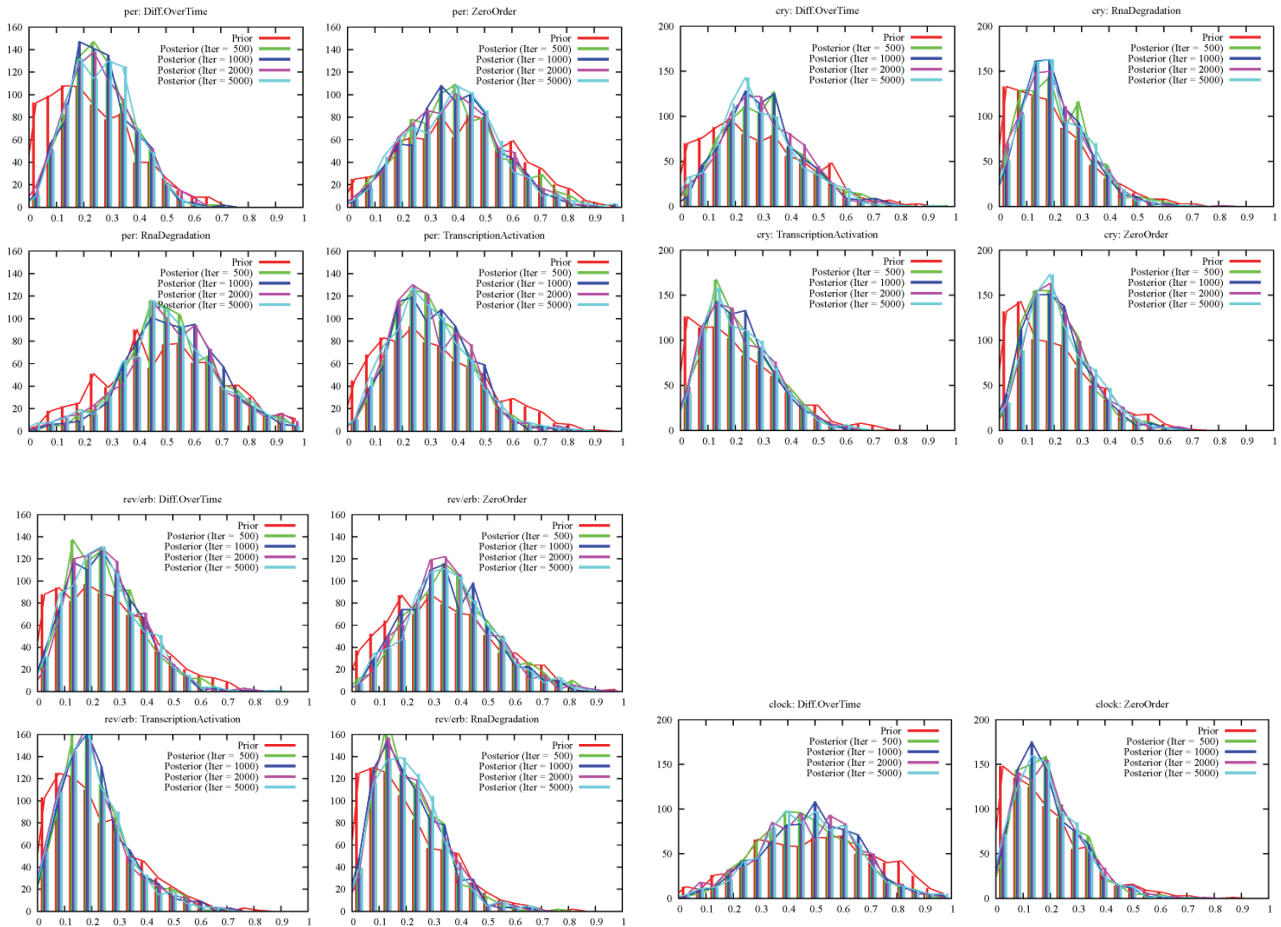


図 3: シミュレーションモデルに含まれる各パラメータの事前分布(赤)および ADS 法によって得られた事後分布。反復回数を色分けで示してある。

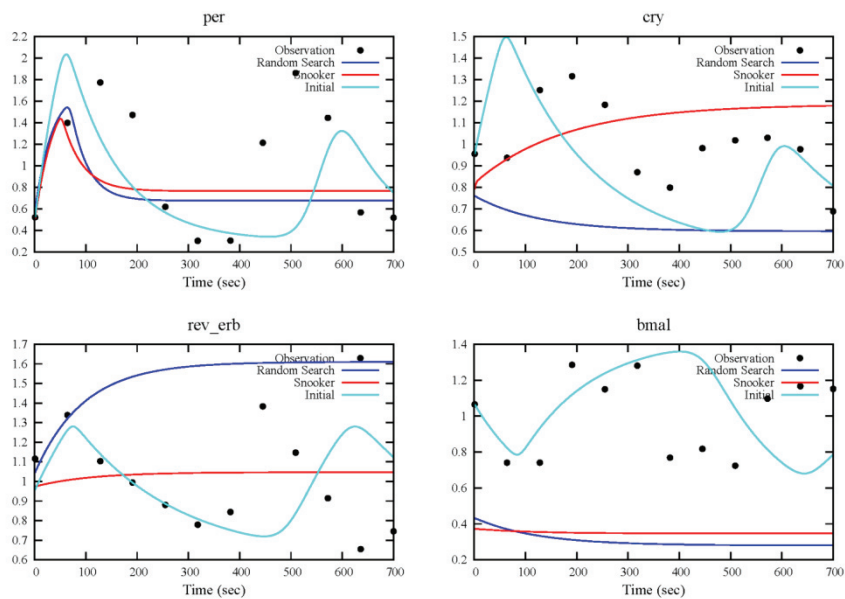


図 4: マイクロアレイ実験によって得られた mRNA の発現量時系列データ(黒)、ハンドチューニングで得られた最適パラメータから復元されたシミュレーション時系列(水色)、ショットガンサーチによって得られた最尤パラメータから復元された時系列シミュレーション(青)、および ADS 法によって得られた事後分布を最大にする MAP 解から復元されたシミュレーション時系列(赤)。

## (2) クラウドコンピューティングサービスのための多変量時系列解析システム CloCK-TiME の開発

High Performance Computing (HPC) 分野においては、ここ数年間の潮流であった地球シミュレータや次世代スーパーコンピュータに代表されるような理論性能が数 PFlops ないし数十 PFlops に及ぶ単体システムの開発は非常に高価であるため、比較的安価に高い理論性能が得られる GPU を科学計算に積極的に利用したり、ネットワークを介して各研究機関のスーパーコンピュータを繋ぎ、超多並列計算を実現するためのクラウドコンピューティングシステム (CCS) を構築しようとする機運が高まり始めている。一方で、ベイズ的アプローチによる時系列データ解析の需要はますます高まっており、膨大な計算量を捌くためにこれらの HPC 環境を積極的に利用することが当然考えられる。しかしながら、計算の精度、コーディングの手間、および計算時間の 3 つのバランスをいかに取るかは、ベイズ的時系列解析においては常に付き纏う問題であり、特に非ガウス分布を採り入れた多変量解析では非常に大きな計算コストを要求されるため、手間のかかるシステムやコーディングは敬遠されがちで、ベイズ的アプローチ自体を諦める研究者も少なからずいるのが実情である。そのため、並列計算機上で時系列解析をなるべく手軽に実施することができるプラットフォームを提供することは、非常に重要であると考えられる。このような最近の研究動向を受け、本研究では、クラウドコンピューティングシステム (CCS) にインストール可能な、粒子フィルタを基盤とする時系列解析ソフトウェア“CloCK-TiME” (Cloud Computing Kernel for Time-series Modeling Engine) を開発した (図 5)。本ソフトウェアでは、Flash ベースのユーザインターフェース (図 6) を介して入力された多変量時系列データを、粒子フィルタ (Rao-Blackwell 化された粒子フィルタに改修予定) を利用してトレンド成分、季節成分、自己回帰成分、観測ノイズ成分に分解することにより、基礎的な時系列解析を実行することができる。ユーザは、各成分のシステムモデル、粒子数、システムノイズの分布形状等を設定することが可能であり、計算結果をユーザインターフェース上に表示させることも、画像ファイルとしてダウンロードすることも可能である。粒子フィルタにおいては、推定精度を高めるためには粒子数を増やす必要があるが、本ソフトウェアは並列数を必要なだけ増やすことを可能にするという CCS の理念に沿っているため、容易に実現可能である。

