

(4) 物質・分析科学

計画番号 28

高強度中性子・ミュオンを用いた物質生命科学研究

①計画の概要

- I. 大強度陽子加速器施設 (J-PARC) 物質生命科学実験施設 (MLF) 中性子散乱およびミュオン実験ステーションのビームライン (BL) の高度化と新規整備により、物質・生命科学と産業応用に格段の新展開を図る。中性子は当面、スピネコー、偏極中性子、中性子イメージング、巨大生体分子構造、3次元材料組織構造、分子分光などの先端性の高い BL 6 本に加え、多くのユーザーを持つ装置の複数台化 (ビーム分岐型小角散乱装置) を BL の分岐により推進する。ミュオンは、超低速ミュオン BL の早期実現により、表面研究および顕微研究の飛躍的な発展と世界研究拠点形成を目指す。1 本の既設の分光器性能および時間分解能高度化に続き、低速 (4 分岐) および超高速 BL と、超低速負ミュオン BL 開発を推進する。より高度な研究を実現するための研究環境 (試料周辺装置や総合基盤棟等) の整備を推進する。
- II. 研究用原子炉 JRR-3 の中性子源や実験装置の高度化を行い、J-PARC 中性子施設との協調のもと、定常中性子源の特徴を活かした中性子散乱、イメージング、材料工学、医療科学などにより、物質・生命科学における学術研究から産業利用までの先進的な中性子利用研究を推進する。

②科学的な意義

物質・生命の基礎科学は、巨視的な数の原子分子が示す多彩な性質や機能を基本原理から理解することを目指し、その手法が産業利用にも生かされる。中性子は、高い物質透過性や軽元素原子敏感性という X 線と相補的なプローブとして生体物質やソフトマターも含む諸物質の構造・分光解析やイメージングに威力を発揮する。また物質との磁気散乱から、スピンの配列や運動解明の手段を提供する。研究対象が多岐にわたるために、大局的観測ではパルス中性子源また焦点的観測では定常中性子源の様に、両中性子源を複合・効率的に活用することが必須である。ミュオンは物質の表面近傍や内部に止まり、高感度かつ広い時間スケールで磁性を測定し、電子状態とそのダイナミクスに関する重要な情報や、電子や水素に関わる物質・生命の機能に直結するユニークな情報を提供する。超低速ミュオンは、nm 分解能で表面近傍から物質内部まで連続的に電子状態を測定出来る唯一の方法であり、MLF の大強度ミュオンでのみ実用強度が得られる。

③所要経費

総予算 682億円

初期投資：302億円

I. MLF 施設建設・整備経費 240億円 (中性子 125億円、ミュオン 85億円、環境整備 30億円)

II. JRR-3 施設整備経費 62億円 (原子炉制御系更新等 25億円、冷中性子ビーム高強度化 11億円、実験装置新設・高度化等 26億円)

運営費：38億円 (38億円 x 10年 = 380億円)

I. MLF：完成時 20億円/年 (中性子11億円/年、ミュオン6億円/年、共通3億円/年)

* ここには、3GeV リング、リニアック、1 次ビームライン等、既設施設運転経費等は含まれない。

II. JRR-3：18億円/年 (燃料関係費 7 億円/年、研究炉運転管理費等 9 億円/年、実験装置維持管理費 2 億円/年)

④年次計画

研究継続期間：10年間 (平成23年度～平成32年度) 計画は10年を一つの区切りと考える。

【平成23年度～平成27年度】

「①計画の概要」に記載の I、II の基盤設備をこの5年間で建設および高度化する。

MLF：中性子およびミュオンビーム強度が最大になる平成27年度までに、第1ステージとしての十分な成果を挙げる。新規中性子装置は、1 台を平成23年度から、その後24、25年度に各 3 台の建設を着工する。ビーム強度が最大値に達する平成27年度までには、全ビームライン建設を完了し、早期の本格

運用を目指す。ミュオンについては、超低速ミュオン(23年度から)を最優先とし、続いて低速/高速ミュオンBLに24/25年度から着工する。既設設備高度化は平成23年度から順次行う。

JRR-3：中性子ガイド管の高度化を含む施設および実験装置の高度化を集中して行うとともに産学官の多様な利用ニーズに迅速に対応できる新規運用体制を構築する。

【平成28年度～平成32年度】

MLF：全国共同利用施設として効率的に運用するネットワークシステムを構築する。本計画の実現により、最強ビームによる第2ステージの成果を蓄積する。中性子第2ターゲットステーションを含む次々期計画の具体的検討を行い、MLF施設の更なる展開を目指す。

JRR-3：冷中性子源を含む施設・実験装置の高度化や更新を実施する。次世代研究用原子炉の具体的検討を行い、定常中性子源施設の更なる展開を目指す。

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

中心実施機関：J-PARC 全体の共同運営機関（JAEA、KEK）、JRR-3 運営機関（JAEA）

全国共同利用機関を有する大学：東京大学、東北大学、京都大学等

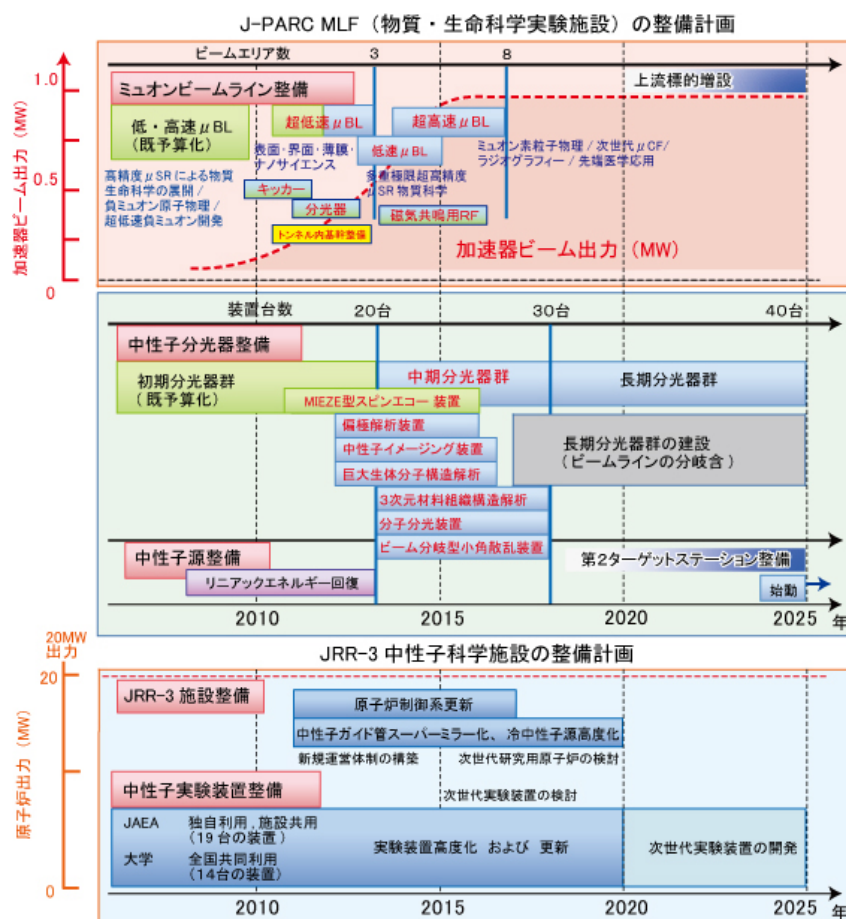
第三者機関：茨城県（特に産業利用に重心、中性子装置設置運営）

共用促進法における登録機関：同法で設置された中性子装置の利用支援

関連研究者所属大学・研究機関等：大学連携、科研費等による装置設置、基礎科学、人材育成

⑥学術コミュニティの合意状況等

J-PARC/MLF の実験装置群整備計画については、当事者である JAEA、KEK 物質構造研、J-PARC センター、およびユーザーグループである J-PARC 利用者協議会、MLF 施設利用委員会、J-PARC 国際アドバイザー委員会(IAC)によって検討が進められてきた。JRR-3 の実験装置の高度化、J-PARC と一体となった調和的な将来像については、日本中性子科学会特別委員会における検討がなされている。



⑦国際協力・国際共同

数年後に MLF 施設パルス中性子源は米国の SNS、英国ラザフォード・アップルトン研究所(RAL)の ISIS とともに世界の三極をなす。装置建設や高度化には、RAL、SNS、ヨーロッパの超大型パルス中性子源計画(ESS 計画)との密接な国際協力を進めている。研究用原子炉 JRR-3 において

も、欧米緒施設はもとより進展著しいオーストラリアや韓国などアジア・オセアニア地区との国際協力も進めている。国際原子力機関 IAEA は、東アジア太平洋地域において中性子ビーム利用における施設間の連携協力と利用者ネットワークの構築を模索している。我が国は、これらの活動における指導的役割を担うことが期待されており、我が国の中性子関連施設の高度化・国際化は、極めて重要である。ミュオン実験施設は、RAL、カナダ TRIUMF、スイス PSI など稼働しているが、世界最高パルス強度記録を更新中の MLF では、世界が待望する画期的な性能を誇る高強度超低速ミュオンなどの実験装置建設を目指す。日本の重要な役割は、世界屈指の実験装置を持つ、アジア・オセアニア地区での放射光も含めた量子ビームプラットフォームの形成である。

① 将来計画の概要

日本における放射光科学をさらに発展させるためには、リング型光源と線形型光源の2つが必要である。大型のリング型光源については、現在、KEK・PFとSPring-8の2つが相補的に稼働し、数多くの成果を創出している。今後も物質科学の更なる発展を支え、世界的な競争に打ち勝つためには、それぞれの光源の高度化が必要不可欠である。1) KEK・PFについては、2019年以後の実現に向けたKEK-ERL(エネルギー回収ライナック)のR&Dを継続して行いながら、Super-KEKBと共用する超高輝度軟X線・X線光源を検討する(KEK-X計画)。2) SPring-8については、これを改造して回折限界エミッタンスを持つ輝度1万倍のX線用蓄積リング型放射光光源を実現する。併せて、可能な限りの省エネルギー設計を実施し、CO₂排出量削減、運転経費削減を目指す(SPring-8II計画)。線形型光源に関しては、2011年6月に発振したXFEL(X線自由電子レーザー; SACLA)を用いて世界最高のフェムト秒、コヒーレントX線を用いた新しいサイエンスを展開する。今後2年程度を目安に改訂することを想定した、今後20年を視野に入れた放射光将来計画ロードマップ(線表)を図1に示す。なお、予算規模は小さいが、VUVを中心とした中小型施設の高度化も不可欠である。UVSORでは世界最高輝度の低エネルギー放射光の利用研究を展開しており、HiSORでは人材養成、特化した利用研究に集中して成果を挙げている。さらに、立命館大学、兵庫県、佐賀県、愛知県(建設中)の施設では産業利用に力を入れている。これらの施設が相補的に放射光科学を推進しているところが世界のトップランナーたる日本の強みであり、日本が世界に誇る層の厚さに繋がっている。

②科学的な意義

放射光は、広範な科学技術分野に利用されており、今後も国が進める新成長戦略分野であるグリーンイノベーション

やライフイノベーションなどに果たす放射光の役割は大きい。放射光は、回折・散乱法と分光法が利用できるように原子構造(原子の並び)、及び電子構造(電子状態)の静的、動的な振舞いを直接観測できることが大きな特長である。

1) グリーンイノベーション: 環境、エネルギー問題は世界的規模で考えていかなければならないグローバルな問題である。これを支えるのは物質科学であり、超伝導体、触媒、熱変換材料、情報通信電子デバイスなどに関する研究開発、その成果である新物質、新機能性材料の発見・創製なくしては安全・安心な持続性可能は社会の実現はない。これらの研究開発の共通のキーワードは、ナノ領域(局所領域)、不均一、ダイナミクスであり、将来の放射光光源はこれらの利用に焦点を合わせている。放射光は、物質の主役である電子の属性全て、すなわち電荷、軌道、スピンと直接相互作用するプローブであり、物質の物性や機能は電子が励起されて発現していることを考えると、電荷、軌道、スピンの励起状態をエネルギー・運動量空間、あるいはそれらの時間発展などのダイナミクスを直接観測することによってグリーンイノベーションを強力に推進することが期待できる。さらにXFELやアップグレードリング型SRからの超高輝度光は、ナノ加工や新物質創製のためのポンプ光としての利用も期待される。

2) ライフイノベーション: 生命科学は、生命現象の複雑かつ精緻なメカニズムを解明する基礎科学として重要であるとともに、革新的な医薬品や医療技術の開発、食料・環境問題の解決につながるなど、生活の向上および経済の発展に大きく寄与する。その中でも、生物機能の直接の担い手であるタンパク

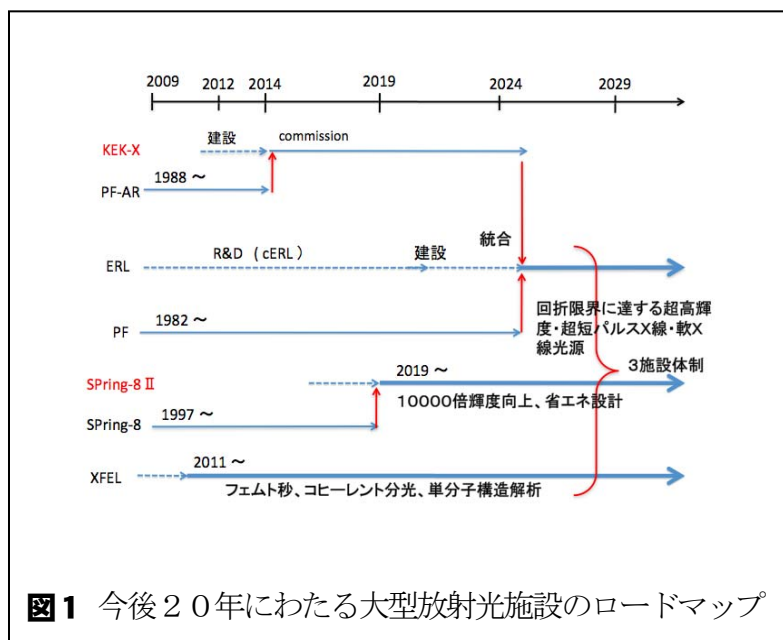


図1 今後20年にわたる大型放射光施設のロードマップ

質の立体構造と機能の相関を解明する構造生物学は、生命科学全体の基盤としての役割を果たすと同時に、その研究成果が医薬開発や産業利用につながることから、極めて重要な戦略的研究分野といえる。いうまでもなく放射光施設は構造生物学の基盤的研究ツールであり、今後も生命科学のための最先端研究施設として、その重要性はさらに高まると予想される。特に、従来の結晶試料を対象とした構造生物学に留まらず、次世代X線光源の空間コヒーレンスを最大限に有効利用した測定により、非結晶性試料の構造解析（タンパク質の構造揺らぎの解析、タンパク質の離合集散状態や細胞小器官そのものの構造解析など）が実現し、新たな構造生物学分野が切り拓かれるであろう。

③所要経費

- 1) KEK-X 計画 建設経費：80 億円（運転経費：15 億円／年）
- 2) SPring-8II 計画 建設経費：400 億円以内（運転経費：60 億円／年）

④年次計画

- 1) KEK-X 計画 2012～2014 年：建設、2014～：運転・実験
- 2) SPring-8II 計画 2017～2019：改造、2019～：運転・実験

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

理化学研究所、高輝度光科学研究センター、KEK

⑥学術コミュニティの合意状況等

ERL 計画と SPring-8 II 計画に関しては、日本放射光学会を中心に議論を重ね、将来計画の重要性が認識されている。ERL 計画に関しては、日本放射光学会の特別委員会において次期リング型光源とすることが確認されている。また、SPring-8 II 計画に関しては、SPring-8 の次期計画として提案され、コミュニティの合意が得られている。

KEK-X に関しては、高エネルギー物理学分野との議論が開始されており、同時に放射光コミュニティ内での議論が開始されたところである。

一方、世界3極（日、米、欧）の一角として XFEL に対する期待が大きい。レーザーコミュニティとの連携も新しく構築されつつあり、全く新しいサイエンスの息吹、期待が強く感じられる。

⑦国際協力・国際共同

次世代蓄積リング型放射光源は、ドイツの PETRA-III がこの方向の計画として先頭を走っている。また、米国 SLAC 国立加速器研究所でも PEP-X が検討されている。Super-KEKB との連携を前提として進める KEK-X はこのような国際的な潮流の中に位置づけられ、様々な R&D を分担して行うことによって経費の削減がはかれる可能性が高く、国内外の協調を大切にしていきたい。

SPring-8 II 計画については、米国アルゴンヌ国立研究所、ブルックヘブン国立研究所、ローレンス・バークレー国立研究所、SLAC 国立加速器研究所と連携して共同開発を実施している。また、大幅性能向上と同時に省エネルギー化改造を実施し、CO₂排出量削減、運転経費削減を目指す。

ERL 計画は、共振器型 XFEL も含めてリング型放射光としての極限の光源性能をもった放射光施設を開発するものであり、国際的にもさきがけ的な基盤設備となる。既にコーネル大学および APS とは MOU を結んで加速器要素技術開発に関して国際協力体制を構築している。小型実証機コンパクト ERL も平成 24 年度中に運転開始し、PF 後継機としての ERL 実験施設の早期実現を目指す。

