

## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）自己点検評価報告書（中間評価用）

ホスト機関名	東京大学	ホスト機関長名	濱田純一
拠点名	数物連携宇宙研究機構	拠点長名	村山斉

### 報告書概要（2ページ）

#### 研究水準

数物連携宇宙研究機構（IPMU）の目標は、宇宙の性質に関する最も深遠で且つ最も大きな問題に取り組むことであり、理論物理学、実験物理学、天文学と宇宙論、そして数学の分野で世界トップクラスの18名の主任研究者がこの学際的研究機関を率いている。IPMUは、成熟段階に達しているスーパーカミオカンデとカムランド実験に対しては、継続的に研究を実施する上で貢献してきている。IPMU所属の研究者により新たに開始されたZEN（ゼン）、EGADS（イーガス）、エクスマスの3実験は全て著しい進展を見せている。これらの研究は、我々自身の起源とダークマターの性質に関する問題に取り組んでいる。

ダークマターの性質と宇宙の運命に取り組むためには、天文観測での大規模探査が必要である。ここではスローン・ディジタル・スカイサーベイIII（アパッチポイント望遠鏡）のデータ解析とハイパー・スプリーム・カム（すばる望遠鏡）の建設がかなりの程度まで進んでいる。すばる望遠鏡によるイメージングと分光の情報を結合させるSuMIRe（すみれ）計画は、PrimeFocusSpectrograph と呼ばれる新しい多天体分光装置の製作開始に向けて進み始めた。

超新星の研究では理論と実験の両面において、標準光源としてのIa型超新星についての主要な懸念の一つを解決した。宇宙の構造の進化についての詳細なシミュレーション研究では、初期宇宙に於ける最初の星の形成機構とその後のブラックホール形成を明らかにした。大規模なデータから得られる科学的成果を最大にするための新しい解析手法が提案された。

素粒子理論では、現象論研究者が、コライダー（ビーム衝突型加速器）実験および宇宙線実験から報告された幾つかの「異常」について、新しい解釈

を提案した。また、他の研究者は量子場の理論と超弦理論を用いて、宇宙のより基本的な問題について研究を進めた。

超弦理論は豊富な構造を有し、広範囲の物理系に適用可能であるが、クォークとレプトンの質量、バリオンの質量、物性物理学など他分野への応用が活発に繰り広げられた。また、超弦理論によって、ブラックホールのある量子論的側面が明らかになった。他方、超弦理論に依存しない、別の量子重力理論が精力的に研究され、宇宙論に於ける顕著な問題の一つである地平線問題を解決することが示された。

IPMUの数学者は物理学者と緊密な交流のもとに研究している。相互に生産的で有益である異なる考え方の間の交換が、現在では特に超弦理論の物理学者との間で明白になっている。彼らは、ミラー対称性、カラビ・ヤウ多様体、導来圏、Dブレーン、可積分系、など物理学者と関心を共有するテーマについて一緒に議論を行なう。また、数物連携宇宙研究機構の数学者は、ベイリンソン予想、一般化されたムーンシャイン予想、ストロミンジャー・ヤウ・ザスロフ予想のような問題への挑戦に向けて前進している。

IPMUに集結した研究者が、任命後に得た受賞件数が21件を数えることは、彼らの卓越性を示すものである。IPMUにおける研究活動から、査読のある学術誌に掲載された論文総数585篇（2007年度から2008年度に129篇、2009年度に205篇、2010年度に251篇）が生み出された。これまでのところ、これらの論文の平均引用回数は7.6回であり、50回以上引用された論文が8篇もある。掲載された論文に関するこの指標は、IPMUと類似の分野に於いて世界をリードする他の研究機関に匹敵するものであり、IPMUが成熟した世界レベルの研究機関へと十分に発展を遂げていることを示している。

## 異分野融合

2009年5月に開催された「新しい不変量と壁越えに関するフォーカスウィーク」には32名の数学者と34名の物理学者が出席した。彼らは、数学に於ける高次元の幾何の分類問題に新しい見方をもち、一方、超弦理論の低エネルギー有効理論の導出、ブラックホールの量子状態の分析、そしてゲージ理論の強結合現象の理解に重要な役割を果たしている、このテーマについて共に議論を行なった。

2010年10月の「物性と素粒子の対話」と名付けられたフォーカスウィークには、物性と素粒子の双方から世界の研究者約200名が参加した。超弦理論の最近の重要な進展である「ホログラフィー原理」は高温超伝導の研究者の関心を惹き、超弦理論の基礎である「共形場の理論」は量子ホール効果やカーボンナノチューブ、量子コンピュータの理解に応用されている。この研究集会は極めて刺激的であり、物性と素粒子、両研究者集団の間に新たな共同研究が増えるに至った。

2011年2月に開催された「ブラックホールに関するIPMUワークショップ」は参加者を40名に限定し、ブラックホールに関して、天体観測から超弦理論やループ量子重力理論に於ける量子的特性まで広範なトピックスを議論した。少数の指導的研究者が集まり、ブラックホールの様々な側面について十分な時間を取って議論を行なった。

異なる学問分野の研究者が共に国際会議やワークショップを主催することは、IPMUにとっては日常的な光景となっている。そこから共著論文の出版に至った研究者もある。また、触発を受け、今自分が取り組んでいる研究テーマを異なる視点から眺めてみることに興味を持った段階にある研究者もいる。

## 国際化

全部で67名におよぶ専任教員と研究員のうち38名が外国人である。IPMUを訪れた研究者は2007-2008年度に540名（うち国外からが168名）、2009年度に432名（うち外国からが345名）、2010年度に862名（うち外国からが478名）にそれぞれ達した。1ヶ月以上の長期滞在者は2007-2008年度に14名（うち外国からが13名）、2009年度に30名（うち外国からが29名）、2010年度は32名（すべて外国から）であった。

IPMUが開催した国際会議とワークショップは2007-2008年度11回、2009年度12回、2010年度16回だった。

これら国際集会の参加者は典型的に3分の1以上が国外からだった。全部で38名の外国人専任研究者の中から11件の2010年度科学研究費補助金が採択された。

事務および研究支援スタッフ36名のうち20名がバイリンガルである。この人員で英語のホームページを立ち上げ、セミナーの通知、論文や研究発表の登録、出張手続き、さらには住宅、病院、子供の学校、銀行などの生活情報などに使えるようにした。同時にこのサイトは機構の研究目標や成果を世界に発信する場でもある。

我々は研究と運営の両面において人員およびスタイルの国際化を着実に進展させている。

## システム改革

2007年10月の発足時、IPMUにはトップダウンの運営体制や柔軟な雇用システムや能力に応じた俸給制度を可能にする、東京大学内の「特区」のような位置づけが与えられた。

2011年1月東京大学は国際高等研究所(TODIAS)を設立して、同月IPMUをこの新しい恒久機関の第一号研究機関として承認した。全学内組織として設立されたTODIASは、それぞれが世界をリードする知のセンターとして機能する研究機関から構成され、全体として大学の学術レベルを高め、その国際化のさらなる推進を目指すものである。この一連の展開はIPMUが大学で恒久的存在になるための重大なステップである。

## 1. 拠点構想の概要

### 【応募時】

本拠点は、数学、物理、天文の連携により宇宙の起源と進化の解明を目指す世界に類のない融合研究拠点である。現代基礎科学の最重要課題である暗黒エネルギー、暗黒物質、ニュートリノ、統一理論（超弦理論や量子重力）を主たる研究テーマとする。特に、世界トップレベルの数学者と理論物理学者の共同研究を展開することにより、統一理論に必須な新しい数学の創成を目指す。最新鋭実験施設からの精密データを解析する新しい数学的手法を開発する。また将来の実験への戦略・開発にも取り組む。このユニークな環境によって、創造性に富む優れた若手研究者が育成される。

自然の基本法則の発見は歴史的に新しい数学を必要とし、またこれによって数学の重要な発展を促してきた。たとえば、1990年以降の数学のフィールズ賞の4割が場の量子論や弦理論といった素粒子の最先端の分野と深いかわりのある研究に対して与えられた。この数十年の間に数学にこれほどインパクトを与えた分野は他にはなく、またこの傾向はさらに加速しつつある。日本では数学と物理学のそれぞれの分野で輝かしい成果がある。本拠点は世界トップレベルの数学者と物理学者を結集し、分野間の垣根を取り払い、より創造的な研究を可能にする環境を提供するものである。

実験分野における我が国の優位は明らかである。スーパーカミオカンデとカムランドに代表されるニュートリノ観測実験では世界の最先端にある。また、すばる望遠鏡を使った広視野撮像探査のための機器も制作中であり、完成後約10年間にわたり観測宇宙論や天体学において、きわめて優位な地位を占めることになる。世界最大の加速器であるLHCは近い将来運転を始め、宇宙のビッグバンを再現する素粒子衝突実験のデータを使った研究が可能になる。世界トップレベルの数学者、理論物理学者、天文学者および実験物理学者を一箇所に集め、上記全ての実験データを有機的かつコヒーレントに活用することで、宇宙の謎を解き明かすのが目標である。

この構想は、純粋数学から理論・実験物理、天文学、応用数学に及ぶ広範な基礎科学分野を包含する世界に類のない研究拠点を構築するものである。が世界的に優位に立っている分野を戦略的に結集することで、国内外の第一線で活躍する研究者を本拠点に引きつけることを目指している。

我が国は、日本の女性研究者を引き付けるため、世界トップレベルの女性研究者を雇用し、また、アジアの研究者も広く結集する。

### 【現状】

我々は世界トップクラスの18名の主任研究者によって主導される学際的研究機関を組織した。これまでのやり方では、彼らの研究分野は理論物理4名、実験物理6名、天文および宇宙物理5名、数学3名に分類される。しかし実際にはその多くは伝統的な分野の垣根を越えて研究活動を行っており、若いスタッフにも同様であるように促している。我々は多くの優秀な若手教員と博士研究員を集めた。関連分野で活発な研究活動をしている限り、ある者はほんの数日またある者はもっと長期にわたって、沢山のビジターを受け入れている。研究者は宇宙の解明という共通の目標に向かって活動するが、組織の運営は可能な限り上下関係を取り除いたゆるいものである。若手研究者の数年間のIPMU滞在後の就職は大変うまくいっており、WPIプログラムから課せられた「優秀な人材の国際的な流動」を達成している。

我々はすばる望遠鏡やその他世界中の大型望遠鏡のデータに重力レンズ効果を適用して暗黒物質を研究している。それに必要な映像機器であるHyperSuprimeCam (HSC)は今年の後半に観測開始する予定である。暗黒エネルギーの研究には宇宙膨張の歴史の精密な観測が必要になる。この研究は現在あるSDSSなどのデータを使って行われている。次世代機器PrimeFocusSpectrograph (PFS)は概念設計の段階に入っている。暗黒物質の直接探索をおこなうXMASSは建設を終え、校正作業が進行中である。スーパーカミオカンデとカムランドを用いたニュートリノ振動の研究は引き続き進行中である。素粒子論研究者はLHCデータや天体観測から、標準理論を超える新しい物理を探索し、暗黒物質との関連を調べようとしている。

数学者と理論物理学者はセミナーを共有したり共同でワークショップを組織したりして、日常的に交流している。お互いからのひらめきが個々の研究に新しい芽を育てている。いくつかの結果はすでに物理学者と数学者の共著による学際的論文として掲載された。

女性研究者の数は主任研究員が1名、専任教員がゼロ、博士研究員が5名である。該当する女性研究者探しは続けられている。ヨーロッパやアメリカからのビジターの訪問予定を近隣のアジア諸国の研究機関と共有して、アジア地域の交流に努めている。

## 【今後】

暗黒物質研究のための XMASS と暗黒物質および暗黒エネルギー研究のための HSC の主要プロジェクトのデータが来年には収集できるようになると期待される。現在 PFS 建設に向けた進展は国際共同研究機関であるカリフォルニア工科大学、NASA ジェット推進研究所、プリンストン大学、マルセーユ天体物理研究所からの資金によって制約されている。2016年に完了予定の HSC サーベイまでにはこの機器が出来上がっていると期待する。HSC と PFS の組み合わせによって今後 10 年以内に暗黒エネルギーに関する世界最高の観測ができるはずである。

LHC データの使用が今年から可能になって、その解析研究が活発に進んでいる。今年から来年にかけての LHC の連続運転で暗黒物質に関する興味深い情報が得られるかもしれない。

数学と物理学の連携を深めるために数学分野の主任研究員 1 名を新たに追加する予定である。外国人および女性主任研究員の人材探しは終身職制度がないために停滞しているが、懸命な努力は続けられている。さらに、IPMU 全研究者の交流会 (Retreat) の年 1 回の開催や柏キャンパスの理論研究者と神岡キャンパスの実験研究者の間の交流などの新しい試みも具体化していく。

東京大学国際高等研究所が設立され IPMU がその中に組み込まれることによって、我々の将来についてより緊密に東大管理部門と話し合いができるようになった。早急に資金が回ってくるわけではないが、東大側の IPMU を恒久機関として保持しようという意志はかつてないほど高まっている。

日本人若手研究者を育てるために、今年の夏から国際的に著名な研究者の講演や日本人大学院生の発表からなる「スクール」を開催する。

## 2. 拠点の研究活動

### 2-1. 応募時の計画

<研究分野>

#### 数学と物理学の融合分野

自然の基本法則の探求のためには新しい数学を発明する必要がある、数学の多くの発展の要因となって来た。例えば、1990年以來のフィールズ賞の約4割が物理学における量子場の理論や弦理論に関わりの深い分野に授与された。数学にこれほど大きな影響を与えた科学の分野は他にはなく、今後この傾向はさらに加速していくであろう。逆に、数学で発展した理論的技術は素粒子物理学の進歩に甚大な影響を及ぼした。例えば、数学の発展は量子場の理論や弦理論で20年前には考えられなかったような強結合の効果の理解を可能にしている。

過去数十年の間、弦理論の幾何学への応用がすばらしい発展を生んで来た。ミラー対称性は物理学者が予言し数学者が証明した新しい数学的構造で、シンプレクティック多様体のグロモフ・ウィッテン不変量の計算に強力な手段となった。また数学者と物理学者の共同研究から、この数学がゲージ理論のインスタントン、可積分統計系、組み合わせ論等の数学の他の分野と驚くべき関係を持っていることがわかった。現在これは幾何学で最も活発な研究分野の一つであり、この発展により Kontsevich と Okounkov がフィールズ賞に輝いている。この数十年の間に数学にこれほどインパクトを与えた分野は他にはなく、

またこの傾向はさらに加速しつつある。日本では数学と物理学のそれぞれの分野で輝かしい成果がある。この拠点は世界トップレベルの数学者と物理学者を一つの場に結集し、分野間の垣根を取り払い、より創造的な研究を可能にする環境を提供するものである。

米国国立アカデミーの報告書“Rising Above the Gathering Storm”は、数学と物理学の優位を保つことが、科学技術における国際競争で勝ち抜く鍵であるとしている。さらに、期を同じくして、日本学術会議も、基礎数物科学に若者が進まないという最近の傾向から、我が国の数学の基盤の危うさに警鐘を鳴らしている。数学分野の再生は国家の急務、社会の要請でもあり、当拠点構想は時宜を得ている。

数学と物理の研究スタイルは非常に異なっている。それぞれのスタイルを守ることは、研究の成果を最大限に挙げることであるが、数学と物理の連携に対しては、特段の配慮が必要である。数学の主任研究者は駒場に2人いるが、他の2人の数学の主任研究者は、柏に常駐し物理との橋渡し役となり、数学と物理の研究活動の中心となる。全ての数学者と理論物理学者が集まる研究会を年2回ほど開催する。日常的には、頻繁な電話連絡やテレビ会議による議論が行われる。そのため最新のインターネットを用いた、会議システムやメッセージ伝達手段を導入し、年365日24時間休みなしのコミュニケーション手段を確保する。

### 日本の優位性

実験分野においても、我が国の優位は明らかである。スーパーカミオカンデとカムランドに代表されるニュートリノ観測実験では世界の最先端にある。また、すばる望遠鏡を使った広視野撮像探査のための機器も制作中であり、完成後約10年間にわたり観測宇宙論や天体学において、きわめて優位な地位を占めることになる。世界最大の加速器であるLHCは近い将来運転を開始し、宇宙のビッグバンを再現する素粒子衝突実験のデータを使った研究が可能になる。世界トップレベルの数学者、理論物理学者、天文学者および実験物理学者を一箇所に集め、上記すべての実験データを有機的かつコヒーレントに活用することで、宇宙の謎を解き明かすことが目標である。これが世界トップレベルの研究者を本拠点に引きつけるもう一つの理由である。

### 同類分野の研究機関

このような研究機関は世界でも類を見ない。Kavli Institute for Theoretical Physicsは理論物理学ではすばらしい研究環境を持つが、あくまでも理論物理学だけである。また、世界には数多くの数学と理論物理学の研究所がある。例えばケンブリッジのIsaac Newton Institute for Mathematical Sciences、プリンストン高等研究所、フランスのIHES、バークレーのMathematical Sciences Research Instituteなどである。しかし、どれも実験物理学はプログラムに入っていない。また、理論と実験物理学の研究所としては欧州原子核研究機構(CERN)、フェルミ国立研究所(Fermilab)、スタンフォード線形加速器センター(SLAC)、それに我が国の高エネルギー加速器機構(KEK)等があるが、数学は入っていない。本拠点で提案する科学研究は、そのユニークな異分野融合と、その結果生まれる学問的科学的ブレイクスルーへの期待によって、国内外のトップクラスの研究者を引きつけることができるであろう。

本拠点は、科学の最先端で活躍する国内外のトップレベル研究者が目指し、優れた研究人材が蓄積される研究機関として期待される。それだけでなく、社会がその存在を誇ることのできる、基礎科学の「世界から見える」牽引車として、新しい「場」を作ることとを目的とする大胆かつ意欲的な研究所であり、さらには、全科学の基盤としての数学の強化を求める社会の要請にも応えるものである。

### <研究達成目標>

本拠点での研究から最終的にどのような成果が出るのかを現時点で正確に予測することは難しいが、いくつかの大きな成果の可能性と本拠点の学際的な研究による相互触発の重要性を推測してみる。