本ソフトウェアは、統計数理研究所 データ同化研究開発センターから公開を開始した (図 7)。

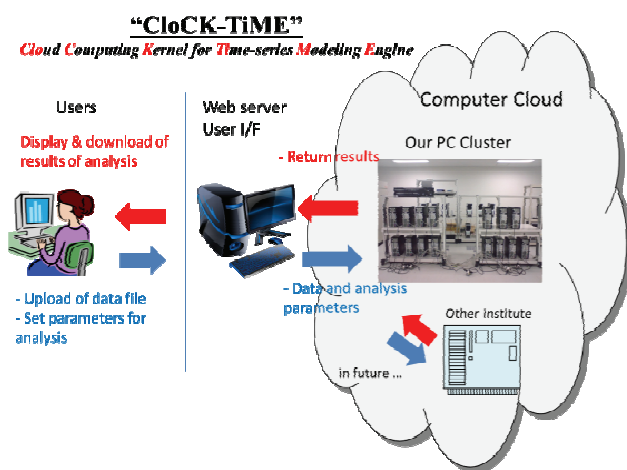


図 5: CloCK-TiME のシステム概念図。

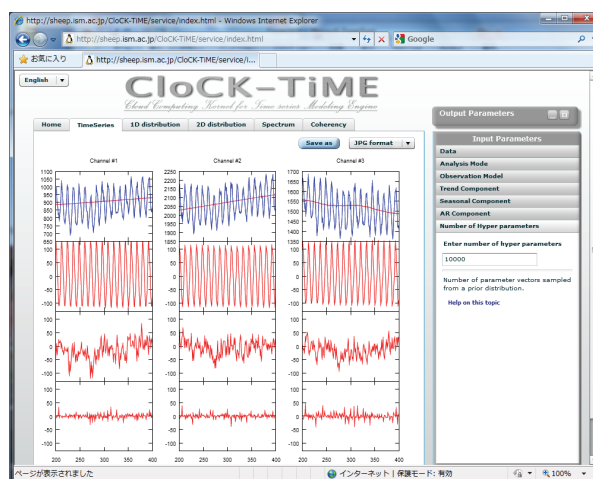


図 6: CloCK-TiME のユーザインターフェース。



図 7: CloCK-TiME トップページ。  
<http://sheep.ism.ac.jp/CloCK-TiME/index.html>

### (3) データ同化の結果を可視化するためのソフトウェア開発

細胞科学におけるデータ同化の結果を可視化するためのソフトウェア「4-Dimension Cell」を、統計数理研究所 データ同化研究開発センターと国立遺伝学研究所 細胞建築学講座の共同で開発した。本ソフトウェアは、細胞力学分野の研究で得られた結果を AVS/Express を用いて可視化することにより、データ同化法等の統計学的手法を適用するためのプラットフォームを提供し、細胞科学と統計学の融合による高精度な細胞モデルを構築することを目的とする。具体的なターゲットとしては、(1)線虫初期胚の細胞分裂時における細胞膜の力学的性質の時空間分布の可視化 (図 8)、(2)線虫初期胚の細胞分裂直前における細胞質流動の可視化 (図 9)、および(3)細胞内における遺伝子転写制御ネットワーク構造の可視化 (図 10) の 3 つを選んだ。(1)においては、細胞分裂時の特に収縮管付近において、細胞膜の硬さが劇的に小さくなる現象を表現することに成功した。本ソフトウェアでは、細胞膜の複数の力学的性質を同時に可視化する機能を有しており、細胞分裂時の細胞膜の物理的振る舞いを多角的かつ視覚的に理解することができる。(2)においては、細胞質流動の粒子法シミュレーションによって得られた 3 次元速度場と、PIV 法によって得られた 2 次元速度場の観測データを同時に可視化できるようにした。今後、データ同化法によってシミュレーションと観測データをつなげることにより、より高精度のシミュレーションモデルを構築することが期待できる。(3)については、哺乳類の概日周期モデルをはじめ、任意の遺伝子制御ネットワークモデルを可視化することが可能である。遺伝子やたんぱく質等のネットワークを構成する各コンポーネントを自動的に配列し、視覚的に美しく見せるための機能の実装については、数学的に非常に難しい問題を含んでいるため、これは今後の課題となる。

本ソフトウェアは、ユーザが複数のデータファイルを予めデータベースに登録しておき、必要に応じて任意のデータファイルをロードした上で、可視化パラメータを徐々に変えながら、視覚的に最も美しい動画ファイルを柔軟に作成する機能を有する。なお本ソフトウェアは、所外の関連研究者にも幅広く利用してもらうことを目的に、統計数理研究所 データ同化研究開発センターの外部公開用サーバ <http://sheep.ism.ac.jp/4DCell/index.html> から公開を開始した (図 11)。

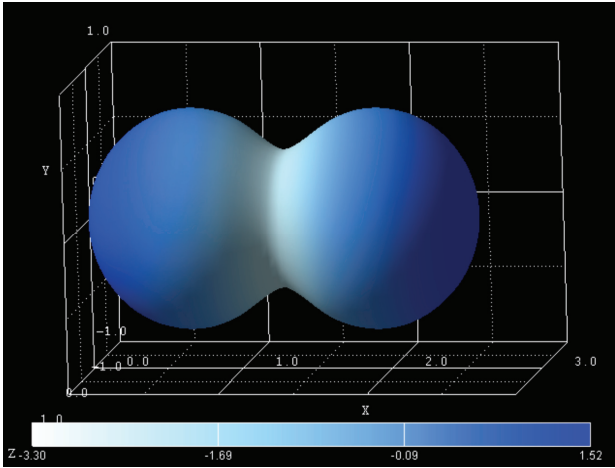


図 8: 線虫の細胞分裂の可視化

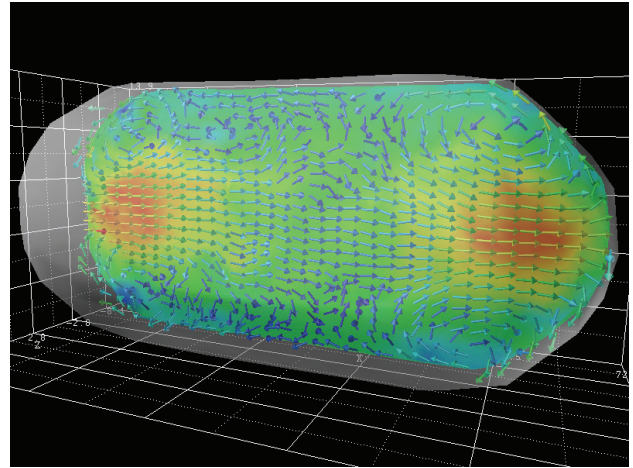


図 9: 線虫の細胞質流動の可視化

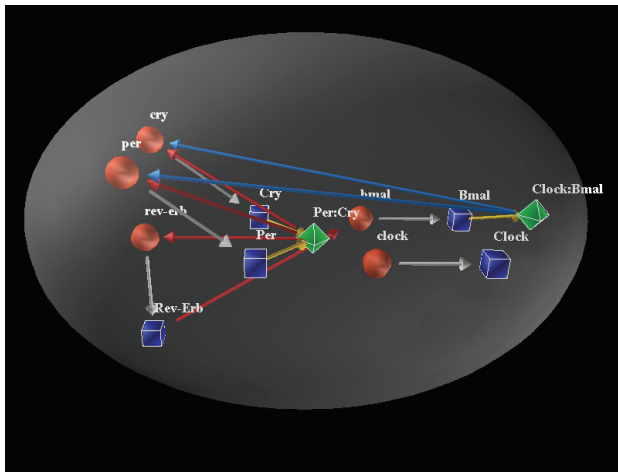


図 10: 遺伝子転写制御ネットワーク構造の可視化

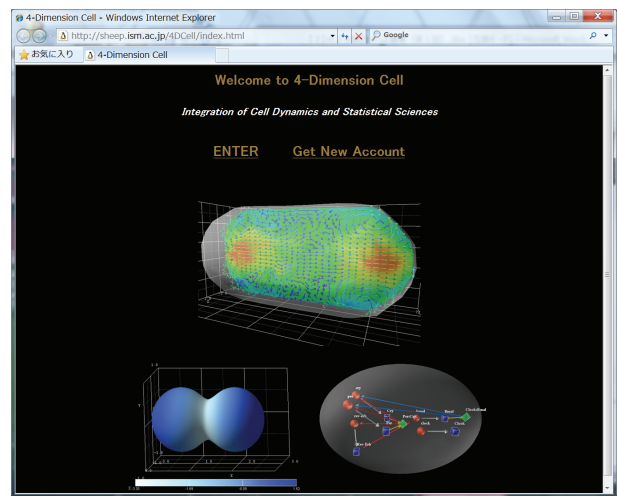


図 11: 4-Dimension Cell 公開ホームページ

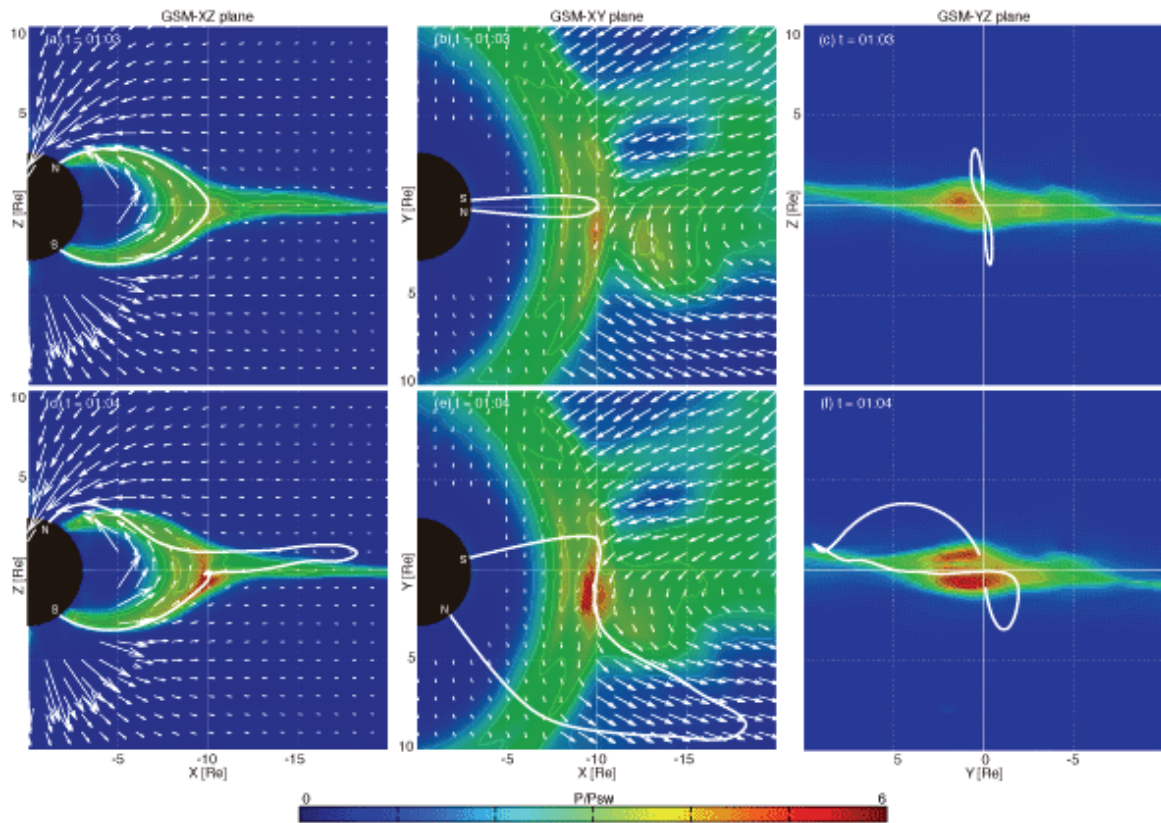
またモデリングチームとの共同研究において、新領域融合研究センターの育成研究課題として開発し、平成 22 年度も様々な機能を追加した 3D 可視化ツール「バーチャルオーロラ」を使った磁気圏シミュレーション結果の可視化を実施し、サブストームの発達をモニターしながらデータ同化により磁気圏物理量が変動する様子を解析した（詳細は、6.主な研究成果の(3)データ同化の項目を参照）。

〈モデリングチーム〉

モデリングチームでは、(1)グローバル MHD シミュレーション、(2)大気レーダーを用いた大気物理パラメータの抽出、の具体的課題にデータ同化手法を適用し、その有用性を実証する研究を進めた。

(1) グローバル MHD シミュレーション

地球磁気圏シミュレーションへのデータ同化の導入のため、現行の非同化モデルによるシミュレーションについて調査した。その結果、オーロラ発生時の磁気圏におけるプラズマ圧の増加、背景磁場の減少、電流の急激な増加、などの複合的な効果が地球の磁力線を大きく歪めていることが明らかになった（次ページの図）。今後は地球周辺の磁場や電流の変化に注意しながらデータ同化研究を進める。



