

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）アカデミー拠点 認定に係る申請書

ホスト機関名	東京大学
拠点名	カブリ数物連携宇宙研究機構
ホスト機関長名	五神 真
拠点長名	大栗 博司
事務部門長名	春山 富義

作成上の注意事項：

このサマリーは、拠点形成報告書、進展計画（最終評価用）に記載された内容に基づいて、以下の項目についての概要を **3 ページ以内** の記述で作成してください。（添付資料は別途添付）

1. 形成拠点の全体像

- ・現在の拠点のアイデンティティなど全体像について示すこと

カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）は宇宙に関する 5 つの根源的かつ壮大な疑問に答えるべく提案された。

- ・宇宙はどうやって始まったのか？
- ・宇宙は何でできているのか？
- ・宇宙に終わりはあるのか？
- ・宇宙の基本法則は何か？
- ・宇宙にどうして我々がいるのか？

Kavli IPMU は 2007 年 10 月 1 日、WPI プログラムに採択され、数学と理論・実験物理学、そして天文学を組み合わせた世界でも稀な融合研究拠点としてゼロからスタートした。そして今、約 150 名が常駐する国際的研究機構に成長した。Kavli IPMU の研究からはっきりとした「メイド・イン・Kavli IPMU」のブランドを持つインパクトの高い論文を生み出している。我々の論文の被引用数は、類似の研究を行う世界一流の研究機関と同等である。年平均で約 800 名のビジターが当機構を訪れ、その半数は外国からである。毎年、平均して 700 名近い博士研究員候補の応募があり、そのほとんど（90%）が海外からの応募である。90 名近い研究者の半数が外国人である。Kavli IPMU を卒業したポストクの 40% はファカルティポストについている。数学、物理間の強い相互の発想や天文学と数学、そして物性物理が交錯して予想もしない展開を引き出すような環境を創り出している。

我々は加速器実験、地下実験、望遠鏡による実験、観測を行うことを提案し、例えば HSC, XMASS, KamLAND-Zen といった実験プロジェクトを成功裡に立ち上げてきている。分野融合の環境は SuMIRe や LiteBIRD といった新しいプロジェクトを牽引することを可能とし、世界的に大きな注目を集めている。アウトリーチ活動は成功裡に進められており、イベントでの参加者は 33,000 人を超える。海外メディアにも強い関心が持たれ、取り上げられた件数は 1,000 以上に上る。東京大学のシステム改革では多くの前例のない改善を進めることができた。例えば、スプリット・アポイントメント、メリットベース給与、外国の財団からの寄付などである。

これから 5 年の延長期間でやりとげなければならないことは 5 年間の WPI 支援期間中に恒久的研究拠点として確立することである。さらに現在行っている研究プロジェクトを世界的発見に結びつける形で展開、引き続き新しい研究領域を開き、異分野融合を推し進め、我々独自の成功につながる新しいプロジェクトを計画しなければならない。今の高い研究水準を維持し、高め、世界のトップレベル研究者を引きつ

け、そして日本の大学の研究教育を改善し、国際的に競争できるようにシステム改革を進めていかなければならない。

2. 中長期的な研究課題・戦略

・今後の研究課題・研究戦略におけるチャレンジについて示すこと

5年間の延長期間に研究、拠点運営において9つの挑戦を提案する。研究に関しては次の新しい目標である。

(1) 統計学の新しい分野と手法を創出して、数学を観測および実験と融合させる

実際、すでに我々は新たなイメージ解析法を開発し、55TBのHSCのデータから65,000の変光星と1,000の超新星を同定した。これは記録破りの検出率である。我々の新たな統計的手法は重力レンズのデータから暗黒物質の質量分布を極めて迅速に構成することを可能にする。最近の統計手法は他の科学分野、例えば高エネルギー物理実験や理論物理にも適用できるものであり、今後の課題である。

(2) 発足当時想像されなかったような分野間の新しい相乗効果を創り出す

最近、大栗とハーバード大学の共同研究者たちは、これまで弦理論に基づいてトップダウン的に構成されてきた有効ポテンシャルの傾きには、そのすべてに一律な制限があり、それが初期の暗黒エネルギーの式における w パラメータに理論的制限を与えられることを指摘した。これはSuMIREプロジェクトによる星と銀河の大規模統計からくる暗黒エネルギーの実験による制限と比較検討することができる。初期宇宙天文学におけるインフレーションポテンシャルにも同様の制限が考えられるので、LiteBIRDプロジェクトに有用な情報を与えることになるだろう。

