

戦略的創造研究推進事業
—CREST・さきがけ複合領域—

研究領域

「計測技術と高度情報処理の融合による
インテリジェント計測・解析手法の開発と
応用」

複合領域事後評価用資料

研究総括：雨宮 慶幸

副研究総括：北川 源四郎

2024 年 3 月

目 次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	4
(3) 研究総括	5
(4) 採択研究課題・研究費.....	6
2. 研究総括のねらい.....	13
3. 研究課題の選考について.....	14
(1) 研究課題の選考方針.....	14
(2) 選考結果	15
4. 領域アドバイザーについて.....	16
5. 研究領域のマネジメントについて.....	18
(1) CREST	19
(2) さきがけ	23
(3) 複合領域として	26
6. 研究領域として戦略目標の達成状況について研究を実施した結果と所見.....	35
(1) 全体状況	35
(2) 個別課題の状況	39
①CREST	39
②さきがけ	50
7. 総合所見	70

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」

① 概要

放射光施設等の大型の研究施設から、汎用の計測機器に至るまで、計測技術は材料科学やライフサイエンス等様々な研究分野に浸透し、有効に活用されているが、計測データから有意な情報を読み解く際に研究者の経験に頼る部分もまだまだ多い。一方、情報科学や数理学の分野においては、データから最大限の情報を読み解く手法の研究が進んできている。

そこで、本戦略目標では、第5期科学技術基本計画で掲げられた「超スマート社会」(Society 5.0)における一つの取り組みとして、日本が強みを有する計測技術を近年急速に進展している情報科学・数理学等と融合し、新たな「情報計測」分野を創出することを目指す。X線、中性子を用いた量子ビーム施設や、電子顕微鏡、NMR等の汎用機器を用いた様々な計測技術と、データ同化、スパースモデリング、画像解析、信号解析等の情報科学・数理学等の双方向(Bi-directional)の解析により、見えない物理量を計る、見えなかった変化を見る、見つけられなかった変化を見つけること等を実現する情報計測技術を構築する。これにより、物質・材料、資源・エネルギー、医療・創薬等、科学技術全般の新たな科学上の発見を促す。

② 達成目標

本戦略目標では、材料科学・ライフサイエンス等の分野において、計測・解析技術の深化により新たな科学の開拓が強く期待される研究課題について、計測対象の特徴量解析技術を構築するとともに、それらを新たな計測・解析技術へと展開することを目的とする。具体的には、以下の達成を目指す。

(i) 計測対象の特徴量解析技術の構築

例えば、シグナル対ノイズ比の低いスペクトルや画像等からの特徴量抽出技術やより少ないデータから有用な情報を引き出す情報再構成技術、異種情報の統合解析技術を構築する。

(ii) (i)を活用した新たな計測・解析技術の構築

③ 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

②「達成目標」に記載した事項の達成を通じ、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・ 科学技術全般の研究開発サイクルが加速されている社会
- ・ 計測・検出したデータから最大限の情報を読み解く解析アプリケーションが開発され、材料科学やライフサイエンス等の各分野が飛躍的に進展し、研究成果のより早い社会還元

が実現されている社会

- ・計測、情報・数理、材料科学・ライフサイエンス等の融合領域の研究を推進する研究者が育成・発掘されている社会

④具体的な研究例

(i)計測対象の特徴量解析技術の構築

シグナル対ノイズ比の低いスペクトルや画像等からの特徴量抽出技術としては、例えば電子顕微鏡像から特徴量を定量解析する技術や、実用条件下での触媒・電池等の材料表面において、反応状態の超短時間現象を動的に観察する手法、生理活性が発現している状態において、生体分子と基質・シグナル分子の結合等を解析するナノスケールでの動態解析手法を構築する。

より少ないデータからの情報再構成技術としては、例えば放射光の高輝度化に伴う放射線損壊を起こさず、より少ない光子数での計測を可能とするための解析手法や、脳血流のリアルタイム解析を可能とする従来の10分の1以下のデータ量から血管像を再構成するための解析手法を構築する。

異種情報の統合解析技術としては、例えば生体分子複合体の立体構造解析等において、複数の異なる解析手段から得られたデータを統合し複合的に解析する手法を構築する。

(ii) (i)を活用した計測手法の構築

計測対象の特徴量解析技術を活用し、最適化された計測条件をフィードバックする計測手法や計測限界を定量的に評価できる枠組みの構築や、汎用計測機器を用いた従来の大型計測施設並みの高度計測技術の開発を行う。

⑤国内外の研究動向

(国内動向)

先端計測については、大型施設（SPring-8、J-PARC 等）を用いた研究による成果が着実に上がっているが、各研究者あたりの大型研究施設のリソースは限られており、また、これらのデータから有意な情報を読み解く際には研究者の経験に頼るところが多い。一方で、科学研究費助成事業新学術領域研究「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」（平成25年度～平成29年度）では、生物学と地学を対象に、情報科学が、計測結果の解析に使えることを実証する等、近年急速に進展している。

(国外動向)

データ科学や情報科学の他分野への有効活用という観点から関連する国外動向としては、最先端の情報科学的手法を物質・材料研究へ融合させ、開発期間を大幅に短縮する試みとして、アメリカの「マテリアルズゲノムイニシアティブ」（MGI：年間予算約100億円）や、MGIを支えるコンソーシアムとして国立標準技術研究所（NIST）が資金提供している「Center for Hierarchical Materials Design」が挙げられる。ヨーロッパ、中国でも同様

の検討が始められている。

⑥検討の経緯

「戦略目標等策定指針」（平成 27 年 6 月 8 日科学技術・学術審議会戦略的基礎研究部会決定）に基づき、以下の通り検討を行った。

（科学研究費助成事業データベース等を用いた科学計量学的手法による国内外の研究動向に関する分析資料の作成）

科学研究費助成事業データベース等を用いて、研究論文の共引用関係又は直接引用関係の分析等の科学計量学的手法を活用することにより、国内外の研究動向に関する分析資料を作成した。

（分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成）

「科学技術振興機構研究開発戦略センターの各分野ユニット」、「日本医療研究開発機構のプログラムディレクター等」及び「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」を特定した。

（ワークショップの開催及び戦略目標の作成）

注目すべき研究動向「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標などについて議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

⑦閣議決定文書等における関係記載

「科学技術イノベーション総合戦略 2015」（平成 27 年 6 月 19 日閣議決定）

第 2 部 第 1 章 2.

「超スマート社会」において我が国の強みを活かし幅広い分野でのビジネス創出の可能性を秘めるセンサ、ロボット、先端計測、光・量子技術、素材、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー等の共通基盤的な技術の先導的推進を図ることも重要である。

第 2 部 第 2 章 4. 3) 2.

ニーズの先取りを可能とするビッグデータ収集・解析システムを開発することも重要であり、最終的にこれらのシステムを統合することで、(中略)材料開発期間の短縮による製品開発の加速、さらには新市場の創出を通して経済的な効果が生み出される。

「第 5 期科学技術基本計画」（平成 28 年 1 月 22 日閣議決定）

第 2 章 (3) <2>2)

新たな価値創出のコアとなり現実世界で機能する技術として、国は、特に以下の基盤技術について強化を図る。

(中略)

- ・革新的な構造材料や新機能材料など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「素材・ナノテクノロジー」
- ・革新的な計測技術、情報・エネルギー伝達技術、加工技術など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「光・量子技術」

③その他

- 大型施設等を用いた計測の高度化としては「光・量子融合連携研究開発プログラム」(平成 25 年度～平成 29 年度)や、「X 線自由電子レーザー施設重点戦略課題推進事業」(平成 24 年度～平成 28 年度)が行われているが、データ解析に特化したプロジェクトではなく、情報科学との連携については十分ではない。
- 情報科学の近年の進展を他の分野へ展開する研究は、科学研究費助成事業の基盤研究や、地学・生物学を対象にした科学研究費助成事業新学術領域研究「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」(平成 25 年度～平成 29 年度)において実施されている(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」では、物質・材料研究は対象とされていない)。また、科学研究費助成事業新学術領域研究「ナノ構造情報のフロンティア開拓ー材料科学の新展開」(平成 25 年度～平成 29 年度)の一部ではデータ解析手法を材料研究へ展開する試みを実施されており、情報科学を物質・材料研究へ展開する機運は高まりつつある。
- 大量のデータを活用した物質・材料研究の新機軸として、マテリアルズインフォマティクスが挙げられる。国内では、科学技術振興機構(JST)さきがけ「理論・実験・計算科学とデータ科学が連携・融合した先進的マテリアルズインフォマティクスのための基盤技術の構築」(平成 27 年度発足)や、「イノベーションハブ構築支援事業」(平成 27 年度～平成 31 年度)において「情報統合型 物質・材料開発イニシアティブ(MI2I)」が開始されており、データ活用の機運が高まっている。本戦略目標により、情報科学と物質・材料研究が融合してデータ取得の手法が高度化すれば、世界をリードする新しい研究開発のスキーム・基盤技術の構築が可能となる。

(国が定めた戦略目標より抜粋・引用)

(2) 研究領域

「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」
(2016 年度発足)

本研究領域は、計測・解析技術の深化による新たな科学の開拓や社会的課題の解決のために、多様な計測・解析技術に最先端の情報科学・統計数理の研究を高度に融合させることに

よって、これまでは捉えられなかった物理量・物質状態やその変化あるいは潜在要因等の検出、これまでは困難であった測定対象が実際に動作・機能している条件下でのリアルタイム計測等を実現するインテリジェント計測・解析手法の開発とその応用を目指す。

具体的には、2つの大きな柱で研究を推進する。1つはデータ同化、スパースモデリング、画像解析、信号処理等の広範な逆解析技術を中心にした情報科学・統計数理による計測対象の特徴量解析手法や大量データの迅速・高精度解析手法等の開発である。もう1つの柱は、上記基盤手法を具体的な計測課題に応用し、物質・材料、生命・医療・創薬、資源・エネルギー、地球・宇宙、Web空間等、科学技術全般における新現象の発見、原理の解明や新たな知識獲得等を成し遂げることである。

これらを通じて、新たな計測・解析手法を切り拓くことのみならず、豊かな社会の構築に資する科学技術イノベーションの創出に貢献する。

(3) 研究総括

研究総括 雨宮 慶幸 ((公財)高輝度光科学研究センター 理事長)

副研究総括 北川 源四郎 (情報・システム研究機構 統計数理研究所 名誉教授
／総合研究大学院大学 名誉教授)

本研究領域では、雨宮慶幸研究総括がCREST、および、計測関係を主に担当し、北川源四郎副研究総括がさきがけ、および、情報関係を主に担当する運営体制としている。

上記詳細は、以下 URL をご参照ください。

JST 公開資料「新規研究領域の事前評価」

<http://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/index.html>

平成 28 年度新規研究領域の事前評価

https://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/hyouka_h28.pdf

(4) 採択研究課題・研究費

①CREST

(百万円)

採択年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時／ 中間評価時 下段：採択時	研究課題	研究費
2016 年度	岡本 博	東京大学大学院新 領域創成科学研究 科 教授 同上	強相関係における光・電場応答の 時分割計測と非摂動型解析	224
	小松崎 民樹	北海道大学電子科 学研究所 教授 北海道大学電子科 学研究所 教授・セ ンター長	一細胞ラマン計測と情報科学の 融合による細胞診断の迅速解析 技術の開発	244
	佐藤 薫	東京大学大学院理 学系研究科 教授 同上	大型大気レーダー国際共同観測 データと高解像大気大循環モデ ルの融合による大気階層構造の 解明	237
	村上 恭和	九州大学大学院工 学研究院 教授 同上	AI と大規模画像処理による電子 顕微鏡法の技術革新	212
	吉川 元起	物質・材料研究機構 機能性材料研究拠 点 グループリー ダー 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテ クトニクス研究拠 点 グループリー ダー	標準ニオイ多次元メガライブラ リ構築と高解釈性数理モデル抽 出による判別精度の定量予測	206
	鷺尾 隆	大阪大学産業科学 研究所 教授 同上	機械学習と最先端計測技術の融 合深化による新たな計測・解析手 法の展開	232

2017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 同上	ベイズ推論とスパースモデリン グによる計測と情報の融合	233
	高田 彰二	京都大学大学院理 学研究科 教授 同上	高速原子間力顕微鏡 1 分子計測 のデータ同化による生体分子 4 次元構造解析法の開発	234
	平田 直	東京大学地震研究 所 特任研究員 東京大学地震研究 所 教授	次世代地震計測と最先端ベイズ 統計学との融合によるインテリ ジェント地震波動解析	260
	向川 康博	奈良先端科学技術 大学院大学先端科 学技術研究科 教 授 奈良先端科学技術 大学院大学情報先 端科学研究科 教 授	多元光情報の符号化計測と高次 元化処理の協調設計	201
	矢代 航	東北大学国際放射 光イノベーション・ スマート研究セン ター 教授 東北大学多元物質 科学研究所 准教 授	超圧縮センシングによるミリ秒 X線トモグラフィ法の開発	194
2018年度	赤井 一郎	熊本大学産業ナノ マテリアル研究所 教授 熊本大学パルスパ ワー科学研究所 教授	データ駆動科学による高次元X 線吸収計測の革新	200
	石濱 泰	京都大学大学院薬 学研究科 教授 同上	質量分析と統計解析の融合によ るメタプロテオミクス	200

	清末 優子	関西医科大学附属 生命医学研究所 学長特命教授 理化学研究所生命 機能科学研究セン ター ユニットリ ーダー	高精度時空間計測による多元細 胞情報統合	224
	小村 豊	京都大学大学院人 間・環境学研究科 教授 京都大学こころの 未来研究センター 教授	情報網に潜む因果構造解析と高 次元脳計測による意識メータの 創出	208
	光岡 薫	大阪大学超高压電 子顕微鏡センター 教授 同上	クライオ電子顕微鏡法のベイズ 高度化と他計測との融合	197
			総研究費	3,506

*研究費：2020年度上期までの実績額に2020年度下期以降の計画額を加算した金額

②さきがけ

(百万円)

採択年度	研究代表者	所属・役職 上段：研究終了時／中 間評価時 下段：採択時	研究課題	研究費*
2016 年度	安藤 正浩	JST さきがけ研究者 早稲田大学ナノ・ライ フ創新研究機構 次席 研究員(研究院講師)	ラマン分光スパース解析によ る生細胞の包括的分子イメー ジング	30
	小川 紘樹	京都大学化学研究所 准教授 京都大学化学研究所 助教	X 線小角散乱-CT 法と計算科学 の融合による可視化手法の開 発	36
	小野 峻佑	東京工業大学情報理工 学院 准教授 東京工業大学科学技術 創成研究院 助教	統合的凸最適化による In Hand な成分分離型信号情報再構成	27
	葛西 卓磨	理化学研究所生命機能 科学研究センター 研 究員 理化学研究所生命シス テム研究センター 研 究員	試料への情報の符号化を活用 する NMR 計測・解析法	30
	片山 建二	中央大学理工学部 教 授 同上	変調光誘起位相差顕微鏡によ る光生成キャリア寿命・移動物 性評価法	33
	桑谷 立	海洋研究開発機構海域 地震火山部門 研究員 海洋研究開発機構地球 内部物質循環研究分野 研究員	岩石からのプロセス抽出：究極 の逆問題に挑むベイズ計測	37
	中村 友哉	東京工業大学工学院 助教	人工散乱体と圧縮センシング を融合した超小型撮像系によ	32

		同上	る大規模画像計測	
	野々村 拓	東北大学大学院工学研究科 准教授 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 助教	流体最適制御に向けた高速高精度データ同化手法の確立	32
	松永 康佑	埼玉大学大学院理工学研究科 准教授 理化学研究所計算科学研究機構 研究員	生体分子動態解析のためのデータ同化基盤の開発と応用	30
	渡辺 義浩	東京工業大学工学院 准教授 東京大学大学院情報理工学系研究科 講師	スパースモデリングと動的光線制御による視覚的質感の高速計測	36
2017 年度	木寺 正平	電気通信大学大学院情報理工学研究科 准教授 同上	超高精度画像化法と多偏波解析による誘電率推定を統合した革新的マイクロ波イメージング法の創出	30
	木村 隆志	東京大学物性研究所 准教授 北海道大学電子科学研究所 助教	ビッグデータアプローチによるX線レーザーイメージングの高度化	30
	中西 義典	東京大学大学院総合文化研究科 助教 同上	再標本化による情報計測のためのデータ駆動診断法開発	14
	中村 和幸	明治大学総合数理学部 専任教授 明治大学総合数理学部 専任准教授	データ同化モデリングの自動化原理開発によるハイレベル予測発見手法の構築	23
	成田 憲保	東京大学大学院総合文化研究科 教授 東京大学大学院理学系研究科 助教	多色同時撮像観測と高精度解析による第二の地球たちの探査	37
	星野 学	理化学研究所創発物性科学研究センター 研究員	高分解能データの統計的推定による超高精細結晶構造解析の開拓	34

		理化学研究所創発物性 科学研究センター 研 究支援パートタイマー		
	松岡 大祐	海洋研究開発機構付加 価値情報創生部門 副 主任研究員 海洋研究開発機構地球 情報基盤センター 技 術研究員	気象ビッグデータからの極端 現象発生予測 ～台風のタマゴ 発見から豪雨予測まで～	34
	宮脇 陽一	電気通信大学大学院情 報理工学研究科 教授 同上	高時空間分解能脳情報解析に よる自然条件下での実世界認 識ダイナミクスの研究	33
	森下 喜弘	理化学研究所生命機能 科学研究センター チ ームリーダー 理化学研究所生命シス テム研究センター ユ ニットリーダー	高度情報処理技術を用いた器 官発生過程の再構築、予測、操 作	30
	山崎 裕一	物質・材料研究機構統 合型材料開発・情報基 盤部門 主任研究員 同上	スパース位相回復法によるコ ヒーレント軟X線オペランド計 測	39
2018 年度	石川 亮	東京大学大学院工学系 研究科 特任准教授 東京大学大学院工学系 研究科 助教	オンライン自動収差補正によ る3次元電子顕微鏡法の開発	36
	加藤 健一	理化学研究所放射光科 学研究センター 専任 研究員 同上	データ駆動型全散乱計測に基 づく不均質現象可視化システ ムの開発と応用	30
	阪本 卓也	京都大学大学院工学研 究科 准教授 兵庫県立大学大学院工 学研究科 准教授	生体信号の数理モデルと電波 センシングを融合した人体の 非接触バイタルイメージング	31

	玉井 康成	京都大学大学院工学研究科 助教 同上	スパース解析と遺伝的アルゴリズムの融合による新奇スペクトル分離手法の開発	33
	徳永 旭将	九州工業大学大学院情報工学研究院 准教授 同上	学習型動態モーフィングによる神経間シグナル伝達特性の解明	34
	西川 悠	海洋研究開発機構付加価値情報創生部門 研究員 海洋研究開発機構東日本海洋生態系変動解析プロジェクトチーム 特任研究員	魚群探知機とバーチャル生簀の融合による養殖魚計測技術の開発	30
	林 久美子	東北大学大学院工学研究科 准教授 同上	非平衡統計力学に基づく軸索輸送動画解析の医療応用	33
	平松 光太郎	東京大学大学院理学系研究科 助教 同上	任意のスペクトル次元を測定できる functional Raman 分光法の開発	35
	松岡 里実	大阪大学大学院生命機能研究科 助教 理化学研究所生命機能科学研究センター 研究員	データ同化による1細胞内自己組織化過程の全可視化	42
	松田 佑	早稲田大学理工学術院 准教授 同上	圧縮センシングを活用した高精度空力診断システムの構築	32
	森島 邦博	名古屋大学大学院理学研究科 准教授 名古屋大学高等研究院 特任助教	高度情報処理と素粒子計測の融合によるミューオントモグラフィ技術	33
			総研究費	996

*研究費：2020年度上期までの実績額に2020年度下期以降の計画額を加算した金額

2. 研究総括のねらい

多くの新しい科学は、新たな計測・解析技術による発見によって切り拓かれてきた。そして、切り拓かれたその科学は、物質・材料、生命・医療・創薬、資源・エネルギー、地球・宇宙、Web 空間等、幅広い学術・産業分野における科学技術の発展とそれを利用した高度な文明社会を生み出してきた。計測・解析技術は、すべての領域に対して欠かせない基盤的なものであり、その成果が大きな波及効果を生み出すことは疑いを挟む余地がない。また、さらなる成果に向けてなんとか計測限界を突破したいという強い希求に積極的に応えようとすることによって計測・解析技術は飛躍的に進歩し、学術・産業と互いに相乗効果を生み出す関係を築いてきた。

計測限界を超えるための手段は、大きく分けるとハードウェアとソフトウェア、2つのアプローチがあるが、これまでの計測技術の開発プロセスは、ハードウェア面に軸足を置いたものであった。一方、現在の情報科学・統計数理の分野においては、データから最大限の情報を読み解く方法論や異種の情報を統合する方法論等が目覚ましい発展を遂げており、重大な科学の発見につながっている。例えば、重力波の発見は莫大なデータからノイズを除去することによってもたらされたブレークスルーであると言われている。また、これまでの予想をはるかに前倒しして、人工知能が社会のあらゆる場面で驚くべき成果をあげている。これらの最先端の方法論と計測・解析技術とを高度に融合することにより、ソフトウェア面からのアプローチならではの新しい展開が期待され、研究開発プロセスの流れを変革することも可能であると考えられる。

本研究領域では、2つの大きな柱で研究を推進する。1つはデータ同化、スパースモデリング、画像解析、信号処理等の広範な逆解析技術を中心にした情報科学・統計数理による計測対象の特徴量解析手法や大量データの迅速・高精度解析手法等の開発である。もう1つの柱は、上記基盤手法を具体的な計測課題に応用し、物質・材料、生命・医療・創薬、資源・エネルギー、地球・宇宙、Web 空間等、科学技術全般における新現象の発見、原理の解明や新たな知識獲得等を成し遂げることである。