- 宇宙の暗黒物質の正体について統一的描像を構築する。神岡での地下実験による暗黒物質の検出、LHCのデータの高度な解析により、暗黒物質の正体をつきとめる。この際、本拠点で開発された新しい数理解析の手法が鍵になる。拠点の理論物理学の研究者はこれらの様々なデータを統一的に理解する枠組みを考え、ニュートリノやガンマ線による検出方法を予言し、新しい最先端装置の開発を行い、新しい実験計画を考案する。同時にこの暗黒物質についての新しい知見を包含する統一理論の構築が始まる。弦理論に基づく統一理論から実験への予言を引き出すために新しい手法を生み出す。さらにその手法を用いて拠点の数学者が多様体の未知の不変量を発見する。それは幾何学の大問題の解決への手がかりになる。
- 大規模な三次元銀河分布の観測から宇宙の加速膨張を引き起こしている暗黒エネルギーの性質を割り出す。拠点の応用数学者により弦理論の解の空間の「全貌」を調べる方法を開発し、多くの解の中に観測データで示唆されるような暗黒エネルギーの性質を持つものがあることを示す。その結果によっては、宇宙の将来は加速膨張が永遠に続くわけではなく、原理的には量子論的な泡の生成により、現在の宇宙がエネルギーの低い解へトンネル効果で遷移し、減速膨張の宇宙に変わることを示す。
- 銀河分布の観測から得られるもう一つの情報は密度揺らぎのスペクトル指数で、これによりインフレーション宇宙のモデルに制限をつける。インフレーション宇宙のような時間に依存する弦理論の解は、現在よくわかっていない。拠点の物理学の研究者は数学の可解系の研究者と協力して時間に依存する解の記述法を作り出す。これをふまえて天体観測者、素粒子論と弦理論の理論家が共同して、現在の観測データが弦理論の解を著しく限定することを示す。そして、その解から更にテンソル・モードの密度揺らぎ等の宇宙論的予言を行い、本拠点の観測で予言を検証していく。また大規模データから微妙なシグナルを読み取るための解析の必要性は応用数学と統計学の研究者に新しい解析の手法の開発を促し、新手法を用いて予想されていなかった暗黒エネルギーの振る舞いを見つける。
- 本拠点では次世代のニュートリノ実験の解析を進め、新しいタイプのニュートリノ混合を発見する。この発見で地球上にある鉄より重い元素が過去の超新星爆発により作られたのかどうかの理解が進む。さらに素粒子の質量と混合について完全な情報が得られるため、弦理論における多次元時空のコンパクト化に制限をつけられる。そして我々が宇宙に存在できる理由、つまり反物質と物質の非対称性の起源についてゲージ理論のトポロジーを変える遷移が関係していた可能性を強く示唆する。
- 陽子崩壊探索による物質の安定性の研究や宇宙膨張の研究により新しい「宇宙観」が生まれ、社会に思想的な影響を与える。

これらの研究の結果21世紀の数学と物理の新しいパラダイムが創成される。本拠点の推進する学際的研究は国民の科学に対する関心を高め、優秀な人材を数学、基礎科学に引きつける。ひいては日本の科学技術の基盤を強化することにつながる。

## 2-2. これまでの拠点の研究成果

### 2-2-1. 拠点における研究活動とその成果 (8ページ以内)

IPMUは宇宙に関するもっとも深淵で難解な問題を追求する。つまりそれが「どのように始まったのか?」「何から出来ているのか?」「これからどうなっていくのか?」「どのような法則に支配されているのか?」、そして「なぜ我々が存在するのか?」である。このような問題に挑むにはさまざまに異なった、しかし連携して研究するチームが必要である。このチームには宇宙の性質に関するデータを集める実験家や観測者、データを考察して新しい予言をする理論物理学者や天体物理学者、数学を巻き込むための基礎理論の構築を目指す者達、そして理論物理学に必要な新しい枠組みを提供する数学者が必要である。IPMUは発足以来このような連携チームを作ってきたが、すでにいくつかの成果が出ている。次世代型実験の立ち上げや観測手法の進展が進行中なので今後数年中に一層の成果が出ると予想している。

以下に伝統的な分野分類に沿って、これまでの成果を述べる。ただし、分野間の融合が進んでいることを示すために、出来るだけ関連を強調する。ここで述べる成果は、すべてを網羅したというよりはいくつかの例であることに留意されたい。紙面の制約のためIPMU外の論文共著者名は省いた。

## (1) 実験物理学

実験物理学は宇宙の性質に関する情報を直接得るための主要な方法である。IPMUは神岡観測所の二つの大型実験、スーパーカミオカンデとカムランド、に参加している。太陽ニュートリノの結果はSK-II (Phys. Rev. D **78**, 032002 (2008))とSK-III (Phys. Rev. D **83**, 052010 (2011))の両段階で報告され、太陽ニュートリノ物理のこれまでの世界的理解が正しいことを統計的系統的にこれまでとは独立に確認した。SK-IIはエネルギーのしきい値が高いため、特に難しかった。カムランドは5シグマ以上の信頼度でニュートリノ振動の存在を与え(Phys. Rev. Lett., **100**, 221803 (2008))、最も精度の高い $\theta_{12}$ の値を与え、将来この分野で重要になる $\theta_{13}$ がノンゼロであるヒントを得た(Phys. Rev. D **83**, 052002 (2011))。このふたつの実験は成熟段階に達していて、IPMUは実験進行に貢献している。

IPMUはZEN、EGADS、XMASSの3つの新しい大型実験を進めている。このような新しい実験を始めるには長期にわたる努力が必要なので、まだ結果は出ていないが着実に進展している。

### (a) ZEN

ZEN実験は「ニュートリノを出さない2重ベータ崩壊」と呼ばれる、非常にまれにしか起きない反物質（反ニュートリノ）の物質（ニュートリノ）への遷移を見つけるために行われる。

この実験の動機となったのは有名な1998年のスーパーカミオカンデによる、ニュートリノには非常に小さいが有限の質量があるという発見と、それに続く2002年のカムランドによる約10年にわたる太陽ニュートリノ問題の解決だった。これらの結果は1950年代に発見された右巻き反ニュートリノの他に電気的に中性な左巻き反ニュートリノも存在しなければならないことを示した。問題はそれがすでに存在がわかっている左巻きニュートリノと同一なのか、それとも未発見の全く新しいタイプの素粒子か、ということである。もし前者（マヨラナ・ニュートリノと呼ばれる）が正しいなら、物質と反物質の間には根本的な違いはない。その場合はニュートリノが初期宇宙での物質と反物質の間の行き来できわめて重要な役割を果たして、10億分の1のレベルの小さな物質の過剰を生み出し、他の物質と反物質が衝突消滅した後の現在宇宙の物質原子に至らしめたかもしれない。この理論はレプトジェネシスと呼ばれる。柳田勉主任研究員によって大統一理論ではごく自然にマヨラナ・ニュートリノが小さい質量を持つことが指摘され、後にもう一人の主任研究員福来正孝とともにニュートリノが物質原子の起源を説明することが指摘されたものである。もしレプトジェネシスが正しければ、ニュートリノと反ニュートリノはお互いに行き来ができて、「なぜ我々が存在するのか？」に対する答えを与える。

ZEN実験の概念は2007年にアレキサンドロ・コズロフによって展開された。実験はすでに存在する1,000トンの液体シンチレーターから構成されるカムランドを使う。その放射性不純物はウラニウムがグラムあたり $3.5 \times 10^{-18}$ グラム、トリウムがグラムあたり $5.2 \times 10^{-17}$ グラムである。ZENのこの超高純度環境と適度なエネルギー分解能を使って、ニュートリノを出さない2重ベータ崩壊、つまり大きな原子核内の中性子が陽子と電子と反ニュートリノに崩壊して、反ニュートリノがニュートリノに変わった後に同じ原子核内の別の中性子に吸収される、したがってふたつの電子を出すがニュートリノを出さない原子核遷移である。彼は多量のキセノンガスを液体シンチレーターに溶かし込むことによって、 $10^{26}$ 年に1度しか起きないこの非常にまれな過程を探せることを指摘した。2008年にIPMUの特別ポスドク（長期）に採用された後、カムランドを新しい段階に変えていく研究を主導している。カムランドを主導する東北大学ニュートリノ科学研究センターの井上邦雄IPMU主任研究員が2009年にZENの第一段階に必要な資金を獲得した。すでに290kgの同位元素濃縮されたキセノン136を入手し、8月までに420kgを入手する予定である。同じ頃までに、カムランドの中心にキセノンを溶かし込んだ液体シンチレーターを入れるための小さなバルーンを吊す予定である。8月にはデータ収集が始まると期待される。同じような核反応を探る実験が世界中で多くおこなわれているが、ZENが始まると速やかにこれらを越えて、2012-2013頃には世界一の結果を出すと期待される。ニュートリノ質量に対する実質的感度は50meVで、将来の改良によって20meVまでいこう。

### (b) EGADS

我々の身のまわりにあるほとんどの化学元素は星の中の核融合から生成され、超新星爆発によって宇宙にばらまかれたものである。我々の太陽はそれ以

前の世代の星が生成した元素から形成された第3世代の星と考えられている。したがって、多くの超新星がいつどのようにして起きたかの歴史は宇宙の化学的進化つまりは「なぜ我々が存在するのか？」に直結する。超新星爆発の理論で世界をリードする野本憲一主任研究員は宇宙に存在する化学物質の定量的理解がまだ充分ではないと指摘している。ZENがそもそもなぜ物質原子が存在するのかを調べるのに対して、EGADSはニュートリノを使って数十億光年の彼方にある超新星を観察して化学的進化を調べようとするのである。カミオカンデは大マゼラン雲のSN1987Aから飛来した約10個の(反)ニュートリノを観測して、重力崩壊型超新星の理解が基本的に正しいことを確認した。この功績で小柴昌俊がノーベル賞を受賞した。もし我々の天の川銀河で超新星が起きると現状のスーパーカミオカンデでは数千個のニュートリノを観測することができる。しかし化学的進化を調べるためには宇宙距離(数十億光年)の超新星の観測が必要で、現状の測定装置では十分な感度が得られない。

2004年にマーク・ベギンスは理論物理学者のジョン・ビーコンと一緒にスーパーカミオカンデの超高純水にガドレニウム化合物を混入させて、遠方超新星からの(反)ニュートリノ測定の感度を上げることを提案した。この分野ではGADZOOKS計画としてよく知られている。ベギンスはこの計画を立ち上げるために2008年にIPMUの教授に採用された。このような方向は、後で述べる前田啓一助教が進めている大型望遠鏡を使った超新星観測を補充する情報を与える。中畑雅行主任研究員とベギンスはこの提案の実現可能性を調べるために2009年度科研費1億3300万円を獲得した。この資金を使って神岡鉱山内に新たな水タンクを建築して、ガドレニウム混合水の透明性と安定性を調べる作業が2011年に始まった。この結果に基づいてスーパーカミオカンデ・グループは数年以内にガドレニウム化合物を混入するかどうかの判断を下す予定である。

### (c) XMASS

ZENは物質原子の起源を解明しEGADSがその化学組成を解明するが、これだけだと暗黒物質と呼ばれる宇宙の80%を占める物質の解明にはならない。現在までのところ、星や銀河の運動やそばを通る光に与える重力効果以外にその正体はほとんどわかっていない。

XMASSは鈴木洋一郎主任研究員によって2000年に発案され、2007年に予算化された。宇宙線研究所ですでに計画が進められていたが、IPMUは装置建設とデータ解析に参加した。我々は液体キセノン中のラドン不純物の除去に詳しいカイ・マルテンを2008年に准教授として採用し、さらに非常に優秀なジン・リユーをポスドクとして採用した。

実験の第一段階では、5角形に並べられた光電管に囲まれている1ktの液体キセノンを外部中性子バックグラウンドを遮蔽するための5ktの水タンク内に吊して使う。光電管は厳格な無塵条件を満たすように特別に組み立てられた。球体は2010年10月に完成し、11月から試運転が始まった。外部バックグラウンドは水による遮蔽とベトカウンター、さらには観測容積内で再構築されたパーテックス座標に解するカットで減らされる。これは世界最大の暗黒物質専用測定装置で、観測容積を100トンまできつく絞っても、他の競争相手に競える感度を持つと期待している。

## (2) 天体観測

宇宙研究の最も直接的方法は望遠鏡を使った観測である。それにはふたつの相補的な手法がある。ひとつは個別の天体物体を調べていくものであり、もうひとつは宇宙全体を広く観測することである。このふたつはお互い相容れないものではなく、しばしば広い観測が個別の物体の重要なカタログを提供してきた。ここでは話をわかりやすくするためにそれぞれの手法を分けて述べる。

### (a) 大規模サーベイ

特に暗黒物質や暗黒エネルギーによって引き起こされる膨張の歴史のような宇宙全体の傾向を調べるには、個別の物体が持つ特殊性に邪魔されることを避けなければならない。むしろ同じような種類の物体をプローベとして使い、広視野深距離の出来るだけ偏りのない、一種の国勢調査のような、データを集めて宇宙自体の正体を解明しようとする。特に興味深いのは宇宙の加速膨張を引き起こす、まだなにかがわかっていない暗黒エネルギーの正体である。膨張の歴史を精密に測定することによって、背後にある暗黒エネルギーの正体を知り、その歴史を未来に延長して宇宙の運命という課題に答えたいと考える。さらに暗黒エネルギーは、予想より真空エネルギーが $10^{120}$ 倍も大きすぎるという大問題を素粒子物理学に突きつけている。この問題の解決のために、例えばアインシュタインの理論とは異なる「代わりの重力」のような、加速膨張を説明しようとする多くの理論的可能性が提案された。

(i) スローン・デジタル・スカイ・サーベイIII

IPMUは発足後すぐに米国ニューメキシコ州アパッチポイントにある2.5メートル望遠鏡を使い2009年開始予定だったスローン・デジタル・スカイサーベイと呼ばれる最大規模サーベイ計画に参加した。現在の段階は画像と分光を組み合わせて10,000二乗度の広視野を観測する。

IPMUは画像サーベイで最も重要な部分である CCDカメラを提供し、現在完成している。データリリース8 (H. Aihara *et al.*, *Astroph. J. Suppl.*, **193**, 29 (2011)) と呼ばれる発表結果は1兆ピクセルを越えるデータからなり、これまでで最大の宇宙画像である。

現在共同研究チームは、スペクトル線の赤方遷移を使って銀河の光方向の運動を正確に測定する分光サーベイを進行中である。完了した画像サーベイによって高輝度赤色銀河と呼ばれる特殊なタイプの銀河を偏らないサンプルとして認識できるだろう。画像サーベイと分光サーベイの組み合わせが、宇宙がまた3,500度という高温だった時期に原子核(バリオン)、電子、光子の高温プラズマの中の音波が作り出したバリオン音波振動(BAO)と呼ばれる特徴的な距離を持つ銀河分布の観測を可能にする。バリオン音波振動の音響ピークは現在のデータから正確に計算することが可能で、宇宙論スケールの距離を正確に測定するための「標準ものさし」を提供する。距離は時間と同義語で赤方遷移はまさに空間の膨張であり、 $z \sim 0.6$ より上で現在よりもずっと正確な膨張の歴史に関するデータを得ることができる。7名の教員と多数のポスドクがIPMUでSDSS-IIIに関わっている。

(ii) ハイパー・スプリーム・カム

次の主要なサーベイ計画は国立天文台(NAOJ)がマウナケア山頂に所有する8.2メートルすばる望遠鏡を使った画像サーベイである。建設中のハイパー・スプリーム・カム(HSC)と呼ばれる新しいデジタルカメラは、およそ9億個のピクセルを持ち重さが3トンで、複雑で正確な補正レンズ系を持つ。より大きな鏡を有するため、より初期の宇宙を観測して膨張の歴史をさらに初期にたどる。米国の暗黒エネルギーサーベイ計画(DES)との真っ向からの競争を演じながら、今後5年程度は最高精度で暗黒エネルギーの正体に迫ると期待される。

この計画はIPMUが参加する前からすでに国立天文台、東京大学、KEK、プリンストン大学、そしてASIAA(台湾)の共同研究として始まっていた。中心となる測定方法は重力レンズ効果を使って遠方銀河の画像のゆがみによる(見えない)暗黒物質の分布図を作ることである。暗黒物質構造の成長は暗黒エネルギーの正体に依存する膨張の歴史で決められる。

発足後すぐにIPMUはSDSS-IIIの経験を生かして定例会議を開催したりデータ解析チームを組織したりして、HSC活動のハブを作った。我々は重力レンズに詳しい高田昌広准教授、計算機シミュレーションを使った擬似カタログ作成に取り組む吉田直紀准教授、データ解析を専門とする安田直樹教授を採用して、この計画の中心となるチームを作った。さらに助教として追加採用したジョン・シルバーマン、大栗真宗、ケビン・バンディー(今秋着任)は画像サーベイの分野を超巨大ブラックホールや銀河の進化に拡大する。また、この計画は全体の約半分を分担するIPMUの資金提供なくしては不可能だということがわかった。その大部分は2010年から始まった最先端研究開発プログラム(FIRST)から村山機構長に与えられた34億円から出る。

この大規模サーベイは着実に進展している。カメラは今年秋に最初の光を捉える予定である。最初のデータチャレンジ(データ解析に向けた戦略を作成するタスクフォース)は2010年に開催された。実際のサーベイは2012年開始が予定されている。

(iii) プライム・フォーカス・スペクトログラフとSuMIRe計画

SDSS-IIIの経験からはっきりわかったことは、画像サーベイに分光サーベイを追加すると飛躍的に情報が増えることである。現在SDSS-III後の分光サーベイは世界でも計画されていない。村山機構長のFIRST資金獲得はまさにHSC画像サーベイと同じすばる望遠鏡による分光サーベイを組み合わせるSDSS-IIIとほぼ同じ空間体積をさらに初期宇宙まで延長したサーベイ計画に対してである。この組み合わせはSuMIRe計画(Subaru Measurement of Images and Redshifts)と呼ばれる。村山は理論物理学者として訓練されてきたにも拘わらず、現在では天文学者や測定機器の専門家からなる国際チームを主導してファイバー位置ロボットを装備し一度に多数の銀河のスペクトルを測定できる次世代型多目的分光装置建設に取り組んでいる。これはIPMUで起きている分野の垣根を越えた多くの研究活動の一例である。

34億円資金はSuMIRe計画には不十分であるが、諸外国の共同研究機関はこの提案にある多目的分光装置建設に貢献すると約束している。カリフォルニ

ア工科大学とNASAジェット推進研究所は10ミクロン精度を持つファイバー位置ロボットを提供する。また、プリンストン大学とマルセーユ天体物理学研究所は380-1300ナノメートルをカバーする分光装置を建設して、0.1とライマン・アルファ線を使った近隣からz~6までの銀河の赤方遷移を連続サーベイできるようにする。共同研究チームの組織作りは順調にっており、基本概念は今年9月までに決まる。