天文学と医学：観測衛星に使うX線やガンマ線計測器に関する専門知識を癌の治療や診断に応用することを目指して、JAXAと共同研究グループを立ち上げた。

(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

以上の目標を達成するために、我々はこれまでの成功に改良を加えてゆくことが必要である。これに向けて、数学と物理のインターフェイスを研究する中島啓、伊藤由佳里、Tom Meliaを新たに雇用した点は大きな進展である。例えば、中島は超対称ゲージ理論のクーロンブランチの幾何学の数学的に厳密な定式化を進めており、Meliaはスティーフェル多様体を使って加速器実験における相対論的位相空間の指標化を研究している。物理と数学のインターフェイスにおいて量子情報理論が量子場の理論、量子重力、そして弦理論を研究する上で強力な数学言語を提供していることが徐々に明らかになっている。例えば最近大栗は、量子情報理論を使って、量子重力の対称性に関する新しい定理を証明した。逆に、理論物理のこうした分野から問題を提起し、量子情報の発展に寄与するであろう。例えば量子重力における通過可能なワームホールは量子テレポーテーションの新しいプロトコルと解釈できる。Kavli IPMUの主任研究者や教員は、既に量子情報理論の考え方と技術について既によく知っていて、それを使い始めている。この方向の研究はポストドクの採用やフォーカスウィーク、研究集会等を戦略的に活用することで、強化することができよう。

(4) プロジェクトを成功させて暗黒エネルギー、暗黒物質、インフレーションで世界と競争できる結果を出す

XMASS実験は最終結果を出してミッションを終え、その実験チームはより野心的なXENON-nT計画を進めている。Gdを加えたSKは超新星ニュートリノを発見するであろう。水槽の改修と新しい浄化システムの配備は2018年中に終わる予定である。HSCサーベイの最初に得られた成果は2018年2月に論文発表した。また、PFS分光器の最初の部品は2018年4月にすばる望遠鏡に届けられた。現在Kavli IPMUの建物内で検出器と半波長板の厳密なテストが行われており、設計が最終段階を迎えている。また2018年後半にJAXAがLiteBIRD計画を承認することを条件にNASAとESAも参加する予定である。さらに、5年の延長期間後の新しい機会を見出していく。可能性のある例として、宇宙の始まりに迫る重力波検出の画期的な方法の研究、暗黒物質検出や標準モデル予測から示される微妙なずれを検出する精密な量子計測技術の研究などである。この領域では物質科学、ナノ技術そして量子光学などの研究者たちとの融合的共同研究の機会になる。

(5) 世界中から最も優秀で広い視野を持った科学者を惹きつけ、引き留める

最初の10年間でKavli IPMUは世界トップの研究レベルを達成したと思う。そしてこれからやろうとすることも非常にはっきりしている。数学、理論物理、実験物理そして天文の分野間相互刺激を通じて、新理論や新しいデータを生み出す。ダークエネルギーの性質、ダークマター分布、ダークマター断面図、そして、インフレーションスケールに関する世界一級の結果を生み出していく。結果を解釈し宇宙の新しい理論を構築する。これまでも、領域の間での多くに相互作用を生み出してきている。それらは提案したことはもちろんであるが、予想もしないところで生み出されたものもある。以前には想像もつかなかったような新しい相互作用を創生するであろう。例えば、新しいデータに基づく天文と弦理論、統計による実験と数学の結びつき、そして物性物理との強いつながりなどである。我々は基本、Kavli IPMUの基本方針を推し進めていく。5つの疑問は研究対象のどんな変化にも対応できるものである。5年延長が認められた初年度だけでも、横山広美、伊藤由佳里、Tom Melia、Khee-Gan Lee、高橋忠幸、織田忠、柳下淳、武田伸一郎、中島啓らの新たな分野の広がりを期待できる優れた教員を雇用することに成功した。

Kavli IPMU発足からの10年間に、我々の分野にはいくつかの重要な突破口があった。ヒッグズボソンが発見されて「宇宙はどうやって始まったのか?」に答えるべく、ビッグバンから10億分の1秒後以前の宇宙を定量的に考察できるようになった。ニュートリノ間の新しい混合角が発見されて「宇宙にどうして我々がいるのか?」に答えるべく、ビッグバンの後にどのように反物質が消滅したかを実験で検証できるようになった。Kavli IPMUの主任研究員である梶田隆章は2015年にノーベル物理学賞を受賞した。ゴースト・バオ・チャウによって証明されたラングランズ・プログラムの基本補題は、物理学の可積分系に触発され、代数幾何を使って定式化されたヒッチンファイバーを用いた。これは「宇宙の基本法則は何か?」に答えるために我々が選択した幾何学的手法と物理学との繋がりが正しいことを示している。これらの進捗があったことから、我々は次の突破口に備えて再調整を行っている。

