

領域略称名：疎性モデリング
領域番号：4503

平成27年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る中間評価報告書

「スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成」

(領域設定期間)

平成25年度～平成29年度

平成27年6月

領域代表者 (東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授・岡田真人)

目 次

研究領域全体に係る事項

0. 研究組織	2
1. 研究領域の目的及び概要	8
2. 研究の進展状況	10
3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況	15
4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	19
5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	24
6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	31
7. 若手研究者の育成に係る取組状況	35
8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	37
9. 総括班評価者による評価	39
10. 今後の研究領域の推進方策	43

研究組織

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成員数
X00	25120001 スパースモデリングと 高次元データ駆動科学 創成への支援と広報	平成25年度～ 平成29年度	岡田 真人	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授	13
A01-1 計	25120002 スパースモデリングを 用いた新しい医用 MRI 画像の創生	平成25年度～ 平成29年度	富樫 かおり	京都大学・大学院医学研究科・教授	5
A01-2 計	25120003 スパースモデリングに よる NMR 計測・解析の 高速高精度化	平成25年度～ 平成29年度	木川 隆則	国立研究開発法人理化学研究所・生命システム研究センター・チームリーダー	3
A01-3 計	25120004 スパースモデリングか ら脳における視覚物体 像の時空間表現に挑む	平成25年度～ 平成29年度	谷藤 学	国立研究開発法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・チームリーダー	4
A02-1 計	25120005 スパースモデリングに 基づくデータ駆動解析 による地球プロセスモ デルの構築	平成25年度～ 平成29年度	駒井 武	東北大学・環境科学研究科・教授	4
A02-2 計	25120006 スパースモデリングが 拓く太陽系博物学：ハヤ ブサ後の小惑星探査戦 略の創出	平成25年度～ 平成29年度	宮本 英昭	東京大学・総合研究博物館・准教授	3
A02-3 計	25120007 スパースモデリングを 用いた超巨大ブラック ホールの直接撮像	平成25年度～ 平成29年度	本間 希樹	国立天文台・水沢 VLBI 観測所・教授	4
B01-1 計	25120008 圧縮センシングにもと づくスパースモデリン グへのアプローチ	平成25年度～ 平成29年度	田中 利幸	京都大学・情報学研究科・教授	3
B01-2 計	25120009 スパースモデリングに よる潜在構造の抽出	平成25年度～ 平成29年度	岡田 真人	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授	5

B01-3 計	25120010 物理モデリングとスパースモデリングの融合による自然法則の抽出	平成25年度～ 平成29年度	福島 孝治	東京大学・大学院総合文化研究科・准教授	3
C01-1 計	25120011 カーネル法による高次元データの非線形スパースモデリング	平成25年度～ 平成29年度	赤穂 昭太郎	国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・研究グループ長	5
C01-2 計	25120012 セミパラメトリックベイズ推論アプローチによるスパースモデリングの深化と応用	平成25年度～ 平成29年度	福水 健次	統計数理研究所・数理・推論研究系・教授	3
C01-3 計	25120013 大規模なスパースモデリングへの統計力学的アプローチ	平成25年度～ 平成29年度	樺島 祥介	東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授	6
C01-4 計	25120014 スパースモデリングを促進する可視化基盤の強化	平成25年度～ 平成29年度	藤代 一成	慶應義塾大学・理工学部・教授	3
計画研究 計 14 件					
A01 公	26120501 生体系固体 NMR 解析の高度化とスパースモデル	平成26年度～ 平成27年度	出村 誠	北海道大学・先端生命科学研究科・教授	1
A01 公	26120505 スパース性を利用した体幹部呼吸性体動の高速4次元 MR イメージング	平成26年度～ 平成27年度	羽石 秀昭	千葉大学・フロンティア医工学センター・教授	6
A01 公	26120506 スパース性を使った新規多次元 NMR スペクトル再構成法の開発とGPCR 研究への応用	平成26年度～ 平成27年度	上田 卓見	東京大学・大学院薬学系研究科・助教	2
A01 公	26120507 疎性を用いた多階層ネットワークの同定	平成26年度～ 平成27年度	宇田 新介	九州大学・生体防御医学研究所・准教授	1

A01 公	26120514 スパースモデリングによるヒト脳内での物体画像表現ダイナミクスの解明	平成26年度～ 平成27年度	宮脇 陽一	電気通信大学・先端領域教育研究センター・准教授	1
A01 公	26120525 遺伝子発現の力学的・回路的制御機構の実験・シミュレーションデータ駆動型研究	平成26年度～ 平成27年度	栗津 暁紀	広島大学・理学系研究科・准教授	3
A01 公	26120528 変数選択安定性を重視した変数選択を用いたオミックス疾患バイオマーカー探索	平成26年度～ 平成27年度	田口 善弘	中央大学・理工学部・教授	1
A01 公	26120531 スパースモデリングの深化による MR スペクトルスコピーへのデータ駆動学的アプローチ	平成26年度～ 平成27年度	梅田 雅宏	明治国際医療大学・医学教育研究センター・教授	2
A01 公	26120532 大規模神経活動イメージングによる皮質コラムの階層型情報変換機構の解明	平成26年度～ 平成27年度	船水 章大	沖縄科学技術大学院大学・研究員	2
A01 公	26120533 パスサンプリングによる1分子 FRET 光子計数データのモデリング	平成26年度～ 平成27年度	松永 康佑	国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究機構・研究員	2
A01 公	26120536 スパースモデリングを用いた大脳中次視覚野における自然視覚情報処理機構の解明	平成26年度～ 平成27年度	西本 伸志	国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター・主任研究員	1
A02 公	26120508 極低温走査トンネル顕微鏡を用いた物性物理学実験へのスパースモデリングの適用	平成26年度～ 平成27年度	吉田 靖雄	東京大学・物性研究所・助教	3
A02 公	26120519 金属鉱床品位の3次元	平成26年度～ 平成27年度	小池 克明	京都大学・工学研究科・教授	2

	高精度モデリングと鈹床形成の物理法則の検出				
A02 公	26120535 スパースモデリングを用いた顔の個体認知の神経機構の解明	平成26年度～ 平成27年度	菅生 康子	国立研究開発法人産業技術総合研究所・研究員	3
A02 公	26120537 ブラックホール直接撮像をおこなう気球サブミリ波VLBIのキーテクノロジー	平成26年度～ 平成27年度	土居 明広	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・助教	4
A02 公	26120538 疎性モデリングによる地震発生予測のための地殻活動データからの情報抽出	平成26年度～ 平成27年度	堀 高峰	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地震津波海域観測研究開発センター地震津波予測研究グループ・グループリーダー	2
B01 公	26120502 エネルギーデバイス界面の動的電気測定による疎性モデリングの産業応用	平成26年度～ 平成27年度	島田 敏宏	北海道大学・工学研究院・教授	3
B01 公	26120509 化学反応データ計測とベイズ推定によるデータ駆動反応化学の確立	平成26年度～ 平成27年度	佐々木 岳彦	東京大学・新領域創成科学研究科・准教授	2
B01 公	26120510 疎性モデリングとの融合によるデータ同化研究の新展開	平成26年度～ 平成27年度	長尾 大道	東京大学・地震研究所・准教授	1
B01 公	26120511 スパースモデリングによるナノデバイスシミュレーション解析	平成26年度～ 平成27年度	安藤 康伸	東京大学・工学研究科・助教	5
B01 公	26120512 スパースモデリングによる大規模カルシウムイメージングデータの解析手法の確立	平成26年度～ 平成27年度	青西 亨	東京工業大学・総合理工学研究科・准教授	2
B01 公	26120513 スパース性を利用した	平成26年度～ 平成27年度	中尾 裕也	東京工業大学・情報理工学研究科・准教授	1

	大自由度非線形システムのデータ解析とモデリング				
B01 公	26120518 低ランク行列分解法による非経験的ナノ物性マッピング法の開発と応用	平成26年度～ 平成27年度	巽 一徹	名古屋大学・エコトピア科学研究所・准教授	3
B01 公	26120521 スパース最適制御理論によるバイオメカニクスのためのスパースモデリング	平成26年度～ 平成27年度	永原 正章	京都大学・大学院情報学研究科・講師	1
B01 公	26120522 圧縮センシングを用いた超低磁場MRIの時空間分解能の向上	平成26年度～ 平成27年度	笈田 武範	京都大学・大学院工学研究科・助教	1
B01 公	26120529 スパースモデリングを用いた自閉症スペクトラムの構造推定	平成26年度～ 平成27年度	市川 寛子	東京理科大学・理工学部・講師	1
C01 公	26120503 疎性モデリングに基づく部分グラフ指示子の冗長性及び相関構造の分析	平成26年度～ 平成27年度	瀧川 一学	北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授	1
C01 公	26120504 スパース表現に基づくマーク付き点過程に対する距離尺度の学習手法の開発	平成26年度～ 平成27年度	日野 英逸	筑波大学・大学院システム情報工学研究科・助教	1
C01 公	26120515 相 関 ス パ ー ス 表 現 Deep Architecture に よるテキスト解析	平成26年度～ 平成27年度	庄野 逸	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授	2
C01 公	26120516 時系列データの再帰的 圧縮過程における最適 停止性の研究	平成26年度～ 平成27年度	村山 立人	富山大学・大学院理工学研究部(工学)・講師	1
C01 公	26120517 基本演算としての3次	平成26年度～ 平成27年度	大淵 竜太郎	山梨大学・総合研究部・教授	1

	元構造類似比較技術とそのスパースモデリングへの応用				
C01 公	26120523 ネットワーク構造のスパースモデリングの探求	平成26年度～ 平成27年度	下平 英寿	大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授	2
C01 公	26120524 疎性モデリングへの組合せ論的アプローチと最適化	平成26年度～ 平成27年度	河原 吉伸	大阪大学・産業科学研究所・准教授	2
C01 公	26120526 圧縮センシングに基づく超高次元非線形写像の機械学習に関する研究	平成26年度～ 平成27年度	酒井 智弥	長崎大学・大学院工学研究科・准教授	1
C01 公	26120527 スパースモデリングを実現する一般化主成分分析法の圧縮センシングに基づく数理基盤	平成26年度～ 平成27年度	小西 克己	工学院大学・情報工学部・准教授	1
C01 公	26120530 スパースデータの多階層メモリへの配置及び高速かつ省電力計算手法の開発と検証	平成26年度～ 平成27年度	藤澤 克樹	九州大学・マスフォアインダストリ研究所・教授	3
C01 公	26120534 スパースモデリングを用いたビッグデータのIn-situ可視化	平成26年度～ 平成27年度	BI Chongke	国立研究開発法人理化学研究所・研究員	1
公募研究 計 37 件					

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要（2ページ程度）

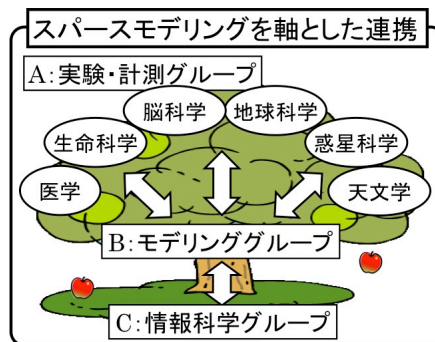
研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

大量の高次元計測データに隠された規則性を抽出するデータ解析の系統的技術の開発は、来たるべき「データ科学時代」における全ての科学分野に共通する喫緊の課題である。本領域では、多くの自然科学分野の高次元計測データに普遍的にスパース性が存在することを基本原理としたスパースモデリングに注目し、生命分子からブラックホールに至る、幅広い自然科学分野の実験・計測研究者と情報科学者の連携により、この課題を解決する。これにより、スパースモデリングの数理的基盤を深化させるとともに、高次元データ駆動科学ともいうべき新学術領域を創成し、これから本格化するデータ科学時代に向けて我が国の学術水準の圧倒的優位を確立する。

① どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる新たな研究領域」であるか

より深く自然を知りたいという飽くなき探究心が、とどまることを知らない計測技術の向上をもたらし、大量の高次元観測データを日々生み続けている。

これを好機と捉え、科学技術の水準を革新的に向上・強化させるために、情報科学と自然科学が緊密に融合した革新的な自然探究の方法論を構築する。我々は、その方法論構築のためのキーテクノロジーが、近年、情報科学分野で大きな注目を集めているスパースモデリング(SpM)であると考え。SpMは、高次元データに普遍的に内在するスパース(疎)性を利用することで、計算量が次元数に対して指数爆発(計算量爆発)し、スパコン「京」でさえ数十年を要する状況でも、実際の時間でデータから最大限の情報を効率よく抽出できる技術の総称である。これまでSpMは個別分野において萌芽的成果を生み出しており、それらの背後にある共通原理を明確化し、より強力なものにすることは自然科学全体に革新的展開をもたらす。



高次元データ駆動科学の創成

図 1-1: スパースモデリングに基づく高次元データ駆動科学

こうした現状認識を踏まえ、本領域では図 1-1 のように、SpM や高次元データ解析で顕著な実績をあげている情報科学者と、生命分子からブラックホールに至る、幅広い自然科学の実験・計測研究者が SpM というキーテクノロジーを軸として緊密に連携することで、大量の高次元データを効率的に科学的な知へとつなげる高次元データ駆動科学ともいうべき新学術領域を創成する。これにより、これまで、個々の分野ごとに探求されていた課題に対して、新たな共通原理に基づく革新的な科学的方法論を確立することによって、あらゆる科学分野の研究に大きな波及効果をもたらし、来たるべきデータ科学の時代に向けて、我が国の学術水準の圧倒的優位性を確立する。

その具体化へ向けて、以下の三つの重点目標を掲げる。

A: データ駆動科学の実践: 高次元データの効率的な活用により、科学的方法の質的変化を引き起こすことで、自然科学の個別の課題を解決する。

B: モデリング原理の確立: 多様な視点の導入により、分野の個性を超えた類似性/共通性にもとづいた対象/現象のモデル化法に関する理論整備を行うことで、革新的展開を生み出す。

C: 数理基盤の形成: 非線形で不確実性を伴う高次元の自然科学データに関して、具体的事例から数理的課題を絞り込むことで、実証的観点から従来の多変量解析理論を刷新する。

これら A, B, C に対して、本領域では、図 1-2 のように、実験・計測グループ(実験 G, A01,A02),

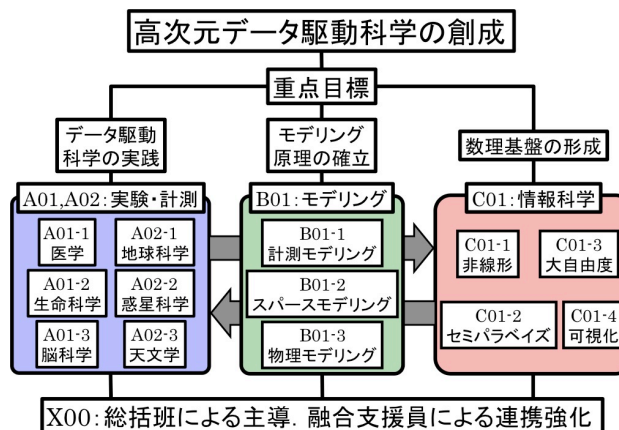


図 1-2: 領域の重点目標と班構成

モデリンググループ(モデル G, B01), 情報科学グループ(情報 G, C01)の三つの項目をおく. 自然科学と情報科学の緊密な連携・融合を目指す本領域において, モデル G(B01)のインターフェース・触媒としての役割が特に重要である. モデル G(B01)は構造的類似性に基づき, できるだけ一般性のあるモデリング原理の確立を目指す横断的コーディネーション研究を中心的機能として研究を進める.

② 研究の学術的背景：なぜスパースモデリングか？

科学とは, (1)研究者の仮説や意図に基づいた実験・観測によりデータを獲得し, (2)そこから少数の説明変数を選択し, (3)得られた説明変数と仮説を比較し対応することで法則を発見する行為である. この**仮説の提案／検証ループ**の不断の繰り返しにより今日の科学は発展してきた. 天体観測の結果を分析し, ケプラーの法則を経て到達したニュートン力学はこの模範例である. 一方で, 近年の計測技術の発展による**データの高次元化で計算量が爆発**する状況に, 研究者の直感的行為である思索や試行錯誤が追いつかずに, こうした**仮説／検証ループに基づくモデル化が著しく困難**になっている. こうした問題は, 物理学や化学と比して, 多数の要素が生み出す複雑な現象に目を向ける生物や地学など「理科第2分野」に分類される科学で特に顕著である.

スパースモデリング(SpM)とはこのような困難を解決するために提案されたモデル化／アルゴリズムの総称である. その基本的な考え方は(1)高次元データの説明変数が次元数よりも少ない(スパース)と仮定し, (2)説明変数の個数が小さくなることと, データへの適合とを同時に要請することにより, (3)人手に頼らない自動的な説明変数の選択を可能にする枠組みである. SpMの先駆は1980年代の後半に石川真澄が提案した人工神経回路網モデルの**忘却付き構造学習**である. 2000年代半ばからはDonohoらが提唱している**圧縮センシング(CS)**が計測工学, 通信工学, 医用工学など幅広い分野で革新的情報抽出技術として大きな注目を集めている.

③ 関連する国内・国外の研究動向と本領域との関係をどのように位置づけているか

データ科学の時代が今まさに到来しつつあり, その中で, データベースの構築やソフトウェア開発など, ユーザーに対する情報の可用性を高めることを目的とした研究が多くなされている. 一方, 科学的知識抽出を目指すプロジェクトは, 具体的なアルゴリズムや研究アプローチの模索段階である.

本応募領域は, 大量の高次元データからの科学的知識抽出の系統的方法論の構築を推進するものである. その具体的方策として, (1)スパースモデリング(SpM)への重点投資, (2)複数の自然科学分野と情報科学分野との協働運営体制, (3)普遍性の探求による各分野間の壁の完全撤廃, の三点を基本戦略に掲げる. 本応募領域が生み出す新たなデータ解析手法・科学的研究スタイルは, データ情報科学分野のみならず, ほぼ全ての自然科学領域に大きな波及効果を及ぼす.

④ 応募領域の着想に至った経緯

領域代表者を含めたモデル G(B01)および情報 G(C01)のメンバーは, 図 1-3 に示すように, 過去に二件の特定領域研究「確率的情報処理への統計力学的アプローチ」(平成 14~17 年度)および「情報統計力学の深化と展開」(以下 DEX-SMI)(平成 18~21 年度)の採択経験がある. DEX-SMI の事後評価は A であり, 「質, 量ともに十分な研究業績が得られている. 力量のある研究集団により, 統計力学の分野で活力ある新領域が形成されつつある」とのコメントをいただいた. 加えて, ヒアリングの場において, 「今後は構築された学問体系の**他分野への**

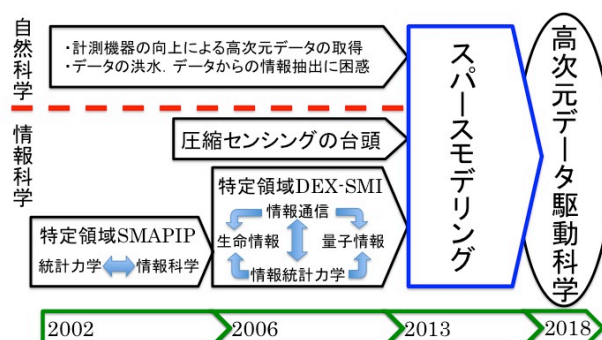


図 1-3 : 応募領域の着想に至った経緯

応用展開を期待する.」, 「枠組みの普遍性を見出すために, 今後の**実験家との共同研究**を期待する.」との建設的で示唆に富むご指導をいただいた. 以上コメントに基づき, DEX-SMI からの理論家のみによる運営体制と決別し, 理科第2分野に属する生物学・地学の全域を含んだ実験家との協働体制を基礎とする運営体制を編成した. これにより, 大量の高次元データから, 仮説(モデル)を系統的に導く方法論を, 生物学・地学分野に確立し, それを実践するための**研究体制のコア**を我が国に形成する.

2. 研究の進展状況〔設定目的に照らし、研究項目又は計画研究ごとに整理する〕（3ページ程度）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在までにどこまで研究が進展しているのか記述してください。また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように発展したかについて研究項目又は計画研究ごとに記述してください。

研究の進展状況のまとめ

総括班を含めた各計画研究の進捗は、それぞれの報告書に記載されているように、2年間の活動で、4年9ヶ月で設定した研究課題の半分以上が進展しており、研究は順調に進んでいる。以下、研究項目毎、設定目的と研究の進展を報告する。

総括班(X00)

設定目的：領域課題名の「スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成」にむけて、領域としての研究方針を定め、リーダーシップを持って領域を運営する。

総括班の研究推進戦略：1. 研究領域の目的及び概要でのべたように、本領域では A：データ駆動科学の実践、B：モデリング原理の確立、C：数理基盤の形成を研究推進の目標としている。これを領域の組織構成に反映し、図 2-1 の三層構造からなる、実験 G(A01, A02)、モデル G(B01)、情報 G(C01)の研究項目をおいた。

総括班(X00)は図 2-2 の形で領域全体の研究推進を主導する。実験 G(A01, A02)では、大量の高次元データを用いてデータ駆動科学を実践し、新規な規則発見や実験プロトコルの飛躍的高速化を実現する科学的方法を確立する。モデル G(B01)は、分野横断的な数理構造の類似性に基づき、自然科学の個別データと情報科学の汎用的解析を結ぶシステム科学的方法論を探究することで、仮説／検証ループに基づくモデル化を系統的に行うモデリング原理の確立を行ない、分野の垣根を越えて存在する普遍的枠組であるデータ駆動科学を創成する。情報 G(C01)では、実際の状況の特徴を取り入れられる分野に共通する普遍的な典型モデルを開発し、ガウス性に強く依存していた従来の多変量解析の方法を刷新する方法をモデル G(B01) と協力し開発するとともに、従来のスパース推定である圧縮センシングや LASSO などに代わる普遍的方法の探求を行うことで、スパースモデリングの深化の数理基盤を構築する。

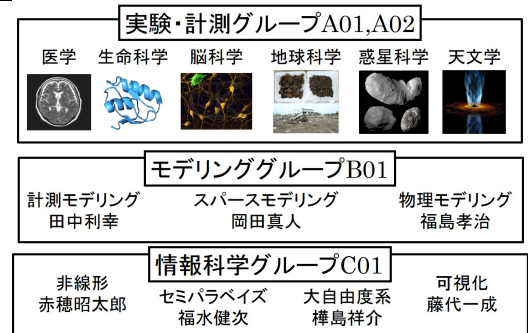


図 2-1：本領域の構成

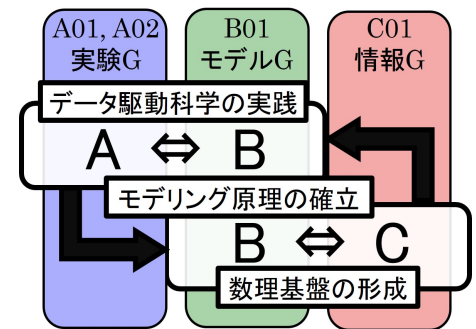


図 2-2：各研究項目の重点目標

研究の進展状況

領域代表の岡田は他の総括班メンバーとともに、上記研究推進戦略に基づき本領域を運営する過程で、図 2-3 に示すように、複雑な情報処理装置を理解するために重要であると神経科学者の David Marr が指摘した三つのレベルが、データ駆動科学を創成するためにも重要な着眼点となることを確信した。本領域の実験 G(A01,A02)と情報 G(C01)が、Marr の計算理論と表現・アルゴリズムのレベルにそれぞれ対応する。

本領域は先端的データ解析手法の活用による科学的方法論の革新を目的としたものであり、各計画研究においては、データ解析による限界打破を目指さない実験・観測研究、あるいは、実験・観測研究の目的を忘れた手法開発に陥ってはならない。そのためには、計算理論の表現・アルゴリズムへの変換を担う新たなモデリングのレベルが必須である。これら計算理論、モデリング、表現・アルゴリズムの三つのレベルを、“データ駆動科学の

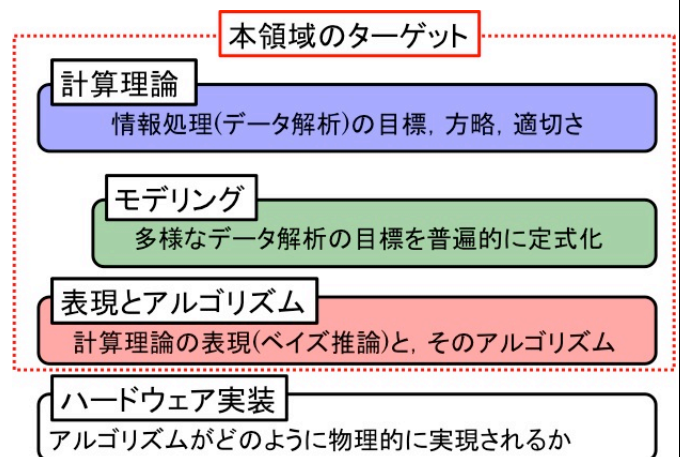


図 2-3：三つのレベルと本領域のターゲット

「三つのレベル」と名づけ、データ駆動科学の学理の原点に位置付けた。

領域代表主導のもと、「データ駆動科学の三つのレベル」を領域内に浸透させることで、下記の計画研究ごとの発展状況に記すように、本質的にイノベーティブな、分野・階層を超えた共同研究（たとえば、医学と情報科学、生命科学と統計力学、医学と天文学、心理学と地球科学）が多数生まれ、それらが学術論文として結実しはじめている。このことは、普遍的なデータ解析手法があるという本領域から生まれた新たな学理の圧倒的な力強さの表れであろう。

また、データ駆動科学の領域外への浸透を図るため、自然科学・情報科学分野の主要学会において積極的に主催セッション等を開催し、学会誌での解説記事の執筆などにも務めている。多数の公募研究による幅広い展開と相まって、本領域の活動は萌芽段階から本領域外にも浸透・定着するステージに移行しつつあると認識している。多数の読者を有する有力経済紙に取り上げられる(図2-4)など、こうした一連の活動および動向は、研究者のコミュニティだけでなく、広く国民や産業界からも注目されはじめている。



図 2-4：日本経済新聞(5/3 朝刊) 新学術領域「疎性モデリング」の特集

A：データ駆動科学の実践・実験 G(A01, A02)

設定目的：実験 G(A01, A02)は、生物学、地学などの理科第 2 分野を中心に、大量の高次元データの有効活用による新規な規則発見や実験プロトコルの飛躍的高速・高精度化を実現する科学的方法を確立する。その一例は、天文学班(A02-3)代表の本間が、電波干渉計データから SpM を用いて、回折限界の 3-4 倍の超解像を達成し、図 2-5 のように想像されているブラックホールの直接撮像という天文学・天体物理学史上最大級のマイルストーンを刻みこむことである(Science, Online September 27 2012)。