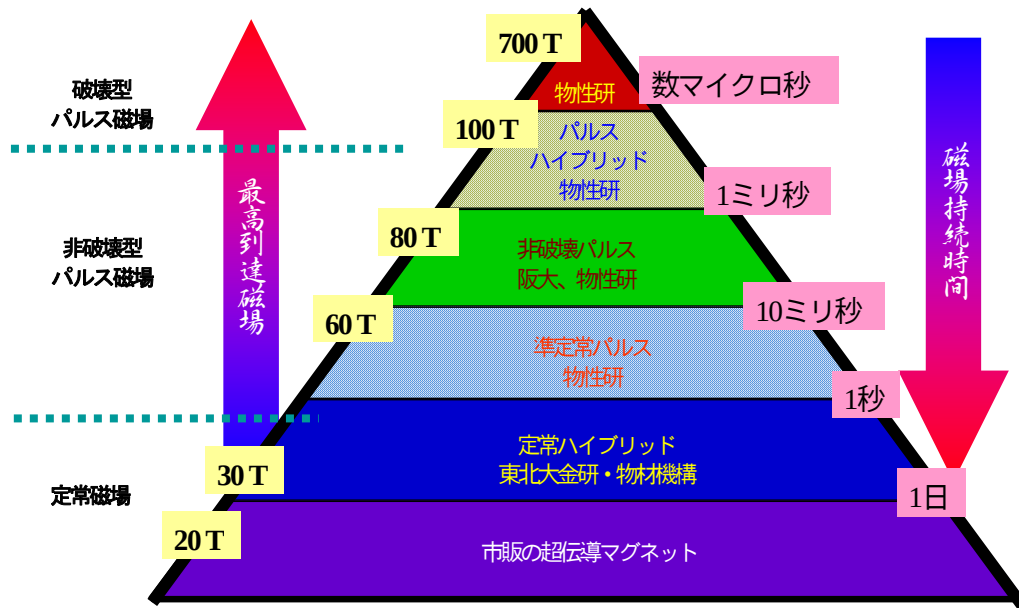
XFEL については、SLAC 国立加速器研究所、Euro-XFEL と連携して実施しており、2011 年の供用開始に向けて順調に進んでいる。

計画番号 30

強磁場コラボラトリー計画（次世代強磁場施設）

①計画の概要

我が国が強い伝統をもつ強磁場科学の研究を格段に発展させるべく、強磁場施設の連携により、オールジャパン体制で運営する統一したネットワーク型研究組織（強磁場コラボラトリー）を構築し、強磁場科学の発展を図る。定常強磁場は、東北大学金属材料研究所と物質・材料研究機構の共同運営組織による統合施設へと集約・発展させ、つくば地区に世界最高水準の 50T 級ハイブリッドマグネット、仙台地区に 30T 級超伝導マグネットを配置し、役割分担を明確化して、一体的な運用を図る。パルス強磁場については東京大学物性研究所を主たる拠点として整備し、非破壊型ロングパルスで 100T、破壊型ショートパルスにて 1000T までをカバーした物性研究を実施する。大阪大学は超強磁場・超高圧・極低温の複合極限科学の拠点として、設備の整備を行い西日本のサブセンターとして機能させる。



②科学的な意義

磁場は物性物理学、物質科学、材料科学などにおける研究に必須の環境である。強磁場下の物質の応答から電子構造に関する知見が得られ、超強磁場下で出現する新物質相により物質科学の新地平が切り開かれる。物性物理学においては、量子ホール効果や磁場誘起超伝導、近年のグラフェンにおけるディラック電子の特徴的な挙動等、多彩な現象が発見され研究されている。しかしながら、物質の内部磁場に比べて発生できる磁場強度は未だ十分とは言えず、パルス磁場を整備して、強磁場のフロンティアを追求することには大きな意義がある。一方、材料開発では、超伝導材料や、高機能・汎用元素型の磁気材料、機能材料や生体・創薬のための強磁場NMR分析、MRI等の医療機器開発など、エネルギー・環境・医療分野における産業イノベーションに対応する材料開発が急務であるが、それに必要な50T級の高品質な定常強磁場が我が国になく、諸外国に遅れる現状から、その整備が求められている。

③所要経費

建設・設備整備費：177 億円、維持運営費：16 億円/年

【内訳】

定常強磁場 建設・整備費：117億円（24MW直流電源、50Tハイブリッドマグネット、25T無冷媒超伝導マグネット、30T級超伝導マグネット他）、
維持運営費：9億円/年
パルス強磁場 建設・整備費：60億円（ロングパルス用直流発電機 25MW-物性研、他）、
維持運営費：7億円/年

④年次計画

定常強磁場：震災による金研ハイブリッドマグネット、NIMS の NMR マグネット等の一部破損のため 2011-12 補正予算で復旧のための修理を予定。これに伴い、整備計画を当初の予定から 1 年繰延べ、以下のように変更。

50T 級ハイブリッドマグネット 2012-13 年 設計、2014-17 年 建設、2019 年 運転・供用。25T 無冷媒超伝導マグネット 2012-14 年 設計・製作、2016 年 運転・供用。

30T 級超伝導マグネット 2017-20 年 設計・製作、2020 年 運転・供用。

パルス強磁場：2011-12 年 破壊型パルス強磁場用コンデンサ電源整備（最先端研究基盤整備事業によって予算措置されている）、2012-14 年 複合極限用コンデンサ電源整備、2015-19 年 準定常パルス用発電機整備。この間、既設設備および整備完了設備を順次共同利用・共同研究に供する。

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

定常強磁場： 東北大学金属材料研究所、物質・材料研究機構、

パルス強磁場： 東京大学物性研究所、大阪大学極限量子科学研究センター

⑥学術コミュニティの合意状況等

強磁場科学の研究者コミュニティでは強磁場フォーラムを中心に、2004 年から将来計画の議論を行ってきた。日本磁気科学会、低温工学協会などを含めてオールジャパン体制で強磁場科学推進へと合意形成が図られる中、2010 年 11 月には“定常強磁場科学における日本の展望”が、東北大学金属材料研究所と物質・材料研究機構の強磁場施設の統合計画として取り纏められた。

強磁場コラボラトリーという明確な特徴と役割分担をもつ強磁場施設の連携計画により、オールジャパン体制で国際的に先導性をもつ強磁場科学を推進する枠組みが構想され、すでに東大物性研究所などから一部実施に移されている。実行組織としては、全体の責任者

は嶽山(物性研)、その元でパルス強磁場は嶽山、金道(物性研)、萩原(阪大)、定常強磁場は渡辺、野尻(東北大)、木吉、清水(物材機構)が主要メンバーとして連携し、4つの組織からなる強磁場コラボラトリーの運営・推進にあたる。

⑦国際協力・国際共同

米国の国立強磁場研究所(NHML)は定常・パルスを統合した国立施設であり、欧州では仏が同様の国立施設を形成し、独・蘭の強磁場施設の更新と併せて EU 全体で運用の統合が行われている。また中国においても欧米に匹敵する規模の強磁場施設がパルス:武漢、定常:合肥の2拠点で建設・運用されるなど国際的な競争は激化している。我が国の強磁場コラボラトリーはこれら世界の有力強磁場実験施設と競い一つも協力体制を構築し、世界的な役割分担による強磁場科学の発展を担う。



実を図る。それら研究機関の連携ネットワークによる共同利用・共同研究を推進するために、各研究機関に1億円／年程度の運営経費を配分して、物質・材料開発研究を組織的に推進するとともに、多様な研究者の活動を共同利用・共同研究により支援する。

④年次計画

平成24～29年度

(具体的な計画)

1年程度の全体調整および運用体制検討期間を経て、平成24年度から5年計画で各研究機関の設備充実を順次進める。その間にも既存設備等を活かした共同利用・共同研究を進める。検討期間においては、各研究機関における共同利用・共同研究制度の比較検討を行ってネットワークにおける連携の仕組みを構築するとともに、研究機器情報や物質・材料データの集約と活用の検討を進める。

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

物質科学・材料分野の共同利用・共同研究拠点である東京大学物性研究所、東北大学金属材料研究所、京都大学化学研究所、東京工業大学応用セラミックス研究所、物質デバイス領域ネットワーク共同研究拠点を構成する5研究所（北海道大学電子科学研究所、東北大学多元物質科学研究所、東京工業大学資源化学研究所、大阪大学産業科学研究所、九州大学先端物質科学研究所）、および関連分野の大学共同利用機関である分子科学研究所、研究開発独立行政法人である物質材料研究機構、理化学研究所。各機関において物質・材料開発を推進すると同時に、分野と地域性に配慮した分散型ネットワークによって全国の研究者の英知による多様な研究を支援する。各機関の特徴を活かす設備充実を行うとともに、物質・材料研究に活用できる装置群の情報を集約して既存設備の有効利用を図る。

⑥学術コミュニティの合意状況等

個別の研究グループの活動である物質開発を組織的に支援することによって我が国の物質科学の優位性を確立するという考え方は、学術会議物理学研究連絡委員会から発出された「物性研究拠点整備計画」などにおいて提唱され、具体的進め方について検討が進められてきた。平成22年度よりそれまでの全国共同利用研究所が共同利用・共同研究拠点として再出発したことから、物質・材料科学分野の共同利用・共同研究拠点の協議会において本ネットワークに関する検討を進め、関連分野の大学共同利用機関や独立行政法人とも連携して本計画を構想するに至っている。

⑦国際協力・国際共同

物質・材料開発は将来の産業競争力の死命を制する活動であり、熾烈な国際競争の場である。物質・材料開発研究は試料作製と物性測定サイクルによって推進されるが、研究の進展段階に応じた共同利用・共同研究により研究が格段に加速される。その様な研究協力は、これまでも国内・国際を問わず個別の研究者間のコミュニケーションベースで行われている。多くの研究者の自由な発想による多様な試行が源泉となる物質開発を組織的に支援するという観点から、研究資源や物性データに関する情報を整備する我が国の優位性を確立する上で有効である。本計画によって全国的な物質・材料開発ネットワーク体制を整え、それと並行してそれらを我が国が先導して国際的に拡大して行くことは、物質・材料科学分野の発展に大いに寄与することとなる。現実的な方策として、各研究機関が既に有する海外研究機関との連携関係を活用して国際的ネットワークを拡張して行く。

(5) 物理科学・工学

計画番号 32

J-PARC 加速器の高度化による物質の起源の解明

①計画の概要

J-PARC 加速器において

- 1) 主リング加速器ビーム強度を現在の設計強度である0.75メガワットから1.7メガワット以上に増強する。
- 2) ニュートリノビームラインを大強度ビームに対応可能なように高度化する。
- 3) 原子核素粒子実験施設の拡張とビームラインの整備・高度化を行う。

これによりニュートリノ、K 中間子、ミュー粒子などのビームを用いた素粒子原子核実験を世界最高感度で行う。この J-PARC 加速器高度化により我が国が主導してきたニュートリノ研究、K 中間子の希崩壊、ハイパー核（ストレンジネス量子数を持った原子核）の系統的研究をはじめとする実験研究とともに、大強度ビームを利用した新たな研究を、将来にわたって牽引し発展させ、物質の起源を素粒子物理と原子核物理によって解き明かすことを目的としている。

原子核の構造や反応の全容を明らかにするには、素粒子クォークどうしを束縛し、核子（陽子と中性子）を含むハドロンと呼ばれる粒子群生成の起源である強い相互作用の詳細な研究が必須である。元素、そして物質の形成仮定の理解とは、原子核形成過程の理解であり、ハドロン物理の研究は宇宙の元素形成史の解明に必須である。また、最近の素粒子理論によるとビッグバンにおいて、物質と同量だけあったはずの反物質が現宇宙に存在しない理由は、ニュートリノの持つ性質にあるという。これら、宇宙の物質形成史や反物質消滅の謎を高度化された J-PARC 加速器を使って解明することができる。

②科学的な意義

前世紀における原子核素粒子物理学の進展により、人類の自然観は大きな変革を遂げたと言える。ギリシャ哲学に始まる原子論に基づく物質観は、6種類のクォークと6種類のレプトン（電子、ミュー粒子、ニュートリノなど）にもとづく素粒子の標準模型として確立した。物質形成の歴史は、宇宙発展の歴史でもある。

我々は物質の起源を考えることで、宇宙の歴史を遡行し、現在の物質に満ちた宇宙を説明するには、二つの問題を明らかにする必要があると考えるに至った。

一つは、クォークを物質の基本粒子である陽子・中性子の中に閉じこめる強い相互作用の基礎研究、つまり物質形成に関する研究、そしてもう一つは宇宙初期には同数あったはずの粒子・反粒子の間の非対称性(CP 非保存)を生む機構、つまり物質／反物質の非対称性の起源の解明である。

前者の問題に対しては、本提案による J-PARC 高度化で可能になる多彩な実験で新粒子探索、高密度核物質の再現、また質量などの基本的属性の変化を調べる事で解明を目指す。既に兆候が報告されるこれらの問題に対して、本計画により明確な回答を与えることが期待される。

後者に対しては大強度化で可能になる精密実験で精査する。現在の物質／反物質の非対称性を説明するには、クォーク混合によって CP 非保存を産む小林・益川理論を 10 桁上回る効果が必要とされる。クォーク混合の精査は K 中間子を用いて深化させる。既に大きな混合があるニュートリノも大きな CP 非保存の起源として精査する。さらに中性子の電



気双極子モーメントの精密測定でCP非保存の理解を深める。そして、ミュー粒子の崩壊様式や属性の精密研究は、CP対称性に関わらず新しい物理現象探索の場として極める。

このような多様な精密実験は日本のJ-PARC加速器によって先鞭がつけられ、それを欧米が急速に追う展開になっている。J-PARC施設を高度化して世界最高感度の実験を行い、新たな発見を続けることで国際的なリーダーシップを発揮することができる。また、高度な基礎科学研究を担う若手研究者の持続的育成は、世界最先端の魅力的な研究の場で、継続的に行うことで初めて可能となる。従って、次世代の国際的リーダーを輩出する場としても本計画の意義は大きい。

③所要経費

建設費：380億円（内訳：主リング加速器ビーム強度増強（90億円）、ニュートリノビームライン改良（60億円）、原子核素粒子実験施設拡充（ハドロン施設（100億円）、ミューオン・中性子（130億円）））、

運転経費等：25億円/年、5年間

④年次計画

平成22～31年度

（具体的な計画）

平成22-23年度：ビームラインと実験計画の策定、施設高度化の設計と開発研究、および建設の開始。

平成24-25年度：施設の本格的建設

平成26年度：施設運転の調整

平成27-31年度：実験の遂行

⑤実施機関

高エネルギー加速器研究機構が中核拠点として、日本原子力研究開発機構と共同で実施する。原子核素粒子実験施設拡充のハドロン部分については、理化学研究所が主体的に参画すべく予算要求の準備を進めている。その他、大阪大学核物理研究センター、東京大学宇宙線研究所などが参画する可能性がある。

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画は、素粒子分野、原子核分野のコミュニティのボトムアップの議論を通じ、そのサポートを得て提案するものである。両分野合同のシンポジウムを開催し、その後もコミュニティからの選出委員で構成される高エネルギー委員会、核物理委員会における議論を経て、今回の提案に至った。素粒子分野コミュニティでは、主リング加速器ビーム強度の増強を、近々の最優先事項と考えている。また、原子核分野コミュニティでは、原子核素粒子実験施設のうち、ハドロン部分拡充を、最優先事項と考えている。

また、当該実験施設は、当初から拡張性を阻害しないように設計されていて、例えばハドロン実験施設におけるビームダンプの移設機構などはすでに現施設に組み込まれている。その後の実験提案によって必要となった部分に関しても、新しい技術の開発研究、国際共同研究グループの編成、施設の詳細設計などを既に進めている段階である。従って、予算措置とともに本計画を開始出来る状況が整っている。

⑧ 国際協力・国際共同

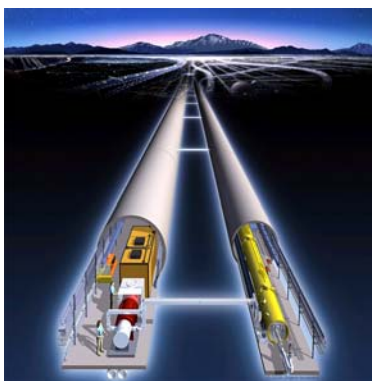
J-PARCの素粒子原子核実験施設では、T2K実験の12カ国62機関、約500人による国際共同研究に始まり、様々な規模の国際協力で研究が推進されており、米国や欧州、アジアの研究者が多数参加して実験が行われている。本計画では、この優位な基盤を確固たるものとすることで、海外の研究者を一層引きつけ、本施設を世界的研究拠点としてより一層発展させることを目指す。欧米で策定中の将来計画に対してJ-PARCが優位性を保つためには、内外に開かれた体制で国際的レベルでの情報交換、共同研究促進、若手育成における協力体制の構築などを持続的に行う必要がある。加速器、ビームライン、標的などの基盤施設を、実施機関が整備し、魅力的な研究が可能になる事を明確に打ち出す事が、国際協力の成功の鍵といえる。