これらを通じて、新たな計測・解析手法を切り拓くことのみならず、豊かな社会の構築に資する科学技術イノベーションの創出に貢献する。

3. 研究課題の選考について

(1) 研究課題の選考方針

本研究領域では、従来の計測・解析システムのみでは捉えられなかった物理量・物質状態やその変化あるいは潜在要因等の検出や、これまでは困難であった測定対象が実際に動作・機能している条件下でのリアルタイム計測等の実現を目指すために、情報科学・統計数理の手法と計測・解析技術を高度に融合させることによる「インテリジェント計測・解析」手法の開発とその応用に資する研究を行う。データ同化、スパースモデリング、画像解析、信号処理等の広範な逆解析技術を中心にした情報科学・統計数理による計測対象の特徴量解析手法や大量データの迅速・高精度解析手法等の開発によって、新たな計測・解析手法を切り拓くことのみならず、これらの基盤的な手法を具体的な計測課題に応用し、物質・材料、生命・医療・創薬、資源・エネルギー、地球・宇宙、Web空間等、科学技術全般における新現象の発見、原理の解明や新たな知識獲得等を成し遂げることを目指した。

狙う計測対象、情報科学・統計数理的方法論、計測・解析技術についての制約は特に設けず、研究の高度融合が、研究開発の新しいパラダイムシフトを誘起し、科学技術イノベーションに資する、意欲的な研究を求めた。

研究総括のねらいでも示したように、本研究領域では、2つの大きな柱で研究を推進する。1つはデータ同化、スパースモデリング、画像解析、信号処理等の広範な逆解析技術を中心にした情報科学・統計数理による計測対象の特徴量解析手法や大量データの迅速・高精度解析手法等の開発である。もう1つの柱は、上記基盤手法を具体的な計測課題に応用し、物質・材料、生命・医療・創薬、資源・エネルギー、地球・宇宙、Web空間等、科学技術全般における新現象の発見、原理の解明や新たな知識獲得等を成し遂げることである。ここでは、情報科学・統計数理による手法を、「データ同化」、「最適化問題」、「スパースモデル・機械学習」に分類し、一方、具体的な計測課題を、「材料」、「ライフサイエンス」、「その他」と分類して、広く採択できるよう課題選考の目安とした。

①CREST

CRESTは、チーム型研究であり、情報科学・統計数理分野研究者の積極的な参加を促すために、応募時点では以下のような研究提案が可能と考えた。

(I) 融合アプローチ：研究代表者のリーダーシップのもと、計測と情報の高度融合を目指す総合的な研究提案

(II) 情報アプローチ：主に情報科学・統計数理に関する研究提案（応募時点では計測手法を担当する研究グループを含まないチーム）

本アプローチであっても、必ず、計測データとの融合による効果を考察した。

なお、本研究領域の趣旨を鑑み、計測手法のみの提案は不可とした。

②さきがけ

さきがけについては、個人型研究であることを踏まえ、応募時には、計測と情報の連携提案であることを求めなかった。

(I)融合アプローチ：提案者が個人で、計測と情報の高度融合を目指す研究提案

(II)情報アプローチ：提案者は情報科学・統計数理手法の専門家で、計測手法との連携については共同研究で行う研究提案（共同研究はアイデア段階でも可）

(III)計測アプローチ：提案者は計測手法の専門家で、情報手法との連携については共同研究で行う研究提案。ただし、本アプローチであっても、さきがけが個人型研究であることを踏まえ、提案者自身が情報との高度融合についての説明ができることを必須とした。

(2)選考結果

①CREST

2016年度は、85件の応募があり、書類選考を通じて候補課題を15件に絞り、面接選考を経て最終的に6件の研究提案を採択した。採択課題は、材料系が2件、ライフ系が3件、その他として南極大気に関するもの1件となった。

2017年度は、67件の応募があり、書類選考を通じて候補課題を15件に絞り、面接選考を経て最終的に5件の研究提案を採択した。採択課題は、材料系が2件、ライフ系が1件、その他として地震関係1件、画像計測1件の計2件となった。

2018年度は、49件の応募があり、書類選考を通じて候補課題を15件に絞り、面接選考を経て最終的に5件の研究提案を採択した。採択課題は、材料系が1件、ライフ系が3件、その他として脳計測に関するもの1件となった。

②さきがけ

2016年度は、124件の応募があり、書類選考を通じて候補課題を25件に絞り、面接選考を経て最終的に10件の研究提案を採択した。採択課題は、材料系が2件、ライフ系が4件、その他に関するものは4件となった。

2017年度は、78件の応募があり、書類選考を通じて候補課題を25件に絞り、面接選考を経て最終的に10件の研究提案を採択した。採択課題は、材料系が4件、ライフ系が2件、その他に関するものは4件となった。

2018年度は、99件の応募があり、書類選考を通じて候補課題を25件に絞り、面接選考を経て最終的に11件の研究提案を採択した。採択課題は、材料系が3件、ライフ系が5件、その他に関するものは3件となった。

結果として、材料、ライフ、その他、そして、情報アプローチもデータ同化、最適化問題、スパースモデル・機械学習と広く採択できた。また、ダイバーシティに関しても、CRESTの研究代表者として2名、さきがけ研究者として3名の女性研究者を採択することができた。

4. 領域アドバイザーについて

本研究領域の CREST、さきがけともに共通の視点からの視野が必要であり、また複合領域として相互の連携の必要性から、同一のメンバーで領域アドバイザーに就任いただいた。

本研究領域は、多様な計測・解析技術に最先端の情報科学・統計数理の研究を融合させるものであるため、それぞれの研究領域の第一線の研究者の中から人選し、就任を依頼した。また、サイトビジットをはじめ合同で開催する検討会、領域会議、評価会、及び個別研究課題議論に際しては、領域アドバイザーにも参画の協力を依頼した。

領域アドバイザー名(専門分野)	事後評価時の所属	役職	任期
石井 信 (統計、機械学習、脳科学)	京都大学大学院情報学 研究科	教授	2016年10月～ 2024年3月
伊藤 聡 (第一原理計算、ナノテク材料)	(公財)計算科学振興財 団	チーフコー ディネータ	2016年10月～ 2024年3月
伊藤 隆 (NMR 分光、構造生物学、生化学)	東京都立大学大学院理 学研究科	教授	2016年10月～ 2024年3月
長我部 信行 (ホログラフィー電子顕微鏡)	(株)日立製作所コネク ティブインダストリー ズ事業統括本部	副統括本部 長	2016年10月～ 2023年4月
岸本 浩通 (タイヤ用材料開発、構造解析)	住友ゴム工業(株)研究 開発本部分析センター	センター長	2016年10月～ 2024年3月
喜多 泰代 (医用画像解析、ロボットビジョ ンを中心とする画像認識・理解)	東京理科大学理工学部	嘱託准教授	2016年10月～ 2022年3月
佐藤 寛子 (ケモインフォマティクス、計算 化学、データケミストリ、分子動 力学シミュレーション)	情報・システム研究機 構/チューリッヒ大学	特任准教授 /研究員	2016年10月～ 2024年3月
高尾 正敏 (固体物理、磁性材料、光記録材料)	元大阪大学/パナソニッ ク(株)		2016年10月～ 2021年9月
瀧川 仁 (NMR を主な実験手段とした固体 内の強い電子間相互作用によって 引き起こされる様々な現象研究)	高エネルギー加速器研 究機構物質構造科学研 究所/(公財)豊田理化学 研究所	協力研究員 /客員フェ ロー	2016年10月～ 2024年3月
民谷 栄一	産業技術総合研究所 産	ラボ長/特任	2016年10月～

(バイオとマイクロチップ、ナノテクの融合が拓くバイオ分子デバイスの研究)	総研・阪大 先端フォトニクス・バイオセンシングオープンイノベーションラボラトリ/大阪大学産業科学研究所	教授	2024年3月
寺内 正己 (電子線分光解析手法の開発と新規物性開拓への応用)	東北大学多元物質科学研究所	所長/教授	2016年10月～ 2024年3月
鳥海 光弘 (地球物理)	海洋研究開発機構海城地震火山部門	招聘上席研究員	2019年4月～ 2024年3月
西野 吉則 (放射光・自由電子レーザーなどのコヒーレントX線を用いた計測技術開発と生物学などへの応用)	北海道大学電子科学研究所	教授	2016年10月～ 2024年3月
樋口 知之 (統計科学、ベイジアンモデル)	中央大学 AI・データサイエンスセンター/理工学部	所長/教授	2016年10月～ 2024年3月
福山 秀敏 (物性(超伝導、強相関))	東京理科大学	理事長補佐 ・学長補佐	2016年10月～ 2024年3月

5. 研究領域のマネジメントについて

本研究領域は、研究総括および副研究総括の強いイニシアティブの下、CREST・さきがけを複合領域として一体的に推進する。参画する研究者は、情報と計測の高度融合について研究領域全体へ貢献するために、研究総括・副総括の指示により、以下の参加条件を課した。

- 1) 研究体制や研究計画を柔軟に見直すこと
- 2) 研究領域内外の研究者・研究グループと連携を行うこと
- 3) 若手研究人材育成の促進を積極的に行う、あるいは自らが関連する活動に参加すること
- 4) 新たな「インテリジェント計測・解析手法」のハブ機能に資する活動に参加すること

1) 研究体制や研究計画の柔軟な見直し

提案された研究体制の強化が必要であると認められた場合や、自ら提案されているものと異なる計測対象／情報科学・統計数理的手法／計測・解析技術とも融合をすることが有用であると認められる場合には、研究総括・副総括の指示により、研究計画の変更、共同研究、連携措置、グループやメンバーの追加をお願いした。

2) 研究領域内外における連携

本研究領域に参画する研究者には、異分野連携・融合を目指し、自チーム内はもちろん、研究領域全体に対して貢献いただくことを求めた。

・ 研究領域内連携

研究課題の発展が見込まれる場合は、本研究領域に参画するCRESTチーム・さきがけ研究者間の連携を推奨した（例えば、計測研究者は領域内の他研究者への計測データ提供、情報研究者は領域内の計測研究者との連携を行う。また、他の情報研究者との手法の比較に関して、共同研究を行う）。

・ 研究領域外連携

研究領域外の研究者との連携を行うことで、各々の研究課題が発展できると認められた場合、研究費の追加配分などによる共同研究等を推奨した。

・ 連携促進の取り組み

他制度等により支援されている研究者との連携促進を目指す会議等への参加を推奨した（例えば、情報の手法に取り組む研究者が、他のJST事業に参画する計測課題との共同研究を模索できる交流会へ参加する）。

3) 若手研究人材育成への取り組み

本研究領域では、情報科学・統計数理の手法と計測・解析技術の双方を理解して自ら推進できる、「インテリジェント計測・解析手法」を牽引できる若手研究人材を育成することを目指した。それにより、研究開発の手法を変革し、将来に渡って日本の科学技術を支えうる

人材を輩出することを強く打ち出し、そのための方策を領域全体で検討した（例えば、さきがけ研究者、CREST チームに参画する若手の研究者が発表・交流する場を設ける、情報科学・統計数理的手法に関する成果を特に切り出して、様々な形でアピールすること等を検討）。

4) ハブ機能を目指す取り組み

本研究領域では、国内外の研究者、産業界に対して、「インテリジェント計測・解析」の発信・交流の場を提供するプラットフォームを構築することを目指した。2)や 3)と共通する部分もあるが、そのための方策を領域全体で実施していくとともに、研究領域の成果等が産業へつながるよう、働きかけた（例えば、CREST チーム・さきがけ研究者全体で集まる領域会議以外に、分科会活動等も行って領域内に素地を作ったうえで、領域外からの関連研究者も参加するワークショップやシンポジウム等、外部も巻き込んだムーブメントへの展開を検討する）。

以下に CREST、さきがけそれぞれの実施例について具体的に紹介する。

(1) CREST

① サイトビジット

採択後、最低 1 回は内容について深い議論を行うため、研究代表者、主たる共同研究者も含めて詳細な議論を実施し、実験設備等の見学も含めて、サイトビジットを行った。参加者は、研究総括、副研究総括の他、必要に応じて、領域アドバイザーも同行した。なお、2020 年 3 月に予定していた 3 チームについては、新型コロナウイルスの影響により同年 9 月～10 月に延期してオンライン形式によるサイトビジットを実施した。

1 期生：

- 2017/8/18 小松崎チーム ニセコ町民センター(チーム合宿に参加)
- 2017/8/25 鷲尾チーム 大阪大学 産業科学研究所
- 2017/12/13 吉川チーム 物質・材料研究機構 WPI-MANA 棟
- 2017/12/14 岡本チーム 東京大学 柏キャンパス 寺内 AD、福山 AD
- 2018/1/24 佐藤チーム 東京大学 大学院理学系研究科 理学部 1 号館 高尾 AD、西野 AD、樋口 AD、福山 AD
- 2018/1/25 村上チーム (株)日立製作所 基礎研究センター 伊藤聡 AD、喜多 AD、寺内 AD、西野 AD、福山 AD

2 期生：

- 2018/11/8 矢代チーム 東北大学西澤センター 高尾 AD、西野 AD
- 2018/11/13 向川チーム 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学 B 棟 石井 AD、伊藤聡 AD
- 2018/11/28 平田チーム 東京大学地震研究所 1 号館 伊藤聡 AD、瀧川 AD、福山 AD

2018/12/13 高田チーム 京都大学大学院 理学研究科 1号館 石井 AD、高尾 AD、福山 AD
2019/3/18 岡田チーム 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 基盤棟 高尾 AD

3期生：

2020/1/15 光岡チーム 大阪大学超高压電子顕微鏡センター西棟 伊藤聡 AD、伊藤隆 AD、
高尾 AD、寺内 AD
2020/2/1 清末チーム 理化学研究所 神戸キャンパス, 発生・再生研究棟 A 棟 伊藤聡 AD、
高尾 AD、民谷 AD、西野 AD、樋口 AD
2020/9/22 赤井チーム オンライン開催 伊藤聡 AD、岸本 AD、西野 AD、瀧川 AD
2020/9/26 小村チーム オンライン開催 石井 AD、樋口 AD
2020/10/5 石濱チーム オンライン開催 伊藤隆 AD、民谷 AD

COVID-19 の影響でチームにより対面のサイトビジットができなかった、また領域会議もオンラインのため1期、2期と比べて研究総括/副研究総括/領域アドバイザーとの意思疎通の機会が少なかった3期の研究代表者について、オンライン開催による個別フォローアップを実施し、現状課題の確認と今後の研究の進め方に関する意見交換を行った。

2021/10/18 清末研究代表者 オンライン開催 石井 AD、伊藤隆 AD、民谷 AD
2021/10/18 石濱研究代表者 オンライン開催 伊藤隆 AD、民谷 AD
2021/10/25 光岡研究代表者 オンライン開催 伊藤隆 AD、長我部 AD、寺内 AD
2021/10/25 小村研究代表者 オンライン開催 石井 AD、樋口 AD
2021/10/25 赤井研究代表者 オンライン開催 伊藤聡 AD、瀧川 AD、西野 AD、福山 AD

②領域会議

研究進捗の報告・検討の場として、年1回の領域会議を開催している。出席者は研究総括、領域アドバイザー、CREST研究代表者、主たる共同研究者、研究参加者に加えて、さきがけ研究者の参加も可能し、情報交換の機会としつつ、深い議論につながることを期待した。これらの領域会議では、会議中の議論、アドバイスに加えて、各領域アドバイザーからのコメントを文書で各研究者に提供することで、研究の進め方への指導を行った。領域関係者間での交流・情報交換を促進するために、対面開催の場合は、毎回ポスターセッションも同時開催する懇親会（意見交換会）を実施し、議論の促進を図った。また、オンライン開催の場合は、各チームが設定するテーマについてZoomのブレイクアウトルーム（分室）機能を活用した意見交換会を実施し、研究者の交流の機会とした。

これまでの開催実績を以下に示す。

第1回 2016年11月11日 TKP市ヶ谷 さきがけと合同でキックオフ会議と合わせて
実施 53名参加
第2回 2017年9月10日、22日 JST東京別館 47名参加

- 第3回 2018年8月31日～9月1日 JST東京別館 87名参加
第4回 2019年8月29日～30日 AP市ヶ谷 126名参加
第5回 2020年10月11日～12日 オンライン開催 141名参加
第6回 2021年8月31日 オンライン開催 140名参加
2021年9月23日 オンライン開催 125名参加
第7回 2022年9月10日 オンライン開催 113名参加
2022年10月7日 JST東京別館とオンラインのハイブリッド開催 106名参加
第8回 2023年10月3日 AP市ヶ谷とオンラインのハイブリッド開催 57名参加

③研究費の配分

研究体制の見直し、研究領域内外の研究者・研究グループとの連携に関する増額要求等について、重点配分を行ってきた。特に、さきがけ終了者のCRESTチームへの参画を積極的に推進し、これらの案件についての重点配分を行った。

加えて、研究開始後、年度毎に研究計画および研究費の見直しと共に増額要求等の提出を求め、主に研究領域内の総括裁量経費から必要に応じて配分を行ってきた。

主な重点配分措置（3,000千円以上）の案件は次の表の通りである。

代表者氏名	年月	支援金額 (千円)	支援内容
岡本 博	2018年6月	12,500	オプティカルパラメトリックアンプの導入
	2019年4月	5,070	計算機装置
	2020年6月	6,000	チタンサファイア再生増幅器
小松崎 民樹	2017年9月	7,000	CCDカメラ (装置故障による購入)
	2019年10月	3,850	クライオスタット装置の導入
	2020年4月	13,354	組織変更 (さきがけ終了者の参画) (後年度負担を含む)
佐藤 薫	2018年4月	28,872	組織変更 (JAMSTEC、極地研の独立) (後年度負担を含む)
	2018年12月	8,300	計算機装置
村上 恭和	2017年9月	4,000	機械学習ソフトウェア購入 (研究加速のため)
	2017年9月	3,756	画像処理ソフトウェア購入 (64ビット大容量対応)
鷺尾 隆	2018年8月	50,000	研究参加者の増員 (後年度負担を含む)
	2019年10月	11,770	1分子解析装置を開発
	2020年4月	19,859	組織変更 (さきがけ終了者の参画) (後年度負担を含む)
	2021年10月	3,105	情報計測オンラインセミナー運営費
	2022年4月	10,000	1年延長支援の人件費補助
岡田 真人	2020年4月	33,000	組織変更 (さきがけ終了者の参画) (後年度負担を含む)
	2022年4月	24,000	組織変更 (さきがけ終了者の参画)
高田 彰二	2020年4月	25,460	蛍光顕微鏡
	2020年4月	8,125	組織変更 (さきがけ終了者の参画) (後年度負担を含む)
	2023年4月	3,000	組織変更 (研究者異動に伴う研究室立上げ)
平田 直	2020年4月	60,000	組織変更 (さきがけ終了者の参画) (後年度負担を含む)
矢代 航	2020年4月	9,600	装置開発
	2020年4月	6,320	装置開発
	2020年4月	20,300	組織変更 (さきがけ終了者の参画)
	2021年4月	13,427	マルチビーム画像検出器のリモート制御化
	2021年4月	4,499	ソフトウェア人材強化
	2021年4月	12,543	応用展開強化 (後年度負担を含む)
	2021年9月	9,761	設備高度化
	2022年4月	23,716	ワークステーション
	2022年4月	6,776	ビッグデータ構築
	2022年4月	11,276	CMOSセンサー
清末 優子	2020年4月	5,310	計算機サーバー、レーザー装置
	2020年4月	9,420	計算機サーバー
	2021年4月	3,000	画像処理プログラム開発
	2022年4月	7,000	パルスレーザー
	2022年4月	5,780	鷺尾T共同研究費
	2023年4月	4,000	組織変更 (研究者異動に伴う研究室立上げ)
小村 豊	2019年6月	6,000	実験用動物ケージ
	2022年4月	13,600	体制強化による計測解析加速 (後年度負担を含む)

(2) さきがけ

① サイトビジット

採択後、最低1回は内容について深い議論を行うと同時に、所属上長への挨拶も兼ねて、詳細な議論と実験設備等の見学も含めて、サイトビジットを行った。参加者は、研究総括、副研究総括の他、必要に応じて、領域アドバイザーも同行した。

1期生：

- 2017/4/12 葛西卓磨 理化学研究所 横浜キャンパス中央研究棟 伊藤隆 AD
2017/4/14 松永康佑 理化学研究所 神戸キャンパス融合連携イノベーション推進棟
2017/4/17 小野峻佑 東京工業大学 すずかけ台キャンパス R2 棟 伊藤隆 AD
2017/4/17 中村友哉 東京工業大学 すずかけ台キャンパス G2 棟
2017/4/18 野々村拓 東北大学 青葉山キャンパス機械系 I 号館 高尾 AD、西野 AD
2017/4/19 桑谷立 海洋研究開発機構 横須賀本部フロンティア棟 寺内 AD、西野 AD、福山 AD
2017/4/21 渡辺義浩 東京大学 本郷キャンパス工学部 6 号館 高尾 AD、福山 AD
2017/4/21 片山建二 中央大学理工学部 後楽園キャンパス 6 号館 高尾 AD、寺内 AD、福山 AD
2017/5/11 小川紘樹 京都大学化学研究所 本館 N 棟 石井 AD、西野 AD
2018/4/4 安藤正浩 早稲田大学 120-5 号館 高尾 AD

2期生：

- 2018/3/8 松岡大祐 海洋研究開発機構 横浜研究所 福山 AD
2018/3/9 木寺正平 電気通信大学 西 2 号館 伊藤隆 AD、寺内 AD
2018/3/14 星野学 理化学研究所 和光地区物質科学研究棟 石井 AD、高尾 AD、西野 AD
2018/3/29 山崎裕一 物質材料研究機構 千現地区 伊藤聡 AD、喜多 AD
2018/4/4 宮脇陽一 電気通信大学 東 4 号館
2018/4/10 森下喜弘 理化学研究所 神戸事業所・医療センター 伊藤聡 AD、高尾 AD
2018/4/12 中村和幸 明治大学総合数理学部 高尾 AD、福山 AD
2018/4/12 中西義典 東京大学総合文化研究科 高尾 AD
2018/4/17 木村隆志 北海道大学電子科学研究所 伊藤聡 AD、高尾 AD
2018/4/24 成田憲保 東京大学大学院理学系研究科 伊藤聡 AD、福山 AD

3期生：

- 2019/3/6 加藤健一 SPring-8 ハイスルー putt 棟 岸本 AD、高尾 AD、西野 AD
2019/3/20 松田佑 早稲田大学 西早稲田キャンパス 60 号館 喜多 AD、高尾 AD
2019/4/4 森島邦博 名古屋大学 東山キャンパス理学部 C 館 高尾 AD、瀧川 AD、寺内 AD
2019/4/5 松岡里実 大阪大学 生命機能研究科ナノバイオロジー棟 高尾 AD、民谷 AD、福山 AD

