2016 March

http://sparse-modeling.jp

# 文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」(平成25~29年度) 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 領域略称名「陳性モデリング」領域番号 4503

# 領域代表より

東京大学·大学院新領域創成科学研究科·教授 研究領域代表 岡田真人

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ます。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である高次元データ駆動科学の構築を目指し、活動しています。我々は、そのためのキーテクノロジーが、スパースモデリング(SpM)であると考えています。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、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す。これまでも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、自然科学全体に革新的展開をもたらしています。



本新学術領域では、計画研究に加え、第一期の公募研究班も参画し、さらなる幅広い分野におけるデータ駆動科学の推進を行ってきました。また、活動としてチュートリアル講演や公開シンポジウム、領域主催の国際会議の開催など、領域内での活動成果を報告するとともに、領域外での関連分野の有識者の方々との議論を行うなど、活発な活動を行いました。こうした領域内外でのデータ駆動科学の実例を積み重ねた結果、David Marrが提唱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になることを見出し、「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、新たにデータ駆動科学の三つのレベルと名付け、データ駆動科学の学理の原点に位置づけました。

# 公募研究(第一期)紹介

2014年4月に加わった第一期公募研究班(37件)を、以下に簡単ではありますが紹介させて頂きます。

## 実験・計測グループ (AO1)

代表者氏名: 出村誠(北海道大学大学院先端生命科学院)

研究課題名:生体系固体NMR解析の高度化とスパースモデル 代表者氏名:羽石秀昭 (千葉大学フロンティア医工学センター)

研究課題名: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

代表者氏名:上田卓見(東京大学大学院薬学系研究科)

研究課題名: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

代表者氏名:宇田新介 (九州大学生体防御医学研究所)

研究課題名:疎性を用いた多階層ネットワークの同定

代表者氏名:宮脇陽一(電気通信大学先端領域教育研究センター)

研究課題名: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

代表者氏名:粟津晓紀(広島大学大学院理学研究科)

研究課題名: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

代表者氏名:田口善弘(中央大学理工学部)

研究課題名: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

代表者氏名:梅田雅宏(明治国際医療大学医学教育研究センター)

研究課題名: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

代表者氏名:船水章大(沖縄科学技術大学院大学)

研究課題名: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

代表者氏名:松永康佑(理化学研究所 計算科学研究機構)

研究課題名: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

代表者氏名:西本伸志(情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター)

研究課題名: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

## 実験・計測グループ (AO2)

代表者氏名:吉田靖雄(東京大学物性研究所)

研究課題名: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

代表者氏名:小池克明(京都大学大学院工学研究科)

研究課題名:金属鉱床品位の3次元高精度モデリングと鉱床形成の物理法則の検出

代表者氏名: 菅生康子 (産業技術総合研究所)

研究課題名: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

代表者氏名: 土居明広 (宇宙航空研究開発機構)

研究課題名: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

代表者氏名:堀高峰(海洋研究開発機構)

研究課題名: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

## モデリンググループ (B01)

代表者氏名:島田敏宏(北海道大学大学院工学研究院)

研究課題名: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

代表者氏名:佐々木岳彦(東京大学大学院新領域創成科学研究科)

研究課題名: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

代表者氏名:長尾大道(東京大学地震研究所)

研究課題名: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

代表者氏名:安藤康伸(東京大学大学院工学系研究科)

研究課題名: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

代表者氏名:青西亨(東京工業大学大学院総合理工学研究科)

研究課題名: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

代表者氏名:中尾裕也(東京工業大学大学院情報理工学研究科)

研究課題名:スパース性を利用した大自由度非線形システムのデータ解析とモデリング

代表者氏名:巽一厳(名古屋大学エコトピア科学研究所)

研究課題名: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

代表者氏名:永原正章(京都大学大学院情報学研究科)

研究課題名: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

代表者氏名: 笈田武範 (京都大学大学院工学研究科)

研究課題名: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

代表者氏名:市川寛子(中央大学文学部心理学研究室)