#### (b) 個別天体物体

大規模サーベイが宇宙研究の鍵を握るにも拘わらず、特定のタイプの天体物体に特化した研究はサーベイ結果の詳細な理解と解釈にとってきわめて重要である。IPMUではすでにこのような研究が行われており、多くの成果を出してSDSS-III、HSC、PFSサーベイの系統的誤差に大切な情報を与えている。

#### (i) 超新星

宇宙の加速膨張すなわち暗黒エネルギーの最初の発見は数10億光年彼方のIa型超新星の観測に基づいている。Ia型超新星は爆発して自分が属する銀河よりも明るくなるので、このような遠方からでも観測できる。このような爆発の理論的研究に取り組む野本憲一主任研究員はそれが白色矮星と伴星から構成されるバイナリー系で、星から白色矮星へのガスの増大がチャンドラセガール限界を超えて不安定となりブラックホールが形成する過程であると結論づけている。チャンドラセガール限界は物体やそのまわりの環境の詳細に依存しないので、Ia型超新星は、少なくとも近い物の間では、驚くほどの均一な明るさを持つので「標準光源」の名前を付けられている。しかし暗黒エネルギー発見の基になったこの仮定が遠く離れた距離でも本当に同じかどうかは重要な問題として残っている。もし超新星の間に系統的なばらつきがあれば暗黒エネルギーの発見自体に疑問がでてくる。

IPMUでは一連の理論的考察から超新星の「個性」を比べる新たな手法を提案していた前田啓一助教を採用して、このような超新星間の系統的ばらつきの可能性を調べている。彼はその後自分でも超新星観測をするようになった。これもIPMUで起きている「垣根越え」の一例といえよう。彼は超新星が最初の劇的段階を経て「退屈」な状態になった後100日間集中的に観察して、すぐに超新星爆発が球状ではないことを突き止めた。彼は塵が晴れた後の爆発中心部の観測から酸素スペクトルが2重のピークを持つことを見つけた。この2重ピークは中心部の膨張によるドップラー効果が我々から見るとふたつの顕著な速度に見える、つまり非球対称な爆発を意味するのである (Science, 319, 1220 (2008))。しかしこの観測は前述のEGADSが目指す重力崩壊型と呼ばれる、別のタイプの超新星爆発についてであった。

前田はこの研究を暗黒エネルギーにとって重要なIa型に拡張した。実際Ia型超新星のスペクトルの変化には個性があることが観測されていて、「標準光源」としての正当性に疑問が投げかけられていた。2010年に発表した論文 (Nature, 466, 82 (2010)) で彼は新しい観測からこの明らかな個性は非球対称な爆発を見る方向の角度によることを示した。この研究は標準光源としてのIa型超新星に関する重要な疑問点のひとつを解決した。

一方で、より多くのIa型超新星サンプルを手に入れて詳細に調べることは非常に有用と考える。野本憲一主任研究員は、塵状の雲で反射して出来た「こだま」を使って、1572年にティコ・ブラエによって発見された超新星を「再発見」した。彼は近代的な望遠鏡を使って、それがIa型超新星だったことを示した (Nature, 456, 617 (2008))。

この秋にはロバート・クインビーが特別ポスドクとして着任してIa型超新星の校正を続ける。彼は新しいこれまでで最も明るいタイプの超新星を発見し、パロマー・トランジェント-IIでこれまでで最大の超新星サンプルを作り上げてきた。

#### (ii) クラスタ

銀河クラスターが高密度の暗黒物質を含むことは、クラスターの真後ろにある遠方の銀河が「巨大なアーク」のように見える強重力レンズ効果によってはっきりと示されてきた。しかし近代統計学は重力レンズ効果がそんなに劇的ではない場合でも画像のゆがみを系統的に解析することを可能にする。このような研究は最新で最高の望遠鏡と周到な解析があって初めて可能になる。このような弱重力レンズ効果がHSCによる暗黒物質の分布図作成とその背後にある暗黒エネルギー解明の元になる。HSCサーベイにとって系統的誤差を理解することが重要なポイントになる。

高田昌広准教授は理論天文学者として訓練を受けてきたが、今では重力レンズ効果が10%と小さい場合を含めたくさんの銀河クラスターを使った暗黒物質の分布図作成に移ってきている。自分の専門知識を使って25個のクラスターの解析から高い統計的確率で暗黒物質の分布が球状でないことを示した

(MNRAS, 405, 2215 (2010))。これは後述する吉田直紀らによる計算機シミュレーションの予想と一致する。彼は改良された理論的予想とこの観測結果を使って、理論的にしっかりしたニュートリノ質量の上限を与えた (Phys. Rev. D 79, 023520 (2009))。

特別ポスドクの田中賢幸がすばる望遠鏡とXMMニュートン衛星のデータを使ってこれまでで最も遠方の分光学的に確認されたエックス線クラスターを発見した (Astrophys. J. Lett., 716, L152 (2011))。これは将来 HSCを使ってごく普通に出来る観測の例である。そのような観測では遠方のクラスターの系統的探索を可能にし、吉田らによる数値シミュレーションを使った構造形成の理論的予想の検証を可能にする。

### (3) 理論天体物理学と素粒子現象論

大規模サーベイや個別観測、あるいは大型実験の結果は理論の枠組みの中で解釈される必要がある。と同時に理論は定量的な予言を行ない、データ解析を可能にする役目も担う。ひとつ屋根（時にはひとつの体！）の下に両方のタイプの研究者がいることで相乗効果を狙うことはIPMUの研究プログラムの重要な側面である。

#### (a) 数値計算による天体物理学および宇宙論

数値計算宇宙論は、たった38万歳だった宇宙の太古の光である宇宙マイクロ波背景放射の観測結果を初期条件として宇宙構造の進化を調べる。暗黒物質の分布を調べるいわゆる「N体シミュレーション」は相互作用が少ないため計算が比較的易しく、よく確立されている。しかし原子物質を含めると重力だけでなく電磁相互作用もあるので、計算が複雑になり極度に困難になる。それに加えて、観測された構造を調べるには数十億光年（観測された宇宙の大きさ）から数光分（太陽と地球の距離）まで非常に大きなダイナミック領域が要求される。

吉田直紀准教授は必要とされる大きなダイナミック領域での原子物質の相互作用を研究する数値シミュレーション手法を開拓した。彼は2009年の論文 (Nature, 459, 49 (229)) でいわゆる「暗黒時代」と呼ばれる時期から最初の星や銀河誕生までの進化を記述している。さらに2009年の野本憲一主任研究員との共著論文 (JCAP, 8, 024 (2009)) で初期銀河ではガスと暗黒物質の増大によって超巨大ブラックホールが形成されたという新理論を提唱した。彼の計算は競争相手に比べて約5年先行している。素粒子論ポスドクのコシモ・バンビ他との共同研究で吉田は超回転するブラックホールの質量増大にはある種の障害があることを示した (Phys. Rev. D 80, 104023 (2009))。

観測された構造の理論的研究以外にも、彼の研究は星や銀河の疑似カタログも提供する。それらは今後の大規模サーベイと比較されて、系統誤差の理解に役立てられる。たとえば、杉山直主任研究員は吉田、高田、IPMUポスドクとともに発表した論文で非ガウシアン誤差の詳細な検証をおこない、文献で主張されたこの問題 (Astrophys. J., 701, 945 (2009)) は存在しないと示した。

#### (b) 大規模構造

構造の進化は非均質性の第1次までの線形近似を使って理論的に計算することができる。しかし観測結果は非線形効果を示していて、それが観測と理論の比較にはきわめて重要である。非線形領域での正確な理論予想が最近世界中で脚光を浴びてきている。

たとえば宇宙の大規模構造からニュートリノ質量に制限を与えることは素粒子物理と天文が交差する興味深い研究分野であるが、精度の高い理論予想を得ることが大きな障害になっていた。理論天文学者である高田はニュートリノに質量がある場合（スーパーカミオカンデとカムランドによって実証され、柳田主任研究員によって予言されていた）の非均質性の高次の効果を扱う改良理論を展開して、しっかりと理論予想を発表した (Phys. Rev. Lett., 100, 191301 (2008), Phys. Rev. D80, 083528 (2009))。これも相乗効果の一例といえよう。

さらに高田らは画像サーベイと分光サーベイの組み合わせが宇宙規模の距離でのアインシュタイン理論に代わる重力理論に敏感であることを示した (Phys. Rev. D 81, 023503 (2010))。このような方向は基礎理論と天体観測の研究を融合させていくと期待される。

#### (c) 衝突物理現象論

衝突実験は光学的観測が可能な域を超えた初期宇宙の状態、つまり高温とマイクロな光の平均自由行程のため原子が電離した状態の最終散乱の面、を調べ

られるユニークな機会を与える。天体観測の場合と同じようにテバトロンやLHCのような衝突実験のデータは膨大かつ複雑で、決定的な情報を抽出するための詳細な理論研究を必要とする。特に興味深いのは測定にかからない暗黒物質粒子の生成で、その存在と性質は同時に生成された他の粒子から推測しなければならない。このような解析にはいろいろなアイデアと正確な理論予想を必要である。一方、データが新モデルを示唆することもあるので、新モデルが衝突実験で出す信号を調べ上げることが決定的に重要である。これは新しい物理の発見にとって不可欠な両側通行の橋である。時には理論家と実験家が直接共同研究を行うことが役に立つ。

たとえば、崩壊チェーンで見えない粒子に崩壊する新粒子の質量測定が困難を極めることはよく知られている。この問題を解決するため $m_{T2}$ と呼ばれる新しい力学変数が提案されたが、粒子の質量が増大するにつれてエネルギーが大きくなる初期状態放射がこの $m_{T2}$ の定義を複雑にする。IPMUが発足してすぐに任命された野尻美穂子主任研究員が $m_{T2}^{min}$ を使ってこの問題を解決する新しい手法を提案した(Phys. Rev. Lett., **103**, 151802 (2009))。もっと難しい問題は新粒子のスピン測定である。村山斉主任研究員はモデルの仮定によらないヘリシティー状態間の干渉を使う新しい手法を提案した(Phys. Rev. D **78**, 014028 (2008))。一方、野尻は、宇宙線データからヒントを得てパーク、シュー両ポストドクが提案した新しいモデルを引き継いで、初めてその衝突実験からの信号の詳細な現象論を展開した(JHEP, **9**, 78 (2009))。村山はテバトロンからのトップクォーク対生成での予想外に大きな前方後方非対称に動機づけられて異なるモデルを提案し、衝突実験への現れ方を導いた(Phys. Rev. D **81**, 015004 (2010))。柳田勉主任研究員は実験家と共同でアノマリが介する超対称性破れのメカニズム(村山などにより提案された)をLHCでどのようにして検証するかを詳細に研究した(Phys. Lett. B **664**, 185 (2008))。

#### (d) 宇宙線現象

IPMUではXMASS地下実験、天体観測、理論モデル、衝突実験を駆使して暗黒物質の正体に挑んでいる。さらに、天の川銀河ハローで暗黒物質が消滅する際の生成物が宇宙線に含まれている可能性もある。実際、PAMERA(陽電子)、ATIC、FERMI{電子と陽電子}からのデータのうちのいくつかは過去のデータからの予想より大きい値を示した。ただしまだはっきりした解釈はない。

高橋史宣助教は暗黒物質粒子に(電子の場合のように)レプトン数を付けて余分な反陽子の生成を避けつつ、暗黒物質の崩壊で古い宇宙線データを説明する新しい可能性を、最近のデータが出る前に、提案した(JCAP, **02**, 004 (2009))。このモデルはそれ自体最近の実験の対象にもなっている。柳田勉主任研究員は大統一模型で許される寿命の範囲内であってもその他の多くの制限を避けるために、消滅ではなく暗黒物質の崩壊を提案した(Phys. Lett. B **673**, 247 (2009))。彼らの共同研究は隠れたゲージ・ボゾン提案の最初の論文だった(Phys. Lett. B **673**, 255 (2009))。ポストドクのジン・シューとセオンチャン・パークは自分たちだけでデータを説明できる新しいタイプの余剰次元モデルを提案した(Phys. Rev. D **79**, 091702 (2009))。

文献にあるハロー内で暗黒物質の消滅を大きくするモデルの多くは2003年当時野尻主任研究員と松本茂樹准教授が提案したゾンマーフェルド増大に依存していることに留意されたい。さらに、柳田、村山両主任研究員はブライト・ヴィグナー増大と呼ばれる別のハロー内の消滅増大のメカニズムを指摘した(Phys. Rev. D **79**, 095009 (2009))。これは、たとえ現在のデータ解釈が正しくなかったとしても、将来役に立つかもしれない。

#### (4) 基礎理論

IPMUは実験と観測に基づいて、またデータと理論の繋がりを使い、宇宙の基本法則解読に挑んでいる。量子場の理論と超弦理論を使って、新たな理論を進展させようとしている。これらの多くは他の科学分野への応用に役立っている。

#### (a) モデル構築

「モデル構築」は観測データに動機付けられたり超弦理論のような基礎理論に触発されたりして、基礎理論構築への橋渡しをする。たとえば、3世代のクォークとレプトンの観測された質量は世代間では(数)桁のオーダーで異なり、標準理論では説明できない。楢円カラビ・ヤウ4次元多様体にコンパクト化された超弦理論の一種であるF理論はこのパターンをごく自然に説明するために提案された。しかしこれらの多様体を理解する際の困難がこの橋渡しを技術的に困難にする。ともに准教授の渡利泰山(物理学者)と戸田幸伸(数学者)は層の周到な解析でこの困難に立ち向かい、もともとカムラン・ヴァ

ファラによって提案されたモデルが期待されたとおりに働かないことを示した (Nucl. Phys., B **806**, 224 (2009))。渡利はその後一連の論文でどのようにして新しいモデルを構築してもととの目的を達成するかを調べた。

明確なモデルはしばしばたくさんのお互いに関係のない実験データから厳しい制約を受ける。柳田勉主任研究員はゲージが介する超対称性の破れのメカニズムについてのモデルを研究してきている。一連の論文で彼は宇宙の大規模構造、衝突実験の探索、量子トンネル効果に対する安定性のすべてからの制約を満足することが可能なことを示すことができた。

#### (b) 基本法則とアインシュタイン理論に代わる重力理論

宇宙、特にブラックホールやビッグバン自体、を記述する基本法則を作り上げるにはミクロの物理 (量子力学) とマクロの物理 (一般相対論) をひとつの体系に統一することが決定的に重要である。この努力は理論計算の制御不能な無限大に妨げられている。現在ここで最も期待されているのが超弦理論である。しかし超弦理論は豊富な構造を持つがまだ正確な定義に欠けていて、具体的な理論の結論を調べ上げるのが大変難しい。

長い間ブラックホールの量子的側面にはある問題が横たわっていた。スティーブン・ホーキングによって指摘されたようにブラックホールはエントロピーを持つ。しかし熱力学のエントロピーは統計力学のミクロの自由度に起因し、どのようにしてそのミクロ自由度を数えるかは難しい問題だった。大栗博司主任研究員は位相超弦理論とオコンコフらによるドナルドソン・トーマス理論の「壁越え」に関する最近の数学研究を使ってこの問題に取り組み、以前行った一貫した数え上げ方法を任意のコンパクト化されていないトラス状のカラビ・ヤウ多様体に一般化した (Comm. Math. Phys., **292**, 179 (2009))。この数え上げ方法は溶解する結晶から原子を取り除く方法と同等であることがわかった。彼はさらに滑らかな古典的記述がこの描像からどのように起因するかを示した (Phys. Rev. Lett., **102**, 161601 (2009))。この他にも大栗は一連の論文で超対称性の破れのメカニズムを超弦理論の観点から調べて、実験や観測からの制限の観点からモデル構築研究に繋げた。

最近ピーター・ホラバが計算に現れる発散をコントロールしつつ (繰り込み可能) 量子力学と重力を統一する新しい方法を提案した。この提案が正しくアインシュタインの一般相対論を再現できるかどうかはまだはっきりしていない。向山信二准教授は早速この提案を取り上げ、宇宙論との関連を調べた。彼はこの提案がインフレーションと呼ばれる空間の加速膨張に頼ることなく、観測された宇宙の構造を説明するのに必要なスケール不変な宇宙論的摂動をごく自然に作り出すことを指摘した (JCAP, **6**, 001 (2009))。この研究はホラバ・リフシッツ理論の研究を世界中でさらに続ける大きな動機を与えた。加えて、ポストクのドメニコ・オーランドとスザンネ・レファートはこの理論の発散構造を位相的に重い重力の場合と比べることによって、ホラバ・リフシッツ理論が実際繰り込み可能である可能性が大きいことを示した。彼らの論文 (Class. Quant. Grav., **26**, 155021 (2009)) は Classical Quantum Gravity 誌の 2010 年度ハイライトに選ばれた。

#### (c) 他分野への応用

超弦理論は豊富な構造を持つため広くいろいろな物理系を許容できる可能性を持つ。最近では超弦理論を重力の基礎理論としてではなく理論の枠組みとしての使用が盛んになっている。

杉本茂樹教授は超弦理論を使って強い原子核相互作用を記述する酒井・杉本モデルでよく知られていて、理論物理学木村賞、湯川・友永賞、3回の日本物理学会論文賞を受賞した。このモデルを使って彼は初めて磁気モーメントや構造関数を含んだバリオン (陽子、中性子など) の詳細を調べ上げ、理論予想が期待した以上の精度でデータと合うことを示した (Prog. Theo. Phys., **120**, 1093 (2008))。

高柳匡准教授は超弦理論の物性物理学への応用を論ずる一連の論文を発表した。特に位相的絶縁体は最近の物性物理学の最もホットな話題である。高柳は超弦理論が異なる位相的絶縁体の分類に役立つことを示した (Phys. Lett., B **693**, 175 (2010); Phys. Rev. D **82**, 086014 (2010))。さらに彼は東大の大学院生と共同でブラックホールのエントロピーと物性系のエンタングルメントエントロピーとの間の関連を指摘した。 (JHEP, **1011**, 054 (2010))

#### (5) 数学

数学はこれまで考えもしなかった問題の対処を可能にするので、大きく理論物理学に影響する。同時に理論物理学からの要求および進展は数学研究に新

たな方向を芽生えさせる。IPMUは大学のこれまでの部局構造ではできなかったこのような相乗効果を目指している。もともと居た主任研究員たちに加えて、新たにアレクセイ・ボンダル主任研究員（IPMUに半分滞在）、戸田幸伸准教授、近藤智助教、トドール・ミラノフ助教を採用した。またこの物理学者の何人かは強い数学のバックグラウンドを持つ。堀健太郎教授はここに移る前のトロント大学で物理学科と数学科半分ずつ所属した。大栗主任研究員は物理学者だが、米国数学会のレオナルド・ローゼンバッド賞の第一回を受賞し、カリフォルニア工科大学で物理数学両方に所属する。多くのメンバーがAdvances in Theoretical and Mathematical Physics、Communications in Mathematical Physics、Communications in Number Theory and Physicsのような物理と数学のまたがる学術雑誌に投稿している。両分野の間には論文発表に関して大きく異なったスタイルがあるにも拘わらず、前述したように物理学者と数学者の共著論文も生まれている。