- 2019/4/11 石川亮 東京大学工学部 9号館 高尾 AD、寺内 AD、福山 AD
- 2019/4/11 平松光太郎 東京大学 化学東館 高尾 AD、伊藤隆 AD、福山 AD
- 2019/4/12 西川悠 海洋研究開発機構 横浜研究所 伊藤聡 AD、西野 AD、樋口 AD、高尾 AD、
鳥海 AD、福山 AD
- 2019/4/16 玉井康成 京都大学 桂キャンパス A2 棟 石井 AD、高尾 AD、瀧川 AD
- 2019/4/18 林久美子 東北大学 青葉山東キャンパス 電気情報システム・応物系 1号館
伊藤隆 AD
- 2019/4/25 徳永旭将 九州工業大学 飯塚キャンパス インキュベーション施設 石井 AD、
高尾 AD
- 2019/5/30 阪本卓也 京都大学 桂キャンパス A クラスタ A1 棟

②領域会議

研究進捗の報告・検討の場として、年2回の領域会議を開催した。出席者は研究総括、領域アドバイザー、さきがけ研究者である。第6回目以降はCREST研究者の参加も可能とし、領域内の共同研究、意見交換の機会としつつ、深い議論につながることを期待した。領域会議では、会議中の議論、アドバイスに加えて、各領域アドバイザーからのコメントを文書で各研究者に提供することで、研究の進め方への指導を行った。領域関係者間での交流・情報交換を促進するために、合宿形式で実施し、毎回ポスターセッション、および、懇親会（意見交換会、情報交流会）を実施し、議論の促進を図った。

加えて、領域アドバイザーからのさきがけ研究者向けの特別講演を実施している。しかし、新型コロナウイルスの影響により、2020年度以降はオンライン会議に移行したため、特別講演は見合わせた。

以下に、さきがけ領域会議の実績を示す。

- 第1回 2016年11月11日 TKP市ヶ谷 CRESTと合同でキックオフ会議と合わせて実施
53名参加
- 第2回 2017年5月14日～15日 ロワジールホテル豊橋 樋口知之アドバイザーの特別講演 24名参加
- 第3回 2017年12月26日～27日 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト 寺内正己アドバイザーの特別講演 35名参加
- 第4回 2018年5月11日～13日 アートホテル石垣島 伊藤聡アドバイザーの特別講演、石垣島天文台の見学・関係者との議論 34名参加
- 第5回 2018年11月23日～25日 クロス・ウェーブ府中 伊藤隆アドバイザーの特別講演 45名参加
- 第6回 2019年5月12日～14日 淡路夢舞台国際会議場 石井信アドバイザーの特別講演 55名参加

第7回 2019年12月6日～8日 ホテルクラシア大阪ベイ 1期生の事後評価会との
連続開催 58名参加

第8回 2020年6月1日～2日 オンライン会議 65名参加

第9回 2020年12月13日 オンライン会議 68名参加

第10回 2021年6月17日～18日 オンライン会議 79名参加

③研究費の配分

さきがけ領域会議での研究進捗報告に基づき、研究の加速が期待できる研究課題に対し、適宜増額措置を行った。

また、前にも述べたように本研究領域では、領域内外の研究者・研究グループとの連携を推進してきた。そのため、領域内外のさきがけ研究者間の共同研究も積極的に推進され、成果の期待できる研究課題に対し増額措置を行った。

3,000千円以上の増額実績は下記の通りである。

研究者名	年月	支援金額 (千円)	支援内容
小川 紘樹	2018年4月	3,900	総括、ADの助言に伴う実験試料変更による実験装置改良
片山 建二	2019年4月	3,024	実験装置の改良費用
桑谷 立	2019年4月	4,000	実験装置の新規導入
渡辺 義浩	2019年4月	5,800	研究成果の価値を分かりやすく伝えるためのシステム開発
星野 学	2019年4月	3,200	低温実験装置の導入
山崎 裕一	2020年4月	8,700	オペランド計測実現のための実験装置改造費用
石川 亮	2020年6月	6,100	資料を回転するための実験装置改造費用
平松 光太郎	2019年9月	4,263	研究の進展に伴う実験装置の開発
松岡 里実	2019年6月	11,560	実験装置の改良による研究加速

④人材育成

本研究領域は情報計測の研究分野を強力に率いる次世代の人材育成も大きな任務であった。

採択後の研究者の異動実績は下記の通りである。

小川紘樹	京都大学化学研究所 助教	京都大学科学研究所 准教授
小野峻佑	東京工業大学科学技術創成研究院 助教	東京工業大学情報理工学院 准教授
野々村拓	宇宙航空研究開発機構 助教	東北大学大学院工学研究科 准教授
松永康祐	理化学研究所計算科学研究機構 研究員	埼玉大学理工学研究科 准教授
渡辺義浩	東京大学大学院情報理工学系研究科 講師	東京工業大学工学院 准教授
木村隆志	北海道大学電子科学研究所 助教	東京大学物性研究所 准教授
中村和幸	明治大学総合数理学部 専任准教授	明治大学総合数理学部 専任教授
成田憲保	東京大学大学院理学系研究科 助教	自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター特任准教授を経て 東京大学大学院総合文化研究科 教授
星野学	理化学研究所創発物性科学研究センター 研究支援パートタイマー	理化学研究所創発物性科学研究センター 研究員
松岡大祐	海洋研究開発機構地球情報基盤センター 技術研究員	海洋研究開発機構付加価値情報創生部門 副主任研究員
森下喜弘	理化学研究所生命システム研究センター ユニットリーダー	理化学研究所生命機構 学研究センター チームリーダー
石川亮	東京大学大学院工学系研究科 助教	東京大学大学院工学系研究科 特任准教授
阪本卓也	兵庫県立大学大学院工学研究科 准教授	京都大学大学院工学研究科 准教授
西川悠	海洋研究開発機構東日本海洋生態系変動解析プロジェクトチーム 特任研究員	海洋研究開発機構付加価値情報創生部門 研究員
松岡里実	理化学研究所生命機能科学研究センター 研究員	大阪大学大学院生命機能研究科 助教
森島邦博	名古屋大学高等研究院 特任助教	名古屋大学大学院理学研究科 准教授

さきがけ研究課題の中で継続的な指導が必要と判断したものに関しては、研究者自身の自主性、発想を十分に尊重しつつ、研究総括または専門に応じた特定の領域アドバイザーによるサポートも実施した。

(3) 複合領域として

領域内の連携（情報交換、共同研究）を促進するための取り組みとして行った項目を説明し、その結果の連携について述べる。

① 合同キックオフ会議

採択後のキックオフミーティングはチーム型研究の CREST では制度化されて行われているが、複合領域である本研究領域では、さきがけ採択者も加わり、合同で開催した。CREST・さきがけ間の連携や研究交流を積極的に進めていく上で、採択後早期に領域内の研究者交流を促すために今後の研究についてお互いに周知し連携等を勧める目的で企画した。

② クラスタ会議

クラスタ会議は、情報アプローチを「データ同化」、「最適化問題」、「スパースモデル・機械学習」に分類し、CREST、さきがけの各課題をこれらの情報アプローチで分類することにより、各課題の研究者、研究チームが連携、研究交流を積極的に行えるように実施した。「データ同化」をクラスタ 1、「最適化問題」をクラスタ 2、「スパースモデル・機械学習」をクラスタ 3 と呼び、最低年 1 回は各クラスタ会議を実施した。各クラスタの取りまとめとして、さきがけ研究者から各 1 名を事務局として選任し会議の企画から実施までお願いしており、外部講演者の依頼や、施設見学等の企画も行った。

なお、新型コロナウイルスの影響で、対面での研究者の交流の機会としてのクラスタ会議

の実施が困難になったことを受けて、オンライン会議で深い議論が実施できることを企図し、クラスタの分類を計測対象にしてグループ構成を「材料」分野をクラスタ M、「ライフサイエンス」分野をクラスタ L、「その他」分野をクラスタ X に再編して実施した。

今までのクラスタ会議の実績を以下に示す。

クラスタ 1 会議 (データ同化)			
	日程	会場	特別講演、交流の企画等
第1回	2017年6月27日	理化学研究所神戸 融合連携イノベーション棟	京コンピュータ見学
第2回	2018年10月18日	日本橋ライフサイエンスHUB	特別講演：中野慎也先生（統計数理研究所）、蒲池政文先生（海洋研究開発機構） ポスターセッション
第3回	2020年3月6日	仙台国際センター	特別講演：林洋平先生（理化学研究所）、藤渕航先生（京都大学iPS研究所）、鷲尾巧先生（UT-Heart研究所）

クラスタ 2 会議 (最適化問題)			
	日程	会場	特別講演、交流の企画等
第1回	2017年4月21日	中央大学理工学部後楽園キャンパス	中央大学・片山研（さきがけ1期生）の見学
第2回	2018年8月10日	電気通信大学 東7号館	ポスターセッション
第3回	2019年10月7日	東京大学本郷キャンパス福武ホール福武ラーニングシアター	特別講演：五十嵐康彦先生（東京大学）、山田誠先生（京都大学）、溝口照康先生（東京大学）

クラスタ 3 会議 (スパースモデル、機械学習)			
	日程	会場	特別講演、交流の企画等
第1回	2017年6月7日	東京大学本郷キャンパス工学部6号館	特になし
第2回	2019年1月8日	東京大学本郷キャンパス伊藤国際学術センター	特になし
第3回	2019年10月30日	早稲田大学西早稲田キャンパス55号館N館	特別講演：鈴木大慈先生（東京大学）、山本雅貴先生（理化学研究所） ポスターセッション

<クラスタ構成再編後>

クラスタM会議（材料）			
	日程	会場	特別講演、交流の企画等
第1回	2022年3月8日	オンライン開催	特別講演：武藤俊介先生（名古屋大学）、平田秋彦先生（早稲田大学）、大場史康先生（東京工業大学）、藤井進先生（大阪大学）
第2回	2022年9月28日	京都大学宇治キャンパス共同研究棟大セミナー室をメイン会場とするハイブリッド開催	特別講演：小野寛太先生（大阪大学）、本武陽一先生（統計数理研究所）、松下智裕先生（奈良先端科学技術大学院大学） テーマ講演：水牧仁一朗（高輝度光科学研究センター、CREST3期主たる共同研究者）、青西亨（東京工業大学、CREST3期主たる共同研究者）

クラスタL会議（ライフ）			
	日程	会場	特別講演、交流の企画等
第1回	2022年3月23日	オンライン開催	特別講演：長原一先生（大阪大学）、川原知洋先生（九州工業大学） テーマ講演：森下喜弘（理化学研究所、さきがけ2期生）

クラスタX会議（その他）			
	日程	会場	特別講演、交流の企画等
第1回	2022年2月28日	オンライン開催	特別講演：本武陽一先生（統計数理研究所）、吉田毅郎先生（東京海洋大学） テーマ講演：小村豊（京都大学、CREST3期研究代表者）、渡邊真吾（海洋研究開発機構、CREST1期主たる共同研究者）

③共同研究の推進

(i) 研究領域内共同研究の推進

研究領域内の連携（情報交換、共同研究）を積極的に進めた。特にさきがけは個人研究であるので、計測アプローチ、情報アプローチの研究が連携することを前提に採択しており、実際も複数の計測アプローチの研究者が情報アプローチの研究者と共同研究を実施した。代表的なものを以下に示す。

●CREST 研究者での連携例

・CREST1 期生の吉川チーム「標準ニオイ多次元メガライブラリ構築と高解釈性数理モデル抽出による判別精度の定量予測」とCREST1 期生の鷺尾チーム「機械学習と最先端計測技術の融合深化による新たな計測・解析手法の展開」が連携研究を行い、鷺尾チームの開発した計測指向機械学習原理を用いて、ニオイセンサの計測条件変化に対する超ロバスト化、セン

サの超コンパクト化、超低コスト化を実現した。一連の研究成果として、ジャーナル論文発表 3 報、特許出願 2 件、招待講演を含む国際会議発表 3 件を行った。

・CREST2 期生の岡田チーム「ベイズ推論とスパースモデリングによる計測と情報の融合」と CREST3 期生の赤井チーム「データ駆動科学による高次元 X 線吸収計測の革新」が連携研究を行い、希土類絶縁体化合物の 3d-XPS のクラスターモデルを生成モデルに組み込んだスペクトルデータに基づく有効ハミルトニアンとそのパラメータについてのベイズ推論を、交換モンテカルロ法によって実現した。La2O3 と CeO2 の 3d-XPS のクラスターモデルに基づくシミュレーションスペクトルに対して、提案手法を適用したところ、従来物理的考察によって妥当とされていた有効モデルと同じモデルが選ばれることが確認された。研究成果として、ジャーナル論文 6 報の発表を行った。

● さきがけ研究者間での連携例

・小川紘樹研究者（さきがけ 1 期生・計測）と小野峻佑研究者（さきがけ 1 期生・情報）が共同研究により計測原理を数理モデルに落とし圧縮センシングベースの CT 像再構成アルゴリズムを構築。従来計測にかかっていた時間を最大で 1/12 に短縮した上で高解像度の CT 像を得ることに成功、応用結晶学領域に初めて高度な数理情報技術を持ち込んだ画期的な成果となった。

・葛西卓磨研究者（さきがけ 1 期生・計測）と小野峻佑研究者（さきがけ 1 期生・情報）が共同研究により NMR によるタンパク質解析に有用な正則化・制約を利用し効率的にテンソル因子分解を行えるアルゴリズムを構成し、従来の 100 倍以上の高速化を達成。国際学会に発表し、論文も投稿した。

・山崎裕一研究者（さきがけ 2 期生・計測）と中西義典研究者（さきがけ 2 期生・情報）がスキルミオン格子のイメージングに向けたスパース位相回復法のハイパーパラメータ決定に関する共同研究を行い、2 編の論文にまとめた。

・星野学研究者（さきがけ 2 期生・計測）と中西義典研究者（さきがけ 2 期生・情報）が研究協力により X 線回折データに基づく結晶構造解析にベイズ推論を適用した研究成果が査読有り英文学術雑誌に掲載された。

●CREST・さきがけ研究者間での連携例

・水牧仁一郎共同研究者（CREST3 期生赤井チーム）と山崎裕一研究者（さきがけ 2 期生・計測）がさきがけの予算で作製した装置を使って観測した軟 X 線光渦の共同研究を行い、論文投稿。また、さきがけ研究の一環で山崎裕一研究者と共同研究を行った横山優一研究参加者（CREST3 期生赤井チーム）が当該研究で放射光学会の奨励賞を受賞した。

・CREST1 期生の佐藤チームとさきがけ 2 期生の松岡大祐研究者が、共同で深層学習を用いた重力波のダウンスケーリング法を開発し、米国地球物理学連合の学術誌に発表した。ハイライト論文として、同学会の EOS Magazine に紹介記事が掲載された。

・CREST1 期生の佐藤チームとさきがけ 3 期生の阪本卓也研究者が、共同でアダプティブレイ信号処理の干渉波がある場合についての数学的な取り扱いについて理論的に整理し、電子情報通信学会の英文誌に発表した。

●さきがけ終了者の領域内 CREST チームへの参画

・さきがけ 1 期生の小川紘樹研究者は、2020 年度より CREST2 期生の矢代チームの主たる共同研究者として研究題目「走査型 CT 用マルチビーム光学系の開発」を担当した。

・さきがけ 1 期生の小野峻佑研究者は、2020 年度より CREST1 期生の小松崎チームの主たる共同研究者として研究題目「圧縮計測されたラマンデータからの信号再構成技術の開発」を担当し、また、CREST1 期生の鷺尾チームの主たる共同研究者として研究題目「計測を念頭に置いた新たな信号情報処理の要素原理・技術開発と先端的計測への展開」を担当した。

・さきがけ 1 期生の桑谷立研究者は、2020 年度より CREST2 期生の岡田チームの主たる共同研究者として研究題目「ベイズ計測による非時系列・画像データからの情報抽出」を担当した。

・さきがけ 1 期生の野々村拓研究者は、2020 年度より CREST2 期生の平田チームの主たる共同研究者として研究題目「スパースセンサ最適化技術および低次元モデル化技術の地震学への適用」を担当した。

・さきがけ 1 期生の松永康佑研究者は、2020 年度より CREST2 期生の高田チームの主たる共同研究者として研究題目「高速原子間力顕微鏡 1 分子計測のマルコフ状態モデル解析」を担当した。

・さきがけ 2 期生の山崎裕一研究者は、2021 年度より CREST3 期生の赤井チームの主たる共同研究者として研究題目「コヒーレント軟 X 線回折イメージングによるダイナミクス解明」を担当した。

・さきがけ 2 期生の松岡大祐研究者は、2021 年度より CREST1 期生の佐藤チームの主たる共同研究者として研究題目「機械学習を用いた非地形性重力波のダウンスケーリング」を担当した。

・さきがけ 2 期生の成田憲保研究者は、2021 年 10 月より CREST2 期生の岡田チームの主たる共同研究者として研究題目「ベイズ計測による複合時系列データからの情報抽出」を担当した。

(ii) 研究領域外共同研究の推進

●他の CREST またはさきがけ研究領域との研究連携

・岡本チームと CREST「トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出」研究領域の課題名「トポロジカル非線形光学の新展開」島野亮・東京大学教授との共著論文を発表した。

・岡本チームと CREST「量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出」研究領

域の課題名「強磁性量子ヘテロ構造による物性機能の創出と不揮発・低消費電力スピンドバイスへの応用」田中雅明・東京大学教授との共著論文を発表した。

●国際連携

・CREST2 期生の向川チームは、アリゾナ州立大学の Suren Jayasuriya 准教授と共同研究を行い、2018 年 7 月から 11 月に同氏を招へいし、時間同期プロジェクターカメラシステムを用いた実験と分析を実施し、その成果をまとめて IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics (TVCG) に国際共著論文を発表した。また、新たに開発に取り組んでいたプロジェクターカメラシステムのプロトタイプを構築し、IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP) 2019 (査読付国際会議) に国際共著論文として発表した。

・さきがけ 2 期生の松岡研究者は、2019 年 8 月より 2020 年 3 月までカナダ・トロント大学の Steve Easterbroom 教授のところに海外派遣され共同研究を実施した。気象シミュレーションデータと気象衛星観測データを組み合わせた新しい台風予兆検出手法の開発、機械学習を用いた重力波パラメタリゼーション技術の開発と高精度化を行い、Journal of Geophysical Research 誌に採択された論文は、アメリカ地球物理学連 (AGU) の Research Spotlight に選出された。

④プレスリリース

	年月日	研究チーム、研究者	プレスタイトル
1	2017/3/7	CREST岡本チーム岩野G	光で強誘電体中の水素原子を動かし、分極を高速に制御 ～理論と実験の発展的融合～
2	2017/8/22	CREST岡本チーム岡本G	1兆分の1秒の間の電場印加で絶縁体を金属に高速スイッチング ～消費電力の小さな新たな光デバイスに向けた新手法～
3	2018/9/26	CREST岡本チーム岡本G	銅酸化物におけるスピン系の超高速ダイナミクスを検出 ～強相関電子系の物理の解明に期待～
4	2018/12/17	さきがけ成田研究員	第二の地球を発見するための新しい多色同時撮像カメラM u S C A T 2 が完成
5	2018/12/19	さきがけ松岡研究員	人工知能を用いて気候実験データから熱帯低気圧のタマゴを高精度に検出する新手法を開発 ～台風発生予測の高精度化に期待～
6	2019/3/7	CREST鷲尾チーム谷口G	世界初 1分子量子センサーによりDNAに取り込まれた抗がん剤の直接観察に成功 ～抗がん剤のメカニズムを調べる技術～
7	2019/4/6	さきがけ加藤研究員	データで推定、真のX線感度 ～画像による病状の診断精度向上へ期待～
8	2019/6/8	CREST岡本チーム岡本G	反強磁性交換相互作用に起因するダブロン-ホロン間引力の発見 ～テラヘルツパルスを用いたモット絶縁体の電場効果の精密測定と理論解析～
9	2019/8/22	さきがけ星野研究員 さきがけ中西研究員	熟練の研究者の「勘と経験」を誰でも簡単に再現 ～たったの数分で単結晶構造解析の結果の事前評価が可能に～
10	2019/10/31	CREST岡本チーム岡本G・遠山G	強相関一次元物質における励起子分子の発見 ～離れた電子間のクーロン相互作用の重要性が明らかに～
11	2019/12/24	CREST岡本チーム高橋G	1次元モット絶縁体の光励起状態を精密計算する電荷モデルを開発 ～光学スペクトルの理論解析による光誘起現象の解明へ～
12	2020/5/13	CREST矢代チーム 矢代G・工藤G・フォグリG	ミリ秒X線CTのための放射光マルチビーム化に成功 ～試料の回転要らず動的3D観察を可能に～
13	2020/6/25	さきがけ成田研究員	若い恒星「けんびきょう座AU星」をめぐる惑星を発見
14	2020/7/9	CREST鷲尾チーム谷口G	世界初 量子計測とAIによる新手法 神経伝達物質の高速検出・識別に成功 ～神経疾患の詳細な理解へ期待～
15	2020/8/5	さきがけ片山研究員	光触媒材料中の見えない光生成キャリアを可視化する方法を開発 ～AIによる顕微画像からの情報抽出～
16	2020/8/6	CREST佐藤チーム渡辺G	南極成層圏の大気の乱れが日本の南海上の台風発生域に影響することを証明 ～2019年9月に南極上空で起こった成層圏突然昇温の遠隔影響とそれを利用した季節予測精度向上の可能性～
17	2020/9/17	さきがけ成田研究員	燃え尽きた星をめぐる無傷の巨大惑星候補の発見
18	2020/9/22	さきがけ成田研究員	超高温・超短周期の海王星型惑星を発見
19	2020/12/10	CREST光岡チーム三尾G	「熱」や「痛み」を感じる分子の小さい動きを高速キャッチ！ ～体に優しい鎮痛薬開発のための新たな創薬指針の提案へ～
20	2021/2/11	CREST岡本チーム岡本G	テラヘルツパルスによって強誘電性電荷秩序状態を超高速に生成することに成功 ～磁気的相互作用によって安定化する隠れた強誘電性を発見～
21	2021/3/5	さきがけ成田研究員	大気の詳細調査に適した地球型の系外惑星を発見
22	2021/3/23	CREST清末チーム末次G	細胞間の情報伝達に関わる細胞外微粒子の新たな形成機構を解明 ～細胞膜の突起の切断により生成、細胞の移動を速める～
23	2021/5/14	CREST鷲尾チーム鷲尾G	注目のナノポアセンサーA Iでノイズを制御し精密に形状を測定 変異ウイルス検査システムへの応用に期待
24	2021/7/9	CREST赤井チーム赤井G	世界初！XMCDのベイズ分光で、隠れた元スペクトルを再現 ～磁石材料の新しいスペクトル解析法の開発～
25	2021/7/9	さきがけ松田研究員	スパースモデリングを用いた高精度ノイズ除去法の開発に成功
26	2021/8/5	CREST清末チーム末次G	人工知能（深層学習）により細胞内の特定タンパク質の局在推定に成功 ～関連するタンパク質のみの画像から予測可能～ タンパク質同士の相関関係の解明に期待
27	2021/8/30	CREST赤井チーム水牧G	ベイズ分光を用いて磁気コンプトン散乱測定時間の短縮に成功 ～従来の測定時間の20分の1で測定可能に～
28	2021/9/29	CREST鷲尾チーム谷口G	マイクロRNAにおける2種類の化学修飾の直接同時検出に成功 ～難治性消化器がんの早期診断法の開発～
29	2021/12/6	さきがけ成田研究員	太陽系の近くに低日射の小型系外惑星を発見
30	2022/2/23	さきがけ玉井研究員	プラスチック太陽電池の発電機構を解明 ～オフセットが小さくても光電変換効率が高い理由を分析～
31	2022/3/25	CREST向川チーム船富G	自然光変動の影響を大幅に軽減できる分光撮影技術を開発 ～世界遺産の撮影で実証、期待されるデジタルアーカイブ技術の向上～
32	2022/6/24	CREST平田チーム野々村G	自動車表面の風圧分布を瞬時に推定する技術を開発 ～自動運転車の安全性向上と燃費削減に期待～
33	2022/7/21	CREST小村チーム大泉G	脳内で双方向の接続を持つネットワークのコアを同定 ～意識を担う脳領域の解明に向けて～
34	2022/8/30	CREST平田チーム野々村G	高速な空気の流れをリアルタイム計測 従来比20倍速を実現 ～変化する流体に呼応するアクティブ制御に期待～
35	2022/10/14	CREST村上チーム	電子1個の精度で触媒ナノ粒子の電荷量を計測 ～地球環境問題の解決に向けた触媒開発を加速する強力な新技術を獲得～
36	2023/5/18	CREST岡田チーム成田G	火山活動の可能性のある地球サイズの惑星を発見 ～潮汐力により加熱された系外惑星LP 791-18d～
37	2023/7/11	CREST矢代チーム	サブミリ秒の時間分解能で四次元X線CTの原理実証に成功 ～実材料の学術研究から産業応用への波及効果に期待～
38	2023/9/12	CREST赤井チーム水牧G	ベイズ推定に反応速度論を導入した解析法を開発 ～機械学習によるダイナミクス解析の高度化を実現～