①国際リニアコライダー (ILC) 計画の概要

国際リニアコライダー (ILC) は、アジア・欧州・北米3極の素粒子物理研究者の国際協力により実現を目指している最高エネルギーでの電子・陽電子衝突実験である。衝突エネルギーは 200GeV~500GeV の領域を網羅し、将来は1000GeV への拡張の可能性も視野に入れ設計している (GeV はギガ電子ボルト)。従来の円形の電子・陽電子加速器は、放射光放出によってエネルギーに限界があったが、これを突破するため、放射光放出の無い直線型の加速器を全長約 30km の地下トンネルに配置して、電子と陽電子を逆方向から加速して正面衝突させる。ILC 加速器に関して行なってきた技術開発のポイントは、超伝導を用いた加速装置の性能向上および粒子ビームの太さを非常に細くして粒子密度を増やし衝突頻度を大きくして建設コストおよび消費電力を下げることにある。2012 年にはこれらの技術開発・設計最適化を踏まえて工学設計書を完成する。最近の素粒子物理学の重要な発展は、電子・陽電子コライダーとハドロンコライダー両者での研究の相乗効果によって成されてきた。欧州 CERN 研究所で稼働を開始した陽子衝突実験 LHC が特異な新粒子・新現象を広いエネルギー領域において発見し大局を俯瞰するのに適しているのに対し、ILC は素粒子同士である電子と陽電子の衝突により全エネルギーが素粒子反応に用いられ、素粒子反応の素過程を直接観測する事が可能である。この特性により新しい物理原理を直接決定することができる。ILC は特にヒッグス粒子およびトップクォークのファクトリー (生成工場) として、これらの素粒子に関する詳細研究が行えるはじめての加速器となる。電子・陽電子コライダーでのみ可能な詳細研究によって、素粒子物理学の標準理論を越えた新たなパラダイムの構築を目指す。反応エネルギーがコントロールされた環境の元で極初期の宇宙の状態を再現し、宇宙の真空の構造、暗黒物質の正体、宇宙初期当時の物理法則を解明することで宇宙の進化の大きな謎に迫る。大型研究計画である ILC は、素粒子・宇宙の研究から人類の新たな自然観を創成することが期待されるだけでなく、技術開発・製造の過程においては幅広い分野において超伝導技術をはじめとする多くの先端技術の新展開を促進し、さらに国際的協力のもとに学術・教育・技術の集積する新たな国際研究拠点を構築することになる。

②科学的意義

ILC での実験は多目的であり、素粒子物理の根幹をなす多くの発見がもたらされると考える。ILC の特徴は物理原理の決定能力と衝突エネルギーを遙かに超える超高エネルギーまで見通せることにある。とりわけヒッグス機構あるいはそれに代わる素粒子の質量の起源の詳細を明らかにし、これにより南部理論による真空の自発的対称性の破れを理解することが出来る。強い相互作用によるノイズにより LHC では発見・研究が困難である現象でも ILC では最大エネルギーの閾値以下に存在する現象をすべからず発見し詳細研究を行なえる。例えば、超対称性粒子がエネルギー閾値以下にひとつでも存在すれば、その詳細研究から暗黒物質の正体を決定できる。超対称性理論や余剰次元理論などの標準理論を越えるより基本的な物理法則の決定、更には現在の理論では予想だにされていない新粒子や新現象の発見の可能性もある。さらに、LHC と ILC の結果を合わせることで大統一理論など衝突エネルギーを遙かに超えるプランクスケールまでの物理法則や極初期の宇宙の解明への道が実験的に決定される可能性を持つ。



左上：ILC加速器概要
右上：開発中の超伝導加速器 (KEK)
下図：加速器トンネル内部の様子



③所要経費

建設総額：約 6700 億円、運転期経費：約 200 億円/年。拠出額は三極で分担。建設期はホスト領域が 50%を拠出すると年間予算総額 340～480 億円規模。他の参加国が残りを分担（例えば約 10%/国）。ただし、設計の改良および LHC の初期の結果により ILC の加速器の衝突エネルギーの最適化が可能で、これによるコスト低減を目指している。

④年次計画

平成 24～47 年度

（具体的な計画）

平成 24 年度：工学設計書の完成。これから 3 年でサイト決定など国際的合意が出来たとして、

平成 27 年度：ILC 加速器及び測定器の建設を開始。建設期間は 7 年～10 年

平成 37～47 年度：ILC の運転・データ解析

⑤実施機関

加速器開発及び建設は参加研究機関による国際協力により実施する。国内の加速器開発・建設の中核機関は高エネルギー加速器研究機構(KEK)。国内の大学研究機関は物理実験の測定器開発・建設と物理解析を主に担当。海外を含め千人以上、300 を越える研究機関（国内：東北大、東大、名古屋大、信州大、京大、広島大、神戸大、広島大、佐賀大等、約 40 機関）が設計段階から参加。

⑥学術コミュニティの合意状況等

わが国では 2006 年に高エネルギー物理学研究者会議（研究者コミュニティ）でのボトムアップ過程によって ILC によるエネルギーフロンティアでの研究を学術的最重要課題とし、ILC の実現を目指した技術開発と高度化した KEKB と J-PARC での研究を推進し、ILC の実現・研究に至る長期にわたって日本が世界をリードし続けるための全体ロードマップを策定した。世界的にも 2000 年から 2002 年にかけて、アジア、欧州、米国の 3 極の素粒子物理研究者コミュニティにおいて、素粒子物理学分野の LHC の次に建設する大型基幹計画は電子・陽電子リニアコライダーであり世界が協力して実現を目指す、という国際コンセンサスを得た。これを受けて 2002 年には国際将来加速器委員会 ICFA が ILC の実現を目指した研究者による国際協力体制を創った。政府関係の情報交換の場 (FALC) および 2005 年には世界の大型加速器を持つ素粒子研究拠点を中心とした国際加速器設計チーム (GDE) が創成され、2007 年には基本設計を終了。現在は産学連携を進め製造に向けた技術開発および工学設計を進めている。現在までの実験および理論により絞り込まれている質量領域にヒッグス粒子などの新粒子が存在すると考えられているが、エネルギーが現在の設計基準とする 500GeV では新粒子・新現象に届かない可能性はゼロではない。この場合に備え KEK では超伝導加速の加速能力を上げる研究を進めている。

⑦国際協力・国際共同

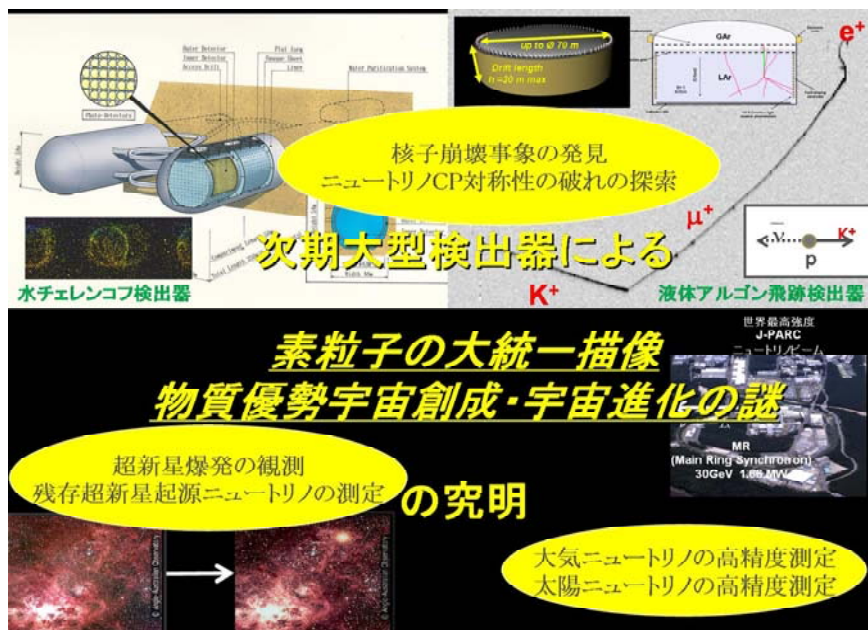
現在、ILC での物理研究、加速器および測定器の設計開発の全てはアジア・欧州・北米の 3 極がまとめ、研究者の大規模な国際協力による共同研究で推進している。計画の全体統括は世界の高エネルギー物理コミュニティを代表する International Committee for Future Accelerators (ICFA)が行っており、その下に加速器技術開発のための国際設計チームおよび測定器・物理研究部門が置かれている。加速器技術開発における開発拠点を KEK（アジア）、DESY（欧州）、FNAL（北米）に設置している。わが国はアジアの開発拠点としての KEK を中核に最重要技術である超伝導主線形加速器およびナノメートルサイズのビーム制御システムの開発において主導的な役割を担ってきた。この超伝導加速技術を用いた放射光施設がドイツで建設中であり、米国でも陽子加速器計画と兼ねた大規模の開発を進めている。測定器開発においては 2 つの大型国際協力による提案が設計を進めている。これらの技術開発・設計最適化を踏まえて工学設計書を 2012 年に完成する。

①計画の概要

本研究計画はスーパーカミオカンデの20倍となる100万トン級水チェレンコフ検出器、および10万トン級液体アルゴン検出器を用いて核子崩壊の発見を目指すと同時に、加速器・宇宙ニュートリノを用いたニュートリノの精密研究やニュートリノ天文学研究を行い、素粒子物理学の新たな展開や天文・宇宙物理学に新たな知見をもたらすことを目指す。

②科学的な意義

実験事実に基づいて裏付けられた素粒子の描像は極めて精緻なものとなり、エネルギーのスケールでは 10^{11} 電子ボルト(eV)、大きさでは 10^{-17} mの極微のスケール、そして宇宙の進化においては、ビッグバンシナリオでの宇宙の開闢から 10^{-10} 秒以降の領域の基礎物理法則をほぼ完全に理解したと言える。しかしながらさらなる極微の領域においては人類の知的好奇心に訴える謎が未だ多く存在する。本研究の科学的意義は、大型先端検出器を活用して、1)核子崩壊現象を発見し、素粒子の新たな統一描像いわゆる



大統一理論を確立し、2) J-PARCにおける世界最高強度ニュートリノビームとの組み合わせにより、レプトン（電子やニュートリノなど強い相互作用をしない素粒子の総称）反応の粒子反粒子対称性(CP 対称性)の破れを発見し、小林・益川機構以外のCP 対称性の破れを見出すことにより、宇宙において、なぜ物質と反物質が同等に存在せず物質だけに偏っているのかという謎を解明することである。大統一描像の検証は、エネルギーのスケールでは 10^{25} eV、大きさでは 10^{-30} mのスケール、そして宇宙の開始から 10^{-36} 秒の領域を一気に解明することを意味する。さらには、超新星爆発で生成されるニュートリノや、大気や太陽から飛来するニュートリノの精密観測により“宇宙創成の謎”にせまるべく、ニュートリノを使った素粒子・天文・宇宙物理学を展開する。

核子（陽子と中性子）崩壊の探索は、カミオカンデ、スーパーカミオカンデにより日本が世界を主導しており、核子の寿命が 10^{33} 年以上であることまではわかってきた。大型先端検出器の実現により、さらなる長寿命領域が探索可能となり、かつ、他の測定器技術の追従を許さない粒子識別・測定能力により、測定器内で起こるあらゆる核子崩壊のパターンを高効率で同定することが可能となるため、核子崩壊現象の詳細にわたる情報が得られる。高い粒子測定能力は、核子崩壊信号事象をバックグラウンドからはっきりと弁別可能とし、実験結果の質を高める。探索可能領域は、代表的な崩壊モードである、陽子から陽電子と中性パイ中間子への崩壊モードに関して 10^{35} 年以上に至ると期待される。これまでに、 10^{11} eVレベルまでの高エネルギー加速器実験の測定結果から、大統一理論は超対称性を持つべきであると結論されている。超対称性とは、大統一と共にその実在性が期待されている、標準理論を超えるためのガイドラインであり、全ての素粒子に対して、そのスピンの1/2だけ違うパートナーが存在するということを予言する体系である。この超対称性を持つ大統一理論においては、多くのモデルで、陽子がニュートリノと荷電K粒子に崩壊する過程の部分寿命が 10^{35} 年以下であると主張されており、これが事実であれば、大型先端検出器で確実に信号事象をとらえる事ができる。

CP 対称性の破れは、大強度加速器実験によって、素粒子のメンバーであるクォークの世界においてはその存在が確立し、小林・益川機構によりよく説明される。しかしながらこの現象を反物質のない宇宙を

作るに必要な CP 対称性の破れと直接関係づけるには至っておらず、他の CP 対称性の破れの起源の更なる追求、特にクォークと共に物質の構成要素であるレプトンの世界における CP 対称性の破れの追及が注目されている。J-PARC で進行中のニュートリノ振動実験 (T2K) からニュートリノにおける CP 対称性破れの探査の前提となるべき物理結果が得られている。大型先端検出器と J-PARC 大強度高品質ニュートリノビームの組み合わせが実現すれば、世界に先駆けてニュートリノの関与する過程における CP 対称性の破れの発見が可能となり、我が国の誇る基礎物理学の新たな金字塔となることはまちがいない。

③所要経費

建設費：500－750 億円、
 運転経費等：20 億円／年、15 年間

④年次計画

平成 26～48 年度

(具体的な計画)

平成 22 年度～平成 24 年度：基礎開発・地質調査を行い、検出器の詳細設計を行う。

平成 25 年度：実験提案・予算要求を開始する。

平成 26 年度：検出器の建設 (所要 7 年) を開始する。

平成 33 年度：実験を開始する。

平成 33～48 年度：陽子崩壊・ニュートリノ振動実験の解析を行い主要な結果をまとめる。

⑤実施機関

東京大学宇宙線研究所、高エネルギー加速器研究機構、東京大学、京都大学、東北大学、
 名古屋大学、神戸大学など

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画はこれまで、高エネルギー物理学研究者間 (主に高エネルギー加速器研究機構、東大、京大、東北大) や、宇宙線物理学研究者間 (主に宇宙線研究所、名古屋大) の双方で議論されてきた。また、J-PARC を利用するコミュニティの代表で構成される J-PARC 利用者協議会において、その将来計画が「J-PARC における研究の展望」としてまとめられており、素粒子分野の重要計画として次期大型ニュートリノ・核子崩壊検出器が提案されている。さらに宇宙線コミュニティにおいても宇宙線研究所将来計画シンポジウム・提案会において同様の研究計画が提案されており、R&Dの推進が支持されている。

⑦国際協力・国際共同

現在まで、「次世代核子崩壊・ニュートリノ検出器」に関する国際研究会を 1999 年からほぼ毎年開催し、議論や情報交換を行ってきた。大型検出器による核子崩壊発見やニュートリノ CP 対称性の破れの測定の科学的意義・重要性については、世界中の研究者が賛同しており、日本、米国、ヨーロッパ、三極で実験の実現可能性が追求されている。日本には国際協力実験であるスーパーカミオカンデによる核子崩壊・ニュートリノ研究の大きな成果と実績があること、また世界最大強度の加速器ニュートリノビームを生成する J-PARC が存在することから、本研究は、国際協力の中で日本が主導すべき必然性がある。現在、日本を含む三極において、自地域内の建設候補地選択や独自の検出器デザイン、機器の基礎開発が行われている。米国では、既に 50 億円規模の開発予算が措置されており、ヨーロッパでも 2 億円程度の予算で測定器開発や候補地選択作業が進行中であり、激しい国際競争となっている。

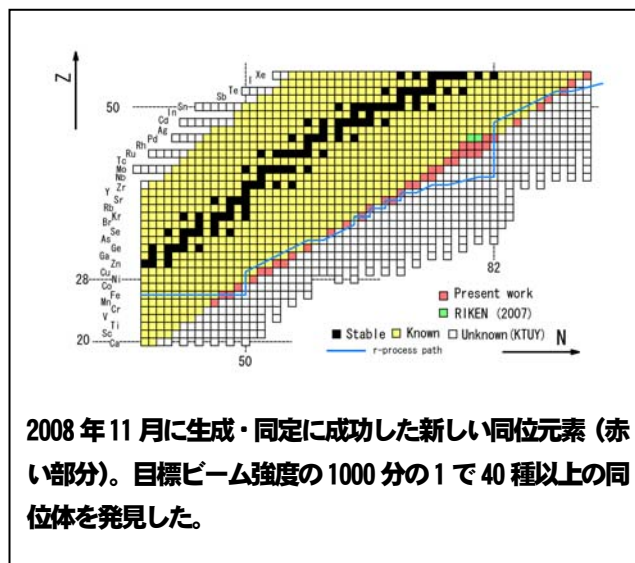
計画番号 35 RI ビームファクトリーの高度化による「安定の島」を目指した RI 核反応学の推進

①本計画の概要

本研究計画は、理研が現有する「RI ビームファクトリー (RIBF)」の RI (放射性同位元素) ビーム発生系を高度化することによって、原子核物理学の不安定核物理分野での世界最先端重イオン加速器施設としての科学的先導性、優位性、地位を不動のものとすべく、低エネルギー (核子当り 5MeV) から高エネルギー (核子当り 345MeV) までの領域で RI ビームを利用可能とする。これにより、「安定の島」領域の原子核を生成するための核反応学研究を様々なエネルギー帯で展開する。

現行の RIBF 施設は RI ビームの生成能力において世界の既存類似施設の 100 倍以上を誇っている。しかしながら、欧米の政府認可された次期計画として、アメリカ FRIB 計画、ドイツ FAIR 計画などがあり、それぞれ 2018 年、2016 年の稼働を目指している。

なかでも FRIB 計画は、大強度 RI を製造するために、400kW もの大強度ウランビームを加速する計画であり、現在の RIBF の目標値、80kW をはるかにしのぐ。これら諸外国の新規計画に対しても科学的優位性を確保する為に、多段サイクロトロンから構成される現有施設の特徴を生かし、広範なエネルギー領域で RI ビームを供給できる施設へと変貌させる。技術的には ISOL 型イオン源を新設、もしくは現有施設の生み出す RI を冷却・再加速することにより、大強度かつエネルギー分解能の良い RI ビームを生成し広範なエネルギー領域で供給可能とする。このような施設は世界に類例がなく、極めてユニークなものとなる。