この磁気圏シミュレーション結果の解析では、新領域融合研究センターの育成研究課題として開発した 3D 可視化ツール「バーチャルオーロラ」を用いて、サブストーム発達過程を可視化ツール上でモニターしながらデータ同化により磁気圏物理量の変動の様子を解析した。平成 22 年度においても「バーチャルオーロラ」ソフトの開発を継続し、物理量を投影する断面形状を追加するなど改良を加えた。

さらに、地球磁気圏シミュレーションモデルのデータ同化を目指し、オーロライベントの選定を開始した。データ同化に用いる定量的なオーロラ観測データ取得の目的で、昭和基地の地磁気共役点に位置するアイスランド観測点において、昭和基地と同規格の観測機器の設置、保守を行った。南北両半球から長い時間同じ形のオーロラを観測し、シミュレーションとの比較が容易なイベントを見つけた。今後はこのイベントについて、シミュレーションモデルの境界パラメータとして電離層電気伝導度の観測データを収集する。また、データ同化のためのグローバル MHD シミュレーションモデルの構築に着手し、システムモデル・状態空間モデルの構築を完了し次第、データ同化のための初期実験を行う。

## (2) 大気レーダーを用いた大気物理パラメータの抽出

大気レーダーデータから最重要パラメータである風速を高精度に抽出する新しい解析手法を開発した。レーダー観測では、原理的にフレネル散乱面の傾き、アスペクトセンシビティや屈折率の空間ゆらぎの影響により、散乱中心に誤差が発生し、水平風速に比較して 1 桁小さい鉛直風速の推定において大きな問題となることが知られている。本年度の研究では、多チャンネル観測信号の適応合成を行うことにより、散乱中心を適応的に所望方向へ指向させることにより、散乱構造に関係なく、高精度に所定の方向射影成分を測定することに成功した。これにより、数 cm 毎秒程度が測定限界とされていた風速の推定精度を解析的に約 10 倍向上させ、数 mm 毎秒オーダーの推定を実現する見通しを得た。

## 〈データデザインチーム〉

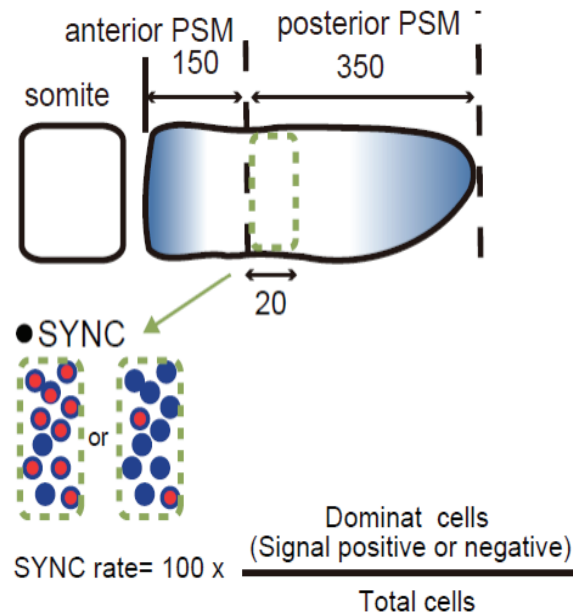
データデザインチームでは、4 つの生命現象に着目して定量データを取得し、発生細胞生物分野にデ

ータ同化手法を適用・普及させるための礎となる研究を展開することを目標としている。4つの生命現象とは、(1)マウスの体節形成、(2)マウスの精子形成、(3)線虫の細胞質分裂、(4)線虫の細胞質流動、である。

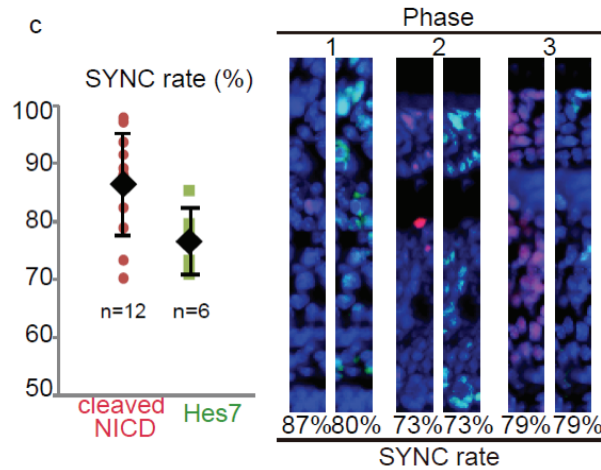
(1) マウス 体節形成をモデルとしたデータ同化解析

マウスの発生過程で形成される体節は、我々脊椎動物の分節構造の基盤となる節構造である。前駆細胞は尾部に存在する幹細胞から由来する未分節中胚葉とよばれる細胞群である。これらの細胞はそれぞれの細胞が時計を持っており、マウスにおいては2時間という一定の時間間隔で細胞集団が分節構造を形成する。我々はこれらの細胞の時計を同調するメカニズムを明らかにしたいと考えて研究を進めている。今年度は、野生型細胞と変異体細胞を用いたキメラにおける時計遺伝子の発現を定量的に取得し、それらをもとにコンピューターシミュレーションによるモデル化を試みる。

まず体節形成過程における時計の同調率を定量化する方法を以下のように設定した。同調率は、時計遺伝子 *Hes7* の発現及び時計遺伝子によって制御される Notch シグナルの活性化状態を測定対象として計測した。



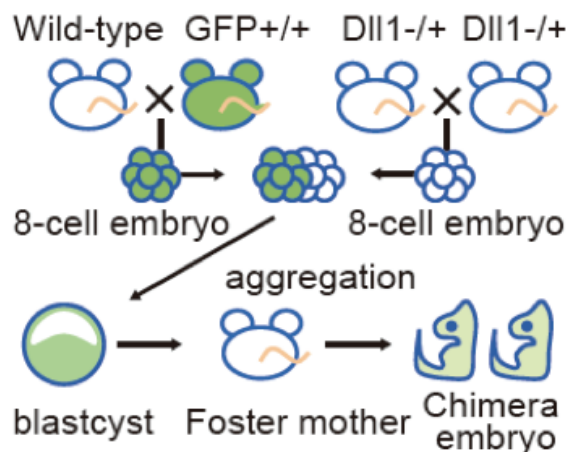
体節の未分節中胚葉 (PSM) 部分 (全体を 500 ピクセルとして表示する) を前方部 (150 ピクセル) と後方部 (350 ピクセル) に分けて、同調率は後方部の前方部 20 ピクセル分のシグナルで測定した。具体的には、この範囲でシグナルがポジティブかネガティブの細胞数をカウントし、多い方を全体の細胞数で割り、同調率とした。この計算法だと、最低 (ランダムな場合) が 50% で最高 (完全同調) は 100% になる。



これは野生型の胚における同調率である。時計が振動するので、3つの phase で異なったパターンになるが、同調率は安定している。

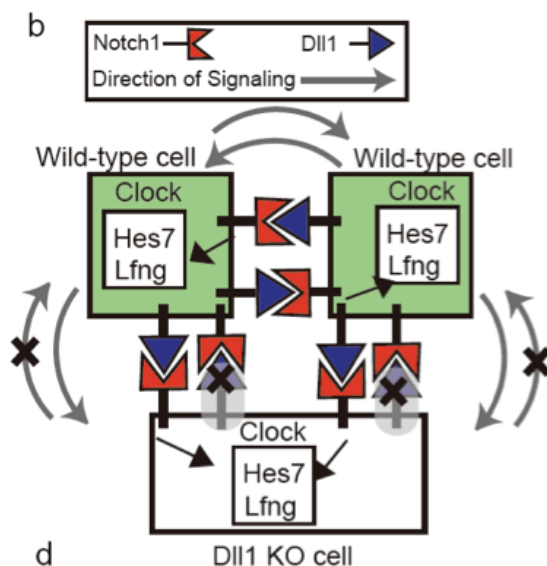
さて、マウスの時計機構には Notch シグナルをインプットとするシグナルが重要な機能をもっているが、我々は時計の同調化にも Notch シグナルが関与すると考えた。しかしながら、Notch signal は時計遺伝子の発現自身にも影響を与えるため、この乱れが、体節時計の異常によるものなのか、同調性の乱れによるものなのかを判断できない。この問題を克服するために、GFP で標識した野生型細胞と Notch リガンドである Delta like 1(Dll1)のノックアウト細胞からなるキメラ胚を解析した。

以下が具体的なキメラ作成法である。我々は8細胞期の胚を凝集させてキメラを作成する。野生型胚は GFP でラベルする。変異体は 2 種類の異なった遺伝子型(allele)を持ったヘテロ接合体同士を交配してホモ接合体胚を調整する。この時同時に得られる野生が体あるいは、ヘテロ接合体がコントロールになる。

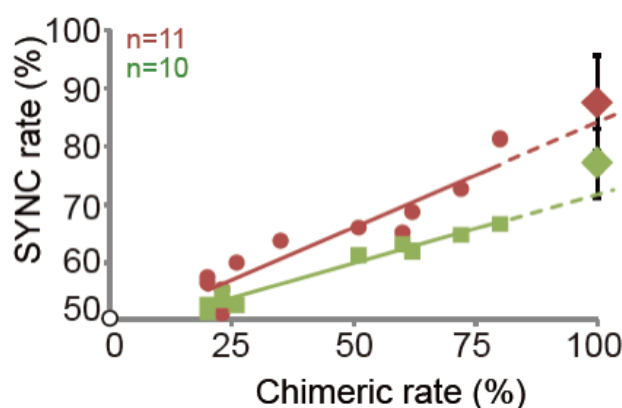


Dll1-KO 細胞は Dll1 を持っていないが、体節時計のシステム構成要素 (feedback 関連遺伝子) はそろっている。そのために、周りの野生型細胞の Dll1 から Notch シグナルを受けることで、ほぼ正常な体節時計が作動すると考えられる。次に、マウス体節形成において Notch シグナルが Coupled oscillator 機構で体節時計の同調を制御している場合にどのようなことが起こるかを予想した。Dll1-KO キメラ胚において Dll1-KO 細胞は周りの野生型細胞からの体節時計の phase 情報を反映した Notch シグナルを

受け取り、自身の Notch シグナルを補正し、それに伴い体節時計を調節することが可能である。しかしながら、周りの細胞に自身の体節時計の Phase 情報を伝えることができない（不完全なカップリング）。そのため、野生型細胞の寄与率（キメラ率）に応じてカップリングできる細胞数が減り、体節時計の同調率が低下すると考えられる。



一方、Notch シグナルが体節時計の同調機構に関連していないのであれば、キメラ率に依存する Notch シグナルの細胞間同調率によらず、Hes7 の発現は細胞間で同調していると考えられる。以下に示すように Hes7 タンパク質の細胞間同調性はキメラ率に比例して上昇する Notch シグナルの細胞間同調と連動して上昇した。これらの結果はマウス体節形成においても、Notch シグナルが coupled oscillator 機構を介して体節時計の細胞間同調機構に重要な役割を果たしていることを示唆している。