⑤知財活動

- ・領域中間評価におけるフィードバックを受けて、終了済のさきがけ1期生を除くCREST、さきがけ全課題を対象として、特許出願計画と知財支援ニーズについて2021年5月にアンケート調査を実施した。
- ・アンケート調査の結果、特許については2021年度以降、CREST6件、さきがけ2件の出願予定を確認した。特にCRESTが領域活動前半の実績43件に対し低調傾向であるため、知財相談希望のある課題に対し、JSTの知的財産マネジメント推進部の支援によるコンサルティング活動を実施した。

[CREST]

矢代チーム： 2021年8月～10月 国際特許出願検討中2件についての特許性相談

(成果) 矢代グループの1件は2022年12月にPCT出願済。工藤グループの1件については出願ペンディング。

赤井チーム： 2021年7月 リチウム2次電池とXAFASの組み合わせに関する先願調査

(成果) 青西グループにて出願検討中。

清末チーム： 2021年8月～2022年2月 LLSMデータ解析技術に関する特許性相談

(成果) 特許ではなく解析ツールのソフトウェアライセンス化を検討する方針。

[さきがけ]

平松課題： 2022年3月～10月 所属機関出願不可3件に関するJST出願可能性相談

(成果) 特許化は困難との判断でJST出願は見合わせ。

⑥分野の発展・普及活動

●情報計測オンラインセミナー

・情報計測というグローバルにおいても新しい分野について、科学と社会における今後の発展と普及を狙いとして、オンラインセミナーシリーズを2021年6月より開始。本研究領域のCREST、さきがけの有志研究者で構成する運営委員会を設置し、クラウドサービス利用や参加受付等のWebページ運用のアウトソース利用などの運営費用について、運営委員会において選任した運営委員長となる研究者に総括裁量経費から予算配分するかたちで、研究者が自律的に運営推進する本活動を側面から支援した。

・定着のため3年間継続することをチャレンジ目標として開始したが、2023年3月末までに延べ54回のセミナーを実施し、総平均83名/回の参加者となった。特に2年目～3年目にかけても約70名の安定規模の参加者を得て活発な議論が継続されていることは、情報計測が科学と社会のニーズを切り拓く新しい分野として定着しつつあることの証左であると言える。

実施年度	実施回数	平均参加者数
2021年度	18回	109名
2022年度	18回	69名
2023年度	18回	70名(予定)(2023年12月9日時点)

・講演内容

年度	実施日	講師	所属	講演タイトル	参加者数
2021年度	6月26日	鷲尾 隆	大阪大学産業科学研究所	革新的先端計測の方程式：計測+AI=情報計測	155
	7月10日	小松崎 民樹	北海道大学電子科学研究所	計測介入型AIによる迅速ラマン計測	130
	7月31日	岡田 真人	東京大学大学院新領域創成科学研究科	ベイズ計測	113
	8月7日	長尾 大進	東京大学地震研究所	情報計測に基づく地震研究の深化	104
	8月21日	赤井 一郎	熊本大学産業ナノマテリアル研究所	放射光計測と機械学習の融合	123
	9月4日	小野 峻佑	東京工業大学情報理工学院	スパース最適化による計測データからの情報再構成	152
	9月18日	日野 英逸	統計数理研究所	能動学習による計測の効率化	131
	10月2日	合田 圭介	東京大学大学院理学系研究科化学専攻	大規模計測でCOVID-19関連血栓症を科学する	80
	10月16日	大槻 純也	岡山大学異分野基礎科学研究所	強相関電子系におけるスパースモデリングと圧縮センシング	110
	10月30日	野々村 拓	東北大学大学院工学研究科	多自由度系のデータ駆動型低次元モデルとスパースセンサ最適化	110
	11月20日	吉川 元起	物質・材料研究機構	情報計測による嗅覚センサの高度化	98
	11月27日	工藤 博幸	筑波大学システム情報系	新方式CTと先端トモグラフィー画像再構成	105
	12月11日	矢野 恵佑	統計数理研究所	予測の情報量規準	113
	12月25日	溝口 照康	東京大学生産技術研究所	スペクトルを記述子とした物性計測	98
2022年度	1月8日	永井 健治	大阪大学産業科学研究所	100万細胞をミクロの空間分解能で瞬時に撮像・解析するトランススケールスコープAMATERAS	78
	1月15日	廣島 通夫	理化学研究所 生命機能科学研究センター	細胞内1分子イメージングと機械学習	80
	2月5日	太田 植生	東京大学先端科学技術研究センター	細胞解析技術の融合と結合	83
	2月19日	青西 亨	東京工業大学 情報理工学院	多次元X線吸収スペクトルからの物理特徴量抽出-マルコフ確率場、深層学習、非負値行列因子分解による解析-	105
	7月23日	久保 久彦	防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター	日本の地震観測とその観測データへの機械学習の適用事例	82
	10月29日	森川 耕輔	大阪大学大学院基礎工学研究科	不完全データに対する統計解析と統計地震学への応用	62
	8月20日	桑谷 立	国立研究開発法人海洋研究開発機構 海域地震火山部門 火山・地球内部研究センター 固体地球データ科学研究グループ	情報計測の実践：地球科学分野を例に	69
	9月3日	米原 厚憲	京都産業大学理学部	重力レンズ現象を利用した宇宙の探索	70
	9月17日	佐藤 いまり	国立情報学研究所	光3Dイメージング技術による非破壊・非侵襲計測	78
	10月1日	小野 篤太	大阪大学大学院工学研究科	材料の計測の自律化	70
	10月15日	竹内 繁樹	京都大学大学院工学研究科	光量子センシングの現状と展望	78
	10月22日	村松 正吾	新潟大学自然科学系	計測信号解析のための局所構造化辞書学習	68
	11月5日	西本 伸志	大阪大学大学院生命機能研究科	脳計測と脳内情報表現	72
	11月19日	庄野 逸	電気通信大学大学院情報理工学研究所	画像処理に基づいた物性材料解析へのアプローチ	72
2023年度	12月3日	安藤 康伸	産業技術総合研究所 機能材料コンピューショナルデザイン研究センター	データ生成・蓄積・活用サイクルの実現に向けたデータ駆動型材料研究・開発について	75
	12月24日	松永 康佑	埼玉大学工学部情報工学科	微分可能なアプローチによる高速原子間力顕微鏡データの解析	57
	1月14日	石川 亮	東京大学総合研究機構	深き層層法による原子分解能3次元計測	57
	1月28日	珠玖 隆行	岡山大学学術研究院環境生命科学学域	土木工学における不確実性とデータに基づく意思決定	58
	2月11日	永田 賢二	国立研究開発法人物質・材料研究機構 統合型材料開発・情報基盤部門	ベイズ推定による情報計測の推進とマテリアルズインフォマティクスに向けて	80
	2月25日	舟橋 啓	慶應義塾大学理工学部生命情報学科	深層学習による定量的な体外受精胚評価手法の開発	47
	3月11日	水牧 仁一郎	公益財団法人高輝度光科学研究センター	ベイズ統合 ～物性物理学への展開～	76
	3月25日	小川 紘樹	京都大学化学研究所複合基盤化学研究系	ソフトマテリアル材料の構造解析に向けた小角X線散乱CT法と画像処理の融合	69
	5月20日	徳田 悟	九州大学情報基盤研究開発センター	ベイズ推定による計測と数値モデリングの橋渡し	99
	5月27日	本武 陽一	一橋大学	解釈可能AIによるデータ駆動物理学の実現に向けた取り組み	79
	6月10日	岩崎 悠真	物質・材料研究機構	材料開発における4つのインフォマティクスと自律材料探索	74
	6月24日	城口 克之	理化学研究所細胞システム動態予測研究チーム	単一細胞の動画と遺伝子発現情報をつなぐ	53
	7月8日	谷口 正輝	大阪大学産業科学研究所	AIと相性の良い1分子計測	58
	7月22日	川口 喬吾	理化学研究所生命機能科学研究センター	多細胞ダイナミクスのルール推定と機械学習	71
8月5日	寺田 吉竜	大阪大学大学院基礎工学研究科	クラスタリング法の統計理論と応用	73	
2023年度	8月19日	田中 雄一	大阪大学	グラフ信号処理の基礎と応用：ネットワーク上データのフーリエ変換・フィルタリング・サンプリング	75
	9月2日	五十嵐 康彦	筑波大学	スパースモデリングを用いたマルチフレーム超解像による放射光顕微分光画像への展開	73
	10月28日	小飼 真人	東京理科大学先進工学部	拡張型自由エネルギーモデル：画像データの自動的な解釈と理もれた知識の抽出	70
	11月11日	奥田 正浩	同志社大学理工学部インテリジェント情報工学科	ニューラルネットワークのバイアスとZero-shot 画像復元	65
	11月25日	渡邊 朋信	理化学研究所生命機能科学研究センター/広島大学原爆放射線医科学研究所	散乱光に含まれる生物学的情報を利用する	58
	12月9日	齊藤 稔	広島大学統合生命科学研究科	深層学習を用いて生物の“かたち”を読み解く	65
	計画				
	計画				
	計画				
	計画				

・2023年10月より、CREST「革新的計測解析」領域の参加研究者3名が運営委員会メンバーに加わり、セミナー運営ノウハウの継承を開始した。本研究領域終了後は同領域が趣旨を引き継ぎ、さらに発展させるかたちでオンラインセミナーを継続運営する予定である。

6. 研究領域として戦略目標の達成状況について研究を実施した結果と所見

(1) 全体状況

① 研究総括のねらいに対する研究の状況

研究総括のねらいである2つの柱、すなわち、情報科学・統計数理による計測対象の特徴量解析手法や大量データの迅速・高精度解析手法の開発と、これらの基盤手法を具体的な計測課題に適用し、科学技術全般における新現象の発見、原理解明や新たな知識獲得等を成し遂げることに关しては、研究領域全体として、CREST、さきがけ共に順調に進んだ。

CREST に関してはもともと融合アプローチが多く、チーム内で「情報×計測」の体制ができており、例えば、村上チームでは、当初の目標を大きく上回る世界最高の位相計測精度での磁性薄膜の電子線ホログラフィー計測を達成する等で成果が上がった。一方、さきがけは、個人研究が基本であるので、「情報×計測」を実現するために、さきがけ内の情報の研究者、計測の研究者が領域内で連携、共同研究が活発に行われ、さきがけでも顕著な成果が出た。加えて、複合領域として、CREST 研究者とさきがけ研究者の共同研究も盛んに実施され領域全体の活性化や融合の推進に大きく貢献し、さらにさきがけ終了後も、さきがけ1期生の5名、2期生の3名が各々CRESTの主たる共同研究者として参加した。これらの事より、戦略目標の達成に向けて着実に進んだと言える。また、CREST1期の佐藤チームやCREST2期の矢代チームでは、本研究領域の趣旨に沿った研究組織編成をお願いし、改組の結果、大きな研究成果を上げることに繋がった。

② 研究領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果

CREST・村上チームは、物質が示す電磁場を原子スケールで実測できる「電子線ホログラフィー」の精度を、従来のハードウェア開発に基づくアプローチだけではなく、人工知能(AI)を用いた電子顕微鏡画像の処理、数理解析による情報欠損の回復等、情報科学の最先端技術を導入することにより、電子1個相当の微弱な電場を計測する新技术を世界に先駆けて開発することを目標とした。最終的には、目標数値を大きく超える位相分解能を達成しただけでなく、画像処理技術を活用することで計測時間の大幅な短縮化を実現した。応用事例としての触媒材料・磁性材料に関しては、予定していた以上の位相分解能で計測できることを示し、触媒微粒子に関して新しい知見を得ている。

CREST・鷺尾チームは、ナノギャップシーケンサーのノイズ除去をはじめ、具体的な計測プロセスに対して情報工学的手法をカスタマイズして成果を挙げた。計測指向機械学習技術の幅広い応用展開で、インパクトの高い意義ある成果が得られた。例えば、ナノギャップによって、抗がん剤のDNAへの取り込みを世界で初めて直接観察するなど、医学上も意義のある成果が得られた。

CREST・矢代チームは、放射光のマルチビーム化の実現と、従来の圧縮センシングの枠組みを超える超圧縮センシングの概念に基づくCT再構成法の開発により、試料を回転するこ

となく、ms オーダーの時間分解能、 $10\ \mu\text{m}$ の空間分解能の 4D (3D+時間) X 線トモグラフィ (CT) を実現するという挑戦的な目標を設定した。最終年度には、1ms 時間分解能、 $10\ \mu\text{m}$ 空間分解能で試料を回転することなく CT 再構成を実現するという所期の目標を達成した。その応用として、能動的な破壊現象の 4D 観察では世界最高の時間分解能 (10ms) でタイヤゴムの破壊を初めて可視化し、さらに超圧縮センシングに基づくインテリア CT 再構成アルゴリズムも組み合わせることにより、時間分解能 8ms で引張破壊過程に生じたボイドを捉えることに成功した。

CREST・石濱チームでは、質量分析技術と統計的信号解析技術を融合させることにより、プロテオームの計測・解析技術を深化させ、次世代プロテオーム解析技術を開拓することを目標とした。本研究を通して、液体クロマトグラフィータンデム質量分析 (LC/MS/MS) 法を用いるプロテオーム解析に関わる連続した複数のステップを、確率モデルの推定という立場から再解釈・統合することで、統一的な階層モデルを構築し、LC/MS/MS 測定からタンパク質同定にいたる情報処理 (Computational Proteomics) と、下流解析で利用されてきた情報処理 (Proteome Informatics) を融合した同時解析手法を構築することに成功した。計測技術を自ら改良することにより現時点で世界最速のシステムを達成し、計測データの高速獲得に道をつけた。

さきがけ・小川研究者は、ゴム充填系材料の破断プロセス解明を目的として、領域内の情報アプローチの研究者である小野研究者との共同研究によって、SAXS-CT 像の Tikhonov 正則化に基づくノイズ・アーティファクト、ストリーク除去に成功した。この成果は、これまで困難であった材料破断プロセスの微視的計測の可能性を示すものであり、今後「構造材料」科学の基本的課題である「疲労」、「破壊」過程の学理究明への道筋を切り開いていくことが期待される。

さきがけ・山崎研究者は、数十ナノメートル程度の空間分解能を有する軟 X 線顕微鏡のシステムを構築するとともに、計測試料の事前情報を組み入れたスパース位相回復法を開発し、計測ノイズや情報欠損を含むような低精度の計測データからも必要な情報を抽出できるオペランド計測の新技术を確立した。さらに、これらの技術を用いて、磁気スキルミオンの粒子半径の変化に伴う構造相転移現象など新しい物性現象の観測に成功した。世界に類を見ない測定装置の開発とスパースモデリングを活用した解析手法の先駆的な成果を得られたことは、本研究領域の趣旨と合致し、高く評価できる。

③ 研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

科学的・技術的な観点における代表的な研究課題として、CREST・高田チームが、分子シミュレーションと高速 AFM (原子間力顕微鏡) 計測とをデータ同化することにより、高精度のタンパク質構造動態を再構成するという極めて野心的な研究を進めた。これを応用することにより、創薬開発への貢献を目指し、研究は堅実に進められ、生体分子 4 次元構造解析法の確立に向けて研究が進められた。

また、CREST・佐藤チームによる南極大型大気レーダーを軸とした観測データを用いての大気の階層構造や気候の遠隔結合に関する物理的解明を目指す研究において、半日周期の中間圏変動が潮汐ではなく、本研究課題の重力波によるものであることを明らかにしたことは優れた成果であり、WCRP（世界気候研究計画）のSPARC（成層圏・対流圏の諸過程と気候影響研究）などにおける国際的な活動によるプレゼンスも高く評価できる。

さきがけ・成田研究者は、NASAのトランジット惑星（恒星の前を通過する軌道を持つ惑星）探索衛星 TESS が発見したトランジット惑星候補の集中的な発見確認観測により新しい地球型惑星（特に主星からの距離がちょうど良い「生命居住可能惑星」）を発見した。さらに、多色同時撮像カメラの開発とガウス過程を用いたデータ解析により複数の地球型惑星を発見し、その惑星の公転周期・質量・半径などの物理的情報を得た。これらの地球型惑星は、将来の惑星大気の観測に適したターゲットになると期待されている。さらに、赤色矮星を公転する周期 1 日未満の巨大惑星や、白色矮星を公転する巨大惑星の発見など、従来の常識から外れた惑星の発見を通じて科学的にインパクトの大きな成果を創出した。これらの業績は太陽系外惑星の分野の進展に大きく資するもので今後の更なる発展が期待できる、との評価を得て、成田研究者は令和 5 年度日本学術振興会賞を受賞した。

④ 研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

社会的・経済的な観点における代表的な研究課題としては、CREST・向川チームが、光線計測を光学的な工夫と情報処理を組み合わせることで、光線が持つ豊富な視覚情報に基づいて計算機によるシーン理解の能力を向上させる研究を進めた。「情報×計測」の融合活用を企業との共同研究（実施例：果実糖度分布計測、受精卵計測、自動運転の霧中距離計測）により推進しており、社会的・経済的貢献が今後大いに期待される。

さきがけ・松岡(大)研究者は、データ駆動型アプローチ（ビッグデータと機械学習）とプロセス駆動型アプローチ（気象モデルによるシミュレーション）の融合により、熱帯低気圧および豪雨予測の高度化を目的として研究を進めた。機械学習による熱帯低気圧発生の予兆となる雲分布の特徴量の抽出により、その早期検出を可能にする技術を構築し、また、気象庁などの予報官が手動作成した天気図データを用いて降雨の原因となる停滞前線を機械学習によって自動的に抽出する手法の開発に成功するなど、台風や集中豪雨のような異常気象の発生の早期予測手法に基づく防災・減災の実現による社会的・経済的貢献への期待が大きい。

CREST・平田チームは次世代地震計測ビッグデータの利活用と、最先端ベイズ統計学に基づく地震波動解析アルゴリズムの構築を目的とした研究を実施し、地震学と情報科学の融合研究のパイオニアとしての成果を挙げた。特に、地震学と情報科学の両方の知識を持つ若手研究者の育成に大きな貢献があった。本研究における成果は、2021 年度から始まった文部科学省の「情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト（STAR-E プロジェクト）」に繋がっており、今後、防災・減災への貢献が期待される。

⑤ 研究成果の戦略目標達成の観点からの貢献

本研究領域の戦略目標である「計測技術と高度情報処理の融合」により新たな科学の開拓に結びつける代表的な研究課題として、CREST・小松崎チームは戦略目標の趣旨に最も合致した研究課題の一つであった。新機軸のダイナミックミラーデバイス (DMD) を開発し、プログラマブルラマン分光を可能にしたことにより、癌/非癌判定のリアルタイム判定化に成功した。加えて、当初の癌、非癌の判定だけではなく、より難しい非アルコール性脂肪性肝疾患の病状予測等へも進展したことが評価できる。

CREST・矢代チームは、放射光のマルチビーム化の実現と、従来の圧縮センシングの枠組みを超える超圧縮センシングの概念に基づく CT 再構成の基礎・応用研究の成果との融合により、当初の目標を上回る、時間分解能 1ms、空間分解能 10 μ m 弱で、かつ、試料を回転することなく CT 再構成ができることを実証した。これは情報科学と計測科学の融合によって、目標を上回る成果が得られた好例である。

さきがけ・小川研究者は、領域内の情報アプローチの研究者である小野研究者との共同研究によって、これまで困難であった材料破断プロセスの微視的計測の可能性を示す成果を創出した。本研究は情報科学と計測科学の融合によって初めて達成された成果であり、新規学問分野としての「情報計測」の好例として高く評価できる。