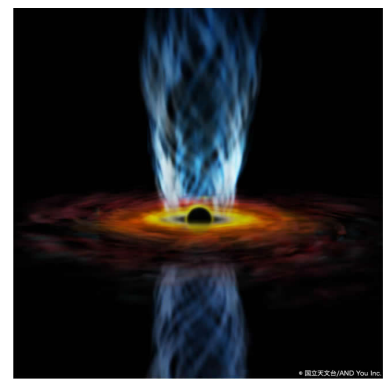


図 2-5：巨大ブラックホールから出るジェットの想像図

研究の進展状況

医学班(A01-1): SpM により MRI の空間的・時間的分解能を向上させ、画像による非侵襲的な疾病の診断能を向上させ、早期診断・治療と予防へ貢献する。計測モデリング班(B01-1)との協働により、心筋梗塞において、周期的に動いている被写体の高速撮像を行った。図 2-6 のように、MRI のサンプリングレートを 10%まで落としたときに、従来法である Zero fill 再構成では、注目したい部位が歪んでいるのに対し、SpM を利用することで、画像改善に成功した。これは短い時間で十分な計測ができることを意味し、実験プロトコルの飛躍的高速・高精度化を実現しており、患者の負担軽減に大きく貢献できるなど着実に成果を上げている。MRI は NMR と共通点が多く、生命科学班(A01-2)と情報を共有している。

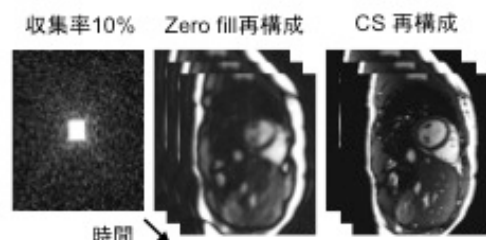


図 2-6：心臓シネ画像の CS 再構成結果

生命科学班 (A01-2): SpM によって生命分子の NMR 計測やデータ解析を高速・高精度化し、複雑な生命分子系を対象にした NMR 計測の発展を目指す。大自由度班(C01-3)との協働により、従来のスパース推定に事前知識を組み込むことで、スパースに計測した NMR 信号の再構成法の開発を行った。また、計測モデリング班(B01-1)との協働により、情報科学を生命分子系の NMR 計測と結びつける

「符号化標識法(SiCode)」を提案した。さらに、スパースモデリング班(B01-2)との協働により、NMR スペクトルに対してベジアンスペクトル分解を適用した。図 2-7 に示すように、「どのアミノ酸であるか」というモデル選択の問題と捉えることにより、客観的な指標に基づくモデル選択が可能となった。以上、NMR 計測における**実験プロトコルの飛躍的高速・高精度化**を行い、**新規な規則発見**に向けて着実に成果を上げている。

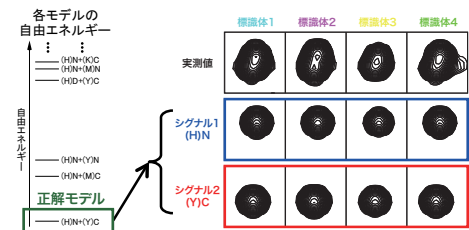


図 2-7: ベジアンスペクトル分解によるシグナル分離

脳科学班(A01-3): 多くの物体像に対する神経細胞の応答に、SpM を適用して、物体を表現する空間の構造を明らかにし、物体像の脳内情報表現の統一的な理解を目指す。図 2-8 に示すように、カテゴリの異なる特徴に反応するスパースな部分空間構造を明らかにした。サル高次視覚連合野の様々な部位から物体像に対する応答を測定し、スパースモデリング班(B01-2)との協働により、SpM を用いたクラスター解析を行うことで、4 つのクラスターを抽出できた。さらに、物体像表現空間の各次元が表象する図形特徴を定量的に抽出する手法を確立するなど、**新規な規則発見**に向けて着実に成果を上げている。

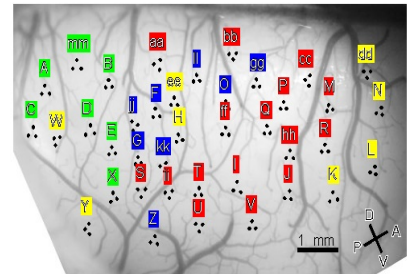


図 2-8: 意味的なカテゴリを表象する 4 つのクラスター

地球科学班(A02-1): SpM を導入することで、高次元・大量の地球科学データに潜む本質的な物理化学プロセスや構造を抽出する**データ駆動科学的な枠組み**を構築する。スパースモデリング班(B01-2)との協働により、2011 年東北沖津波堆積物を対象に図 2-9 に示すような津波堆積物の化学組成を支配する化学プロセスを明らかにした。津波堆積物の化学組成バリエーションを支配する要因として、「ケイ酸塩鉱物の含有量比」、「重金属類の付加」、「海水成分の影響」の 3 つが重要であることを明らかにするなど、**新規な規則発見**に向けて着実に成果を上げている。

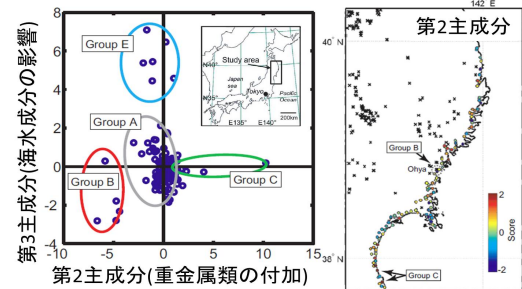


図 2-9 : SpM による化学特性抽出

惑星科学班(A02-2): SpM によって高次元観測データから説明変数を自動抽出する手法を開発し、太陽系内における物質分布の解明を目指す。まず出版されている論文全てのデータを用いて、世界最大となる隕石組成データベース(DB)を構築した。図 2-10 は組成 DB のクラスター解析のみから、従来の岩石学・鉱物学による分類と合致するクラスター化が可能であることを示した図である。さらに、主成分分析を元に本質的な元素抽出を行い、主成分が隕石学的な特徴を説明していることがわかった。このように惑星科学における**新規な規則発見**にむけ、データ駆動的アプローチで既知の知識と合致する表現を抽出可能なことを示すなど**着実に成果を上げている**。これらの知見をもとに、スパースモデリング班(B01-2)、非線形班(C01-1)とセミパラベイズ班(C01-2)と協働している。

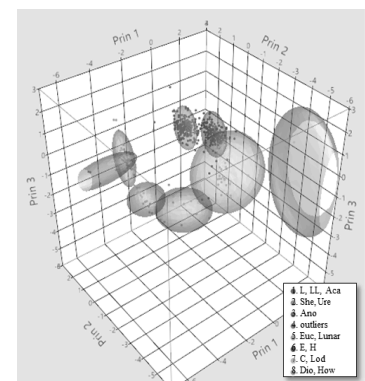


図 2-10 : 全岩組成を用いたクラスター解析

天文学班(A02-3): SpM を電波干渉計撮像に応用して通常よりも高い分解能を得る超解像技法を開拓し、超巨大ブラックホール(BH)の直接撮像および関連する物理パラメータの決定を目指す。BH 観測データは、最先端の観測技術を用いても

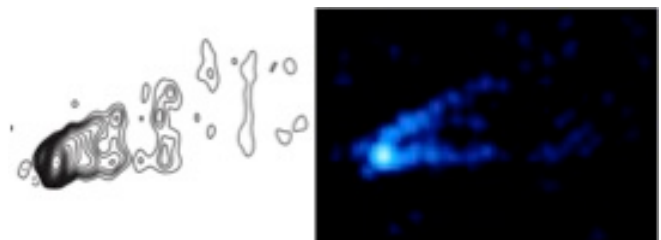


図 2-11 : M87 の VLBA による電波写真

十分な量のデータを得ることが困難であり、SpM がデータ解析の鍵を握る観測対象である。計測モデリング班(B01-1)との協働により、LASSO を用いた超解像技法の開発を進展させ、BH 観測データに適用した。その結果、従来手法よりも高分解能のイメージングデータを得ることが可能となった(図 2-11)。このように、データが希少な自然科学計測へ SpM を導入し、実験プロトコルを飛躍的高速・高精度化することによって、着実に成果を上げている。さらに新規な規則発見に向けてスパースモデリング班(B01-2)や物理モデリング班(B01-3)との連携している。

B: モデリング原理の確立・モデル G(B01)

設定目的: モデル G(B01)は、分野横断的な数理構造の類似性に基づき、自然科学の個別データと情報科学の汎用的解析を結ぶデータ駆動科学の根幹を担う。

研究の進展状況

計測モデリング班(B01-1): SpM が有効な個別事例に対する複数事例から分野横断的な数理構造の類似性を見抜き、SpM を用いた計測に関する新たな普遍的な方法論の確立を目指す。生命科学班(A01-2)が担当する NMR の化学シフトイメージング(CSI)は非常に長い撮像時間を要するため、動態観察が困難である。そこで CS を導入することにより、撮像時間の縮減に成功した(図 2-12)。このように、個別事例と一般性のある数理的考察との間を往復することで、計測に関するモデリングにおけるデータ駆動科学の根幹をなす着実な成果を上げている。

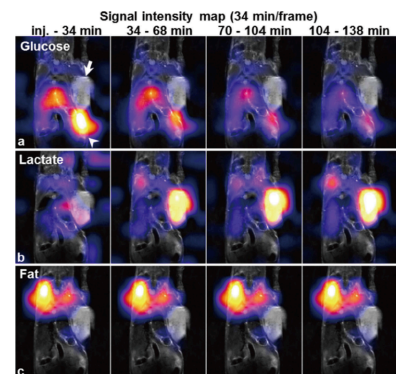


図 2-12: 代謝動態イメージング

スパースモデリング班(B01-2): 分野横断的な数理構造の類似性に基づき、高次元データの背後にある潜在構造を抽出する方法論の確立を目指す。既存の SpM である LASSO では、データの潜在構造である説明因子の組み合わせが安定して求まらないことがあると指摘されていた。そこで、サポートベクトルマシン(SVM)の汎化誤差を、次元に対して指数オーダーある説明因子の全組み合わせに対して求める SVM 全状態探索法(ES-SVM)を提案した。この方法はすでに地球科学班(A02-1)や、市川公募班(B01)が取り扱う実問題で既に成果を上げている。ES-SVM は図 2-13 に示すように、全状態の組み合わせの性能の分布関数を求めるので、前述の不安定さの原因など SpM の高速アルゴリズムの性能評価や、高次元データの検定など重要な未解決な問題に適用可能である。このように、データ駆動科学の根幹をなす成果を着実に上げている。

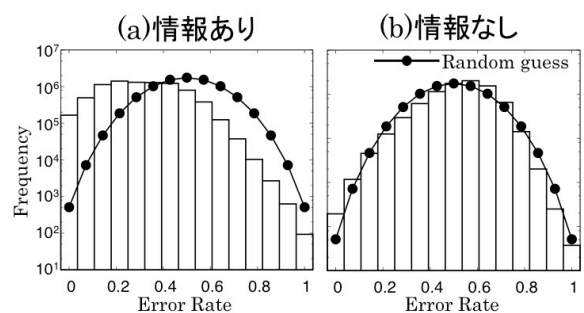


図 2-13: 与えられたデータに対する 2 クラス識別の情報の有無の判別結果

物理モデリング班(B01-3): 時空間データに対して分野横断的な数理構造の類似性の観点から、物理モデリングとスパースモデリングの融合を目指す。空間データの典型例として、走査型トンネル顕微鏡(STM)の画像データから、物質表面の空間構造を支配する、物質間の相互作用パラメータを推定する方法を、スパースモデリング班(B01-2)との協働で開発し(図 2-14)、動的な系に対するデータ駆動科学の根幹をなす成果を着実に上げている。この知見は、吉田公募班(A02)や地球科学班(A02-1)にも波及している。

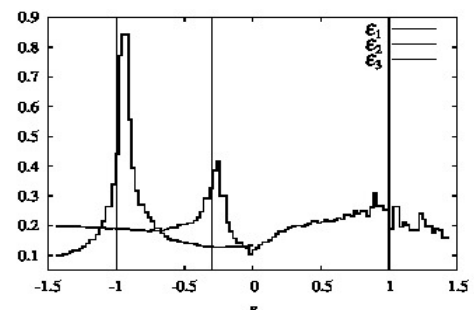


図 2-14: 相互作用パラメータ分布

C: 数理基盤の形成・情報 G(C01)

設定目的: 情報 G(C01)は実際の状況の特徴を取り入れられる典型モデルを開発し、ガウス性に強く依存する従来の多変量解析の方法を刷新し、SpM とデータ駆動科学の数理基盤を確立する。

研究の進展状況

非線形班(C01-1): 時空間構造や階層構造など複雑な構造を持つデータから潜在構造を抽出可能な **SpM** の数理基盤の確立を目指す。複数の情報源が共通に含む情報を抽出するカーネル正準相関分析 (KCCA) に関して、相関係数ではなく相互情報量とレプリカ交換モンテカルロ法を用いた手法を提案し、従来の KCCA では得られない共通成分の抽出に成功した(図 2-15)。計算機の性能向上を考慮に入れ、より正確な基準を実用化した展開は特筆すべきであり、当該分野において**着実に成果を上げて**いる。こうして得られた成果をもとに、惑星科学班(A02-2)、スパースモデリング班(B01-2)、セミパラベイズ班(C01-2)と連携している。

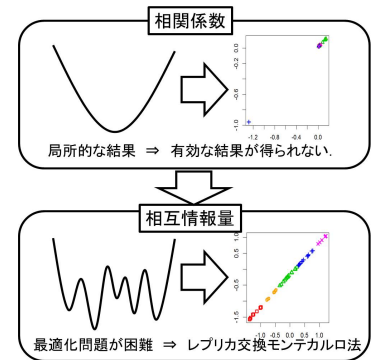


図 2-15: 相互情報量最大化による共通情報抽出

セミパラベイズ班(C01-2): 状態遷移や観測過程に不明確な部分がある場合に適用可能な、セミパラメトリック **SpM** の数理基盤の確立を目指す。モンテカルロサンプリングとカーネルベイズ則を組み合わせたカーネルモンテカルロ(KMC)フィルタを提案し、ロボットの位置推定問題に適用した(図 2-16)。自然科学では、観測過程に明確な部分と不明確な部分とが混ざり合う場合も多く、本研究は、**データ駆動科学**が多く分野に広がるための数理基盤となる。さらに、情報学的にも興味深い問題である分類法を深めるために、惑星科学班(A02-2)と議論を進めており、**成果は着実に上が**っている。

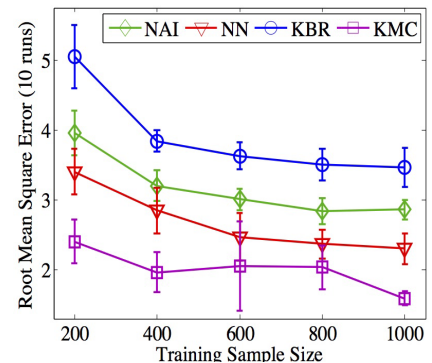


図 2-16: KMC の性能比較

大自由度班(C01-3): **SpM** に内在する大自由度性に起因した計算困難の問題を統計力学の概念/技術を用いて解決する数理基盤の構築を目指す。スパースモデリング班(B01-2)との協働により、過完備基底に基づいた次元削減の性能について精緻な分析を行い、過完備基底を用いるとランダム射影による素朴な方法よりも大幅に優れた性能を達成できることを示した(図 2-17)。また、次元削減を行う実際的手法として貪欲法と凸緩和法を比較し、貪欲法が優れていることを示した。この発見は、より有用なアルゴリズムの開発の指針を示したという点で、**SpM** の深化を目指す本領域にとって重大な展開であり、**研究成果は着実に上が**っている。

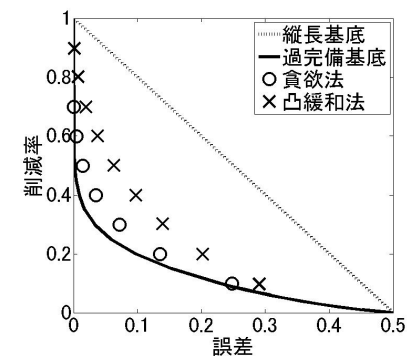


図 2-17: 過完備基底による次元削減における性能評価

可視化班(C01-4): **SpM** を用いて圧縮されたデータを 2 次元の視覚表現に変換、その物理的意味の理解を助ける可視化による**データ駆動科学の数理基盤**の確立を目指す。特徴的な部分空間を特定する過程を木構造で管理することで、非対称バイクラスタリングを用いた特徴的部分空間の視覚探索の可視化環境を実現し(図 2-18)、天文学班(A02-3)と協働で、天体の半自動分類の有効性を検証した。さらに、バイクラスタリング環境を現実の系に適用するために必要な、オンライン学習の理論解析を行うなど**研究成果は着実に上が**っており、これらは**知識発見の限界を見極めるデータ駆動科学**にとって重要な発展である。

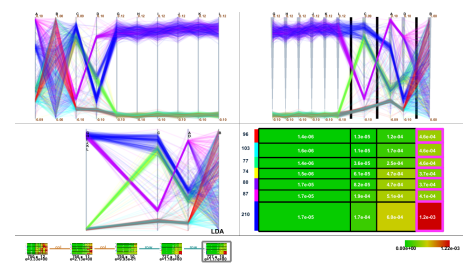


図 2-18: バイクラスタリング

3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況（2ページ程度）

審査結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

本研究領域に対する科学研究費補助金審査部会における所見

本研究領域は、多量かつ多次元のデータを少変数モデルに還元することで有意義な情報を抽出するスパースモデリングの手法を、宇宙地球科学分野と生命科学分野の先端研究に実践応用することにより深化させ、計測データから知見情報を効率的に獲得するための分野横断的な方法論を確立するとともに、これに基づいたデータ駆動型の科学の創成を目指す提案である。

計測機器の進歩により大量のデータ収集が容易になった現在、多くの分野でその解析手法が求められており、多分野の計測データに適用可能な情報科学的手法を普遍的学問として高め、幅広い科学分野の発展につなげようとする**本提案は時宜を得ており、高い波及効果が期待される。**研究組織は実績のある多分野の研究者で構成されており、**分野が異なる研究者間の連携が本質的に重要である。**領域代表者のこれまでの研究プロジェクトのマネジメント経験を活かし、融合支援員を置くなど本領域に参画する研究者が**共同研究を推進するための工夫がなされている点に期待したい。**また、**若手研究者の育成に配慮されている点は評価できる。**

一方で、この分野は国際的にも進展が早いため、**情報処理・解析の一手法に終わってしまうのではないか**との意見もあった。**ビッグデータを取り扱うプログラム手法の中での本領域の位置付けや領域としての5年後の到達点**を明確にした上で、研究を推進していくことが望まれる。

当該コメントのまとめ

上記の審査結果の所見において、本提案は時宜を得ており、高い波及効果が期待されるとの評価を頂いた。新学術領域の創成に不可欠な**分野が異なる研究者間の連携**については、**共同研究を推進するための工夫がなされている**との評価をいただき、**若手研究者の育成に配慮されている点**も評価いただいた。以上の評価内容を加味しながら、①**情報処理・解析の一手法に終わらない対応策**を講じることで、本領域の本質となる異分野間の連携の在り方・雛形が完成しつつある。またその雛形から、②**ビッグデータを取り扱うプログラム手法の中での本領域の位置付け**も明確になり、③**領域の5年後の到達点**が明らかになるとともに、既にそれに向けた動きが始まっている。

コメントへの対応策

①**情報処理・解析の一手法に終わらないための対応策とその結果**

対応策と結果のまとめ

ケプラーの法則の科学的考察により、スパースモデリングは400年の歴史を誇る正統派の知識発見のためのパラダイムであることを確認した。また、現状のスパースモデリングの一過的な応用プロジェクトにならないように、**スパースモデリングの数理的な発展**を目指し、2年間の領域運営を行なった。この成果は、**スパースモデリングの深化**を担当する情報 G(C01)の評価担当である甘利外部評価委員に高く評価された。

さらに、本領域を**情報処理・解析の一手法**を、単に多くの分野に適用することに終わらせないために、**データ駆動科学の学理の構築**を本領域の重要課題として設定した。総括班の主導のもと、領域内で議論を尽くし David Marr の三つのレベルに基づく、**データ駆動科学の三つのレベル**を提案するに至った。これは、**データ駆動科学の創成**をめざすモデル G(B01)の評価担当である樋口外部評価委員から、**革新的とも言うべき骨太な提案**であると高い評価を頂いた。

対応策：

ビッグデータ解析と高次元データのスパース性：ここでは**ビッグデータ**を、それぞれ時代のデータの記録媒体の容量と計算機能力の限界に近い大きさの**データだ**と定義する。Kepler を経由しニュートン力学の発見につながった、Tycho Brahe の天体観測のデータは、その当時の**ビッグデータ**であった。その**ビッグデータ**を前にして **Kepler** がとった**戦略**は**スパースモデリング**であった。1609年に発表された第1法則と第2法則にあるように、Kepler は Tycho Brahe の天体観測のデータから、楕円軌道上の面積速度を抽出し、それが時間によらず一定であることを示した。天体観測のデータから面積速度という一つの説明変数を抽出して、それが従う現象論を抽出したわけである。引き続き 1619

年に発表された第3法則にあるように、Keplerは天体観測のデータから公転周期 T と楕円軌道の長半径 R の二つの説明変数を抽出し、それらの間に $T^2 \propto R^3$ の関係があることを示した。Kepler 当時のビッグデータから少数の説明変数を抽出して、それが従う現象論を抽出したわけである。400年前のビッグデータの背後にある潜在的な構造であるケプラーの法則は、スパースモデリングのパラダイムで発見されていたのである。

スパースモデリングの深化

科学とは、(1)研究者の仮説や意図に基づいた実験・観測によりデータを獲得し、(2)そこから少数の説明変数を選択し、(3)得られた説明変数と仮説を比較して対応させることで法則を発見する行為である。この**仮説の提案／検証ループ**の不断の繰り返しにより今日の科学は発展してきた。先ほど紹介したケプラーの法則を経て到達したニュートン力学はこの代表例の一つである。近年直感的行為である思索や試行錯誤が追いつかずに、こうした仮説／検証ループにもとづくモデル化が著しく困難になっている。甘利外部評価委員は、ビッグデータとデータのスパース性の関係を、この中間評価報告書で次のように現代的な立場で述べた「人の手に余る大量のデータがあふれる現代、**なぜここから法則が導けるのか、その仕組みを考えてみる必要がある**。ここから出る結論の一つが、スパースすなわち疎性である。現象の多様性はどの少数の要因が選ばれたのか、その組み合わせの多様性にあるとする、信号処理の最新のパラダイムである。」

この科学の正統派の流れを、**情報処理・解析の一手法に終わらせない**ためには、情報 G(C01)が、従来の主流である線形ガウス型統計モデルから脱却し、非線形、確率推論、ノンパラメトリック学習など、**従来の統計科学、情報科学を超える新しい構想に挑む**ことで、**スパースモデリングを深化**させることである。この点に対して、甘利外部評価委員から「ここから題材を得て**理論を深化させる姿勢を貫いている**ことである。これは着実な成果を挙げつつあり、従来の細分化した科学技術研究に統合研究の新しい突破口を開くものとして**高い評価を与えたい**。」との評価を頂いた。

本領域の構成：さらに、本領域を情報処理・解析の一手法を、単に多くの分野に適用することに終わらせないためには、領域課題名の**データ駆動科学の創成**への第一歩として**データ駆動科学の学理**を構築する必要がある。以下そのためにとった**対応策**を述べる。

図 3-1 は本領域の構成である。実験・計測と情報科学は縦糸と横糸の関係があり、この縦横の糸をうまくつなぐことは、それほど簡単ではないことは多くの研究者が認識している。ある分野で用いられる有効なデータ解析手法が他の分野でも有効である一方、まったく同じデータでもデータ解析の目的により、データ解析手法が異なる場合がある。この

ような複雑な多対多の糸の絡み合いを整理し、系統づける枠組の構築が、多くの科学分野における、**革新的な同時多発的進歩のために必須**だと我々は気づき、この枠組が**データ駆動科学の創成に必要**であると確信した。そのためには我々は、本領域に、対象と手法に関して多分野の研究者が参画し、それら二つをつなぐ糸の絡まりをほどこき、整理する役割を果たすモデル G(B01)を導入した。この戦略は申請時の所見においても、**分野が異なる研究者間の連携が本質的に重要**であると高く評価された。さらに、この点に対して、樋口外部評価委員から「**モデリンググループを中心に、実験計測と情報科学が機能的に融合する工夫**をしている。このような体制は、**分野横断型や異分野融合型のプロジェクト運営の本質を捉えたチーム構成**として高く評価できる。」と評価頂いた。

データ駆動科学の学理の原点

領域代表の岡田は他の総括班メンバーとともに、本領域を運営する過程で、図 3-2 に示すように、David Marr が導入した三つのレベルが、高次元データ駆動科学を創成するためにも重要な着眼点となることに気付いた。神経科学者である Marr は、自身の著書“Vision”において、複雑な情報処理

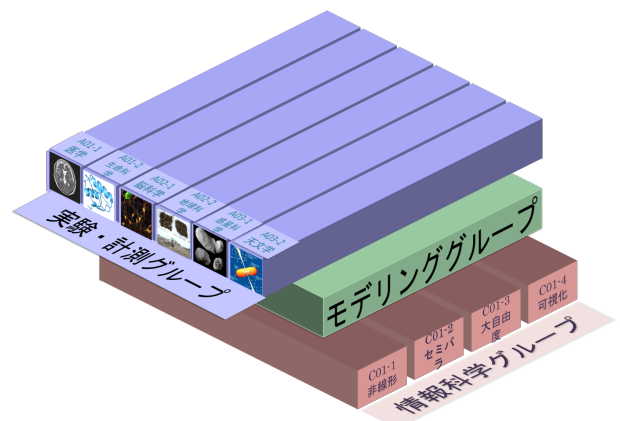


図 3-1：多分野からなる本領域の組織構成

課題を実行する機械を理解するには図 3-2 の三つのレベルを考慮することが有用であると述べ、脳・神経科学における研究指針を示している。

本領域の目的はデータ駆動科学という情報処理システムの構築であり、情報処理システムの理解ではない。情報処理システムの構築のためには、計算理論の表現・アルゴリズムへの変換を担う、新たなモデリングのレベルが必須である。これら計算理論、モデリング、表現・アルゴリズムの三つのレベルを、“データ駆動科学の三つのレベル”と名づけ、データ駆動科学の学理の原点と位置づけた。図 3-3 に示すように本領域の三層構造と、領域活動で得られたデータ駆動科学の三つのレベルが見事に符合していたことは驚くべきことである。この原点に対して、樋口外部評価委員から「データ駆動科学の創成に関しても、その概念的な立脚点と出発点を、David Marr の三つのレベルに求めた学問体系を構築する等、革新的とも言うべき骨太な提案が行われている。」と高い評価を頂いた。