研究課題名: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

## 情報科学グループ (C01)

代表者氏名:瀧川一学(北海道大学創成研究機構研究部)

研究課題名: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

代表者氏名:日野英逸(筑波大学大学院システム情報工学研究科)

研究課題名: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

代表者氏名: 庄野逸 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

研究課題名:相関スパース表現 Deep Architecture によるテクスチャ解析

代表者氏名:村山立人(富山大学大学院理工学研究部)

2016 March

http://sparse-modeling.jp

# 文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」(平成25~29年度) スモデリングの深化と - 夕駆動科学の創成 領域略称名「疎性モデリング」領域番号 4503

研究課題名: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

代表者氏名:大渕竜太郎(山梨大学大学院医学工学総合研究部)

研究課題名:基本演算としての3次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

代表者氏名:下平英寿(大阪大学大学院基礎工学研究科) 研究課題名:ネットワーク構造のスパースモデリングの探求

代表者氏名:河原吉伸(大阪大学産業科学研究所)

研究課題名:疎性モデリングへの組合せ論的アプローチと最適化

代表者氏名:酒井智弥(長崎大学大学院工学研究科)

研究課題名: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

代表者氏名:小西克巳(工学院大学情報工学部)

研究課題名: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

代表者氏名:藤澤克樹(九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)

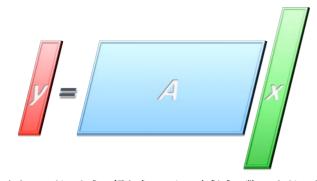
研究課題名:スパースデータの多階層メモリへの配置及び高速かつ省電力計算手法の開発と検証

代表者氏名:BI CHONGKE (理化学研究所 計算科学研究機構)

研究課題名: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

# 【コラム】 (当領域に関係するキーワードを領域外に方々にもわかりやすく解説します)

「圧縮センシング」 担当:B01-1 班 田中利幸(京都大学 大学院情報学研究科)



N 次元ベクトル x を変数とする N 元連立一次方程式 v=Ax を考える. M×N 行列 A は係数を, M 次元ベクトル v は定数項をそれぞれあらわしている。これを解いて解を一 意に求めるには、方程式の数 M は N 以上である必要があ る. MがN未満であるときにも解を一意に求めることはで きないだろうか. 一般には無理な相談であるが, x に付加 的な条件を課すことができれば、解を一意に求められる場 合がある. 圧縮センシングでは、x がスパース (疎) であ る, すなわち x の 0 でない要素が少数であるという条件の

もとで、どのように解を求めるか、方程式の数 M をどのくらい小さくできるか、といった問題を議論する。

圧縮センシングは幅広い応用を有する. 多くの物理法則は線形関係として表現され、それらにもとづく物理的な観測 過程は線形観測として定式化できる.対応して、観測結果から対象を推定する問題は連立一次方程式 y=Ax の求解に帰 着される、線形関係で定式化できる観測過程は物理的過程のみならず多様な分野に見られる、このことが、圧縮センシ ングの適用範囲が幅広いことの理由である.

核磁気共鳴分光法(NMR スペクトロスコピー),磁気共鳴画像法 (MRI)、超長基線電波干渉計(VLBI)の問題はいずれもフーリエ観測 の場合の連立一次方程式の求解問題に帰着されるため、圧縮セン シングの適用が有用である。新学術領域「スパースモデリング」 では、これらの応用領域を踏まえた横断的な視点で、圧縮センシ ングの研究を推進していく.

#### 参考文献

田中利幸,「圧縮センシングの数理」, Fundamentals Review, vol. 4, issue 1, pages 39-47, 2010









# 活動紹介

## 総括斑会議

第5回 2014年6月19日(木) 12:05 – 13:45 東京大学 駒場II キャンパス 環境エネルギー研究棟 第6回 2014年6月21日(土) 11:35 – 13:15 東京大学 駒場II キャンパス 環境エネルギー研究棟