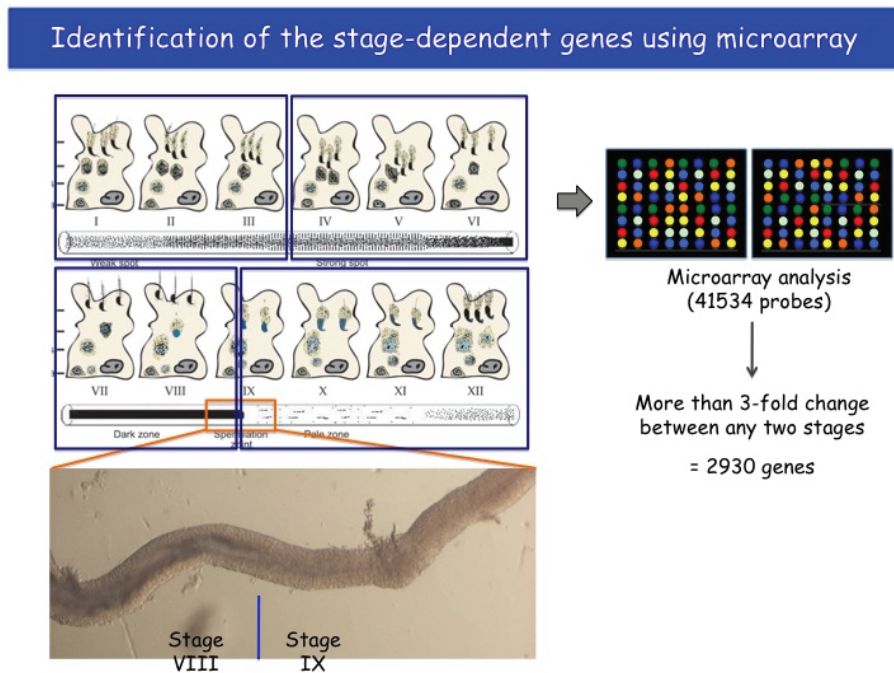


この結果は、Notch シグナルがマウスの体節形成の同調化に関与することをしめしているが、シグナルを隣の細胞に送る Dll1 の発現自体は振動していないことが明らかになった。そこで現在コンピューターシミュレーションを用いてどのような因子がどのような条件下で機能すれば、同調化機構に関与する可能性があるのか検討中である。



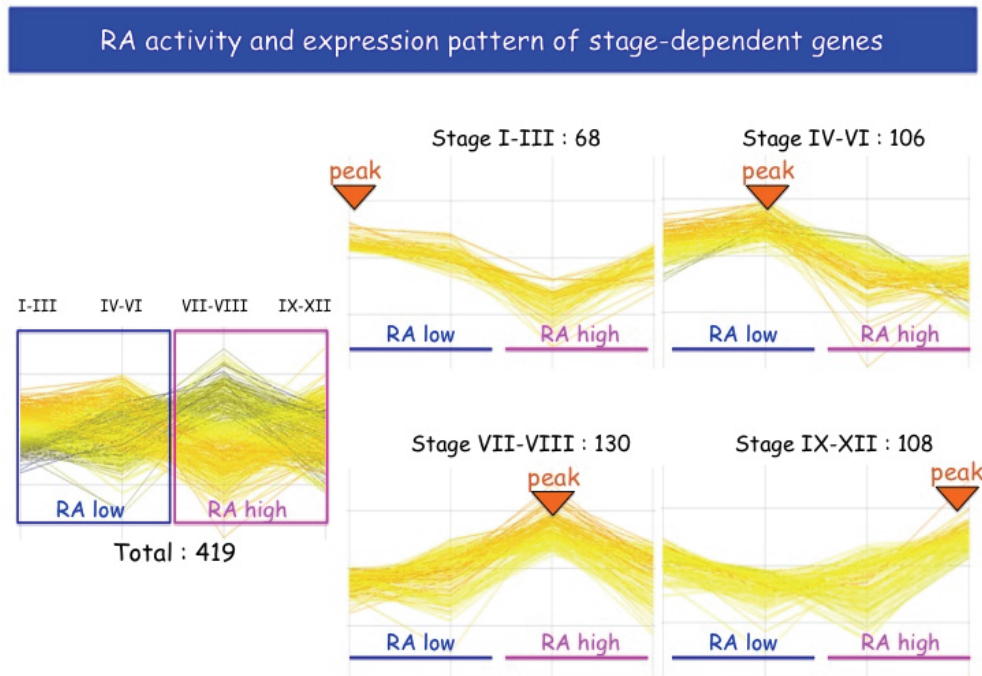
## (2) マウス精子形成をモデルとしたデータ同化解析

マウスの精子形成過程は雄個体が生涯を通じて精子を生産し続ける。我々は、この連続的かつ周期的な現象を作り出す分子機構をデータ同化のモデルとして解析したいと考えて研究を行っている。精子形成の特徴はその周期性にある。この点ではテーマ1で対象にしている体節形成とも通じるところがあるがその周期性の形成機構や意義は基本的に異なる。精子形成は、生涯繰り返されるシステムで幹細胞を中心とした、細胞分化システムである。精巣は基本的に生殖細胞と、体細胞であるセルトリ細胞の2種類の細胞種からなっており、生殖細胞は幹細胞から35日周期で細胞分化を繰り返しているが、セルトリ細胞は、一度分化したら基本的に一生同じ細胞が維持される。この幹細胞システムが35日周期でまわりつつける機構を明らかにするため、我々は主にセルトリ細胞の遺伝子発現に焦点を絞って解析を行ってきた。セルトリ細胞は生殖細胞の生存や分化を制御する非常に重要な細胞であり、セルトリ細胞の異常は生殖細胞の異常を引き起こす。セルトリ細胞の遺伝子発現を解析したところ生殖細胞の分化サイクルと同調した遺伝子発現変動が明らかになった。精子形成過程は12のステージに分けることが可能で精細管のなかで空間的に配置されている。我々はこれらの各ステージのセルトリ細胞の遺伝子発現をマイクロアレイにより解析した。その結果、多くの遺伝子がステージ依存的な遺伝子発現変動を示すことがわかった。データは膨大であり、これらのデータから生物学的に重要なカスケードを取り出しかつその変動を予測できるような解析が可能になるかどうかという点がデータ同化プロジェクトとしての問題である。まだ解析は始まったばかりであり、現在これらのアレイデータは統計処理する方法論の開発にむけて統数研と共同して議論をすすめている。



精細管は12の異なるステージに分けることが可能だが、すべてのステージに分けることは困難なため、4つの特徴的なステージに分けてサンプル調整し、それぞれのフラクションからRNAを調整し、マイクロアレイ解析を行った。精細管にはセルトリ細胞と生殖細胞が存在する。セルトリ細胞特異的な遺伝子を抽出するため、単離したセルトリ細胞や生殖細胞を欠損した精細管のアレイデータ等とのサブトラクションを行い、各ステージで変動を示す遺伝子を計419個同定した。その後、それらの遺伝子の発現プロファイルをプロットしたものが以下のデータセットになる。興味深いことに精細管はレチノイ

ン酸 (RA)シグナルのレベルが高い時期と低い時期があり、遺伝子発現は RA シグナルによって制御されている可能性が示唆された。しかし精細管は RA 以外のシグナル分子が関与しており、これらのシグナル系と遺伝子発現の関係も今後解析していきたい。



### (3) 線虫の細胞質分裂をモデルとしたデータ同化解析

細胞分裂において細胞の形状はダイナミックに変化し、細胞のほぼ中央に生じた分裂溝によって物理的に二つに分割される(次ページの図)。この過程は細胞質分裂と呼ばれ、分裂溝に生じる収縮環と呼ばれる構造物が、細胞表層の抵抗力に打ち勝って収縮することで遂行されると信じられてきた。しかし近年の知見から、分裂溝の近傍だけでなく、細胞の極側、あるいは全体にわたる細胞表層の制御が分裂溝の陥入に必須の寄与を果たしていることが明らかとなりつつある。細胞表層の力学的性質は、脂質膜ならびに細胞骨格といった生体内構造物が、表面張力あるいは曲げ弾性という力学的パラメータに翻訳されることで与えられると考えられる。しかしながら、細胞質分裂において細胞表層の力学的性質がどのような時空間的な構造を持つかは十分に理解されていない。そこで木村らは、実験的に観測された細胞形状を再現できるような、細胞表層の力学的性質の時空間的分布を予測する方法の構築を行った(木村、樋口ら、投稿中)。曲げ弾性に依拠した細胞質分裂モデルにおいて、曲げ弾性係数が時空間的にダイナミックに変化している様子を定量的に予測した。また、曲げ弾性係数の適切な制御によって、収縮環が存在しない条件においても観測形状を再現が可能であることを示すことに成功した。この結果は、曲げ弾性係数が細胞質分裂の主要な力学的要素となりうることを示している。細胞形状は、細胞質分裂時だけでなく細胞遊走、組織形成時などにおいても劇的に変化する。しかしながら、分子レベルでの機構の解明が進む一方で、どのような力学的変化が起きているかは十分に理解されていない。今回で開発した、「細胞形状から力学的パラメータを推定する」という戦略は、様々な細胞生物学の局面での力学的基盤の理解に波及することが期待される。

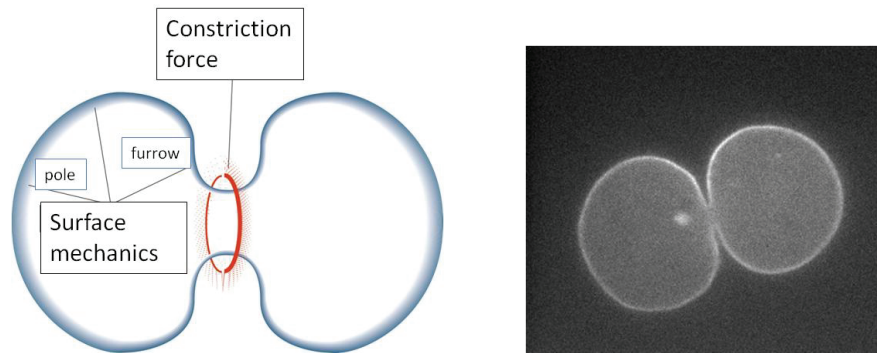


図) 細胞質分裂の模式図(左)と、実際の線虫胚における細胞質分裂の様子(右)。

#### (4) 線虫の細胞質流動をモデルとしたデータ同化解析

線虫胚をはじめいくつかの細胞では、その内部で細胞質流動と呼ばれる全体的な流れが生じる。この細胞質流動は細胞内の物質の攪拌や輸送に貢献していると考えられている。線虫初期胚の細胞質流動を、データ同化を適用する新たな生物現象と位置づけ解析を開始した。木村らはこれまでに線虫胚における細胞質流動の顕微鏡観察を行い、その画像解析から細胞内の各位置での流速の定量化に成功していた。また、流体力学シミュレーションを行い、観測した流速分布をおおむね説明できることを示している(木村ら、投稿中)。しかし、ここまでの研究では、シミュレーションと実測値の比較が限定的かつ定性的であり、原動力の発生位置と強さの統計的な推定、あるいはモデルと実測値の包括的な定量的比較からの説明が困難な現象の抽出には至っていない。そこで、測定データ(下図)と粒子法シミュレーションモデルに基づいたデータ同化解析をすすめるべく、アルゴリズムの開発を開始した。データ同化解析をすすめることにより、細胞質流動の原動力の位置と強さの推定を行い、生体内での検証実験をさらに行う。