さきがけ・加藤研究者はデータ駆動型全散乱計測により、0.1Å の分解能で最大 500Å の範囲を議論できる原子二体分布関数 (PDF) を取得し、さらに格子変調関数を導入して PDF からナノ結晶粒内の格子歪み分布の情報を引き出せるシステムを構築した。独自の計測技術である OHGI の性能を最大限高める情報手法 ReLiEf 法の開発は、本情報計測分野の最大の成果の一つである。一連の研究は完成度が高く、計測と情報の融合により従来の限界を突破し、Pd のナノ結晶などの実材料の分析においてその有効性を実証しており、本研究領域の趣旨を実践したモデルケースと言える。

⑥ 研究領域におけるマネジメントの取り組み

本研究領域においては、領域アドバイザー、研究総括、副研究総括の情報交換と連携により、各研究課題において想定される課題に対するタイムリーなアドバイスやフィードバックを行った。研究を推進するにあたり、本研究領域内の種々の形の研究を「融合」させるという方針の下、本研究領域の中で CREST-さきがけ間 (3 件)、CREST-CREST 間 (3 件)、さきがけ-さきがけ間 (4 件) の連携や協業が積極的に進められた。その結果、さきがけ研究を終了した研究者が CREST チームの主たる共同研究者や研究参加者として加わることにより、研究課題を推進する上で重要な役割を果たす情報科学と計測科学の融合の事例が多数実現した。これらは本研究領域のマネジメントとして課題選考段階から注力してきたことであり、研究領域の目標達成に向けて重要な役割を果たした。

また、CREST とさきがけを一つの研究領域の中で推進することにより、計測の研究者が情報技術を、また情報の研究者が計測の実課題を深く理解する機会を持ち、さらに両者が出口の異なる研究分野間での議論の場へ参加することによって、「情報×計測（＝情報計測）」という新しい分野を担う若い人材の育成が着実に進んだ。また、本研究領域期間終了の時点で29名の研究者が昇進した。将来を担う研究者の育成は新しい研究分野の定着に不可欠であることから、研究者の育成は、本研究領域の目的の一つであり、その目指したことが順調に進展したことを示している。

(2) 個別課題の状況

①CREST

各チームの研究経過と研究総括の所見は下記の通りである。

<2016年度採択>

岡本チーム

本研究課題は、「強相関電子系の非摂動型応答の時分割分光計測」及び「厳密計算にビックデータ解析とデータ同化の手法を加えた過渡スペクトルの解析手法構築」を一体として推進し、強相関電子系の光/電場応答の解明と学理構築を目標とした。1次元モット絶縁体に関して、本課題で開発した多体ワニア関数法を用いた線形光学伝導度スペクトルや電場下の光学伝導度スペクトルについて摂動展開を用いた過渡光学スペクトルの計算により再現した。当初計画になかった2次元モット絶縁体についても計算により再現した。また、テラヘルツ電場パルス誘起の量子トンネリングを利用した高速で高エネルギー効率のモット絶縁体－金属相転移や、中赤外周期外場中でのフォノンドレスト状態や光ドレスト状態の観測といった、新規の光/電場応答現象の観測も成功した。これらの成果を確実に多数の原著論文に纏め、基礎研究の進展に大きな寄与があったと評価できる。一方、本課題の計測技術はそれ自体で閉じており、情報数理は理論計算の手法開発だけを指向したものであったので、「情報数理の活用によって計測限界を打破する」という本研究領域の方向との整合性はあまり良くなかった。また、科学技術イノベーションへの寄与は限定的であり、例えば、光や電場で誘起されるモット絶縁体－金属相転移は、高速・高効率の光スイッチへの応用展開が謳われているが、この応用に向けた具体的な進展は見られなかった。強相関系の物性物理学の基礎研究において、顕著で質が高いと評価される成果を広く領域外の研究者にも理解・共用してもらい、今後の具体的なイノベーションに繋がることを期待したい。

小松崎チーム

本研究課題は、細胞および生体組織のラマン分光イメージングデータを情報科学・統計数理手法に基づいて解析し、これまで判別が難しかった癌の早期診断の実現を目指すもので

あり、本分野の主旨に最も合致した研究課題の一つであった。情報科学の側面では、できるだけ少ない試行回数で設定した問題を所望の精度で識別する多腕バンディット手法を開発し、データのスパース性を仮定する必要がない汎用的な手法のため、今後、様々な計測への応用が期待される。計測の側面では、照明位置を任意に決定（プログラマブル照明）し、デジタルマイクロミラーデバイスを用いて照明された位置のみに光検出領域を限定する、プログラマブル照明ラマン散乱顕微鏡を開発した。本装置は、製品化に向けた議論も進められている。ラマン分光イメージングの医療応用に向けた研究も着実に展開し、非アルコール性脂肪性肝疾患の早期診断に資する解析手法を開発し特許出願した。また、当初計画の中心的課題であった、癌の代謝に着目した癌細胞の鑑別に関して、甲状腺濾胞癌細胞株における脂肪滴の動態解析という形で成果が示された。当初の計画通り、バンディット手法と空間光変調器を融合した on the fly プログラマブルラマン計測装置を確立し、実計測データを用いた分類精度と計測効率化までの評価を終えた。情報科学、計測科学、生物学の3つの研究分野をプログラマブルラマンという新しい課題で一つに束ね、当初計画通りあるいはそれを上回る成果を挙げた点は高く評価できる。ラマン分光イメージングの臨床応用に向けては、まだ大きなハードルがあると予想されるが、本課題の段階としては、十分な成果が得られた。

本課題は、期間を1年間延長し、期間中に完成させたプログラマブル照明とアルゴリズムを実装した on the fly ラマン装置と同一試料のラインスキャンラマン画像に基づくシミュレーションを実施し、実験と理論の整合性を実証した。また、バーコードバンディットシステムの実用化を目的とし、論文化や特許化のために、非アルコール性脂肪性肝疾患以外に、肝細胞・胆管細胞混合試料の薬剤応答など応用する対象となる生体試料の検討を行った。甲状腺濾胞癌細胞種の癌指標として、細胞質における脂肪滴に着眼し、脂肪滴と脂肪滴関連タンパクであるアディポフィリンの共局在を定量し、甲状腺濾胞癌検出の新たなバイオマーカーになりうることを見出し、論文化した。

佐藤チーム

本研究課題は南極大型大気レーダー（PANSY レーダー）を軸とした、国際共同観測による高解像度でスパースな観測データと、人工衛星による低解像度でグローバルな観測データを組み合わせ、地上から高度約 100km に至る大気大循環モデルに同化する手法を開発し、大気の階層構造や気候の遠隔結合に関する物理的解明を目指した。PANSY レーダーを軸とする大規模な大型レーダー国際共同観測による計測と高解像大気大循環モデルへのデータ同化による情報を組み合わせて、本課題の要となる 15 年の長期にわたる大気解析データを作成した。このデータの解析、あるいはこれを初期値とする再現実験によって、成層圏での突然昇温の機構解明や、南北両半球結合のメカニズムの提案など、学術的価値の高い成果を創出した。さらに、乱流スペクトル理論を PANSY レーダーの観測データに適用した南極大気乱流の研究や、機械学習を用いた重力波のパラメタリゼーションなど、注目度の高い成果が多数生まれた。基礎研究としてレベルの極めて高い研究が遂行されたと総括できる。基礎研究と

してのネットワークを順調に形成し、国際的なプレゼンスも高く、また、チームの再編成など研究代表者のリーダーシップは明確である。学生を含む若手研究者の育成も良好である。気象関係以外の分野への展開も期待されることから、今後は産業界との対話によるイノベーションやサイエンス全体へのインパクトを期待したい。

村上チーム

本研究課題は、物質が示す電磁場を原子スケールで実測できる「電子線ホログラフィー」の精度を、従来のハードウェア開発に基づくアプローチだけではなく、人口知能 (AI) を用いた電子顕微鏡画像の処理、数理解析による情報欠損の回復等、情報科学の最先端技術を導入することにより、電子1個相当の微弱な電場を計測する新技術を世界に先駆けて開発することを目標とした。電子線ホログラフィーによる位相解析の超高精度化においては、当初計画に示した電子1個に相当する電子線ホログラフィーの位相解析精度の数値目標である $2\pi/400\text{rad}$ を大きく超え、世界最高の位相計測精度 $2\pi/600\text{rad}$ での磁性薄膜の電子線ホログラフィー計測を達成した。加えて、ホログラムの雑音除去技術の開発においては、雑音と微弱な信号を適切に判別するため、ウェーブレット隠れマルコフモデルに基づく雑音除去技術を開発した。これにより、電子照射に弱く、十分な S/N での画像取得が難しい研究対象にも応用が可能になり、触媒系の研究でも必須のツールとして利用できるようになった。応用事例として、電子線ホログラフィーの未踏分野であった触媒の研究課題に適用し、Pt-TiO₂ 触媒における電気分極の計測を実施し、従来は計測できなかった Pt 微粒子の帯電状況を計測することができるようになった。本研究成果は、他に類を見ない電子線ホログラフィー顕微鏡の高度化技術であって、産業界への波及効果も期待できる内容であり、開発した電子線ホログラフィー装置の共用化に向けた展望も示されている。今後、触媒系や磁性材料の研究において、産業応用上も意義のある成果創出を期待できる。

鷲尾チーム

本研究課題は、最先端の計測・デバイス技術と融合した新たな機械学習技術を確立・深化して、従来の限界を超える現象・精度の計測実現を目指した。先端的ナノギャップナノポアによる高効率、低コストの第4世代 DNA シーケンシング技術を確立することを具体的な目標とした。ナノギャップシーケンサーのノイズ除去により開発した、AI ナノギャップ法を用いて、DNA・RNA 上化学修飾塩基分子の1子定量解析法を検討し、大腸がんマーカー上に複数の化学修飾塩基分子が存在することを見出し、すい臓がんの新たながんマーカーが11種類発見された。また、神経伝達物質を1分子で識別できることを実証した。尤度に基づく PU 分類 (Positive and Unlabeled Classification) は、DNA シーケンシングにおけるノイズ信号分離に使われ、これは本課題の最大の成果と位置付けることができる。提案時に掲げていたナノポアの高度化に関しては、アミノ酸の L 体/D 体識別が伝導率の測定により実験的にできるようになったが、物理的なメカニズムに関しては未解明であり、今後の深掘りが

望まれる。1 分子 DNA シーケンサーについては、転用可能な市販用 1 分子計測装置の開発を民間企業と共同で進め、科学的イノベーションへの寄与があった。「情報計測」領域内での共同研究にも積極的に取り組み、更に、研究会の開催などを通じ、国内外の研究者との積極的な連携を図り、成果が得られつつある点は高く評価できる。領域に不可欠な研究課題であり、本課題に期待した役割を十分に果たした。今後は種々の共同研究の実績をベースとした、情報の理論としての進展を期待したい。

本課題は、期間を 1 年間延長し、「NASA 地球外生命体探索プロジェクトに向けた 1 分子光学異性体識別と膵臓がん診断に向けたマイクロ RNA 定量計測」を対象として、必要とされる種々の機械学習の方法論・要素原理・手法・技術と、それらを利用した定量計測法を開発、整備した。その結果、1 分子光学異性体識別については 4 種のアミノ酸混合状態に対して F 値 0.49 の計測性能を、マイクロ RNA 定量計測について安定して塩基配列中のメチル化アデニンの定量解析が可能となり、健常者と膵臓がん患者の診断精度 99% を達成する成果を得た。これらの性能は、各々 NASA 地球外生命体探索プロジェクト、膵臓がん診断に十分な性能であり、特に前者については NASA の中間評価ステージゲートを通過し、無重力飛行実験での最終性能評価を受けている。

吉川チーム

本研究では、人間の五感に対応するセンサで最も開発が遅れている「嗅覚センサ」について、研究代表者が中心となって開発に成功した膜型表面応力センサ (Membrane-type Surface stress Sensor (MSS)) 素子、データ解析技術、および感応材料を融合することによって、社会実装に向けた技術的な課題を洗い出し、それらを克服する指針を与えることを目的とした。CREST 研究としては、MSS を用いた全自動測定システムの開発、メガライブラリに対する解析技術の開発、新しい感応膜材料の開発からなる。実用化基礎検討のみならず、感応膜の物性解析にも取り組んでおり、多数の適用例によって MSS を実証したことは高く評価できる。しかしながら、どのテーマも定量的には詰めきれていないところがある。また、全自動計測システムの開発は今後の MSS データの収集には非常に役立つと考えられるが、でき上がったメガライブラリは、匂い判別基準としてのメガライブラリという意味では計測対象分子が少なく、不十分であるという印象を否めない。研究成果の発信に関しては、発表論文 57、口頭発表 110 (招待 89 件)、受賞 11 件と活発であり、成果のインパクトも高く、評価できる。当領域の鷺尾チームとの共同研究で、伝達関数を用いた解析を行い、流量制御に依存しない「フリーハンド」測定を実現したことは、高く評価できる。今後、更なる定量的考察を行い、この取り組みが実用化に繋がることを期待したい。感応膜の力学応答による匂い機能の検出という着想は独創的であり、今後、実用化に向けた取り組みが進展することを期待する。その際、旨くいかなかったことを含めて、深い科学的考察を誠実に行うことが重要であると考え。この点に配慮して、産官学連携を通して、実用化に向けた研究に取り組まれることを強く期待する。

〈2017 年度採択〉

岡田チーム

本研究課題は、ベイズ推論を計測科学に導入したベイズ計測により、a) シグナル対ノイズ比の低いスペクトルや画像等から特徴量を抽出する技術、b) 少ないデータからより有用な情報を引き出す情報再構成技術、c) 異種情報を統合する解析技術等を構築し、従来の計測科学がどのように変わるかの具体例を示すと共に、ベイズ計測の情報数理科学的な学理の構築を目指したものである。ベイズ計測については、計測限界の定量的評価、有効ハミルトニアンなどの系の有効モデルの選択、異種計測の情報統合などが行えることを示した。特に分光学に集中し、X 線光電子分光 (XPS)、X 線吸収分光 (XAS)、メスバウアー分光、X 線吸収微細構造 (XAFS) などの研究による成果を活用し、放射光施設 SPring-8 の全ビームラインにベイズ計測を導入するプロジェクトを立ち上げた。近似アルゴリズム開発においては、能動学習によるスペクトル計測の高速化とその最適停止基準の理論的導出による高速化を実現した。さらに、4 次元変分法に対し、2nd-order アジョイント (SOA) 法を導入することにより、不確実性評価が可能な手法へ高度化することに成功し、数値モデルの数値解法に対応する、SOA モデルの超高精度解法を機械的に与える方法論を確立した。また、行列の冪乗法と SOA 法を用いることにより、事後分布の有効自由度の基底を抽出する有効モデル抽出法を確立した。モデル構築においては、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いた 3D 単一分子局在型超解像顕微鏡法を開発した。さらに、計測データへの適用として、さきがけ「情報計測」1 期生終了者の桑谷立氏が研究参加し、地球物質科学分野に対して先駆的な情報科学と計測科学を融合し、ベイズ計測の浸透に大きく貢献した。また、さきがけ「情報計測」2 期生終了者の成田憲保氏が研究参加し、時系列データの解析に対してベイズ計測の方法を用いることで、新たな惑星の発見や発見された惑星の特徴量抽出を行った。以上のように、計測限界の定量的評価、系の有効モデルの選択、異種計測の情報統合などが行えることを示し、ベイズ計測の情報数理基盤を構築するとともに、情報計測領域への横断的展開を図った。課題内及び領域内の共同研究を通じ多くの成果が出たことで、基礎研究プロジェクトとして大きな意義があった。放射光施設 SPring-8 の全ビームラインへのベイズ計測導入プロジェクトについては、今後、施設側への具体的な提案を含めて、放射光科学等の他の先端計測分野への実装・普及を目指すもので、戦略目標達成への更なる貢献を大いに期待したい。

高田チーム

本研究課題は、データ同化と分子シミュレーション法によって高速 AFM 計測からの生体分子の高精度 4 次元構造解析法を開発し、同時に高速 AFM 計測装置のさらなる高速化・高機能化を実現することを目的とし、それらを適用して創薬開発に貢献することを目指したものである。情報科学においては、高速 AFM で得られた静止像に対して、データ同化・粒子フィルタ法及び隠れマルコフ法それぞれによって、高速 AFM 動画と分子シミュレーション

のデータ同化を行う方法論を開発した。隠れマルコフ法をモータータンパク質であるミオシン V の歩行運動の実 AFM 動画に適用し高精度 4 次元構造を推定することに成功した。計測技術開発においては、超高速 Z スキャナー、振幅計測器、超小型カンチレバー、及び、Z スキャナーの共振周波数制御回路を開発して高速 AFM 実機へ導入し、AFM 計測全体として従来型（約 70kHz）の 7~8 倍の時間分解能向上（約 520kHz）を達成した。細胞生物学課題への応用として、SMC タンパク質（Structural Maintenance of Chromosomes）であるコンデンシンの運動の 1 分子蛍光イメージングに成功し、DNA 張力依存的な運動様式変化を発見した。また、自然免疫系のシグナル伝達に必要なタンパク質 MyD88 の動態計測と分子シミュレーションによる解析、細菌鞭毛の輸送装置として働く FlhA というタンパク質のリング構造解析において、さまざまなタンパク質動態を観察することに成功した。細菌 SMC タンパク質について、得られた高速 AFM データをもとに分子シミュレーションを行うことにより、DNA ループ捕捉モデルを示唆する運動を見出した。4 年次より、さきがけ「情報計測」1 期生終了者の松永康佑氏が研究参加したことにより、データ同化法等の情報アプローチが手厚くなり、マルコフ状態モデル解析の開発と応用について着実な成果達成に結び付けた。こうした研究代表者の優れたリーダーシップのもと、高速 AFM 分子計測のデータ同化による生体分子 4 次元構造解析法の開発という戦略目標に合致した研究が進められた。研究全体として、情報科学的項目も、計測技術開発の項目も、当初計画の方針に沿った形で進められ、当初計画通り、または計画を上回る成果が得られた。また、装置の高度化、生物学応用も高い水準であり、多数の論文と特許出願に繋がった。本研究の成果は、情報計測の技術を医療創薬分野の新たな科学上の発見に繋げるものであり、そのためのツール群を整備、拡充することにより、一般研究者への普及を目指し、戦略目標達成への更なる貢献を期待したい。

平田チーム

本研究課題は、次世代地震計測ビッグデータの利活用と、最先端ベイズ統計学に基づく地震波動解析アルゴリズムの構築とともに、これらの成果を融合したインテリジェント地震波動解析システムを構築することを目的としている。次世代地震計測ビッグデータ利活用においては、首都圏地震観測網（MeSO-net）で得られた計測データを基に、地震計測データ解析手法の検証のための「首都圏観測地震波形データセット」の構築、ならびに公開を実現した。また、実験流体力学分野で開発されたスパースセンシング技術を基に、対象に合わせて解析する地震観測点を自動選択するアルゴリズムを創出し、地震波動場再構成を例にその有効性を示した。最先端ベイズ統計学に基づく地震波動解析アルゴリズムの構築においては、地球内部起源の振動現象である地震や深部低周波微動を検出するための基盤解析技術の開発、ならびにそれにより得られた情報を用いて地震・微動の発生メカニズムや固体地球内部の総合的理解を深めるための応用解析技術を開発した。インテリジェント地震波動解析システムの構築については、開発した技術要素の既存の地震データ処理システムへの実装を進め、第一歩として、本研究課題の主要技術である地震・微動自動検出手法の実装を

完了した。これにより、感度、精度のより高いイベント検出が可能となり、本成果はスロー地震活動や火山活動についての理解の深化に資することが期待される。また、4年次より、さきがけ「情報計測」1期生終了者の野々村拓氏が研究参加したことにより、スパースセンサ最適化アルゴリズムを地震観測点選択に応用するための手法改良に結び付いた。本研究課題は、地震学と情報科学の融合研究のパイオニアとして位置づけることができる。活発なシンポジウムの開催など活発なアウトリーチ活動を通して、またプロジェクト内で多くの若手を採用し、地震学と情報科学の両方の知識を持つ若手研究者の育成に大きな成功をあげた。本研究課題によって種がまかれた地震学と情報科学の融合研究が、今後益々発展することが期待される。

向川チーム

本研究課題では、光線が持つ多元軸（角度、視点位置、波長、時間等の軸）の情報を、計測目的に応じて効率よく計測・解析することにより、更には、情報科学分野における計算アルゴリズムを協調的に用いることによって計測デバイスの光学設計を行うことにより、高次元光イメージング技術を開発し、それを幅広い分野で活用することを目指している。計測、解析、活用の3グループがそれぞれの問題に取り組み、研究開始2年後の2019年度には、光線の高次元化計測に関し、計測、解析、活用において所期の成果が得られた。特に波長軸に焦点を当て、3グループの協調により高速・高精度回転ミラーシステムと分光器を組み合わせたパノラマ分光計測システムを構築し、得られた分光データの特異値分解による圧縮表現と乱択アルゴリズムによる計算の高速化に成功し、さらにフランス・アミアンの大聖堂のステンドグラスのアーカイブに活用した。2020年度より、複数の軸を同時に高次元計測するという新しい試みに取り組むために、複数の軸を融合する融合活用グループを編成し、様々な軸を組み合わせることにより、複数の新しい研究成果を創出した。一例としては、視点位置軸と波長軸の計測技術を融合させ、医療分野への応用を目指して皮膚の奥にある血管をリアルタイムで鮮明に可視化する技術等の開発に成功した。また、遠赤外帯域での視点位置軸の活用により、遮蔽物の影響を除去した人体温度計測に応用した。企業との連携も活発に行われ、社会実装への道筋を明確に意識した研究の展開が図られた。コンピュータビジョン分野における基礎研究のみならず、産業に対する波及効果は大きいと考えられ、後継のプロジェクトや企業との共同研究の枠組みを通じて、開発した技術が社会実装されることを期待する。

矢代チーム

本研究課題では、放射光のマルチビーム化の実現と、従来の圧縮センシングの枠組みを超える超圧縮センシングの概念に基づくCT再構成法の開発により、試料を回転することなく、msオーダーの時間分解能、 $10\mu\text{m}$ の空間分解能の4D(3D+時間)X線トモグラフィ(CT)を実現することを目的としている。3年目の中間目標としての単結晶型マルチビーム光学素子