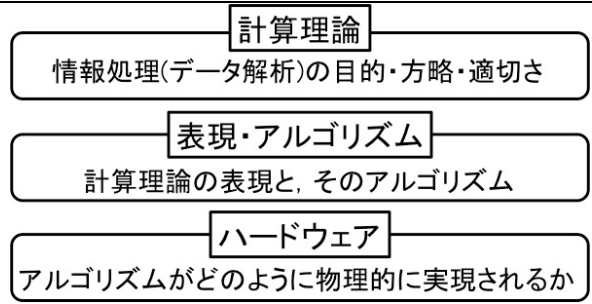


図 3-2 : David Marr の三つのレベル

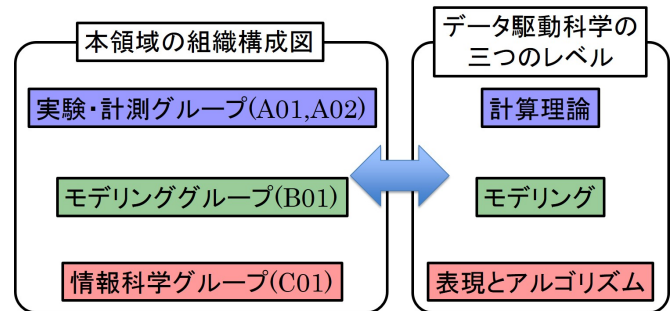


図 3-3 : 本領域の組織構成図とデータ駆動科学の三つのレベル

②ビッグデータを取り扱うプログラム手法の中での本領域の位置付け

対応策と結果のまとめ；

Jim Gray の第四のパラダイム論の枠組の中で、本領域を位置づけた。それにもとづき、ビッグデータのプログラムのなかでの、我々の位置づけは、データからの知識抽出に関する学問の一つである、データ駆動科学の創成を行っているとした。

対応策：

ビッグデータプロジェクトの立脚点の一つは、図 3-4 の Jim Gray の第四のパラダイム論であろう。ケプラーの法則に代表される経験則を抽出する第 1 の時代：経験科学。得られた経験則から、ニュートン力学に代表される数理モデルを抽出し、そこから演繹的に世界を記述し、世界を定量的に予測できたことから始まる第 2 の時代：理論科学。解析的に取り扱えない数理モデルを、計算機で解くことで、世界を理解しようとする第 3 の時代：計算科学。そして、ビッグデータに代表される第 4 の科学：データ科学である。ここで重要な点は、第 2 の時代であっても、数理モデルの精緻化のために、データを獲得し、系の本質的な構造をデータから抽出し、新たな知見につなげる仮説／検証ループにもとづくモデル化が行なわれていたことである。

ビッグデータへの流れの中での本領域は、第 3 の科学の立脚点である計算機のと、第 4 の科学であるデータ科学での最先端のデータ解析技術を融合して、第 1 と第 2 の時代で行われた、仮説／検証ループにもとづくモデル化を現代的な立場で復興することを目的とした。その学問基盤が、我々が創成を

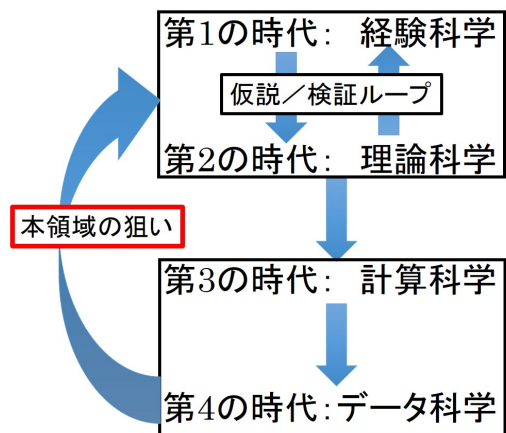


図 3-4 : 第四のパラダイム論

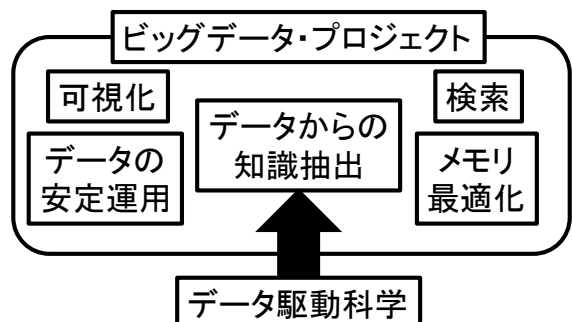


図 3-5 : ビッグデータと本領域の関係

さすデータ駆動科学であり、我々はその創成を、多くの自然科学分野を普遍的に取り扱う立場で構築すること目指している。

以上の考察をもとに、ビッグデータを取り扱うプログラムの中での本領域の位置づけを図 3-5 に示す。ビッグデータプログラムでは、データの安定的運用技術、データ検索、比較、可視化技術、データからの知識抽出などが取り扱われている。その中で我々の位置づけは、データからの知識抽出に関する学問の一つである、データ駆動科学の創成を担っている。

③領域の 5 年後の到達点

まとめ：

本領域の目的と 5 年後の到達点を、高次元データ駆動科学の創成と、その研究体制のコアを我が国に形成することとした(図 3-6)。

2 年間の研究活動の結果、データ駆動科学の創成は順調にすすんでおり、その結果として、研究体制のコアが形成されつつある。

対応策：

高次元データ駆動科学の創成

前項①のデータ駆動科学の学理の原点である“データ駆動科学の三つのレベル”を領域内に浸透させ、イノベティブな、分野・階層を超えた共同研究の多くの成果が学術論文として結実しはじめていることから、データ駆動科学の創成は順調にすすんでいる。

研究体制のコア形成

研究体制コアの形成の具体例は、本領域の活動が雛形となり、他の新学術領域や JST の戦略的基礎研究のような大型研究予算に対して、スパースモデリングやデータ駆動科学的なアプローチがとりいれられることである。本領域のプロジェクトの主要メンバーが、JST CREST, SIP などの大型プロジェクトに参画していることから、研究体制のコアが形成されていることがわかる。また、柳田外部評価委員からの評価内容に「私がセンター長をつとめる理研 QBiC および NICT CiNET のような国立研究開発法人でも必須の情報解析技術となっている。」とあり、林外部評価委員からも「国立天文台でも多くのプロジェクトでそのような連携が模索されつつある」とある。これら外部委員の評価内容にもとづき、我々は国立大学法人、文部科学省研究機構、国立研究開発法人の研究プロジェクトに、データ駆動科学的なアプローチが取り入れられるように活動し、我が国のデータ駆動科学の研究体制の形成を目指す。

領域の 5 年後以降の発展

プロジェクト終了時の 5 年後には、今回対象としなかった物理学・化学の分野、および大規模数値計算領域への展開を定めた(図 3-6)。その準備のため、公募研究では、表面物理の吉田公募班(A02)、反応化学の佐々木公募班(B01)、材料科学の島田公募班(B01)・安藤公募班(B01)らが参画して着実に成果を出している。さらに、他の自然科学分野の新学術領域と共催した公募説明会や日本物理学会内での企画セッションなどを多数開催している。また領域代表は、ポスト「京」の準備会議で招待講演を行い、大規模シミュレーションデータに対するデータ駆動型アプローチの導入の準備をすすめている。領域代表の 5 年後を見据えた活動に対して、樋口外部評価委員から「領域代表は、本プロジェクトの終了する 5 年後以降の成長形をすでに見据えており、今回対象としなかった物理学・化学の分野、および大規模数値計算領域への展開を定めた。」と高い評価を頂いた。

目的: 高次元データ駆動科学の創成

大量の高次元データから仮説(モデル)を系統的に導く方法論を「生物」、「地学」分野に確立し、それを実践するための研究体制のコアを我が国に形成する。

3つの戦略

1. スパースモデリングに重点投資
今後5年で飛躍的発展が確実視される枠組み
2. 分野の壁を取り去り、知識伝播を飛躍的に加速
分野をまたぐモデルの構造的類似性を明確化
3. 実験家と理論家との有機的協働
仮説の提案/検証ループを効率的に移働させる体制

5年後以降の発展性

1. 物理学、化学、大規模シミュレーションへの展開
2. 深い専門性と俯瞰的視野を持つ人材による領域の発展

図 3-6：領域の目的・戦略および、5 年後の到達点

4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）【研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する】 （3 ページ程度）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。

以下、文献引用番号は、5. 研究成果の公表の状況のリスト番号に対応している。

A01-1 医学班：査読あり学術論文[1]

脳卒中の1つであるクモ膜下出血の原因となる脳動脈瘤症例において、計測モデリング班(B01-1)と共同で作成した NESTA 変法による多数の再構成条件と収集率 12.5%と 20%を組み合わせた総計 24,696 条件で最適化を検討した。結果、12.5%に収集率を低下させた条件でも動脈瘤診断に問題は生じないことを示した(図 4-1)。これにより、収集率を大きく低下させても実用的な画像を得る手法ができ、MRI を中心とする新たな医用画像領域の創生へとつながる。本手法の成果を NMR を活用する生命科学班(A01-2)と共有するとともに、スパースモデリング班(B01-2)とも一層の高速化・最適化を進めている。

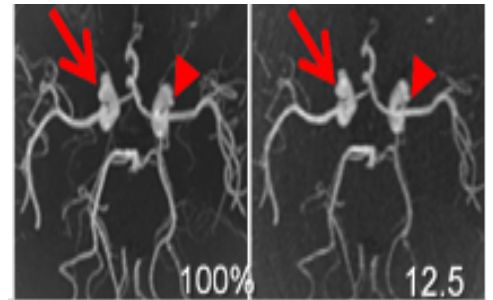


図 4-1：動脈瘤：大[矢印]，小[矢頭]

A01-2 生命科学班：特許[1]

NMR 法を用いたタンパク質の構造・動態解析において基本情報となるシグナルの帰属に必須となる安定同位体標識法のうち、特に複雑で解析困難な系において有効なアミノ酸安定選択標識法に関して、アミノ酸情報を同位体標識率に「符号化」し NMR スペクトルから「復号」するとみなす「符号化標識法 (SiCode)」を提案した(図 4-2)。これにより、情報科学と NMR 計測の結びつけが可能となった。

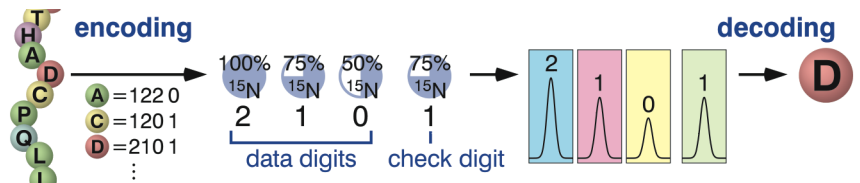


図 4-2：符号化標識法の概念

A01-3 脳科学班：査読あり学術論文[15]

サル高次視覚連合野(TE 野)の様々な部位(39 か所)から記録した物体像に対する応答に対して、変分ベイズ法を用いたクラスター解析を適用した結果、記録部位は「物体の意味的カテゴリ」に選択的なグループに分けられた。さらに、これらのグループは脳の上においてもクラスター(ドメイン)を形成することが明らかになった(図 4-3)。クラスターの数をデータから客観的に決めることが出来るクラスター解析が脳の機能構造の解明の有効な手段になることを示している。この成果は、スパースモデリング班(B01-2)との共同研究によって行われた。

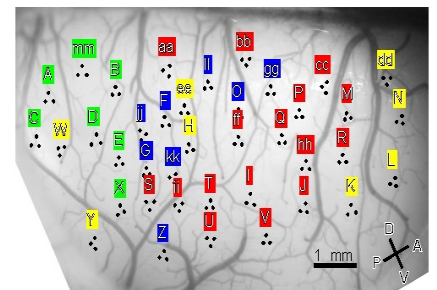


図 4-3：クラスター解析により明らかにされた4つのクラスター

A01 宮脇公募班：査読あり学術論文[20]

ヒトの視覚系における優れた物体認識の特徴はその高速性にあるが、その神経メカニズムについては不明な点が多い。その理由は、時間分解能と空間分解能を両立した形でヒト脳活動を計測・解析する手法が未発達なこと、ならびに物体を表現する画像特徴量と脳活動データの次元が極めて高いことによる。そこで本研究では、時間分解能に優れた脳磁場計測と空間分解能に優れた機能的磁気共鳴画像計測データを組み合

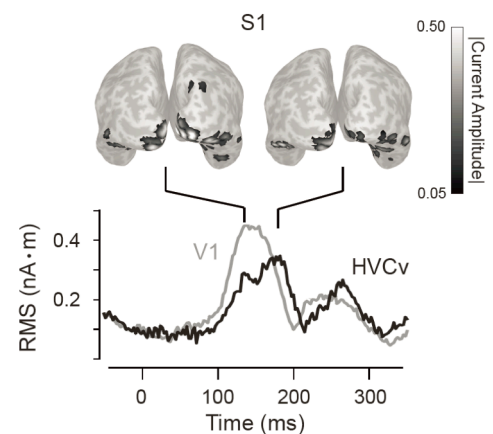


図 4-4：脳磁場信号から予測した大脳皮質上電流分布の時間変化の例

わせ、それを高次元データの解析に有効なスパースモデリングの技術で解析することで、ヒトの高速な物体認識メカニズムの時間的特性を検証した(図 4-4)。本研究で得られたデータのさらなる解析において、現在、モデル G(B01)および情報 G(C01)からの技術指導を受け、共同研究を開始している。

A02-1 地球科学班：査読あり学術論文[24]

2011年東北沖津波堆積物について、スパースモデリング班(B01-2)と協働することで、サポートベクトルマシン(SVM)を利用した高精度な地球化学判別法を開発した。また、解の全状態探索法により、津波堆積物の起源や浸水プロセスに関する情報を抽出した。図 4-5 は、判別率の高いトップ 50 位について、使用する元素の組み合わせと判別率の傾きを示した図である。ヒ素(As)や鉛(Pb)などの重金属類元素が津波堆積物に多く含有することが見てとれる。これらの元素組み合わせの情報から、津波堆積物の起源が、鉱山起源の重金属類を多く含んだ沿岸域の海底堆積物であることが新たに明らかになった。

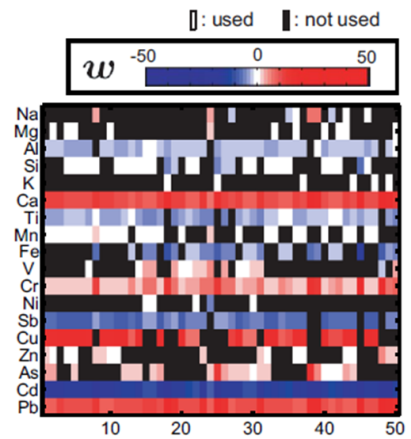


図 4-5：津波堆積物を判別するトップ 50 位の元素組み合わせ

A02-2 惑星科学班：査読あり学術論文[30]

約 6550 万年前(白亜紀末)に天体衝突が引き金となって生物の大量絶滅が引き起こされたと考えられているが、地球の 7 割を占める海洋での大量絶滅機構は謎であった。本研究では、巨大隕石の衝突地点付近に豊富に存在する硫酸塩岩に対して高出力レーザーを用いた衝突実験を行い、放出されるガスの質量スペクトルを成分分解した(図 4-6)。分析結果は、発生ガスが三酸化硫黄に富むことを示すものであった。三酸化硫黄は、大気中で水蒸気と速やかに反応して硫酸を作り、深刻な海洋の酸性化を引き起こす可能性が高い。この機構は海洋での大量絶滅の原因として非常に有力であるため、速報として *Nature Geoscience* 誌に仮説を報告した。しかし、発生ガスの質量スペクトルの成分分解には改善の余地が大きく、定量評価のためにはレプリカ交換モンテカルロ法等を用いた手法による分析が必要である。引き続きガス質量スペクトルの成分分解法の改善を行い、精度向上を目指す。

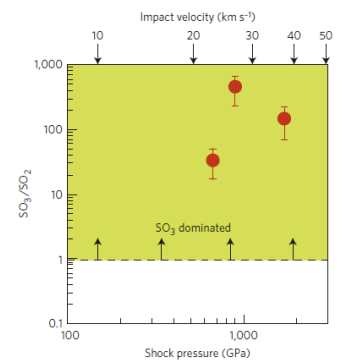


図 4-6：衝突により放出されるガスの組成

A02-3 天文学班：査読あり学術論文[51]

スパースモデリングを用いた電波干渉計の超解像撮像技法を、計測モデリング班(B01-1)と協力して開発し、ブラックホール観測を模したシミュレーションに基づき超解像撮像が実現可能であることを示した。この手法を従来法と比較したところ、図 4-7 に示すように、ブラックホールシャドウ観測における優位性が示された。この結果は、計測モデリング班(B01-1)と共同で英文査読雑誌に出版された。

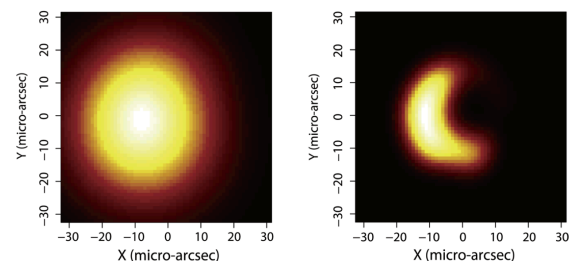


図 4-7：ブラックホールシャドウの観測数値計算。左が従来法、右が SpM による新技法で、分解能向上が顕著である

A02 吉田公募班：査読あり学術論文[40]

我々は、表面の磁気構造を原子レベルで観察するための唯一の技術、スピン偏極走査トンネル顕微鏡(SP-STM)技術の確立に成功した。本研究では、簡便なクロム磁性探針作製法を開発し、タングステン基板上的マンガン超薄膜の螺旋磁性に注目して実験を行った。その結果、螺旋磁性に由来する縞模様が明確に観

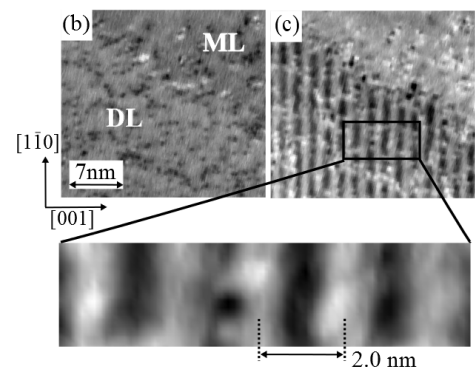


図 4-8：タングステン基板上的マンガン超薄膜の STM 像(b)およびスピン偏極像(c)

察され(図 4-8(c)), さらに先行研究では不明であった, スピン偏極した電子状態の解明に成功した. これにより, スパースモデリングを使って, 画像データからスピン構造・物理モデルの抽出を行うための基盤技術が整った. この成果を元に, 現在スパースモデリング班(B01-2)や物理モデリング班(B01-3)との連携が進んでいる.

B01-1 計測モデリング班 : 査読あり学術論文[50]

ガンマ線源の強度分布の可視化を目的とするコンプトンカメラは, コンプトン散乱を利用して間接的にガンマ線を観測するため, 正確な可視化には不良設定問題を解く必要がある. SpM の代表的な方法では指数分布による事前分布を仮定し MAP 推定を行うが, ガンマ線の相対的な強度を求めるには, 指数分布の確率が定数となってしまい, この方法は適切ではない. 本研究ではディリクレ分布を事前分布として用いて MAP 推定を行い, ガンマ線の強度分布を可視化することに成功した(図 4-9). さらに, スパース解を得る高速アルゴリズムを提案することに成功した. SpM の既存の枠組みを更に超えることに成功した研究成果のひとつである.

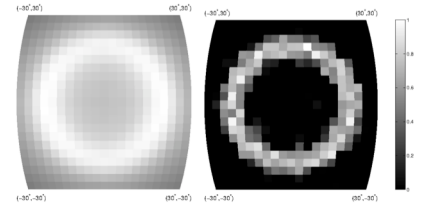


図 4-9 : コンプトンカメラによる可視化

B01-2 スパースモデリング班

自然科学の様々な分野で分光測定はキーテクノロジーとなっている. 我々は本領域の発足に先駆け, 得られるスペクトルから, ピーク構造を抽出する手法であるスペクトル分解を提案している. 光や電子の量子性が顕著に表れる計測においてノイズが離散的になることに着目し, スペクトル分解に関する耐ノイズ性を数論的に取り扱う枠組に拡張した. 2 ピーク構造を持つ二硫化モリブデン(MoS₂)の Mo の 2p 軌道の X 線光電子分光(XPS)のデータに適用した. 図 4-10 は実験データから推定される二つのピークの位置の確率分布である. XPS の開口時間が 4ms から 1ms になると, ピーク位置の推定精度が著しく劣化し, 物理学での相転移と同様の現象が見られる. この成果は佐々木公募班(B01)との共同研究として行われた. 本成果の応用として, 生命科学班(A01-2)と NMR データ解析, 惑星科学班(A02-2)と光の反射スペクトル解析, 天文学班(A02-3)と天体の輝線スペクトル解析でそれぞれ連携している.

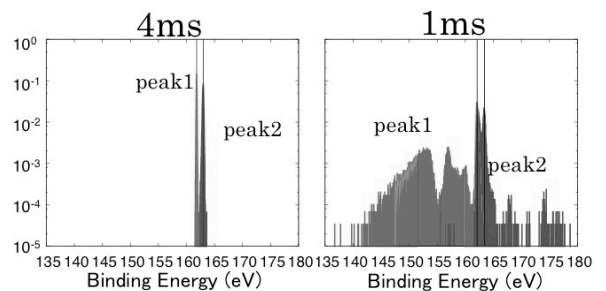


図 4-10 : スペクトル分解における耐ノイズ性の評価

【業績】ベイズ推定に基づくスペクトル分解と必要最小計測時間の推定について, 永田賢二, 村岡怜, 佐々木岳彦, *岡田真 人, 電子情報通信学会技術研究報告, 113, 115-120, 2014.(査読なし)

B01-2 スパースモデリング班 : 査読あり学術論文[82]

高次元データの解析手法は数多くあるが, 多くの場合, 図 4-11 に示すように, データの潜在構造の種類を仮定した上で解析を行う. それらの仮定を置かず構造の種類も推定可能となれば, より汎用的な解析手法となる. 先行研究ではこのようなデータの潜在構造も推定可能な解析手法が提案されている. 本研究では, 連想記憶モデルを用いて潜在構造を埋め込んだデータを生成し, 構造の明らかなデータを用いて先行研究で提案された解析手法の妥当性を検証した. これは地球科学班(A02-1)と非線形班(C01-1)との共同研究により行われ, 領域初の A, B, C 連携の研究である.

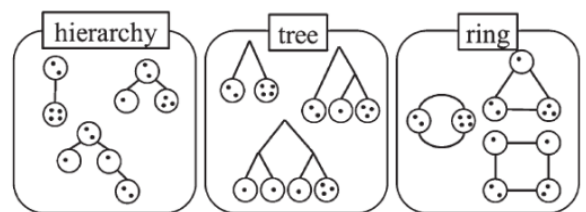


図 4-11 : 潜在構造の抽出

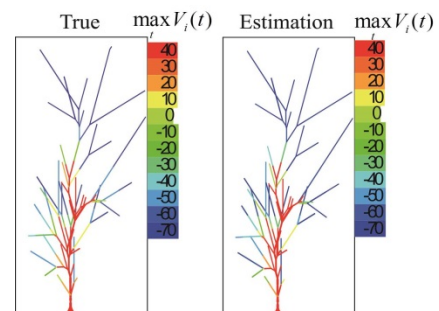


図 4-12 : 時間発展ダイナミクス推定により得られる樹状突起上の膜電位分布

B01-3 物理モデリング班 : 査読あり学術論文[60]

近年, 樹状突起が, 方向選択性や感覚・運動情報の符号化を代表とする脳機能に重要な役割を果たすこと

が実験的に示唆され、樹状突起上の時空間非線形ダイナミクスが、脳機能を司る重要な神経基盤であるものとして、重要視されつつある。本研究で、我々は、脳神経イメージングデータから樹状突起の時空間非線形ダイナミクスを推定する統計的アルゴリズムを提案した(図 4-12)。樹状突起の空間構造やイオンチャネルを考慮した一般状態空間モデルを構成し、逐次モンテカルロ法の枠組みを導入することにより、低解像度のイメージングデータに潜む非線形時空間ダイナミクスを抽出する方法を構築した。提案法を海馬 CA1 錐体細胞樹状突起のマルチコンパートメントモデルから得られるデータに適用し、その有効性を示した。

B01 長尾公募班：査読あり学術論文[68]

数値シミュレーションと観測データをベイズ統計学の枠組みで統融合するデータ同化は、これまでは実質的に所与のシミュレーションモデルに大きく依存する演繹的モデリング法であった。固体地球科学においては、計算コストの観点等からシミュレーションが困難であるが、観測データは十分にあるというケースが極めて多く存在することを鑑み、我々は疎性モデリングを始めとするデータ駆動型モデリング手法をプラグインすることにより、演繹的モデリング/帰納的モデリングの両アプローチが可能なデータ同化の手法開発を目指している。その一環として我々が開発した group lasso に基づく地震動イメージング法を、2011 年東北地方太平洋沖地震時に首都圏地震観測網で得られた地震データに適用したところ、従来法と比べて高詳細な首都圏における地震動の時空間分布を得ることに成功した(図 4-13)。

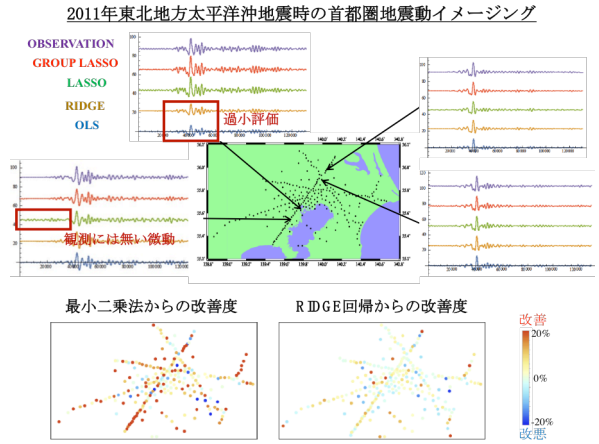


図 4-13 : Group lasso に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震時の首都圏地震動イメージング

従来法と比べて高詳細な首都圏における地震動の時空間分布を得ることに成功した(図 4-13)。

B01 市川公募班：査読あり学術論文[72]

NIRS (近赤外分光法) を用いた計測から、ASD (自閉症スペクトラム) 児と ADHD (注意欠陥・多動性障害) 児の判別を行った(図 4-14)。NIRS の多チャンネルデータに ES-SVM (SVM 全状態探索法) を適用し、二群を最も精度よく判別するチャンネル組合せを明らかにした。

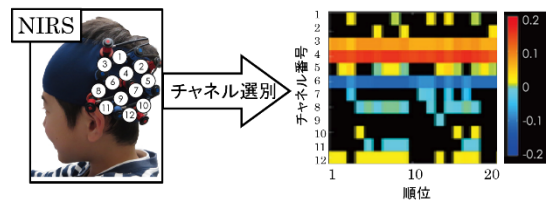


図 4-14 : ASD 児と ADHD 児の識別に寄与するチャンネルの選別

C01-1 非線形班：査読あり学術論文[79]

多変量時系列の各変数間に内在する依存関係をスパースネットワークの形で抽出する手法を開発した。従来法に比べ、擬相関を除去できる点、観測していない変数の影響を除去できる点などの特長を持ち、より現実的な設定での使用を可能とした。図 4-15 は東日本大震災の前後で株価の依存関係の変化を抽出した例である。この研究は、スパースモデリング班(B01-2)や、日野公募班(C01)との領域内融合の成功例になっており、引き続きさまざまな応用への展開や手法の改善を共同で進めている。

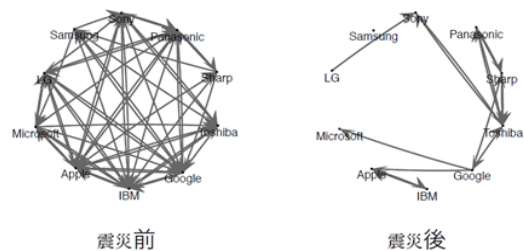


図 4-15 : スパースネットワーク抽出

C01-2 セミパラベイズ班：査読あり学術論文[86]

何らかの観測系を通して得られた時系列データから、直接観測できない状態変数を推定する問題において、観測系が複雑で簡単な関数系でモデル化が困難な場合に、データに基づくカーネル法を用いた推定法を提案

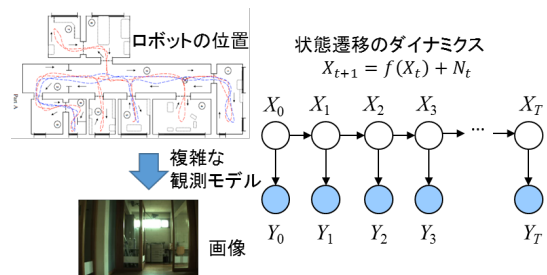


図 4-16 : 複雑な観測モデルの状態推定

した(図 4-16). これは、従来法では扱いが困難な問題設定であり、提案手法をビデオ画像からのロボット位置推定問題に応用した結果、良好な結果を得た. 提案手法は本計画研究の核となる方法であり、今後、本領域の自然科学系の状態推定問題に応用し、さらに発展させていく予定である.