②科学的な意義

超重元素の探究については、現在研究が進められている原子核領域にくらべ中性子が非常に過剰な領域に安定な原子核が存在すると予想されている。この「安定の島」にあると予想される原子核は、宇宙創世時、または超新星爆発等の自然界が重い元素を作り出してきたメカニズムの及ぶ範囲ではなく、137 億年の宇宙の歴史の中でも創られたことがないと考えられている。そこに到達することは原子核物理学者の夢であるが、現在その方法は知られておらず、ノーベル賞級の研究テーマである。本計画では、得られる大強度かつ広範なエネルギーの RI ビームを駆使し、様々な原子核を自在に生成するための核反応学研究を進める。このことは、「安定の島」の原子核を人工的に生成する道筋を明らかにすることに繋がると同時に、核変換技術の基盤ともなる。「安定の島」にある原子核を生成する為に知られている唯一の可能性は、中性子過剰の RI を大量に生成し、別の原子核との融合反応を行う方法である。現時点ではそれに必要な中性子過剰核を生成することはできないが、本計画により、RI 核反応学を極め、最も効率のよい方法を明らかにし、この問題への挑戦をおこなう。

現有 RIBF 施設において開花したエキゾチック核研究は、強力な重イオンビームと効率良い不安定核ビーム生成法の発明により、大きな発展を遂げてきた。本計画は、その延長線にある研究にも強力な施設となる。核子多体系の新しい存在形態を示唆するものとして、これまで見出された代表的な現象には、魔法数における閉殻構造の喪失と新魔法数の出現、異常に大きな半径を持った中性子分布 (「中性子ハロー・スキン構造」) などがある。これらの諸性質は、超新星爆発に関連する諸現象や宇宙での元素合成過程のひとつ、R-過程の振る舞いとも深く関わっている。R 過程の研究は現有施設で大いに進み、その概要を明らかにすることが出来ると考えているが、本計画により研究可能な範囲を広げることにより、不安定核の核構造学と核反応学が深化し、核物質の静的性質とともに動的性質にも新しい展開が期待される。特に中性子星の外殻構造や超新星爆発に深く関与している非対称核物質の状態方程式などが明らかになるであろう。

③所要経費

建設費：150 億円、運営費等：40 億円／年

④年次計画

平成 25～29 年度

(具体的な計画)

平成 25 年度：詳細設計開始

平成 26 年度：駆動用超伝導線形加速器の製作開始。

平成 27 年度：RI イオン源と重イオン用超伝導加速器の製作開始。

平成 28 年度：建屋および遮蔽の製作開始。

平成 29 年度：据付け調整を行い、大強度 RI ビームの発生開始。

⑤実施機関

独立行政法人理化学研究所

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画は、原子核物理学実験・理論研究者で構成された核物理懇談会での総会（2009 年 10 月）で承認を受けた「RIBF の RI ビーム発生系の高度化計画」に基づき、より目的を明確にするためタイトルを変更したものである。現行の RIBF については、複数の国際評価委員会での評価、国内外の研究者を集めたワークショップなどを通じて、施設計画の議論・立案を行った。本計画もそれを踏襲し学術コミュニティの創意を結集したものとする。また、施設運営については全国共同利用研とは異なり、機関間協力協定を基軸とした新しい共同運営方式を取り入れている。現在、東京大学・原子核科学研究センター(CNS)、高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、新潟大学が研究連携機関となり、理研仁科センター内に支所を設け、大型実験装置等を RIBF 施設に設置している。今後、東北大学、筑波大学、東工大等とも共同運営体制を整える予定である。理研 RIBF を日本の原子核研究の中心施設として発展させたいとの学術コミュニティの合意はすでに形成されており、本計画も強く支持されている。

⑦国際協力・国際共同

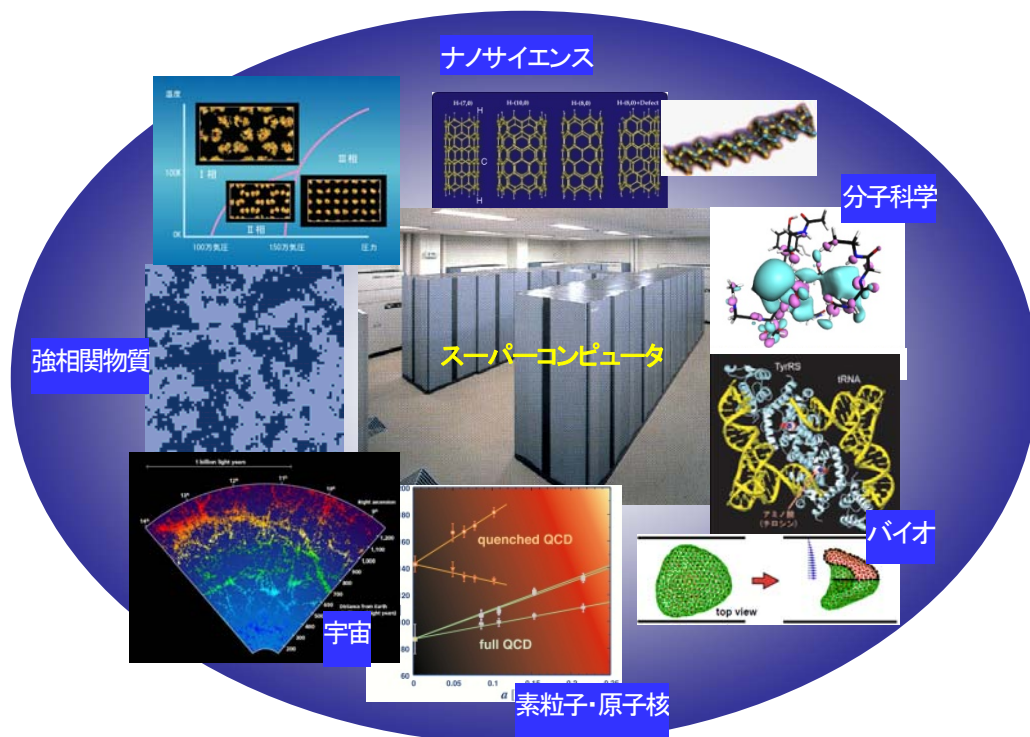
現在、理研 RIBF は世界最強の重イオンビームを作り出せる施設であり、世界の原子核研究の拠点として重要な位置を占めている。現行 RIBF の完成時に実験課題採択委員会を国際化し、その後、元ドイツ重イオン研究所長を副センター長に招聘するなど、国際的な学術コミュニティに開かれた運営に努めている。諸外国の有力研究チームとの協力体制も積極的に進めており、欧米より大型検出器を長期に RIBF に設置するなど、国際協力・国際共同研究が大きく広がっている。今後 5 年から 10 年で、諸外国で RIBF を凌駕する新施設が竣工するなど、この分野は今後も世界的に大きく発展しようとしているが、本計画は RIBF の優位性を高めてこの分野での日本のリーダーシップを確固たるものとし、長期的な将来にわたって RIBF を世界かつアジアの研究拠点とするためのものである。

加速器や RI ビーム分離装置等の技術開発は、欧米の主要加速器研究施設 (GSI, NSCL, GANIL, ANL, PSI など) と国際協定を締結して行われている。アジア諸国との関係においては、中国・インド等と 20 年を超える協力関係がある。国内外の著名研究者から構成された実験課題採択委員会 PAC を設け、国際的なコミュニティからの実験申請を受け付け、優れた研究が優先的になされる体制を整えている。

①計画の概要

計算科学は、最先端のスーパーコンピュータにより科学の最前線を切り開く学際的な分野である。その意味で、次世代スーパーコンピュータは、2010 年代前半における計算科学の挑戦的課題をめざす場として位置づけられる。しかしながら計算科学の画期的成果は、それを支える多様な中小規模プロジェクト、新しいアイデアやアルゴリズムを創出する萌芽的プロジェクト、さらにそれらを有機的に結合する融合的研究の上に立って始めて可能となる。従って、計算科学の推進には、次世代スーパーコンピュータに代表される最高性能のスーパーコンピュータと並んで、発展途上の中小規模計算・萌芽的研究を推進する全国共同利用研究所等のスーパーコンピュータ、さらに基礎研究を中心とする各大学・研究室レベルでの計算機という三層構造を基本に、それらをネットワーク面や制度面でも有効にリンクさせて、相互補完的に機能する研究体制を構築・推進することが重要である。

本ネットワーク拠点では、物理学・化学等を中心とする計算基礎科学分野において、国内の中心的拠点である 6 研究機関が協力して当該分野における第二層の連携研究体制を構築する。基礎科学各分野間の学際的な協力はもちろん、計算科学分野と計算機科学分野の全国的な連携活動を強化して、次世代スーパーコンピュータの適切な活用による研究展開を推進するとともに、2010 年台後半に目指すべき exascale 計算科学に向けての基礎研究を行い、また次世代の計算科学研究者・技術者を育成する。



② 学的な意義

スーパーコンピュータの進歩は極めて早く、2010 年代前半は、次世代スーパーコンピュータをはじめとして、10Pflops スケールの計算が実用化される。また、2010 年代後半には、1Exaflops を目標とするプロジェクトも予想される。このような進展により、基礎科学分野においては、クォーク・レプトンに基づく陽子・中性子等の素粒子の解明(素粒子標準理論と格子 QCD)や、原子核の構造・反応の解明、宇宙進化におけるブラックホールや銀河構造の形成や超新星における元素合成の機構の解明、量子力学に従う多粒子系であるナノ物質、超伝導などの新しい性質を示す物質の電子構造の第一原理計算、さらにはプラズマ流体・生体系など複雑多体系のシミュレーションなど、多彩な分野において、飛躍的な進展が期待される。

③所要経費

設備費： 各拠点のスーパーコンピュータの借入・運用経費 6 拠点総額 約 40 億円/年

運営費： 連携拠点の構築と維持・管理 約 1 億円/年

*上記の経費には、次世代スーパーコンピュータ関連の経費は含まれていない。

④年次計画

平成 22～31 年度

- ・平成 22 年度～23 年度 計算基礎科学ネットワークのサブネットとして素核宇宙分野（高エネルギー加速器研究機構（KEK）、筑波大計算科学研究センター、国立天文台）及び物質分野（東京大学物性研究所、自然科学研究機構分子科学研究所、東北大学金属材料研究所）それぞれの連携体制を強化するとともに、アルゴリズム研究を中心にサブネット間連携を構築。並行して、平成 24 年度開始予定の次世代スーパーコンピュータの利用に向けて準備研究を協力して実施。
- ・平成 24 年度～28 年度 次世代スーパーコンピュータを本格活用して素核宇宙分野及び物質分野における戦略利用を推進、計算基礎科学ネットワーク拠点におけるサブネット間連携を強化し、学際科学としての計算科学を推進。エクサスケールの計算科学に向けての準備研究を検討。
- ・平成 29 年度～31 年度 エクサスケールの計算科学に向けての本格的な取り組みを実施。

なお、計算基礎科学ネットワーク各拠点のスーパーコンピュータ設備は更新時期に併せて順次設備導入を実施する。平成 22 年度（東京大学物性研究所、KEK）平成 24 年度（国立天文台）平成 25 年度（筑波大学計算科学研究センター）等

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

高エネルギー加速器研究機構、筑波大学計算科学研究センター、国立天文台、計算基礎科学連携拠点（以上 3 拠点の連携拠点）、東京大学物性研究所、自然科学研究機構分子科学研究所、東北大学金属材料研究所。

⑥学術コミュニティの合意状況等

それぞれの学問分野におけるスーパーコンピュータのユーザーグループ等で将来計画の議論が行われてきた。物質科学の分野では、「計算物質科学連絡会議」、「計算物性物理連絡会」などが組織され活動している。素粒子原子核宇宙分野では「計算基礎科学コンソーシアム」が平成 20 年度に設立され、平成 21 年度には、KEK・筑波大計算科学研究センター・国立天文台が連携する「計算基礎科学連携拠点」が設置された。また関連して、新学術領域「素核宇宙融合による計算科学に基づいた重層の物質構造の解明」が平成 20 年度に採択された。

次世代スーパーコンピュータプロジェクトにおいて、平成 21 年度に 5 つの戦略分野が決定されたことを受けて、物質科学分野及び素粒子原子核宇宙分野において、全国的な連携協力体制の構築が議論された。前者においては東京大学物性研究所を中心に自然科学研究機構分子科学研究所、東北大学金属材料研究所が連携して分野 2 の戦略機関である計算物質科学イニシアティブを構成し、後者では計算基礎科学連携拠点が分野 5 の戦略機関となって、研究推進を行う体制が整備された。

⑦国際協力・国際共同

スーパーコンピュータの計算資源を活用した計算科学の推進は国際競争力の重要な要素であり、我が国が十分な国際競争力を維持するためには、ハードウェアとソフトウェアの調和の取れた開発体制が必須である。同時に、計算基礎科学の分野で最先端の研究活動を推進する上では、国際共同研究や情報交換が必須であることから、それらが支障なく行なえるように、先端技術の輸出規制等に配慮しつつ適切な国際協力体制を整備することが必要である。

既に、計算基礎科学分野では、米国における DOE の SciDAC プログラム、欧州における PRACE プログラム等の、研究・人材育成・計算設備を総合的に整備推進する諸プログラムと研究レベルでの様々な国際交流・連携が存在する。本計画においては、これらのプログラムと本格的な国際連携を進め、グローバルな視野から計算基礎科学の推進を行う。

計画番号 37

30m 光赤外線望遠鏡計画

①TMT計画の概要

本計画は、2020 年代の観測天文学の主役となる口径 30mの光赤外線望遠鏡をハワイに国際協力で建設することを目指すものである。

現在、世界で 10 基を超える 8m-10m 級地上望遠鏡が稼働中であり、天文学はこの 10 年で各段の発展を遂げた。だが、ダークエネルギーやダークマターの謎の解明、膨張初期の宇宙で起きた天体形成の直接観測、さらに太陽系外の恒星を回る惑星の探査と「第二の地球」や生命存在の兆候の発見といった新たな重要課題に挑戦するには、補償光学を高度化した大口径の次世代望遠鏡の建設が必要であり、日米欧でその構想の検討が進められてきた。

日本の天文学コミュニティはすばる望遠鏡の成果と実績を踏まえ、カリフォルニア大学等により予備検討が進められてきた 30mTMT 計画（下のイラスト）に参画する方針を固め、2008 年 11 月に国立天文台と TMT 評議会の間で覚書を交わし、協議を続けてきた。その後、2009 年 7 月には建設予定地がハワイ島マウナケア山頂のすばる望遠鏡に隣接する地点に定まり、建設計画への 2012 年度からの参加にむけて、分担内容の具体化など準備作業を進めている。日本学術会議の『天文学・宇宙物理学天文学・宇宙学分科会の『天文学・宇宙物理学長期計画』では、早急に実現すべき最も重要度の高い計画と規定された。



図 マウナケア山頂地区 TMT の完成予想CG

②科学的な意義

1999 年に完成した口径 8.2m すばる望遠鏡は、最遠銀河の発見、原初銀河の系統的探査、ガンマ線バースターの観測、宇宙再電離終焉期特定、爆縮型超新星の非対称爆発の実証、重元素量最小の恒星の発見、原始惑星系円盤の渦巻構造の発見、太陽類似星の周囲を巡る惑星系の初撮像、太陽系外縁天体の探査、などで世界をリードする成果を挙げている。

すばる望遠鏡に比べて約 4 倍の空間解像力、13 倍の集光力、最大で約 200 倍の観測効率を実現する 30 m 望遠鏡 TMT が完成すれば、レーザーガイド補償光学系の高度化により、赤色帯での限界等級は、現在の 28 等相当から最大 33 等相当にまで高感度化することができる。優れた解像度と広い視野を持つすばる望遠鏡のサーベイ能力と組み合わせることにより、すばる望遠鏡による成果をさらに飛躍させ、具体的には、

- (1) 太陽系外の恒星のハビタブルゾーン（生命存在可能圏）内の「第二の地球」を発見し、その大気の分光分析による生命存在の兆候を探査する。
- (2) クエーサー吸収線系の赤方偏移時間変化の超精密測定により、宇宙膨張史を直接測定して宇宙膨張を加速するダークエネルギーの性質を解明する。
- (3) 赤方偏移 10 以上の宇宙初期の原始銀河やガンマ線バースト天体などの撮像・分光観測から宇宙史における、星形成史を解明する。
- (4) 銀河団の重力レンズ効果の測定によるダークマター分布の研究を進展させる。
- (5) アンドロメダ銀河など局所銀河群に属する銀河の恒星を、高解像観測で個々の星として観測し、その色等級図を恒星進化モデルとつきあわせて、銀河系の創世の物語を解明する。
- (6) 面分光機能と補償光学系を組み合わせた観測で、形成途上銀河の内部力学構造を分析し、銀河形成機構を探究する。
- (7) 活動銀河中心核や銀河系中心などに潜む巨大ブラックホール周辺の時空構造とジェット発生機構を解明する。

(8) 銀河系内の球状星団やバルジ星の年周視差や固有運動を測定し、銀河系の3次元構造と運動を解明する。

などの研究を格段に進めることができる。2010年代末から稼働する予定の次世代6.5m宇宙望遠鏡JWSTや、チリに日米欧の国際協力で運用を開始したアタカマリ波サブミリ波干渉計(ALMA)とも連携し、宇宙の観測研究に新しい局面を開くと期待される。