の開発と、それを用いた 5ms 時間分解能、数 $10\mu\text{m}$ 空間分解能 CT (試料は回転可) の実現に対しては、 $\pm 70^\circ$ の投影方向 (投影数: 32) をカバーできる三段双曲柱型マルチビーム光学系を開発し、さらに非常に少数の不完全投影データからの CT 再構成を可能にする超圧縮センシング CT 再構成の基礎・応用研究の成果との融合により、中間目標を上回る時間分解能 1ms、空間分解能 $40\mu\text{m}$ 弱で、かつ、試料を回転することなく CT 再構成ができることを実証した。中間評価後に応用研究グループを新設し、能動的な破壊現象の 4D 観察では世界最高の時間分解能 (10ms) でタイヤゴムの破壊を初めて可視化し、さらに超圧縮センシングに基づくインテリア CT 再構成アルゴリズムも組み合わせることにより、時間分解能 8ms で引張破壊過程に生じたボイドを捉えることに成功した。最終年度には、1ms 時間分解能、 $10\mu\text{m}$ 空間分解能で試料を回転することなく CT 再構成を実現するという最終目標を達成することに成功した。また、当初計画の予想を超える展開として特記に値することは、「マルチビーム光学系では、各投影ビームのエネルギーが異なるという欠点があったが、そのことを逆に積極的に利用して、各エネルギーに対応する CT 再構成像が取得できるアルゴリズムを開発し、組成ごとの CT 再構成も可能であることを実証したこと」、である。本成果は、計測技術 (マルチビーム化技術) と情報科学 (超圧縮センシングによるトモグラフィ画像再構成) を融合させることで得られたものであり、情報と計測の融合により従来の限界突破を目指す本研究領域「情報計測」の趣旨に合致するものである。マルチビーム CT の開発は本チームが世界初であり、将来普及した暁には本成果の画像再構成法が必須でプロトタイプになる可能性もあり、物質・材料、資源・エネルギー、医療等、科学技術全般など、学術・産業界のイノベーション創出に様々な形で貢献していくことが期待される。

<2018 年度採択>

赤井チーム

本研究課題では、機能性材料において、そのマイクロ物性、メゾ構造、マクロ機能の発現までをシームレスに解明する方法論を開発することを目標とした。具体的には、放射光を用いた X 線吸収微細構造 (XAFS) スペクトル、X 線磁気二色性 (XMCD) スペクトルとその顕微計測データから、物性特徴量を抽出する段階とメゾ構造を解析する段階でデータ駆動科学を融合し、高性能磁石材料と二次電池の固体電解質材料の先端研究に応用することを目指した。基礎研究としては、X 線吸収スペクトルのベイズ分光法解析、磁気ドメインのデータ駆動型解析、異種計測情報のベイズ統合、に関して優れた成果を上げた。特に、異種計測情報のベイズ統合においては、X 線吸収分光 (XAS)、X 線光電子分光 (XPS)、X 線発光分光 (XES) のデータを統合して、それらを説明するハミルトニアンとそれに含まれる物理パラメータを高精度に推定できることを示したことは高く評価できる。

科学技術イノベーションに寄与する成果としては、スペクトル情報を含む高次元画像データの解析法、広域 X 線吸収微細構造 (EXAFS) のスパースモデリングが挙げられる。後者は、S/N 比の低い EXAFS データから原子間距離や配位構造を推定できることを示しており、

このことは高い評価に値する。

二次電池への応用としては、充電過程のデータ駆動解析を行い、充電中のデバイス内の活物質への充電電流、電位、充電方向の伝導度のデバイス内伝播の時間空間ダイナミクスの理解に資する情報を得ることに成功している。リチウム電池の劣化現象については、そのダイナミクスを 2D-XAS データからの統計解析により明らかにし、開発に向けての基礎データが得られた。ニューラルネットとマルコフ確率場を組み合わせた新しい手法で、ダイナミクスの解析が進んだ点が高く評価できる。特に、静的状態から動的状態の解析ができ、より精密な電池特性の理解につながるものとして評価できる。現在の空間分解能は数マイクロレベルであり、今後は、実際の微細構造の解析レベルに向けてさらなる分解能の向上を期待する。また、当初の提案を超える磁性材料などの研究テーマにも優れたリーダーシップを発揮した。カメリーノ大学との国際共同研究にも積極的に取り組んだ。リチウム電池あるいは代替材料を用いる電池開発は、当該産業分野でもホットな課題である。今後の、産業界との積極的な連携が期待される。

石濱チーム

本研究課題では、質量分析技術と統計的信号解析技術を融合させることにより、プロテオームの計測・解析技術を深化させ、次世代プロテオーム解析技術を開拓することを目標とした。具体的には、液体クロマトグラフィータンデム質量分析 (LC/MS/MS) 法を用いるプロテオーム解析に関わる連続した複数のステップを、確率モデルの推定という立場から再解釈・統合することで、統一的な階層モデルを構築し、LC/MS/MS 測定からタンパク質同定にいたる情報処理 (Computational Proteomics) と、下流解析で利用されてきた情報処理 (Proteome Informatics) を融合した同時解析手法を構築することを目指した。

計測技術を自ら改良することにより現時点で世界最速のシステムを達成し、計測データの高速度獲得に道をつけた。具体的には、一日 1000 検体の処理速度を有し、100ng から 3000 ヒトタンパク質を同定定量可能な計測システムの開発に成功した。また、LC/ESI/MS/MS データに対して非負値行列分解法 (NMF) を適用して従来法を超える大腸菌プロテオーム解析に成功した。さらに、世界的に発展した Data-Independent Acquisition (DIA) 技術を取り入れることにより、プロテオーム解析の性能が向上することを示した。四重極マスアナライザーのイオン透過特性を制御して、スパース推定により、感度と質量分解能を同時に向上させる手法を開発し、実測定データでその有用性を確認することに成功した。

以上のように、種々の情動的アプローチに取り組み、計測・情報の双方向から融合し着実にバランスよく研究を進めた。本研究領域の趣旨にもよく合致している。

今後は、最終目標とする「未知成分のプロテオームプロファイリング」や「メタプロテオームプロファイリング」に向けた研究開発を推進して頂きたい。

清末チーム

本研究課題では、がんをはじめとする疾患メカニズムの理解や再生医療の発展に貢献するため、かつてない高い時空間分解能で細胞計測が可能な『格子光シート顕微鏡』(LLSM)を機軸とした、多元的な細胞情報統合による新規な生命機構の発見を目標とした。

格子光シート顕微鏡(LLSM)を利用した、生命科学関連の種々の応用研究が行われた。機械学習による画像からの特徴抽出の研究について、これまでの知見から予想されていなかった特徴が新規に観察された。具体的には、1)細胞のがん化や分化などの細胞の変容に関する画像を得ることができた。2)細胞間のリモートコミュニケーションのツールとして近年注目されている細胞外小胞に関しては、細胞運動のために機能していると考えられていた細胞突起が切断されて小胞となる瞬間を観察することに成功し、小胞の生成メカニズムや機能に対する新しい知見を提供することができた。3)アクチンや微小管などの細胞骨格制御による細胞運動、形態形成といった生命現象の機構解明に資する情報を得ることができた。このように、生命科学の進歩に資するために、LLSM 技術の普及に貢献したことは評価に値する。

生命科学分野における成果が出ている一方、本研究領域の「情報×計測」(情報計測)という設定から見ると、画像からの特徴量抽出ということに限定されている。LLSM データ解析において、情報計測の成果がどのように反映されているかを明確にする必要がある。また、LLSM データが大量であることによる現状の画像解析技術の限界をどのように超えるか、また、その限界を決めている要因を分析することが望まれる。

小村チーム

本研究課題は、新たな情報科学と全脳計測法を融合させ、これまで捉え難かったヒトの意識を可視化する「意識メータ」を創出することを目標とした挑戦的な課題である。

本研究では、意識の一つの理論である「統合情報理論」の検証に必要な情報のコアを抽出する高速アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムをマウスのコネクトームに適用して、脳内の双方向接続の強いコア領域を同定することに成功した。また、このアルゴリズムをヒトの fMRI データに適用した結果、コアに含まれやすい部位は大腦皮質の中でも、後頭皮質と頭頂皮質の領域であることが判明した。

以上のように、本研究では、計測としては、全脳 ECoG の開発や fMRI 解析など先端的な計測技術を開発し、情報科学の側面からは、統合情報量理論に基づくネットワーク解析からコア領域を定義するという意識の情報学的モデルを提唱し、その両者が一致することに取り組んだ。統合情報理論とは似て非なる手法での意識の一定の定量化にこぎつけたことは評価に値する。脳の低次領域は並列処理で無意識に、高次領域は逐次処理で意識に関わるという Global workspace theory の生物学的実態を示唆する結果を得ており、このことは評価に値する。

サルにも知覚意識のコマ落ちがあることを明らかにし、ヒトとの類似性を発表した。その研究上・社会的意義についての展望が望まれる。

「意識メータ」については、サルを対象とした全脳 ECoG 計測には至らず未達成であった。個々の成果を整理して、今後の研究開発につなげることが期待される。

光岡チーム

本研究課題では、最近分解能が飛躍的に向上したクライオ電子顕微鏡（電顕）からの画像の解析法を、最新の情報科学・数理統計手法を用いて高度化することを目標とした。具体的には、膜タンパク質やその巨大複合体を対象とし、クライオ電子顕微鏡を用いた単粒子解析（SPA）法や電子線トモグラフィ（ET）法について、その構造解析手法をベイス推定や機械学習を利用して高度化・汎用化を行い、より一般の研究者が利用しやすいシステムの構築を目標とした。さらに、クライオ電顕から得られた複数の機能中の構造を活用し、他の計測手法や計算シミュレーション結果も用いて、統計数理的手法を用いてデータ統合することを目指した。

SPAにより、天然の状況に近いナノディスクを用いて精製した V-ATPase とその膜貫通ドメインである V_0 について原子モデルが得られる分解能での構造解析を行い、 V_0 ドメインのみだとプロトン輸送が阻害される V-ATPase の自己阻害機構について提案することができた。膜タンパク質複合体について、天然の状況に近い構造の解析を行うことが可能になったことは評価に値する。

当初の目標であるタンパクの単粒子解析と X 線 1 分子追跡を統合して情報解析を行うことは未達成であったが、X 線 1 分子追跡に関しては、DXT (Diffracted X-ray Tracking) に

加えて、単色光による DXB (Diffracted X-ray Blinking) を用いて 1 分子内部運動を観測することに成功したことは評価に値する。

当初計画にはなかったが、microED (Electron Diffraction) 法によるデータ解析にも着手したことは評価に値する。今後、電子ビームを活用する SPA、ET、microED を統合的に駆使して、広く生命科学に資する応用を展開することを期待する。その際、研究成果の国際的位置づけを明確にして、国際競争力を高めて頂きたい。

②さきがけ

本研究領域は、多様な計測技術に最先端の情報科学や統計数理を高度に融合させることによって、これまでは困難であった計測や解析の限界を突破することを目指した。2019 年度に終了した 1 期としては、ライフサイエンス系、材料系などの主要な研究分野に加え、岩石、流体、視覚的質感など、非常に多岐にわたる計測分野と、情報科学アプローチの挑戦的課題を採択した。領域会議やクラスタ会議などを通して、情報と計測の融合のみならず、異分野間の融合やさきがけと CREST の融合を目指した活発な活動を行った。各研究者は領域の趣旨をよく理解して従来の枠を超える研究に挑戦し、積極的な共同研究や研究交流を行うとともに領域アドバイザーによる適切な助言を活用して、それぞれ情報計測の名にふさわしい顕著な研究成果を挙げた。

各研究課題の経過と研究総括の所見については下記の通りである。

<2016 年度採択>

1. 安藤 正浩 研究者 「ラマン分光スパース解析による生細胞の包括的分子イメージング」

本研究は、あらゆる分子の構造・定量情報を光照射のみから得られるラマン分光法と、スパースモデリングなどによる高度な信号抽出・解析技術を融合し、生きた細胞中で脂質、タンパク質、核酸、糖質、色素、代謝産物などを包括的に非破壊分析する技術基盤創出を目的として行われた。

装置開発としては多点同時励起ラマン分光顕微鏡を新たに開発し、生細胞の多点同時観測を可能にした。本装置を用いて計測したラマンスペクトルを、非負値行列分解を活用して作成した分子自動認識プログラムによって成分分解することで、生細胞内分子分布の自動イメージングを可能とした。また非公開の研究成果において、本手法の実用性を裏付ける結果も出てきており評価できる。

企業との共同研究も開始されており、実用的な利用に向けた展開が期待される。一方、分子自動認識プログラムの基盤となる分子スペクトルデータベースの構築は本研究期間では不十分なものであったため、今後データベースの充実による更なる適用範囲の拡大を期待する。

2. 小川 紘樹 研究者 「X線小角散乱-CT法と計算科学の融合による可視化手法の開発」

本研究は、ソフトマテリアルにおけるナノスケールの構造解析手法として用いられる SAXS-CT 法と情報科学を融合することにより、あらゆるソフトマテリアルにおけるナノスケールの構造情報を可視化する手法の開発を目的として行われた。

特にゴムの破断現象の理解に着目してゴム充填系材料へ SAXS-CT 法を適用し、情報科学との融合により Tikhonov 正則化に基づくノイズ・アーティファクトの除去、ストリークの除去を可能とした。これにより SAXS-CT 像の再構成に成功し、ゴム弾性体の破壊直前のシリカ粒子、ボイドの空間分布パターンの解析が可能となり、材料破断プロセスの微視的計測の可能性を示した。破壊のメカニズムの探求は材料研究、素材産業で重要な位置を占めるが十分な科学研究ができていない領域であり、材料破断プロセスの微視的計測の可能性を示した点で、本研究課題は重要な基礎研究であり高く評価できる。また領域アドバイザーの助言や情報科学研究者との連携により、研究計画を柔軟に見直し成果を挙げた点で、本研究領域が目指す「情報×計測」の融合成果として高く評価できる。

本さきがけ研究で得られた成果をもとに、今後、材料科学の未解決の基本的課題の一つである「疲労」、「破壊」過程の学理究明への道筋を切り開いていくことを期待する。またゴム材料の配向状態のイメージングが、今後高寿命タイヤゴムの開発に繋がれば、産業界へのインパクトも高いと考えられる。

3. 小野 峻佑 研究者 「統合的凸最適化による In Hand な成分分離型信号情報再構成」

本研究は、シグナル/ノイズ比の低い観測データに内在する高精細な信号情報を特徴づける「加法型成分分解モデリング・正則化」、および少計算量・安定性・スケーラビリティ等を担保しながら統合的な方法論で信号情報を再構成する「統合的凸最適化アルゴリズム」の開発を目的として行われた。

その結果、統合的凸最適化による成分分離型信号情報再構成の基盤が開発され、特に正則化成分分離による多用途・高速化に成功した。本手法は新機軸の特徴量抽出法、再構成技術であり、既に多方面への展開が行われ実証されている点で今後の新たな産業創出への可能性が期待できる。また、領域内の計測グループとの融合研究を活発に行い、多数の課題について当初予想されていなかった成果を挙げることができたが、その中で本質的な貢献を果たしたことは特筆に値する。

今後は成分分離型モデルや関連アルゴリズムが in-hand に利用可能になるように、開発した方法の実装を実現することを期待する。

4. 葛西 卓磨 研究者 「試料への情報の符号化を活用する NMR 計測・解析法」

本研究では、窒素や水素の同位体で標識された多数のアミノ酸のシグナルに対して、符号化標識法とテンソル分解を組み合わせた、新しい NMR スペクトル解析法を確立した。

時間軸データを高階テンソルの成分とみなして、符号化標識法をさらに拡大し計測を効

率化する方法を開発した。また、領域内情報研究者との共同研究によるテンソル分解の高速化や低 S/N のスペクトルからの特徴量抽出に関して、独自の特色ある手法を開発した点は、当初の想定を超えた成果である。これによって、重畳信号の解析など従来困難であった問題を質的に改善した点は高く評価される。

一方、本手法の有用性を客観的に示すための実証実験があまり進んでおらず、試料の選定などを担当する研究者との協力が不足していたように見受けられる。また手法の新規性に対する研究者コミュニティの理解や、論文化が難しい融合研究という背景もあり、論文数など定量的な成果に直接結びついていない点は今後の課題である。本手法は、アルツハイマー病にも関連し社会的インパクトも大きな天然変性タンパク質への応用展開も期待されるため、論文化によるアピールを積極的に行う必要がある。

5. 片山 建二 研究者 「変調光誘起位相差顕微鏡による光生成キャリア寿命・移動物性評価法」

本研究では、半導体微粒子配列構造とキャリア物性との相関の解明を目的として、位相差により粉末状の材料の光生成キャリアを観測するための独自の装置を開発した。

本装置に情報技術を組み合わせることで、従来困難であったローカルキャリアのダイナミクス可視化に成功した。光誘起位相差顕微鏡の開発では、励起光に1次元、あるいは2次元の周期性を持った空間変調分光を用い、また画像再構成においては、当初計画にはないデータ同化によるパラメータ推定を導入してキャリア寿命と移動度の推定を実現したことは高く評価できる。本研究により得られた高い時空間分解能を有するキャリアダイナミクス解析法を用いて、グラフェンなどの新しい材料の解析にも展開したことも評価できる。

多くの共同研究や装置開発に関する特許出願などの成果も挙げており、産業的なインパクトも大きいと思われる。今後、界面や欠陥にトラップされたキャリアの動的特性などの観察などにも発展させ、基礎研究への更なる貢献を目指して頂きたい。

6. 桑谷 立 研究者 「岩石からのプロセス抽出：究極の逆問題に挑むベイズ計測」

本研究は、地球科学分野にデータ駆動型アプローチを導入し、岩石の履歴推定を実施するという「答え合わせのできない」挑戦的な研究課題である。

主な成果としては、顕微鏡写真と電子プローブマイクロアナライザ (EPMA) データを組み合わせ定量的大規模な2次元組成画像データを作成する方法を確立した。また、グループ Lasso の方法を用いる Sparse Isocon 法を開発し、不動元素に関する情報がなくても、物質移動量が求められる汎用性の高い方法を確立し、海底熱水鉱床の鉱石沈殿の推定などの多くの応用研究を行い、積極的に成果の論文化を進めている点も高く評価できる。

データ同化法の拡張により、岩石データという平面データから時間履歴を復元するという目標は達成できたが、今後は実証実験による検証が期待される。また研究で得られた知見を岩石学だけではなく、材料科学等における逆問題解析へと拡大できれば、産業界への波及

も期待できる。

7. 中村 友哉 研究者 「人工散乱体と圧縮センシングを融合した超小型撮像系による大規模画像計測」

本研究は、人工散乱体と画像再構成処理を融合設計し、実世界の大規模光情報を超小型光学系で計測できる新原理レンズレスカメラの創出を目的として行われた。

小型・マルチスペクトル・広視野を同時に達成する圧縮センシング (CS) 融合型コンピュータショナルカメラを新規にデザインし、光学実験での原理実証や数値実験による定量評価を行った。当初計画していた多重法では、CS 画像再構成では良好な分離画像が得られないことが判明したため疎標本化法に切り替え、柔軟に計画変更することで目標を達成した。また、本さきがけ研究期間中に特許出願を複数実施している点は評価できる。

自動運転、ドライバー監視、セキュリティなどへの応用の可能性が期待され、今後大きな展開も考えられるが、実用化に当たっては再構成に時間がかかる問題の解決が必要と思われる。また、領域内における連携は限定的であったが、今後は国内外の研究者や産業界とのより活発な連携が期待される。

8. 野々村 拓 研究者 「流体最適制御に向けた高速高精度データ同化手法の確立」

本研究は、高速かつ複雑な流れ場に対し、詳細な流体情報の取得と、リアルタイムの高性能データ同化を実現し制御するという非常に挑戦的なテーマで推進された。

その結果、オプティカルフローによる詳細な流体情報の取得や、カルマンフィルタ動的モード分解による低次元化を実現した。加えて、当初計画になかったスパースセンサ位置最適化を行い、スパースプロセッシング PIV (粒子画像速度計測法) を開発して、リアルタイムデータ同化の実現可能性を示したことは評価できる。領域内外の研究者との連携により、問題解決が図られ、計測と情報とが融合した流体最適化制御研究が進められた点も評価できる。

一方、本研究期間中に得られたセンサ最適位置は空間に浮いており、シミュレーションに対してのみ有効な結果であるため、今後は実時間フィードバック制御を実現するための更なる研究を期待する。

9. 松永 康佑 研究者 「生体分子動態解析のためのデータ同化基盤の開発と応用」

本研究は、生体分子シミュレーションと計測データを融合させて分子構造情報を伴った動的プロセス (動態) のモデリングを実現することで、これまで見えなかった構造変化プロセスや分子認識における中間構造・パスウェイおよびメカニズムを解明することを目的として行われた。

その結果、大規模分子動力学シミュレーションによるタンパク分子の機能性に関するシミュレーションと活性状態のモノマー距離の時間変化を、マルコフ過程モデルとデータ同

化を駆使して繋ぎ、タンパク質の構造変化解析に成功した。さらに研究の後半では更なる汎用化を目指して、計測データとして高速 AFM データを用いた解析を試み、一定の成果を出しつつある。データ同化手法としては、当初想定したマルコフ状態モデルを超えて、よりミクロな力場パラメータへのフィードバックを目指したデータ同化手法へと進展させつつある。データ同化によって、蛋白質の新しいフォールディングパスが提案されるなど、本研究によって初めて得られた知見があり、蛋白質科学的に新しい展望が広がったと考えられ、高く評価できる。

今後は、本さきがけ研究で得られたタンパク分子の解析を、病態の分子理解や創薬などへの展開へと繋げることを期待する。

10. 渡辺 義浩 研究者 「スパースモデリングと動的光線制御による視覚的質感の高速計測」

本研究は、これまで困難であった高速かつ高解像度な視覚的質感の計測手法を、情報科学との融合によって、計測回数を最小化しつつ質感の再現性を極限まで高めることを目的として行われた。

多自由度照明システムとベイズ最適化を利用したサンプリング設計および機械学習を用いて、視覚的質感である反射特性を高速に計測・解析する装置と手法の研究を推進し、150 万次元を 1 秒で測定できるハンディタイプの測定・解析装置を開発した。当初計画では照明・観測方向の自由度を最大化した計測システムの開発を予定していたが、エンドユーザへのヒアリングに基づき、小型化を目指す方向に計画変更した結果、広範な応用が期待できる研究成果が得られたことは高く評価できる。

少数サンプリングによる質感の高精度表示によって、人間の質感知覚メカニズム研究の基盤ともなり得る成果を得たことは基礎研究として重要であり、また質感の研究は文化、芸術、哲学、医療等、実に幅広い応用展開が考えられ、今後、そのインパクトは広範囲にわたると期待される。