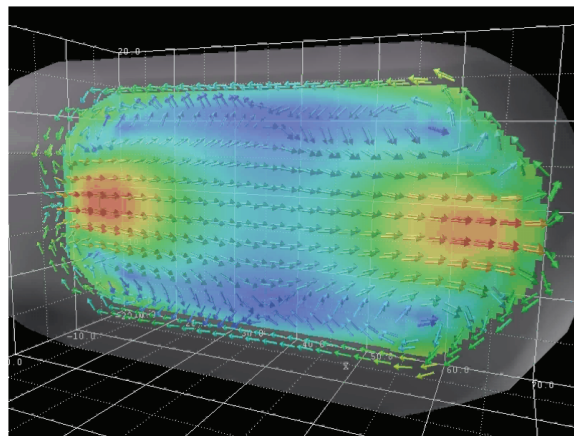


図) 細胞質流動の定量データ。実測した流速を本プロジェクトで開発したソフトウェア「4-Dimension Cell」で開発したソフトウェアで可視化。

データデザインチームでは、これらの研究を通して、順問題的に課題を解決するだけでなく、データから理論に遡る、まさに逆問題解決のセンスも兼ね備えた新しいタイプの研究者を養成することも目標としている。実際に、本プロジェクトおよび前身の育成融合プロジェクトにおいてデータ同化解析を取り入れた研究を展開していた特任研究員の小山宏史博士は、この点を見込まれて、基礎生物学研究所の助教職に採用された。このように人材育成の面でも順調に目標を達成しつつある。

## [5] 研究成果物

① 知見・成果物・知的財産権等

② 成果発表等

<論文発表>

[学術論文]

1. D. Inazu, T. Higuchi, and K. Nakamura, Optimization of boundary condition and physical parameter in an ocean tide model using an evolutionary algorithm, *Theoretical and Applied Mechanics Japan*, Vol. 58, 101-112, 2010.
2. K. Watanabe, T. Ishigaki, and T. Higuchi, A multivariable detection device based on a capacitive microphone and its application to security, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 59, No.7, 1955-1963, 2010.
3. G. Ueno, T. Higuchi, T. Kagimoto, N. Hirose, Maximum likelihood estimation of error covariances in ensemble-based filters and its application to a coupled atmosphere-ocean model, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 136, 1316–1343, doi:10.1002/qj.654, 2010.
4. S. Ohtani, S. Wing, P.T. Newell, and T. Higuchi, Locations of night-side precipitation boundaries relative to R2 and R1 currents, *J. Geophys. Res.*, 115, A10233, doi:10.1029/2010JA015444, 2010.
5. R. Yoshida, M. M. Saito, H. Nagao, and T. Higuchi, Bayesian experts in exploring reaction kinetics of transcription circuits, *Bioinformatics*, Vol. 26, i589-i595, 2010.
6. V. P. Nguyen, T. Washio, and T. Higuchi, A new particle filter for high dimensional state space models based on intensive and extensive proposal distribution, *International Journal of Knowledge Engineering and Soft Data Paradigms*, Vol. 2, No. 4, 284-311, doi:10.1504/IJKESDP.2010.037492, 2010.
7. T. Ishigaki, T. Higuchi, and K. Watanabe, Fault detection of a vibration mechanism by spectrum classification with a divergence-based kernel, *IET Signal Processing*, Vol. 4, Issue 5, 518-529, doi:10.1049/iet-spr.2008.0195, 2010.
8. 徳永旭将, 池田大輔, 中村和幸, 樋口知之, 吉川顕正, 魚住禎司, 藤本晶子, 森岡昭, 湯元清文, CPMN Group, 変化点検出を応用した時系列データからの突発現象の前兆検出アルゴリズム, *情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用 TOM」*, in press, 2011.
9. S. Nakano and T. Higuchi, A dynamic grouping strategy for implementation of the particle filter on a massively parallel computer, *Proceedings of 13th International Conference Fusion*, 2010.
10. H. Nagao and T. Higuchi, Web application for time-series analysis based on particle filter available on cloud computing system, *Proceedings of 13th International Conference Fusion*, 2010.
11. K. Hayashi, M. M. Saito, R. Yoshida, and T. Higuchi, Implementation of Sequential Importance Sampling in GPGPU, *Proceedings of 13th International Conference Fusion*, 2010.
12. Hosokawa, K., Y. Ogawa, A. Kadokura, H. Miyaoka, and N. Sato, Modulation of ionospheric conductance and electric field associated with pulsating aurora, *J. Geophys. Res.*, 115, A03201, doi:10.1029/2009JA014683, 2010.
13. Hosokawa, K., T. Motoba, A. S. Yukimatu, S. E. Milan, M. Lester, A. Kadokura, N. Sato, and G. Bjornsson, Plasma irregularities adjacent to auroral patches in the postmidnight sector, *J. Geophys. Res.*, 115, A09303, doi:10.1029/2010JA015319, 2010.
14. Hosokawa, K. and Y. Ogawa, Pedersen current carried by electrons in auroral D-region, *Geophys.*

- Res. Lett., vol. 37, L18103, doi:10.1029/2010GL044746, 2010.
15. Kosch, M. J., Y. Ogawa, M. T. Rietveld, S. Nozawa and R. Fujii, An analysis of pump-induced artificial ionospheric ion upwelling at EISCAT, *J. Geophys. Res.*, vol. 115, A12317, doi:10.1029/2010JA015854, 2010.
  16. Kosch, M., I. Yiu, C. Anderson, T. Tsuda, Y. Ogawa, S. Nozawa, A. Aruliah, V. Howells, L. Baddeley, I. McCrea, and J. Wild, Meso-scale observations of Joule heating near an auroral arc and ion-neutral collision frequency in the polar cap E-region, *J. Geophys. Res.*, In press, 2011.
  17. Kurihara, J., Y. Ogawa, S. Oyama, S. Nozawa, M. Tsutsumi, C. M. Hall, Y. Tomikawa, and R. Fujii, Links between a stratospheric sudden warming and thermal structures and dynamics in the high-latitude mesosphere, lower thermosphere, and ionosphere, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 37, L13806, doi:10.1029/2010GL043643, 2010.
  18. Motoba, T., K. Hosokawa, N. Sato, Kadokura, and G. Bjornsson, Varying IMF By effects on interhemispheric conjugate auroral features during weak substorm, *J. Geophys. Res.*, 115, A09210, doi:10.1029/2010JA015369, 2010.
  19. Motoba, T., K. Hosokawa, Y. Ogawa, N. Sato, A. Kadokura, S. C. Buchert, and H. Rème, In-situ evidence for IMF-induced tail twisting associated with relative displacement of conjugate auroral features, *J. Geophys. Res.*, vol. 116, A04209, doi:10.1029/2010JA016206, 2011.
  20. Nishimura, K., T. Harada, and T. Sato, Multistatic Radar Observation of a Fine-Scale 3D Wind Field with Coupling-Compensated Adaptive Array Technique, *J. Meteorol. Soc. Japan*, Vol.88, No.3, pp.409-424, June, 2010.
  21. Nozawa, S., Y. Ogawa, S. Oyama, H. Fujiwara, T. Tsuda, A. Brekke, C. M. Hall, Y. Murayama, S. Kawamura, H. Miyaoka, and R. Fujii, Tidal waves in the polar lower thermosphere observed using the EISCAT long run data set obtained in September 2005, *J. Geophys. Res.*, vol. 115, A08312, doi:10.1029/2009JA015237, 2010.
  22. Ogawa, Y., S. C. Buchert, A. Sakurai, S. Nozawa, and R. Fujii, Solar activity dependence of ion upflow in the polar ionosphere observed with the European Incoherent Scatter (EISCAT) Tromsø UHF radar, *J. Geophys. Res.*, vol. 115, A07310, doi:10.1029/2009JA014766, 2010.
  23. Ogawa, Y., S. C. Buchert, I. Häggström, M. T. Rietveld, R. Fujii, S. Nozawa, and H. Miyaoka, On the statistical relation between ion upflow and naturally enhanced ion-acoustic lines observed with the EISCAT Svalbard radar, *J. Geophys. Res.*, vol. 116, A03313, doi:10.1029/2010JA015827, 2011.
  24. Oyama, S., K. Shiokawa, J. Kurihara, T. T. Tsuda, S. Nozawa, Y. Ogawa, Y. Otsuka, and B. J. Watkins, Lower-thermospheric wind fluctuations measured with an FPI in pulsating aurora at Tromsø, Norway, *Ann. Geophys.*, vol. 28, 1847-1857, 2010.
  25. Saita, S., A. Kadokura, N. Sato, S. Fujita, T. Tanaka, Y. Ebihara, S. Ohtani, G. Ueno, K. Murata, D. Matsuoka, A. Kitamoto, T. Higuchi, Displacement of conjugate points during a substorm in a global MHD simulation, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2010JA016155 (in press)
  26. 田中良昌, 麻生武彦, ビヨルングスタフソン, 田邊國士, 門倉昭, 小川泰信, 一般化オーロラトモグラフィ法によるオーロラ降下電子の再構成, *電子情報通信学会論文誌 A* vol.J93-A, No.2, 136-145, 2010.
  27. Tanaka, Y.-M., T. Aso, B. Gustavsson, K. Tanabe, Y. Ogawa, A. Kadokura, H. Miyaoka, T. Sergienko, U. Brändström, and I. Sandahl, Feasibility study on Generalized - Aurora Computed Tomography, *Ann. Geophys.*, vol. 29, 551-562, 2011.
  28. Oginuma, M., Takahashi, Y., Kitajima, S., Kiso, M., Kanno, J., Kimura, A., and \*Saga, Y. The

oscillation of Notch activation but not its boundary is required for somite border formation and rostral-caudal patterning within a somite. *Development* **137**, 1515-1522. (2010)

29. Takahashi J, Ohbayashi A, Oginuma M, Saito D, Mochizuki A, Saga Y, Takada S. Analysis of Ripply1/2-deficient mouse embryos reveals a mechanism underlying the rostro-caudal patterning within a somite. *Dev Biol.* **342**,134-145. (2010)
30. Sasaki N, Kiso M, Kitagawa M, Saga Y. The repression of Notch signaling occurs via the destabilization of mastermind-like 1 by Mesp2 and is essential for somitogenesis. *Development* **138**, 55-64. (2011)

[データベース]

1. EISCAT データベース (1981 年 10 月から 2011 年 2 月までの物理量データを作成・整備・ウェブ公開)。
2. トロムソ・ロングイアビン光学データベース (2010 年 9 月から 2011 年 3 月までに取得した全天および狭視野 WATEC 光学データを整備・ウェブ公開。また, 2000 年以降のロングイアビンオーロラスペクトログラフデータを整備)。

[著書等]

1. 予測にいかす統計モデリングの基本—ベイズ統計入門から応用まで, 樋口知之 著, 講談社, 2011.