3. 研究組織運営

- ・上記で示した研究戦略・計画を実行するための研究組織運営について示すこと
- ・主任研究者、組織構成(研究者数、研究支援者数、事務支援者数等)、拠点の組織運営図について[添付様式1-3]に示すこと

現在の運営体制は、研究者の採用や引き留め、あるいは研究活動を促進するための適度なワークショップ開催やビジター招へいに関して迅速な決定を可能とする。Kavli IPMUの次世代を担う若手メンバーの間に機構への「当事者意識」を広めようとしている。日常の運営判断はトップダウンで効果的に行なう一方、研究活動に関する案件ではボトムアップの計画を吸い上げる。Kavli IPMUの組織は内部に「部門」を持たないフラットのままとし、執行部は常に教員一人一人からの新しい提案に門戸を開いている。

若手研究者の育成には特別の配慮をしている。若手研究者が次の職を獲得する上で十分な活躍の機会を与えること、国際的なレベルの研究レベルを知ることを保証している。彼らが年間最低でも1ヶ月(最大で3ヶ月まで)国外に行くことを義務付け、加えて、多くのワークショップ開催とビジターの来訪によって、世界中からやってくる一流研究者と我々のメンバーとの出会いや交流することを行なっている。この方針は、若手研究者に非常にうまく機能している。助教職をデニュアトラックとすること、他の研究機関とのジョイント(アポイントメント)などを意図している。

加えて、以下のような挑戦をしていく。

(6) 組織改革の普及

Kavli IPMUは多くのシステム改革を成し遂げてきた。我々はこれらの改革を、日本の他の研究機関に浸透させる伝道者の役割を演じる。一例として、カリフォルニア大学バークレー校の村山やSteklov研究所のBondalのようにスプリット・アポイントメントがある。Kavli IPMUの事務部門は運営システム改善の業績で5つの総長賞を勝ち取っており、それらの改善点の多くは東大内で広く取り入れられている。東京大学は幸いにももう一つのWPI拠点、ニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCN)を持つことができた。IRCNと科学的視点(宇宙の大規模構造とニューロンネットワークの類似性)と事務的視点(新しい雇用形態、外国人研究者支援)の両面で強い協力ができるだろう。二つのWPI拠点が一つの大学に存在するという、他に類をみないこの状況で日本の大学のシステム改革を進める触媒となるべきである。

(7) 新しい大学院プログラムの創設

我々は世界的な研究拠点では大学院生と共に研究することは必須であると信じている。Kavli IPMUの教員の一部が東京大学の既存の研究科に所属して正式に学生を指導できたことは極めて運のよいことであった。しかし、まだ全員そうだった訳ではない。新しい大学院教育プログラムを熱心な学生交換という形で創り出してきた。それはオックスフォード大学の大学院生と連携するもので、3人の学生がすでにジョイントし新たに3人がジョイントする。最初に来日した院生が博士号を取る時期も近い。また我々は、世界中の大学から優秀な学生を引き寄せるため、物理の国際大学院コース(GSGC)にも加わっており、GSGCをさらに拡張するために天文学専攻と地球惑星科学専攻とチームを組んだ。

(8) 若い生徒たち

若い学生を惹きつけて次世代の研究者を確保することは極めて重要である。独自のアウトリーチプログラムを作成し、直接手が届かない若い生徒たちに伝わるように研究者と高校教師とのワークショップ開催を提案した。5つの高校でその際に使われた教材が参加した教師によって実際に使われた。それらの教材が高校生に直接届くよう引き続き努力をしており、より広範囲に配布可能なパッケージを作成するための新たなワークショップ開催を検討している。カナダのペリメータ研究所のように、同じようなプログラムをもっている研究機関があるので、独自に進めるのではなくそういった機関と協力して、高校生の科学、技術、工学、数学の力を育て上げる効果的方法を考えるのがよい。

(9) 安定性と持続性

我々が関与する分野のほとんどのプロジェクトは、最低でも10年という長い準備期間を必要とすることは強調しておかなければならない。大学本部とともにWPI支援機関から大学に支援される新しいモデルへの転移を進めていく。2018年度から5億2千万円が恒久的運営費交付金として大学の運営費に組み込まれ、Kavli IPMUはやっと安定的な財政基盤を得た。東京大学は、WPI補助金が終了する2022年度以降も当Kavli IPMUを維持し、また可能であればより拡張するために必要な追加資金の獲得に向けて、今年も概算要求を行う。