第2回領域会議にあわせて開催し、研究計画、チュートリアル・公開シンポジウム、若手育成、領域内外との連携など、領域の活動や運営について議論しました。

第7回 2014年12月15日(月) 12:30 – 13:15 東京工業大学 すずかけ台キャンパス G5棟 第8回 2014年12月16日(火) 12:15 – 13:15 東京工業大学 すずかけ台キャンパス G5棟 第9回 2014年12月17日(水) 12:15 – 13:15 東京工業大学 すずかけ台キャンパス G5棟

2014年度公開シンポジウムにあわせて開催し、これまでの活動の総括と今後の計画、領域会議、若手育成、アウトリーチ活動、国際シンポジウムの後援など、領域の活動や運営について議論しました。

第10回 2015年7月13日(月) 12:15 - 13:30 慶応義塾大学 三田キャンパス 北館ホール

第11回 2015年7月14日(火) 12:15 – 13:30 慶応義塾大学 三田キャンパス 北館ホール

第12回 2015年7月15日(水) 12:15 - 13:30 慶応義塾大学 三田キャンパス 北館ホール

第3回領域会議にあわせて開催し、研究計画、中間評価、国際会議、シンポジウム開催、若手育成、国際活動などの領域内外連携など、領域の活動や運営について議論しました。

第13回 2015年12月14日(月) 17:00 - 18:00 メルパルク京都

第14回 2015年12月17日(木) 12:00 - 14:00 メルパルク京都

国際会議HD<sup>^3</sup>-2015にあわせて開催し、中間評価の報告、シンポジウムや国際会議開催、国際班の活動、の報告、領域会議開催など、領域の活動や運営について議論しました。

第15回 2016年3月6日(日) 12:00 – 13:30 神戸大学 総合研究拠点 第16回 2016年3月7日(月) 11:30 – 13:00 神戸大学 総合研究拠点 第17回 2016年3月8日(火) 11:30 – 13:00 神戸大学 総合研究拠点

2015年度公開シンポジウムにあわせて開催し、中間評価報告と今後の対応、2016年度の会議開催、国際班の活動、国際会議の開催など、領域の活動や運営について議論しました。

#### 領域会議

第2回 2014年6月19日(木) - 21日(土) 東京大学 駒場II キャンパス 環境エネルギー研究棟 ENEOS ホール

領域代表からの全体説明に続いて、計画研究班ならびに公募研究班から成果と計画についての報告があり、活発な議論がおこなわれました。



岡田領域代表の発表



ポスターセッションの様子

2016 March

http://sparse-modeling.jp

# 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



参加者の集合写真

第3回 2015年7月13日(月) - 15日(水) 慶応義塾大学 三田キャンパス 北館ホール

計画研究班ならびに公募研究班から成果についての報告があり、活発な議論がおこなわれました。



参加者の集合写真

## 2014年度チュートリアル・公開シンポジウム

チュートリアル:2014年12月14日(日)

公開シンポジウム:2014年12月15日(月) - 17日(水)

会場:東京工業大学 すずかけ台キャンパス 大学会館 多目的ホール

280名を超える参加登録があり、4日間の延べ数で620名を超える参加がありました。会場の収容能力の都合から参加のご希望に必ずしも応えられず申し訳ありませんでした。

#### 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~

次世代の高次元データ科学を担う研究者育成を目的として、領域メンバーによるチュートリアル講演会をおこないました。参加者から多数の質問があり、活発な議論がおこなわれました。

#### [講師]

田中利幸(京都大学 大学院情報学研究科)「オープニング」および「クロージング」 大関真之(京都大学 大学院情報学研究科)「データと数理をつなぐ圧縮センシング」 藤本晃司(京都大学 大学院医学研究科)「圧縮センシングの医用MRIへの応用」 竹田晃人(茨城大学 大学院理工学研究科)「統計力学で圧縮センシングを探る」



チュートリアルでの発表



チュートリアル会場の様子

#### 公開ワークショップ

当領域に関連する分野の発展に多大なる貢献をされてきた先生方をお招きして、これまでの研究と当領域への期待をお話し頂くとともに、各研究班から最新の研究成果が発表され、3日間にわたり活発な議論がおこなわれました。