③所要経費

建設費約1300億円のうち300億円はムーア財団の寄付等により、すでにカリフォルニア大学・カリフォルニア工科大学が確保している。建設費の残りと運営費を日本・米国・カナダ・中国・インドが分担する構想で、建設の役割分担を協議中である。日本は492枚の主鏡、望遠鏡構造の一部、および観測装置の製作を軸に分担することを検討しており、建設費のうちの約350億円と完成後の運営費等の年約13億円程度が必要となる。

④年次計画

建設期間は平成26～33年度を予定しており、平成23年度に国際協議をさらに進めて、日本の分担内容の詰めを行う。国際合意の上、平成24～25年度は予算要求と最終技術開発を行い、平成26年度から建設を開始し、平成32年度には試験観測を開始する予定。

⑤実施機関

自然科学研究機構国立天文台が、光赤外線天文学コミュニティを代表して建設し運用する。東京大学、京都大学、東北大学、広島大学、名古屋大学、北海道大学、大阪大学、東京工業大学、愛媛大学、茨城大学、埼玉大学などが観測装置開発や観測研究でも協力する。

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画の実現は、日本の光赤外線天文学のコミュニティ(光赤外天文連絡会)の将来計画検討報告書「2010年代の光赤外天文学」(2004年度)で最優先課題として提案され、国立天文台は2005年度に次世代望遠鏡プロジェクト室を設置し、具体的検討を開始した。国立天文台長の諮問委員会である光赤外天文専門委員会の推進勧告(2006年度末)をうけ、2008年11月、国立天文台長とTMT評議会議長の間で推進協力に関する覚書が交わされている。学術会議物理学委員会の天文学・宇宙物理学WGが2010年6月に公表したマスタープランでは、TMTを「緊急に日本の公式参加の条件を整え、2012年の建設開始を目指す米国他と早急に歩調をそろえるべき計画」と規定している。

⑦国際協力・国際共同

カリフォルニア大学、カリフォルニア工科大学、カナダ天文学大学連合が準備費を出資して、TMT公社を設立し、計画推進にあたっている。3ヶ月ごとに開催されるTMT評議会には、日本も2007年夏から参加しており、2008年11月の覚え書き交換からは、協力機関との位置づけで、計画の具体化と国際協力推進に寄与している。2010年夏に公表されたDecadal Report Astro2010では米国内で二つある次世代超大型望遠鏡計画(TMTとGMT)の比較検討をNSFが速やかに行い、選択された計画に25%レベルで出資すべきとの勧告がなされている。日本の技術・観測レベルの高さはすばる望遠鏡などで国際的にも十分認識されており、望遠鏡建設や運用に期待が寄せられている。

2009年からTMT評議会にオブザーバー参加している中国と2010年から同じくオブザーバー参加しているインドを加えた新たな覚え書き交換の準備が進んでいる。アルマよりさらに広いアジアコンソーシアム形成の可能性も高い。この国際協力のなかにあつて、広視野サーベイ能力に秀でたすばる望遠鏡と連携した観測を行うことにより、日本の研究者は独創性の高い天文学を展開することができる。

計画番号 38

一平方キロメートル電波干渉計 (SKA) 計画

①一平方キロメートル電波干渉計計画の概要

本計画は国際的組織によって建設計画が進められている巨大な電波干渉計である (図 1)。アンテナ 2000 台から 3000 台で構成され、総開口面積が一平方キロメートル台となることから、Square Kilometer Array (SKA, 一平方キロメートル電波干渉計) と呼ばれている。観測周波数 0.1GHz から 25GHz 帯というセンチメートル波をカバーするため、日・米・欧で建設が進められているミリ波サブミリ波干渉計 ALMA と相補的な役割を担う。周波数帯は大きく 2 つに分けられ、(i) 0.1 GHz–1GHz は低周波 SKA と呼ばれ開口型アンテナ (図 1 中央から下にかけて描かれているタイプのアンテナ) を用いるものと、(ii) 1GHz–10GHz は中間周波 SKA と呼ばれパラボラアンテナタイプ (図 1 中で上部に描かれているタイプのアンテナ) を用いるものが建設予定である。また (iii) 10GHz 以上は高周波 SKA と呼ばれるものも提案されている。基線長は最大およそ 3000km が考えられており、VLBI 並みの高空間分解能観測が実現される。一平方キロメートル電波干渉計の特徴は (i) 高感度、(ii) 広視野、(iii) 広帯域、(iv) 高分解能、という 4 点である。建設地は大気安定していて人口電波が少なく、広大な土地が確保できるという観点からオーストラリアと南アフリカが建設地の最終候補となっている。

本計画は国際的な組織で推進が図られており、ヨーロッパ、アメリカ、オーストラリア、ニュージーランド、南アフリカ、カナダ、中国、インドが大規模な予算を投入して参画している。日本も韓国と同様、国際的な組織に参加し情報を収集し、今後の参加形態の模索を図っている。

②科学的意義

一平方キロメートル電波干渉計 (SKA) はセンチ波・メートル波帯の汎用性の高い望遠鏡であり、太陽系から宇宙論規模のスケールまで幅広い科学研究が飛躍的に進むと期待されている。

とりわけ以下にあげる 5 つの研究テーマは最も科学的インパクトの高い課題として掲げられている。

1. 宇宙における生命：高空間分解能観測によって半径 数 AU の原始惑星円盤を直接撮像し惑星の誕生を明らかにする。また生命に結びつくような複雑な分子輝線を探査し生命の誕生に迫る。さらに地球外生命から発せられる電波を捉える SETI も 現実的となる。

2. 宇宙の暗黒時代：宇宙の再電離が起こる頃の中性水素原子ガスを直接観測し、再電離の過程とそれを引き起こした宇宙最初天体を捉える。またこの時代に初めて生成される一酸化炭素などの分子輝線や宇宙最初のブラックホールを捉える。

3. 宇宙磁場の進化：数億の背景天体について回転量度の全天サーベイを行い、銀河系から遠方銀河にまでわたる宇宙磁場の分布を調べ その起源と進化を探る。

4. 重力理論の検証：2重パルサーやブラックホールと連星系をなすパルサーのパルスを測定することにより強い重力場での相対性理論を検証する。また銀河系中にある多数のパルサーを観測することによって、我々の近傍を通過する重力を捉える。

5. 銀河進化：中性水素原子輝線で全天サーベイ観測を行い、 $z=1.5$ までの銀河分布図を描きだす。これにより銀河進化と宇宙の構造形成、ダークエネルギーの性質を明らかにする。また連続波観測では最も遠方の星形成や重力レンズ効果を探る。

③所要経費 (全体額)

2000 億円 (初期投資：2000 億円、運営費等：年間 150 億円)

④年次計画 (国際的)

平成 19~35 年度



図 1 : SKA の完成予想図

(<http://www.skatelescope.org> より引用)

(具体的な計画)

平成 19－24 年度：望遠鏡のデザイン検討、所要経費見積もり

平成 21－24 年度：アンテナの試作機がオーストラリア、南アフリカに建設

平成 24 年度：アンテナ建設地の決定。最終的な国際組織の設立。

平成 25－34 年度：低周波・中間周波 SKA の建設を段階的に推進。

平成 30 年度：初期運用

平成 35 年度：本格運用

⑤実施機関

国内では、国立天文台が中核となることが想定されているが、今後の参加形態も含めて国立天文台電波専門委員会で議論審を行っている。一方で、現在では、国内研究者レベルでの観測計画の立案等の活動が進められている。

⑥学術コミュニティの合意状況等

SKA が非常に学術的に重要な計画である、日本のコミュニティが将来利用できる道を探るべきとの合意はほぼ形成されている。天文学・宇宙物理学分野での長期計画で取り上げられており、電波天文学コミュニティで具体的な参加形態や、国内推進体制等は検討中である。国内では本計画に参画するための公式の組織は存在しないが、平成 20 年 5 月から関連分野の研究者有志によって SKA コンソーシアムが結成され、研究者レベルでの活動が始まっている。コンソーシアムには約 100 名の研究者が名を連ね、月 1 回の電話会議による定例会での情報交換や議論、ワークショップの開催等が行われてきた。また天文学会や宇宙電波懇談会シンポジウム、VLBI 懇談会シンポジウム等の電波関連の会議においてコンソーシアムの活動報告等を進めている。

国内でも多くの研究者が一平方キロメートル電波干渉計 (SKA) に興味を持っており、SKA コンソーシアムのようなボトムアップ的な活動に対しての反対はない。しかし既に国際組織によって検討が進んでいるこの計画の中で、科学的研究面と技術開発面の両方からいかに日本の研究者の独自性が発揮できるか、予算やマンパワーをどうするかといった点が議論の焦点となっている。

⑦国際協力・国際共同

現在、ヨーロッパ、アメリカ、オーストラリア、南アフリカ、カナダ、中国、インド、韓国、日本の研究者によって SKA 科学技術委員会が組織され、年 1－2 回の会議、2，3 カ月おきの電話会議が開かれ計画遂行のための議論・決定がなされている。また、非公式の各国の予算機関からなる会議に国立天文台も参加を行い、SKA に関する情報交換を行っている。

国内の SKA コンソーシアムも SKA 科学技術委員会にオブザーバーとして招待されており、国内の活動状況を報告するとともに、SKA の国際的な進捗状況についての情報収集を行っている。

SKA の試験的望遠鏡として、ヨーロッパでは LOFAR と呼ばれる低周波 SKA の試験的アンテナが、建設候補地であるオーストラリアでは ASKAP、南アフリカでは MeerKAT など中間周波 SKA の試験的アンテナが、アメリカでは Allen Telescope Array といった高周波 SKA の試験的アンテナが建設されている。これらは国際的にも共同研究を募っており、国内からもオーストラリアの ASKAP による科学研究チームに加わっており、科学的研究を共同で進めている。

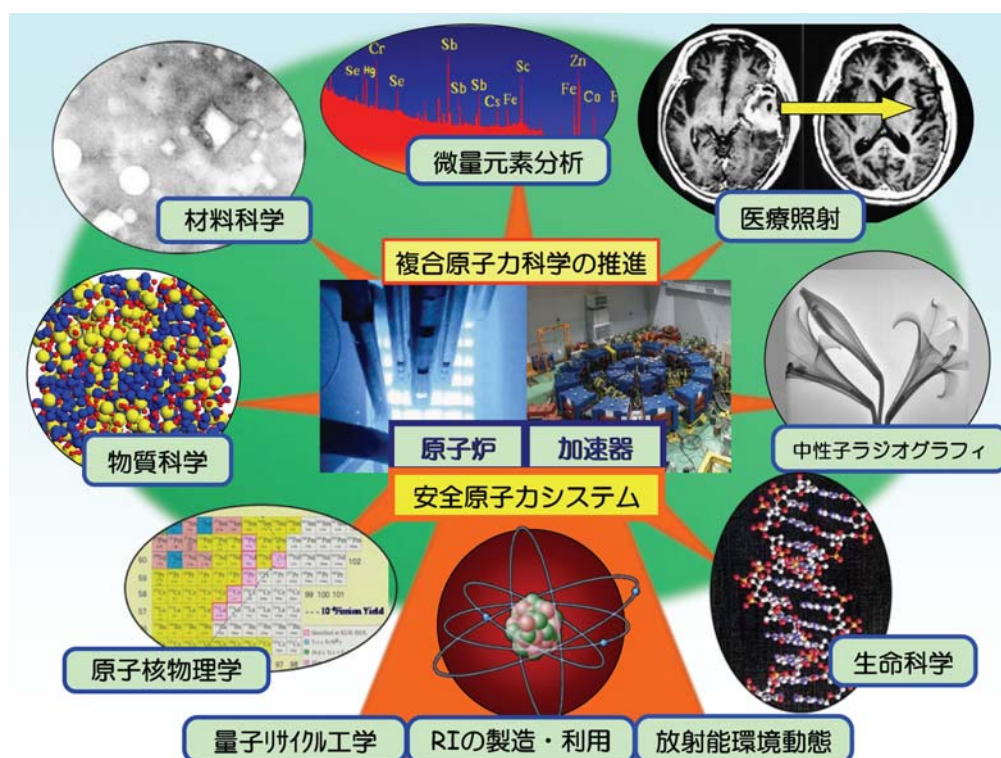
本計画の最終的な国際組織は建設地の決まる平成 25 年頃には決定するため、それまでに国内からの参加形態をどうするかについて はっきりとさせる必要があるだろう。

①計画の概要

本計画では、人類社会の持続的発展に必要と考えられる原子力・放射線の新たな利用法の開発を含む複合的な原子力科学分野の発展を目指し、個々の研究者の豊かな創造性に基づく先導的な研究の実施を旨として、萌芽的・基礎的な実験研究に重点を置き、各種研究会の開催を織り交ぜつつ、共同利用・共同研究を推進する。その際、多様化する新たな研究ニーズに対応し得る施設・設備の導入・整備に努めつつ、原子力・放射線施設の特質に鑑み、原子炉実験所の教員が全国の研究者を組織して共同で行うプロジェクト研究を重視し、世界をリードする研究教育活動を発展的に展開するものとする。また、固定磁場強集束型 (FFAG) 陽子加速器を用いた加速器駆動システム (ADS) に関する基礎研究については、同システムが安全性と核変換特性に優れた未来型原子力システムとして期待され、世界を先導する研究として国際的な注目を集めていることから、安全基盤科学研究の中核的組織としての附属安全原子力システム研究センターの機能を拡充・強化することにより、より一層の推進を図る。

②科学的な意義

本研究の意義は、原子力・放射線施設を用いる実験に重点を置いた共同利用・共同研究を軸として、複合的な原子力科学の裾野が拡大・発展し、より安全で効率的な原子力・放射線の利用を支える基礎・基盤的学術の新たな創成と展開につながり、それらの有効利用に道を拓くことにある。また、材料研究やホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) 研究等の具体的な成果を社会に発信・還元することにより、原子力・放射線の利活用が人類福祉に貢献するとの認識を醸成するとともに、学際分野の先導的な研究を共同利用・共同研究体制の下で遂行することにより、大学における教育研究活動にインパクトを与え、次代を担う俯瞰的視野を持った優秀な人材の育成に寄与するものと期待される。



複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進 (京都大学原子炉実験所)

③所要経費

総予算 98 億円。初期投資 60 億円。年間 3.8 億円 (3.8 億円×10 年間 = 38 億円)。

④年次計画

平成 22～31 年度 (10 年間)

(具体的な計画)

平成 24～25 年度：コラボレーションリサーチラボの新営。

平成 24～25 年度：イノベーションリサーチラボの整備。

平成 22～25 年度：FFAG 陽子加速器の性能向上。

平成 22～31 年度：固形廃棄物倉庫の増設、基幹整備等。

平成 22～31 年度：ADS 研究等の推進。

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

中心実施機関：京都大学原子炉実験所

京都大学原子炉実験所は、昭和 38 年に京都大学に附置され、以来、全国大学の共同利用研究所としての実績を重ね、平成 22 年より共同利用・共同研究拠点として活動している。この実績をもとに、関連分野コミュニティの広い研究者群による共同利用・共同研究を軸に研究用原子炉等の施設・設備の有効活用を図り、核エネルギー利用と放射線利用を車の両輪として複合原子力科学に係る学術の発展に努めることとしている。

計画の軸となる共同利用・共同研究については、多数の学外者を含む共同利用運営委員会等において方針の立案、課題採択等の具体的作業を行い、実施に当たっては、原子炉実験所の原子力基礎科学、粒子線物質科学、放射線生命医科学の 3 研究本部体制の下で、国内外の大学・研究機関等と協力・連携を図りながら推進していく。また、本計画の実施に不可欠な原子力・放射線の利用に係る安全確保及び法規制対応については、安全管理を担当する部・室を設けるとともに、安全管理本部が統括する体制として万全を期している。

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画は、旧文部省学術審議会特定領域推進分科会原子力部会の報告「大学における研究用原子炉のあり方について」(平成 12 年 11 月)に基づき、日本学術会議選出の委員を始め多数の学外者を含む運営委員会の下に設けた研究計画委員会を中心に検討を重ねてきたものであり、物理学・化学から工学・医学にわたる多くの研究者群からなる原子炉実験所の共同利用研究者グループ等によって強く支持されている。また、本計画を実施する体制としての共同利用・共同研究拠点の申請・認定に当たっては、関連分野コミュニティから多くのサポートレターを得ており、日本学術会議総合工学委員会主催の公開シンポジウム「原子力・放射線の有効利用に向けた先導的研究の推進」(平成 22 年 11 月 19 日)等においても本計画への期待が確認されている。

⑦国際協力・国際共同

研究用原子炉等の施設・設備は国際的にも貴重な研究資源であり、その有効活用に関する国際協力・国際共同は不可欠である。現在海外の 24 研究機関との間で国際部局間協定を締結あるいは学術交流に関する覚書を交換しており、研究用原子炉の技術開発・利用研究、並びに原子力工学及びこれに関連した教育について、これらの機関との学術上の協力・共同及び研究者・学生の交流を継続・発展させていく。FFAG 陽子加速器を用いた ADS に関する基礎研究については、先導的研究として世界の注目を集めており、日本原子力研究開発機構を含む国内機関との協力に加えて、欧州の EUROTRANS プロジェクト参加機関等と実験及び解析の両面における国際協力研究を推進する。また、アジア ADS ネットワーク会合を通して、韓国、中国等との連携を強化して進める。