特に数学者の興味をひくのが、もともとカラビ・ヤウ3次元多様体における超弦理論のコンパクト化に取り組んでいた理論家によって提案された、複素解析的シンプレクティック多様体間のミラー対称性である。この分野はさらにコンセーブッチ、深谷、他によってホモロジカル・ミラー対称性予想に発展され、超弦理論に関連した活発な分野である。最近採用されたトドール・ミラノフ助教は積分可能な系（KdV階層）を使ってミラー対称性対のグロモウ・ウエッテン不変量の生成関数を構築してミラー対称性を調べるきわめてユニークな研究をしている。アレクセイ・ボンダル主任研究員は接続層の導来圏の分野を切り開いたが、この分野はその後超弦理論でDブレーンを性質を調べる上での基本となった。我々のメンバーはベイリンソン予想、一般化された「月影」予想、ストロミンジャー・ヤウ・ザスロー予想など、さまざまな難解な数学問題に取り組んでいる。IPMU発足以来、新たに斎藤恭司、アレクセイ・ボンダル両主任研究員を加えた。後に物理学研究にとってきわめて重要になった数学分野の礎を築いた彼らの大きな業績のためである。

すでに述べたように戸田は渡利を助けて超弦理論の中のF理論形式のモデルに基づいたクウォークとレプトンの質量への影響を調べた。彼は超弦理論のDブレーンの力学やその上で超弦理論がコンパクト化されるカラビ・ヤウ多様体の構造に関連する層の導来圏に関する研究をおこなっている。彼は3次元カラビ・ヤウ多様体上の新たな曲線の数え上げ不変量を導入して、パンドハリパンデとトーマスによって導入された安定対不変量の数え上げを一般化した（Duke Math. Journ., 149, 157-208 (2009)）。彼はさらに滑らかな射影的3次元カラビ・ヤウ多様体上のD0-D2-D6有界状態の三角圏のある種の弱安定条件の空間を調べて、その三角圏内の半安定対象を数え上げるDT型不変量を構築した。これは3次元カラビ・ヤウ多様体上の新しい曲線の数え上げ不変量である（Journ. Amer. Math. Soc., 23, 1119-1157 (2010)）。これら両方の研究は壁越え現象に密接に関連するもので、IPMUでの物理学者と数学者による壁越えに関するワークショップによって一部触発されたものである。

物理学者ウイッテンのフィールズ賞論文は位相的場の理論を「結び目」と「組みひも」の理論と関連づける研究であったが、それ以降、この分野は物理学者と数学者の共通の興味を喚起する研究領域となっている。河野俊丈主任研究員は複素平面上の異なる点の配置空間のバー複体のコホモロジーは0次元以外で消滅することを示した（Topology and its Applications, 157, 209 (2010)）。このバー複体の0次元コホモロジーは組みひもの有限型不変量全体の空間と同一視される。さらに、彼は組みひも群から有理数体 $Q$ 上の水平コードダイアグラムの空間への普遍的なホロノミー準同型写像を構成した。これは有理数体 $Q$ に値をもつ組みひもの有限型不変量を与える。

大栗博司主任研究員は、K3曲面の楕円指標が最大のマチュール群であるM24の既約表現の次元によって自然に展開されることを発見した（Exper. Math. 20, 91 (2011)）。この指摘は、世界各地の数学者を刺激し、このふしぎな関係を理解しようとする数学的研究を触発している。別な論文（Comm. Number Theory Physics, 2, 743-801 (2008)）では、楕円指標のモジュラー性から、2次元の共形場の理論のプライマリー場のスペクトルについての制限を与えた。モジュラー形式は、場の量子論と、代数幾何を含むさまざまな数学との接点にある概念である。

近藤智助教は数論幾何学に取り組んでいる。論文（Journal of Pure and Applied Algebra, 215, 511-522 (2011)）で彼はモチビク・コホモロジー群と高次チャウ群の積構造はVoevodskyの比較同型のもとで同等であることを示した。これは基礎体が特異点解消を持つと仮定した比較同型を用いたWeibelの結果を発展させたものである。モチビク・ホモトピー論のねじれ係数モチビク・コホモロジー群とその積構造を定義し、それらについても比較同型のもとで同等であることが示されたのである。発表が予定されている一連の論文で彼は、どのようにモジュラー曲線の $K_2$ に関するベイリンソン定理をドリinfeldt・モジュラー曲線の状況に一般化するか、さらに関数体上のベイリンソン予想の正しい定式化に向けて高次元での初めての証拠とみなせる公式の存在を示した。今度採用する阿部知行助教も数論幾何学専攻だが、代数的観点から取り組む。

斎藤恭司主任研究員は数学のいくつかのモジュラー問題に関して現れる関数や数の超越的性質一般に興味を持っている。それらを研究するひとつの手法

では原始形式の周期積分の理論を構築した。これは超弦理論研究に大きなインパクトを与え、フロベニウス多様体構造と呼ばれる基本的な手法になった。彼の取ったもうひとつの手法は熱力学や統計力学に関連する統計力学的極限操作である。最近の研究 (Publ. RIMS, 46, 37-113 (2010)) で彼は任意の可約モノイド  $\Gamma$  の Cayley グラフに関係した熱力学的極限関数 (自由エネルギー) たちの為す空間  $\Omega(\Gamma, G)$  の一般的枠組みを開発した。これは有限自由エネルギーの点の集まりとして一定の Hopf 代数で抽象的に定義されていて、今のところ計算が難しい。しかしそのような極限 F 関数のいくつかのよいケースではモノイドの増大関数として与えられる有利型関数の剰余として表現されることを示し、広大な応用への道を開いた。

2-2-2 研究業績等 (以下の各項目について総件数・年度別件数 (表に記入) を記載)

A. 査読つき論文 (掲載済みあるいは掲載が決まっているもの)

計 562 件

平成19・20年度	124	平成21年度	202	平成22年度	236
-----------	-----	--------	-----	--------	-----

B. 国際会議・国際研究集会での招待講演・基調講演等

計 177 件

平成19・20年度	63	平成21年度	52	平成22年度	62
-----------	----	--------	----	--------	----

C. 国際会議での一般講演

計: 口頭 167 件、ポスター 0 件 (当拠点ではポスター発表を研究成果として記録していない)

平 19・0年度	口頭	ポスター	平成21年度	口頭	ポスター	平成2 年度	口頭	ポスター
	38	0		63	0		66	0

D. 国内の学会及び研究集会での招待講演

計 79 件

平成19・20年度	14	平成21年度	16	平成22年度	49
-----------	----	--------	----	--------	----

E. 国内の学会及び研究集会での一般講演

計: 口頭 99 件 (通常の大学セミナーは含まない)、ポスター 0 件 (当拠点ではポスター発表を研究成果として記録していない)

平成1・20 度	口頭	ポスター	平成21年度	口頭	ポスター	平 22年度	口頭	ポスター
	34	0		35	0		30	0

F. 書籍 (学術図書、専門書等)

計 0 冊

平成19・20年度	0	平成21年度	0	平成22年度	0
-----------	---	--------	---	--------	---

G. 産業財産権

計：登録済み0件、出願中0件

平成1・20年度	登録済み	出願中	平 2 年度	登録済み	出願中	平成22年度	登録済み	出願中
	0	0		0	0		0	0

H. 主要な賞の受賞（内定が公表されているものを含む）

計 2 1 件

平成19・20年度	6	平成21年度	5	平成22年度	1 0

2-3. 今後の方針・具体的計画（4ページ以内）

<研究分野>

当拠点の現在の体制では、数学と実験・観測がスペクトルの対極に位置し、理論物理学と天文学の研究活動によって結ばれている。我々は統計学の研究者を追加することによって、もっと直接的にこの対極分野を結びたいと思っている。統計学は大きく分けると数学の1分野だが、近代の実験や観測プロジェクトから得られる膨大なデータの解析に決定的に重要な手法を提供する。我々はこの分野の最初のワークショップを開催して、興味を持つ天体物理学者と統計学者を一堂に集めた。さらに広い分野にひろげてこの試みを繰り返し、IPMUのプロジェクト参加に興味を持つ人材の発掘に役立てたいと考える。

就職の応募書類を見ていて、予期しなかったきわめてユニークな候補に出会った。マーカス・ワーナー氏は超巨大ブラックホールによる重力レンズ効果の研究によってケンブリッジ大学で天文学の博士号を取得した。その後彼はダーラム大学の数学科に移り、数学研究で論文を発表した。例えば、彼は指数定理に関連する重力レンズ効果と相関する位相不変量を発見した。彼がこの秋からのポストドクを受け入れたことを大変喜ばしく思っている。数学と天体観測や実験物理学には、もっとこれまでに考えもしなかったような直接的な結びつきがあるかもしれないという良い例である。このような結びつきを探し求めていく。

日本物理学会若手奨励賞を獲得した高橋史宣助教が東北大学の准教授に引き抜かれた。彼は初期宇宙論研究、特にインフレーションや暗黒物質モデルで大きく活躍して素粒子論と天体物理学の橋渡しの役目を果たしてきた。彼の転出によって我々のこの分野に大きな欠損が生じたので、同等に優秀な人材を探する必要に迫られている。6月から面接を始める。このような事が単発な出来事であり、我々の研究者が終身制度（我々にはない）を持つ伝統的な大学への組織的移行でないことを願っている。いまのところ、他には起こっていない。

何人かの主任研究員がIPMU発足以降退任した。数学では神保道夫主任研究員が立教大学に移り、土屋昭博主任研究員が研究に専念するために退き、新たに齋藤恭司、アレクセイ・ボンダル両名が主任研究員になった。数学でさらに駒場キャンパスからもう1名任命するプロセスが進行中である。もう一人佐藤勝彦主任研究員が自然科学研究機構の理事長に転出した。現在後任を探している。

<研究達成目標>

天体観測、実験物理、数学には時間幅が非常に長いという共通点がある。一つのプロジェクトには典型的に5年程度必要になる。KamLAND-ZEN、XMASS、HyperSuprimeCAMは予定どおり進んでいて、今年か来年にはデータ収集が始まる。一方、EGADSはこれから実現可能性を示さなければならないし、PFSは我々がコントロール出来ない他機関の資金に左右される。将来研究成果を出せるかどうかの鍵はIPMUが長期にわたる研究プロジェクトを軌道に乗せるための研究資金を獲得し続けることである。

#### <主な変更点>

大きな変更はない。

ひとつ付記しておいたほうが良いと思われる問題点は拠点の名称に関してである。将来にわたって安定的に資金を獲得するための一環として、さらに大学の組織改革の一環として、ある財団から数億円規模の供与を模索してきた。もしうまくいった場合、IPMUはこの財団の名前を入れることになる。

### 3. 運営

#### 【応募時の計画】

##### 1. 事務部門の構成

事務職員は本拠点に不可欠である。事務組織は、拠点長、副拠点長、事務部門長から成る運営委員会の下にある。この拠点は大学総長室に直属し、途中で他の事務組織が介在しないため、大学は本部の事務資源を本拠点に提供する立場にある。従って本拠点の運営委員会は大学本部に直接アクセスし、その資源を共有する。大学総長室との直接的な結びつきにより、本拠点の事務組織はスリムでありながら、拠点の研究者に対して最適な環境を極めて効果的に提供することになると予想される。

本拠点においては、事務部門長の管理の下に、1)総務・人事、2)予算管理・会計、3)情報・広報および社会的活動、4)国際交流に専念する担当係を有することとする。各係は係長と数名の係員、補佐職員で構成される。これらの係は日常的業務と共に、必要な場合は直接拠点長の指揮下で業務を行う。本拠点における国際交流係は次のような特に重要な役割を果たす。すなわち、外国人研究者やビジターに住居を世話し、その子女のためにインターナショナルスクールを世話することや、国際会議およびワークショップ開催の支援業務を行う。このため、多数の部署に経験豊富なエキスパートを雇用し、事務職員の半数以上をバイリンガルとすることを計画している。

#### 【これまでの取り組みと現状】

##### 1. 事務部門の構成

事務部門職員数は36名で、そのうち25名がIPMUで直接採用された研究支援職員、11名が東京大学事務部門に所属する職員である。事務関連の大きな案件は大学総長室と直接コンタクトを取りつつ拠点長を中心とした執行部会が扱うが、それ以外の日常運営は事務長の補佐を得て事務部門長の統括のもとで事務部門が執り行う。構成は総務人事係に9名（広報担当1名、秘書4名を含む）、給与旅費係4名、国際交流係5名（シンポジウム担当1名、日本語教師1名を含む）、予算管理係2名、契約係4名、神岡サテライト事務4名、図書1名、計算機およびネットワーク2名、設備1名、企画調査1名である。

36名の事務部門職員のうち20名がバイリンガル、3名が高エネルギー物理学のバックグラウンドを持つ。このチームが新採用者や訪問者、特に外国人の受け入れのすべての手配を行う。さらに、国際会議やワークショップの開催、研究資金の申請書類などの書類作成、公開講座、あるいはIPMUニュース発行、様々な情報が掲載されているIPMUホームページの更新などの広報活動も行う。

## 2. 拠点内の意志決定システム

本拠点の運営機関は拠点長、副拠点長二名および事務部門長からなり、大学総長室に直属の組織である。総長室の機能を活用することで事務の効率化を図り、研究者に理想的な環境を提供する。また事務員の半数は英語が堪能な者を採用する。総長との合意により、拠点長と主任研究者を除く本拠点の構成員の雇用、また本拠点の組織構成や運営について、拠点長にすべての権限が与えられている。拠点長は人事、財務、設備、施設、計算機等研究機器、そしてアウトリーチ等の対外公共活動に関する全ての決定に最終責任を持ち、拠点を運営する。拠点長は、必要な場合は常に2名の副拠点長及び事務部門長の助けを得て拠点の業務を遂行する。事務部門長は事務部門を指揮し、事務処理そして研究者の活動を手助けする。

Scientific Advisory Committee (科学諮問委員会)は拠点長が選ぶ4～5名の主任研究者からなる科学諮問委員会である。拠点の予算と研究の方向性について拠点長に助言をする。科学諮問委員会の役割はあくまでも助言であり、最終的な決断は拠点長が行う。

主任研究者は自立した研究者であり、それぞれの研究は競争的資金等を獲得して行う。主任研究者は、研究の遂行に必要なポストドクや特任の教授・准教授・助教を雇うことを拠点長に提案することができる。拠点長は、科学諮問委員会に助言を求めつつ、自らのビジョンとプライオリティーに基づき雇用について決定する。

本拠点の研究活動をレビューし、本拠点が世界トップレベル研究拠点として目的設定に従って運営されているかどうか、また研究拠点としての成果が上がっているかどうかを評価するために、External Advisory Board (外部諮問委員会)を設置する。年一回、主任研究者の研究活動等をレビューして拠点長に助言する。

拠点長は、拠点運営の業務以外にも、有望な若手研究者のリクルートおよび本拠点での研究結果の社会への発信について、積極的に行動する。

## 3. 拠点長とホスト機関側の権限の分担

拠点長の任命と主任研究者の承認はホスト機関の長たる東京大総長が行う。それ以外の拠点人事および拠点の運営は、拠点長がこれを行う。

## 2. 拠点内の意志決定システム

拠点長は引き続き世界中から優秀な研究者を任用し、学会および一般社会で当拠点の研究を紹介して、拠点の存在意義を高めるべく最大限の努力をしている。これに関して拠点長は外部諮問委員会、科学諮問委員会、執行部会からそれぞれのレベルでの助言を得ている。

執行部会は拠点長、2人の副拠点長、事務部門長から構成され、週1回程度の頻度で定常的に開催され、通常業務の円滑かつ速やかな履行を担保する。また拠点長が大学総長室と協議する際に、拠点の合意形成を計る。

科学諮問委員会は相原博昭、鈴木洋一郎、河野俊丈、大栗博司、齋藤恭司、David Spergel、柳田勉から構成され、研究者の採用、研究資金の配分および研究戦略の設定に関して拠点長に助言する。

大学から任命された外部諮問委員会の現メンバーは、J. Ellis (CERN)、五神真 (東京大学)、Young-Kee Kim (Fermilab/シカゴ大学)、小島定吉 (東京工業大学)、David Morrison (カリフォルニア大学サンタバーバラ校)、Roberto Peccei (UCLA、座長)、Steven Kahn (SLAC/スタンフォード大学)、Nicolai Reshetikhin (カリフォルニア大学バークレー校)である。委員会は2008年3月、2008年11月、2009年8月に開催され、IPMUの研究活動と成果に関して、大学総長に貴重な助言を行った。

IPMUは2011年1月に東京大学国際高等研究所の1機関となったが(9. ホスト機関からのコミットメント参照)、IPMUの意志決定システムへの変更は特にない。ただし、新たな主任研究員や教員の採用については拠点長からTODIAS所長に報告する義務が発生する。さらに、大学の教員採用規定を満たすために、拠点長の決定はIPMU運営委員会です承される必要がある。この委員会は執行部会のメンバーに齋藤恭司、柳田勉両主任研究員を加えたメンバーから構成される。(追加資料7参照)

3. 拠点長とホスト機関側の権限の分担

総長室が村山拠点長の勤務形態の変更に関してカリフォルニア大学との交渉を基に最終決定を下した。さらに、拠点長が提案した数学主任研究者の変更も総長室によって許可された。その他の全ての研究者と事務職員の雇用や研究費の分担に関して拠点長が最終決定を下した。

【今後の方針・具体的計画】

1. 事務部門の構成

現在の事務部門数はIPMU運営に適しており、このレベルを保持していきたい。と同時にバイリンガルスタッフの割合は今後も可能なかぎり増やしていく。

2. 拠点内の意志決定システム

現在のシステムはIPMU運営に適しており、今後も保持していきたい。

3. 拠点長とホスト機関側の権限の分担

外部諮問委員会から指摘があったように、現在東京大学とカリフォルニア大学バークレー校との併任になっているが柏キャンパスを留守にしている間その代理を務める専任の副拠点長を任命する必要がある。