C01-3 大自由度班：査読あり学術論文[95]

解析の容易さから、従来、圧縮センシングの理論研究ではランダム観測行列の性質を調べたものが多かった. 一方、実際的な場面では計算コストを削減する目的からフーリエ行列などの直交行列やその接続を利用することが好まれている. この理論と実践とのギャップを埋めるために各行ベクトルが互いに直交している観測行列や直交行列の接続によって観測行列を構成した場合に得られる圧縮センシングの性能を理論的に分析する方法を開発した. こうした直交行列によって構成された観測行列に対しては、ランダム行列を前提に開発された近似的信号復元法は必ずしも有用ではない. この問題を解決するために新たな近似的信号復元法を提案した(図 4-17).

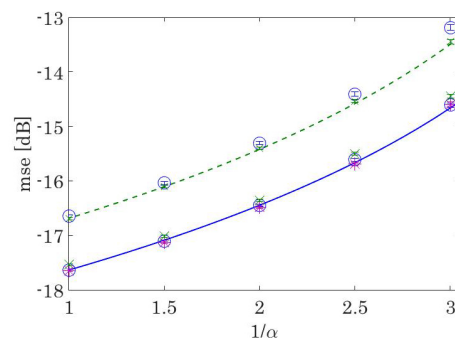


図 4-17：行直交行列(実線)と i.i.d. ランダム行列(点線)との信号復元性能の比較. マーカは EC 近似に対する実験結果

C01-4 可視化班：査読あり学術論文[96]

高次元データの視覚分析において、近接しているデータクラスターの同定に加えて、相関の高い次元クラスターの抽出は、様々なノイズ等が混在するデータ内に真に着目すべきデータ特徴空間の発見に直結する. 本研究では、色付きブロック行列表示を視覚的手掛かりに、データサンプルと次元に異なる分析を適用する非対称バイクラスタリングを新たに構成し、データ特徴空間抽出の事例を示した. 特徴空間は、主成分分析や線形判別分析を用いた合成座標軸へ射影を通して、高度化された平行座標系表示に帰着され、結果として科学的発見を助長するような高次元データ駆動科学向けの視覚分析手法を整備できた(図 4-18). 天文学班(A02-3)との共同研究では、天文学における従来の経験的アプローチに匹敵する超新星の半自動分類効果を具体的に検証し、領域内融合の成功例の一つとなっている.

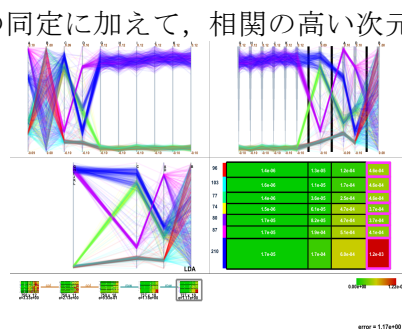


図 4-18: 高次元データ可視化

C01 河原公募班：査読あり学術論文[109]

本研究では、構造的疎性を用いた機械学習の枠組みである一般化フューズド正則化において、劣モジュラ性を用いた高速なアルゴリズムを導出した. 図 1 に示すように、極めて大規模な問題へも適用可能な高いスケーラビリティが得られる. このようなスケーラビリティの応用的有用性の検証として、脳画像を用いたアルツハイマー病分類へと適用し、従来方法に比べ高い分類精度を達成し、かつ図 4-19 に示すような解釈性の高いモデルが得られるなど、その高い有用性も確認された.

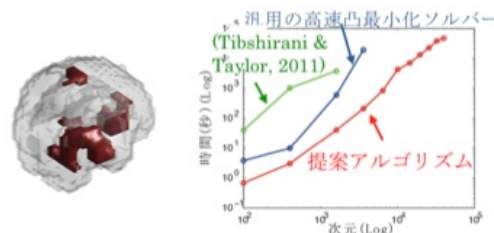


図 4-19：判別に用いられた脳の箇所(左), 計算時間比較例(一般化フューズド正則化)(右)

5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5ページ程度）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。論文の場合、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。また、一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。また、別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。

I. 学術的研究成果の公表の状況

(1) 査読あり学術論文(参考：平成 26 年度実績，国際雑誌論文：172 編)以下，主要論文を示す。

【A01-1】

- [1] 【外部共研】 Optimization of tuning parameters for NESTA algorithm in reconstruction of 3D TOF-MRA, Y. Fushimi, K. Fujimoto, T. Okada, A. Yamamoto, T. Yamamoto, T. Akasaka, K. Sano, T. Tanaka, K. Togashi, *The 23rd Annual Meeting of The International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, 3605, 2015.
- [2] 【外部共研】 Z-Spectrum analysis provides proton environment data (ZAPPED): a new two-pool technique for human gray and white matter, *Miyazaki M, C. Ouyang, X. Zhou, J.B. Murdoch, Y. Fushimi, T. Okada, K. Fujimoto, A. Kido, Y. Arakawa, S. Miyamoto, K. Togashi, *PLoS One*, 10:e0119915, 2015.
- [3] 【外部共研・学生】 Grading gliial tumors with amide proton transfer MR imaging: different analytical approaches, A. Sakata, *T. Okada, A. Yamamoto, M. Kanagaki, Y. Fushimi, T. Okada, T. Dodo, Y. Arakawa, B. Schmitt, S. Miyamoto, K. Togashi, *Journal of Neurooncology*, 122, 339-348, 2015.
- [4] 【学生】 Primary central nervous system lymphoma and glioblastoma: differentiation using dynamic susceptibility-contrast perfusion-weighted imaging, diffusion-weighted imaging, and (18F)-fluorodeoxyglucose positron emission tomography, S. Nakajima, T. Okada, A. Yamamoto, M. Kanagaki, Y. Fushimi, T. Okada, Y. Arakawa, Y. Takagi, S. Miyamoto, K. Togashi, *Clinical Imaging*, 39, 390-395, 2015.
- [5] 【外部共研・学生】 Visualization of lenticulostriate arteries at 3T: Optimization of slice-selective off-resonance sinc pulse-prepared TOF-MRA and its comparison with flow-sensitive black-blood MRA, S. Okuchi, *T. Okada, K. Fujimoto, Y. Fushimi, A. Kido, A. Yamamoto, M. Kanagaki, T. Dodo, T.M. Mehemed, M. Miyazaki, X. Zhou, K. Togashi, *Academic Radiology*, 21, 812-816, 2014.
- [6] 【外部共研】 Automated detection and measurement of uterine peristalsis in cine MR images, K. Watanabe, *M. Kataoka, K. Yano, S. Nishio, M. Umehana, A. Kido, K. Togashi, *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Dec 1, 2014.

【A01-2】

- [7] 【外部共研】 Solution structures of the DNA-binding domains of immune-related zinc-finger protein ZFAT, N. Tochio, T. Umehara, K. Nakabayashi, M. Yoneyama, K. Tsuda, M. Shirouzu, S. Koshiba, S. Watanabe, T. Kigawa, T. Sasazuki, S. Shirasawa, *S. Yokoyama, *Journal of Structural and Functional Genomics*, 16, 55-65, 2015.
- [8] 【外部共研・若手】 Evaluation of the reliability of the maximum entropy method for reconstructing 3D and 4D NOESY-type NMR spectra of proteins, Y. Shigemitsu, T. Ikeya, A. Yamamoto, Y. Tsuchie, M. Mishima, B. O. Smith, P. Guntert, *Y. Ito, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 457, 200-205, 2015.
- [9] 【外部共研】 Co-expression of two polyhydroxyalkanoate synthase subunits from *Synechocystis* sp. PCC 6803 by cell-free synthesis and their specific activity for polymerization of 3-hydroxybutyryl-coenzyme A, *K. Numata, Y. Motoda, S. Watanabe, T. Osanai, T. Kigawa, *Biochemistry*, 54, 1401-1407, 2015.
- [10] 【外部共研】 Comparison of residual alpha- and beta-structures between two intrinsically disordered proteins by using NMR, Y. Ono, M. Miyashita, Y. Ono, H. Okazaki, S. Watanabe, N. Tochio, T. Kigawa, *C. Nishimura, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1854, 229-238, 2015.
- [11] 【外部共研】 A fluorogenic peptide probe developed by in vitro selection using tRNA carrying a fluorogenic amino acid, W. Wang, T. Uzawa, N. Tochio, J. Hamatsu, Y. Hirano, S. Tada, H. Saneyoshi, T. Kigawa, N. Hayashi, Y. Ito, M. Taiji, T. Aigaki, *Y. Ito, *Chemical Communications*, 50, 2962-2964, 2014.
- [12] 【外部共研】 Novel RNA recognition motif domain in the cytoplasmic polyadenylation element binding protein 3, K. Tsuda, K. Kuwasako, T. Nagata, M. Takahashi, T. Kigawa, N. Kobayashi, P. Guntert, M. Shirouzu, S. Yokoyama, *Y. Muto, *Proteins*, 82, 2879-2886, 2014.

【A01-3】

- [13] Independent noise enhances synchronization in heterogeneous systems, *G. Uchida, M. Tanifuji, *Journal of the Physical Society of Japan*, 83, 093801-1—093801-5, 2014.
- [14] 【外部共研】 Stochastic process underlying emergent recognition of visual objects hidden in degraded images, *T. Murata, T. Hamada, T. Shimokawa, M. Tanifuji, T. Yanagida, *PLoS ONE*, 9, e115658-1—e115658-32, 2014.
- [15] 【連携・外部共研】 Object representation in inferior temporal cortex is organized hierarchically in a mosaic-like structure, T. Sato, G. Uchida, M. D. Lescroart, J. Kitazono, M. Okada, *M. Tanifuji, *The Journal of Neuroscience*, 33, 16642-16656, 2013. [B01-2 との共著]

【A01 公募】

- [16] 【外部共研・若手】 Development of a method for reconstruction of NMR spectra from undersampled time-domain data, T. Ueda, C. Yoshiura, M. Matsumoto, Y. Kofuku, J. Okude, K. Kondo, Y. Shiraishi, K. Takeuchi, *I. Shimada, *Journal of Biomolecular NMR*, 62, 31-41, 2015.
- [17] 【若手】 Functional dynamics of deuterated b2-adrenergic receptor in lipid bilayers revealed by NMR spectroscopy, Y. Kofuku, T. Ueda, J. Okude, Y. Shiraishi, K. Kondo, T. Mizumura, S. Suzuki, *I. Shimada, *Angewandte Chemie International Edition English*, 53, 13376-13379, 2014.
- [18] 【外部共研】 Reconstruction of insulin signal flow from phosphoproteome and metabolome data, †K. Yugi, †H. Kubota, Y. Toyoshima, R. Noguchi, K. Kawata, Y. Komori, S. Ueda, K. Kunida, Y. Tomizawa, Y. Funato, H. Miki, M. Matsumoto, K. I. Nakayama, K. Kashikura, K. Endo, K. Ikeda, T. Soga and *S. Kuroda, †Co-first author, *Cell Reports*, 8, 1171-1183, 2014.
- [19] 【外部共研・学生】 Bioinformatic screening of autoimmune disease genes and protein structure prediction with FAMS for drug discovery, S. Ishida, H. Umeyama, M. Iwate, *Y-h. Taguchi, *Protein & Peptide Letters*, 21, 828-839, 2014.
- [20] 【学生】 Relationship between timing of object category representation and the level of category abstraction in the human visual cortex, M. Sato, *Y. Miyawaki, *2014 Asia-Pacific Conference on Vision, i-Perception*, 5, 295, 2014.
- [21] 【外部共研】 Early monocular defocus disrupts the normal development of receptive-field structure in V2 neurons of macaque monkeys, X. Tao, B. Zhang, G. Shen, J. Wensveen, E.L. Smith 3rd, S. Nishimoto, I. Ohzawa, and *Y. M. Chino, *The Journal of Neuroscience*, 34, 13840-13854, 2014.

【A02-1】

- [22] 【学生】 Competitive hydration and dehydration at olivine-quartz boundary revealed by hydrothermal experiments: implications for silica metasomatism at the crust-mantle boundary, R. Oyanagi, *A. Okamoto, N. Hirano, N. Tsuchiya, *Earth and Planetary Science Letters*, in press.
- [23] 【若手】 Contrasting fracture patterns induced by volume-increasing and -decreasing reactions: implications for the progress of metamorphic reactions, *A. Okamoto, H. Shimizu, *Earth and Planetary Science Letters*, 415, 9-18, 2015.
- [24] ◎ 【連携・外部共研・若手】 Machine-learning techniques for geochemical discrimination of 2011 Tohoku tsunami deposits, *T. Kuwatani, K. Nagata, M. Okada, T. Watanabe, Y. Ogawa, T. Komai, N. Tsuchiya, *Scientific Reports*, 4, 7077-1—7077-6, 2014. [B01-2 との共著]
- [25] ◎ 【連携・外部共研・若手】 Markov-random-field modeling for linear seismic tomography, *T. Kuwatani, K. Nagata, M. Okada, M. Toriumi, *Physical Review E*, 90, 042137-1—042137-7, 2014. [B01-2 との共著]
- [26] ◎ 【連携・外部共研・若手】 Markov random field modeling for mapping geofluid distributions from seismic velocity structures, *T. Kuwatani, K. Nagata, M. Okada, M. Toriumi, *Earth, Planets and Space*, 66, 5-1—5-9, 2014. [B01-2 との共著]
- [27] ◎ 【連携・若手】 Data processing technology for extracting earth processes, *T. Kuwatani, K. Nagata, M. Okada, T. Komai, N. Tsuchiya, *Proceedings for 13th*

【A02-2】

- [28] 【外部共研】 Classification of meteorites based purely on bulk elemental compositions for analysis of data obtained through space missions, *H. Miyamoto, T. Niihara, T. Kuritani, P.K. Hong, J.M. Dohm, S. Sugita, *Lunar and Planetary Science Conference*, 46, #1802, 2015.
- [29] 【若手】 Geochemistry of lavas from maar-bearing volcanoes in the Oku Volcanic Group of the Cameroon Volcanic Line, *A.N.E. Assah, T. Yokoyama, F.T. Aka, T. Usui, T. Kuritani, M.J. Wilmvem, H. Iwamori, E.M. Fozing, J. Tamen, G.Z. Mofor, T. Ohba, G. Tanyileke, J.V. Hell, *Chemical Geology*, 406, 55-69, 2015.
- [30] 【外部共研・若手】 Production of sulphate-rich vapour during the Chicxulub impact and implications for ocean acidification, *S. Ohno, T. Kadono, K. Kurosawa, T. Hamura, T. Sakaiya, K. Shigemori, Y. Hironaka, T. Sano, T. Watari, K. Otani, T. Matsui, S. Sugita, *Nature Geoscience*, 7, 279-282, 2014.
- [31] 【外部共研・学生】 Spectral decomposition of asteroid Itokawa based on principal component analysis, *S.C. Koga, S. Sugita, S. Kamata, M. Ishiguro, T. Hiroi, S. Sasaki, *Proceedings of the 13th International symposium on mineral exploration*, 19-20, 2014.
- [32] Cluster analysis on the bulk compositions of asteroids, *H. Miyamoto, T. Niihara, T. Kuritani, P.K. Hong, S. Sugita, *Proceedings of the 13th International symposium on mineral exploration*, 117-121, 2014.
- [33] 【外部共研・若手】 Visible-wavelength spectroscopy of subkilometer-sized near-Earth asteroids with a low delta-v, *D. Kuroda, M. Ishiguro, N. Takato, S. Hasegawa, M. Abe, Y. Tsuda, S. Sugita, F. Usui, T. Hattori, I. Iwata, M. Imanishi, H. Terada, Y.-J. Choi, S. Watanabe, M. Yoshikawa, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 66, 1-10, 2014.

【A02-3】

- [34] 【外部共研】 Doppler tomography by total variation minimization, *M. Uemura, T. Kato, D. Nogami, R. Mennickent, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 67, id.2212 pp, 2015.
- [35] 【外部共研】 CC Sculptoris: Eclipsing SU UMa-type intermediate polar, *T. Kato, F.-J. Hamsch, A. Oksanen, P. Starr, A. Henden, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 67, id.311 pp, 2015.
- [36] 【連携・外部共研・若手】 A Strong Radio Brightening at the Jet Base of M 87 during the Elevated Very High Energy Gamma-Ray State in 2012, *K.Hada, M.Giroletti, M.Kino, G. Giovannini, F. D'Ammando, C.C. Cheung, M. Beilicke, H. Nagai, A. Doi, K. Akiyama, M. Honma, 他 10 名, *The Astrophysical Journal*, 788, id.165 pp, 2014. [A02 土居との共著]
- [37] 【外部共研】 Superoutburst of SDSS J090221.35+381941.9: First measurement of mass ratio in an AM CVn-type object using growing superhumps, *T. Kato, T. Ohshima, D. Denisenko, P. A. Dubovsky, I. Kudzej, W. Stein, E. de Miguel, A. Henden, I. Miller, K. Antonyuk, 他 29 名, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 66, id.L77 pp, 2014.
- [38] 【外部共研】 Survey of period variations of superhumps in SU UMa-type dwarf novae. VI. The sixth year (2013-2014), *T. Kato, P. A. Dubovsky, I. Kudzej, F.-J. Hamsch, I. Miller, T. Ohshima, C. Nakata, M. Kawabata, H. Nishino, K. Masumoto, 他 76 名, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 66, id.9071 pp, 2014.
- [39] 【外部共研】 GALEX J194419.33+491257.0: An unusually active SU UMa-type dwarf nova with a very short orbital period in the Kepler data, *T. Kato, Y. Osaki, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 66, id.L5 pp. 2014.

【A02 公募】

- [40] 【学生】 バルク Cr 探針を用いた W(110)上の Mn 薄膜のスピン偏極 STM/STS 観察, *土師将裕, *吉田靖雄, 長谷川幸雄, 表面科学, 8 月号掲載予定, 2015.
- [41] 【外部共研・学生】 Combination of well-logging temperature and thermal remote sensing for characterization of geothermal resources in Hokkaido, northern Japan, B. Tian, L. Wang, K. Kashiwaya, *K. Koike, *Remote Sensing*, 7, 2647-2667, 2015.
- [42] 【外部共研】 A Fanaroff-Riley Type I Candidate in narrow-line Seyfert 1 galaxy Mrk 1239, *A. Doi, K. Wajima, Y. Hagiwara, M. Inoue, *The Astrophysical Journal Letters*, 798, L30-1—L30-5, 2015.
- [43] An obscured narrow-line Seyfert 1 galaxy candidate, Mrk 1388 with nonthermal jets, *A. Doi, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 67, id.157, 2015.
- [44] 【外部共研】 Face inversion decreased information about facial identity and expression in face-responsive neurons in area TE, *Y. Sugase-Miyamoto, N. Matsumoto, K. Ohyama, K. Kawano, *The Journal of Neuroscience*, 34, 12457-12469, 2014.
- [45] 【外部共研】 Unusual magnetic ordering observed in nanosized S = 1/2 quantum spin system (CH₃)₂NH₂CuCl₃, *Y. Inagaki, Y. Sakamoto, H. Morodomi, T. Kawae, Y. Yoshida, T. Asano, K. Hosoi, H. Kobayashi, H. Kitagawa, Y. Ajiro, Y. Furukawa, *Journal of the Physical Society of Japan*, 83, 054716-1—054716-6, 2014.
- [46] 【外部共研・若手】 Scanning tunneling microscopy/spectroscopy of picene thin films formed on Ag(111), Y. Yoshida, H.-H. Yang, H.-S. Huang, S.-Y. Guan, S. Yanagisawa, T. Yokosuka, M.-T. Lin, W.-B. Su, C.-S. Chang, G. Hoffman, *Y. Hasegawa, *The Journal of Chemical Physics*, 141, 114701-1—114701-8, 2014.

【B01-1】

- [47] 【若手】 L1-regularized Boltzmann machine learning by majorizer minimization, *M. Ohzeki, *Journal of Physical Society of Japan*, 84, 054801-1—054801-8, 2015.
- [48] 【若手】 Statistical-mechanical analysis on pre-training and fine tuning in deep learning, *M. Ohzeki, *Journal of Physical Society of Japan*, 84, 034003-1—034003-6, 2015.
- [49] 【連携・外部共研】 Inverse renormalization group transformation in bayesian image segmentations, *K. Tanaka, S. Kataoka, M. Yasuda, M. Ohzeki, *Journal of the Physical Society of Japan*, 84, 045001-1—045001-2, 2015. [B01-2 との共著]
- [50] ◎ 【連携】 Bin mode estimation methods for Compton camera imaging, *S. Ikeda, H. Odaka, M. Uemura, T. Takahashi, S. Watanabe, S. Takeda, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 760, 46-56, 2014. [A02-3 との共著]
- [51] ◎ 【連携・外部共研】 Super-resolution imaging with radio interferometry using sparse modeling, *M. Honma, K. Akiyama, M. Uemura, S. Ikeda, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 66, 9514-1—9514-12, 2014. [A02-3 との共著]
- [52] ◎ 【若手】 Entropic risk minimization for nonparametric estimation of mixing distributions, *K. Watanabe, S. Ikeda, *Machine Learning*, 99, 1, 119-136, 2014. [C01-4 との共著]

【B01-2】

- [53] 【外部共研・若手】 An exhaustive search and stability of sparse estimation for feature selection problem, K. Nagata, J. Kitazono, S. Nakajima, S. Eifuku, R. Tamura *M. Okada, *IPSP Transactions on Mathematical Modeling and Its Applications*, in press.
- [54] 【連携・学生】 Sparse estimation of spike-triggered average, S. Yotsukura, T. Omori, K. Nagata, *M. Okada, *IPSP Transactions on Mathematical Modeling and Its Applications*, 7, 15-21, 2014. [B01-3 との共著]
- [55] 【外部共研・学生】 Model selection of NiGa₂S₄ triangular lattice by Bayesian inference, H. Takenaka, K. Nagata, T. Mizokawa, *M. Okada, *Journal of the Physical Society of Japan*, 83, 124706-1—124706-5, 2014.
- [56] 【学生】 Oscillations in spurious states of the associative memory model with synaptic depression, S. Murata, Y. Otsubo, K. Nagata, *M. Okada, *Journal of the Physical Society of Japan*, 83, 124004-1—124004-8, 2014.
- [57] ◎ 【連携・学生】 Code-division multiple-access multiuser demodulator by using quantum fluctuations, Y. Otsubo, J. Inoue, K. Nagata, *M. Okada, *Physical Review E*, 90, 012126-1—012126-16, 2014. [C01-3 との共著]
- [58] ◎ 【連携・若手】 A non-parametric clustering algorithm with a quantile-based likelihood estimator, *H. Hino, N. Murata, *Neural Computation*, 26, 2074-2101, 2014. [C01 日野との共著]

【B01-3】

- [59] 【外部共研・学生】 Evidence of one-step replica symmetry breaking in a three-dimensional Potts glass model, *T. Takahashi, K. Hukushima, *Physical Review E*, 91, 020102(R)-1—020102(R)-4, 2015.
- [60] 【若手】 Estimating nonlinear spatiotemporal membrane dynamics in active dendrites, *T. Omori, *Neural Information Processing*, 1, 27-24, 2014.
- [61] 【外部共研・学生】 Minimum vertex cover problems on random hypergraphs: replica symmetry solution and a leaf removal algorithm, *S. Takabe, K. Hukushima, *Physical Review E*, 89, 062139-1—062139-8, 2014.