① 計画の概要

エネルギー密度とは、単位体積あたりのエネルギーという単位から明らかなように、1程度の大きさの係数の相違を除けば「圧力」に他ならない。しかし「超高圧力」なる言葉が包含する圧力領域が一般に数メガバールまでであるのに対し、高強度レーザーで発生可能な圧力は100メガバールに迫り、さらにこれに爆縮による体積収縮を用いることにより、恒星の中心の圧力に匹敵するテラバールの圧力すら既に実現されている。また、これを凌駕する光圧力を発生させ燃料を点火する「高速点火」の進展により、原子核の周りのクーロンポテンシャルに影響を与えるほどの超高強度場の発生が現実の課題となった。本研究計画では、世界最高エネルギーの超高強度レーザーの開発で培われた技術を発展させ、エクサワット級のレーザーを開発する。これにより、従来の超高圧、高密度状態に加え、前人未踏の超高強度場を実現し、相対論的プラズマ物理、非線形量子電磁力学を開拓する。このことにより高エネルギー密度科学のフロンティアである超高強度場の国際研究拠点を目指す。

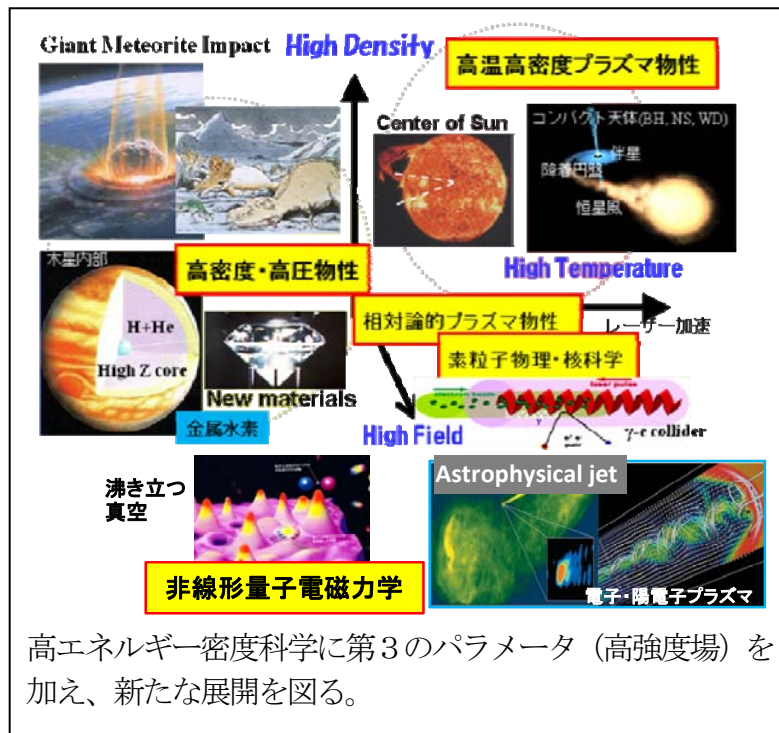
期待される成果は以下の通りである。

1. 将来の超エクサワットレーザー技術の基盤確立。
2. 相対論的プラズマの豊かな非線形現象の解明。
3. 真空の崩壊、相転移などの従来の高エネルギー物理と相補的な研究領域の開拓。

② 科学的意義

本研究の科学的意義は世界に先駆けて高エネルギー密度科学のフロンティアを開拓することである。本研究期間内には、

1. エクサワット級レーザーの基盤技術を確認、未踏の超高強度場を実現し、高エネルギー密度科学のフロンティアを開拓する。
2. レーザーの超高強度場を用いて、非線形、非摂動的量子電磁力学を明らかにする。
3. 電子・陽電子プラズマ、超高密度、超高温度のプラズマを地上に実現し、種々の天体現象を解明する。
4. 相対論的プラズマ物理の基礎研究を背景として、超高強度レーザーによる高エネルギー粒子発生を物理を解明し、コンパクトで高効率のレーザー量子源の設計原理を確立、その工学的並びに医学的応用の可能性を明らかにする。



③ 所要経費

90億円（初期投資（エクサ・ワット級レーザー装置の設置他）：84億円、運営費等：6億円）

④ 年次計画

実施期間：平成24～29年度

（具体的な計画）

平成24年度：基幹研究班の形成。各研究課題ごとに、5年間の研究計画の詳細とレーザー装置に対する要求仕様を決定する。シミュレーションによる定量的な予測精度を向上させ、最適化設計に活用する。

平成24～26年度：大型レーザー装置の更新。各研究班からの要求仕様をもとに、段階的に装置の更新を実

施する。更新と並行して、下記基礎実験を実施する。

基礎実験課題 1. 相対論的プラズマ制御による超高強度レーザー集光特性向上、2. 極限プラズマ診断装置開発、3. 高密度プラズマ加熱基礎研究 4. シミュレーションコードのベンチマークテストのための基礎実験を実施する。

平成 27～29 年度：主要研究課題の研究を実施、以下の目標を達成する。

1. 100 J 級広帯域 OPCPA (光パラメトリックチャープパルス増幅) 技術確立。
2. 超高強度レーザーによる高効率電子・陽電子生成 (シャワーの解析)
3. 電子・陽電子プラズマ生成と宇宙プラズマ模擬実験
(無衝突衝撃波の生成、相対論的磁気リコネクション)。
4. レーザーイオン加速による GeV 陽子の生成、固体クーロン爆発による高効率中性子発生。

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、大阪大学光科学センター、原子力研究開発機構関西研究所

・大阪大学レーザーエネルギー学研究センターは、大阪大学光科学センター、原子力研究開発機構関西研究所等と連携してエクサワット級レーザーの開発に取り組む。共同研究専門委員会の評価に従って公募による共同利用と連携機関等との共同研究を実施する。

⑥学術コミュニティの合意状況等

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターは、関連コミュニティの要望を背景に、平成 18 年度より高出力レーザー装置を用いた全国共同利用研究センターとなり、年間 121 研究機関と、138 件余の共同研究を実施している (平成 22 年度実績)。これらの実績を踏まえ、平成 22 年度よりレーザーエネルギー学研究拠点として活動を開始した。本計画は、拠点の運営委員会および専門委員会が審議・承認されるとともに、関連学会で開催されたシンポジウム (平成 18 年春、平成 19 年秋物理学会) と、センターにおける共同研究成果報告会に於いて共同研究者コミュニティの意見が集約されてきた。また関連学会におけるインフォーマルミーティングに於いても審議されている。[プラズマ核融合学会年会平成 20 年 12 月、平成 21 年 12 月、平成 22 年 12 月]、レーザー学会年会 (平成 21 年 2 月)。] また、平成 22 度は、筑波、東京、京都の 3 箇所で意見交換会を開催するなど、継続的に議論を進めている。

⑦国際協力・国際共同

米、英、仏、中の研究所と相互にお互いの施設を利用した共同研究が進められている。米国では、国立点火施設 NIF で人類初の制御された核融合点火・燃焼実験と並行して、国際公募による高エネルギー密度科学の研究が展開され、また日本は、世界最高エネルギーのペタワットレーザー LFEX を用いた公募を行い、日米双方からお互いの施設を使った共同研究が進められている。併せて米国ロチェスター大学でもペタワットレーザーが完成し公募研究が行われている。また欧州では、エクサワットレーザーである ELI (Extreme Laser Infrastructure) 計画が進められ、チェコ・ハンガリー・ルーマニアの東欧三カ国でそのプロトタイプ計画が承認された。このような状況の下で、日本のエクサワット級レーザー技術開発の先導的役割が期待されている。昨年度は、つくばで開催された” International Conference on Physics in Intense Fields (PIF2010、11 月 24 日～26 日)” 並びにパリで開催された” Bridgelab Symposium for Laser Acceleration : Route Towards Reality (2011 年 1 月 14 日)” に於いて ELI 研究グループとの国際協力を精力的に議論した。

(6) 宇宙空間科学

計画番号 41

次世代赤外線天文衛星 (SPICA) 計画

①計画の概要

次世代赤外線天文衛星 (SPICA: Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) 計画は、ビッグバンから生命の発生にまで至る「バリオン物質が描きだす宇宙構造の形成と進化」を解明することを目指す次世代赤外線天文衛星計画である。ハッブル宇宙望遠鏡をも上回る口径 3.2m の大型望遠鏡を宇宙に打ち上げ、絶対温度 6K 以下にまで冷却することにより、今までにない圧倒的な高解像度 (大口径のため)・高感度観測 (大口径+冷却のため) を達成し、宇宙論から太陽系外の惑星探査まで、幅広い天文学・宇宙物理分野に大きなインパクトを与えると期待される。

SPICA 計画は、平成 18 年に打ち上げられた赤外線天文衛星「あかり」の成功に象徴される我が国のスペース赤外線天文学の成果と実績を踏まえて立案されたものである。宇宙用極低温冷凍機の全面的採用、軽量望遠鏡、及び太陽-地球系の第 2 ラグランジュ点を周回する軌道を採用する等、極めて高い独創性と確実な実現性とを併せ持つ計画である。特に、日本が独自に磨き上げた技術である宇宙用冷却システム等の活用が、その実現の鍵となっている。SPICA は長年にわたる我が国の天文学コミュニティで議論・技術開発を経て、我が国の経費負担 500 億円程度の大型科学衛星計画として、宇宙航空研究開発機構が中心となって概念検討および技術開発が進められている。SPICA は我が国が発案・主導し、世界の研究者が参加する大型の国際協力プロジェクトであり、欧州、米国、韓国が参加の強い意向を示している。特に欧州の参加は ESA Cosmic Vision の枠組みの中で具体化してきている。平成 30 年度の打上げを目指している。



②科学的意義

ビッグバンから生命の誕生まで: 137 億年前のビッグバン以降の宇宙の歴史の中で、現在の宇宙を構成している多種多様な天体が誕生、進化してきた。SPICA は特に天体を構成するバリオン物質の輪廻に着目し、次の 3 つのサブテーマを通して、天体の進化過程の解明を目指す。

(1) 銀河誕生のドラマに迫る

我々の宇宙は誕生直後の「単純な宇宙」から、銀河等様々な天体で構成された極めて「複雑な宇宙」へ進化した。SPICA は、特に高感度赤外線観測の特徴を活かし、銀河の熱放射のピークをとらえると同時に、星間塵による減光の影響を受けることなく銀河の本質に迫りことができる。これにより、初期の銀河の誕生をとらえ、現在の宇宙の「複雑さ」の起源と進化の解明に迫る。

(2) 惑星系形成のレシピを探る

SPICA は、赤外線観測の利点を活かし、太陽系外惑星系を直接に撮像するのみならず、その大気組成を分光観測で調べることができる。特に、生命と結び付きの深い「水」「酸素」「二酸化炭素」の存在を探ることができる可能性がある。地球以外の惑星の大気でこれらの分子が検出されれば、惑星における生命の発生に関して貴重な情報を得ることができる。これは、天体物理学における意義のみならず、我々の宇宙観・生命観そのものを見直す大きな機会となり、文化的な意義も大きい。

(3) 宇宙における物質の輪廻

宇宙の多様性は、He よりも重い元素 (O, C, N, Si 等。これを天文学では「重元素」と呼ぶ) によるところが多い。しかし、その「重元素」の多くは、固体に取りこまれ、一般には観測が困難である。SPICA は赤外線におけるその強力な分光能力を活かし、ガス相のみならず、固体相の観測も行な

うことができる。これにより、宇宙における物質の輪廻を総合的に明らかにすることができる。

③所要経費

総額：897 億円（概算）、そのうち日本負担分：463 億円（概算）

（日本負担分内訳：衛星開発経費：324 億円、打上げ経費：111 億円、運用経費：28 億円）

④年次計画

平成 20~35 年度

（具体的な計画）

平成 20-22 年度： 概念設計・計画決定フェーズ
 平成 23 年度： 日欧双方において、計画の最終承認
 平成 23-24 年度： 基本設計フェーズ
 平成 24-25 年度： 詳細設計フェーズ
 平成 26-30 年度： 制作試験フェーズ
 平成 30 年度： 打上げ
 平成 30-35 年度： 観測運用

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

○国内の主たる実施機関（とりまとめ、衛星システム、観測装置の開発、打上げ運用）

宇宙航空研究開発機構、東京大学、名古屋大学、国立天文台、京都産業大学等

○国外の主たる実施機関

欧州： 欧州宇宙機構（ESA）、SPICA 観測装置コンソーシアム（14 カ国）（望遠鏡、観測装置の一部）

韓国： 韓国国立天文台(KASI)、ソウル大学等（観測装置の一部）

米国： NASA 等（観測装置の一部）

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画は、日本天文学会会員を中心とする 200 名を超えるワーキンググループにより、ミッションの位置付け、ミッション構成の検討を、約 10 年にわたり進めてきた。さらに、その活動と並行して、宇宙用冷凍機など、ミッション実現の鍵となる技術についても、戦略的に開発を進めてきた。その結果、平成 17 年に光赤外線天文学研究者コミュニティがまとめた将来計画「2010 年代の光赤外線天文学」の中で「次世代スペースミッションの最重点計画」とされている。また第 19 期日本学術会議・天文研連・特別議事録において「SPICA を最重要スペース・ミッションとして推薦」とされた。これらを踏まえて、平成 22 年にまとめられた日本学術会議物理学委員会天文学宇宙物理学分科会による長期計画報告書「天文学・宇宙物理学の展望と長期計画」において、「国家として推進すべき重要計画」の一つとして強く推薦された。これらを受け、平成 19 年 9 月に JAXA 宇宙科学研究本部にミッション提案が行われ、審査の結果、平成 20 年 7 月に「プリ・プロジェクト」（概念設計、計画決定フェーズの承認）として JAXA 内にチームが設置された。概念設計の結果、平成 22 年 9 月には、システム要求審査に合格した。

⑦国際協力・国際共同

SPICA は世界的にユニークなミッションであり、世界の関連研究者から注目されている。

特にヨーロッパでは科学衛星の長期計画 ESA Cosmic Vision 2015-2025 において、SPICA にヨーロッパが参加するプロポーザルが、高い競争率を勝ち抜いて Assessment Phase に進む計画の 1 つとして、平成 19 年 11 月に採択された。これを受けて ESA が主導する望遠鏡等の検討と、14 カ国が参加する SAFARI (SPICA Far-Infrared Instrument) コンソーシアムによる遠赤外線焦点面観測機器の検討・開発が進んでいる。米国も SPICA への参加に強い興味を示し、NASA 予算により焦点面観測装置の一部（サブミリ波分光器）の Assessment Study が進められてきた。これを受け、2010 年 8 月には、長期計画 ASTRO2010 において、米国の SPICA への参加が強く推薦された。

韓国からも参加の強い意向寄せられており、韓国天文台 KASI に検討チームが正式に設置された。

このように、SPICA は、「日本が主導する」国際天文台ミッションである。この実現には、(1) ミッション実現に必須の基幹技術を日本がもっていること、(2) SPICA 観測の重要な先導となるサーベイ観測を日本の「あかり」衛星が行ったこと、などが重要な役割を果たしている。

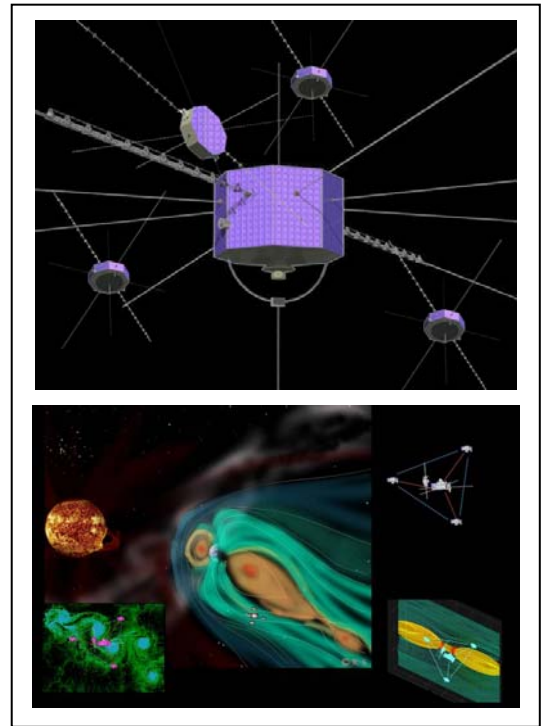
①SCOPE 計画の概要

宇宙空間は Hot なプラズマで満たされ、そこではダイナミックな物理現象が展開している。地球周辺の宇宙空間(磁気圏)では、それは乱舞するオーロラという形で目にすることができる。磁気圏というプラズマ現象の現場に衛星を投入して「その場 (*in situ*)」観測を実施することが行われてきた。そこから生まれてきた認識は、宇宙プラズマの深い理解のためには「その場」での詳細観測に基づく実証が必須であるという事実である。これを踏まえ、磁気圏を宇宙プラズマ実験室とみなして新たに質の高いプラズマ観測を行い、「プラズマの支配する宇宙」観の確立へと貢献するのが、SCOPE 計画である。

SCOPE の科学目標は、

- ・宇宙空間プラズマにおいてダイナミックな現象が展開する仕組みを理解すること
- ・それに伴ってどのようにして粒子加速が起きるのかを理解すること

である。過去の観測から我々が学んだこととして、これらの理解の為には、電磁流体 (MHD) スケール、イオンスケール、電子スケールの相互作用を調べなければならない。以降に述べるマルチ・スケールとはこれらの異なる三つのスケールの総体を意味する。