[解説・総説]

1. 合原一幸, 今井浩, 樋口知之, 三村昌泰, いまモデル化が求められる理由, 科学, 第 80 巻, 第 12 号, 1176-1186, 2010.

[その他]

<会議発表等>

[招待講演]

◆ 国際会議

1. T. Higuchi and R. Yoshida, Easy and simple methods to estimate parameter values in the numerical simulation model for sequential data assimilation, 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC '10), 平成 22 年 9 月 22-26 日.
2. T. Higuchi, Data Assimilation: Developing the Synthesis Tool for Fusion of Heterogeneous Information Sources and Building the Cyber-enabled Discovery Systems in Data-centric Science, The 14th SANKEN International Symposium 2011, 平成 23 年 1 月 25-26 日.
3. Nakamura, Takuji; Yue, Jia; She, Chiao-Yao; Ejiri, Mitsumu K.; SUZUKI, Shin; Kawahara, Takuya D.; Shiokawa, Kazuo; Sato, Kaoru Ground-based observations of mesosphere and lower thermosphere using radar/lidar and airglow measurements 38th COSPAR (Committee on Space Research) Scientific Assembly, Bremen, Germany, Jul 18-25, 2010.
4. Ogawa, Y., S. C. Buchert, I. Häggström, R. Fujii, S. Nozawa, and H. Miyaoka, On the statistical relation between ion upflow and naturally enhanced ion-acoustic lines observed with the EISCAT Svalbard radar, European Geosciences Union General Assembly 2010, Vienna, Austria, May 5, 2010.
5. Sato, K., M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, A. Saito, Y. Tomikawa, K. Nishimura, H. Yamagishi, T.

- Yamanouchi, T. Aso, and M. Ejiri, Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar (PANSY), 38th COSPAR Scientific Assembly, Bremen, Germany, July 18-25, 2010.
6. Sato, K., M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, A. Saito, Y. Tomikawa, K. Nishimura, H. Yamagishi, and T. Yamanouchi, Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar (PANSY), International Symposium on the 25th Anniversary of the MU Radar, Uji, Japan, September 2-3, 2010.
  7. Sato, N., T. Motoba, A. Kadokura, K. Hosokawa, G. Bjornsson, and T. Saemundsson, Spatial and temporal tracing of real geomagnetic conjugate point observed by Syowa-Iceland conjugate-pair auroras, SCAR Open Science Conference, Buenos Aires, Argentina, 2010.
  8. Sato, N., Interhemispheric Auroral Features Observed at Syowa-Iceland Conjugate-pair, AGU Western Pacific Geophysics Meeting, 2010.
  9. Sato, N., Interhemispheric Auroral Features Observed at Syowa-Iceland Conjugate-pair, AGU Western Pacific Geophysics Meeting, 2010
  10. Sato, N., Dynamic tracing geomagnetic conjugate points using synchronous auroras, AGU Chapman Conference, 2011
  11. Yumiko Saga. Mesp2 suppresses Notch signaling activity via destabilizing MamL1, a component of Notch signal transducer. SDB-GSDB Joint Meeting, Dresden 2011.3.23-26

◆ 国内会議

1. 樋口知之, データ同化がつくる半現実世界, 融合研究ワークショップ, 東北大学流体科学研究所, 平成 22 年 4 月 9 日.
2. 樋口知之, 見える化で増すデータ同化のインパクト, 日本計算機統計学会第 24 回大会, 統計数理研究所, 平成 22 年 5 月 14 日 - 15 日.
3. 樋口知之, 未来のバイオ・医療を支えるモデリング技術—生体情報系の複雑性とその克服, 第 31 回日本循環制御医学会総会, 千里ライフサイエンスセンター, 平成 22 年 5 月 28-29 日.
4. 樋口知之, 階層ベイズモデルにおけるディレクトリ混合過程と粒子フィルタ, 第 57 回大阪大学データ科学特別セミナー, 大阪, 平成 22 年 6 月 16 日.
5. 樋口知之, HPC とともに進化する大規模データ同化, SS 研 HPC フォーラム 2010 「e-サイエンスのフロンティア」, 富士通株式会社, 平成 22 年 8 月 26 日.
6. 樋口知之, データ同化によるシミュレーションと計測データの統融合, JSPS : 産業計測第 36 委員会研究会, 平成 22 年 10 月 27 日.
7. 樋口知之, データ同化によるヘテロ情報の統融合, 第 88 期日本機械学会流体工学部門講演会, 平成 22 年 10 月 30-31 日.
8. 小川泰信, EISCAT チュートリアル, STE 研究集会 (多点衛星・地上データ解析による磁気圏ダイナミクス研究会), 高知工業高等専門学校, 2010 年 8 月 19 日.
9. 相賀裕美子 「体節形成遺伝子の時空間的パターン」理研 ASI 細胞システムコロキウムシリーズ I (第 4 回), 理化学研究所, 和光, 2010.9.3
10. 小山宏史, 木村暁 「細胞形状の変化を誘導する細胞表層の力学の時空間的動態の予測」第 59 回理論応用力学講演会(NCTAM2010), 日本学術会議, 東京, 2010.6.10
11. 木村暁 「細胞分裂時の細胞形状データから細胞表層の力学パラメータを予測する」第一回「バイオモデリングと統計科学」研究会. 統計数理研究所, 東京, 2010.6.30
12. 木村暁 「細胞のインテリアデザインを担う原動力の理解をめざして」第 81 回発生工学・疾患モデル研究会例会, 順天堂大学, 東京, 2010.08.10

13. 木村暁「体節形成遺伝子の時空間的パターン」理研 ASI 細胞システムコロキウムシリーズ I (第 4 回), 理化学研究所, 和光, 2010.9.3
14. 小山宏史, 木村暁「数理モデルを用いた細胞質分裂における細胞表層の力学の時空間的变化の予測 / Use of mathematical model to predict spatio-temporal dynamics of cell-surface mechanics during cytokinesis」日本機械学会第 23 回計算力学講演会, 北見工業大学, 北見市, 2010.9.23-25
15. 原裕貴, 小山宏史, 木村暁「線虫 *C. elegans* 初期胚における紡錘体伸長と細胞質分裂のモデル構築」日本動物学会第 81 回大会 シンポジウム, 東京大学駒場キャンパス, 東京, 2010.9.24
16. 小山宏史, 木村暁「細胞質分裂の力学モデルの構築と, 線虫細胞における細胞表層の力学の時空間的变化の予測」第 83 回日本生化学会大会第 33 回日本分子生物学会年会合同大会(BMB2010), 神戸国際展示場, 神戸市, 2010.12.8

[一般講演]

◆ 国際会議

1. S. Wing, S. Ohtani, J. Johnson, T. Higuchi, G. Ueno, P. Newell, and J. Weygand, The dayside field-aligned currents source regions, Asia Oceania Geoscience Society 2010, インド・ハイデラバード, 平成 22 年 7 月 5-9 日.
2. S. Nakano and T. Higuchi, A dynamic grouping strategy for implementation of the particle filter on a massively parallel computer, 13th International Conference on Information Fusion, 英国・エジンバラ, 平成 22 年 7 月 26-29 日.
3. H. Nagao and T. Higuchi, Web application for time-series analysis based on particle filter available on cloud computing system, 13th International Conference on Information Fusion, 英国・エジンバラ, 平成 22 年 7 月 26-29 日.
4. K. Hayashi, M. M. Saito, R. Yoshida, and T. Higuchi, Implementation of Sequential Importance Sampling, 13th International Conference on Information Fusion, 英国・エジンバラ, 平成 22 年 7 月 26-29 日.
5. R. Yoshida, M. M. Saito, H. Nagao, and T. Higuchi, Bayesian experts in exploring reaction kinetics of transcription circuits, 9th European Conference on Computational Biology (ECCB10), ベルギー・ヘント, 平成 22 年 9 月 26-29 日.
6. H. Nagao and T. Higuchi, CloCK-TiME: cloud computing kernel for time-series modeling engine, The 3rd International Conference of the ERCIM Working Group on Computing & Statistics (ERCIM '10), 英国・ロンドン, 平成 22 年 12 月 10-12 日.
7. Kero, J., C. Szasz, T. Nakamura, T. Terasawa, H. Miyamoto, Y. Fujiwara, M. Ueda and K. Nishimura, High-precision meteor head echo analysis and simultaneous ICCD observations, Meteoroids 2010, May 24-28, 2010, Breckenridge, CO USA.
8. Kero, J., T. Nakamura, C. Szasz, D. Meisel, T. Terasawa, H. Miyamoto, M. Ueda, Y. Fujiwara, and K. Nishimura, The meteoroid influx investigated by meteor head echo observations with the MU radar, 38th COSPAR (Committee on Space Research) Scientific Assembly, Bremen, Germany, Jul 18-25, 2010.
9. Nakamura, T., J. Kero, C. Szasz, H. Miyamoto, T. Terasawa, D. Janches, K. Nishimura, Y. Fujiwara, and M. Ueda, Monthly observation of meteor head echoes with the MU radar new interferometric system, Meteoroids 2010, May 24-28, 2010, Breckenridge, CO USA
10. Ogawa, Y., and S. C. Buchert, High Altitude NEIALs, Hydrogen and Oxygen Upflow, 2nd EISCAT



3D User Meeting, Uppsala, Sweden, May 19-21, 2010.