- [62] 【外部共研・学生】 Typical behavior of the linear programming method for combinatorial optimization problems: a statistical-mechanical perspective, *S. Takabe, K. Hukushima, *Journal of the Physical Society of Japan*, 83, 043801-1—043801-4, 2014.
- [63] 【学生】 Estimation of hyperparameters in probabilistic slow feature analysis, A. Takeuchi, *T. Omori, *Proceedings of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems*, 1606-1608, 2014.
- [64] 【学生】 Simulation for effect of extracellular electric field on neuronal response, T. Shimamoto, T. Omori, *S. Ozawa, *Proceedings of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems*, 1614-1616, 2014.
- 【B01 公募】**
- [65] 【外部共研・学生】 Noise-robust recognition of wide-field motion direction and the underlying neural mechanisms in *Drosophila melanogaster*, Y. Suzuki, H. Ikeda, T. Miyamoto, H. Miyakawa, Y. Seki, T. Aonishi, *T. Morimoto, *Scientific Reports*, 5, 10253-1—10253-12, 2015.
- [66] 【外部共研・学生】 Weak sinusoidal electric fields entrain spontaneous Ca transients in the dendritic tufts of CA1 pyramidal cells in rat hippocampal slice preparations, K. Maeda, R. Maruyama, T. Nagae, M. Inoue, T. Aonishi, *H. Miyakawa, *PLoS ONE*, 10, e0122263-1—e0122263-22, 2015.
- [67] 【外部共研】 Multilayered MoS₂ nanoflakes bound to carbon nanotubes as electron acceptors in bulk heterojunction inverted organic solar cells, I. Jeon, D. Kutsuzawa, Y. Hashimoto, T. Yanase, T. Nagahama, *T. Shimada, *Y. Matsuo, *Organic Electronics*, 17, 275-280, 2015.
- [68] What is required for data assimilation that is applicable to big data in the solid Earth science? - Importance of simulation-/data-driven data assimilation, *H. Nagao, *Proceedings of 17th International Conference on Information Fusion*, 1-6, 2014.
- [69] 【外部共研】 Facile synthesis of CuCr₂O₄ spinel nanoparticles: a recyclable heterogeneous catalyst for one pot hydroxylation of benzene, S. S. Acharyya, S. Ghosh, S. Adak, T. Sasaki, *R. Bal, *Catalysis Science & Technology*, 4, 4232-4241, 2014.
- [70] 【外部共研】 Pt nanoparticles with tunable size supported on nanocrystalline ceria for the low temperature water-gas-shift (WGS) reaction, R. Tiwari, B. Sarkar, R. Tiwari, C. Pendem, T. Sasaki, S. Saran, *R. Bal, *Journal of Molecular Catalysis A Chemical*, 395, 117-123, 2014.
- [71] Electrostatic model of solid-state capacitor with ionizable charge traps, *T. Shimada, T. Nagahama, T. Yanase, *Japanese Journal of Applied Physics*, 53, 088004-1—088004-2, 2014.
- [72] ◎ 【連携・外部共研・若手】 Novel method to classify hemodynamic response obtained using multi-channel fNIRS measurements into two groups: Exploring the combinations of channels, *H. Ichikawa, J. Kitazono, K. Nagata, A. Manda, K. Shimamura, R. Sakuta, M. Okada, M. K. Yamaguchi, S. Kanazawa, R. Kakigi, *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 480-1—480-9, 2014. [B01-2 との共著]
- [73] 【外部共研】 Quantitative characterization of magnetic materials based on electron magnetic circular dichroism with nanometric resolution using the JEM-1000K RS ultra-high voltage STEM, *S. Muto, J. Ruzs, K. Tatsumi, R. Adam, S. Arai, V. Kocevski, P. M. Oppeneer, D. E. Burgler, C. M. Schneider, *JEOL News*, 49, 21-28, 2014.
- [74] 【外部共研】 Phase reduction approach to synchronization of spatiotemporal rhythms in reaction-diffusion systems, *H. Nakao, T. Yanagita, Y. Kawamura, *Physical Review X*, 4, 021032-1—021032-23, 2014.
- [75] 【外部共研・学生】 Design and control of noise-induced synchronization patterns, W. Kurebayashi, T. Ishii, M. Hasegawa, *H. Nakao, *EPL*, 107, 10009-1—10009-6, 2014.
- [76] 【外部共研】 L1 control theoretic smoothing splines, *M. Nagahara, C. F. Martin, *IEEE Signal Processing Letters*, 21, 1394-1397, 2014.
- [77] 【外部共研】 Sparse packetized predictive control for networked control over erasure channels, *M. Nagahara, D. E. Quevedo, J. Ostergaard, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 59, 1899-1905, 2014.
- 【C01-1】**
- [78] 【外部共研・若手】 An efficient sampling algorithm with adaptations for Bayesian variable selection, * T. Araki, K. Ikeda, S. Akaho, *Neural Networks*, 61, 22-31, 2015.
- [79] ◎ 【連携・学生】 Intrinsic graph structure estimation using graph laplacian, *A. Noda, H. Hino, M. Tatsuno, S. Akaho, N. Murata, *Neural Computation*, 26, 1455-1483, 2014. [B01-2, C01 日野との共著]
- [80] ◎ 【連携・外部共研・若手】 An algorithm for directed graph structure estimation, *H. Hino, A. Noda, M. Tatsuno, S. Akaho, N. Murata, *Lecture Notes in Computer Science (Artificial Neural Networks and Machine Learning)*, 8681, 145-152, 2014. [B01-2, C01 日野との共著]
- [81] 【連携・若手】 A kernel method to extract common features based on mutual information, *T. Araki, H. Hino, S. Akaho, *Lecture Notes in Computer Science (Neural Information Processing)*, 8835, 26-34, 2014. [C01 日野との共著]
- [82] ◎ 【連携・学生】 Verification of effectiveness of a probabilistic algorithm for latent structure extraction using an associative memory model, K. Wakasugi, T. Kuwatani, K. Nagata, H. Asoh, *M. Okada, *Journal of Physical Society of Japan*, vol. 83, 104801-1—104801-8, 2014. [A02-1, B01-2 との共著]
- [83] Zero-shot learning of language models for describing human actions based on semantic compositionality of actions, *H. Asoh, I. Kobayashi, *Proceedings of the 28th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computing*, 12-14, 2014.
- 【C01-2】**
- [84] 【外部共研・若手】 A consistent method for graph based anomaly localization, *S. Hara, T. Morimura, T. Takahashi, H. Yanagisawa and T. Suzuki, *Journal of Machine Learning Research, Workshop & Conference Proceedings (AISTATS2015)*, 38, 333-341, 2015.
- [85] 【外部共研】 Gradient-based kernel dimension reduction for regression, *K. Fukumizu, C. Leng, *Journal of the American Statistical Association*, 109, 359-370, 2014.
- [86] 【外部共研・学生】 Monte Carlo filtering using kernel embedding of distribution, *M. Kanagawa, Y. Nishiyama, A. Gretton, K. Fukumizu, *Proceedings of the 29th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 1, 1897-1903, 2014.
- [87] 【学生】 Recovering Distributions from Gaussian RKHS embeddings, *M. Kanagawa, K. Fukumizu, *Journal of Machine Learning Research, Workshop & Conference Proceedings (AISTATS 2014)*, 33, 457-465, 2014.
- [88] 【外部共研・学生】 Kernel mean estimation and stein effect, *K. Muandet, K. Fukumizu, B. Sriperumbudur, A. Gretton, B. Schoelkopf, *Journal of Machine Learning Research, Workshop & Conference Proceedings (ICML2014)*, 32, 10-18, 2014.
- [89] 【外部共研】 Kernel Bayes' Rule: Bayesian inference with positive definite kernels, *K. Fukumizu, L. Song, and A. Gretton, *Journal of Machine Learning Research*, 14, 3753-3783, 2013.
- 【C01-3】**
- [90] 【外部共研・学生】 Replica analysis of Franz-Parisi potential for sparse systems, *M. Ueda, Y. Kabashima, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 48, 135002-1—135002-21, 2015.
- [91] 【若手】 Origin of the computational hardness for learning with binary synapses, *H. Huwang, Y. Kabashima, *Physical Review E*, 90, 052813-1—052813-7, 2014.
- [92] 【外部共研・学生】 Bayesian signal reconstruction for 1-bit compressed sensing, Y. Xu, Y. Kabashima, L. Zdeborova, *Journal of Statistical Mechanics*, P11015-1—P11015-23, 2014.
- [93] 【若手】 Dynamics of asymmetric kinetic Ising systems revisited, *H. Huang, Y. Kabashima, *Journal of Statistical Mechanics*, P05020-1—P05020-17, 2014.
- [94] 【外部共研・若手】 Analysis of regularized LS reconstruction and random matrix ensembles in compressed sensing, *M. Vehkaperä, Y. Kabashima, S. Chatterjee, *ISIT 2014 proceedings*, 3185-3189, 2014.
- [95] 【外部共研】 Signal recovery using expectation consistent approximation for linear observations, *Y. Kabashima, M. Vehkaperä, *ISIT 2014 proceedings*, 226—230, 2014.
- 【C01-4】**
- [96] 【若手】 Biclustering multivariate data for correlated subspace mining, *K. Watanabe, H.-Y. Wu, Y. Niibe, S. Takahashi, I. Fujishiro, *Proceedings of the 8th IEEE Pacific Visualization Symposium 2015 (PacificVis 2015)*, 287-294, 2015.
- [97] 【外部共研・若手】 Achievability of asymptotic minimax regret by horizon-dependent and horizon-independent strategies, *K. Watanabe, T. Roos, *Journal of Machine Learning Research*, to appear.
- [98] 【若手】 Vector quantization based on epsilon-insensitive mixture models, *K. Watanabe, *Neurocomputing*, 165, 32-37, 2015.
- [99] 【学生】 Spectral-based contractible parallel coordinates, *K. Nohno, H.-Y. Wu, K. Watanabe, S. Takahashi, I. Fujishiro, *Proceedings of 18th International Conference on*

Information Visualisation (iv2014), 7-12, 2014.

- [100] 【外部共研】 Analysis of variational Bayesian latent Dirichlet allocation: weaker sparsity than MAP, *S. Nakajima, I. Sato, M. Sugiyama, K. Watanabe, H. Kobayashi, *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS2014)*, 1224-1232, 2014.
- [101] 【外部共研・学生】 Visualizing bag-of-features image categorization using anchored maps, *Y. Gao, H.-Y. Wu, K. Misue, K. Mizuno, S. Takahashi, *Proceedings of the 7th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction (VINCI 2014)*, 39-48, 2014.
- 【C01 公募】
- [102] 【外部共研】 A comparison of 3D shape retrieval methods based on a large-scale benchmark supporting multimodal queries, *B. Li, Y. Lu, C. Li, A. Godil, T. Schreck, M. Aono, M. Burtscher, Q. Chen, N. K. Chowdhury, B. Fang, H. Fu, T. Furuya, H. Li, J. Liu, He. Johan, R. Kosaka, H. Koyanagi, R. Ohbuchi, A. Tatsuma, Y. Wan, C. Zhang, C. Zou, *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, 131, 1-27, 2015.
- [103] 【外部共研・若手】 On approximate non-submodular minimization via tree-structured supermodularity, *Y. Kawahara, R. Iyer, J. A. Bilmes, *Proceedings of the 18th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS'15)*, 38, 444-452, 2015.
- [104] 【外部共研】 MED26 regulates the transcription of snRNA genes through the recruitment of little elongation complex, H. Takahashi, T. Takigawa, M. Watanabe, D. Anwar, M. Shibata, C. S. Tomomori, S. Sato, A. Ranjan, C. W. Seidel, T. Tsukiyama, W. Mizushima, M. Hayashi, Y. Ohkawa, J. W. Conaway, R. C. Conaway, *S. Hatakeyama, *Nature communications*, 6, 5941-1—5941-15, 2015
- [105] 【外部共研】 The impact of income disparity on vulnerability and information collection: an analysis of the 2011 Thai flood, *M. Henry, A. Kawasaki, T. Takigawa, K. Meguro, *Journal of Flood Risk Management*, 1-10, in press, 2015.
- [106] 【外部共研・学生】 Fluid data compression and ROI detection using run length method, *S. Ishikawa, H. Wu, C. Bi, Q. Chen, H. Taki, K. I. Ono, *Procedia Computer Science*, 35, 1284-1291, 2014.
- [107] 【外部共研・若手】 Parallel POD compression of time-varying big datasets using m-swap on the K computer, *C. Bi, K. Ono, L. Yang, *Proceedings of IEEE International Congress on Big Data*, 438-445, 2014.
- [108] 【学生】 Hashing cross-modal manifold for scalable sketch-based 3D model retrieval, *T. Furuya, R. Ohbuchi, *Proceedings of International Conference on 3D Vision (3DV)*, 543-550, 2014.
- [109] 【外部共研】 Efficient generalized fused Lasso with application to the diagnosis of Alzheimer's disease, *B. Xin, Y. Kawahara, Y. Wang, W. Gao, *Proceedings of the 28th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'14)*, 2163-2169, 2014.
- [110] 【外部共研】 L1 norm minimization approach to MIMO detector, *Y. Hashimoto, K. Konishi, T. Takahashi, K. Uruma, T. Furukawa, *International Conference on Signal Processing and Communication Systems*, 1-4, 2014.
- [111] 【外部共研】 Image colorization algorithm using series approximated sparse function, *K. Uruma, K. Konishi, T. Takahashi, T. Furukawa, *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, 1215-1219, 2014.
- [112] 【外部共研・学生】 Two-dimensional global image registration using local linear property of image manifold, *H. Itoh, A. Imiya, T. Sakai, *Proceedings of the IEEE International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2014)*, 3862-3867, 2014.
- [113] 【外部共研・若手】 Dictionary-based image denoising by Fused-Lasso atom selection, A. Li, *H. Shouno, *Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2014*, Article ID 368602-1—368602-10, 2014.
- [114] 【外部共研・若手】 Estimating dependency structures for non-Gaussian components with linear and energy correlations, *H. Sasaki, M. U. Gutmann, H. Shouno, A. Hyvärinen, *Proceedings of the Seventeenth International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*, 868-876, 2014.

(2) 著書

- [1] 【著書】 ランダム行列の数理と科学, 渡辺澄夫, 永尾太郎, 榎島祥介, 田中利幸, 中島伸一(共著), 森北出版, 総 172 ページ, 2014. ISBN: 9784627017818
- [2] 【著書】 Optical intrinsic signal imaging for elucidating functional structures in higher visual area, T. Sato, *M. Tanifuji, In eds. M. Zhao et al. *Neurovascular Coupling Methods, Neuromethods*, (Springer, New York), vol.88, pp.161-175, 2014. ISBN: 9781493907236
- [3] 【著書】 Heuristic principal component analysis based unsupervised feature extraction and its application to bioinformatics, *Y. Taguchi, Y. Murakami, M. Iwadata, H. Umeyama, A. Okamoto, In eds. B. Wang et al. *Big Data Analytics in Bioinformatics and Healthcare*, (IGI Global, Hershey), pp.138-162, 2015. ISBN: 9781466666115

(3) 基調講演・招待講演

- [1] 【招待講演】 Intra/Extra-cranial MRA. ISMRM workshop: Non-contrast-enhanced MRA, T. Okada, Long Beach, CA, 2015.5.6-8.
- [2] 【招待講演・若手】 Encoding and decoding: extending receptive field analysis to study natural vision, S. Nishimoto, International Symposium on Neural Mechanisms of Vision and Cognition, 大阪大学脳情報通信融合研究センター, 吹田市, 2015.3.2.
- [3] 【招待講演】 Aberrant expression of microRNA according to aging is participating in hepatocarcinogenesis, *Y. Taguchi, Y. Murakami, S. Itam, M. Kuroda, H. Toyoda, T. Kumada, 2014 International Conference on Aging and Disease, Beijing, China, 2014.11.1-2.
- [4] 【招待講演・若手】 Molecular dynamics simulation studies using multi-copy based methods: string method and sequential data assimilation, Y. Matsunaga, 5th AICS International Symposium, 理化学研究所・計算科学研究機構, 神戸市, 2014.12.8-9.
- [5] 【招待講演】 Ab initio molecular dynamics study of electrochemical reaction at EC-Li2O2 inter- faces, Y. Ando, M. Chiba, T. Koido, T. Ikeshoji, M. Otani, ECS and SMEQ Joint International Meeting 2014, Cancun, Mexico, 2014.10.6-8.
- [6] 【招待講演】 Ab initio molecular dynamics study of degradation process at EC-Li2O2 interfaces, Y. Ando, T. Ikeshoji, M. Otani, The 9th International Conference on Computational Physics (ICCP-9), Singapore, 2015.1.7-11.
- [7] 【招待講演】 Stable Isotope Labeling Strategy Based on Coding Theory, T. Kigawa, The 4th International Symposium on Drug Discovery and Design by NMR, Yokohama, Japan, 2015.2.4-5.
- [8] 【招待講演】 SiCode: A novel stable isotope labeling strategy suitable for difficult targets, T. Kigawa, International NMR Symposium on Pharmaceutical NMR, Osaka, Japan, 2014.12.20.
- [9] 【招待講演】 Three-Dimensional Protein Structure and Dynamics in Living Cells, T. Ikeya, J. Inoue, P. Güntert, Y. Ito, 7th Korea-Japan Seminars on Biomolecular Sciences, Seoul, South Korea, 2014.11.26-28.
- [10] 【招待講演】 Protein dynamics in molecular crowding environment analyzed by stable isotope-aided NMR spectroscopy, T. Kigawa, International Conference on Analytical Science & Technology (ICAST) 2014, Daejeon, South Korea, 2014.11.20-21.
- [11] 【招待講演】 Cell-Free Protein Synthesis and Stable Isotope Labeling, T. Kigawa, XXVth ICMRBS VENDOR-CONTRIBUTED WORKSHOP, Dallas, USA, 2014.8.24-29.
- [12] 【招待講演】 NMR 研究の先端的基盤を提供する NMR 共用プラットフォームと理研 NMR 施設の紹介, 木川隆則, 平成 26 年度日本結晶学会年会および総会, 2014.11.1-3.
- [13] 【招待講演】 NMR 研究の先端的基盤を提供する NMR 共用プラットフォームと理研 NMR 施設の紹介, 木川隆則, 第 53 回 NMR 討論会(2014), 2014.11.4-6.
- [14] 【基調講演】 Characterization of metal concentrations and their spatial distributions in deposit areas in Japan using resource investigation materials, K. Koike, A. Yoshino, T. Kubo, L. Lu, K. Kashiwaya, R. Kouda, T. Suzuki, T. Ooka, Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration, Vietnam National University, Hanoi, 2014.9.22-24.
- [15] 【招待講演・若手】 Nanoscale magnetometry on Cobalt nano-islands on Ag(111), Y. Yoshida, K. Doi, E. Minamitani, S. Yamamoto, S. Watanabe, Y. Hasegawa, 7th Vacuum and Surface Sciences Conference of Asia and Australia (VASSCAA-7), Hsinchu, Taiwan, 2014.10.5-9.
- [16] 【招待講演】 サル高次視覚野における「顔」の分散表現, 谷藤学, 立命館大学視覚科学統合研究センターシンポジウム「視覚情報処理の新展開-局所回路

から認知へ」, 草津, 2014.3.14.

- [17] 【招待講演】 視覚系脳科学の産業界への活用可能性, 谷藤学, 産学連携シンポジウム: 応用脳科学の新しい地平に向けて～シーズとニーズを結ぶ～, 第37回日本神経科学大会, 横浜, 2014.9.11.
- [18] 【招待講演・若手】 Coupling of mass transport and serpentinization reactions, A. Okamoto, R. Oyanagi, N. Tsuchiya, Geofluids 3: Nature and Dynamics of fluids in subduction zones, Tokyo, 2014.2.28-3.3
- [19] 【招待講演・若手】 Fracture sealing induced by mineral dissolution and precipitation and dynamic change in permeability, A. Okamoto, R. Yamada, H. Tanaka, H. Saishu, N. Watanabe, N. Tsuchiya, 12th International symposium on Water dynamics, Sendai, 2015.3.9-10.
- [20] 【招待講演・若手】 Data-driven analysis in earth and environmental sciences, T. Kuwatani, K. Nakamura, T. Komai, 12th International symposium on Water dynamics, Sendai, 2015.3.9-10.
- [21] 【招待講演】 Super-resolution imaging with sparse modeling, *M. Honma, Event Horizon Telescope 2014, Perimeter Institute, Waterloo, Canada, 2014.11.14.
- [22] 【招待講演】 EHT Collaboration Event-horizon-scale structure of M87 in the middle of the VHE enhancement in 2012, *K. Akiyama, R.-S., Lu, V. L. Fish, S. S. Doleman, A. E. Broderick, J. Dexter, K. Hada, M. Kino, A. Doi, H. Nagai, F. Tazaki, M. Honma, Event Horizon Telescope 2014, Perimeter Institute, Waterloo, Canada, 2014.11.11.
- [23] 【招待講演】 Maser Astrometry with VLBI and Galactic Structure, *M. Honma, 12th European VLBI Network Symposium, Hotel Regina Margherita, Cagliari, Italy, 2014.10.10.
- [24] 【招待講演】 スパースモデリングによるブラックホールの直接撮像へ向けて, 本間希樹, 2013年映像情報メディア学会年次大会, 工学院大学, 新宿区, 2013.8.30.
- [25] 【基調講演】 Characterization of metal concentrations and their spatial distributions in deposit areas in Japan using resource investigation materials, K. Koike, A. Yoshino, T. Kubo, L. Lu, K. Kashiwaya, R. Kouda, T. Suzuki, T. Ooka, Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration, Vietnam National University, Hanoi, 2014.9.22-24.
- [26] 【招待講演・若手】 Nanoscale magnetometry on Cobalt nano-islands on Ag(111), Y. Yoshida, K. Doi, E. Minamitani, S. Yamamoto, S. Watanabe, Y. Hasegawa, 7th Vacuum and Surface Sciences Conference of Asia and Australia (VASSCAA-7), Hsinchu, Taiwan, 2014.10.5-9.
- [27] 【招待講演】 A message-passing approach to low-rank matrix reconstruction and application to clustering, Spin glasses: An old tool for new problems, T. Tanaka, Institute d'Etudes Scientifiques de Cargese, Cargese, France, 2014.8.25.-9.6.
- [28] 【招待講演・若手】 Detection of cheating by decimation algorithm, M. Ozeki, Kyoto University and National Taiwan University Symposium 2014, Electrical Engineering and Computer Science, 京都大学吉田キャンパス, 京都市, 2014.9.1-2.
- [29] 【招待講演】 疎表現に基づく情報処理, 池田思朗, 数学協働プログラム: チュートリアル(招待講演), 統計数理研究所, 立川市, 2014.10.15.
- [30] 【招待講演】 スパースモデリングによる情報処理, 池田思朗, 電子情報通信学会医用画像研究会, 千葉工業大学, 習志野市, 2013.9.13.
- [31] 【招待講演】 スパースモデリングによる情報処理の新しい流れ, 池田思朗, 2013年映像情報メディア学会年次大会, 工学院大学, 新宿区, 2013.8.30.
- [32] 【招待講演】 Inference of an effective physical model from STM imaging data, K. Hukushima, Cooperation of Computational Materials Science and Mathematicstoward Smart Materials Design II, 東北大学 WPI-AIMR, 仙台市, 2014.1.9.
- [33] 【招待講演】 Equilibrium-state simulations of some spin glass models in finite dimensions, K. Hukushima, XXVI IUPAP Conference on Computational Physics, Boston University, Boston, USA, 2014.8.11-14.
- [34] 【招待講演】 Equilibrium-state simulations of some spin glass models in finite dimensions, K. Hukushima, Nose30 Symposium, 慶應義塾大学三田キャンパス, 港区, 2014.11.10-11.
- [35] 【招待講演・若手】 Extracting spatiotemporal dynamics of neural systems: computational and statistical approach, T. Omori, UC San Diego-Kobe University Joint Research Kick-Off Symposium, 神戸大学六甲台キャンパス, 神戸市, 2015.2.5.
- [36] 【招待講演】 データ駆動による物性研究の展開 STM 画像データから物理モデルの構成方法, 福島孝治, 新学術領域ナノ構造情報との合同シンポジウム, 名古屋大学, 2013.10.11.
- [37] 【招待講演】 Phase Reduction Approach to Synchronization of Coupled Oscillator Networks, H. Nakao, International Symposium on Photonics and Electronics Science and Engineering 2015, Katsura-Hall Kyoto University, Kyoto, Japan, 2015.3.9.
- [38] 【招待講演】 Sparsity Methods for Networked Control, M. Nagahara, IEICE SmartCom2014, Singapore, 2014.10.31.
- [39] 【招待講演】 From Sampled-data Control to Signal Processing (Mini Course), Y. Yamamoto, M. Nagahara, The 21st International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems (MTNS2014), Groningen, Netherlands, 2014.7.8.
- [40] 【招待講演】 Monte Carlo Filter with Kernel Mean Embedding, *K. Fukumizu, International Workshop on Spatial and Temporal Modeling from Statistical, Machine Learning and Engineering perspectives (STM2014), Tokyo, Japan, 2014.7.28-29.
- [41] 【招待講演】 Statistical Machine Learning in the Era of Data, *K. Fukumizu, UK-Japan Big Data Workshop, Tokyo, Japan, 2015.2.26.
- [42] 【招待講演】 Measuring Dependence and Conditional Dependence with Kernels, *K. Fukumizu, International Conference on Machine Learning 2014, Causality Workshop, Beijing, China, 2014.6.25-26.
- [43] 【招待講演・若手】 Stochastic Dual Coordinate Ascent with ADMM, *T. Suzuki, SIAM Conference on Optimization (SIAM-OPT2014), San Diego, USA, 2014.5.19-22.
- [44] 【招待講演・若手】 Risk Bounds of Convex and Bayes Tensor Estimators: Near Optimal Rate without Strong Convexity, *T. Suzuki, International Workshop on Spatial and Temporal Modeling from Statistical, Machine Learning and Engineering perspectives (STM2014), Tokyo, Japan, 2014.7.28-29.
- [45] 【招待講演】 Overview of compressed sensing, Spin glasses: An old tools for new problems, Y. Kabashima, Institute d'Etudes Scientifiques de Cargese, Cargese, France, 2014.8.25-9.6.
- [46] 【招待講演】 Discovery Phenomenon and Information Criteria, S. Watanabe, The Seventh Workshop on Information Theoretic Methods in Science and Engineering, Sheraton Waikiki Hotel, Honolulu, USA, 2014.7.7.
- [47] 【招待講演】 Birational Invariants in Marginal Likelihood Computation, S. Watanabe, 2014 NIMS Thematic Program on Algebraic Statistics, National Institute of Mathematical Sciences, Daejeon, South Korea, 2014.6.15.
- [48] 【招待講演】 Contractible parallel coordinates for sparse modeling, *I. Fujishiro, Dagstuhl Seminar on Scientific Visualization 2014, Wadern, Germany, 2014.6.1-6.
- [49] 【招待講演・若手】 Rate-distortion analysis for an epsilon-insensitive loss function, *K. Watanabe, The Seventh Workshop on Information Theoretic Methods in Science and Engineering, Sheraton Waikiki Hotel, Honolulu, USA, 2014.7.7.
- [50] 【招待講演】 多数のグラフからの統計的機械学習, 瀧川一学, 人工知能学会第94回人工知能基本問題研究会(SIG-FPAI), 根室市総合文化会館, 根室市, 2014.7.24.
- [51] 【招待講演】 Advanced Computing and Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers, K. Fujisawa, 2014 ATIP Workshop: Japanese Research Toward Next-Generation Extreme Computing, New Orleans, USA, 2014.11.17.
- [52] 【招待講演】 Advanced Computing and Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers, K. Fujisawa, IMI Workshop on Optimization in the Real World, Kyushu University, 2014.10.14.
- [53] 【招待講演】 Petascale General Solver for Semidefinite Programming Problems with over Two Million Constraints, K. Fujisawa, RTE-IBM Workshop Semi-Definite Programming for Optimal Power Flow Problem, Dublin, Ireland, 2014.4.23.

(4) 受賞

- [1] 【受賞・若手】 第6回理研研究奨励賞(理化学研究所), 佐藤多加之, 2015.3.
- [2] 【受賞】 IEEE Computational Intelligence Society Japan Chapter Young Researcher Award, ヒト視覚野における物体カテゴリ表現と物体カテゴリ抽象度の時間的關係, 佐藤匡, 2015.3.16.