科学目標を達成するため、(1) 5 機からなる衛星編隊を構成、(2) 衛星間距離を適切に調整して「同時マルチ・スケール」観測を実施、(3) 「マルチ・スケール物理」の視点から衝撃波・磁気リコネクションなど、普遍的に重要な物理過程を理解するという設計がされている。SCOPE は、関連研究者コミュニティの合意を踏まえて宇宙科学研究所に設置されたワーキンググループ (WG) において中型科学衛星計画として検討され、2009 年 1 月に宇宙科学研究所・宇宙理学委員会の MDR (ミッション定義審査) を通過した。現在は 2011 年度中の SRR (システム要求審査) に向けて、チームが作業を進めている段階にある。SCOPE はその初期検討段階から国際的な注目を集めており、SCOPE 自身はカナダとの国際共同を想定する。これを取り囲む連携観測が欧州・米国・ロシア・中国において、様々な形で提案されており、SCOPE は世界の次世代磁気圏観測計画におけるコアとなる。打ち上げは 2019 年を目指している。

②科学的な意義

SCOPE 計画の科学目標は「宇宙プラズマがダイナミックに振舞う仕組みは何か」「ダイナミックな現象にとともに、どのようにして高エネルギー粒子が加速されるのか」を理解することにある。学問の対象として魅力的な宇宙プラズマ現象の多くは大規模な爆発現象である。そこでは、静かに蓄積されたエネルギーが急激に開放され、ジェットが生まれ、プラズマは加熱され、さらに、一部の荷電粒子は超高エネルギーまで加速される。SCOPE の科学的意義は、地球磁気圏「その場」観測からこの魅力の根源へと迫ることである。宇宙空間での大規模爆発に関与し、かつ、「プラズマの支配する宇宙」において重要な「衝撃波、磁気リコネクション、乱流異常輸送」現象は、磁気圏でも普遍的に展開する。宇宙プラズマと電磁場の振る舞いは、地上での常識を超える為、現象の現場「その場」に衛星を送り込み、荷電粒子の振る舞いを直接サンプルして調べると同時に電磁場の計測を行うという、磁気圏での実証に基づき「プラズマの支配する宇宙」観を確立していかなければならない。SCOPE においては、衛星編隊による「同時マルチ・スケール観測」によってこの情報を引き出す。それは、(1) 粒子加速を生み出すダイナミックな宇宙プラズマ現象は、全体としては大規模だが、その中には微小な「鍵となる領域」が埋め込まれ

ていること、(2) ダイナミクスを理解していく上での本質は大規模ダイナミクス（地球磁気圏で500～10,000km）と「鍵領域」におけるマイクロ物理（地球磁気圏で<100km）とを同時に把握してこれらの連動を解明すること、という最新の問題意識による。SCOPE においては、親子衛星ペア（衛星間距離～100km）が世界最高性能のプラズマ観測を行って鍵となるマイクロ物理を解像すると同時に、3機の子衛星編隊（衛星間距離>1000km）が親子ペアを囲む大規模場を同時観測して「同時マルチ・スケール観測」を実現し、以下の問いに答える。

- ・超音速ジェットにより形成される衝撃波面は無衝突プラズマにおいていかに形成され、そこではどのように粒子が非熱的に加速されるのか？
- ・磁気エネルギーが爆発的に開放される磁気リコネクションはいかに駆動され、そこで生じるジェットはどのように周辺プラズマと衝突し、そこではどのように粒子が加速されるのか？
- ・大規模な流れ場中のプラズマ渦の巻きあがりに伴い、その中でどのような「鍵領域」が出現し、そこではどのようなマイクロ物理が粒子加速を起こすのか？

③所要経費

170 億円（衛星建造経費日本負担分。打上げ経費を含めない）

④年次計画

平成 20 年度： MDR（ミッション定義審査）通過、(宇宙科学研究所・宇宙理学委員会)

平成 21～23 年度： SRR（システム要求審査）に向けてシステム検討を進展させる。

平成 24 年度～： 2019 年の打ち上げを目指してプロジェクト開始。

⑤実施機関

提案は全国の研究者からなるワーキンググループ（WG）によってなされ、実施主体はWGが発展的に拡大した宇宙研と世界にまたがる研究者組織からなるプロジェクトチームである。WGを構成するメンバーは、ISAS・東北大・東大・東工大・京大・名大・九大など全国の大学・高専・研究機関に所属する理学・工学の研究者（>150名）である。

⑥学術コミュニティの合意状況等

磁気圏観測は日本が長年の実績を有する分野である。SCOPE 親子衛星ペアによる最高性能プラズマ観測という提案のベースは、この高い実績にある。さらにSCOPE計画は、編隊飛行という宇宙工学技術要素も開発、それを最大限活用して「同時マルチ・スケール観測」を実施する。SCOPE計画WGは地球電磁気・地球惑星圏学会の会員を中心に構成され、広く議論した成果として提案された計画である。また、提案書への賛同者には、実験室プラズマ・太陽プラズマといった隣接分野の研究者がおり、ひろくSCOPE計画の普遍的な価値が理解されている。さらに、世界の学界においても次世代観測は同時マルチ・スケール観測であるという議論が主流を占め、この事実がSCOPE計画への世界からの賛同をもたらしている。地上観測網による磁場・オーロラ観測はSCOPEの外側にあるグローバル・スケールをカバーし、SCOPE計画が地上観測研究者と連携する意義は高い。

⑦国際協力・国際共同

ジオテイルに代表される過去の磁気圏ミッションは、画期的な成果と同時に、宇宙プラズマ物理の根源的理解のためには「同時マルチ・スケール観測」が必須であるという共通認識も生み出した。SCOPEは、この世界最先端の問題意識に答えるものであり、それがコアとなった国際協力の可能性も検討されている。まず、SCOPE計画そのものがカナダとの共同を想定する（カナダが子機3機を提供、親子ペア衛星の提供と打ち上げを日本が担当する）。現在は、カナダ宇宙機関での計画概念審査を2010年9月末に終えたところである。ヨーロッパの科学者はSCOPE計画を補完する計画をESAに提案中である。米国においても研究コミュニティが作成する「10年計画サーヴェイ」に「同時マルチ・スケール観測」が書き込まれる見込みであり、その後の展開が期待できる。ロシア・中国も独自に衛星を追加して連携させることを検討している。いずれも、SCOPEが国際共同のコアにあり、その求心力は、SCOPE親子衛星ペアが世界最高性能のプラズマ観測を行って鍵となるマイクロ物理を把握するので、これと連携して観測すれば必ず大きな成果が生まれるという期待にある。

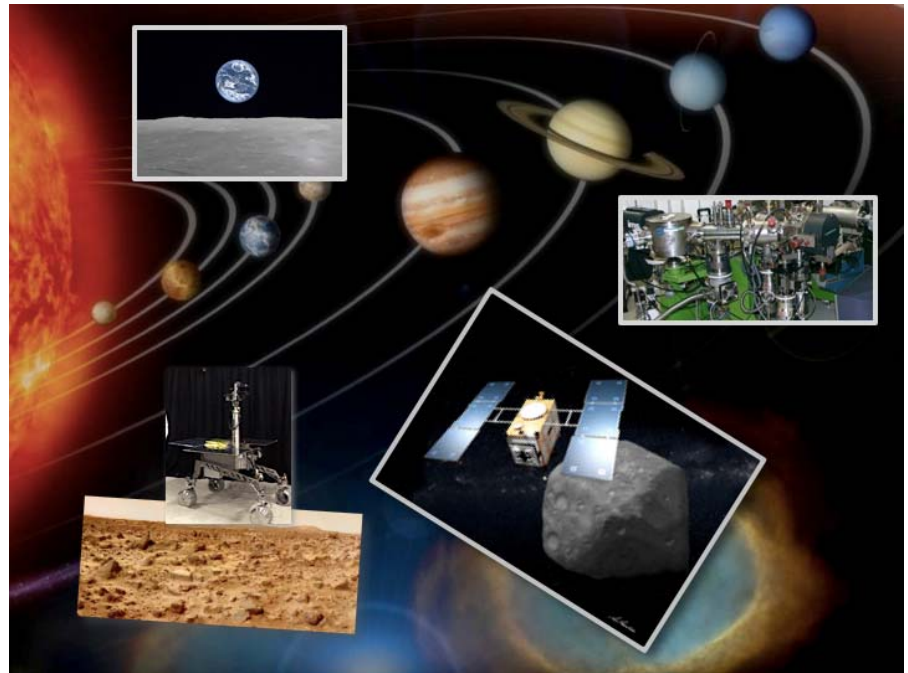
①計画の概要

生命存在可能な惑星の理解を目指し、惑星初期進化の理解のための月探査、惑星内部と表層の共進化の理解のため火星・木星探査、惑星と生命起原物質の共進化の理解のための始原天体探査およびアストロバイオロジーセンタの設立をおこなう。なお惑星探査計画においては、科学目標とともに、将来の深宇宙探査・有人探査などのための技術目標が大きなウェイトを占めるが、本提案書においては理学の計画を中心に述べる。具体的な計画の内容は以下のとおりである。

(1) 月探査においては、SELENE-II および SELENE-III 計画において、月表側大クレーター内軟着陸による内部物理探査・岩石分析、大規模盆地中央丘とエイトケン盆地の地質探査により地殻からマントル内部構造を直接観測、地震計により内部層構造と密度分布の決定、熱流量計測、電磁場計測、マグマオーシャン固結時の初期地殻形成理解のための斜長岩の分析などをおこない、地球-月系の起源・初期進化を解明する。また、探査データのアーカイブ、世界へのデータ提供を可能とする月科学データベースを確立する。

(2) 火星／木星探査においては、第一段階として火星表層探査をおこなうMELOS 1により、最適化した周回軌道からリモートセンシング観測により、火星全体における地下水の分布の観測、その時間的変動メカニズムを明らかにする。また、ダストストームの巻き上げを観測し、その発生・発達過程を解明し、火星表層気候決定メカニズムを解明する。第二段階のMELOS 2 計画においては、ローバーによる表層環境探査、広域帯地震計や逆VLBIによる内部構造探査、傾向染色やアミノ酸分析による生命探査、磁気異常測定などをおこなう。EJSM計画においては米欧との共同により太陽系最強の粒子加速の場である木星磁気圏探査をおこなう。さらに、氷衛星内部海探査による、非典型的ハビタブルプラネット調査をおこなう。

(3) 始原天体探査においては、はやぶさによるS型、はやぶさ2によるC型天体探査を受け、はやぶさMk2 計画において、より始原的な天体であるD型ないし枯渇彗星核のリモートセンシング、表層物質化学分析、さらにそこからのサンプルリターンをおこない、生命起原物質の探査をおこなう。これにより、太陽系における生命の起原物質の直接探査、宇



宙における生命進化の普遍性と特殊性の理解を進め、自然科学の究極の目標である宇宙の起原と生命起原の関係の理解に貢献する。さらに、アストロバイオロジーセンタにおいては、最先端科学技術の利用・連携により、惑星・小天体探査に必要な機器開発を進めると同時に、リターンサンプルの超高度分析を行ない、生命と惑星の共進化に貢献する。

②科学的意義

系外（太陽系以外の）惑星の発見により、自然科学の究極のテーマである宇宙と生命の起原が、具体的なサイエンスのテーマとなった。生命は惑星に存在する事から、生命の存在しうるハビタブルプラネットとはどのようなものであるかが惑星科学の中心的課題といえる。具体的には、惑星形成過程、惑星の内部と表層環境の進化過程、惑星系と生命起原物質の進化過程の問題に分けることができる。本計

画は、我が国の惑星探査の月探査により形成過程について、火星および木星・衛星探査により進化過程について、始原天体探査により起源物質について、系統的にハビタブルプラネットの特性を理解することを目指している。太陽系におけるハビタブルプラネットの理解が宇宙と生命の進化の普遍性の理解へ決定的な知見を与える。これらのテーマは、日本の惑星科学の強みを大きく生かした計画となっている。

③所要経費

総経費：3000 億円

・月探査：1500 億円（SELENE2：100 億円、SELENE3：300 億円）

火星・木星探査：850 億円

惑星科学のロードマップ

・（火星探査：350 億円、木星探査：500 億円）

・始原天体探査：500 億（以上いずれも開発・打上を含む）

・データベース：30 億円、アストロバイオロジーセンター：120 億円

④年次計画

平成 23～34 年度

（具体的な計画）

平成 23 年度：月探査ロボット開発着手、火星探査ワーキンググループ発足、始原天体探査再突入機オービター設計着手、有機物分析装置開発

平成 24 年度：アストロバイオロジーセンターにおける始原天体探査搭載機器開発着手

平成 26 年度：火星探査基本設計着手、始原天体探査概念基本設計着手

平成 28 年度：SELENE3 ワーキンググループ発足、火星探査詳細設計着手、始原天体探査詳細設計・フライトモデル製作

平成 29 年度：SELENE2 打上

平成 30 年度：火星探査搭載機器製作

平成 32 年度：火星探査機打上、始原天体探査総合試験

平成 33 年度：始原天体探査機打上（地球帰還：平成 37 年度以降）

平成 34 年度：SELENE3 打上

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

月探査：JAXA および 北海道大学、東京大学、千葉工大、国立天文台など

火星探査：JJAXA および 東京大学、京都大学、名古屋大学、北海道大学、東北大学、千葉工大、東京薬科大学、会津大学、九州大学、国立天文台、NICT など

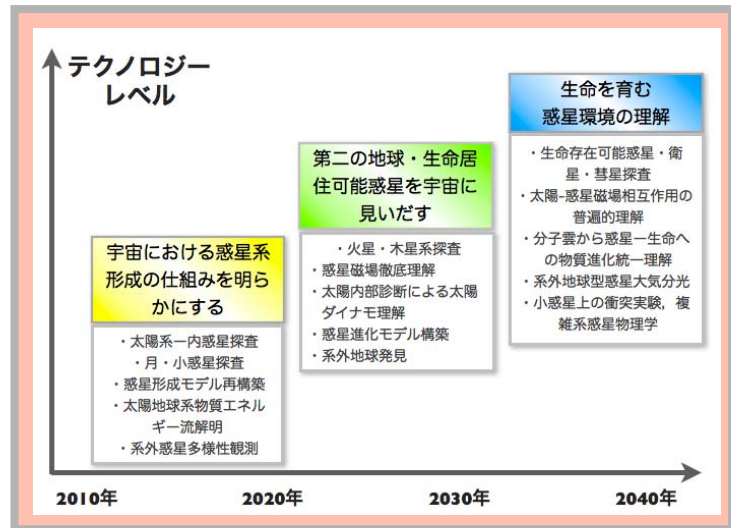
始原天体探査：JAXA および 北海道大学、東京大学、会津大学など

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画は、JAXA 理学委員会、探査委員会等におけるコミュニティの議論、学術会議地球惑星科学委員会における公開ヒアリングを経て提案されているものである

⑦国際協力・国際共同

月探査に関しては、アメリカ・ヨーロッパ、中国、インド、韓国、カナダが無人あるいは有人探査計画を検討中であり、全世界の熾烈な競争状態にある。火星探査に関してはアメリカ・ヨーロッパが生命の発見に特化した探査を継続中であり、アメリカは火星有人探査を近い将来の最重要課題の一つとしている。木星探査計画は国際共同計画として米欧と議論を継続中である。始原天体探査に関しては、アメリカは 2016 年打上予定の探査計画を持ち、科学目標は日本のはやぶさ-はやぶさ 2 を踏襲している。



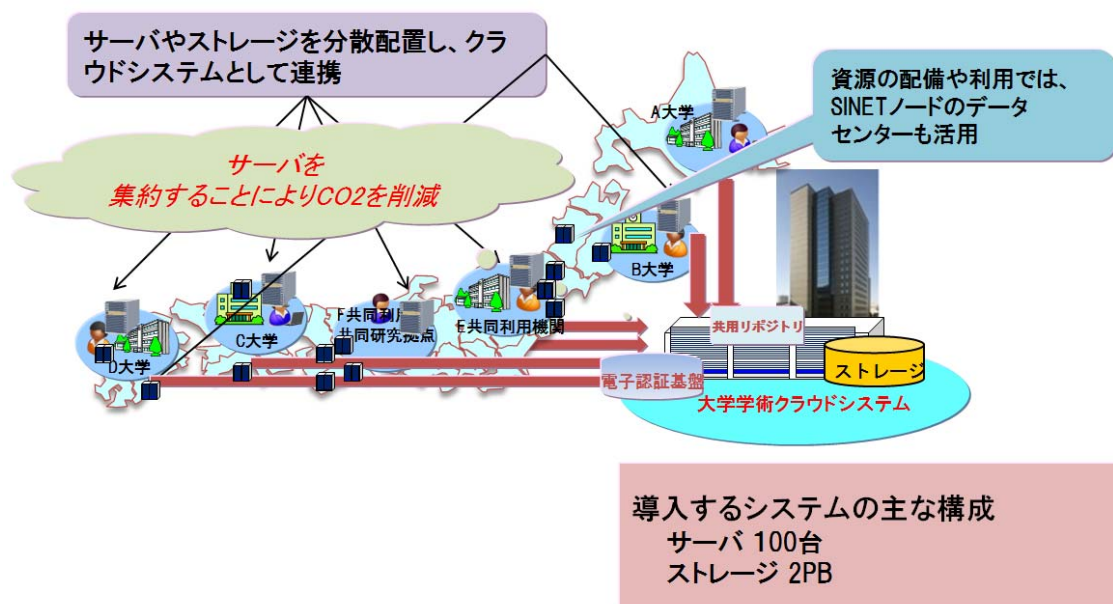
(7) 情報学

計画番号 44

大規模計算・科学データ共有のためのアカデミッククラウド基盤

① 計画の概要

クラウドコンピューティング技術の急激な進展に合わせて、スーパーコンピュータを持つ情報基盤センター群（2009 年度より共同利用・共同研究拠点化）等の計算資源と国立情報学研究所の持つネットワーク資源を基礎に、大学等の計算資源をクラウドコンピューティング環境として仮想化し、あらゆる分野の学術研究活動に必須の情報基盤として提供しようとするものである。特に広域に分散して提供される大規模データを扱う場合に高性能な環境を整備して、科学技術研究のための大規模な共有データの活用基盤とそのための支援ソフトウェアの開発を行う。本計画は、第一期として4年を目途に第一フェーズの展開を行い、評価を得て継続的に運用していくことを計画している。