11. Ogawa, Y., S. C. Buchert, I. Häggström, R. Fujii, S. Nozawa, and H. Miyaoka, On the statistical relation between ion upflow and naturally enhanced ion-acoustic lines observed with the EISCAT Svalbard radar, IPY Oslo Science conference, Oslo, Norway, June 12, 2010.
12. Saita, S., A. Kadokura, N. Sato, S. Fujita, T. Tanaka, Y. Ebihara, S. Ohtani, G. Ueno, K. Murata, D. Matsuoka, A. Kitamoto, T. Higuchi, Relative displacement of conjugate point during a course of substorm in a global MHD simulation, The 34th Symposium on Space and Upper Atmospheric Sciences in the Polar Regions, 日本東京立川市国立極地研究所, 2010年12月3日.
13. Saita, S., A. Kadokura, N. Sato, S. Fujita, T. Tanaka, Y. Ebihara, K. Murata, D. Matsuoka, G. Ueno, A. Kitamoto, T. Higuchi, Reconfiguration of the magnetosphere for southward IMF in a global MHD simulation, Workshop on dynamic modeling in geomagnetism, 日本東京立川市統計数理研究所, 2010年7月1日.
14. Saita, S., A. Kadokura, N. Sato, S. Fujita, T. Tanaka, Y. Ebihara, K. Murata, D. Matsuoka, G. Ueno, A. Kitamoto, Reconfiguration of the magnetosphere for southward IMF and displacement of conjugate points in a MHD simulation, ノルフェー オスロ, International Polar Year - Oslo Science Conference, 2010年6月9日.
15. Szasz, C., J. Kero, T. Nakamura, D. Meisel, T. Terasawa, H. Miyamoto, and K. Nishimura, Meteoroid orbits calculated from interferometric MU radar measurements, Meteoroids 2010, May 24-28, 2010, Breckenridge, CO USA.

◆ 国内会議

1. 本橋永至, 樋口知之, 状態空間アプローチによる購買意思決定プロセスの動的変化に関する研究, 第40回消費者行動研究カンファレンス, 平成22年5月8-9日.
2. 長尾大道, 中野慎也, 樋口知之, 微気圧・地震データ同化によって推定されたモデルパラメータの事後分布, 日本地球惑星科学連合2010年, 平成22年5月23-28日.
3. S. Ohtani\*, S. Wing, G. Ueno, T. Higuchi, Dependence of premidnight field-aligned currents and particle precipitation on solar illumination, 日本地球惑星科学連合2010年, 平成22年5月23-28日.
4. 堀智昭, 平木康隆, 海老原祐輔, 新堀淳樹, 家田章正, 菊池崇, 上野玄太, 樋口知之, S. Wing, S. Ohtani, 沿磁力線電流大規模構造の経験モデルと宇宙天気への応用, 日本地球惑星科学連合2010年, 平成22年5月23-28日.
5. 河野英昭, 才田聡子, 上野玄太, 樋口知之, 中野慎也, 湯元清文, 地上磁場データとGPS-TECデータの統合によるプラズマ圏密度推定に向けて, 日本地球惑星科学連合2010年, 平成22年5月23-28日.
6. 徳永旭将, 中村和幸, 池田大輔, 樋口知之, 吉川顕正, 魚住禎司, 藤本晶子, 森岡昭, 湯元清文, 特異スペクトル分析の応用による地上磁場データからのオーロラサブストーム前兆検出, 日本地球惑星科学連合2010年, 平成22年5月23-28日.
7. 吉田亮, 長尾大道, 斎藤正也, 樋口知之, LiSDAS: Life Science Data Assimilation Systems, 第59回理論応用力学講演会, 平成22年6月8-10日.
8. 中野慎也, F. M-Ching, C-B. Pontus, 樋口知之, 極端紫外線データの同化に基づくプラズマ圏分布推定手法の開発, 第59回理論応用力学講演会, 平成22年6月8-10日.
9. 長尾大道, 中野慎也, 樋口知之, 大地震に伴う微気圧変動へのデータ同化の応用, 第59回理論応用力学講演会, 平成22年6月8-10日.
10. 林圭佐, 樋口知之, GPGPUによるバイオロジカルパスウェイモデルのパラメータ推定の高速化, 第59

回理論応用力学講演会, 平成 22 年 6 月 8-10 日.

11. 本橋永至, 樋口知之, 状態空間アプローチによる動的ブランド選択モデル, 日本マーケティング・サイエンス学会第 87 回研究大会, 平成 22 年 6 月 26-27 日.
12. 中野慎也, 斎藤正也, 長尾大道, 樋口知之, 超並列計算環境下での粒子フィルタの実装法と逐次データ同化への適応, 早稲田大学, 第 3 回横幹連合総合シンポジウム, 平成 22 年 9 月 5-6 日.
13. 佐藤忠彦, 樋口知之, 統計的モデリングによる消費者行動のダイナミクスの理解, 第 3 回横幹連合総合シンポジウム, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-6 日.
14. 樋口知之, 中野慎也, ビジネスモデルとリンクした HPC 環境下における統計計算, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
15. 吉田亮, 長尾大道, 斎藤正也, 長崎正朗, 井元清哉, 山口類, 山内麻衣, 後藤典子, 宮野悟, 樋口知之, 癌細胞シミュレーションと生化学反応系の統計モデリング, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
16. 中野慎也, 樋口知之, 大規模並列計算機における高次元非線形システムの状態推定について, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
17. 長尾大道, 樋口知之, クラウド計算サービスに向けた粒子フィルタを基盤とする時系列解析ソフトウェアの開発, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
18. 長尾大道, 吉田亮, 斎藤正也, 樋口知之, 長崎正朗, 井元清哉, 山口類, 宮野悟, 山内麻衣, 後藤典子, 遺伝子発現時系列データおよびバイオデータベース情報を基にした活性/抑制型転写因子の同定, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
19. 斎藤正也, 井元清哉, 山口類, 佐藤弘樹, 中田はる佳, 上昌広, 宮野悟, 樋口知之, データ同化による都市間移動を考慮したインフルエンザ A (H1N1) パンデミックシミュレーション, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
20. 林圭佐, 斎藤正也, 樋口知之, GPGPU を用いた統計計算アルゴリズムの革新的高速化, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
21. 本橋永至, 樋口知之, 消費者行動理解のための動的ブランド選択モデリング, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
22. 廣瀬慧, 樋口知之, クラスタリングに基づくフェイシャル・モーショントキャプチャーデータ内の相互作用部位の発見, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
23. 山口類, 井元清哉, 山内麻衣, 島村徹平, 長崎正朗, 吉田亮, 樋口知之, 後藤典子, 宮野悟, 状態空間モデリングによる遺伝子発現制御に関わる動的薬剤効果の推定, 2010 年度統計関連学会連合大会, 早稲田大学, 平成 22 年 9 月 5-8 日.
24. 井元智子, 中野慎也, 樋口知之, エージェントシミュレーションによる補助金政策の最適実施期間推定, 環境経済・政策学会 2010 年大会, 平成 22 年 9 月 11-12 日.
25. 佐藤忠彦, 樋口知之, 階層ベイズ状態空間モデルによる消費者来店行動の解析, JIMS: マーケティングの統計的モデリング研究部会, 平成 22 年 10 月 30 日.
26. 中野慎也, 樋口知之, Subannual variation in the Dst index and its relationship with solar-wind parameters, 第 128 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 平成 22 年 10 月 30 日-11 月 3 日.
27. 河野英昭, 才田聡子, 上野玄太, 樋口知之, 中野慎也, 湯元清文, MAGDAS/CPMN グループ, 地上磁場観測と GPS-TEC のデータ統合によるプラズマ圏密度推定に向けて, 第 128 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 平成 22 年 10 月 30 日-11 月 3 日.
28. 才田聡子, 門倉昭, 佐藤夏雄, 藤田茂, 田中高史, 海老原裕輔, 大谷晋一, 上野玄太, 村田健史, 松岡大祐, 北本朝展, 樋口知之, Relative displacement of conjugate point during a course of substorm in

- a global MHD simulation, 第34回極域宇宙圏シンポジウム, 平成22年12月2-3日.
29. 中野慎也, M.-C. Fok, P. C. Brandt, 樋口知之, Data assimilation of EUV imaging data for modeling the plasmasphere, 第34回極域宇宙圏シンポジウム, 平成22年12月2-3日.
  30. 上野玄太, 樋口知之, 鍵本崇, 広瀬直毅, アンサンブルフィルタにおける誤差共分散行列の最尤推定, 第60回理論応用力学講演会, 平成23年3月8-10日.
  31. 中野慎也, 樋口知之, Alternatively lattice-pattern switching strategy, 第60回理論応用力学講演会, 平成23年3月8-10日.
  32. 門倉昭, 宮岡宏, 山岸久雄, 極地研宙空圏研究グループ, 第VIII期における昭和基地オーロラ光学観測, 第34回極域宙空圏シンポジウム, 国立極地研究所, 2010年12月3日
  33. Kero, J., C. Szasz, T. Nakamura, T. Terasawa. H. Miyamoto, M. Ueda, Y. Fujiwara, K. Nishimura, "Meteor head echo characteristics revealed by MU radar observations", Japan Geoscience Union Meeting, May, 2010.
  34. 宮岡宏, 小川泰信, 堤雅基, 門倉昭, 中村卓司, 野澤悟徳, 大山伸一郎, 藤井良一, ほかプロジェクト研究グループ, EISCAT レーダーならびに地上拠点観測に基づく北極圏超高層・中層大気の国際共同研究, CAWSES-II キックオフシンポジウム, 京都・宇治, 2010年6月16-17日.
  35. 小川泰信, 野澤悟徳, 宮岡宏, 大山伸一郎, 齊藤昭則, 元場哲郎, 藤井良一, 欧州非干渉散乱 (EISCAT) データベースを用いた極域超高層大気研究, 第128回SGEPSS学会, 沖縄県市町村自治会館, 2010年11月3日.
  36. 小川泰信, S. C. Buchert, I. Häggström, 藤井良一, 野澤悟徳, 宮岡宏, EISCAT スヴァールバルレーダーにより観測されたイオン上昇流とイオン音波擾乱の関係:IPY連続観測データによる統計解析結果, Japan Geoscience Union Meeting, Tokyo Makuhari Messe, May 23, 2010.
  37. 佐藤薫, 堤雅基, 佐藤亨, 中村卓司, 齊藤昭則, 富川喜弘, 西村耕司, 山岸久雄, 山内恭, 南極昭和基地大型大気レーダー計画, 第4回南極観測シンポジウム, 国立極地研究所, 2010年9月.
  38. Szasz, C., J. Kero, T. Nakamura, T. Terasawa. H. Miyamoto, M. Ueda, Y. Fujiwara, K. Nishimura, The 2009-2010 monthly MU radar head echo observation programme for sporadic and shower meteors Japan Geoscience Union Meeting, May, 2010.
  39. 堤雅基, 佐藤薫, 佐藤亨, 中村卓司, 齊藤昭則, 富川喜弘, 西村耕司, 山岸久雄, 麻生武彦, 江尻全機, 山内恭, 南極昭和基地大型大気レーダーの技術, 日本地球惑星科学連合, 幕張, 2010年5月.
  40. 大久保佑亮, 相賀裕美子. The coupling mechanism to generate synchronized oscillation of segmentation clock in mice. Notch シグナル研究会, 千葉, 2010.11.8-9
  41. Hiroshi Koyama, Akatsuki Kimura. Quantification of cell shapes and estimation of cell-surface stiffness using a novel liposome-based cytokinesis model in *C. elegans* embryos. 4th East Asia *C. elegans* Meeting, National Olympics Memorial Youth Center, Tokyo, Japan. 2010.7.13.