- [3] 【受賞】 InCob2014 Best Paper Awards, TINAGL1 and B3GALNT1 are potential therapy target genes to suppress metastasis in non-small cell lung cancer, H. Umeyama, M. Iwadate, *[Y-h. Taguchi](#), 2014.8.2.
- [4] 【受賞】 第41回環境賞(平成26年度)(公益財団法人日立環境財団), 地圏環境評価システムの開発, [駒井武](#), 2014.6.11.
- [5] 【受賞・若手】 Young Researcher Award of Exploration Technology (Gold) for 13th International Symposium on Mineral Exploration (Division of Exploration Technology, Mining and Material Processing Institute of Japan), [桑谷立](#), 2014.9.23.
- [6] 【受賞・若手】 Young Researcher Award of Exploration Technology (Copper) for 13th International Symposium on Mineral Exploration (Division of Exploration Technology, Mining and Material Processing Institute of Japan), 中村謙吾(研究協力者), 2014.9.23.
- [7] 【受賞】 自然科学研究機構若手研究者賞, [本間希樹](#), 2014.6.15.
- [8] 【受賞】 日本天文学会論文報告賞, [本間希樹](#), 2015.3.24.(筆頭著者として)
- [9] 【受賞・学生】 東京大学総長賞, 秋山和徳(研究協力者), 2015.3.23.
- [10] 【受賞】 井上研究奨励賞, 秦和弘(研究協力者), 2015.2.
- [11] 【受賞】 みすず賞(国際ソブチミスト長野—みすず), 菅生康子, 2015.2.16.
- [12] 【受賞・学生】 日本神経回路学会大会奨励賞, 唐木田亮(研究協力者), 2014.8.29.
- [13] 【受賞・学生】 東京大学大学院新領域創成科学研究科長賞, 竹中光(研究協力者), 2015.3.18.
- [14] 【受賞】 日本顕微鏡学会奨励賞, 動力学的電子回折理論に基づく電子エネルギー損失分光法による元素/サイト選択的電子状態計測法の開発, [巽一徹](#), 2014.
- [15] 【受賞】 Automatica Outstanding Reviewer, [M. Nagahara](#), 2015.2.12.
- [16] 【受賞】 IEEE Senior Member, [M. Nagahara](#), 2014.7.12.
- [17] 【受賞】 IEEE 関西支部 関西支部メダル, [永原正章](#), 2015.2.10.
- [18] 【受賞】 電子情報通信学会 通信ソサイエティ論文賞 (Best Tutorial Paper Award), [永原正章](#), 2014.5.12.
- [19] 【受賞・若手】 東工大挑戦的研究賞学長特別賞(国立大学法人東京工業大学), [鈴木大慈](#), 2014.8.19.
- [20] 【受賞】 電子情報通信学会 IBISML 研究会 2013 年度研究会賞, 金川元信(研究協力者), [福水健次](#), 2014.11.18.
- [21] 【受賞】 2014 年度統計関連学会連合大会優秀報告賞, 金川元信(研究協力者), 2014.9.16.
- [22] 【受賞・若手】 2013 年 SITA 奨励賞, [坂田綾香](#), 2014.12.11.
- [23] 【受賞】 映像表現・芸術科学フォーラム 2015 最優秀口頭発表賞(Web と画像・画像生成), 骨格の類似度を考慮したモーションパペトリー, 金子徳秀, 高橋玲央, [藤代一成](#), 2015.3.14.
- [24] 【受賞】 映像表現・芸術科学フォーラム 2015 最優秀ポスター賞(画像生成・システム)・企業賞(スクウェア・エニックス), SeeGroove: 可視化を介したグループの学習支援, *[芳賀直樹](#), [中山雅紀](#), [藤代一成](#), 2015.3.14.
- [25] 【受賞・学生】 情報処理学会第 77 回全国大会学生奨励賞受賞, キャラクター固有の動作を反映したモーションリタゲティング手法の提案, *[高橋玲央](#), [金子徳秀](#), [藤代一成](#), 京都大学, 京都, 2015.3.17-19.
- [26] 【受賞・学生】 情報処理学会第 77 回全国大会学生奨励賞受賞, 高次元データ解析における測地的 k-平均クラスタリング法の効果の検証, *[芦沢未菜](#), [Hsiang-Yun Wu](#), [高橋成雄](#), 京都大学, 京都, 2015.3.17-19.
- [27] 【受賞・学生】 情報処理学会第 77 回全国大会学生奨励賞受賞, 相互情報量による視点位置の定量的評価, *[大高悠希](#), [Hsiang-Yun Wu](#), [高橋成雄](#), 京都大学, 京都, 2015.3.17-19.
- [28] 【受賞】 2014 年度画像電子学会最優秀論文賞, 見かけ特徴の組み合わせと距離尺度の学習を用いた 3 次元形状類似検索, [古屋貴彦](#), [大淵竜太郎](#), 2014.6.29.
- [29] 【受賞・若手】 24th International Conference on Artificial Neural Networks Best Paper Award, A Non-Parametric Maximum Entropy Clustering, [H. Hino](#), [N. Murata](#), 2014.
- [30] 【受賞】 第 8 回 Graph500 ベンチマーク 世界 1 位 (ISC14, ライプツィヒ, ドイツ), [藤澤克樹](#), 2014.
- [31] 【受賞】 第 3 回 Green Graph500 ベンチマーク 世界 1 位 (ISC14, ライプツィヒ, ドイツ), [藤澤克樹](#), 2014.
- [32] 【受賞】 第 9 回 Graph500 ベンチマーク 世界 2 位 (SC14, ニューオリンズ, アメリカ), [藤澤克樹](#), 2014.
- [33] 【受賞】 第 4 回 Green Graph500 ベンチマーク 世界 1 位 (SC14, ニューオリンズ, アメリカ), [藤澤克樹](#), 2014.

(5) 特許

- [1] 【特許】 国際特許出願(PCT/JP2013/077672), Stable Isotope Labeling Strategy Based on Coding Theory, [T. Kasai](#), [S. Koshiba](#), [J. Yokoyama](#), [T. Kigawa](#)

(6) 報道など

- [1] 【新聞】 サンデーサイエンス 宇宙や津波, 数学で迫る—少ないデータで「本質」解析—, 日本経済新聞, 2015.5.3.
- [2] 【新聞】 映像酔い発生で脳リズムにずれ, 産経新聞, 2015.5.28.
- [3] 【新聞】 映像酔い 脳活動にずれ, 京都新聞, 2015.5.26.
- [4] 【新聞】 3D映像 脳のリズムにずれ, 朝日新聞, 2015.5.26.
- [5] 【新聞】 東京ドームに東大研究室 子どもと科学の触れ合う場, 日本経済新聞, 2014.8.25.
- [6] 【新聞】 人工知能でカンニングを発見 京大などがプログラム開発, 朝日新聞, 2015.1.19.
- [7] 【新聞】 九州大、ビッグデータ処理用ソフトがベンチマークテストで処理性能世界 1 位, 日刊工業新聞, 2014.12.16.
- [8] 【TV】 NHK BS プレミアム: 深海のロストワールド, 2014.3.21
- [9] 【TV】 NHK BS プレミアム: コズミックフロント「若田宇宙飛行士が見た宇宙絶景」, 2014.10.16.
- [10] 【TV】 「グッド! モーニング」テレビ朝日, 2014.7.4.
- [11] 【TV】 「あさイチ」NHK 総合, 2014.8.4.
- [12] 【TV】 「おはよう日本」カンニング対策-人工知能で見破る研究も-, NHK 総合, 2015.3.27.
- [13] 【TV】 「あさちゃん!」人工知能使いカンニングを発見, TBS テレビ, 2015.1.21.
- [14] 【TV】 “科捜研の女シーズン 14 第 6 話”, [安藤 康伸](#), [中尾真由子](#) (東映) 他, ドラマ脚本監修 (2014. 11).
- [15] 【Web】 「JST サイエンスポータル」, 元素含有量で津波堆積物を識別, 2014.11.28.
- [16] 【Web】 「日経産業新聞」, 元素含有量で津波堆積物を識別, 2014.11.28.
- [17] 【Web】 「財經新聞」, 元素含有量で津波堆積物を識別, 2014.11.28.
- [18] 【Web】 RESPONSE.JP, 4K 宇宙映像シアターから最先端惑星科学まで...学べる宇宙ミュージアム, TeNQ オープン, 2014.7.8
- [19] 【Web】 RESPONSE.JP, 火星の超精密地図作成へ...探査機データを宇宙ミュージアム TeNQ で見学可能, 2014.7.21.
- [20] 【Web】 ウレぴあ総研, 【TeNQ】 火星研究第一人者に聞いた「サイエンスエリア」裏話と宇宙研究の最先端, 2014.7.18.
- [21] 【Web】 「ASCIJ.P」 Tech a GO! GO! 遠藤論の『デジタルの、これからを聞く』電通大宮脇准教授に聞く、視覚に関する脳研究の最新事情—わたしたちの脳は、目にしたものをどのように認識しているのか, 2014.6.19.
- [22] 【Web】 あなたの健康百科 3Dや大画面の「映像酔い」、仕組みの一部判明—京大ほか, YOMIURI ONLINE, 2015.6.6
- [23] 【Web】 「リセマム」機械学習の手法でカンニングを自動的に検出...京都大の研究結果, 2015.1.27.
- [24] 【Web】 「財經新聞」京大、機械学習によってカンニングを自動的に検出する技術を開発, 2015.1.25.
- [25] 【Web】 「人民網日本語版」, 日本の専門家、カンニングを発見するプログラムを開発, 2015.1.21.



図 5-1 : 東京ドームに
東大研究室(常設) [5]

- [26] 【Web】「人民網中国語版」、日本专家利用人工智能开发新程序 使作弊无处可逃, 2015.1.21.
- [27] 【Web】「月刊私塾界」、人工知能でカンニングを発見 京大などのグループ, 2015.1.21.
- [28] 【Web】「MTPro」ADHD 児は怒り表情の認知が困難, 世界初の研究成果, 2014.9.10.
- [29] 【Web】「朝日新聞デジタル」怒り顔に対する ADHD 児の脳活動の特徴-近赤外分光法 (NIRS) による脳活動計測で、世界で初めて明らかに、2014.9.5.
- [30] 【Web】「共同通信 PR ワイヤ」怒り顔に対する ADHD 児の脳活動の特徴-近赤外分光法 (NIRS) による脳活動計測で、世界で初めて明らかに、2014.9.5.
- [31] 【Web】「Science Daily」ADHD: Brains not recognizing angry expressions, 2014.9.25.ほか、海外 Web サイトで 34 件
- [32] 【Web】日経コンピュータ IT Pro、ビッグデータ解析性能を競う「Graph 500」で「京」が初の首位, 2014.6.24.
- [33] 【雑誌】Newton 2015 年 4 月号 FOCUS カンニングを見破るプログラムを開発, ニュートンプレス, 2015.2.26.
- [34] 【雑誌】週刊アスキー 2014 年 7 月 1 日号 神は雲の中にあられる 最新の脳研究によると、私の 1 ビットがあなたの頭の中にあるかもしれません。、2014.7.1.
- [35] 【雑誌】TV Bros 2015 年 3 月 21 日号 わらしべマッドサイエンティスト「脳情報」- ヒトの脳から直接情報を読み出す研究, 2015.3.18.
- [36] 【広報誌】東北大学広報誌「まなびの杜」2015 春号、津波堆積物の高精度なデータ解析手法を開発, 2015.3.31.
- [37] 【広報誌】東北大学環境報告書 2014、特徴ある環境教育関連科目「岩石から理論を創る」、2014.9.
- [38] 【広報誌】産学官連携による惑星科学アウトリーチの試み、宮本英昭、洪恒夫、関岡裕之、James M. Dohm、新原隆史、洪鵬、逸見良道、清田馨、小熊みどり、菊地紘、平田直之、日本惑星科学会誌, vol. 23, 323-329, 2014.12.25. (査読あり)
- [39] 【広報誌・パンフレット】電子磁気円二色性を利用したナノ領域磁気モーメント定量測定、武藤 俊介、巽 一藏、エコトピア news, vol. 21, pp.8-11, 2014.
- [40] 【プレスリリース】元素含有量により津波堆積物を高精度に識別するデータ解析手法を開発—過去の巨大津波到達範囲推定への応用に期待—, 東北大学, 2014.11.27.
- [41] 【プレスリリース】機械学習によるカンニングの検出技術の開発, 京都大学, 2015.1.23.
- [42] 【プレスリリース】怒り顔に対する ADHD 児の脳活動の特徴 -近赤外分光法 (NIRS) による脳活動計測で、世界で初めて明らかに、中央大学, 2014.9.9.
- [43] 【プレスリリース】スーパーコンピュータ等のビッグデータ処理性能を計測するベンチマークテストで世界 1 位を獲得, 九州大学, 2014.12.1.
- [44] 【プレスリリース】スーパーコンピュータの大規模データ処理性能を計測する Graph 500 ベンチマークを「SGI UV 2000」で実施し、シングルノード SMP として初めて 100GTEPS を突破, 日本 SGI, 2014.8.7.
- [45] 【プレスリリース】SGI UV 2000 Named Fastest, Most Powerful Supercomputer on Industry Standard Benchmark, SGI, 2014.8.7.
- [46] 【プレスリリース】スーパーコンピュータ等のビッグデータ処理性能を計測するベンチマークテストで世界 1 位を獲得, 九州大学, 2014.6.25.

II. 領域の公開・広報活動

(1) 領域のホームページとニュースレター

- ・領域ホームページ 日本語版：<http://sparse-modeling.jp/> 英語版：http://sparse-modeling.jp/index_e.html
- ・ニュースレター（第一号 2014 年 6 月 16 日発行）<http://sparse-modeling.jp/newsletter/NewsLetter01.pdf>

III. 一般向けアウトリーチ活動

(1) 一般向けシンポジウムの開催など

- [1] 【チュートリアル】新学術領域研究「疎性モデリング」2014 年度チュートリアル講演会「スパースモデリングの数理と応用」～圧縮センシングの視点から～, 東京工業大学すずかけ台キャンパス, 横浜市, 2014.12.14. (参加者：156 名)
- [2] 【主催シンポジウム】新学術領域研究「疎性モデリング」2014 年度公開シンポジウム, 東京工業大学すずかけ台キャンパス, 横浜市, 2014.12.15-17. (参加者：のべ 466 名)
- [3] 【主催セミナー】「天文学と統計的手法」, 統計数理研究所, 立川市, 2015.5.29.
- [4] 【主催セミナー】「スパースモデリング・ワークショップ：医用画像」, 京都大学医学部附属病院, 京都市, 2015.5.8.
- [5] 【主催セミナー】「走査プローブ顕微鏡を用いた先端計測でアプローチする物性研究 第一回研究会」, 東京大学物性研究所, 柏市, 2015.4.13.
- [6] 【主催セミナー】「Approximate Bayesian Computation とその周辺」勉強会, 統計数理研究所, 立川市, 2015.2.16.
- [7] 【主催セミナー】「天文学・宇宙物理学とスパースモデリング」, 京都大学理学部研究科セミナーハウス, 京都市, 2014.11.19-20.
- [8] 【共催セミナー】「地球科学と疎性モデリング」, 東京大学地震研究所, 東京都文京区, 2014.11.14.
- [9] 【主催セミナー】「劣モジュラ最適化と圧縮センシング」, 柏の葉カンファレンスセンター, 柏市, 2014.8.8-9.
- [10] 【主催シンポジウム】「第 2 回 キックオフシンポジウム/公募説明会」, 京都大学百周年時計台記念館, 京都市, 2013.9.29.
- [11] 【主催シンポジウム】「第 1 回 キックオフシンポジウム/公募説明会」, 東京大学弥生講堂, 東京都文京区, 2013.9.15.
- [12] 【学会企画セッション】「データ駆動地球惑星科学」, 日本地球惑星連合大会, 幕張メッセ, 千葉市, 2015.5.27-28.
- [13] 【A02 主催シンポジウム】「13th International Symposium on Mineral Exploration」, ベトナム国家大学ハノイ校, ベトナム, 2014.9.22-24.

(2) 展示会などへの出展

- [1] 【イベント出展】JASIS2014 でのブース出展, 木川隆則, 2014.9.3-5.
- [2] 【イベント出展】太陽系の秘境展, 東京大学総合研究博物館スクール・モバイルミュージアム, 文京区教育センター別館, 2014.10.10-2015.1.31.
- [3] 【イベント出展】日本原子力学会中部支部原子力オープンスクール, 巽一藏, 2014.8.3.
- [4] 【イベント参加】アナログ特性を考慮したデジタル画像・動画処理, 於久光輔, 山本裕, 永原正章, 京都大学 ICT イノベーション, 2015.3.17.

(3) 学術分野以外での依頼講演

- [1] 【一般向け講演会】NMR 共用プラットフォーム～我が国における施設共用の取組みから研究成果の深い話まで～, 木川隆則, 西村善文, 理化学研究所横浜市立大学一般公開, 2014.9.6.
- [2] 【一般向け講演会】はやぶさ 2、火星探査など太陽系探査の最前線, 宮本英昭, NHK カルチャーセンター 1 日講座, 2015.4.18.
- [3] 【一般向け講演会】太陽系探査の先端, 宮本英昭, 朝日カルチャーセンター 湘南教室, 2015.5.16.
- [4] 【一般向け講演会】21 世紀の月の科学的描像, 杉田精司, 第 75 回星の講演会, 葛飾区郷土と天文の博物館, 2014.9.6.
- [5] 【小・中・高向け授業】2020 年代の惑星探査の展望, 杉田精司, 静岡県立浜松北高等学校・特別講義, 2014.5.20.
- [6] 【小・中・高向け授業】脳とこころの情報科学, 宮脇陽一, 第 5 回夢ナビライブ 2014, 東京ビッグサイト, 2014.7.12.
- [7] 【小・中・高向け授業】脳とこころの情報科学, 宮脇陽一, 淑徳高等学校, 2014.10.16.
- [8] 【小・中・高向け授業】脳とこころの情報科学, 宮脇陽一, 湘南学園高等学校, 2014.12.13.
- [9] 【小・中・高向け授業】意思決定の脳科学, 船水章大, 興南高等学校, 2014.4.18.
- [10] 【小・中・高向け授業】高校では習わない「量子力学」, 田口善弘, 小石川中等教育学校, 2014.12.17.
- [11] 【小・中・高向け授業】四日市高等学校出前講義, 巽一藏, 2014.11.12.
- [12] 【小・中・高向け授業】オープンイノベーションと数理工学, 永原正章, 大学・短大進学ガイダンス (岐阜) 模擬講義, 2014.6.28.

6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、研究組織間の連携状況について組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

1) 基本的な研究戦略

1. 研究領域の目的及び概要で示した三つの重点目標である、A:データ駆動科学の実践、B:モデリング原理の確立、C:数理基盤の形成に対し、実験 G(A01,A02)、モデル G(B01)、情報 G(C01)の三つの研究項目をおく(図 6-1)。自然科学と情報科学の緊密な融合・連携を目指す本領域において、モデル G(B01)のインターフェース・触媒としての役割が特に重要である。さらにモデル G(B01)は構造的類似性に基づき、できるだけ一般性を持ったモデリング原理の確立を目指す横断的コーディネーション研究を中心的機能として研究を進める。

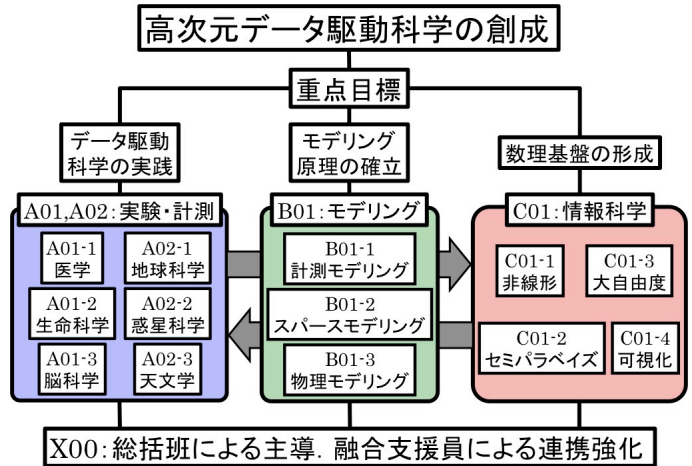


図 6-1 : 領域の重点目標と班構成

2) 領域における具体的な研究内容およびそれを達成するための戦略

本領域は、多くの自然科学の実験・計測研究者と情報科学の理論研究者の協働に基づくため、いかにして緊密な融合を実現するかが鍵になる。**3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況**でも述べたように、こうした領域内連携を高速に回す仕組みとして、図 6-2 に示すデータ駆動科学の三つのレベルを見出したことが大きな成果の一つである。この三つのレベルと本領域の研究組織を対応させると、実験 G(A01,A02)が計算理論のレベルを、モデル G(B01)がモデリングのレベルを、情報 G(C01)が表現・アルゴリズムのレベルをそれぞれ担当する。多様な分野により構成される実験 G(A01,A02)のそれぞれのデータ解析の計算の目標を明らかにし、共通した要素を抽出し、それを解決する普遍的表現を獲得する。そうして得られた三つの表現をもとに、

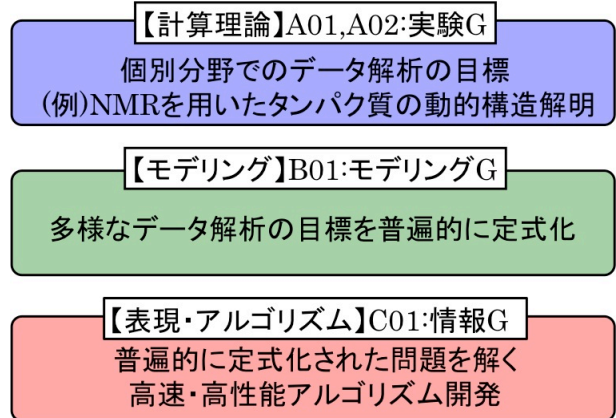


図 6-2 : 計算理論と表現・アルゴリズムのレベルに基づく領域連携の推進

【連携方策 1】 SpM による高速サンプリング
 【連携方策 2】 SpM による潜在構造抽出に基づく規則発見
 【連携方策 3】 SpM による時空間パターン・ダイナミクス抽出

を領域連携の軸として設定し、モデル G(B01)の各計画研究にインターフェース・触媒としての役割を担わせる。また、

【連携方策 4】 SpM における数理基盤の形成
 を設定し、多くのデータ駆動的アプローチによる連携研究から浮き彫りになった問題点を抽出し、情報 G(C01)の各計画研究が主導となり性能評価・アルゴリズム開発を行う。

以下で、連携方策の項目ごとに説明するように、それぞれの方策が当初予定以上の成果をあげており、SpM によるデータ駆動科学が各分野に根付きつつある。

【連携方策 1】 SpM による高速サンプリング

計測時間の削減や精度の大幅な向上をもたらす高速サンプリングを可能にするため、少ない取得データから背後にある本質的な構造の抽出を可能にする枠組みである圧縮センシングを用いる。具体的には、図 6-3 に示すように、計測モデリング班(B01-1)と実験 G(A01,A02)との連携により、個別事例

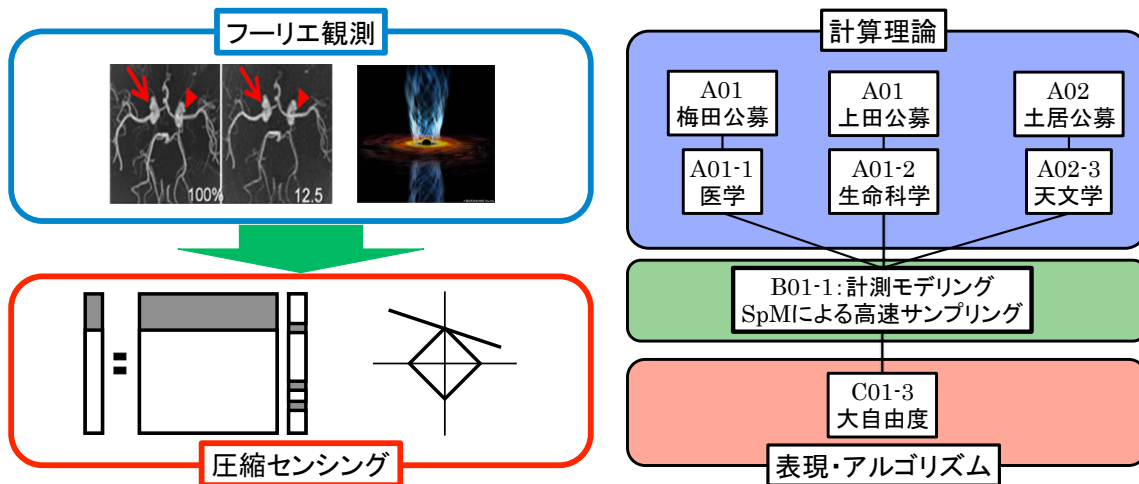


図 6-3 : SpM による高速サンプリングに基づく連携推進

の特徴に適合したスパースモデリングを行うことで、高い性能を実現した。

医学班(A01-1)では、MRI データへの適用により従来の精度では診断困難とされるような症状の早期発見が可能とした。また、天文学班(A02-3)では、VLBI の計測データへの適用により、解明が困難であった現象の詳細を現在の計測技術でも観測可能となりつつある。生命科学班(A01-2)では、計測モデリング班(B01-1)だけでなく、大自由度班(C01-3)との共同研究によって、NMR 計測の高速・高精度化を推進している。また、このような高速サンプリングを可能にする圧縮センシングについての、高速再構成アルゴリズムの数理的基礎を確立するために、大自由度班(C01-3)との連携により、従来知られる性能限界を超えた識別精度の向上を理論的に達成する枠組みを構築した。

このような圧縮センシングによる高速サンプリングを推進するために、医学班(A01-1)や天文学班(A02-3)が各分野へ適用した圧縮センシングの領域内外へのワークショップの開催によって、計画研究だけでなく、図 6-3 に示すように実験 G(A01,A02)の公募班やモデル G(B01)との連携が進みつつある。

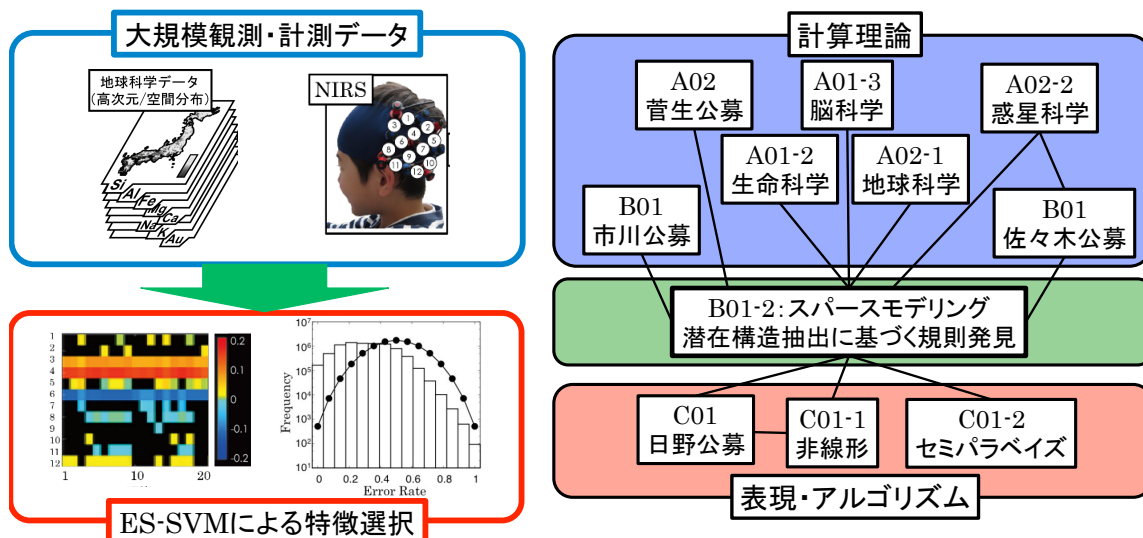


図 6-4 : SpM による潜在構造抽出に基づく規則発見による連携推進

【連携方策 2】 SpM による潜在構造抽出に基づく規則発見

人の直感的理解の及ばない高次元データを取り扱うにあたり、データの潜在構造を抽出することは、本領域のテーマである高次元データ駆動科学の創成において重要な課題である(図 6-4)。スパースモデリング班(B01-2)は、生命科学班(A01-2)、惑星科学班(A02-2)と協働し、両班に共通するスペクトルデータの解析において、綿密に連携し着実な進展を見せている。さらに、多数の特徴量の組み合