#### 招待講演:

樋口知之(統計数理研究所 所長)

柳田敏雄(理化学研究所 生命システム研究センター センター長, 脳情報通信融合研究センター センター長)

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)

林正彦(国立天文台 台長)

#### 研究班からの発表:

岡田真人(東京大学 大学院新領域創成科学研究科)「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」

福島孝治(東京大学 大学院総合文化研究科)「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」

吉田靖雄(東京大学 物性研究所)「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」

酒井智弥(長崎大学 大学院工学研究科)「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」

岡田真人(東京大学 大学院新領域創成科学研究科)「スパースモデリングによる潜在構造の抽出」

市川寛子(中央大学 文学部心理学研究室)「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」

河原吉伸(大阪大学 産業科学研究所)「疎性モデリングへの組合せ論的アプローチと最適化」

藤代一成(慶應義塾大学 大学院理工学研究科)「バイクラスタリングに基づく部分空間の視覚探索」

谷藤学(理化学研究所 脳科学総合研究センター)「ヒトの物体認識を説明する物体表現空間の解明に向けて」

宮脇陽一(電気通信大学 先端領域教育研究センター)「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」

宇田新介(九州大学 生体防御医学研究所)「疎性を用いた多階層ネットワークの同定」

木川隆則(理化学研究所 生命システム研究センター)「スパースモデリングによるNMR計測・解析の高速高精度化」

福水健次(統計数理研究所 数理・推論研究系)「セミパラメトリック推論とスパースモデリング」

赤穂昭太郎(産業技術総合研究所)「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」

堀高峰(海洋研究開発機構)「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」

本間希樹(国立天文台 水沢VLBI観測所)「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」

土居明広(宇宙航空研究開発機構)「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」

宮本英昭(東京大学 総合研究博物館)「隕石・小惑星に関する3種類のデータベース構築と初期解析」

桑谷立(東北大学 大学院環境科学研究科)「スパースモデリングに基づくデータ駆動型解析による地球プロセスモデルの構築」



公開シンポジウムでの講演

2016 March

http://sparse-modeling.jp

## 2015年度チュートリアル・公開シンポジウム

チュートリアル:2016年3月6日(日)

公開シンポジウム:2016年3月7日(月) - 8日(火)

会場:神戸大学 統合研究拠点 コンベンションホール

190名を超える参加登録があり、3日間の延べ数で350名を超える参加がありました。

#### チュートリアル講演会

「マルコフ連鎖モンテカルロ法とデータ駆動科学」

次世代の高次元データ科学を担う研究者育成を目的として、領域メンバーによるチュートリアル講演会をおこないました。参加者から多数の質問・コメントがあり、活発な議論がおこなわれました。

#### [講師]

赤穂昭太郎(産業技術総合研究所)「オープニング」および「クロージング」

福島孝治(東京大学 大学院総合文化研究科)「モンテカルロ法の基礎と最近の展開」

永田賢二(東京大学 大学院新領域創成科学研究科) 「MCMC法によるデータ駆動科学の実践」

荒木貴光 (産業技術総合研究所) 「適応的マルコフ連鎖モンテカルロ法入門」

#### 公開ワークショップ

各研究班から最新の研究成果が発表され、2日間にわたり活発な議論がおこなわれました.