Kavli IPMUにとって最重要なことは、Kavli IPMUが国民にとって支える価値のある研究拠点であることを示していくことである。そのためには、科学における大きな発見をすること、世界のリーダーとなる若手研究者、学生の育成を行うこと、そして日本の大学が変わるようなシステム改革を推進することが重要である。拠点執行部は、研究者の主体性を支援し理想的な研究環境を整えることで、研究者が最も高いレベルの研究活動をすることを可能にし、資金確保してくれる国や一般国民に研究者の成果を明確に示していくことを支えていく。

4. 国際頭脳循環方針

・WPIアカデミーの大きな役割である国際頭脳循環の方針と具体策について示すこと

Kavli IPMUは立ち上げ当初から、国際的に認知されるための鍵は、世界中から第一級の研究指導者と才能に恵まれた若手研究者を招へいし、異なる分野の研究者が互いの「言葉」を理解し、共通の目標に向かって研究を行う環境を構築することであるという固い信念をもっている。Kavli IPMUはそうした魅力的な研究環境を創り上げている。まさに“頭脳循環”の核として機能しているものである。2017年度においてKavli IPMUには世界トップレベルの26名の主任研究者がおり、内8名は外国籍、10名がオンサイトである。教員、ポスドク、長期滞在者、大学院生を含む259名のうち、91名(35%)は外国人であり世界に通用する研究者である。Kavli IPMUが活発な知的頭脳循環のハブとして機能し、若手研究者の研究を刺激し続けるため、多くのノーベル賞受賞者、フィールズメダリストといった優れた研究者を招き続けている。さらにKavli IPMUに雇用されている研究者は年に1ヶ月から3ヶ月は外国に行くことになっている。

Kavli IPMUは一流の研究者を惹き付けている。一例だが、Yale大学の正教授であったM. Kapranovを最初のテニユアポストの一つに呼ぶことができた。彼は高次圏論の第一人者であり、また最近の多くの重要な数学的概念の陰の推進者であることから、Kavli IPMUの国際的位置を大幅に高めるものとなっている。彼のKavli IPMUにおける活躍は世界中の優れた頭脳を惹きつけている。またニュートリノ実験を行うM. Hartzを獲得、夫婦で天文学者のK. BundyとA. Leauthaudや同じく天文学者のS. More

も他機関からのリクルートを断ってきた。こうしたことは、Kavli IPMU が世界の他の場所ではできない素晴らしい研究プログラムを推進している証しとなっている。

5. ホスト機関の支援

・ホスト機関による拠点持続のための支援方針、WPI としてのシステム改革の成果の学内外への発展策について示すこと

当初の提案の時点で、東京大学は Kavli IPMU を大学内の「特区」として位置づけ、多くの例外措置を適用した。それらは、柔軟な給与体系、特任教職員について従来の契約期間を超える雇用、数名の主任研究者が従来の部局を退職して Kavli IPMU に異動する際の優遇措置、定年年齢を超えた特例雇用措置などである。東京大学はさらに Kavli IPMU のための研究棟や柏キャンパスの近くにインターナショナル・ロッジを建てた。2011 年の国際高等研究所 (UTIAS) の創設は、Kavli IPMU に学内で恒久的な場を与えるという傑出した支援策である。WPI の中間評価を受け、東京大学は Kavli IPMU を支えるためにさらに数々の手段を講じている。すなわち、東京大学は 10 の総長裁量ポストを Kavli IPMU に提供、また大学として本部事務職員の配置を確保している。

東京大学は Kavli IPMU にとって核となる教員のために 26 のポストを持ち、クリティカル・マスを保持することが極めて重要であることを十分に認識している。Kavli IPMU が提案してきたシステム改革は 4 回の東京大学業務改革総長賞などに輝いている。それらの結果は東大内外に徐々に広がっている。

6. 予算措置

・以上の機能・活動を維持するために必要な 5 年間の予算措置について、ホスト機関からの支援、研究遂行のための外部資金等について、添付様式 4 に示すこと。

東京大学は世界を「リードする」トップレベルの地位を持続するために必要な運営資金として、少なくとも現在 WPI プログラムから得ている資金と同レベルが必要であるということを理解している。これらの数値はいわゆる高等研究所を健全に運営していく上で極めて標準的である。東京大学は 5 年の支援延長とその先の計画を打ち出している。東大が文科省に要求した 13 のポストと関連経費は確保された。今後も WPI 補助金が終わっても Kavli IPMU がフラッグシップとして活躍できるように、最優先度の予算要求を行う。東京大学は WPI 支援後も Kavli IPMU を維持、さらには発展させていく所存である。こうして高いビジビリティを示した Kavli IPMU と明確な支援を打ち出した東京大学に対し、カブリ財団は Kavli IPMU への基金を 7 億 5000 万円から 12 億 5000 万円 (1 ドル=100 円換算) に増やす決定をした。これは Kavli IPMU の注目度の高さと、機構を持続させようとする東京大学の努力の結果である。東京大学は Kavli IPMU の名声を高めてこの基金を一層増やすために、延長期間中も各種の努力を続けていく。さらに浜松ホトニクス株式会社の貢献により、2014 年度から 5 年間の寄付研究部門を立ち上げている。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 主任研究者リスト