#### 4. 研究体制（拠点形成する研究者、サテライト等）

##### 4-1. 「ホスト機関内に構築される中核」の研究者数 全体構成

		応募時の最終目標	平成20年度末	平成21年度末	平成22年度末	最終目標 (0年0月頃)
研究者		195 < 69, 35%> [ , %]	125 < 60, 48%> [ 6, 5%]	165 < 92, 56%> [ 10, 6%]	194 < 100, 52%> [ 10, 5%]	195 < 100, 51%> [ 12, 6 ]
内訳	主任研究者	22 < 6, 27%> [ , %]	20 < 3, 15%> [ 1, 5%]	19 < 4, 21%> [ 1, 5%]	18 < 4, 22%> [ 1, 6%]	22 < 5, 23%> [ 2, 9%]
	その他研究者	173 < 63, 36%> [ , %]	105 < 56, 53%> [ 5, 5%]	146 < 88, 60%> [ 9, 6%]	176 < 96, 55%> [ 9, 5%]	173 < 95, 55%> [ 10, 6%]
研究支援員数		20	22	27	25	25
事務スタッフ		10	11	10	11	10
合計		225	158	202	230	230

「その他の研究者」は主任研究員を除いた教授6（外国人1、女性0）、准教授9（外国人2、女性0）、助教5（外国人2、女性0）、研究員43（外国人33、女性5）、併任61（外国人24、女性3）、学生20（外国人2、女性0）、1ヶ月以上の長期滞在者32（外国人32、女性1）の合計。

##### その他特記事項

2011年に数学分野で1名、2012年に宇宙論分野で1名の新主任研究員を採用する予定である。また、外国人主任研究員と女性主任研究員を増やすことを中間目標に掲げている。

IPMU発足の年に世界中から23名のポストドクを採用した。今年秋までの3年任期が来る前に、21名がすでに次の勤務先を得た。そのうち何人かはファカルティ職（アリゾナ州立大学、チョンナン大学、横浜国立大学、九州大学、東北大学、Zhejiang大学、IPMU、台湾科学院ASIAA）に決まり、他は次のポストドク職（McGill大学、マックスプランク研究所重力物理部門、2名がCERN、Durham大学、Argonne国立研究所、サンタフェ研究所、SISSA、Ludwig Maximillian研究所、香港中国大学）を得た。2名が専門を生かしてアカデミック以外の仕事を選択した（米国防省での大量データの解析、マサチュー

セツ総合病院での放射線治療)。1名(Kozlov)についてはKamLAND-ZEN計画のリーダーとして任期を2年間延長した。23名のうち残り2名だけが次の職を探している。

その後で採用された者のうち、数名はより上の職に転任した(バークレー校サイモン・フェロー、トロントのCITAフェロー、アイオワ州立大学の終身職、IFIC Valencia、インドのNISER、サンパウロ、ウイーン工科大学)。これまで数名の大学院生が在籍したが、それぞれカリフォルニア工科大学(後にフェルミ研究所)、CERN、アリゾナ、プリンストン、IPMU、Wuhan物理学数学研究所のポストドクになった。

#### 4-2. サテライト等

##### 【応募時の計画】

##### i) サテライト機関(機関別に記すこと)

##### 機関名 1 IPMU神岡サテライト

神岡にサテライトを設立してニュートリノグループとの連携を進める。サテライトはスーパーカミオカンデおよびカムランド測定装置の近くに設置して、ニュートリノ物理や最近予算化された新しい暗黒物質探索実験エックスマスにかかわる研究者の拠点とする。主任研究員2名、東大宇宙線研究所の中畑間雅行教授と東北大学ニュートリノ科学研究センターの井上邦雄教授、がそこに常駐してニュートリノグループの共同研究を推進する。

##### <役割>

ニュートリノグループとの連携が強固になる。

##### <人員構成・体制>

中畑雅行：宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設と、井上邦雄：東北大学ニュートリノ科学研究センターが主任研究者とし滞在

##### <協力の枠組み>

##### 【これまでの連携状況】

##### i) サテライト機関(機関別に記すこと)

##### 機関名 1 IPMU神岡サテライト

##### <役割>

応募時に「IPMU神岡サテライト」を計画し、機構発足後に立ち上げて組織の体制や協力の枠組みを強化してきたが、その後、文部科学省担当官より「サテライト」の定義が示され、ホスト機関内の宇宙線研究所に付随するこの組織はサテライトには当たらないことになった。しかし、これまで「IPMU神岡サテライト」の呼び名が多くの人に使用されてきた経緯があるので、以下に昨年度に引き続き、この組織の体制と協力の枠組みを記しておく。

神岡研究施設では二つのニュートリノ実験(スーパーカミオカンデ、カムランド)が進行中で、暗黒物質探しの実験(XMASS)が開始された。IPMUではスーパーカミオカンデを用いて過去の超新星爆発が作った背景ニュートリノの観測を試み、カムランドを用いてニュートリノの出ない二重ベータ崩壊の検出を試み、さらにXMASSによる暗黒物質の直接探索をおこなう。IPMU神岡サテライトはここで活動するIPMU研究者支援拠点を提供する。

##### <人員構成・体制>

東京大学宇宙線研究所神岡研究施設のチームは、鈴木洋一郎、中畑雅之

## 機関名 2 IPMUバークレーサテライト

両主任研究者の下に、准教授4名、特任准教授1名、助教7名、特任助教4名、研究員2名から構成される。また、東北大学ニュートリノ研究施設のチームは、井上邦雄主任研究者の下に、准教授2名、助教3名、研究員4名で構成される。IPMUからは、超新星背景ニュートリノに教授1名 (Mark Vagins) と研究員1名、XMASSに准教授1名 (Kai Martens) と研究員1名、ニュートリノの出ない二重ベータ崩壊に上級研究員1名、がそれぞれ加わっている。

### <協力の枠組み>

「神岡サテライト」のメンバーは、他機関の研究者と緊密に連携して進行中のスーパーカミオカンデ、カムランド実験を遂行する。ただし、IPMUの主目標はスーパーカミオカンデでは超新星からの背景ニュートリノ観測、カムランドではニュートリノを出さない二重ベータ崩壊検出である。これらのプロジェクトはさらなる研究開発が必要であり、共同研究者と連絡を取って進める。また、XMASS実験にも邁進する。

## 機関名 2 IPMUバークレーサテライト

### <役割>

このサテライトはカリフォルニア大学バークレー校との間で締結された全学国際学術交流協定に基づいて2009年12月にバークレー・キャンパスに設置された。

新設されたサテライトはIPMUとバークレー校物理学の間で素粒子物理学、宇宙論、数学を含む幅広い分野での共同研究を行うための枠組みを提供する。最初の活動は超弦理論と現象論の両方を含む素粒子論の分野においてである。さらにスローン・デジタル・スカイ・サーベイに発展する計画を検討している。またこのサテライトがアメリカでのIPMUスタッフ候補の発掘を容易にすると期待している。

### <人員構成・体制>

村山機構長がバークレー滞在中 (30%) は半分の時間をサテライトで過ごし、2名の研究総括者 (IPMUから柳田、バークレーからHall) の補助を得て全体の指導を行う。グループには他に4名の教員、5名のポストドク、10名の学生がいる。

<協力の枠組み>

サテライトに所属する研究者は素粒子現象論で柳田グループおよび野尻グループ、超弦理論では大栗グループとそれぞれ共同研究を行う。

ii) 連携先機関（機関別に記すこと）

機関名 1 フランス高等研究所（IHES）

<役割>

<人員構成・体制>

<協力の枠組み>

機関名 2 京都大学基礎物理学研究所

<役割>

<人員構成・体制>

ii) 連携先機関（機関別に記すこと）

機関名 1 フランス高等研究所（IHES）

<役割>

IHESは最先端の数学研究機関の一つで、物理学と強い繋がりを持つ。現在、相互の交流が数学と物理のより強固な連携を促すだろうと考える。

<人員構成・体制>

現在所長であるJean Pierre Bourguignon教授（所長）とフィールズ賞のMaxim Kontsevich教授がIPMUと共同研究している。

<協力の枠組み>

Bourguignonは大栗、齋藤両主任研究者とともに、物理に動機づけられた数学の新展開を目指す。Kontsevichは Bondal、齋藤両主任研究者やその他のIPMU数学者と共同研究を行う。

機関名 2 京都大学基礎物理学研究所

<役割>

YITPは基礎的な理論物理学と数理物理学の研究で長い伝統を持つ。IPMUにとって、ひも理論と量子場の理論での共同研究が特に有益である。

<協力の枠組み>

機関名 3 京都大学物理学教室

<役割>

<人員構成・体制>

<協力の枠組み>

機関名 4 京都大学数学教室

機関名 5 高エネルギー加速器研究機構

<役割>

<人員構成・体制>

<協力の枠組み>

<人員構成・体制>

江口徹所長および井沢健一准教授で構成。

<協力の枠組み>

江口教授は大栗主任研究者と共同で弦理論に取り組む。井沢准教授は柳田主任研究者と素粒子論の共同研究を行う。

機関名 3 京都大学物理学教室

<役割>

京都大学のニュートリノ実験グループはスーパーカミオカンデでニュートリノ混合現象の測定を推進する。特にT2K実験に重点を置く。

<人員構成・体制>

中家剛准教授以下、助教1名、研究員2名で構成。

<協力の枠組み>

京都チームはJPARCのニュートリノビームラインとT2K実験の前置測定器の建設に重点をおいている。一方IPMUチームはスーパーカミオカンデ装置自体に重点をおく。ニュートリノ振動の精密測定にはこの三つ全ての十分な理解が不可欠である。よって緊密な連携が重要になる。

機関名 4 京都大学数学教室

この機関は機関スケールの連携ではなく、研究者個人レベルの連携を希望したので、2007年から連携機関から外した。

機関名 5 高エネルギー加速器研究機構

<役割>

KEKの現象論チームはLHCにおける標準理論（ヒッグズ粒子など）、それを越える理論（超対称性粒子、ダークマターなど）、その上の新理論（ブラックホール、余剰次元など）などの理論的考察を行う。

<人員構成・体制>

野尻美保子主任研究者以下、研究員1名、学生2名で構成。

機関名 6 国立天文台

<役割>

<人員構成・体制>

<協力の枠組み>

機関名 7 プリンストン大学天体物理科学教室

<役割>

<人員構成・体制>

<協力の枠組み>

<協力の枠組み>

IPMU現象論チームはブラックホールや余剰次元など、より宇宙論的見地からLHCデータに考察を与える。しかし、このためにはヒッグズ粒子や超対称性粒子についての詳細な知識が必要になる。したがって両チームの共同研究はお互いに有益になる。

機関名 6 国立天文台

<役割>

すばる望遠鏡による観測はこれまで多くの成果を生み出した。IPMU研究者も国立天文台との緊密な共同研究のもとに、超新星観測や重力レンズ現象の観測で多くの成果を出してきた。国立天文台はIPMUと共同で装置に改良を加え、すばる望遠鏡の性能を飛躍的に向上させることによって、暗黒エネルギーの解明に取り組む。

<人員構成・体制>

国立天文台チームは高見秀樹教授（リーダー）以下、准教授4名、助教4名、研究員2名から構成。

<協力の枠組み>

国立天文台とIPMUは共同で次世代広角度カメラと分光装置、HyperSuprimeCam (HSC) とPrimeFocusSpectrograph (PFS) の制作を行い、主に暗黒エネルギー解明を目指す。

機関名 7 プリンストン大学天体物理科学教室

<役割>

プリンストン大学チームはWMAPプロジェクトの歴史的成功に重要な役目を果たしてきた。同時にリーダーで主任研究者のDavid Spergel教授は暗黒物質探索と望遠鏡設計の世界的権威でもある。このグループからは、新しく建設されるHSCとPFSにこれまでの豊富な経験に基づく貢献が期待される。

<人員構成・体制>

D. Spergel主任研究者の他、教授3名、助教1名、研究員3名で構成。

<協力の枠組み>

HSCとPFSの建設、およびその後のデータ解析で相原主任研究員および唐牛教授と協力して、暗黒エネルギー解明を目指す。

機関名 8 カリフォルニア大学バークレー校物理学教室

この機関との共同研究は2009年以降すべてIPMUバークレーサテライトに移行した。

機関名 9 東北大学ニュートリノ科学研究センター

<役割>

この機関は当初から連携機関に加えられている。神岡サテライトに拠点を置き、カムランドでの原子炉ニュートリノおよび地球ニュートリノ観測を継続するとともに、IPMUと連携してカムランドでニュートリノを出さない二重ベータ崩壊を検出する。

<人員構成・体制>

井上邦雄主任研究者の下に、准教授2名、助教3名、研究員4名で構成。

<協力の枠組み>

IPMU上級研究員1名と連携して、カムランド実験装置に変更を加え、ニュートリノを出さない二重ベータ崩壊現象の検出を目指す。

機関名 8 カリフォルニア大学バークレー校物理学教室

機関名 9 東北大学ニュートリノ科学研究センター

<役割>

<人員構成・体制>

<協力の枠組み>

【今後の方針・具体的計画】

今後、連携先機関を2カ所追加する計画である。サテライト機関については新たな追加の計画はない。

i) サテライト機関（機関別に記すこと）

機関名 1 IPMU神岡サテライト

4-2. i) 参照。変更の予定なし。

機関名 2 IPMUバークレーサテライト

4-2. i) 参照。変更の予定なし。

ii) 連携先機関（機関別に記すこと）

機関名 1 フランス高等研究所（IHES）  
4-2. ii) 参照。変更の予定なし。

機関名 2 京都大学基礎物理学研究所  
4-2. ii) 参照。変更の予定なし。

機関名 3 京都大学物理学教室  
4-2. ii) 参照。変更の予定なし。

機関名 4 京都大学数学教室  
4-2. ii) 参照。

機関名 5 高エネルギー加速器研究機構  
4-2. ii) 参照。変更の予定なし。

機関名 6 国立天文台  
4-2. ii) 参照。変更の予定なし。

機関名 7 プリンストン大学天体物理科学教室  
4-2. ii) 参照。変更の予定なし。

機関名 8 カリフォルニア大学バークレー校物理学教室  
4-2. ii) 参照。

機関名 9 東北大学ニュートリノ科学研究センター  
4-2. ii) 参照。

機関名 10 カリフォルニア工科大学物理、数学、天文学科  
あらたに追加を計画中

<役割>

天体観測、超弦理論、数学の分野で共同研究をおこなう。

<人員構成・体制>

大栗博司（主任研究員）、Richard Ellis両教授と彼らのポストドクおよび学生で構成される。

<協力の枠組み>

大栗教授は引き続き主任研究員としての責務を果たし、物理と数学両方に関わる。Ellis教授はPFS共同研究の主要メンバーである。

機関名 1 1 パリ第7大学天体物理宇宙論研究所（APC）  
あらたに追加を計画中

<役割>

素粒子論、宇宙論、地下実験、天文学の広い分野で交流する。

<人員構成・体制>

Pierre Binetruy教授（APC所長）、Stavros Katsanevas教授、George Smoot教授（IPMUメンバー）から構成される。Binetruy所長は統一理論、超弦理論、素粒子論、宇宙論を研究する理論物理学者でIPMUメンバーと共同研究を行なう。Smoot教授は近い将来IPMUメンバーに加わる予定である。

<協力の枠組み>

Katsanevas教授は主任研究員としての責務を果たすと同時にAPCの研究プログラムを主導する。

5. 環境整備

【応募時】

1. 研究者が研究に専念できる環境

拠点長は、研究者から研究以外の職務を免除するための事務スタッフと研究支援員を雇うための資金を保証する。さらに、東京大学の主任研究者については、大学総長室は、研究者が、自身の学科教育の義務の代理をさせることが可能になる手段を提供する。

【これまでの進捗状況】

1. 研究者が研究に専念できる環境

事務部門スタッフの数は36名で、そのうち25名がIPMUで直接採用された研究支援職員で、11名は大学の事務局の所属である。36名のうち、3名が高エネルギー物理学のバックグラウンドがあり、研究者と事務員との間のコミュニケーションを円滑に進める役割を果たす。この事務部門が全体で強力なチームを形成し、事務および研究支援の幅広い分野を処理して、特に、研究者の書類作業を肩代わりする。2009年度以降、主任研究員の教育業務を肩代わりするため理学部物理学科、数理科学研究科、宇宙線研究所にそれぞれ1名の助教を採用するための予算が付いた。さらに、大学側は副機構長としての任務を担う相原教授の負担を軽減するため物理学科准教授1名を採用し、IPMUの研究活動を増強するためのIPMU教授1名を提供した。

## 2. スタートアップのための研究資金提供

本拠点の主任研究者の多くは、競争的な研究資金を勝ち取ることであり、すでに研究資金を保証されている。拠点長は本拠点によって雇われた若い研究者および博士研究員のためにスタートアップ資金を提供する予定である。

## 3. ポスドク国際公募体制

ポスドクの募集は、その公募要領をPhysics Todayなどの主要国際雑誌に掲載する他、メール等で国内外の主要研究者に連絡し、優れた人材を広く求める。

## 4. 英語を使用言語とする事務スタッフ機能

素粒子物理学、数学、天文学においては、英語が研究者間の標準言語にすでになっている。当拠点の事務スタッフと研究支援員には英語の話せる職員を大学本部の人的支援を受けながら配置して行く予定である。

## 5. 研究成果評価システムと能力連動型俸給制度の導入

拠点長の給料は大学総長によって決定される。主任研究者用の毎年の給料は拠点長によって決定される。主任研究者以外の研究者の給料は、副拠点長に意見を聞いたうえで拠点長によって決定される。研究者の評価は厳密に業績に基づき、論文引用数、国際会議の招待講演、学際的な論文、競合する海外の研究機関での給料、また本拠点での指導的役割を含む。

## 6. 世界トップレベルに見合う施設・設備環境の整備

大学は、本拠点のために柏キャンパスに新しい建物を建造する。建築様式は、米国カリフォルニア大学サンタバーバラ校でのカブリ理論物理学

## 2. スタートアップのための研究資金提供

全ての特任研究員（ポスドク）には、IPMUから年間50万円の研究費が予算配分される。それ以上のランクの研究者には必要に応じてスタートアップ研究資金が予算配分される。

## 3. ポスドク国際公募体制

特任研究員（ポスドク）の公募は「Physics Today」、「CERN Courier」、「American Mathematical Society Magazine」、「American Astronomical Society Magazine」、IPMUホームページの英語版に掲載された。さらに電子メールで世界中に知らせた。

## 4. 英語を使用言語とする事務スタッフ機能

36名の事務部門職員のうち20名がバイリンガルである。全ての業務上のやりとりや報告事項が英語でなされるようにした。セミナー開催通知から日常生活情報までひろく情報を網羅したホームページは常に更新されている。同時にこのホームページは執筆論文や学会講演の登録はもとより、出張報告などの書類提出にも使われる。

