

# 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 令和元(2019)年度拠点構想進捗状況報告書

ホスト機関名	東京大学	ホスト機関長名	五神真
拠 点 名	カブリ数物連携宇宙研究機構		
拠 点 長 名	大栗博司	事務部門長名	春山富義

全様式共通の注意事項：

※特に指定のない限り、令和2(2020)年3月31日現在の内容で作成すること。

※フォローアップは最新の拠点構想に則して行うため、本報告書は最新の拠点構想に基づいて記述すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

・本報告書（添付様式を除く）は10ページ～20ページ（拠点構想進捗状況の概要（2ページ以内）も含む）の範囲で作成すること。

### 拠点構想進捗状況の概要（2ページ以内に収めること）

#### 研究ハイライト

本報告書はWPIによる支援の5年延長期間における3年目のものであり、Kavli IPMUは9つの新しい目標に取り組んでいる。そのうち研究に直接関わる4つの目標に関する成果を以下に述べる。

(1) 統計学の新しい分野と手法を創出し、数学を観測および実験と融合する

吉田直紀が主導する科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業（CREST）計画「統計計算宇宙物理学」は、すばるハイパー・シュプリーム・カム（HSC）サーベイの画像データを高速に解析する手法の開発を目指している。2019年度には突発天体に関するHSCの初期観測から検出された1800個におよぶ超新星のカタログを一般公開した。検出した超新星の型を分類するためのディープニューラルネットワーク法を開発した。もう一つの科学目標は弱い重力レンズ効果を利用した宇宙の質量マップの再構築である。2016年度前期のHSCデータ（HSC16A）に敵対的生成ネットワーク技術を応用し、重力レンズ測定ノイズを軽減することに成功した。今後はノイズを低減した質量マップから宇宙論パラメータを推定することを目指す。CREST計画の最終審査でA+の最高点を与えられ、革新知能統合研究（JST AIP）プログラムから2020年から2022年の期間さらなる資金援助を受けることとなった。

(2) 発足当時想像されなかった分野間の新しい相乗効果を作り出す

生体内3次元ガンマ線イメージングは、細胞活動や生物学的過程を可視化し計測することを可能にするものであり、前臨床段階でのガン診断と治療を改善する新しい手段である。高橋忠幸が主導する研究チームは硬X線・ガンマ線の高度な検出器の開発技術を軸とする分野横断研究活動を行っている。2019年に国立研究開発法人国立がん研究センター先端医療開発センター（NCC-EPOC）で様々な実験を行った。研究チームはX線天文学の研究で開発したアルゴリズムを用いて多重同位体の放射線を分解する方法を確立し、それによってファントム実験において個々の放射線量を正確に定量化することが可能となった。また新しい $\alpha$ 線ガン治療およびガン診断として使用されている有望な放射性核種「アスタチン-211」を用いた実験を行った。また3Dプリント技術を使いタングステン製の新しいスラット式コリメーターを開発した。それは高い効率で10平方センチメートルにおよぶ広い面積をカバーできるものである。

(3) 導来幾何学および非可換幾何学を使って、例えば、様々な種類の双対性を統一するような、数学と物理学における幾何学的思考の新しい大きな枠組みを見出す

Kavli IPMUの数学者は、導来幾何学および非可換幾何学による新しい幾何学的思考の枠組みを見出す研究を進展させた。特に、戸田幸伸は導来モジュライ空間を使ってドナルドソン・トーマス不変量のある種のモノイダル圏に洗練化し、いくつかの重要な双対（壁越え）現象を圏化した。戸田の研究は、壁越えを研究するうえで重要な手法となったコホモロジー的ホール代数（COHA）に関するF. SalaとM. Portaの先行研究を用いたものである。W. DonovanはM. Wemyssと共同で、非可換変形を用いて3次元フロップ曲線の弦理論的ケーラーモジュライ空間における導来モノドロミーを記述した。M. KapranovはV. Schechtmanと共同で、COHAの記述や壁越えに頻繁に現れるシャッフル代数を、ゴレスキー・マクファーソンによる局所系の交叉コホモロジー拡張と関連づけた。

(4) プロジェクトを成功させ、ダークエネルギー、ダークマター、インフレーションで世界と競争できる成果を出す

・ハイパー・シュプリーム・カム（HSC）チームは最初の2年間の観測データを使って宇宙の大規模構造が時間進化する様子を探索し、現在の宇宙の凸凹度合いを特徴づける物理量を世界最高レベルの精度で測定した。多天体ファイバー分光器（PFS）チームは、メトロロジーカメラの技術試験を成功させハワイ観測所に運送した分光器モジュールを組み立てるなどPFS計画のマイルストーンを達成した。

・Kavli IPMUはT2K実験の解析に直接関わっている。M. Hartzは解析班の共同コーディネータであり、かつてKavli IPMUの研究員であったB. Quilainは日本の振動解析グループのリーダーを務めている。

- ・ T2K は CP の破れを決める位相を初めて十分な精度で測定しその結果は Nature Journal 誌で出版された。
- ・ Kavli IPMU はさまざまな宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 実験を主導している。POLARBEAR チームは原始ゆらぎ起源の B モードのシグナル帯を目指し大角度スケールの B モードの測定に関する科学論文を発表した。LiteBIRD は宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 (JAXA/ISAS) により戦略的中型 2 号機に選定され、チームはデザイン研究を加速させている。
- ・ Belle II 実験グループは Kavli IPMU が製作したシリコンバーテックス検出器(SVD)を使い 10 年間にわたって行う予定の電子・陽電子衝突実験をついに開始した。新しいゲージボゾン Z' の探査に関する Belle II グループ最初の物理論文が Physical Review Letter 誌に受理された。
- ・ M. Vagins が率いる EGADS チームはスーパーカミオカンデにガドリニウム(Gd)を加える SK-Gd 計画の準備を終え、2020 年 4 月より始動予定である。