#### 研究班からの発表:

岡田真人(東京大学 大学院新領域創成科学研究科)「オープニング」および「クロージング」

桑谷立(海洋研究開発機構)・駒井武(東北大学 大学院環境科学研究科)「地球科学分野におけるデータ駆動科学の進展」

長尾大道(東京大学 地震研究所)「首都圏地震動イメージング:レプリカ交換モンテカルロ法による地震動と地下構造の同時推定」

宮本英昭(東京大学 総合研究博物館)「スパースモデリングによる隕石と小惑星を対比する試みの現状」

小池克明(京都大学 大学院工学研究科)「金属鉱床品位の3次元高精度モデリングと鉱床形成の物理法則の検出」

岡田知久・富樫かおり(京都大学 大学院医学研究科)「スパースモデリング:血管疾患とガンへの応用」

庄野逸(電気通信大学 大学院情報理工学研究科)「Deep Convolution Network を用いたびまん性肺疾患識別」

日野英逸(筑波大学 大学院システム情報工学研究科)「構造化スパースモデリングの画像処理とセキュリティへの応用」

安藤康伸(東京大学 大学院工学系研究科)「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」

谷藤学(理化学研究所)「高次視覚空間における物体像表現の状態依存的ふるまい」

船水章大 (沖縄科学技術大学院大学)「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」



若手研究者によるチュートリアル講演



チュートリアル会場の様子



領域代表



ポスターセッション



参加者の集合写真

## 国際会議の後援

International Meeting on "High-Dimensional Data-Driven Science" (HD^3-2015)

スパースモデリングを核とした高次元データ駆動科学に焦点をあてた以下の国際会議を後援しました。Theory(理論), Modeling(モデリング), Practice(実践)の各分野において先駆的な成果を挙げている国内外の研究者が集まり、最新の成果を発表するとともに、高次元データ駆動科学の今後について議論しました。

International Meeting on "High-Dimensional Data-Driven Science" (HD^3-2015)

http://sparse-modeling.jp/HD3-2015

日程:2015年12月14日(月) - 17日(木) 会場:メルパルク京都

Organizing Committee:

Yoshiyuki Kabashima (Tokyo Institute of Technology) (General Chair)

Kenji Nagata (University of Tokyo)

Tomoyuki Obuchi (Tokyo Institute of Technology)

Masayuki Ohzeki (Kyoto University)

Masato Okada (University of Tokyo) (Head Investigator of SpM)

Toshiyuki Tanaka (Kyoto University) (Local Chair)

#### **Invited Speakers:**

Erik Aurell (KTH, Sweden)

Jean Barbier (ENS Paris, France)

Mark Bostock (University of Cambridge, UK)

Ton Coolen (King's College London, UK)

Eric B. Ford (Pennsylvania State University, USA)

Klaus-Robert Müller (TU Berlin, Germany)

Federico Ricci-Tersenghi (Sapienza University of Rome, Italy)

Jean-Luc Starck (CEA, France)

Eric P. Xing (CMU, USA)

Vladislav Yu Orekhov (University of Gothenburg, Sweden)

Haijun Zhou (Chinese Academy of Sciences, China)

2016 March

http://sparse-modeling.jp

文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」(平成25~29年度) 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 領域略称名「疎性モデリング」領域番号 4503

Speakers from the Innovative Area:

Shotaro Akaho (Advanced Institute of Science and Technology)

Mareki Honma (National Astronomical Observatory of Japan)

Shiro Ikeda (The Institute of Statistical Mathematics)

Teppei Ikeya (Tokyo Metropolitan University)

Takuma Kasai (RIKEN)

Tomoyuki Obuchi (Tokyo Institute of Technology)

Masayuki Ohzeki (Kyoto University)

Masato Okada (The University of Tokyo)

Toshiaki Omori (Kobe University)

Taiji Suzuki (Tokyo Institute of Technology)

Makoto Uemura (Hiroshima University)

Kazuho Watanabe (Toyohashi University of Technology)



国際会議参加者の集合写真

#### アウトリーチ活動

2015年8月23日(日)夜11:30から、NHK Eテレ 「サイエンスZERO」にてスパースモデリングの特集が放送されました。

ZDNet Japanにて「スパースモデリング」に関する一般読者向け連載が開始されました。 (http://japan.zdnet.com/article/35074052/)

# 今後の主な予定

### 領域会議

班員が参加する第4回領域会議を、2016年6月初旬に開催する予定です。

## チュートリアル・公開ワークショップ

2016年度チュートリアル・公開シンポジウムを2016年度中に開催する予定です。

発行・企画編集 連絡先 新学術領域研究「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」ニュースレター担当 ニュースレター担当 木川 隆則(理化学研究所 生命システム研究センター) kigawa@riken.jp 大森 敏明(神戸大学 大学院工学研究科) omori@eedept.kobe-u.ac.jp