わせから、効率的に解を全探索する ES-SVM をスパースモデリング班(B01-2)が開発し、地球科学班(A02-1)や、市川公募班(B01)らの実験・計測データへ適応し、新たな知見を生み出している。また、脳科学班(A01-3)の脳計測データとスパースモデリング班(B01-2)の連携により、脳のマクロな機能構造を明らかにした。このように、実験 G(A01, A02)とモデル G(B01)との協働により、実験・計測分野へ積極的に SpM を導入するに足る、最新の知見が発見され、今後領域の内外を問わず、波及していくことが期待される。

このような実験 G(A01, A02)とモデル G(B01)との融合を支え、さらに、より複雑な問題を取り扱うために、モデル G(B01)は情報 G(C01)との緊密な連携体制を構築し、研究を推し進めている。スパースモデリング班(B01-2)、非線形班(C01-1)の連携は、日野公募班(C01)を巻き込みスパースネットワーク推定手法を開発している。さらに、セミパラベイズ班(C01-2)とスパースモデリング班(B01-2)は、従来のパラメトリックな推定が困難であるような問題への解決策として近似的ベイズ計算に関する共同研究を始めている。

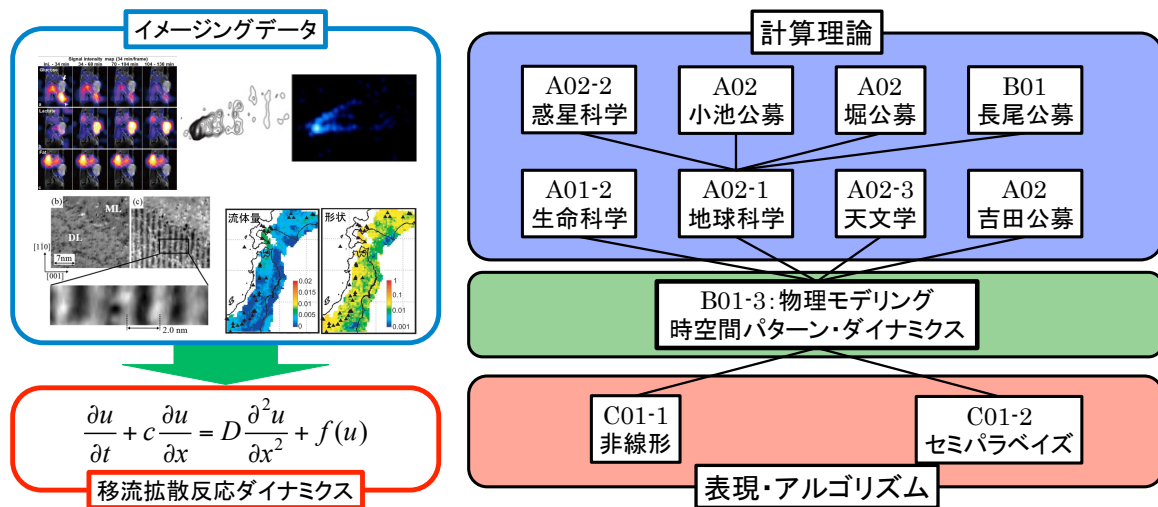


図 6-5 : SpM による時空間パターン・ダイナミクス抽出に基づく連携推進

【連携方策 3】 SpM による時空間パターン・ダイナミクス抽出

物理モデリング班(B01-3)を中心として、時空間パターン・ダイナミクスの抽出に関して、図 6-5 に示すように、領域内の連携が進展している。物理モデリング班の要素技術である MCMC に基づいたベイズ推定の枠組みを活用し、生命科学班(A01-2)とは、タンパク質の立体構造のパターン解析を NMR データから行う研究で、天文学班(A02-3)とはブラックホール近傍を観測することにより得られるデータから相対論的ダイナミクスを抽出する研究で、それぞれ連携が進んでいる。また、吉田公募班(A02)が主導するスピン偏極 STM に関しても協働して取り組み、イメージングデータ解析の深化が進んでいる。

特筆すべきは、地球科学班(A02-1)との共同研究に始まる連携は大幅な展開を見せていることである。地球科学班(A02-1)との直接連携だけでも、反応輸送方程式の抽出や岩石組織形成のモデリングを協働して行い、それぞれの研究で論文投稿に至った。それだけでなく、地球科学に関連する、惑星科学班(A02-2)・小池公募班(A02)・堀公募班(A02)・長尾公募班(B01)とは、データ駆動科学を地球科学分野に浸透・定着するため、多数の学会内企画セッションや研究集会を共催している。こうした学会・研究会に、情報 G(C01)の研究者が参加することで研究が進展した。非線形班(C01-1)はイベント発生前後でダイナミクスの性質が切り替わるスイッチングモデルを用いる手法を開発した。また、セミパラベイズ班(C01-2)は、観測系のモデル化が困難な場合にもダイナミクスが推定できるようカーネルモンテカルロフィルタを開発した。以上のように、時空間パターン・ダイナミクスの抽出に関して、実験 G(A01,A02)、モデル G(B01)、情報 G(C01)の 3 グループの相乗効果により、公募研究班も巻き込む形で領域内連携が加速度的に進行している。

【連携方策 4】 SpM における数理基盤の形成

SpM の数理基盤を盤石なものにし、データ駆動科学をより一層推進するために、図 6-6 に示すように、モデル G(B01)と情報 G(C01)を中心とした連携を促進させた。計測モデリング

(B01-1)が対象とする課題は、膨大なデータを解析できるアルゴリズム開発が必要不可欠であり、大自由度班(C01-3)と密な連携をとり、アルゴリズムの高速化に努めている。スパースモデリング班(B01-2)が対象とする課題では、高精度な潜在構造抽出を実現するべく、非線形班(C01-1)やセミパラベイズ班(C01-2)と協働し、非線形性が必要な問題や観測・計測プロセスの一部が解明された問題などへの対処を可能にした。また、ES-SVM の基礎となる全状態探索において、潜在構造抽出が可能な問題の規模を解明するために、大自由度班(C01-3)と協働し、様々なアルゴリズムの性能評価を行った。また、物理モデリング班(B01-3)が対象とする時空間ダイナミクス抽出では、既知の動力学構造を推定手法にシームレスに組み込むことが重要であり、その観点で、非線形班(C01-1)やセミパラベイズ班(C01-2)と連携したアルゴリズム開発に取り組んでいる。

さらに、公募研究を積極的に参画させることにより、SpM に利用できる新たな数理基盤の掘り起こしを行ってきている。河原公募班(C01)の対象とする劣モジュラ最適化の枠組みは、全状態探索の近似的アルゴリズムである貪欲法に対して性能評価を与えることに気づき、2014年8月に「劣モジュラ最適化と圧縮センシング」という公開セミナーを開催した。庄野公募班(C01)が対象とする深層学習(Deep Learning)は、脳を模倣した特徴抽出を可能とするキーテクノロジーであり、潜在構造抽出を目的とするスパースモデリング班(B01-2)と密な連携を取っている。また、得られた結果の認識を促進する可視化基盤技術の構築のために、可視化班(C01-4)と Bi 公募班(C01)と密な連携を取っている。

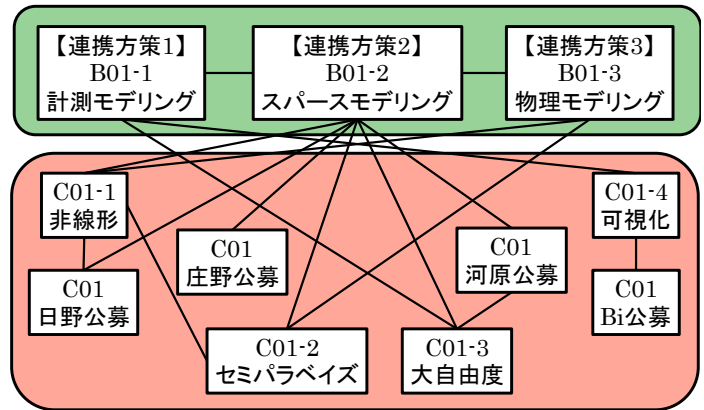


図 6-6 : 数理基盤の形成に向けた連携

7. 若手研究者の育成に係る取組状況（1ページ程度）

領域内の若手研究者の育成に係る取組状況について記述してください。

本領域における若手研究者

本領域において、研究代表者、研究分担者又は連携研究者、ならびに研究協力者は総勢 265 名である。そのうち、39 歳以下の若手研究者は 128 名であり、領域に関係する研究者のうち、約半数が若手研究者である。また、公募研究 37 件のうち、若手研究者が研究代表を務める研究が 17 件であり、公募研究の件数のおよそ半数を占めている。

(1) 総括班：若手人材育成部会の設置とその活動

総括班の中に、若手人材育成部会を設置し、若手研究者の啓発および連携促進を行うとともに、人材育成を通じて若手研究者からのボトムアップによる領域研究全体の活性化にも結びつけることを目指した取組を行っている。将来のデータ駆動科学を担うべく、個別の自然科学や情報科学の分野に関する専門的知識や技術を養わせるだけでなく、多様な分野をデータ駆動という観点から俯瞰的に見渡すことのできる視野の広さを備え付けるべく、総括班活動を行った。

(2) 若手人材育成に係る取り組み状況

1) その場解析による博士研究員の育成：若手研究者に多くの分野の経験を積ませるために、総括班にて融合支援員として雇用した博士研究員に「その場解析」を行わせており、本領域での融合の中核をなしている。「その場解析」とは SpM の手法を実験・計測研究者と情報科学研究者との打合せの場において適用し、その日のうちに予備的解析結果をあげる試みである。その場で行うことにより、異なる分野の要点を瞬時に見極める能力が身に付き、実験・計測と情報科学とを自由に行き来できるようになる。

融合支援員として雇用した北園淳氏および大道勇哉氏はその場解析の経験を通じ、自然科学と情報科学の知識を兼ね備えた人材となった。結果として北園氏は神戸大学大学院工学系研究科助教に、大道氏は宇宙航空研究開発機構(JAXA)招聘研究員にそれぞれ栄転した。

2) 異分野交流による若手研究者の育成：異なる分野の若手研究者が議論を行い、連携を加速する場を提供するため、分野を跨いだ研究会や勉強会を多数開催した。とりわけ、領域会議や公開シンポジウムでは、領域を構成する全ての班が一堂に会す。自然科学の議論が分野を次々に変えて行われると同時に、様々なモデリング分野・数理科学分野の研究者もそれに応える形で白熱した討論が行われる。そのような新鮮な環境下で、若手研究者同士でも議論が進められ、互いが互いの分野を知らないからこそ忌憚らないものとなっている。若手研究者同士の議論から、本領域が目指している、分野に依存しない共通原理に近づいた。

若手研究者の中には、自由な発想のもと、領域推進の方針について議論し、総括班に提案する形で領域運営に貢献するものもいる。こうした提案の中には、総括班の思いもよらないものがあり、的を射ているものについては領域運営の参考にしている。若手研究者の意見も積極的に取り入れることで、研究者グループが自ら提案することを重視する新学術領域の本分を果たしている。

3) 若手主体の公募研究：公募研究においても、若手主体で構成するべく積極的運営を行った。次世代を担える素養をもつ潜在的な若手人材を積極的に発掘するべく、平成 25 年度には、東京・京都で行われたキックオフシンポジウムを始めとして、公募説明会を全国 14 の箇所にて行った。領域の紹介を行う上で、医学班(A01-1)の藤本晃司氏や、地球科学班(A02-1)の桑谷立氏、スペースモデリング班(B01-2)の永田賢二氏、物理モデリング班(B01-3)の大森敏明氏の 4 名の若手研究者に講演の機会を与えた。参加者は、延べ 500 名を超え、公募研究への応募件数は、募集予定 30 件に対して 4 倍以上の 132 件となった。

4) チュートリアル・公開シンポジウム講演による若手研究者育成：2014 年 12 月に領域主催で開かれたチュートリアルおよび公開シンポジウムでは、我が国におけるスペースモデリングの広報や高次元データ駆動科学の水準向上を図るだけでなく、若手人材の育成も狙った。チュートリア

ルでは、計測モデリング班(B01-1)大関真之助教(京都大学)、医学班(A01-1)藤本晃司助教(京都大学)、大自由度班(C01-3)竹田晃人准教授といった、実力のある若手研究者三名が講演するよう企画した。また、公開シンポジウムでは、吉田靖雄氏(A02)や、市川寛子氏(B01)、河原吉伸氏(C01)など、将来有望な若手の公募研究者の45分講演の機会を設けた。こうした活動を通じ、公募班の市川寛子氏(B01)は、2015年度より、東京理科大学の講師に着任することとなった。

5)公開セミナー『劣モジュラ最適化と圧縮センシング』の開催：本公開セミナーは本領域がSpMを深めるために主催した。その中で、本領域の若手研究者である河原公募班(C01)が、劣モジュラ最適化とスパース推定に関する解説を一日かけて行い、SpMの要素技術である圧縮センシングに対して新たな視点を与えた。

6)TeNQ「リサーチセンター」におけるアウトリーチ活動：惑星科学班(A02-2)主導のもと、宇宙ミュージアムTeNQ内に研究室分室「リサーチセンター」を設けた。ここでは、新原隆史氏や洪鵬氏をはじめとする若手研究者が実際に研究を行っている現場を来館者に見せている。来館者は、分野融合のまさにその瞬間を目の当たりにすることとなる。

(3) 若手人材育成の成果

本領域において、若手研究者の活躍は際立ったものである。以下に成果を述べる。

1) 若手研究者・学生の受賞

本領域において、平成26年度に若手研究者が8件、学生が8件の受賞をしている。

2) 若手研究者・学生の基調・招待講演ならびに国際論文発表

本領域の若手研究者が、平成26年中に国際会議において行った招待講演が11件ある。このように、領域の活動は世界から注目され、それを牽引する若手研究者が育っている。

また、平成26年度内に採択・発表された論文のうち、学生の国際論文が51件、若手研究者による国際論文が54件に上る。これは、平成26年度に本領域より出版された査読あり論文172件のうち、半数超を占めており、若手人材育成の成果が見えている。

3) 若手研究者・学生による研究会、企画セッション等の主催

・走査プローブ顕微鏡を用いた先端計測でアプローチする物性研究第一回研究会：本研究会は本領域の若手研究者である吉田公募班(A02)が中心となって企画された。表面科学の若手研究者を中心に講演が行われ、データ駆動科学の考え方を物性物理学という新たな分野へ根付かせることを目指す活気あふれた研究会となった。

・日本地球惑星連合2015年連合大会・企画セッション主催：地球科学・惑星科学における日本最大の年次大会である当該連合大会にて、地球科学班(A02-1)の分担者である桑谷立氏(JAMSTEC)が代表として、当該セッションの企画・開催を行い、データ駆動科学の成果を周知し、掘り起こしを図った。

・研究集会「地球科学と疎性モデリング」主催：地球科学における新学術領域「地殻ダイナミクス」との共同開催を地球科学班(A02-1)の桑谷立氏が企画し、地球科学分野に本領域の成果をアピールすることに成功した。

このように、本領域は、領域内に様々な分野があることを活かして、若手研究者に多くの分野の経験を積ませたり、異なる分野の若手研究者を連携させたりすることにより、若手人材育成に大いに寄与している。若手研究者の狭まりがちな視野を広げ、分野によらない共通原理を身に着けさせることで、次世代のデータ駆動科学を担う若手人材育成を行う骨格が完成しつつある。

8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

(1) 領域予算の概要

領域全体予算の内訳

様々な分野での領域内融合を効率的かつ効果的に進めるため、公募研究の予算が多いことが特徴となっている。実際に、公募研究が参画し始めた平成26年度の予算内訳は、計画研究が約60%、公募研究が約35%、総括班が約5%となっている。

総括班予算の内訳

総括班のこれまで2カ年間の予算は、研究活動支援を中心に支出した物品費が約35%となっている。また、領域内外研究の融合を推進するための旅費が約25%、融合支援員等の人件費が約25%、その他会議費等が約15%となっている。

(2) 設備等の活用状況

本領域においては、高次元データ駆動科学の研究過程において必要となるサーバーを中心とした支出を行っている。この際、実験G(A01,A02)のデータ解析を、モデルG(B01)や情報G(C01)におけるサーバーを利用するなどして、設備費に関する有効利用を行っている。また、既存のサーバーへのメモリ拡張やHDD補充などの対応によって、今後の大規模データ解析に対する盤石な体制を整えつつある。

(3) 人件費の有効活用

総括班にて雇用した融合支援員や、各計画研究において合計10名の博士研究員を領域として雇った。その結果、本領域は自然科学と情報科学の両方の知識を備えた若手人材育成を行うのに大いに寄与しており、次世代のデータ駆動科学を担う若手人材育成の骨格が完成しつつある。また、本領域において得られる成果をまとめ、一般に公開する上で、プログラムやデータ整理の研究補助者を雇用するとともに、一般の資料整理のための研究補助者を雇用した。

(4) 総括班研究課題の活動状況

チュートリアル・公開シンポジウムの開催

平成26年12月には、チュートリアル講演会および公開シンポジウムを計4日間開催し、約300名もの参加者があった。公開シンポジウムでは、統計数理研究所や脳情報通信融合研究センター、理化学研究所、国立天文台など分野の異なる4名の著名な研究者方にもご講演いただき、高次元データ駆動科学が特定分野に限らず分野を横断して重要であることが改めて認識された。また、チュートリアル講演集および公開シンポジウム抄録集を作成・配布し、我が国における高次元データ駆動科学の水準向上を狙った。

公開セミナーの開催

医学や天文学といった、実験G(A01, A02)の各分野におけるセミナーを開催し、各領域におけるデータ駆動科学の推進を図っている。また、理科第2分野だけでなく、物理学等の他分野への5年後以降の本領域の発展性を見据え、スパースモデリング班(B01-2)と吉田公募班(A02)との共同で東京大学物性研究所にて研究会「走査プローブ顕微鏡を用いた先端計測でアプローチする物性研究 第一回研究会」を主催し、開催している。さらに、今後SpMの数理基盤形成にとって有用だと期待される課題に着目し、大自由度班(C01-3)や河原公募班(C01)によって2014年8月に「劣モジュラ最適化と圧縮センシング」という公開セミナーを開催するなど、SpMの数理基盤を深化させ、データ駆動科学のより一層推進を支援している。

広報活動

平成25年度には、キックオフシンポジウム及び公募説明会を全国14の箇所にて行った。その結

果、当初募集予定の4倍以上となる132件もの公募応募を得られた。全国的に高次元データ駆動科学が周知され、本領域の重要性に対する理解を得られた結果である。

また、ホームページの運用やニュースレターやポスターの発行などにより本領域研究活動とその成果の公表を行った。特に、上記チュートリアルや公開セミナーについての広報について1600枚に及ぶポスターを全国の大学・研究機関に掲示するなど、本領域の取り組み内容を広く発信することができた。

領域内交流の推進

領域の発足時から領域会議を始め60回を超える領域内会議を行うことで領域内交流を活性化し、モデルG(B01)を中心とした自然科学と情報科学の緊密な連携・融合を推進することができた。

異分野学術交流の推進

本領域外の新学術領域研究や科学推進拠点事業との連携を図り、学術集会を共同開催している。2013年9月に新学術領域「計算限界解明」、同年10月に新学術領域「ナノ構造情報」および生命動態システム科学推進拠点事業「核内クロマチン・ライブダイナミクスの数理研究拠点」、2014年11月に新学術領域「地殻ダイナミクス」との合同シンポジウムを催し、異分野学術交流を図っている。

9. 総括班評価者による評価（2ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

(1) 総括班評価者による評価体制

1) 「研究評価委員会」による評価

総括班に、「内部評価委員」と「外部評価委員」で構成される「研究評価委員会」を設置し、領域の研究の評価を行っている(図 9-1)。「内部評価委員」は、実験 G(A01,A02)、情報 G(C01)からそれぞれ一名選出し、領域代表がモデル G(B01)の内部評価委員を兼任している。この計 3 名の内部評価委員が、各計画研究や公募研究をリーダーの立場から評価している。一方、「外部評価委員」には、本領域の研究体制である実験 G(A01,A02)、モデル G(B01)、情報 G(C01)のそれぞれの研究項目に対して、図に示すように、各 1 名の外部評価委員を設定した。いずれも、各分野を代表する国立研究所の所長やセンター長に就いている方々であり、多様な分野を対象とする本領域の外部評価委員として適任である。また、海外の外部評価委員として、スウェーデン王立工科大学に所属されている Erik Aurell 氏にご参画いただいた。

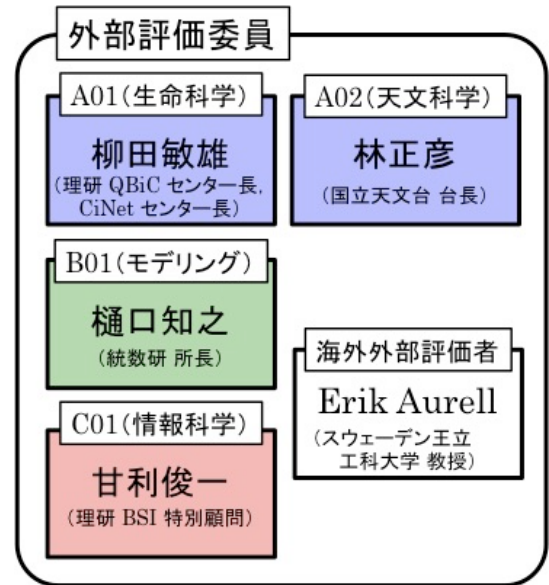


図 9-1 : 外部評価委員

2) 評価方法

内部評価委員は、総括班会議・全体会議に出席し、個々の計画研究や公募研究のみならず、班単位と領域全体としての研究内容や総括班の活動内容を評価している。また、国内の外部評価委員には、平成 26 年 12 月 15 日～17 日の三日間で開催した本領域の公開シンポジウムにご参加いただき、本領域の活動状況を把握していただくとともに、招待講演者として本領域に期待することについてご講演いただいた。海外の外部評価委員には、内部評価委員と密に連絡を取り合うことで、本領域の説明をし、海外からの本領域への評価を頂いている。

3) 外部評価委員

1. 柳田敏雄（理化学研究所・生命システム研究センター(理研 QBiC)・センター長，脳情報通信融合研究センター(CiNet)・センター長）
 - ・ 大阪大学名誉教授，文化功労者，The US Genomic Award 受賞
 - ・ 日本生物物理学会会長，ヒューマンフロンティア(HFSP)科学者会議副議長，米国生物物理学会評議員，日本学術会議会員等を歴任
2. 林正彦（国立天文台・台長）
 - ・ 国立天文台教授，東京大学教授を歴任
3. 樋口知之（統計数理研究所・所長）
 - ・ 応用統計学会会長，IASC ARS 理事，独立行政法人情報通信研究機構 高度通信・放送研究開発委託研究評価委員会 専門委員，バイオスーパーコンピューティング研究会 理事等を歴任
4. 甘利俊一（理化学研究所・脳科学総合研究センター・特別顧問）
 - ・ 東京大学名誉教授，文化功労者
 - ・ 九州大学助教授，マサチューセッツ大学客員研究員，東京大学工学部計数工学科教授，独立行政法人理化学研究所脳科学総合研究センターセンター長などを歴任
5. Erik Aurell（スウェーデン王立工科大学・教授）
 - ・ The Chair of Theoretical Biological Physics at KTH, the Director of the Department of Computational Biology at KTH

(2)外部評価委員による本領域に対する評価コメント

1)外部評価委員の評価コメントの概要

いずれの外部評価者からも、本領域が取り組む分野横断的かつ挑戦的な試みに対して、高い評価をいただいている。特に、こうした取り組みを着実に推進する上で、実験 G(A01,A02)、モデル G(B01)、情報 G(C01)という三階層による組織編成を行い、それぞれが有機的に繋がっている点について共通して好評を得ている。本領域の取り組みを起爆剤とし、各評価者が専門とする個別の分野に対しても、既に波及効果が及んでいることが言及されており、将来性についても飛躍的な広がりが見込まれている点は特筆すべきである。

2)A01(生命科学)評価担当：柳田敏雄 外部評価委員のコメント

本領域の目的は、生物学と地学にわたる幅広い実験・計測系と、近年著しく発展しているデータ科学および数理科学の理論系が密に連携し、スパースモデリングに基づき、高次元データから隠れた規則性を発見する高次元データ駆動科学を創成することである。その目的を達成するために、本新学術領域では、実験・計測グループ(A01,A02)、モデリンググループ(B01)、情報科学グループ(C01)の三つの項目をおく。この組織の中で、実験・計測系と理論系をつなぐモデリンググループ(B01)が横断的コーディネーション研究を中心的機能として研究を進める。生物は物質科学的側面から見ると超多自由度で非線形な複雑系である。一方、生命科学のイメージングデータは物理学や科学のデータに比べて遥かにノイズであり、ほとんどの場合に動的な観測が行われるので、その時空間データも超高次元である。このような系から有効な情報を抽出するには、対象となる系をモデル化して、データ解析することが不可欠である。その観点からも、本領域が実験・計測グループと理論系グループの間にモデリンググループを置いたのは達見である。この新領域が二年足らずで、多くの研究成果を上げ、領域内の融合も円滑に促進されていることから、この方針が正しいことがわかる。

私が専門とする生命科学においても、バイオインフォマティクスの誕生をきっかけとし、ゲノミクス、プロテオミクスなど、生命活動のデータを包括的に取り扱う、オミックスが提唱されている。理研の生命科学においては、機械学習、モデリング、シミュレーションなどの数理科学を使って、オミックスとイメージングデータを対応付け、データベース化することで、細胞を観ただけで詳細情報を推定する DECODE プロジェクトを推進しようとしている。この DECODE プロジェクトにおいても、スパースモデリングに代表される次元圧縮を用いて、動的なイメージングデータと一細胞のオミックスを、両者をつなぐスパースな特徴空間で両者に対応させることでデータベース化し、予測や操作を行なう枠組を提案している。