大規模計算・科学データ共有のためのアカデミッククラウド基盤

②科学的な意義

学問の手法が情報通信技術(ICT)を駆使したe-サイエンスに向かう中で、現在の情報基盤を抜本的に改め、クラウドの仮想化と効率化技術を軸として新たな計算資源活用基盤を整備する点にある。我が国の学術研究のレベルを継続的に発展させ、並行して先進的な国際連携を進めていくためにも、本計画に含まれる大規模ストレージや計算資源を有効活用する学術クラウド基盤整備が必須の課題になる。情報学研究において、特に、超並列分散ソフトウェア技術や大規模分散データベース技術、大規模データマイニング等の研究開発の観点からも多くのチャレンジを含み、産学連携研究の意義も高い。一方、大学環境のクラウド化は国際的な研究開発環境の整備およびそれに対応した若手人材の育成とも相まって我が国の学術情報環境の強化に大いに寄与し、学術全体の環境水準の向上に寄与する。

③所要経費

37 億円（サーバおよびストレージ等（リース）：13 億円、ソフト開発・人件費等：24 億円）

④年次計画

平成 23～26 年度

（具体的な計画）

平成23年度：ストレージ装置およびクラウドサーバの導入を行う（3ヶ月 1億円）。

ソフトウェア開発経費および人件費（6億円）。

平成24年度：クラウド環境の運用を開始する（計算資源 4億円、ソフト開発等6億円）。

平成25～26年度：運用を継続し、併行して次世代システムの計画を立案する（10億円／年）。

以下、同規模で運用するということであれば、10億円／年。

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

中心実施機関は、国立情報学研究所、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（北海道大学、東北大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学の情報基盤センター）および国公立大学の計算センター。

⑥学術コミュニティの合意状況等

日本学術会議の情報学委員会にて情報学における重要課題の検討を過去4年余り行っており、本研究計画はこの検討を基にしたものである。検討の総括として先般「情報学の展望」を取りまとめたところであるが、この中で特に、他の学問領域に広く影響する基本的な情報学の課題として e-サイエンスの実現を取り上げ、方策を検討してきた。ネットワークやスーパーコンピュータ資源等の更なる整備、データベースの共有、そして人材育成などの課題が指摘されている。

また、全国の大学の情報基盤センター等にはすでにスーパーコンピュータが設置され、グリッド、認証基盤等の研究が行われてきた。一方、国立情報学研究所では、大学等と連携して先進的なネットワーク SINET を整備運用してきた。このような情報基盤の運用に携わる機関の間では、従来から研究会組織を動かして、グリッド、認証基盤、高性能計算などの個別の分野で更なる貢献をするための計画を検討してきた。また、その中で大規模データアーカイブやバックアップの必要性も検討されてきた。

以上のような検討を踏まえ、情報学委員会として本研究計画を提案するものである。

⑦国際協力・国際共同

従来高性能計算のためのグリッド分野で国際協力が進み、米国では TeraGrid などが立ち上がっており、EU においても EGEE のような国際規模のグリッドが運用されるにいたっている。

一方、クラウドについては民間主導で急速に普及しており、国立情報学研究所はマイクロソフト社のクラウド Azure の学術利用に関する協定も結び、今後のアカデミッククラウド展開を視野に入れた企業等との連携も進めているところである。米国では Educause などが個別大学のクラウド移行の指針を検討している。本計画では、国際的にも調和のとれたクラウド環境を実現するために、種々の学問分野も含む国際展開や大型研究との連携が重要であると考えている。

今後の科学技術推進に必要な情報技術の核としてクラウドコンピューティングが位置づけられる。国際的に計算資源を融通しながら超大規模科学研究を進める態様もこの方向に向くと考えられ、特に、素粒子物理、天文、物性・分子物理分析、核融合等の分野でニーズが高まることは必至である。その際に我が国からの適切な国際貢献が求められており、国際ネットワーク環境下における分散計算処理や大規模データベース資源の利活用を強化する必要性が生じている。このように個別分野の国際研究活動との強い連携を図りながら本計画を実施することが重要である。

①計画の概要

本研究計画は、従来手法では解決不可能な大規模問題を数理解析に基づく革新的なアルゴリズムによって解決することを目指す。物理、化学、生物などの科学、土木、建築、機械などの工学、交通、経済・経営の諸分野や地球規模の諸問題（環境、エネルギー、バイオ）及び突発的事態（防災、避難及び復興計画）への具体的かつ現実的な対応を目標とする。この目標達成のために、アルゴリズム科学と実問題の数理的モデル化による解決を目指す共同研究拠点を作る。拠点ではアルゴリズムの設計と応用の科学的体系化を構築し、ソフトウェア実装技術やスーパーコンピューティング技術を融合した問題解決手法の開発と標準化を行い、地球規模のネットワークや高密度な計算環境の高度活用を実現する情報技術開発基盤センターとして整備する。

これにより、個別分野に分散しているアルゴリズム開発の要求と学術を集約し、アルゴリズム科学の学問体系を e-サイエンスの中核として創生し、標準化した知識として諸分野に提供する体制を確立する。とりわけ東日本大震災以降、社会システムに対する安心できる計画・設計を目的とした、すべての場合を想定した全列挙網羅型の計画・設計の重要性が増して来ている。大規模災害は突発的に発生するため、多岐多様の可能性に備えた高精度な事前予測に加え、動的なデータ収集等と高速計算による速やかな避難誘導及び復興計画を策定する必要がある。そのため各種交通網を精密なグラフデータに変換し、その超大規模データを用いた予測のための全列挙処理と災害時の動的最適化処理の双方が必要である。本計画では、最高性能のスパコンを高度活用した従来不可能な高精度予測と、リアルタイム動的最適化処理による解決を最重要目標の一つに設定し、革新的アルゴリズム基盤の構築を目指す。



以上の目的のための中心となる基礎技術として、圧縮技術を用いて超巨大入力を処理する劣線形アルゴリズム、数十億点の超大規模ネットワークにおけるクラスタリングや探索アルゴリズム、さらに巨大出力を持つ全列挙アルゴリズムなどが挙げられる。本計画では、これらの基礎理論を深化させて高速実装技術を開発し、世界のトップリーダーを目指すと同時に諸分野で利用できるようにアルゴリズムやソフトウェア等を公開する。これにより、諸分野の世界的な競争力を e-サイエンスを通して強化することが可能となる。

②科学的な意義

本研究の科学的意義は、人間社会を動かしているアルゴリズム、すなわち論理的手続き処理における近年の急速な発展を、広く自由に利用できる学問体系として公開し、e-サイエンスの中核さらに科学の一般分野として発展させることにある。コンピュータや情報インフラ上で行う大規模情報処理は現代では数学的に高度な科学技術であり、これを一般科学として普及を行うことは情報社会での国際競争力を持つために大きな学術及び教育的な意義を持つ。21 世紀には、高度情報処理技術の進歩が、人類が抱える様々な問題を解決することが期待されるが、その多くはエクサフロップス級の計算機を使用しても解決が容易でない難問である。このような高度問題解決のためには、アルゴリズムの新たな革新が必須であり、計算モデルと数理の探究に基盤をおく革新的なアルゴリズム設計技法の構築、体系化と、それに

基づくソフトウェア開発は科学の共通基盤として最優先の意義をもつ。さらに、これによって、コンピュータの利用を行うすべての分野での学術の発展を加速し、文明の進歩の創生に寄与するとともに、社会の多くの問題解決の高度化への革新を与える。これによって新規産業創出による数兆円規模の経済発展が期待できる。

③所要経費

42 億円（初期投資：7 億円、運営費等：5 億円/年）

④年次計画

平成 23～29 年度

（具体的な計画）

平成 23～24 年度：各応用分野において現状の技術では解決不可能な大規模かつ重要な問題の抽出と分析を行なう。具体的には以下の性質を持つ実問題等を対象とする。①大規模災害等で突発的に発生してリアルタイムに状況が変化し早急な解決が望まれる問題 ②非常に計算量やデータ量などの規模が大きく従来のアルゴリズムと計算方法では解決が困難な問題

平成 25～27 年度：抽出された重要問題解決のための最先端のアルゴリズムを開発し、個別分野での問題解決を行い、さらにアルゴリズム科学と実問題の数理的モデル化と解決のため共同研究拠点を形成する。また超大規模データを伴う最適化、列挙、探索問題等に対する高速計算システムの構築と評価をおこなう。この時期に登場が予想されるポストペタスケールスパコンに対応できる基盤ソフトウェアを研究開発し、今後予想され得る実データの大規模化及び複雑化に対処可能かつ世界最高レベルの性能を持つ各種ソフトウェアの作成を目標とする。

平成 28～29 年度：個別に開発されたアルゴリズムの共通部分をアルゴリズム基盤として整備及び標準化を行って諸分野に提供する体制を確立する。またポストペタスケールスパコンでの数千万規模の並列性とエクサスケールのデータ処理能力を備え、超大規模実問題を解決可能なソフトウェア群も同時に整備することによって安全安心な社会基盤の実現に貢献することを目指す。

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

京都大学に諸分野における未解決課題を集約し最新の計算技術により解決する中核的研究拠点を構築し、国内外との共同研究、研究交流を行うスペースを確保する。また、東京工業大学（超大規模データ最適化問題に対する高速計算システム構築）東北大学（耐災害情報システムの基盤構築）にもサテライト型研究拠点を配置し、共同研究や連携を推進する体制を整備する。

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画の素案は情報処理学会アルゴリズム研究会、電子情報通信学会コンピュテーション研究専門委員会のコアメンバーを中心とした議論の積み重ねを経て提案するものである。さらに、日本オペレーションズ・リサーチ学会数理計画常設研究部会、人工知能学会人工知能基礎問題研究会、情報処理学会バイオ情報学研究会、電子情報通信学会情報論的学習理論と機械学習研究会の主要メンバーとの検討を通じて研究コミュニティとの連携・協力についても合意が取れており、関連学会の全体に活動を拡げていく計画である。さらに、世界トップクラスの性能も持つスパコンを保有する国内の研究機関（東京工業大学学術国際情報センター等）との連携や研究推進を行う体制がすでに整備されつつあり、速やかな計画の実施が可能な状況にある。

⑦国際協力・国際共同

国際的な著名研究機関や情報企業と連携し、国際的協力体制により、時代に即したアルゴリズム革新を実施する。現状の国際協力体制としては、Yahoo 研究所(米国)、マックス・プランク情報研究所(ドイツ)、ZIB 国立研究所(ドイツ)、Reny 研究所(ハンガリー) Intractability センター(米国)、中国清華大学理論計算機科学インスティテュート、韓国 KAIST などと具体的なコンタクトを持ち、また、アジア地区の計算理論の学会 AAAC を裾野としての国際連携体制を立ち上げている。これらの組織をハブとして繋げ、世界的な研究連携体制を創設する。この研究拠点形成と、日本が学術的な優位性を持つ数理科学分野の力をコアに、最先端情報処理基盤を構築し、新たな計算とアルゴリズムのパラダイムを創生する。これにより、次世代の基盤研究において世界をリードする地位を確立する。

①計画の概要

現在、情報通信技術においてはインターネット上のデジタルコンテンツやマルチメディア情報サービス等のデジタル仮想世界に加え、我々が生活する実空間に密着した新しい利用が世界的に重要と考えられている。これが近年 IoT (Internet of Things) と呼ばれるようになった分野である。例えばエネルギー制御 (スマートグリッド等)、物流効率化、食品トレーサビリティ、電子政府、電子国土、セルフメディケーション、防災情報システム、ITS (高度道路交通システム) 等がここに含まれる。現在、こうした取組みは萌芽的な段階にあり、実社会に役立てるためには、実空間自体やその中のモノや人に関する膨大な情報処理を低コストかつ高効率に扱える統合モデルとアーキテクチャ、さらにそれを実装した情報社会基盤が必要である。本計画ではそのような要請を満たすための情報学基盤の確立、及びその基盤上での実証的応用研究を実施する。

②科学的な意義

本研究の科学的意義は、実空間に密着した情報サービスを実現する新しい「実空間型応用情報学」、及びその基盤となる「実空間型基礎情報学」を確立・発展させることである。前者は社会の効率的運用、エネルギー制御、物流効率化、製品・食品トレーサビリティ、電子医療、防災情報システムなどの応用指向的な研究の発展を可能とする。後者は、前者を実現するための基盤として、広域センサーネットワークなど各種の状況情報把握技術を基盤とした超大規模知識処理、セマンティックコンピューティング、低エネルギーコンピューティングなどの研究領域を開拓する。それらの成果としては、環境負荷の低い超小型環境組込型システムの実装技術、実空間情報獲得や実環境制御を扱う新しい統合的情報基盤、さらには社会の諸活動を含めた実世界状況の高抽象度な知識表現とその処理手法が確立し、結果として現実空間の位置に基づき情報を処理する地理情報基盤技術の進展が期待される。

③所要経費

100 億円 (初期投資：3 億円、運営費等：97 億円)

初期投資：3 億円 (共同研究拠点施設整備)

設備及びネットワーク費用：35 億円 (研究拠点施設整備、ユビキタス基盤ネットワーク構築、実験インフラ構築等)、人件費：15 億円 (内訳：博士研究員、プログラマー、事務局職員)、システム開発費：35 億円 (実証実験システムハードウェア及びソフトウェア)、旅費：1 億円 (含研究者招聘費)、施設賃借料等：10 億円、その他：1 億円 (会議費、消耗品費、計算機設備更新費)

④年次計画

平成 23～27 年度

(具体的な計画)

本計画は、三つのフェーズに分けて進める。各フェーズの研究期間をオーバーラップさせ研究成果を



相互にフィードバックさせながら、実施し、最終的には全世界規模の IoT 基盤を確立し、その上に各種実空間応用情報サービスを実現する。

- 平成 23 年度～25 年度：実空間指向情報モデルの確立
- 平成 24 年度～26 年度：実空間指向情報アーキテクチャの確立
- 平成 26 年度～27 年度：実空間指向情報処理基盤の確立

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

- 実施責任者：坂村 健（東京大学教授・情報通信技術担当）、実施コミッティー：岡部篤行（青山学院大学教授・地理情報学担当）、 碓井照子（奈良大学教授・地理分野担当）。
- 東京大学が中心実施機関となり、情報学分野のみならず電気・電子工学、通信工学、空間情報学、農学・生命科学、薬学、医学、健康科学、環境学、経済学、法学、社会情報学、社会学など、多岐にわたる他の関連研究分野も広く含めた産官学及び国際連携を図り、本計画を進める。
- 東京大学以外に中心的な機能を果たす機関として以下が挙げられる。京都大学、青山学院大学、奈良女子大学、法政大学、横浜国立大学、情報通信研究機構、ATR、土木研究所、国土技術政策総合研究所、YRP UNL 等。
- 民間企業研究機関として、日立製作所、富士通、NTT、鹿島建設、大林組、JR 東日本等。
- 公的機関として、総務省、国土交通省、国土地理院、東京都等。更に、アジア無錫、欧州 EU FP7 等の多数の研究機関との連携を図る。

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画の策定は、日本学術会議情報学委員会ユビキタス空間情報社会基盤分科会、日本建築学会ユビキタス建築都市特別研究委員会等における議論の成果をベースとしている。また、現在本計画に対する取組み状況は、「研究者グループの具体的検討による企画書段階」と「一定の準備資金を得ての技術開発等開発・準備段階」との中間段階にある。

本計画に沿った応用毎の取組みについては、個別の小さな単位での独自予算を用い、既に一部取組みが開始されている状況である（例えば、東京大学社会連携講座における民間企業との共同研究等）。一方、本計画に関わる統合的かつ基盤的プロジェクト全体としては、研究者グループによる企画書段階は終了し、今後具体的な予算請求が認められれば、実際の計画実行に入る用意は既に整っている。

⑦国際協力・国際共同

現在、本計画と深く関連する海外の大きな研究プロジェクトが既に立ち上がっており、具体的には、欧州 EU における CASAGRAS プロジェクトや IoT 関連の多数のプロジェクトがある。また、中国では「物聯網」、「感知中国」という政策の下で推進されている大規模な研究プロジェクトがあり、さらに韓国でも M2M (Machine-to-Machine) ネットワークとしてプロジェクト研究が取り組まれている。既に我々は、これらの研究グループに招聘され、諸外国における研究プロジェクトのアドバイザー的役割を果たすとともに、一部プロジェクトの国際分担者になっている。本計画が実現することで、これまでに確立してきた海外の研究機関との連携がさらに強化され、その世界的な研究ネットワークを活用して、国際協力のもとで日本がリーダーシップを発揮することが可能となる。