- ・主任研究者が10名を超える場合は、その数に応じて作成。
- ・「世界トップレベル」と考えられる研究者については、その氏名の右側に「*」印を付す。
- ・年齢は、2018年7月2日時点とする。
- ・進捗計画開始時点で、当該構想に参加できないものについては、備考の欄に、参加予定時期を明記す。

氏名	年齢	現在の所属 (機関、部局、専攻等)	現在の専門 学 位	備 考 (新規・継続等も記 入)
1. 大栗 博司 (*)	56	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・機構長 カリフォルニア工科大学・ウォ ルター・パーク理論物理学研究 所 所長・教授	超弦理論 博士	継続
2. 村山 斉 (*)	54	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・特任教授 カリフォルニア大学パークレー 校・物理学科・教授	素粒子論、宇 宙論 博士	継続
3. 相原 博昭 (*)	62	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・参与 東京大学・理学系研究科・副学 長	高エネルギー 物理学 博士	継続
4. Alexey Bondal (*)	56	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・特任教授 ステクロフ数学研究所・教授	数学 博士	継続
5. 井上 邦雄 (*)	52	東北大学・ニュートリノ科学研 究センター・センター長・教授	ニュートリノ 物理学 博士	継続
6. 梶田 隆章 (*)	59	東京大学・宇宙線研究所・所長 ・教授	ニュートリノ 物理学 博士	継続
7. Stavros Katsanevas (*)	64	パリ第7大学・物理学部・教授	天体素粒子物 理学 博士	継続
8. 川崎 雅裕	57	東京大学・宇宙線研究所・所長 ・教授	素粒子宇宙論 博士	継続
9. 小林 俊行 (*)	55	東京大学・数理科学研究科・教 授	数学 博士	継続
10. 河野 俊丈 (*)	62	東京大学・数理科学研究科・教 授	数学 博士	継続
11. 中畑 雅行 (*)	58	東京大学・宇宙線研究所・教授	ニュートリノ 天体物理学 博士	継続

12. 野尻 美保子 (*)	55	高エネルギー加速器研究機構・教授	素粒子論 博士	継続
13. David Spergel (*)	57	プリンストン大学・天体科学部 ・教授	観測宇宙論 博士	継続
14. 杉山 直 (*)	56	名古屋大学・理学研究科・教授	観測宇宙論 博士	継続
15. 堀 健太郎 (*)	52	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・教授	超弦理論 博士	新規
16. Mikhail Kapranov (*)	55	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・教授	数学 博士	新規
17. Young-Kee Kim (*)	55	シカゴ大学・教授	実験物理学 博士	新規
18. 小松 英一郎 (*)	43	マックスプランク宇宙物理研究 所・所長	理論物理学 (宇宙論) 博士	新規
19. Kai Martens (*)	54	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・准教授	実験物理学 博士	新規
20. 松本 重貴 (*)	45	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・准教授	素粒子論、宇 宙論 博士	新規
21. 森山 茂栄 (*)	48	東京大学・宇宙線研究所・准教 授	実験物理学 博士	新規
22. 野村 泰紀 (*)	44	カリフォルニア大学バークレ ー校・物理学科・教授	素粒子論 博士	新規
23. 高田 昌広 (*)	44	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・教授	理論物理学 博士	新規
24. 戸田 幸伸 (*)	38	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・准教授	博士 数学	新規

25. Mark Vagins (*)	52	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・教授	ニュートリノ 物理学 博士	新規
26. 吉田 直紀 (*)	44	東京大学・理学系研究科・教授 東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・教授	天文学 博士	新規
27. 高橋 忠幸 (*)	59	東京大学・カブリ数物連携宇宙 研究機構・教授	実験物理学 博士	新規

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI） 構成員

	平成 29 年度
主任研究者	26
その他の研究者	261
ポスドク研究員	62
研究支援員	31
事務スタッフ	10

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 運営組織図

カブリ数物連携宇宙研究機構 (2018年10月15日現在)