理研 QBiC では、今年の4月3日に第1回「人工知能による科学・技術の革新」データ中心 分子・細胞・神経生物学と題するシンポジウムを行なった。このシンポジウムに、本領域の領域代表の岡田氏に招待講演を依頼した。このように、本領域が提唱する、スパースモデリングによるデータ駆動型のアプローチは、私がセンター長をつとめる理研 QBiC および NICT CiNET のような国立研究開発法人でも必須の情報解析技術となっている。以上述べたように本領域は、これまでに類を見ない魅力的な新たなパラダイムを創成しており、高い評価を与える。

3)A02(地球惑星科学・天文学)評価担当：林正彦 外部評価委員のコメント

本新学術領域は、天文学から医学までの幅広い分野で、実験科学者と数理科学者が連携してスパースモデリングとデータ駆動科学的手法を分野横断的に適用しようとする野心的でユニークな試みである。その中で天文学班の活動に関しては、スパースモデリングによる電波干渉計の解像度向上など、ブラックホール分野のみならず天文学全般にもインパクトを与えうる結果が出始めており、今後の活動にも期待を寄せている。実際、世界最先端のミリ波サブミリ波電波干渉計である ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)の実観測データへのスパースモデリングの適用も試みられており、HL Tau という若い星の周囲にある原始惑星系円盤の撮像では、円盤のギャップ構造の詳細撮像により原始惑星系円盤の立体構造に関する情報が得られる可能性が出てきている。この結果は、私が領域代表を務める新学術領域「太陽系外惑星の新基軸：地球型惑星へ」(平成23年度～平成27年度)等に代表される系外惑星の研究分野でも、スパースモデリング的なアプローチが大きなインパクトを与えうることを具体的に示している。また、天文学だけでな

く、地球科学・惑星科学分野でも、スパースモデリングやデータ駆動科学的な手法が様々な成果を上げていることから判断すると、本新学術領域が目指す分野横断的な連携の試みは、現段階のところ有効に機能していると考えられる。この観点から、このような大きなスケールの領域を立ち上げて効果的に組織化し、着実に研究を推進している本新学術領域の運営体制を高く評価する。

今後、天文学や地球科学・惑星探査等のビッグプロジェクトにおいて、実験科学者と数理科学者の連携は必須であり、実際に国立天文台でも多くのプロジェクトでそのような連携が模索されつつある。従って、今後の大型プロジェクトの発展にも本新学術領域のようなアプローチが重要であり、将来の大型グラント配分にもこのような観点が考慮されるべきである。また、その先駆けとして現在成果を挙げつつある本新学術領域に対しては、今後も継続的な支援が必要であると判断する。

4)B01(モデリング)評価担当：樋口知之 外部評価委員のコメント

本新学術領域では、実験計測グループ、モデリンググループ、情報科学グループの三つの階層を用意し、モデリンググループを中心に、実験計測と情報科学が機能的に融合する工夫をしている。このような体制は、分野横断型や異分野融合型のプロジェクト運営の本質を捉えたチーム構成として高く評価できる。さらに、限られた時間と予算の中で目的を効果的に実現するために、第一原理からの演繹が難しい生物学と地学を対象に、近年著しく発展しているスパースモデリングに重点投資している点も秀逸である。この全体構成は、研究参加者の意識の高さと領域代表者の卓越したリーダーシップを反映したものである。

各計画研究は、研究計画を当初想定した以上のペースで遂行されており、今後の進捗が大いに期待できる。公募研究についても、計画研究との有機的な連携を保ちながら、新分野を開拓する独創的な研究が遂行されている。課題名にもある、スパースモデリングの深化に関しては、スパースモデリングの標準的な手法である LASSO を自然科学データに適用した際に生じる問題点を解決するために、ES-SVM 法(SVM 全状態探索法)などの全く新しい枠組みが提案された。データ駆動科学の創成に関しても、その概念的な立脚点と出発点を、David Marr の三つのレベルに求めた学問大系を構築する等、革新的とも言うべき骨太な提案が行われている。

このプロジェクトの主要メンバーが、この新学術領域との飛躍的相乗効果を期待され、JST CREST, SIP などの大型プロジェクトに参画している点は、本領域の狙いを踏まえると特筆すべき観点である。特に、マテリアルズインフォマティクス(MI)研究における、当該領域の領域代表や計画研究代表の役割は大きい。近年、米国のマテリアルズゲノムプロジェクトの開始もあり、MI がもたらすブレークスルーに国際的にも期待が高まる一方であり、国内のさまざまな大型プロジェクトのスタートアップに本領域関係者は大きく貢献している。

最後に、領域代表の優れたイニシアティブについて述べたい。領域代表は、本プロジェクトの終了する5年後以降の成長形をすでに見据えており、今回対象としなかった物理学・化学の分野、および大規模数値計算領域への展開を定めた。領域代表は、ポスト「京」の準備会議や、JAMSTEC の地球シミュレータの新たな展開を検討するシンポジウムでも招待講演を行う等、前述の MI プロジェクトへの参画とともに、挑戦的な課題にも寸暇を惜しまず取り組んでいる。

以上述べたように、本領域はデータ駆動科学の創成に向け、優れた着想と理想的なチーム構成に基づき、研究目的を具現化した成果を着実に挙げており、高い評価を与えたい。

5)C01(数理科学・情報学)評価担当：甘利俊一 外部評価委員のコメント

情報と通信技術の発展により巨大な量のデータが蓄積され利用可能になっている。これに伴い、データを利用したあたらしい技術が進展し、第4次産業革命の到来とまで言われるようになった。その基礎にある科学技術は、多量のデータから隠された構造を抽出する人工知能技術であり、これには深層学習などの脳の仕組みを模した新しい技巧や、高度の確率推論などが用いられる。

多様で複雑な現象からその背後に潜む本質的な構造を抽出し、これを法則として定式化することは、科学技術の基本である。従来は、これは科学者のたゆまざる努力と直観にゆだねられていた。このことは今も変わらないが、人の手に余る大量のデータがあふれる現代、なぜここから法則が導けるのか、その仕組みを考えてみる必要がある。ここから出る結論の一つが、スパースすなわち疎性である。

ある結果が起こるのに、それを惹き起こす要因は極めて大量にあるものの、実際に発現しているものは多くの場合そのうちの少数であり、現象の多様性はどの少数の要因が選ばれたのか、その組み合わせの多様性にあるとする、信号処理の最新の基本的な考察にもとに、疎性科学技術が現れた。本新領域はこの新しい知見をいち早く取り入れ、信号処理分野だけでなく、天文学、地球科学、材料科学、医学など多くの科学技術の代表的な領域で、スパースモデルに基づいたデータ駆動型の科学技術を確立することを試みた。その構想は時代を先駆け、異なる多くの分野を共通の方法で結ぶ新しい科学技術の到来を告げるものになっている。

問題はこれが当初の構想通りに成功しているか否かである。私の主に担当する情報科学グループは、従来の主流である線形ガウス型統計モデルを脱却し、非線形、確率推論、ノンパラメトリック学習など、従来の統計科学、情報科学を超える新しい構想に挑み始めて、その成果が出つつある。しかし、これにもまして特筆すべきことは、この理論グループの各研究者が天文学、医学、地球科学、材料科学などの個別科学と密接に協力し、大量のデータを駆使してそこでの問題解決に協力するとともに、ここから題材を得て理論を深化させる姿勢を貫いていることである。これは着実な成果を挙げつつあり、従来の細分化した科学技術研究に統合研究の新しい突破口を開くものとして高い評価を与えたい。

6) Erik Aurell 海外外部評価委員のコメント

Thank you for the opportunity to give my impressions of the JSPS/MEXT “Initiative for High-Dimensional Data-driven Science through Deepening of Sparse Modeling” represented by Prof. Masato Okada (The University of Tokyo) which we discussed during your visit to Stockholm in March, 2014. I have read the documentation you gave me as well as the information available on the project web site.

A summary of my impressions is that it is very timely. Big data is currently a buzzword and hot topic, and the ‘Data-driven Science’ part of your initiative can be seen in this perspective. However, your initiative differs from many other Big Data proposals in that you have the clear methodical framework of sparse modeling which you propose to expand and apply widely across scientific disciplines. This field has progressed rapidly over the last decade, and further progress can be expected in both fundamental methods and applications in the next 5 years. Your initiative is particularly well posed to be the first to explore new applications of sparse modeling in new fields, and therefore has high impact potential. I strongly support your view that the “4th Paradigm: Data-intensive scientific discovery” (Jim Gray) fundamentally can only contribute to the advancement of human understanding if it can be made to feed back into the classical loop of theory-hypothesis-experiment-theory. I therefore think it very important that your initiative includes the three layers of experiment and measurement (A01, A02), modeling (B01) and information science (C01).

As you know I have been pursuing analogous activities though on a smaller scale at my two affiliations in Stockholm (KTH) and Helsinki (Aalto University). I am happy to report that sparse modeling can be used to reconstruct bacterial communities from metagenomic sequencing data, almost as well as by previous Bayesian approaches, but at a computational scale-up of about 10^6 (S. Chatterjee et al (2014), accepted for publication in *Bioinformatics*). We report this in the mid-term report from our Centre of Excellence of Computational Inference, where we also foresee future collaboration with your initiative and with your group, which we find very inspiring. I will send you a printed copy of our mid-term report.

10. 今後の研究領域の推進方策（2ページ程度）

今後どのように領域研究を推進していく予定であるか、研究領域の推進方策について記述してください。また、領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策についても記述してください。また、目標達成に向け、不足していると考えているスキルを有する研究者の公募研究での重点的な補充や国内外の研究者との連携による組織の強化についても記述してください。

（1）研究領域の推進方策のまとめ

9. 総括班評価者による評価にある通り、本領域が取り組む分野横断的かつ挑戦的な試みに対し、各計画研究と公募研究の研究成果および、総括班による研究領域の推進方策は国内外の外部評価委員から高い評価をいただいている。以上の点から今後も総括班は、基本的には当初方針に沿って研究領域を推進する。加えて、研究が予想以上に進展していることから、本領域申請時に設定したプロジェクトの5年後以降の発展課題とした、物理学・化学の分野、および大規模数値計算領域への展開を視野に入れた活動を行う。公募説明会や広報活動等、我が国にデータ駆動科学の研究のコアを形成するための活動に、より一層注力する(図10-1)。

領域外への展開	各研究項目における研究の推進方策
	次回の公募研究での重点的な補充 チュートリアル・公募説明会による広報
領域のコア形成	国内外の研究者との連携と組織強化
	次世代を担う若手の育成

図10-1：本領域の推進方策

（2）領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策

各計画研究と公募研究の進捗状況、総括班による新学術領域創成に向けての研究領域の推進方策について問題点はない。

（3）各研究項目における研究の推進方策

（3）-1 研究の進捗状況

総括班を含めた各計画研究の進捗は1年11ヶ月(23ヶ月)の活動によって、領域の総活動期間4年9ヶ月(57ヶ月)で設定した6割以上の研究課題が進展しており、当初想定した以上のペースで遂行されている(樋口外部評価委員)。研究計画を当初想定した以上のペースで遂行された計画研究の一例として、領域代表の岡田が代表をつとめるスパースモデリング班(B01-2)の進捗状況を図10-2に示す。公募研究についても、計画研究との有機的な連携を保ちながら、新分野を開拓する独創的な研究が遂行されている(樋口外部評価委員)。

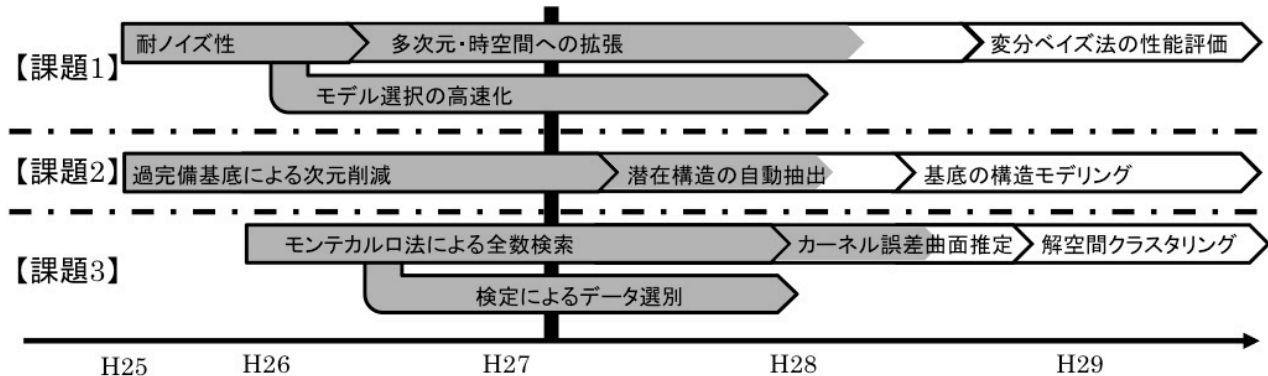


図10-2：スパースモデリング班(B01-2)の研究進捗状況

（3）-2 研究の進捗状況にもとづく各研究項目における研究の推進方策

今後も、基本的にはこれまでの方針にもとづき、研究項目ごとに研究を推進する。それに加えて、物理学、化学、人文・社会科学、および大規模数値計算領域へ研究を展開する。以上の現状と方針を考慮し、各研究項目の今後の設定目的を定め、そのもとに各研究項目の推進方策とする。

実験・計測グループ(A01,A02)

今後の設定目的：領域発足時は大量の高次元データの有効活用による新規な規則発見や実験プロトコルの飛躍的高速・高精度化を実現する科学的方法を確立することを目標とした。その後の研究の進捗により、実験・計測プロトコルの高速・高精度化のためのアルゴリズムが、新規な規則発見にとって有効であり、逆に規則発見を目指す手法が高速・高精度化のためのアルゴリズムの評価や性能向上に

有効であることがわかってきた。そこで図 10-3 のように、実験 G(A01, A02)は高速計測と潜在構造抽出を融合した形で、実践的なデータ駆動科学の枠組の構築を目指す。

研究の具体的方策

医学班(A01-1)・生命科学班(A01-2)・天文学班(A02-3)は、計測モデリング班(B01-1)などと連携し圧縮センシング技術を導入することで、既に実験・計測プロトコルの高速・高精度化を実現している。今後、情報 G(C01)などと連携し新たなアルゴリズムを導入することで、さらなる飛躍の高速・高精度化を目指す。一方、これにより取得が可能になった高解像度画像・稠密時間データは、正確な医療診断もしくは新たな自然法則・潜在構造発見に非常に有用である。そこで、総括班(X00)が主導して、各計画研究・公募班と、モデル G(B01)・情報 G(C01)の新たな共同研究をコーディネートすることで、各分野において新規な規則発見を実現する。

脳科学班(A01-3)・地球科学班(A02-1)・惑星科学班(A02-2)は、スパースモデリング班(B01-2)や物理モデリング班(B01-3)などと連携し、様々なデータ駆動型解析技術を導入することで、対象に関する潜在構造や新たな現象などの新規な規則発見を行っている。現在までは、空間データや静的構造を対象に成果を挙げてきた。今後は、より困難な時空間ダイナミクスの抽出にも挑戦する。この課題解決のため、総括班(X00)主導のもと、情報 G(C01)や公募班などの支援を仰ぐ。具体的には、データ同化や近似的ベイズ計算など新たな要素技術を導入するほか、高速・高精度化のためのアルゴリズムを採用し可視化技術の活用により、強力に研究を推進する。

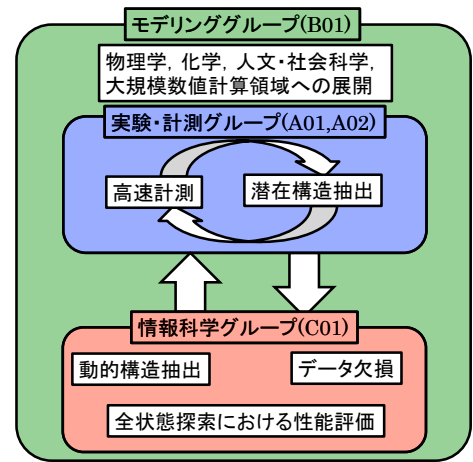


図 10-3：今後の研究計画と研究項目

モデリンググループ(B01)

今後の設定目的：モデル G(B01)は、分野横断的な数理構造の類似性に基づき自然科学と情報科学を結ぶデータ駆動科学の根幹をモデリングの立場で担ってきた。今後は、これまでの研究を発展させるとともに、公募により拡充する物理学、化学、人文・社会科学に関するモデリング原理の確立と、大規模数値計算データへのデータ駆動的アプローチの確立を目指す(図 10-3)。

研究の具体的方策

計測モデリング班(B01-1)は、SpM として重要な圧縮センシングによる数理的諸性質の横断的研究を確立する。そのためベイズ推論の枠組を導入し、観測データの構造に関する事前知識を組み込み、計測データからの情報抽出を促進させる。また、データの観測点の設定にある自由度に対し、次元選択問題との数理的類似性に基づき、圧縮センシングの精度向上のための観測点の最適化を行う。

スパースモデリング班(B01-2)は、高次元データの背後にある潜在構造を抽出する方法論の確立を行い、物理学、化学や多変量解析が幅広く用いられている人文・社会科学に展開する。その具体例として、スペクトルデータのピーク構造抽出に際して多次元・時空間への拡張、及び、学習した基底からデータの背後にある機序を明らかにする、基底の構造モデリングを非線形班(C01-1)と協働して行なう。スパースモデリング班(B01-2)が提案した ES-SVM を参考に、大規模数値計算をデータ駆動的に取り扱う際に必須の近似的ベイズ計算の新しい枠組を提案する。さらに、当該領域が目指すデータ駆動科学の創成にとって必須である、得られたモデルの妥当性を検証する枠組みの構築に取り組む。

物理モデリング班(B01-3)は、時空間データに対して分野横断的な数理構造の類似性の観点から、物理モデリングとスパースモデリングの融合を行い、走査型トンネル顕微鏡(STM)データを用いた空間構造の形成法則の抽出や神経回路網の時間発展ダイナミクスの抽出を行ってきた。今後は、岩石形成を典型例の一つとする非線形偏微分方程式系の時空間ダイナミクスを取り扱うために、大規模数値計算を取り入れながらデータ同化手法とデータ駆動アプローチの融合を目指す。

情報科学グループ(C01)

今後の設定目的：領域発足時は、実際的な状況の特徴を取り入れられる典型モデルを開発し、ガウス性に強く依存する従来の多変量解析の方法を刷新し、スパースモデリングとデータ駆動科学の数理基

盤を確立することを目標とした。今後は図 10-3 のように、モデリング原理が確立した分野に関しては、実験 G(A01,A02)と密に研究を進めていく。

研究の具体的方策

非線形班(C01-1)は、従来の線形モデルでは捉えきれない、現実の観測データに内包される複雑で非線形な構造を抽出する数理基盤を確立する。マルチモーダル SpM や動的 SpM, ならびに構造的 SpM は、これまでのデータ解析で広く用いられていたガウス性の制約を超えるものであり、より多様なデータ構造への適応が可能となる。今後は実験 G(A01,A02)との協働を通じ、実データに潜む非線形性に応じた解析手法の確立を目指す。

セミパラベイズ班(C01-2)は、自然科学の観測データに生じやすい、不確実な部分と既知の部分の両方を含むシステムに対して状態推定を行う方法を研究の中心としてきた。今後は、これまでの基礎技術を改良し、近似的ベイズ計算とカーネル法の融合による時系列観測データの精度の良い推論法を獲得や、大規模時変ダイナミカルシステムの SpM に重要な計算アルゴリズムの開発などを行う。このような系の複雑さや計測の不確実性を克服する数理基盤を適用することで、自然科学のデータ駆動科学にブレークスルーを生むことが可能になる。

大自由度班(C01-3)は、SpM に内在する大自由度性に起因した計算困難の問題を統計力学の概念/技術を用いて解決してきた。今後は、従来の圧縮センシングとは異なる接近法である、スパースモデリング班(B01-2)により必要性が論じられた全状態探索法、ならびに大規模データに対して現実的な手法としての貪欲法に着目して研究を推進する。また、辞書学習に対して得られた手法を手本として、フーリエ観測に限らない幅広い観測系に対しても適用可能な手法を開発する。このように、SpM の数理基盤を盤石なものとし、実験 G(A01,A02)と密に連携することにより、データ駆動科学が掲げる学理の普遍性を明らかにする。

可視化班(C01-4)は、SpM により次元圧縮されたデータを、通常の視覚デバイス環境でも視覚的に理解可能な 2,3,4 次元のデータ表現に変換することにより、複雑な構造や振舞いを示す実世界データの物理的意味の理解を促進し、SpM の効果を助長するような可視化基盤技術の構築を図ってきた。今後は、天文学班(A02-3)との協働をロールモデルとし、さらに実験 G(A01, A02)との共同研究を行うことで、人を高次元データ解析処理に明示的に取り込む Human-in-the-Loop を実現する。また可視化に必要な次元圧縮のアルゴリズムをモデル G(B01)や情報 G(C01)の他の計画研究と提案する。

(4) 計画目標達成に向け、公募研究での重点的な補充

(4)-1 重点補充項目 大規模計算, 物理学, 化学, 人文・社会科学

本領域のこれまでの研究により、理科第 2 分野である生物学・地学分野にはスパースモデリングによるデータ駆動科学が定着しつつある。この動向を他の分野へと広め、また、スパースモデリング自体を深化させるために、物理学, 化学, 人文・社会科学といった当初計画には含まれていなかった研究分野を今後の重点項目として新たに設定する。

物理学や化学の分野では、第一原理に基づく大規模数値計算が盛んに行われている。今後のデータ駆動科学の展開において、こうした数値計算データを取り扱うことは不可欠である。その際に重要な手法の一つは実験・計測データと数値計算データとの融合を可能にするデータ同化である。また因果関係の表現を数値計算に頼らざるを得ない実際状況下におけるベイズ推論では効率的な近似計算法の開発が急務である。データ同化とデータ駆動科学との融合、また、大規模計算とスパースモデリングやデータ駆動科学との融合については、領域代表の岡田が招待講演を行った地震研特定共同研究(B)のシンポジウム、ポスト「京」準備会議、JAMSTEC「地球シミュレータの新たな展開を検討するシンポジウム」において、その重要性が繰り返し強調されていた。

以上より、研究目標の達成に向け公募研究では重点項目として、物理学, 化学, 人文・社会科学と大規模数値計算への展開をはかる。

(4)-2 公募説明会を通じた、領域紹介

前述の公募研究での重点的な補充を含め、本領域の目的と 2 年間の研究成果を広報する必要がある。その手段の一つとして公募説明会を実施する。本領域では 2 年前に公募説明会を 14 回行ない、合計 500 名強の参加者があった。今年度も同様に日本各地で多数回の公募説明会を開催する計画である。

多様な科学を普遍的な切り口で議論するという領域の性格上、多くの研究者に本領域を周知し、幅広い分野からの参画を促す必要がある。前回、多くの公募説明会を行った結果、多数の有力研究者から本領域への賛同が得られ公募研究の形で参加いただけることとなった。これにより、**国内の研究者との連携による組織の強化**が行なわれたのは、本中間評価報告書に述べた通りである。

また、公募説明会では、**若手研究者**を中心としたチュートリアルも行う予定である。2014年12月に本領域が開催した公開チュートリアルでも、領域内の実験G(A01,A02)、モデルG(B01)、情報G(C01)の三人の若手研究者がチュートリアル講演を行った。データ駆動科学を創成するためには多くの分野に通じた若手研究者の育成が必要になる。こういったチュートリアルを通して、後半の公募説明会開催時から公募研究に初動の機会を与えることとなり、より一層領域推進が加速すると考えている。

(5) 国内外の研究者との連携による組織強化

これまで行ってきたように、あらゆる研究分野にデータ駆動科学を定着させるべく、国内外の幅広い領域の研究者やプロジェクトとの連携を図る。そのため、今後データ駆動科学が喫緊の課題となると考えられる領域外分野に対して、絶え間ない広報・アウトリーチを行うとともに、データ駆動科学におけるニーズに応じた異分野間連携を総括班主導のもと推進する。

国内における組織強化としては、本新学術で形成しつつあるデータ駆動科学における研究体制のコアを中核として、多分野にデータ駆動科学を定着させるべく、領域内外を問わない連携を創成する。**国立大学法人、文部科学省研究機構、国立研究開発法人の研究プロジェクトに、データ駆動科学的なアプローチ**が取り入れられるように活動し、我が国のデータ駆動科学の研究体制の形成を目指す。

本領域の活動内容を海外に広報するとともに、SpM やデータ駆動科学に関する我が国のイニシアティブを強固なものとする。Erik Aurell 海外外部評価者が指摘しているように、本領域のように、幅広い分野をデータ駆動科学といった普遍的な切り口で研究する大型グラントは他の諸外国には例を見ない。これを好機ととらえて、本領域では計二回の国際会議 International Meeting on “High-Dimensional Data-Driven Science(HD³)” の開催を企画し、データ駆動科学での国際的なプレゼンスを高める。その第一回として HD³-2015 を平成 27 年 12 月に開催する。ここではモデルG(B01)、情報G(C01)を中心とし、SpM の実践が特に進んでいる天文学、生命科学の研究者を交えながら、先端的データ解析法の自然科学での活用について集中的に議論する。現在、総括班メンバーを中心に組織委員会を構成し、統計力学や機械学習、理論計算物理学などの広い分野の著名な研究者 11 名に招待講演を依頼した。これに各計画研究の 13 件の講演を行い、SpM を核とした高次元データ駆動科学の国際的トレンドを作る。

(6) 若手の育成

本領域が志向するような新たな試みを一過性のものに終わらせず、今後も推進していくにあたり、その理念を理解し体現する、次世代を担う若手の育成が重要となる。具体的には領域の内と外に向けてそれぞれ次の推進方策をとる。

総括班活動に学生を含む若手を積極的に参画させることで、領域の最前線を実感させ、彼らが気付いた問題意識をフィードバックして領域運営に生かしている。こうしたサイクルを通じて、若手自身に領域を動かしているというコミット感を根付かせることを育成の軸としている。領域内に学生を含む若手から構成される**若手評価委員**を設置し、領域活動に対して積極的に意見を出させている。同評価委員は本書類のような報告書を精読し、研究打ち合わせや領域の運営方針を決定する場に同席させる。その際に出た意見を総括班が適宜取り込み領域運営に活かす。このような On the Job Training を元に、状況変化に柔軟に対応する能力と強い指導力を持つ**中核的リーダー**を戦略的に養成する。

領域外に向けたアウトリーチ活動も推進している。分野横断的な本領域の性質から、一般向けだけでなく、異分野の研究者に向けて積極的にアウトリーチ展開している。領域内外の実験・計測研究の研究室に直接若手を派遣し、インタラクティブな技術指導を地道に行わせることで、現場におけるニーズを的確に汲み取ることができる横型の人材を育成している。こうした取り組みは、既存分野の学会運営に終始していた従来型の若手育成とは一線を画し、本領域の理念を司るコミュニティを新たに形成しながら若手自身のキャリアサポートとしての役割も担っている。