## 5. 研究成果評価システムと能力連動型俸給制度の導入

俸給制度に関して応募時からの変更はない。機構長の研究成果評価作業を支援するために、個別研究者に関するすべての必要情報を網羅したデータベースを作成した。もっともこのようなデータベースに表れない活動を正当に評価することも大切で、これにはIPMUで取っている「指導者制度」が有効だと考える。この制度では、主任研究者の中の1名が各若手研究者の指導と相談にあたる。

## 6. 世界トップレベルに見合う施設・設備環境の整備

IPMU新研究棟（5,900㎡）が完成し、2010年1月に入居した。2009年2月に完成した神岡サテライト研究棟（500㎡）はスーパーカミオカンデ、カムランド、XMASS実験を遂行するIPMU研究者の拠点になっている。すでに全

研究所、および米国カリフォルニア大学バークレー校の理論物理学センターでの大きなオープンエリアおよび施設を備えたスタイルを受け継ぐ。それは世界各地からの研究者に魅力的・競争的な環境を提供する。

## 7. 世界トップレベルの国際的な研究集会の開催

カブリ理論物理学研究所およびアスペン・センターで長い間開催されている物理学のためのワークショップと同様に、本拠点での年次国際会議も開催される。それらは、参加者の間で、さらなる知的活動を刺激し、かつ本拠点を世界的な学問の最前部に維持することになる。

との連携先機関と2カ所のサテライトとはビデオ会議システムで繋がれており、日常的にセミナーや討論に使われている。

## 7. 世界トップレベルの国際的な研究集会の開催

平成19・20年度： 11件	
代表例（会議名称と開催地）	参加人数
柏ムーンシャイン（月影）研究会 柏キャンパス、メディアホール	国内： 32名 海外： 5名
フォーカスウィーク：量子ブラックホール 柏キャンパス、メディアホール	国内： 56名 海外： 14名

平成21年度： 12件	
代表例（会議名称と開催地）	参加人数
IPMU国際会議：暗黒エネルギー“暗闇を照らす” 柏キャンパス、メディアホール	国内： 79名 海外： 55名
フォーカスウィーク：物性と素粒子の対話 IPMUレクチャーホール	国内： 160名 海外： 40名

平成22年度： 16件	
代表例（会議名称と開催地）	参加人数
CLJ2010：巨大銀河形成から宇宙論まで 柏キャンパス、メディアホール	国内： 53名 海外： 107名
堀場国際会議COSMO/CosPA 2010 東大本郷キャンパス一条ホール （東大ビッグバン宇宙国際研究センターとの	国内： 135名 海外： 159名

共催)

<これまでの進捗状況のまとめ>

IPMUは国際会議と研究集会を、平成19・20年度に11回、平成21年度に12回、平成22年度に16回、それぞれ開催した。平均的にすくなくとも出席者の3分の1以上は外国人だった。会議の企画では、物理学者と数学者の交流や素粒子物理と物性物理の交流、あるいはひとつのテーマでの違う専門家同士の交流が図られた。このうちのいくつかは、これまで違うと考えられてきた分野の共同研究を生み、重要な論文発表に至った。

8. その他取組み

大学は、短期ビジターや本拠地に転入する外国人研究者のための居住施設となる柏キャンパス新インターナショナルゲストハウスを建設している。その間、大学は外国人研究者が住宅を見つけるための手助けをする。本拠点の国際交流係は、大学総長室とともに外国人研究者に関する業務を行う。

8. その他取組み

IPMUは外国人研究者が研究に専念できるように生活支援することが非常に大切だと考えている。専任研究者へは日本での生活を始めるにあたって必要な、外国人登録、住宅探し、銀行口座の開設、その他の支援をおこなう。ビジターに対しても訪問中に発生する諸問題の解決を支援する。

柏インターナショナルゲストハウスが平成22年3月に開設した。引き続きボランティアグループにお願いして、市役所での手続き、銀行口座の開設、住居探しでスタッフを手伝ってもらっている。引き続き、新しくやってくる外国人研究者とその家族に日本語レッスンを提供している。

これらの支援を強化するため、公立研究機関を支援する科学技術国際交流センター（JISTEC）と22年4月契約を結んだ。IPMUのJISTECサポートデスクは研究棟2階のレセプションオフィスで月水金開いている。緊急時にはIPMU研究者およびビジターは24時間体制をしいているJISTECに電話で援助を求めることができる。この体制をさらに強化するため、IPMUはもうひとつの会社（AXAアシスタンス・ジャパン）と24時間電話対応の契約を結んでいる。

【今後の方針・具体的計画】

1. 研究者が研究に専念できる環境

世界トップクラスまでになったIPMUの研究環境を保持するには、事務および研究支援体制を現在のレベルに保つことが大切である。我々はこの体制の

保持を目指す。このため、拠点長はTODIASからの援助と外部資金獲得に引き続き努力する。同時に事務部門長のリーダーシップのもとに、研究支援体制をさらに強化する。その一環として、事務部門職員は各自インフォメーションテクノロジー関連の技術や科学広報や英語力の向上に努める。

## 2. スタートアップのための研究資金提供

現在おこなわれているポスドクへの年間50万円の研究費支給と専任教員への必要に応じたスタートアップ資金の提供を続ける。このためには外部資金の獲得が必要である。引き続き、研究者各自が外部資金獲得に努力し、事務部門スタッフが書類作成などで支援していく。

## 3. ポスドク国際公募体制

国籍を問わず最も優秀な若手研究者を探すことは非常に大切である。幸い、国際公募などの弛まない努力が実り、IPMUの名前は広く国際社会に知られてきている。しかしもっと大切なことは当拠点のポスドク達の国際研究集会での活発な活躍とIPMU後のキャリア発展が、我々の候補探しの大きな助けになっている。今後もポスドク研究者の国際的な活躍を支援していく。

## 4. 英語を使用言語とする事務スタッフ機能

現在の事務部門のバイリンガルスタッフの比率で、直面する殆どの英語関係の業務を処理できている。しかし将来、英語力をもう一段グレードアップさせ、科学広報や補助金申請などで研究者の負担をさらに軽減できるレベルにもっていきたい。そのため職員各自がキャンパス内で開催されている語学研修プログラムなどをより一層活用するとともに、お互いが業務を通してスキルアップの努力を重ねる職場環境の形成に努める。

## 5. 研究成果評価システムと能力連動型俸給制度の導入

現在の制度を今後も続けていく。つまり、定量的客観的に研究者個人の業績を評価するために論文リスト、論文引用数、国際会議の招待講演、などのデータベースを作成すると同時に、このようなデータには現れない活躍を評価するための「指導者（メンター）制度」を続けていく。

## 6. 世界トップレベルに見合う施設・設備環境の整備

2-2-1で述べたように、IPMUは国立天文台がマウナ・ケアに所有する8.2メートルすばる望遠鏡を使った大型次世代天体映像サーベイ計画を推進している。そのためのハイパー・スプリーム・カム（HSC）と呼ばれる、約8億ピクセルを持つ重量3トンでしかも複雑かつ高性能のレンズ補正系を持つデジタルカメラを制作中である。これまでより大きな鏡を持つため、このサーベイはより初期の宇宙の観測と膨張の歴史観測を可能にして、今後5年間に予想されるうちの世界最高の精度で暗黒エネルギーの正体を定める。今年の秋にはこのカメラで最初の光を捕らえるはずである。実際のサーベイは2012年開始が予定されている。

さらに村山拠点長が天文学者と機器専門家を主導して、一度に数千個の銀河のスペクトルを測定できる自動ファイバー位置固定装置を持った、次世代多目的分光装置の建設を進めている。このプロジェクトはSuMIReと呼ばれている。拠点長が獲得した最先端研究開発支援プログラム（FIRST）からの34億円はSuMIReプロジェクトに十分ではないが、国際連携機関がこの提案にある多目的分光装置建設への資材提供を申し出ている。カリフォルニア工科大学と米航空宇宙局ジェット推進研究所は10ミクロンの精度を持つ自動ファイバー位置固定装置を提供する。プリンストン大学とマルセイユ天

体物理研究所は380-1300ナノメートルをカバーする分光装置を建設して、0Iやライマン・アルファ・スペクトルを用いて、近隣から $Z=6$ までの銀河の赤方遷移を連続的にサーベイできるようにする。共同研究グループの形成は順調に進んでいて、今年9月までには基本設計が固まる。

当拠点は専任研究者と事務職員だけでなく、ビジターと学生も収容する。現在の研究棟は床面積6,000平方メートルを有するが、招聘したいすべてのビジターを受け入れるには不十分である。そこで、床面積3,000平方メートルの第2研究棟建設の予算を要求したが、平成21年度の補正予算に盛り込まれた。高齢社会総合研究機構と情報基盤センターも同様に柏キャンパスでの研究棟建設が認められたので、柏キャンパス計画委員会が主導してこれら3部局の要望をまとめ、平成22年4月から全床面積12,000平方メートルの第2総合研究棟の建設を始め、23年4月に完成させた。こちらのIPMU部分は本研究棟の斜め後ろに位置する。ここはビジターの居室としてだけでなく、天文情報センターとしても使用する予定である。上に述べたようなIPMUがおこなう天体観測からのデータ解析の拠点としての役割を果たすと同時に、広報の役割も担う。このため1階のコーナーに位置し、透明のガラス壁でできていて沢山の大型スクリーンにデータが投影され、部屋の外からこれらが見えるように作られている。

### 7. 世界トップレベルの国際的な研究集会の開催

国際集会開催の頻度や学際的企画に関しては、現在のレベルを保っていく。これまで新しい学際的交流の場を設け、数学者と物理学者の交流や素粒子と物性の交流に成功してきたと思っている。今後もこのような努力を続け、それが今後どのように発展していくかを追跡していく。

### 8. その他取組み

当拠点では、著名な研究者のレクチャーを聞いたり学生達が自分の研究について発表したりする、大学院生のための「スクール」のこの夏の開催に向けた準備をしてきた。ひとつは、毎年ヨーロッパで開催されているシリーズを引き継ぐ形の「衝突型加速器の物理（モンテカルロ・スクール）」、もうひとつは「銀河系外の天文学スクール」である。残念なことに放射能と電力不足の心配のため、「銀河系外の天文学スクール」は中止とした。「モンテカルロ・スクール」の方は場所を京都に移して京都大学基礎物理学研究所の共催を得て決行される。今後毎年このような「スクール」を開いていく。

## 6. 世界におけるレベルを評価する際の指標・手法

### 【応募時に予定した指標・手法と中間評価時の達成目標】

1. 本拠点のグローバルな立場を評価する量的および客観的方法を導入する。本拠点の研究者が発表した査読論文の数および引用数ならびに研究者が主要な国際会議で発表したプレゼンテーションの数は、モニターし追跡される。これらの「数値」は、本拠点のグローバルな立場の評価の基礎を形成する。

### 【現状に対する自己評価】

1. 本拠点ではすべての研究者に本拠点での研究活動からの論文の登録を義務づけている。まずホームページ上でIPMUプレプリントとして登録し、その後の査読誌掲載までの経過をアップデートするようにしている。同じように学会や大学セミナーでの講演についても登録を要求している。投稿論文の引用数を得るためと上記の登録から漏れた論文を網羅するため、広く査読誌付論文を集めた商業運用のデータベースから研究

支援スタッフがIPMU研究者の論文を探し出すスキームを確立させた。この方法だと、一度IPMU研究者の論文として登録されると、たとえその研究者がIPMUを離れた後でも引用数が定期的にアップデートされる。これは本拠点のグローバルな立場の評価の年ごとの変遷を知ると同時にIPMUに所属していた研究者のその後のキャリア形成を追跡する上でも便利で、しかも研究者への負担を最小限に止めることができる。

物理学と天文学では普通に使われている論文数や引用数による研究成果の評価が、数学では必ずしも妥当ではないという問題がある。数学の評価では専門家による審査を行うことを検討している。

本拠点が査読誌に発表した論文数は平成19-20年度が124、21年度が202、22年度が236だった。これを世界の類似する研究機関と比較してみた。平成20年以降に査読誌で天文学と天体物理学、素粒子と場の理論、一般物理学、数学、および物理数学の分野に掲載された論文（レビューは除いた）のサンプルを用いた。

ここに上げた研究機関はそれぞれ分野とスタッフの構成が異なるので、このような比較結果の取り扱いには細心の注意でありことはよく承知している。その上で、論文の平均引用件数はIPMUの7.6に対して、プリンストン高等研究所が7.3、サンタバーバラのカブリ理論物理学研究所が8.1、京都大学基礎物理学研究所が6.5、ペリメター研究所が9.6、トリエステ理論物理学国際センターが4.0だった。

2. 訪問者数およびそのうちの外国人訪問者数は、本拠点の活動および認知度を判断する別の客観指標となる。

2. 平成19-20年度の訪問者は540名（海外からが168名）、21年度は432名（海外345）、22年度は862名（海外478）だった。本拠点では訪問者の予定を前もってホームページに公開して、IPMU訪問時期と合わせて近隣諸国（韓国、中国、台湾）の研究機関がそれぞれへの訪問を企画できるようにしている。1ヶ月以上の長期訪問者は平成19-20年度に14名（海外からが13名）、21年度は30名（海外29）、22年度は32名（海外32）だった。これは、なにかの機会に出会った専任研究者と訪問者の共同研究が確固としたものに発展しつつあることを示すよい兆候であると考えられる。

3. 本拠点が数学者と物理学者を集めるのにどのくらい有効か評価するために、数学者と物理学者によって共同執筆された出版物の数をモニターする。それは2つの科目間の相乗効果のものさしになると考えている。

3. 本拠点では数学者と物理学者の間で幅広く共同研究が行われているにも拘わらず、これまでに査読に掲載された共著論文はひとつにとどまっている。物理学者だけによる素粒子論や超弦理論の論文が数学者との議

<p>本拠点は、物理研究で最も引用された研究機関の一つとして、すでにそれ自体の地位を得ている。これは、集めた主要な研究者が、みなそれぞれ自分の分野をリードしている科学者である。また、各研究者の被引用数は突出している。</p>	<p>論から触発され、物理学者の論文で数学者の査読による数学誌に掲載された例もある。したがって、共著論文が少ないことが両分野の共同研究の不足を意味するものではないと考える。ひとつには両分野での論文発表に関する文化的違いによると思われる。物理学者は研究成果を出るだけ速やかにまとめて論文にしようとするのに対して、数学者はもっと基本的な土台から組み立てようとして長い年月を費やす傾向を持つ。いずれにしても、この指標はそれ自体両分野の興味深い違いも示すので、今後もモニターしていく。</p>
--	--

**【今後の方針・具体的計画】**

本拠点のグローバルな立場を定量的および客観的に評価するための、論文、セミナーと会議発表、訪問者を含んだ基本的かつ完結したデータベースを構築した。今後その使い道、特に他の同様な研究機関との比較方法を改善させていく。数学では論文引用数は研究のインパクトを正しく計るものではないといわれているので、他の方法を用いる必要がある。専門家による審査のようなものを考えている。数学と物理の間のような分野の垣根を越えた共同研究の評価に関してはもっと考える必要がある。単純に共著論文をモニターするだけでは十分なだけでなく間違った判断に至る危険性がある。

**7. 競争的研究資金等の確保**

<p><b>【応募時の見通し】</b></p> <p>主任研究者による過去5年（平成14－18年度）にわたる競争的研究資金調達の総数は5,690万ドルである。</p> <p>平成14年度:970万ドル、15年度:1,090万ドル、16年度:950万ドル、17年度:1,320万ドル、18年度:1,360万米ドル（為替レート:1ドル=120円）</p> <p>新拠点発足」後も同額程度の競争的研究資金を確保できると考えている。</p>	<p><b>【これまでの獲得実績】</b></p> <p>平成19年度に19.8億円、20年度に9.43億円、21年度に8.66億円、22年度に9.81億円をそれぞれ獲得した。</p> <p>最先端研究開発支援プログラム(FIRST)でSuMIReプロジェクトが採択され、平成22年度から始まって5年間で総額34億円の補助金を獲得する。22年度に8.17億円受け取った。今後、23年度に4.29億円、24年度に3.75億円、25年度に9.32億円、26年度に6.45億円受け取る。</p> <p>日本学術振興会の組織的な若手研究者等海外派遣プログラムから総額8600万円が認められた。機関は平成23年3月1日からスタートして3年間である。平成22－23年度に2890万円、24年度に2930万円、25年度に2780万円をそれぞれ受け取る。</p> <p>全部で38名の外国人専任研究者の中から平成22年度には11件の科研費が採択された。これは本拠点のグローバル化にとってひとつのよい兆候である。</p>
--	---

## 【今後の見通し・戦略】

専任研究者には全員出来る限り科研費に申請するように促していく。特に実験や天体観測のスタッフには特別推進研究や基盤研究（S）等の高いレベルの種目を目指すよう促す。日本語で書く必要がある申請書類については事務部門スタッフが手助けする。

## 8. その他の世界トップレベル拠点の構築に関する重要事項

### 【応募時】

本プログラム終了後も、大学は当拠点を高等研究所(大学に属する常設構成要素)として拠点を維持する。そのための資金調達のために大学総長室と共に働く。

日本あるいは外国の他の研究機関の世界のトップレベルの科学者を集める積極的なアプローチ、および野心的な組織が、大学に対して重要な効果を持つだろうと確信している。さらに、今回導入する業績に基づいた評価システムは、若い研究者に非常に魅力的であり、他の研究機関が随伴するモデルになる。

本拠点のための資金調達を率先して行なう。特に日本と海外の両方の民間部門からの資金調達を約束する。

主任研究者と上席研究員の競争的な雰囲気促進のために、本拠点は named distinguished professorship (冠教授) を設立することを計画する。この称号は、本拠点でのその人の業績の厳密な評価の後に拠点長によって本拠点の教授に与えられる。

平成20年度に、数学と物理のためのグローバルCOEのプログラム提案の募集が予定されているので、平成19年度には掲載するようなグローバルCOEのプログラムはないが、主任研究者のうちの何人かは、計画中のグローバルCOEの提案のうちのいくつかに関係している。それらがもっと発展し、本拠点との関連がより明白になった段階で、本拠点としてグローバルCOEのプログラムを含めた共同研究を密接に行うことを求める。

### 【これまでの進捗状況】

東京大学は平成23年1月1日に国際高等研究所 (TODIAS) を設立して、同月11日に本拠点をこの新設の恒久機関の第1号機関にすることを承諾した。設立記念式典において濱田純一総長は、TODIAS はそれぞれが世界の知の拠点として機能し、大学のアカデミックなレベルを引き上げると同時に国際化を進めるために機関から構成される、大学全体の組織であることを強調した。

今後多くの外国人研究者を雇用していく。事務部門スタッフは手際よく彼らの赴任手続きを処理して最適な研究環境を提供している。これらについて他の部局から様々な問い合わせがきている。