## 世界最高水準の研究

2019 年(暦年)に Kavli IPMU 所属の研究者が学術誌に発表した論文は 394 篇 (WPI 関連論文を含めると 496 篇)である。2014 年は 315 (452) 篇、2015 年は 349 (466) 篇、2016 年は 353 (450) 篇、2017 年は 306 (392) 篇、2018 年は 403 (519) 篇と過去 5 年にわたり着実に数多くの論文を出版している。2019 年に出版した論文の中で上位 1%の論文と評される高被引用論文の数は 16 篇であり全体の 4.1%を占める(数値はクラリベイト・アナリティクスの Web of Science に基づく)。2019 年 12 月までに出版された論文を積算した記録に基づく、論文 1 篇あたりの平均被引用数は 31.8 回、被引用数が 100 回以上の論文数は 223 篇、50 回以上の論文数は 634 篇にのぼる(これらの数値は莫大な引用数をもつ総説論文を除いて集計していることに留意する)。2019 年に発表された論文の中で海外機関と連携した論文の割合は 79%におよぶ。当機構の研究者は 2019 年度に荣誉ある 22 件の賞および名誉称号を授与された。

## 融合領域の創出

2019 年度に Kavli IPMU において 207 回のセミナーとコロキウムが開催された(COVID-19 の影響で中止となった 14 のセミナーを除く)。分野横断セミナーが多く含まれており、数学・弦理論 (MS) セミナーが 73 回、天文・素粒子・実験物理・宇宙論 (APEC) セミナーが 87 回行われた。高橋忠幸は国際共同プロジェクト H.E.S.S.に参画する天文素粒子物理学者であり、ガンマ線バーストから超高エネルギーガンマ線放射を世界で初めて検出するとともに、かに星雲の超高エネルギーガンマ線領域の所在を明らかにした。宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 (JAXA/ISAS) および慶応大学医学部と共同で高橋の検出器技術を生物医学研究へ応用し、新たに開発した画像診断デバイスを使った臨床試験を成功させた。

## 国際的な研究環境の実現

2019 年度末時点で日本人以外の研究者の割合は全体の 47%である。2019 年度の Kavli IPMU への訪問者は 999 人(延べ人数 1245 人)であり、そのうち海外からの訪問者は 463 人(延べ人数 555 人)である。Kavli IPMU で 18 回の国際会議及び研究会を開催し(COVID-19 で中止した 2 つの会議を除く)参加者 1424 人のうち 430 人が海外機関からの訪問者である。K. Martens が神岡サテライトの新しい所長となったことは Kavli IPMU が真に国際的な環境とサポートシステムを実現したことを示している。Kavli IPMU はボン大学と新たな研究協定を結び、計 24 の共同研究協定及び研究協力協定(MOU)を締結した。

## 研究組織の改革

Kavli IPMU において成功したシステム改革は東京大学に広く波及している。Kavli IPMU で始まったクロスアポイントメントの数は東京大学で 128 にのぼる。また京都大学とマックス・プランク研究所、そして KEK と大阪大学との間でクロスアポイントメントが実施されるなど、我々のシステム改革は他の研究機関にも波及している。Kavli IPMU は東京大学物理学科および東京大学物性研究所と共同で、東京大学の連携研究機構のひとつである量子科学国際連携研究機構を創設した。村山斉が調停役を務める新たな大学院プログラムが日本学術振興会の卓越大学院 (WISE) プログラムとして採択された。このプログラムによって多くの Kavli IPMU の教員が直接大学院生を指導することができるようになった。

## 拠点の中長期的な発展を確保するための取組

大栗機構長の主導のもと長期戦略計画委員会は今後 10 年における Kavli IPMU が取り組むべき 3 つの最優先計画を策定した。その計画とは (1) HSC と PFS また将来計画である LSST と WFIRST を含む天文サーベイ (2) Simons Observatory と LiteBIRD を含む CMB 計画 (3) SK-Gd, T2K, ハイパーカミオカンデを含む神岡計画である。それに加え、データ解析への取り組みとテーブルトップダークマター実験の 2 つが奨励された。これらは今後の資金使途や雇用の判断基準となる。また Kavli IPMU メンバーや訪問者の行動規範を文書化しホームページに掲載するとともに、潜在的な偏見を修正するための訓練やハラスメント研修の改訂を行った。雇用や人材採用を見直し、その規則を文書に記録した。女性が定期的に会って自由に話し合う女性限定ランチを毎週開催している。我々のダイバーシティへの取り組みを学内に広めるため、東京大学総長自身が中枢機関のダイバーシティ推進室を指揮することとなった。

## その他

大栗機構長は素粒子物理学の理論への貢献により 2019 年の紫綬褒章を受章した。カブリ財団ニュースにおいて Kavli IPMU の 4 つの研究成果紹介の記事が掲載された。伊藤由佳理は、日常生活における数学の美や役割を紹介する「美しい数学」展を東京大学柏図書館で開催した。大栗機構長が監修する映画「9 次元からきた男」のドイツ語版が上映された。解説動画「はてな宇宙」が公開され視聴者を集めた。大栗機構長が NHK の人気テレビ番組「チョコちゃんに叱られる!」に出演し、重力とは何かを一般視聴者に向けて解説した。Kavli IPMU は第 8 回 WPI サイエンスシンポジウム「数学の驚くべき力 数学が繋ぐ多様な世界」を主催し 480 人以上の聴衆を集めた。