<2017 年度採択>

1. 木寺 正平 研究者 「超高精度画像化法と多偏波解析による誘電率推定を統合した革新的マイクロ波イメージング法の創出」

本研究は、マイクロ波、ミリ波、テラヘルツ波等の高周波電磁波センシング技術における独創的な画像解析アプローチに基づく高度データ抽出により、多様な情報を統合した革新的イメージングシステムの研究基盤を構築することを目的として行われた。

マイクロ波非破壊検査（コンクリート内部亀裂探知）における内部目標識別において、独自のレーダー画像化法（RPM）とトモグラフィ法である CSI 法を統合し、複素誘電率と ROI（目標のサイズ・位置）の両方を高精度に推定する双方向処理を実現させた。他に類をみないアプローチであり、実機実験で実証したのは本研究が世界で初めてである。

災害現場や自動運転等での近距離レーダーによる人体検出においては、自動車運転時に

おける見通し外環境下の人体と人口構造物からの回折波を機械学習で識別させ、完全な遮蔽状況下で識別率 80%を達成させた。同成果は、自動運転における影領域での衝突回避システムセンサとして有用である。

テラヘルツ波帯での高分解能画像化法の構築においては、分光情報を導入した画像化法を構築し、その有用性を実機実験により示した。また多層構造を想定した複素誘電率推定法を導入し、超分解能かつ高精度な多層構造誘電率分布推定法を提案し、数値計算によりその有用性を確認した。

本研究は、論文・口頭発表数も多く、受賞も多くなされており優れた成果を挙げたと評価できる。また本課題を基盤としたプロジェクトにより、競争的研究費及び受託研究を複数件獲得しており、今後の更なる進展に向けて顕著な進捗が得られたと評価できる。社会的要請の高いテーマに対して、データ科学による解析手法によって高精度化、高度化を実現しており、今後の社会実装に期待する。

2. 木村 隆志 研究者 「ビッグデータアプローチによる X 線レーザーイメージングの高度化」

本研究は、X線自由電子レーザー (X-ray Free-Electron Laser: XFEL) によるフェムト秒のシングルパルス計測を、取得した大量データを高精度・高効率に解析可能とする情報処理技術と組み合わせることによって、液中における試料の特異構造を高空間分解能に観察可能な新たな顕微イメージング技術の開発を目指して行われた。

XFEL での計測に利用する高集積度溶液試料ホルダと、コヒーレント回折パターンの高精度データ解析アルゴリズムの開発を行うとともに、SACLA での液中試料イメージングの実証に成功した。半導体プロセス技術を活用した新たな溶液試料ホルダ構造を考案・作製するとともに、原子散乱モデルに基づいた X 線回折シミュレーションを用いたコヒーレント回折パターンの識別・高精度化アルゴリズムを作成した。

従来観察困難な対象を高分解能イメージング可能にし、溶液環境と切り離せない化学反応、例えば新規ナノ粒子の合成手法の開発などへのインパクトは大きいものと考えられる。

本研究は、情報と計測の融合によって成果を挙げたものであり本研究領域の趣旨を具現化したものと評価できる。溶液中の構造をナノレベルの空間分解能とフェムト秒の時間分解能で測定する技術は、マテリアル科学、化学、生命科学の幅広い基礎科学分野で有用であり、従来法では計測できなかった未知の現象を捉えることが可能になることが期待される。将来は医療等への応用も期待され、基礎科学と社会実装の両方の面で今後の発展が大いに期待される。

なお、本研究は新型コロナの影響による試料作製遅延、実験中止があったため、「新型コロナウイルス支障対策のための延長支援制度」を活用し、当初 2021 年 3 月 31 日終了から 2021 年 9 月 30 日終了に 6 ヶ月間研究期間を延長した。この延長期間を活用し、研究期間内に未実施であった生体試料に対する XFEL 顕微イメージングを試みるとともに、回折強度の

弱い生体試料を計測するために、新たに SACLA の軟 X 線ビームラインである BL1 を利用した実験系を構築した。計測対象とした細胞株の温度感受性が想定以上に高く、生きた状態での観察には至らなかったが、液中細胞の観察にも成功し、今後新開発の分光素子と組み合わせたフェムト秒顕微分光イメージングの実現を目指していく方向性が得られた。

3. 中西 義典 研究者 「再標本化による情報計測のためのデータ駆動診断法開発」

本研究は、情報計測の限界を見極め、その成否を診断するためのデータ駆動診断法を開発することを目的として行われた。

データ駆動診断法の開発においては、計測・解析課題に対して情報科学・統計数理手法を適用するという情報計測の枠組みについて、その成否を診断する手法やその限界を定量化する手法を提案し、データさえあれば実行可能な交差検証を応用することにより、計測対象のスパース性に関する事前知識を用いることなく信号復元の成否を診断する手法を開発した。また、計測対象に顕著なスパース性が確認できる場合に、簡便に推定アルゴリズムのハイパーパラメータを決定する手法の開発という副次的な成果も得た。

結晶構造解析にベイズ推論を適用するという情報計測の枠組みにおいては、計測データに基づいて構造モデルを最適化するとともに、最適な構造モデルの不確かさを定量化する方法を開発した。

本研究の成果として、スパースモデリングによる圧縮センシングに対してデータ駆動診断法を開発したことは理論的に重要な成果であり、圧縮センシングの分野にデータ駆動診断という新たな理論的研究の方向性を提示した点は画期的である。また、このことは戦略目標が掲げる「より少ないデータからの情報再構成技術」や「計測限界を定量的に評価できる枠組み」の構築に資するものである。

また、様々な計測アプローチの研究者と連携・共同研究が進んだことは評価できる。領域が開始した後に新たに着想した領域内共同研究も数多くあり、論文掲載にも結びついている。さきがけ研究者として分野を跨いだ人脈を築けたことは大きな成果と言える。

4. 中村 和幸 研究者 「データ同化モデリングの自動化原理開発によるハイレベル予測発見手法の構築」

本研究は、数理科学・統計科学・データ同化の3つの分野における手法を融合した手法を開発することで、これらの問題を解決する枠組を構築し、時空間計測データから高度なデータ同化を実施できるようにすることを目的として行われた。

数値シミュレーションと計測データを融合するデータ同化の自動化原理開発においては、local translation error (LTE) 解析のデータ同化手法への展開、データからの機能モデル構築、不確かさの設計・事前分布の検討、ベイズ統計手法による各要素項目の統合を行った。

LTE 解析については、シミュレーションモデルを用いた検討により、LTE 解析により時間局所的な非線形性を得られること、推定における安定性の情報を得られることを確認し、

LTE 解析が将来的なデータ同化アルゴリズム切り替えのためのツールの一つとなることの示唆を得た。

機能モデル構築においては、LSLOCK (locally and spatially uniform linear operator construction with the Kalman filter) を構築し、短時間予測について提案した機能モデルを用いることの有効性を確認した。

事前分布の検討においては、不確実性を十分表現できないシステムノイズでは、定性的な状況の再現はできるが、定量的には不適切な推定結果となることを確認した。

これらの要素項目のベイズ統計による統合については、整備手法の LSLOCK の実時間性について確認した。

実問題への応用においては、気象レーダーデータ、生命科学モデル、高速 AFM データへの適用を進めるとともに、領域内外のデータ同化モデル、特に気象レーダーデータや擬似 AFM データへの適用において、これまでに整備した手法により適切なフィルタ推定値が得られることを確認した。

データ同化手法の研究展開として、本さがけ領域内での複数の連携研究が実施され、本 CREST・さがけ複合領域の CREST チームとの共著の成果を実現した。また領域外でも他のさがけ研究領域の研究者との連携や、データ同化に関する企業との連携につながった。領域全体の進展に共同研究を通して貢献した点が評価できる。

今後は、当初想定したほぼ自動的に高度なデータ同化を実現できるような統合化された汎用的システムの構築を目指して研究を継続することを期待する。

5. 成田 憲保 研究者 「多色同時撮像観測と高精度解析による第二の地球たちの探査」

本研究は、独自開発の多色同時撮像カメラ (MuSCAT シリーズ) を用いて、2018 年 4 月に打ち上げられた NASA のトランジット惑星探索衛星 TESS が発見したトランジット惑星候補の集中的な発見確認観測を行い、ガウス過程やマルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法などの統計手法を取り入れた時系列データの解析を通して、新しい地球型惑星 (特に主星からの距離がちょうど良い「生命居住可能惑星」) の発見とその惑星の物理的情報を得ることを目的として行われた。

観測装置の整備、リモート観測環境の整備、解析環境の整備においては、ガウス過程を取り入れた解析によって期待通り系統の変動を取り除くことができ、MuSCAT2 によって地上最高レベルの測光精度 (0.1%未満の明るさの変化を測定できる精度) を 4 色で同時に達成できることを実証した。

2019 年から MuSCAT シリーズを使った集中的な発見確認観測を行い、本研究で実施したトランジット惑星候補の観測をもとに地球のように岩石を主体とした地球型惑星を複数発見し、その惑星の公転周期・質量・半径などの物理的情報を得た。これらの地球型惑星は、将来の惑星大気の観測に適したターゲットになると期待されている。

当初予期していなかった追加の成果としては、赤色矮星を公転する周期 1 日程度の複数

の巨大惑星（これまで発見されていなかった周期と半径のパラメータ領域にある）の発見や、白色矮星（太陽のような恒星が寿命を終えた後に残る天体）を公転する巨大惑星の発見など、従来の常識から外れた惑星の発見も行うことができた。

本研究を通して世界の天文学コミュニティにおいて MuSCAT シリーズの知名度が高まり、幅広い国際共同研究につながったことは、当初の想定を超えて新たな国際共同研究を開拓する波及効果があり、評価できる。また、書籍の発刊や国際メディアによる特集等を通じた研究成果の発信活動により、社会への波及を積極的に進めたことも評価できる。

2020 年度より共同 FS 制度を活用した研究協力により、今後、機械学習による解析の高精度化と高速化の両立と自動化を進めていくことを期待する。

なお、新型コロナウイルス感染症の影響を受けたため、「新型コロナウイルス支障対策のための延長支援制度」を活用し、当初 2021 年 3 月 31 日終了から 2021 年 9 月 30 日終了に 6 ヶ月間研究期間を延長し、2020 年度に実施できなかった春夏シーズンの観測を実施し、特に赤色矮星周りの生命居住可能惑星候補の発見確認観測に取り組んだ。また、引き続き成果の論文化に取り組み、延長期間中に 13 編の査読付き論文を追加で出版決定した。さらに、計画外の試みとして、機械学習の導入を進めた。

6. 星野 学 研究者 「高分解能データの統計的推定による超高精細結晶構造解析の開拓」

本研究は、発生可能な「結晶学と統計数理・情報科学の融合技術」を開発し、計測困難な回折データを補完した結晶構造解析を実行可能にすることを目的として行われた。

回折データ発生モデル（任意の分解能の強度の回折データの検出を確率で表現した分布）の構築においては、本研究で開発したベイズ推定技術が、少ない回折データからであっても結晶構造解析結果に対応した試料固有パラメータの推定値を与えることを確認した。

回折データの指数の数理最適化においては、回折データの強度発生を行った上、最適化計算によって得られた回折データセットを結晶構造解析に利用することにより、電子密度分布において原子位置のピークが先鋭化したことを確認した。

以上により、高分解能回折データの欠損（級数打ち切り効果の影響増大）によって低下した原子位置精度の向上を達成した。さきがけ研究者との連携研究により、先端的な計測と情報が融合した研究が進められた点が評価できる。

今後は、研究成果の積極的な発信に努めることを期待する。

なお、新型コロナウイルス感染症の感染拡大の影響による研究遅延を補うために、「新型コロナウイルス支障対策のための延長支援制度」を活用し、当初 2021 年 3 月 31 日終了から 2021 年 9 月 30 日終了に 6 ヶ月間研究期間を延長した。延長期間では、計測実験条件の制約によって高分解能データが欠損するシングルショット X 線回折計測実験を実施した。当該計測実験を放射光施設にて実施するまでの準備期間には、タンパク結晶試料から計測した回折データに対して本研究課題で開発した融合技術の適用も並行して行った。

7. 松岡 大祐 研究者 「気象ビッグデータからの極端現象発生予測 ～台風のタマゴ発見から豪雨予測まで～」

本研究は、データ駆動型アプローチ（ビッグデータと機械学習）とプロセス駆動型アプローチ（気象モデルによるシミュレーション）の融合による気象予測の高度化を目指し、熱帯低気圧および豪雨予測を対象として行われた。

熱帯低気圧の予測においては、過去 30 年分の気候シミュレーションデータを用い、深層畳み込みニューラルネットワークを用いた機械学習によって熱帯低気圧発生の予兆となる雲分布の特徴量を抽出し、その早期検出を可能にする技術の構築に成功した。

さらにその研究を雲画像データにおける不均衡な 2 クラス分類問題に置き換え、多数派クラスのデータ選別および少数派クラスのデータ拡張、重み付き誤差関数などに基づく高精度なクラス分類手法を開発した。

停滞前線の抽出においては、観測データに基づく大気再解析データおよび現業機関において予報官が手動作成した天気図データを用い、降雨の原因となる停滞前線を機械学習によって自動的に抽出する手法の開発に成功した。

大気重力波のパラメータ推定においては、本研究領域の CREST 佐藤チームとの共同研究により、深層畳み込みニューラルネットワークを用い、高解像度の重力波フラックスの分布を推定する手法を開発し、特に山岳を風が乗り越える際に発生する地形性重力波による細かいスケールの重力波フラックスの分布を精度よく推定することに成功した。この成果は国際的に高く評価された。

本研究は、計測と高度情報処理が融合したものであり、戦略目標に資する社会的意義の大きな研究が進められたことが評価できる。

なお、新型コロナウイルスの影響による共同研究先のスーパーコンピューターの利用規制のため小・中規模計算機を代替利用に伴う結果取得遅れと全体計画遅延を補うため、「新型コロナウイルス支障対策のための延長支援制度」を活用し、当初 2021 年 3 月 31 日終了から 2021 年 9 月 30 日終了に 6 ヶ月間研究期間を延長した。延長期間を利用し、スタイル変換を用いたシミュレーションデータおよび観測データの融合解析技術を、台風発生の予兆検出や養殖生簀におけるバイオマス推定等に適用し成果を得た。

8. 宮脇 陽一 研究者 「高時空間分解能脳情報解析による自然条件下での実世界認識ダイナミクスの研究」

本研究は、自然な画像を自然に観察した際のヒト脳活動を、低拘束性と精密性という相反した状況下において高時空間分解能で計測および解析を可能にする基盤技術を確立することを目的として行われた。

実験技術の確立においては、眼球運動信号と MEG 信号を同時計測可能にする実験系の構築に成功し、眼球運動課題下での脳活動信号を高時間分解能の計測を可能とするとともに、静磁場強度 7T の超高磁場 MRI を使った超高速 fMRI 計測の技術を新たに確立した。さらに

画像データベースを活用した新しい実験デザイン、ならびに意味や画像的文脈を排した画像特微量のみを純粹に提示することを可能にする画像刺激の作成手法の開発に成功し、これらを組み合わせることにより、実験デザインと計測の両側面において全く新しい実験を実現した。

解析技術の確立においては、MEG 信号源推定における情報拡散現象の定量化手法を確立し、従来のMEG信号源推定手法の問題点を新しい視点から提言することに成功した。さらにfMRI信号が潜在的にもつ神経活動に関する情報を従来に比べ高い時間分解能で引き出す新しい解析方法を示すことに成功した。

これら基盤技術の応用により、高次画像特微量に対する時空間的視線誘引性の発見、視覚野における物体画像情報表現潜時と眼球運動潜時の時間関係の発見、脳血流動態反応潜時と独立した神経情報表現の同定に成功した。

情報科学との融合により従来計測の限界を突破し、脳科学の基本問題の探究に果敢に取り組む成果を挙げたことは評価できる。

本研究に取り組む中で、新たに着想した超高磁場fMRI信号の超高速計測実験への取り組みをきっかけとして、さきがけ研究期間中にNIH（アメリカ国立衛生研究所）に留学する機会を得たことは、研究者の今後のキャリアにおいて大変有用であった。

今後は、研究成果の積極的な発信に努めることを期待する。

なお、新型コロナウイルスの影響による実験施設への入構制限やヒトを対象とした被験者実験が困難なため一部の検証実験や計測実験が未実施となっており、これを補うため「新型コロナウイルス支障対策のための延長支援制度」を活用し、当初2021年3月31日終了から2021年9月30日終了に6ヶ月間研究期間を延長したが、延長期間中も引き続き実験の実施は限定的にならざるを得なかったため、シミュレーションや解析を中心に研究を実施し、機能構造化モデリングの階層化と信号パターン復元精度の定量化、超高速計測された超高磁場fMRI信号からのスパースモデルによる血流由来成分の同定、MEG信号と眼球運動計測の同時計測実験の追加実施をし、今後の研究に有用な知見を得た。

9. 森下 喜弘 研究者 「高度情報処理技術を用いた器官発生過程の再構築、予測、操作」

本研究は、細胞集団の自己組織的な形態形成・空間パターンニングの研究において典型的に現れる2種類の細胞運動データへ統計的・機械学習的手法を応用し、背後にあるメカニズムを解明することを目的として行われた。

形態形成研究においては、心臓初期発生過程に関して、組織動態を表すテンソル量を個々の細胞プロセスへの寄与へと定量的に分解することで、組織動態と細胞動態の関係性を明らかにし、特に心臓初期発生で生じる原始心筒のルーピングの仕組みとして、従来モデルで想定されてきたダイナミクスとは異なる新規メカニズムの発見へとつながった。また、四肢発生過程に関しては、相同器官形成過程における種間比較(ニワトリ・カエル)を目的とし、現象を記述する適切な座標系を新規導入することで、種を超えて保存されたダイナミクス

の存在を明らかにし、さきがけ研究開始時点では想定していなかった新規性・独創性の高い主要な成果を得た。

パターン形成過程研究においては、軟骨パターン形成過程を対象として研究を行った。ニワトリ胚を用いた高分解能イメージング系を確立し、画像解析技術により、各細胞軌道の検出に成功した。

今後は、検出された細胞軌道データを基に数理モデルとデータ同化することで、背後にあるパターン形成メカニズムの研究の進展が期待される。

本さきがけ研究の成果の展開を1つのコアプロジェクトとしたCREST研究課題が採択され(2020年11月よりスタート)、今後も引き続き形態形成研究を継続し、生物学に残された大きな課題の一つである「我々動物の形がいかにして作られるのか」という問いを解き明かすべく更なる発展が期待される。また、形態形成研究は次世代再生医学とも密接に関連するため、得られた成果は医療応用という形で社会へとフィードバックされることが期待される。

10. 山崎 裕一 研究者「スパース位相回復法によるコヒーレント軟X線オペランド計測」

本研究は、材料・デバイスが動作している最中の電子状態変化を観測するオペランド(動作環境下)計測の新しい技術として、放射光施設やX線自由電子レーザー(XFEL)から発生するコヒーレント(可干渉)な軟X線による実空間イメージング技術を開発することを目的として行われた。

複数の顕微手法を簡便に切り替えて試料を観測できる軟X線顕微鏡のシステムを構築し、数十ナノメートル程度の空間分解能を有することを実証した。

回折図形から実空間像を再構成する位相回復アルゴリズムにおいて、計測試料の事前情報をスパースモデリングによって組み入れたスパース位相回復法を開発し、計測ノイズや情報欠損を含むような低精度の計測データからも必要な情報を抽出できる解析手法を確立した。

これらの計測装置と解析手法を用いて、軟X線回折の干渉による位相や光渦の観測、トポロジカル磁性体や強磁性体材料において熱揺らぎによって安定化するトポロジカル安定性や磁気スキルミオンの粒子半径の変化に伴う構造相転移現象など、新しい物性現象の観測に成功した。

先端計測手法と高度情報処理技術の融合という観点で、世界に類を見ない測定装置を一から開発し、先端的な研究成果を得られた点は評価できる。特に、領域内のスパースモデリングに関する研究者との共同研究プロジェクトの推進により、スパースモデリングを活用した解析手法の開拓と実証を行い、物性を捉える技術に関して優れた結果を得た点は高く評価できる。

<2018年度採択>

1. 石川 亮 研究者 「オンライン自動収差補正による 3 次元電子顕微鏡法の開発」

本研究は、原子レベルでの究極的な点欠陥構造解析を目指した大収束角 STEM 法を実現するために、自動収差補正手法や画像解析技術の開発を行い自動計測と画像解析を高度に融合し、これまでにない精度での点欠陥構造や原子レベルでの立体構造への応用を目的として行われた。

原子像から残留収差を最小化する手法の開発を行い、数分程度で残留収差を最適化することを可能とし、大収束角を利用した原子分解能顕微鏡法の利用が実現した。本手法を応用し、単原子ドーパントを用いた深さ分解能評価法を新たに提案し、63mrad の最大収束角を用いることにより、世界最高の 2.1nm の深さ分解能を達成した。また、最高深さ分解能の光学系を用い、統計的解析により 3 次元原子分解能観察を実現し、深さ断層法による酸化物表面構造解析を行った結果、 $\pm 0.9\text{\AA}$ の誤差で表面高さの決定に成功し、酸化物表面の観察で新たな知見が得られた。

本研究は主として計測に重点が置かれ、情報の比重はやや低いものの、空間解像度の向上を達成した点は高く評価できる。当初計画にあった原子レベルでの点欠陥の観察には至らなかったが、研究計画が適切に見直され、着実に研究を実施して論文発表が行われたことは評価できる。企業との共同研究開発により実用化も進んでいる点も評価できる。

引き続き他の研究費の支援も受けられるようなので、さらなる発展を期待したい。研究を継続することにより標準技術として商用機に取り入れられていくことを期待する。その為にも、また論文ではカバーできない研究成果の権利もあるので、研究成果の知財権利化を進めることが望ましい。

2. 加藤 健一 研究者 「データ駆動型全散乱計測に基づく不均質現象可視化システムの開発と応用」

本研究は、局所構造解析ツールとして認識されてきた放射光全散乱（ブラッグ反射＋散漫散乱）計測に基づく原子二体分布関数（Atomic Pair Distribution Function: PDF）解析法を、「個々の平均像」を原子スケールで明らかにする不均質現象可視化システムへ転換し、「真」の全散乱 PDF 法を実現することを目的として行われた。