研究者全員に資金が許す限り1年に最低でも1ヶ月ただし3ヶ月以内の外国滞在を義務づけている。これは研究者が自分の研究を世界的見地から評価し、特に若手研究者にとっては国際舞台で「見える」ために重要であると考えられる。このための資金獲得に努力している。冠教授の設立を検討してきた。そのためのカブリ財団との交渉はまだ続いている。

IPMU主任研究者がグローバルCOEプログラムに申請した提案が2件採択された。補助金は2008年度から開始されており、5年間継続される。

### 物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開

代表者 井上邦雄 (東北大学)

国際研究教育拠点を設置して、素粒子から始まり原子核、物性、宇宙と続く階層のそれぞれの理解を深め、それらの繋がりを深く理解しようとする提案を行い、この研究を通じて新しい科学を開拓しようとする。

この代表者カムランドのニュートリノ実験のリーダーである。このプログラムのテーマである「物質の階層性」はIPMUが取り組む課題である「宇宙の物理学と数学」の一側面と考えられる。従って、お互いに深く関係している。

#### 宇宙基礎原理の探求

代表者 杉山直（名古屋大学）

国際研究教育拠点を設置して宇宙の進化、素粒子と宇宙の時空構造、宇宙論的環境の物理学を研究する。この研究テーマ「宇宙の基礎原理」はIPMUの目標である「宇宙の物理学と数学」の中の重要な一部を成す。

#### 【今後の方針・具体的計画】

応募時に掲げた目標のうちいくつかはこれまでに達成された。国際高等研究所の設立と本拠点がその中の機関として承諾されたことは、本拠点の恒久化にとって重要なステップになった。しかし、WPIプログラム終了後も本拠点運営していくための確固とした資金基盤を作っていかなければならない。このために我々はIPMUの資金集めを続けていく。特に総長室と強力して海外の財団からの多額の寄付獲得を目指す。

多くの外国人研究者の雇用は今後も続けるが、同時に日本の若手研究者育成も大切と考える。日本学術振興会研究員をもっと多く受け入れ、日本人ポスドクを雇用するための外部資金の獲得に努める。

## 9. ホスト機関からのコミットメント

### 【応募時】

#### ○中長期的な計画への位置づけ

東京大学の研究に関する中期目標には、「研究の体系化と継承を尊重しつつ、萌芽的・先端的研究、未踏の研究分野の開拓、あるいは新たな学の融合に積極的に取り組み、世界を視野に置いたネットワーク型研究の牽引車の役割を果たす」ことが掲げられている。それに対する中期計画には、「新しい分野について創造性と独創性に優れた先端的研究のための拠点の形成を図るとともに、領域横断的な学の融合と学際的協調により新たな学問領域の創成を図る」こと及び「学問の進展と社会の変化から生起する新たな課題に対しては、既存の学問領域と組織の枠組みを越えて先駆的・機動的・実践的に応え得る国際的な研究拠点の形成を図る」ことが明記されている。

本学では、上記の中期計画を実現するため、「サステナビリティ学連携研究機構」、「生命科学研究ネットワーク」など従来の部局を横断する組織を、総長室の下に設置して学融合的な研究を進める体制を構築している。世界トップレベル国際研究拠点は、まさに本学の中期目標・中期計画に完全に合致するものである。従って、総長室直属の組織の中でも最大かつ最重要なものとして位置付け、明確な達成目標の下に、全学を挙げて支援する。

#### ○具体的措置

##### 1. 拠点の研究者が獲得する競争的資金等研究費、ホスト機関からの現物供与等

本学は、当該拠点を従来の大学組織と有機的に連携した総長室直属の組織と位置づける。大学本部は、当該拠点に参画する主任研究者の学内の業務負担を極力少なくして研究に専念できる時間を確保し、より研究費を確保しやすくなるように環境整備を行う。この環境整備の一環として、

### 【これまでの実績等】

#### ○中長期的な計画への位置づけ

東京大学の研究に関する中期目標には、「研究の体系化と継承を尊重しつつ、萌芽的・先端的研究、未踏の研究分野の開拓、あるいは新たな学の融合に積極的に取り組み、世界を視野に置いたネットワーク型研究の牽引車の役割を果たす」ことが掲げられている。それに対する中期計画には、「新しい分野について創造性と独創性に優れた先端的研究のための拠点の形成を図るとともに、領域横断的な学の融合と学際的協調により新たな学問領域の創成を図る」こと及び「学問の進展と社会の変化から生起する新たな課題に対しては、既存の学問領域と組織の枠組みを越えて先駆的・機動的・実践的に応え得る国際的な研究拠点の形成を図る」ことが明記されている。

本学では、上記の中期計画を実現するため、「サステナビリティ学連携研究機構」、「生命科学研究ネットワーク」など従来の部局を横断する組織を、総長室の下に設置して学融合的な研究を進める体制を構築している。世界トップレベル国際研究拠点は、まさに本学の中期目標・中期計画に完全に合致するものである。なお、『東京大学の行動シナリオ FOREST 2015』「重点テーマ別行動シナリオ」に基づき、学術の卓越性の向上及び研究環境の国際化を推進する全学組織として2011年1月には本学に国際高等研究所を設置し、当該拠点をこの研究所に設置することで、世界最高水準の研究を志向した国際化対応を強化するとの趣旨のもと一層の支援を行う。従って、明確な達成目標の下に、全学を挙げて支援する。

#### ○具体的措置

##### 1. 拠点の研究者が獲得する競争的資金等研究費、ホスト機関からの現物供与等

本学は、当該拠点を2011年1月に発足した国際高等研究所に設置することで大学本部は、当該拠点に参画する主任研究者が学内の業務負担を極力少なくして研究に専念できる時間を確保し、より研究費を確保しやすくなるように従来に引き続き一層強化したかたちでの環境整備を行う。この環境整備の一

優れた研究者や優秀な支援スタッフを確保できるよう新たな雇用制度をすでに創設しており、例えば総長より高い年俵で雇用することも可能としている。さらに、学内の研究スペースの優先的提供も行う。また、大学本部に、外部資金を戦略的に獲得し、その資源を効果的に配分するための企画立案を行う組織「財務戦略室」を設置した。これにより、当該拠点に対し、本プログラムの間接経費を含めた学内資金を活用した最大限の財政的支援が可能となる。

## 2. 人事・予算執行面での拠点長による判断体制の確立

本学は、当該拠点を従来の大学組織と有機的に連携した総長室直属の組織に位置づけることを可能とする革新的な制度を新たに整備した。この制度により、当該拠点は、拠点長のマネジメントの下で研究者の選考を含めたあらゆる組織運営が可能となっている。

## 3. 機関内研究者集結のための、他部局での教育研究活動に配慮した機関内における調整と拠点長への支援

当該拠点に集結した研究者の所属していた学内部局での教育研究活動に支障が生じず、滞りなく発展できるよう、大学本部として当該部局に対し、代替教員の人件費等必要な財政的支援を行う。これにより、当該部局は代替教員の確保などの措置が可能となるばかりでなく、学内研究者の流動性をさらに高める。

## 4. 従来とは異なる手法による運営（英語環境、能力に応じた俸給システム、トップダウン的な意志決定システム等）の導入に向けた機関内の制度整備

すでに述べたように、本学は、当該拠点を従来の大学組織と有機的に連携した総長室直属の組織に位置づけることにより革新的な制度を整備している。この制度により、当該拠点は、拠点長のトップダウンマネジメントの下で研究者の選考を含めたあらゆる組織運営が可能であるが、さらに、当該拠点を特区と位置づけ、拠点に参画する研究者や支援スタッフに対し、通常学内で適用されている就業上の制約を限定的に解除する

環として、優れた研究者や優秀な支援スタッフを確保できるようにするための新たな雇用制度を既に創設しており、例えば総長より高い年俵で雇用することも可能としている。さらに、学内の研究スペースの優先的提供も行う。また、大学本部に、外部資金を戦略的に獲得しその資源を効果的に配分するための企画立案を行う組織「財務戦略室」を設置する。これにより、当該拠点に対し、本プログラムの間接経費を含めた学内資金を活用した最大限の財政的支援が可能となる。

## 2. 人事・予算執行面での拠点長による判断体制の確立

本学は、当該拠点を従来の大学組織と有機的に連携した総長室直属の組織に位置づけることを可能とする革新的な制度を新たに整備した。平成23年1月のTODIAS設立と所長の任命およびIPMUをそのメンバーに加えることによって、総長と理事会によるIPMUの運営体制はこれまで以上に強化される。この制度により、当該拠点は、拠点長のマネジメントの下で研究者の選考を含めたあらゆる組織運営が可能となっている。

## 3. 機関内研究者集結のための、他部局での教育研究活動に配慮した機関内における調整と拠点長への支援

当該拠点に集結した研究者が所属していた学内部局の教育研究活動に支障が生じず、滞りなく発展できるよう、大学本部として当該部局に対し、代替教員の人件費等、必要な財政的支援を行う。これにより、当該部局は代替教員の確保などの措置が可能となるばかりでなく、学内研究者の流動性をさらに高める。

## 4. 従来とは異なる手法による運営（英語環境、能力に応じた俸給システム、トップダウン的な意志決定システム等）の導入に向けた機関内の制度整備

既に述べたように、本学は、当該拠点を2011年1月より国際高等研究所に設置することで、従来からのものを更に強化した形での革新的な制度を整備している。この制度により、当該拠点は、拠点長のトップダウンマネジメントの下で研究者の選考を含めたあらゆる組織運営が可能であるが、さらに、当該拠点を特区と位置づけ、拠点に参画する研究者や支援スタッフに対し、通常学内で適用されている就業上の制約を限定的に解除する特別な規則を新たに制定する。

特別な規則を新たに制定する。

#### 5. インフラ（施設（研究スペース等）、設備、土地等）利用における便宜供与

本学は、優秀な外国人研究者が安定して研究できる環境整備を重要視している。現在、総長のリーダーシップの下で柏キャンパスの国際化を積極的に進めており、柏キャンパスの周辺に2～3年後を目処に複数の外国人宿舎の整備を進めている。当該拠点のために海外から招聘する研究者に優先入居枠を設けることも考えている。また、本学は、世界トップレベルの研究設備を多数整備し、これらの共用化促進を積極的に進めている。これら研究設備の優先的使用を可能とするよう便宜を図る。また、当該拠点が計画している、研究棟の建設に必要な土地の確保、費用に関し最大限の便宜を図る。なお、柏に新研究棟ができるまでの間は、当該拠点に対し、柏総合研究棟内の居室等、学内研究スペースを優先して提供する。

#### 6. その他

本学は、本プログラムにより国際的に競争力のある研究拠点の形成を支援するため、担当理事を長とする委員会を設置している。この委員会は、当該拠点を全学としてサポートするとともに、グローバルCOEプログラムなどとの緊密な連携を図り、最大限の相乗効果を上げるために機能する。また、2007年7月に本部事務組織を改編し、当該拠点などを専門に支援する「研究機構等支援グループ」を設置した。このような体制によって当該拠点の拠点構想の着実な推進に大学全体として最大限かつ安定的に支援していく。

#### 5. インフラ（施設（研究スペース等）、設備、土地等）利用における便宜供与

本学は優秀な外国人研究者が安定して研究できる環境整備を重要視している。現在、総長のリーダーシップの下でキャンパスの国際化を積極的に進めており、キャンパスの周辺に複数の外国人宿舎の整備を進めている。当該拠点のために海外から招聘する研究者に優先入居枠を設けることも考えている。また、本学は、世界トップレベルの研究設備を多数整備し、これらの共用化促進を積極的に進めている。これら研究設備の優先的使用を可能とするよう便宜を図る。なお、平成22年には新研究棟も完成し、当該拠点に対し十分な研究スペースを提供している。

#### 6. その他

本学は、本プログラムにより国際的に競争力のある研究拠点の形成を支援するため、担当理事を長とする委員会を設置している。この委員会は、当該拠点を全学としてサポートするとともに、グローバルCOEプログラムなどとの緊密な連携を図り、最大限の相乗効果を上げるために機能する。また、2007年7月に本部事務組織を改編し、当該拠点などを専門に支援する「研究機構等支援グループ」を設置した。このような体制によって当該拠点の拠点構想の着実な推進に大学全体として最大限かつ安定的に支援していく。2011年1月に新たに設置した国際高等研究所の組織として当該拠点を置き、この研究所は本部研究推進部外部資金課が専門に支援することとなり、従来からの当該拠点専任スタッフと連携し、当該拠点への最大限かつ安定的な支援を行う。

## 【今後の方針・具体的計画】

### ○中長期的な計画への位置づけ

東京大学の研究に関する中期目標には、「研究の体系化と継承を尊重しつつ、萌芽的・先端的研究、未踏の研究分野の開拓、あるいは新たな学の融合に積極的に取り組み、世界を視野に置いたネットワーク型研究の牽引車の役割を果たす」ことが掲げられている。それに対する中期計画には、「新しい分野について創造性と独創性に優れた先端的研究のための拠点の形成を図るとともに、領域横断的な学の融合と学際的協調により新たな学問領域の創成を図る」こと及び「学問の進展と社会の変化から生起する新たな課題に対しては、既存の学問領域と組織の枠組みを越えて先駆的・機動的・実践的に応え得る国際的な研究拠点の形成を図る」ことが明記されている。

本学では、上記の中期計画を実現するため、「サステナビリティ学連携研究機構」、「生命科学研究ネットワーク」など従来の部局を横断する組織を、総長室の下に設置して学融合的な研究を進める体制を構築している。世界トップレベル国際研究拠点として発足した数物連携宇宙研究機構は、まさに本学の中期目標・中期計画に完全に合致するものであり、総長室のもとに置かれたこれらの組織の中で最も重要なものと位置づけられ、卓越した成果を生むべく大学をあげた支援を受ける。

『東京大学の行動シナリオ FOREST 2015』と「重点テーマ別行動シナリオ」に基づき、学術の卓越性の向上及び研究環境の国際化を推進する全学組織として2011年1月には本学に国際高等研究所を設置し、当該拠点をこの研究所に設置することで、世界最高水準の研究を志向した国際化対応を強化するとの趣旨のもと一層の支援を行う。従って、明確な達成目標の下に、全学を挙げて支援する。

### ○具体的措置

#### 1. 拠点の研究者が獲得する競争的資金等研究費、ホスト機関からの現物供与等

本学は、当該拠点を2011年1月に発足した国際高等研究所に設置することで大学本部は、当該拠点に参画する主任研究者が学内の業務負担を極力少なくして研究に専念できる時間を確保し、より研究費を確保しやすくなるように従来に引き続き一層強化したかたちでの環境整備を行う。この環境整備の一環として、優れた研究者や優秀な支援スタッフを確保できるようにするための新たな雇用制度を既に創設しており、例えば総長より高い年俵で雇用することをも可能としている。さらに、学内の研究スペースの優先的提供も行う。また、大学本部に、外部資金を戦略的に獲得しその資源を効果的に配分するための企画立案を行う組織「財務戦略室」を設置する。これにより、当該拠点に対し、本プログラムの間接経費を含めた学内資金を活用した最大限の財政的支援が可能となる。

#### 2. 人事・予算執行面での拠点長による判断体制の確立

本学は、当該拠点を従来の大学組織と有機的に連携した総長室直属の組織に位置づけることを可能とする革新的な制度を新たに整備した。平成23年1月のTODIAS設立と所長の任命およびIPMUをそのメンバーに加えることによって、総長と理事会によるIPMUの運営体制はこれまで以上に強化される。この制度により、当該拠点は、拠点長のマネジメントの下で研究者の選考を含めたあらゆる組織運営が可能となっている。

#### 3. 機関内研究者集結のための、他部局での教育研究活動に配慮した機関内における調整と拠点長への支援

当該拠点に集結した研究者が所属していた学内部局の教育研究活動に支障が生じず、滞りなく発展できるよう、大学本部として当該部局に対し、代替教員の人件費等、必要な財政的支援を行う。これにより、当該部局は代替教員の確保などの措置が可能となるばかりでなく、学内研究者の流動性をさらに高める。

#### 4. 従来とは異なる手法による運営（英語環境、能力に応じた俸給システム、トップダウン的な意志決定システム等）の導入に向けた機関内の制度整備

既に述べたように、本学は、当該拠点を2011年1月より国際高等研究所に設置することで、従来からのものを更に強化した形での革新的な制度を整備している。この制度により、当該拠点は、拠点長のトップダウンマネジメントの下で研究者の選考を含めたあらゆる組織運営が可能であるが、さらに、当該拠点を特区と位置づけ、拠点に参画する研究者や支援スタッフに対し、通常学内で適用されている就業上の制約を限定的に解除する特別な規則を新たに制定する。

#### 5. インフラ（施設（研究スペース等）、設備、土地等）利用における便宜供与

本学は優秀な外国人研究者が安定して研究できる環境整備を重要視している。現在、総長のリーダーシップの下でキャンパスの国際化を積極的に進めており、キャンパスの周辺に複数の外国人宿舎の整備を進めている。当該拠点のために海外から招聘する研究者に優先入居枠を設けることも考えている。また、本学は、世界トップレベルの研究設備を多数整備し、これらの共用化促進を積極的に進めている。これら研究設備の優先的使用を可能とするよう便宜を図る。なお、平成22年には新研究棟も完成し、当該拠点に対し十分な研究スペースを提供している。

#### 6. その他

本学は、本プログラムにより国際的に競争力のある研究拠点の形成を支援するため、担当理事を長とする委員会を設置している。この委員会は、当該拠点を全学としてサポートするとともに、グローバルCOEプログラムなどとの緊密な連携を図り、最大限の相乗効果を上げるために機能する。また、2007年7月に本部事務組織を改編し、当該拠点などを専門に支援する「研究機構等支援グループ」を設置した。このような体制によって当該拠点の拠点構想の着実な推進に大学全体として最大限かつ安定的に支援していく。2011年1月に新たに設置した国際高等研究所の組織として当該拠点を置き、この研究所は本部研究推進部外部資金課が専門に支援することとなり、従来からの当該拠点専任スタッフと連携し、当該拠点への最大限かつ安定的な支援を行う。

#### ○世界トップレベル拠点形成維持に対するホスト機関としての具体的構想

※既に実施している取り組みがあればこれを含めて記述すること

##### 1. 今後5年間

本学は学術レベルと研究環境の国際化高めるために、平成23年1月に大学全体の恒久機関である国際高等研究所（TODIAS）を設立した。TODIASはそれぞれが世界をリードする知のセンターとして機能する研究機関から構成されるが、IPMUはその第1号機関として承認された。これはIPMUが大学で恒久的存在になるための重大なステップである。大学はIPMUの運営持続を確固たるものにするため、IPMUスタッフと協力し、その寄付や外部資金獲得の努力を支援する。