[ポスター]

◆ 国際会議

1. S. Nakano, M.-C. Fok, P. C. Brandt, and T. Higuchi, An EUV data assimilation technique for the modeling of the plasmasphere using the particle filter, 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC '10), 平成22年9月22-26日.
2. H. Nagao, R. Yoshida, M. M. Saito, S. Imoto, M. Nagasaki, R. Yamaguchi, M. Yamauchi, N. Goto, S. Miyano, and T. Higuchi, Dynamic profile of transcription factors inferred from mRNA expression time courses in Gefitinib-treated lung cancer cells, 9th European Conference on Computational

Biology (ECCB10), 平成 22 年 9 月 26-29 日.

3. S. Saita, A. Kadokura, N. Sato, S. Fujita, T. Tanaka, Y. Ebihara, S. Ohtani, G. Ueno, K. Murata, D. Matsuoka, T. Higuchi, Displacement of geomagnetic conjugate points due to substorm-related changes in the near-Earth magnetotail field structure, AGU Chapman Conference on Relationship Between Auroral Phenomenology and Magnetospheric Processes, 平成 23 年 2 月 27 日-3 月 4 日.
4. Kadokura, A., N. Sato, H. Yamagishi, T. Motoba, M. Taguchi, T. Ono, Y. Sato, K. Hosokawa, and G. Bjornsson, Current Status of Upper Atmosphere Physics Observation in Iceland, Second International Symposium on the Arctic Research (ISAR-2), 日本東京, 2010 年 12 月 7-9 日.
5. Miyaoka, H., Y. Ogawa, M. Tutsumi, A. Kadokura, T. Nakamura, H. Yamagishi, N. Sato, S. Nozawa, S. Oyama, R. Fujii, and the project members, International collaborative studies on the arctic upper and middle atmosphere based on the EISCAT radar and ground-based observations, Second International Symposium on the Arctic Research (ISAR-2), Tokyo, 7-9 Dec., 2010.
6. Ogawa Y., I. Häggström, and A.P. van Eyken, EISCAT observations during the International Polar Year, Second International Symposium on the Arctic Research (ISAR-2), Tokyo, 9 December, 2010.
7. Saita, S., A. Kadokura, N. Sato, S. Fujita, T. Tanaka, Y. Ebihara, S. Ohtani, G. Ueno, K. Murata, D. Matsuoka, T. Higuchi, Displacement of geomagnetic conjugate points due to substorm-related changes in the near-Earth magnetotail field structure, AGU Chapman Conference on Relationship Between Auroral Phenomenology and Magnetospheric Processes, Fairbanks, USA, 2011.
8. Szasz, C., J. Kero, T. Nakamura, T. Terasawa, H. Miyamoto, Y. Fujiwara, M. Ueda and K. Nishimura, The 2009-2010 monthly MU radar head echo observation programme for sporadic and shower meteors; meeting: International Symposium on the 25th Anniversary of the MU Radar, Kyoto University, Uji, Japan, 2010.
9. \*Yusuke Okubo, Yumiko Saga. The coupling mechanism to generate synchronized oscillation of segmentation clock in mice. SDB-JSDB Joint Meeting. Albuquerque, New Mexico, 2010.8.5-9
10. Kazuteru Hasegawa, Yumiko Saga. Periodic activation of retinoic acid signaling creates stage-dependent gene expression in Sertoli cells during mouse spermatogenesis. CSH symposium: Germ cells, Cold Spring Harbor, New York, 2010.10.5-9
11. Akatsuki Kimura. Quantitative observation and modeling of organelle positioning in one-cell stage *C. elegans* embryos. *C. elegans* Development and Gene Expression, EMBL, Heidelberg, Germany. 2010.6.18
12. Hiroshi Koyama, Akatsuki Kimura. Quantification of cell shapes and construction of a novel mechanical model to estimate cell-surface stiffness during cytokinesis in *C. elegans* embryonic cells. ASCB Annual Meeting 2010, Philadelphia, U.S.A. 2010.12.11-15

◆ 国内会議

1. G. Ueno, T. Higuchi, T. Kagimoto, and N. Hirose, Maximum likelihood estimation of error covariances in ensemble-based filters and its application to a coupled atmosphere-ocean model, EGU General Assembly 2010, 平成 22 年 5 月 2-7 日.
2. S. Nakano, M.-C. Fok, P. C. Brandt, and T. Higuchi, Application of data assimilation technique for the modeling of the plasmasphere using EUV imaging data, 日本地球惑星科学連合 2010 年, 平成 22 年 5 月 23-28 日.
3. 長尾大道, 樋口知之, 三浦哲, 稲津大祐, 長期潮位データ解析を目的とした粒子フィルタコードの開発,

日本地球惑星科学連合 2010 年, 平成 22 年 5 月 23-28 日.

4. 海老原祐輔, 菊池崇, 家田章正, 新堀淳樹, 平木康隆, 堀智昭, 西谷望, 樋口知之, 上野玄太, S. Ohtani, GEMSIS\_電離圏: 擾乱時のグローバルな電離圏電場ポテンシャル分布の導入に向けて, 日本地球惑星科学連合 2010 年, 平成 22 年 5 月 23-28 日.
5. 才田聡子, 門倉昭, 山岸久雄, 佐藤夏雄, 藤田茂, 田中高史, 海老原祐輔, 村田健史, 松岡大祐, 上野玄太, 樋口知之, Reproducing eigenfrequency of high-latitude geomagnetic field line in a global MHD simulation, 第 128 回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 平成 22 年 10 月 30 日-11 月 3 日.
6. R. Yoshida, M. M. Saito, H. Nagao, S. Nakano, M. Nagasaki, R. Yamaguchi, S. Imoto, M. Yamauchi, N. Gotoh, S. Miyano, and T. Higuchi, LiSDAS: Life Science Data Assimilation Systems, 次世代スーパーコンピューティング・シンポジウム 2010 および第 1 回戦略プログラム 5 分野合同ワークショップ, 平成 23 年 1 月 17 日.
7. 吉田亮, 長尾大道, 斎藤正也, 樋口知之, LiSDAS: Making whole gene simulators for transcriptional dynamics with fully automatic modeling, 第 3 回バイオスーパーコンピューティングシンポジウム, 平成 23 年 2 月 21 日-22 日.
8. 中野慎也, 樋口知之, Alternatively lattice-pattern switching strategy for the particle filter on a massively parallel computer, 第 3 回バイオスーパーコンピューティングシンポジウム, 平成 23 年 2 月 21-22 日.
9. 長尾大道, 吉田亮, 斎藤正也, 樋口知之, Estimation performance of LiSDAS by means of massively parallel computers, 第 3 回バイオスーパーコンピューティングシンポジウム, 平成 23 年 2 月 21-22 日.
10. 斎藤正也, 井元清哉, 山口類, 佐藤弘樹, 中田はる佳, 上昌広, 宮野悟, 樋口知之, 新型インフルエンザ対策のための並列パンデミック・シミュレータ, 第 3 回バイオスーパーコンピューティングシンポジウム, 平成 23 年 2 月 21-22 日.
11. 長尾大道, 中野慎也, 樋口知之, 微気圧変動データ同化による 2008 年岩手・宮城内陸地震の断層パラメータの推定, 青い地球と白い大陸の地震学-南極域の固体地球振動特性と不均質構造・ダイナミクスの解明—観測報告と研究成果, 及び将来計画についての検討会 (その 3), 平成 23 年 2 月 24 日.
12. Hosokawa, K. and Y. Ogawa, Pedersen current carried by electrons in auroral D-region - 3D current system behind pulsating aurorae -, 第 128 回 SGEPS 学会, 沖縄県市町村自治会館, 2010 年 11 月 2 日.
13. 小川泰信, 野澤悟徳, 藤原均, 宮岡宏, 元場哲郎, 藤井良一, 大山伸一郎, 堤雅基, 中村卓司, 田口真, 細川敬祐, EISCAT レーダーを用いた極域電離圏の太陽活動度依存性の研究, CAUSES-II キックオフシンポジウム, 京都大学生存圏研究所, 2010 年 6 月 16-17 日.
14. 小川泰信, 上野玄太, I. Häggström, 非干渉散乱波のプラズマラインの検出手法開発, 第 128 回 SGEPS 学会, 沖縄県市町村自治会館, 2010 年 11 月 2 日.
15. Kazuteru Hasegawa, Yumiko Saga. Periodic activation of retinoic acid signaling creates stage-dependent gene expression in Sertoli cells during mouse spermatogenesis. 43rd Annual Meeting of the Japanese Society of Developmental Biologists, Kyoto, 2010.6.20-23
16. 小山宏史, 木村暁「細胞質分裂の力学的機構: 細胞表層の硬さの制御とその役割」定量生物学の会第 3 回年会, 東京大学, 東京, 2010.11.27-28
17. 木村暁「線虫初期胚における cytoplasmic streaming と semi-open mitosis の解析」定量生物学の会第 3 回年会, 東京大学, 東京, 2010.11.27-28

[パネラー]

1. 樋口知之, モデリング技術を備えた人材の育成に必要なものは?: 現在の大学院教育に欠ける視点, 情報・システム研究機構シンポジウム「情報とシステム 2010 —大量データ社会のリテラシー: モデリング技術—», 一橋記念講堂 (東京), 平成 22 年 10 月 25 日.

[その他]

◆ 教育活動

1. 樋口知之, 連携講座「複雑系統計科学」集中講義, 東北大学大学院情報科学研究科 応用情報科学専攻, 平成 22 年 5 月 11, 25 日.
2. 樋口知之, 状態空間モデルと粒子フィルタ, システム制御情報チュートリアル講座 2010, 平成 22 年 6 月 7 日.
3. 樋口知之, 集中講義, 九州大学大学院システム情報科学府, 平成 22 年 10 月 19-22 日.
4. 樋口知之, データ同化によるシミュレーションと大規模データの統融合解析, 大阪大学大学院工学研究科特別講義「データマイニング工学」, 平成 22 年 10 月 26 日.

<受賞>

1. 廣瀬慧, コンペティション最優秀報告賞, 2010 年度 統計関連学会連合大会 (樋口知之が研究指導)
2. 本橋永至, コンペティション優秀報告賞, 2010 年度 統計関連学会連合大会 (樋口知之が研究指導)
3. 中村卓司, 地球電磁気・地球惑星圏学会・田中館賞, 2010 年 11 月. 「光学・電波協同観測による大気波動の励起・伝播・砕波の研究」

③ その他の成果発表