統計アプローチと情報アプローチを融合することによって実現したデータ駆動型全散乱計測により、最大 500Å の範囲を 0.1Å の分解能で議論できる原子二体分布関数（PDF）が得られるようになった。このような PDF からナノ結晶粒内の格子歪み分布の情報を引き出すために、新たに定義した格子変調関数を軸とする不均質現象可視化システムを構築した。このシステムを水素吸蔵金属である Pd のナノ結晶に応用した結果、水素吸蔵前でも粒径によって歪み分布に大きな差があることがわかった。いずれも水素吸蔵によって歪み分布の偏りが緩和される方向に変化し、特にサイズ効果が顕著な 10nm 以下では大きな緩和を示すことも明らかにした。

独自の計測技術である OHGI の性能を最大限高める情報手法 ReLiEf 法の開発は、本情報

計測分野の最大の成果の一つである。一連の研究は完成度が高く、計測と情報の融合により従来の限界を突破し、それを実材料の分析において実証するという、本研究領域の趣旨を実践したモデルケースと言える。

本課題は、さきがけならではの論文が多数出ていることも高く評価できる。開発された全散乱計測システム OHGI や X 線検出器の感度ムラの補正法 ReLiEf は、SPring-8 BL44B2 においてユーザー利用も開始されており、また、海外の放射光施設への導入も検討されている。社会的にも重要なものであり、今後より広く活用するための取り組みを期待する。

3. 阪本 卓也 研究者 「生体信号の数理モデルと電波センシングを融合した人体の非接触バイタルイメージング」

本研究は、電波計測により人体全身の脈波伝搬を非接触計測する技術を開発することを目的として行われた。

本課題では、一貫して非接触の脈波計測をターゲットとして研究を推進し、非接触で全身の脈波伝搬を高分解能でイメージングすることに向けた研究が行われた。複数のアンテナ素子を有するアレイレーダを用いて人体の複数部位の脈波による皮膚変位および脈波伝播についての事前知識を数理モデルとして定式化し、数理モデルを用いた信号分離法（生体成分分析）を開発し、従来の計測限界を超える性能を実現した。また、モデル精密化及び生体成分分析の最適化に用いる決定変数の次元削減のため、生体成分分析の改良を進めた。勾配法などの局所的最適化により、高速かつ高精度な信号分離を実現し、生体成分分析の高速化を達成した。さらに、生体成分分析により得られた復元行列を実空間にマッピングし、複数の角度スペクトルの情報を統合することにより、高分解能イメージングを可能とする生体成分分析イメージング法を開発、同手法により算出された脈波速度とイメージング結果を統合することにより、脈波速度の人体に沿った分布を可視化できる脈波イメージング法を開発し、これら開発手法の精度を複数の被験者が参加する実験により定量評価し、有効性を明らかにした。

独自のアレイレーダによる生体計測法に、あらたに生体成分分離といういわばモデルベース解析法を開発、投入することで、当初目標をほぼ達成したことは高く評価できる。成果の一部は「非接触見守りセンサ」として社会実装され、また、将来の社会実装に向けて様々な応用分野の模索と共同研究の実施に着手するとともに、当該分野の底上げも志向したコンソーシアムも立ち上げるなど、精力的に研究・活動を行ったことは評価できる。特許出願、企業との共同研究、メディアを通じた広報など、成果のアウトリーチを進めつつ、本課題独自の論文発表も行っていることも評価できる。

4. 玉井 康成 研究者 「スパース解析と遺伝的アルゴリズムの融合による新奇スペクトル分離手法の開発」

本研究は、複雑にオーバーラップした観測データを個々の過渡成分に関する情報（スペク

トル、キネティクス)に分離する手法として、特に有機物のようなディスオーダー材料において頻繁に観測されるスペクトルシフトまで含めたスペクトル分離手法を開発することを目的として行われた。通常の過渡吸収分光装置の性能および従来の解析手法では有機薄膜太陽電池の内部動作メカニズムを解明するには不十分な課題に対し、種々の正則化を過渡吸収データの解析に用いることでその克服を目指したものである。

超微量シグナル計測の実現については、Total Variation 正則化により過渡吸収データのノイズが効果的に除去できることを示し、ハード面の改良と併せて $OD < 10^{-5}$ の検出感度を達成した。コヒーレントアーティファクトの除去については、Robust Principal Component Analysis (RPCA) 法によりシグナルとコヒーレントアーティファクトを分離できることを示した。スペクトル分解アルゴリズムの開発においては、スペクトル辞書を用いて過渡吸収データを Fused LASSO 法で解析することでスペクトルシフトまで含めてスペクトル分割可能であることが確認された。オフセットレス電荷分離メカニズムの解明及びその他材料研究への応用においては、上記の手法が材料研究に有効であることを種々の実例を用いて示した。有機薄膜太陽電池に対する過渡吸収分光 (TAS) データの解析では、全ての過渡種の大まかなスペクトル形状の事前知識が必要となるものの、Fused LASSO によるスペクトル分離法、TV 正則化によるノイズ除去法や、RPCA によるコヒーレントアーティファクト除去法も開発された。有機薄膜太陽電池におけるオフセットレス電荷分離メカニズムなどに関する論文が発表されるなどの成果が得られた。

本研究によって過渡吸収分光法の精度や解析手法が格段に向上し、これまで見えなかった微弱な過渡種の時間発展が追えるようになった点は大きな進歩である。また、既に様々な太陽電池材料への応用が進んでおり、オフセットレス電荷分離に関する新しい知見など、重要な成果が得られていることも特筆に値する。既存の情報技術を課題に応じて適切に選択しながら、所望のノイズ除去や成分分離を達成しており、材料研究の基礎研究の効率化に資するモデルケースになるような研究成果であると評価する。

ただし、スペクトル分解は広範な応用が期待されるテーマであるが、開発された手法は TAS に特化したものとなった。このため、連携研究や融合研究は限定的であった。今後は、有機材料以外にも、酸化物誘電体など最近注目を集めている材料への応用が進展することを期待する。

5. 徳永 旭将 研究者 「学習型動態モーフィングによる神経間シグナル伝達特性の解明」

本研究は、自然科学での様々なイメージングデータから、従来の限界を超えて緻密な動態を推定するためのモーフィング技術を確立することを目的として行われた。

メインテーマとして、神経活動のイメージングに広く用いられてきた Ca^{2+} イメージングに加え、ロドプシン型膜電位センサを特定の細胞に発現させ、細胞追跡や姿勢補正、セグメンテーション、クエンチング補正などの動態モーフィングパイプラインと組み合わせることで、外部刺激に対応する膜電位・ Ca^{2+} 濃度の変化を同時にイメージングする計測系を確立

した。サブテーマとして展開したオーロラ全天カメラのイメージングデータ解析では、脈動オーロラの自動追跡など、神経科学とは異なる分野の動態解析技術を開発した。メインテーマとサブテーマから派生したテーマとして、正常サンプルの教師なし学習で得られた異常度マップを、視覚注視機構として異常検出に活用する技術:Layer-wise External Attention Network (LEA-Net) を開発した。

本課題は、当初は動態モーフィングの技術開発がメインテーマで、その応用として神経伝達機構、特に刺激に対するギャップ結合と科学シナプス結合の識別が目標であった。しかし研究開始後は、当初計画していたカルシウムイメージングに加えて、膜電位とカルシウムの同時イメージングの実現が主要課題となった。必要とされる画像処理ツールの開発方針も変わったが、結果として高精度の膜電位計測が可能となり、神経科学的な多くの新しい知見が得られた。

開発された画像解析技術である CoSPA および LEA-Net は、汎用性があり、産業応用に向けた取り組みが行われたことは評価できる。また、波及効果として AI を活用した画像処理による半導体検査などへの貢献についても評価したい。一方で、論文発表が少ない点が問題なので、今後の努力に期待したい。

6. 西川 悠 研究者 「魚群探知機とバーチャル生簀の融合による養殖魚計測技術の開発」

本研究は、魚群探知機のエコー画像から生簀中の養殖魚のバイオマスを推定することを目的として行われた。

養殖生簀中の魚の動きの再現については、ブリの養殖生簀において、ブリがどのような形状の群れを形成し、どのような遊泳速度で泳ぐかを調べるため、カメラや流速計などの各種センサを用いて観測を行い、この観測データに基づき、魚群行動を再現するシミュレーションモデルを構築した。魚群探知機のエコーシミュレーション技術の開発においては、魚群探知機が超音波探査によって魚を検出するメカニズムをシミュレーションによって再現し、生簀に設置した魚群探知機から得られるエコー画像を仮想的に生成するバーチャル生簀を構築した。さらに、バーチャル生簀により生成したエコー画像に対して機械学習によって開発した推定器を、実際に生簀で取得したエコー画像に適用し、個体数と体重分布の推定精度を検証した。その結果、個体数については誤差 3%以下で推定することに成功し、実際のエコー画像からの推定に関しても、誤差 2%程度と目標を達成できた。一方、体重(体長)の推定はバーチャル生簀のシミュレーション画像ではうまくいったものの、実際のエコー画像では見通しが立っていない。

本課題は、対象が急速に動くという点、および検出手段が魚群探知機という必ずしも最先端機器ではないという点で(このことは本技術の現場での展開・普及の観点からは重要)難度が高い課題である。実用化にはまだクリアすべき課題は種々あるが、民間企業のニーズに近いところに位置する研究であり、今後の発展と、そこからの社会貢献が期待される。民間企業や水産工学分野の研究者との共同研究も実施し成果を出すとともに、研究推進のため

に人脈を形成したことは評価できる。今後は学会・論文発表等、成果発表にも力を入れて進められることを期待する。

7. 林 久美子 研究者 「非平衡統計力学に基づく軸索輸送動画解析の医療応用」

本研究は、蛍光イメージングで得られる軸索輸送動画の非平衡統計力学解析から、分子モーターの情報（力・速度・個数）を引き出し、神経疾患の分子メカニズムを解明することを目的として行われた。

マウス神経細胞と線虫神経細胞において、蛍光顕微鏡を用いて KIF1A 野生型が担うベシクル輸送の蛍光顕微鏡動画を非侵襲力測定法によって解析し、軸索輸送活性を定量する物理パラメータ（輸送力や輸送を担う分子数）の計測に成功した。遺伝性痙性対麻痺を対象とし、麻痺の原因である KIF1A 変異体によるベシクル輸送の蛍光顕微鏡動画を非侵襲力測定法を用いて解析し、疾患が及ぼす軸索輸送活性を定量する物理パラメータの変化を捉え、KIF1A 変異体によるベシクル輸送で輸送力低下と分子数増加を検出した。これにより、非侵襲力測定法は新しい物理量の計測を可能にし、神経疾患の分子メカニズムを調べるツールとして有用であることを示した。

このように、非平衡統計力学に基づき軸索輸送運動を解析し、独創性の高い研究課題に果敢に取り組んだ結果、複雑な非平衡環境にある細胞内で困難であった物理パラメータ（輸送力や輸送を担う分子数）を計測することに成功した。また、蛍光顕微鏡動画を用いた独自の非侵襲力測定法を開発し、ソフトウェアをオープンソースとして公開するなど、種々の成果を出すに至った。

非平衡統計力学の基礎生物学への適用はこれまでも研究があったが、医学への応用も見据えた研究は世界的に見てもほとんど例のない、まさにさきがけ的な研究が行われたことは評価できる。最終目標は医療応用とされており、今後、実績と成果のアピールを進めるよう期待したい。

8. 平松 光太郎 研究者 「任意のスペクトル次元を測定できる functional Raman 分光法の開発」

本研究は、情報科学的アプローチに基づくレーザーパルス整形技術を活用し、1回（または数回）の測定で生体機能と最も相関の大きい情報だけを取得する手法（functional Raman: fRaman 分光法）の開発を目的として行われた。

解析による有意なスペクトル特徴量の抽出については、実際の計測でターゲットとなるスペクトル成分を抽出するための枠組みを構築した。多数細胞（ユーグレナ細胞、ヘマトコッカス細胞）のフローサイトメトリー計測データから、ターゲットとする高付加価値分子のスペクトル成分を抽出することに成功した。fRaman イメージング法に関しては、開発した fRaman 分光法を顕微イメージング光学系と融合することで高い空間分解能でイメージング計測を行う手法を構築し、ポリマーブレンドを対象としてビデオレート fRaman イメージン

グを実証した。fRaman フローサイトメトリー法の実証においては、fRaman 分光法とマイクロ流体デバイスとを融合することで大規模細胞計測を行う事を目指して研究を実施した。半導体プロセスによってシリコン基板上に流路を作成し、音響波を印加することで細胞を精密に整列させた。また、Raman タグマイクロビーズを合成し、毎秒 20~30 細胞程度の高速計測を実現した。

スパースモデリングによるスペクトル復元については、圧縮センシング技術を導入することで、Nyquist 限界以下でのサンプル数でラマンスペクトルの復元が可能であることを実証した。fSorter の開発においては、マイクロ流路内に機械学習によって最適化されたパターン照明を照射することで、形状選択的な細胞分取が可能であるという仮説のもとに装置及びアルゴリズムを開発し、今後の研究に向けた基盤を構築した。

本課題は挑戦的な研究であり、がん・非がん識別までは至らなかったが、装置開発は計画以上に順調に進展した。また、データ処理技術開発についても妥当なレベルで進展した。発表論文にはハイインパクトなものも複数含まれており、研究成果は高く評価できる。領域内の連携を進めた点も高く評価できる。fRaman 分光法を開発し、新たにフローサイトメトリーとの組み合わせによるハイスループット解析法を実現したことは実用上も重要な結果である。フローサイトメトリーは様々な応用の可能性のある技術であり、今後の展開が期待される。

9. 松岡 里実 研究者 「データ同化による 1 細胞内自己組織化過程の全可視化」

本研究は、細胞内で起こる自己組織化現象の計算機シミュレーションによる再現を、データ同化を利用して生細胞内 1 分子イメージング計測に基づいて達成することを目的として行われた。

自発的に運動する細胞の前後極性の形成に伴う細胞内自己組織化を担う分子反応ネットワークは興奮系と双安定系から構成されることを明らかにした。また、細胞膜上の高密度領域の空間分離の過程を、分子の反応と拡散を 1 分子ごとに計算する 1 分子粒度シミュレーションによって計算機内で再現することに成功した。さらに、当初の計画にはなかったが、1 分子イメージング計測のハイスループット化のため、細胞内 1 分子自動観察システムを構築した。1 つの細胞の細胞膜上に存在する酵素分子の個数を計測するために、超解像顕微鏡法の一つである光活性化局在性顕微鏡法 (Photo-Activated Localization Microscopy: PALM) を導入した結果、興奮系の中心的分子が細胞膜上で集積してクラスター様に分布することを明らかにした。

1 細胞の自己組織化過程の全可視化という挑戦的な課題を掲げて、1 分子イメージングとデータ同化との融合を中心として研究を重ね、着実に生物学的な成果が創出されたことは最も評価できる点である。一方で、計測と情報の融合の要であったデータ同化に関する取り組みは限定的であった。

本課題により細胞のデジタルツイン構築への足掛かりを得られたと考えられるので、今

後、様々な状況で解析を積み重ね、細胞応答の分子論的メカニズムの理解に進むことを期待する。

10. 松田 佑 研究者 「圧縮センシングを活用した高精度空力診断システムの構築」

本研究は、構造化光（空間パターン化した光）を励起光として用い、圧縮センシングの手法を融合させることにより、自動車や鉄道車両の車体形状をはじめとする民生品の空力設計に活用できる高空間分解能でかつ高圧力分解能（10Pa）での圧力分布計測手法の確立を目的として行われた。

スパースモデリングを用いたノイズ除去法の開発においては、モード分解とスパースモデリングを組み合わせることで大幅なノイズ除去を実現し、半導体圧力センサによる計測値とのずれが最小 0.1%（10Pa）、平均 1.4%（140Pa）と、極めて高い一致を示すことを示した。さらに、支配的な現象である 123Hz で振動する圧力変動を抽出した場合においても目的としていた 10Pa の誤差での圧力計測を実現できた。

構造化光を用いた感圧塗料（Pressure-Sensitive Paint:PSP）計測における圧力分解能の向上については、シミュレーションにおいては圧力分解能の向上が確認できたものの、実験データにおいては構造化光の暗部での SN 比の低下の影響が強く出ることが分かりさらなる改善が必要である。構造化光を用いた外乱光下での PSP 計測法の開発においては、構造化光を励起光とする耐外乱光 PSP 計測システムを提案し、より多くの実験環境において存在する外乱光下での PSP 計測を実現することができた。その他の研究項目として、新たな PSP センサ膜の開発、画像位置合わせやノイズ除去法などの画像処理法の PSP 計測法への適用に関する研究、さらには産業的にも需要の高い沸騰場での温度分布計測などを行った。

本課題により構造化光を用いた外乱光下での PSP 計測や新規感圧塗料センサの開発など、社会実装に資する成果が得られた。当初の研究計画の実現には危惧もあったが、領域内共同研究を進め、多くの軌道修正を経て目標達成が見えるところまで至った点は評価できる。また、計測手法の向上に必要な素材開発から得られたデータの処理までを一気通貫で手広く研究推進している点も評価できる。さらに、社会実装、人材育成、成果創出など、成果の見える化にも大変留意して活動してきたこと、および成果を論文としてきちんとまとめている点も評価できる。産業界から期待される研究であり、基礎から応用まで今後の研究継続に期待する。

11. 森島 邦博 研究者 「高度情報処理と素粒子計測の融合によるミュオントモグラフィ技術」

本研究は、超高解像 3 次元素粒子検出器「原子核乾板」による計測技術と高度情報処理の融合により、巨大な物体の内部を 3 次元可視化する革新的な計測技術「宇宙線ミュオントモグラフィ」の実現を目的として行われた。

空間の詳細な 3 次元形状を推定するための解析の枠組みを構築し、解析手法の開発を進め、

エジプトのクフ王のピラミッドの切妻構造背後の空間の3次元形状を10 cm程度の精度で推定することに成功した。また、ホンジュラスのマヤ遺跡、イタリアのナポリの地下遺跡など、本研究によるハードおよびソフトの両面からの計測技術の高度化により、考古学遺跡以外の対象へと適用範囲を拡大した。その結果、大学などの研究機関や自治体、企業と連携して、橋梁内部や地下に生じる空洞の検知、河川堤防や盛土などの土木構造体の内部を宇宙線で可視化する新しい研究計画に繋がった。

新規化合物の探索によって原子核乾板の長期特性を改善し、従来より飛躍的に長期の観測を可能とした成果は高く評価できる。またコロナ禍で観測時間が著しく制限された中で、新しく発見された切妻構造背後の空間の3次元形状を正確に推定できたことは、大きな考古学的成果である。一方で、情報と計測の融合にまでは研究があまり及ばなかった。また情報解析の結果が計測手法の改善にフィードバックされるという点もなかった。

電源不要でどこにでも設置可能であり、また圧倒的に広い深度領域を探索できるという原子核乾板による宇宙線計測の特長と独自性を生かせば、他に例のないイメージング技術として社会的に価値あるツールとなり得ると思われるので、今後このような方向での進展を期待したい。

7. 総合所見

本研究領域の戦略目標である「計測技術と高度情報処理の融合」の下、情報科学と計測科学の融合を目指し、研究が順調に進捗した。

研究を推進するにあたり、本研究領域内の種々の形の研究を「融合」させるという方針の下、本研究領域の中で CREST-さきがけ間 (3 件)、CREST-CREST 間 (3 件)、さきがけ-さきがけ間 (4 件) の連携や協業が積極的に進められた。その結果、さきがけ研究を終了した研究者が CREST チームの主たる共同研究者や研究参加者として加わることにより、研究課題を推進する上で重要な役割を果たす情報科学と計測科学の融合の事例が多数実現した。これらは本研究領域のマネジメントとして課題選考段階から注力してきたことであり、本研究領域の目標達成に向けて重要な役割を果たした。

CREST とさきがけを一つの研究領域の中で推進することにより、計測の研究者が情報技術を、また情報の研究者が計測の実課題を深く理解する機会を持ち、さらに両者が出口の異なる研究分野間での議論の場へ参加することによって、「情報×計測 (=情報計測)」という新しい分野を担う若い人材の育成が着実に進んだ。また、本研究領域期間終了の時点で 29 名の研究者が昇進した。将来を担う研究者の育成は新しい研究分野の定着に不可欠であることから、研究者の育成は、本研究領域の目的の一つであり、その目指したことが順調に進展したことを示している。

2020 年 3 月以降の新型コロナ禍の中でも、オンライン形式によるサイトビジットや領域会議を通してフォローアップすることにより、議論が円滑に進み、各研究課題もリモート環境を活用して順調に進展した。その結果、計測に関する一部の研究課題に進捗遅延はあったものの、コロナ延長支援などの対応によって全体として大きな影響は受けなかった。

本研究領域は多様な計測・解析技術に最先端の情報科学や統計数理を融合させるものであることから、それぞれの研究領域の第一線の研究者である 15 名の領域アドバイザーに就任頂き、幅も広く強力な陣容からの的確なアドバイスやフィードバックが行われて、重要な成果に繋がった例も見られた。領域アドバイザー、研究総括、副研究総括の情報交換と連携によりチームとして適切なガイドを各研究課題に行うことができた点が、本研究領域における強力な領域マネジメントの根幹であった。

今後、本研究領域のそれぞれの研究で成果を挙げつつある「情報計測」を波及させる必要がある。2021 年度から始まった「情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト (STAR-E プロジェクト)」及び、2022 年度から始まった CREST 研究領域「社会課題解決を志向した革新的計測・解析システムの創出」(革新的計測解析)は、本研究領域で創成された「情報計測」分野の成果を更に社会課題解決に向けて波及させるために立ち上がった研究領域であり、大きな期待を寄せている。また、このことは、本研究領域の成果に対する高い評価の証左であると位置づけている。「情報計測」分野の教科書の作成に関しても議論を行った。その結果、紙媒体の教科書を出版するのではなく、「情報計測オンラインセミナーシリーズ」を開催することとし、本研究領域の研究者が中心になって、通算約 50 回 (各回 1 時間 20

分) にわたって開催した。本研究領域終了後においても、人材育成や啓蒙活動に役立てるために、その内容を下記にアーカイブした。<https://measurement-informatics-seminars.jp>

本研究領域で創成した「情報計測」分野は、今後も引き続き、新しい科学技術研究の嚆矢として、科学技術全般の研究開発サイクルの加速、解析アプリケーションの開発による材料科学やライフサイエンス等の各分野の飛躍的な進展と研究成果のより早い社会還元に資するものと考えている。

以上