さらに、本学は人的資金的両面で柔軟で創造的な運営を目指して大学全体の制度改革を続けていく。これはIPMUのような新しい学際的な研究機関を設立して保持していくためには極めて重要である。本学にとってこのような機関に終身雇用のような制度を提供することは、今後取り組まなければならない

課題である。これは人的資源の運営制度自体を変える効果を持つだろう。本学としては果敢に取り組んでいく。

## 2. プログラム実施期間終了後

本学はWPIプロジェクト終了後も上記の計画を強化していく。

本学は人的資金的運営をさらに柔軟かつ創造的にして、たとえIPMUが外部資金だけで運営できなくなっても、限定的期間ではあるが大学の財源を使ってIPMUの運営を援助していく。

さらに、大学運営のためのオーバーヘッドの増加が許されるというように、国内の予算制度自体が柔軟になってきているので、大学の人的資金的運営の柔軟性かつ創造性は加速的に改善されつつある。この傾向は本学のIPMU支援をさらに進める。

### 10. フォローアップ報告書中の改善を要する点への対応とその結果

○改善を要する点（平成21年度フォローアップ報告書に拠点別に記載されている「3. Point that need improvement」を転記）

1. 東大とカリフォルニア大学バークレー校を兼務する拠点長の引き継ぎでのリーダーシップ
2. 理論家と実験家間の有効な協力関係

○対応とその結果

1. 拠点長は1年のうちの85%をIPMUのために使う。つまり、拠点長の役割に70%、IPMUバークレーサテライトでの研究に15%使う。拠点長はTODIAS設立に際しての東大総長との交渉で強力なリーダーシップを発揮した。
2. IPMUの実験家の殆どはニュートリノ物理を研究している。残念ではあるが、この分野の理論家と実験家の共著論文はない。両者の共著論文は素粒子現象論の分野でいくつか生まれたが、このケースの実験家はLHC実

<p>3. 日本の若手研究が育っているか</p> <p>4. 論文出版の定量的評価</p> <p>5. IPMUの東大国際高等研究所への早急な編入と終身雇用問題の解決</p>	<p>験に参加する他機関に所属している。</p> <p>3. 若手教員では、前田啓一助教が超新星の研究で2009年度日本天文学会若手奨励賞、高柳匡准教授が超弦理論で2010年度湯川木村賞、高橋史宣助教（現在東北大学准教授）が宇宙論で日本物理学会若手奨励賞、田中雅臣研究員（当時東大学生）が2009年度総長賞、をそれぞれ受賞した。IPMUには多くの優秀な若手研究者が集まっていて、その研究成果は世界的に認められている。</p> <p>4. IPMUが発表した査読論文は2007-2008年度124本、2009年度202本、2010年度236本だった。それらの定量的評価については6.1節参照。</p> <p>数学者と物理学者の共著論文の数は、当初両分野の相乗効果を表す指数として有用だと考えたが、これまで1本の論文に留まっている。この解釈については6.3節参照。</p> <p>論文の定量的評価方法については、引き続き改善していく。</p> <p>5. TODIAS 設立については8節参照。終身雇用問題はTODIAS体制の中で今後交渉していく。</p>
---	--

1.1. 拠点構想進捗状況確認報告で指摘された改善点への対応とその結果	
<p>○改善を要する点（平成21年度拠点構想進捗状況確認報告で指摘された改善点を抜粋）</p> <p>1. HSC、SuMIRe、XMASS、GADZOOKSなどの実験プログラムのため、かなりの額の新しい資金がIPMUにきているが、IPMUには専任の実験の主任研究員がいないし、技術面やプロジェクトを管理できる技師もいない。</p>	<p>○対応とその結果</p> <p>1. IPMUはSuMIReのプロジェクト・マネジャーとして唐牛宏教授を平成22年4月1日付けで採用した。SuMIRe計画はHSCによるイメージ・サーベイとすばる望遠鏡に取り付けられるプライム・フォーカス・スペクトログラフ（PFS）を用いる新たな分光サーベイを組み合わせるので、唐牛教授はHSCにおけるIPMU関係の技術面も監督する。平成23年4月1日にはPFSの技術面を担当する菅井肇准教授を採用した。近い将来システムエンジニア1名を追加する予定である。神岡サテライトでは平成21年3月1日から、日立国際電気（株）で永く主任技師として働いて</p>

きた金沢元一を技師として雇用し、IPMU が主導する XMASS と GADZOOKS の技術面で研究者の補助に充てている。

2. 日本の補正予算から出ている実験プログラムの資金は、今のところ、共同研究機関や国内から予定されているの残りの資金とうまくまとめられていない。本委員会は、IPMUがタスクフォースを作って、同じようなプロジェクトがアメリカやヨーロッパでどのように組織され、この件を共同研究機関やその他の関係機関をよく話し合い、詳細にわたるレビューを行うことを強く望む。
3. 本委員会はHSCのデータ処理、校正、解析のソフトウェアが、競争相手（ダーク・エネルギー・サーベイ）と比較して大きく遅れていると考える。専念する研究者や技術者・コンピュータ専門家数が少なすぎるし、研究者コミュニティ（国内の天文と素粒子分野、そして国外）が動員されていない。

2. たしかに、SuMIRe プロジェクトの予算のうち、他機関からの分が十分に確保されていないが、着実に進展している。ASIAA（中央研究院天文及天文物理研究所）はすでに約500万ドルを運営費として配分されている。ブラジルグループは必要な資金の獲得に動いていて、彼らの経済状況から考えて、サンパウロ州から約500万ドルを獲得できるのはほぼ確実と思っている。マルセーユ天体物理研究所での必要人件費は9月に正式に配分される予定である。
3. 委員会の心配に答えるために、一連のデータチャレンジを組織して、HSCのデータ構造を定義し、データ解析をより洗練された手法で解析できるようにソフトウェアのパイプラインとインフラを整備してきた。平成22年8月に終了した最初のデータチャレンジ（DC1）の目標は単一バンド波長の同時撮影のデータを解析してモザイク画像と天体カタログを作成することだった。引き続きおこなわれた次のDC2は、（1）g、r、i、zバンドの波長データを解析して空領域の複数バンド波長光学カタログを作成し、（2）視野の半分を交差させることによって3×3二乗度の空領域を解析し、（3）CCDの単一撮影イメージも含めた天体の2次元座標を決め、（4）シュミレーションデータ用に開発されたのと同じパイプラインを使ってサブライム・カムのデータを解析し、（5）研究用画像のためのデータベースを設計し、一般利用者のためのカタログを作ることである。DC2は平成23年8月に終了する予定である。この8月にプリンストンで開かれるHSC共同研究グループ会議で最終段階のDC3の目標を決める予定である。DC1およびDC2を通して、もともとKEKで高エネルギー物理実験用に開発されたソフトウェア体系がうまくパラレルパイプライン解析の実行を管理することが出来るようになっている。

HSCデータの解析および管理チームはIPMU、NAOJ、プリンストン、KEKの研究者の集団で構成されている。委員会による去年の訪問以来、ソフトウェア準備の人員は大幅に増えた。チームには10名のフルタイム職員（IPMU 4名、NAOJ 2名、プリンストン 3名、KEK 1名）と東京大学物理学の大学院生2名がいて、IPMU主任研究員1名が活動を統括する。ソフトウェアの準備は前回のレビューから進展していてスケジュールどおりに進んでいる。

<p>4. 理論の論文出版では、被引用数など他の主要機関と客観的に比較できる統計的証拠が極めて重要である。</p> <p>5. 理論グループの多様性のためには超弦理論によらない量子重力の若くて優秀な研究者を雇うべきである。</p> <p>6. 代数幾何と超弦理論、あるいは超弦理論と宇宙論の間には有用な対話が認められるが、数学と宇宙論の間にはそのような対話が認められない。</p> <p>7. 常駐する上級レベルの数学者の数が臨界に達していない。理論物理学者と強固な交流をするには十分ではない。</p> <p>8. 村山拠点長が引き続きリーダーシップを発揮していくには、彼の兼任の効果に注意深く見ていく必要がある。</p> <p>9. 平成20年度のフォローアップ会合と拠点構想進捗状況確認報告で言及された兼任問題はまだ存在する。現在のところ主任研究員の専任の比率はまだ少ない。若い研究者のモラルを高く保つためには、目に見える形での学問上看板的役割を果たす研究者の常駐が必要である。</p> <p>10. ポスドク雇用では日本人と外国人のバランスが欠けているように見える。もう少しバランスを取った方がよいだろう。逆に教授と主任研究員については国籍を問わず最も優秀な科学的リーダーを雇うように最大限の努力をすべきである。</p>	<p>4. 我々と同じような研究分野を持っている他の研究機関との発表論文の比較を6.1節で述べた。同じような比較を理論の論文に限定しておこなうには、実験と観測の論文を除かなければならない。しかし、これを他の機関の論文についておこなうのは難しい。代わりに次のような操作をして比較してみた。IPMUにおける実験と観測の論文数の全体に占める割合は14%でそれらの平均被引用数は7.1だった。これは論文全体の場合の7.6とあまり変わらない。この傾向は他の機関でも同じだと推測できるので、6.1節に記した比較は理論の論文だけの場合の比較でもありと考える。</p> <p>5. まさにそのとおりと考える。2-2-1(4)(b)で述べたように、この線に沿って向山信二准教授とドメニコ・オーランド、スザンネ・レファート両研究員がホラバ・リフシッツ理論の研究に取り組んでいる。</p> <p>6. 今年10月に着任するマーカス・ワーナーがこのような問題点解決にうまく作用すると考える。彼は現在デューク大学数学科の助教だが、物理学における幾何学や位相幾何学、特に重力レンズ効果や重力理論およびその天文学的検証、に興味を持っている。</p> <p>7. 常駐する上級レベルの数学者の数を増やす努力をしている。これに関して最近2人の助教、トドール・ミラノフと阿部知行、を採用した。</p> <p>8. この件のモニタリングを続けてくれていることに感謝する。</p> <p>9. 本拠点は引き続き常勤の主任研究員を探している。現在有力な候補1名がいて、拠点長からの申し出を受けるかどうか決めるまでIPMUにしばらく滞在しようとしている。「学問上看板的役割を果たす研究者の常駐」に関しては、外部諮問委員会の勧告に沿って村山拠点長は自分が拠点長として最大限活躍できるように柏キャンパスに常駐する副機構長を任命したいと考えている。探している途中である。</p> <p>10. 「すみれ」プロジェクトではすばる諮問委員会の勧告を受けて、ほとんど日本人を採用した。これで特にポスドクの日本人比率を増やすことになる。平成22年度は教授1名とポスドク2名を採用した。IPMUでは主任研究員と教員の雇用では、これまでも委員会の忠告に従ってきたし、今後もそのようにする。この秋に現在カリフォルニア大学バークレー校</p>
---	--

<p>11. 大学院生の数（可能な指導教官60名に対して16名）は少ない。今の3倍程度に増やせるだろう。</p> <p>12. IPMUで大学院生と学部学生のための数学、天文学、物理学、宇宙論の合同勉強会を開催して、若いうちからこれらの分野間の交流を育んではどうか。</p>	<p>のハッブル・フェローであるケビン・バンディーを教員として雇用する。さらに、もう1名の外国人を教員候補として面接する。</p> <p>11. IPMUは確実に受け入れ大学院学生の数を増やしている。（物理学科から9名と天文学科から2名、平成22年度は物理学科から16名と天文学科から2名、平成23年度は物理学科から16名と天文学科から4名と数学科から2名）平成21年度から5年課程の学生を受け入れ始めたので学生数はまだ最大限になっていない。30名程度まで増やすことはそんなに難しくはないが、それ以上増やそうとすると新しいアイデアが必要だろう。</p> <p>12. IPMUの大学院生はすべてのセミナーに参加することができ、すべてのスタッフが集まる毎日のティータイムにも参加できる。このような機会に簡単に他分野の研究者や学生と交流できる。一方、我々の理解するかぎりWPIの方針は学部学生の教育に携わることを許可していない。もしこの制限が緩められるなら、喜んで数学、物理学、宇宙物理学の学部学生がお互いに交流する機会を作っていきたい。</p>
---	---

12. 事業費

- ・平成19、20、21、22年度の順に、各年度について作成すること。
- ・外貨から円の換算を行った場合は、年度ごとにそのレートを記載すること。

平成19年度（使用レート： ）

○拠点活動全体

（単位：百万円）

（単位：百万円）

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、事務部門長	19
	・主任研究者 11人	70
	・その他研究者 6人	10
	・研究支援員 2人	2
	・事務職員 16人	31
	計	132
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 7人	5
	・人材派遣等経費 〇人	0
	・スタートアップ経費 3人	27
	・サテライト運営経費 〇ヶ所	0
	・国際シンポジウム経費 1回	9
	・施設等使用料	6
	・消耗品費	21
	・光熱水料	1
	・その他	219
	計	288
旅費	・国内旅費	4
	・外国旅費	1
	・招へい旅費 国内25人、外国61人	17
	・赴任旅費 国内3人、外国4人	3

平成19年度WP I 補助金額 551

平成19年度施設整備額 61

・仮研究棟新営（プレハブ）300  
m<sup>2</sup> 61

平成19年度設備備品調達額 150

- ・半導体検出器（GEM型）一式 10
- ・液体窒素製造自動供給装置一式 5
- ・任意派型ジェネレーター一式 5
- ・TV会議システム 二式 8
- ・SK斜坑底 水中ポンプ 8
- ・入室坑及び入室管理システム 27
- ・その他 87

	計	25
設備備品等費	・建物等に係る減価償却費	0
	・設備備品に係る減価償却費	25
	計	25
研究プロジェクト費	・運営費交付金等による事業	307
	・受託研究等による事業	36
	・科学研究費補助金等による事業	553
	計	896
合	計	1,366

平成20年度（使用レート： ）

○拠点活動全体

（単位：百万円）

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、事務部門長	58
	・主任研究者 12人	167
	・その他研究者 51人	287
	・研究支援員 22人	59
	・事務職員 10人	64
	計	635
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 30人	44
	・人材派遣等経費 〇人	0
	・スタートアップ経費 23人	12
	・サテライト運営経費 〇ヶ所	0
	・国際シンポジウム経費 7回	3
	・施設等使用料	17
	・消耗品費	88
	・光熱水料	4
	・その他	220

（単位：百万円）

平成20年度WP I 補助金額	1,408
平成20年度施設整備額	909
・研究棟新営 5,800 m <sup>2</sup> 、前払金	730
・仮研究棟新営（プレハブ）500 m <sup>2</sup>	70
・神岡サテライト研究棟 500 m <sup>2</sup>	109
平成20年度設備備品調達額	290
・ラドン除去空気製造装置一式	63
・高感度ガス分析装置一式	41
・高感度ガンマ線測定装置一式	51
・並列計算機システム一式	17
・その他	118

	計	388
旅費	・国内旅費	14
	・外国旅費	27
	・招へい旅費 国内 69 人、外国 138 人	54
	・赴任旅費 国内 6 人、外国 18 人	17
	計	112
設備備品等費	・建物等に係る減価償却費	5
	・設備備品に係る減価償却費	43
	計	48
研究プロジェクト費	・運営費交付金等による事業	613
	・受託研究等による事業	64
	・科学研究費補助金等による事業	847
	計	1,524
合計	合計	2,707

平成21年度（使用レート： ）

○拠点活動全体

（単位：百万円）

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、事務部門長	40
	・主任研究者 10 人	93
	・その他研究者 51 人	516
	・研究支援員 27 人	100
	・事務職員 10 人	76
	計	825
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 34 人	34
	・人材派遣等経費 1 人	1
	・スタートアップ経費 36 人	26
	・サテライト運営経費 1 ヶ所	2

（単位：百万円）

平成 21 年度 WP I 補助金額	2,342
平成 21 年度施設整備額	1,169
・研究棟新営 5,800 m <sup>2</sup>	1,169
平成 21 年度設備備品調達額	1,031
・大型望遠鏡用超広視野カメラの製作等 一式	462
・超高純度物質分析/精製装置	405

	・国際シンポジウム経費 11回	7	一式			
	・施設等使用料	22				
	・消耗品費	218				
	・光熱水料	7				
	・その他	87				
	計	404				
旅費	・国内旅費	11	・ CCD Sensor 3台	31		
	・外国旅費	24				
	・招へい旅費 国内23人、外国165人	43			・新研究棟用AVシステム二式	48
	・赴任旅費 国内1人、外国20人	10			・質量分析装置システム一式	9
	計	88			・その他	76
設備備品等費	・建物等に係る減価償却費	12				
	・設備備品に係る減価償却費	105				
	計	117				
研究プロジェクト費	・運営費交付金等による事業	646				
	・受託研究等による事業	33				
	・科学研究費補助金等による事業	731				
	計	1,410				
合計	合計	2,844				

○サテライト等関連分

(単位: 百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・主任研究者 〇人	/
	・その他研究者 5人	
	・研究支援員 〇人	
	・事務職員 〇人	
	計	
事業推進費		0

旅費		1
設備備品等費		0
研究プロジェクト費		0
合 計		2

平成22年度（使用レート： ）

○拠点活動全体

（単位：百万円）

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、事務部門長	36
	・主任研究者 9人	91
	・その他研究者 97人	603
	・研究支援員 25人	99
	・事務職員 11人	77
	計	906
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 29人	25
	・人材派遣等経費 1人	0
	・スタートアップ経費 43人	29
	・サテライト運営経費 1ヶ所	9
	・国際シンポジウム経費 9回	3
	・施設等使用料	8
	・消耗品費	81
	・光熱水料	12
	・その他	67
計	234	
旅費	・国内旅費	9
	・外国旅費	33
	・招へい旅費 国内60人、外国143人	33

（単位：百万円）

平成22年度WP I 補助金額 1,350

平成22年度設備備品調達額 40

- ・本館ネットワーク機器一式 4
- ・他拠点ビデオ会議システム一式 3
- ・その他 33

	・ 赴任旅費 国内 3 人、外国 12 人	5
	計	80
設備備品等費	・ 建物等に係る減価償却費	64
	・ 設備備品に係る減価償却費	167
	計	231
研究プロジェクト費	・ 運営費交付金等による事業	444
	・ 受託研究等による事業	11
	・ 科学研究費補助金等による事業	456
	計	911
合	計	2,362

○サテライト等関連分

(単位：百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・ 主任研究者 〇人	/
	・ その他研究者 5人	
	・ 研究支援員 〇人	
	・ 事務職員 〇人	
	計	
事業推進費		1
旅費		0
設備備品等費		0
研究プロジェクト費		0
合	計	9