

複合糖質の統合的理解と疾患の解明をめざす先端的・国際研究拠点の形成 (糖鎖が拓く超領域生物学)

① 計画の概要

日本の糖鎖科学研究は、これまで国際的にリーダーシップを発揮してきた。また、タンパク質の60%以上が糖鎖修飾を受けており、生命科学の進展には複合糖質の理解が必須となっている。さらに種々の疾患・病態の理解と克服のために、複合糖質の役割の解明が期待されている。一方、国際競争が熾烈化する中で、日本の糖鎖研究の環境整備はたち遅れており、国策的な方向とボトムアップ型の研究とを融合させた、基盤整備とネットワーク構築が喫緊の課題となっている。

本計画では、複合糖質の構造と機能に関して統合的理解を進め、疾患の発症・進展の機序と制御法の解明をめざす。また、糖鎖科学の他分野への貢献と産業界や外国との連携のための先端的・国際拠点の形成をめざす。

具体的には、

1. 糖鎖の構造と機能解析の統合的な融合を図り、先端レベルの複合糖質の機能の理解と疾患の解明を推進する。
 2. 大学を中心に拠点を整備し研究を展開する中で、次代の研究者を育成する。
 3. 開かれた拠点の形成により、他分野や企業及び諸外国の研究者との連携と国際的研究協力の進展を図る。
- そのために、大学、研究施設を基点として、以下の研究拠点を構築する。

1. 細胞、組織等の複合糖質の質量分析・NMRによる糖鎖構造解析拠点、
2. 糖鎖認識分子の同定と複合糖質との相互作用及び構造生物学による複合糖質の作用機構の解明拠点、
3. 糖鎖遺伝子改変動物の系統的解析の支援拠点、
4. 複合糖質の化学的及び生物学的合成拠点、
5. 糖鎖科学のバイオインフォマティクス、資材の集積と提供、データベースの構築等のネットワーク形成拠点。

また、研究運営委員会 (steering committee) を日本糖鎖科学コンソーシアム (JCGG) に設置する一方、研究推進本部を設置し、各拠点間のネットワーク構築・データ集積・日常的運営を統括し効果的な研究展開を図る。

② 学術的な意義

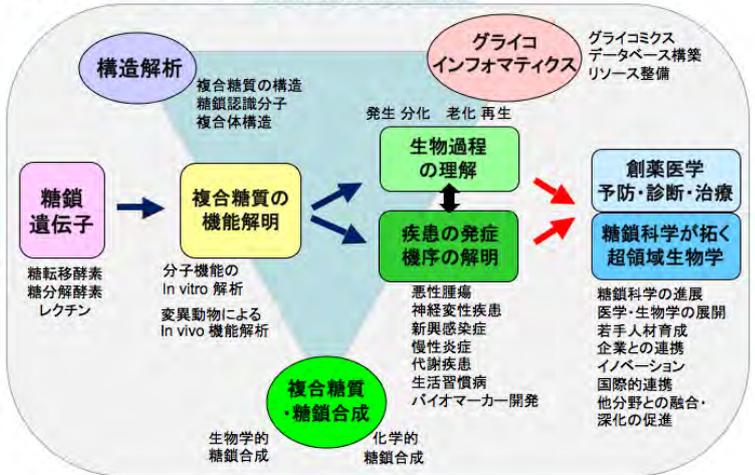
本計画では、全国規模の研究拠点形成とその有機的な連携体制を構築し、その成果に基づいて複合糖質の作用機構と疾患の発症機構及び制御法を解明する。その結果、

1. 複合糖質の構造と機能の統合的な理解が飛躍的に前進し、糖鎖科学の新たな展開の基盤となる。
2. 国民の健康を脅かす癌や認知症等の難治疾患や新型インフルエンザ等の新興感染症の原因解明や制御法開発が可能となる。
3. 発生や分化等の基本的な生命現象の分子機構の理解が進み、医学・生物学の進展に貢献する。とくに、糖鎖領域以外の分野との融合研究が進展し、医学・生物学が幅広く展開され、豊かな生命科学の創造につながる。
4. リウマチ等の自己免疫や慢性炎症疾患の治療、神経変性症、糖尿病や動脈硬化など生活習慣病の予防・治療、老化に伴う筋・関節・骨格系疾患の予防、慢性閉塞性肺疾患の治療、再生医学への応用等、複合糖質の幅広い創薬への応用が期待される。
5. バイオ製薬企業、診断薬開発企業等との連携により 1. 感染症、癌などの糖鎖ワクチンの開発、2. 糖鎖の設計抗体による高性能の抗体医薬や糖蓄積病治療薬等、革新的改良型医薬品の開発、3. 疾患バイオマーカー開発、4. 再生医薬製品の安全・安定供給のための基材開発や高機能糖質の開発等、ニーズに応える創薬科学の展開が期待される。
6. 日本の糖鎖科学の将来を担う若手研究者や女性研究者の育成と、国際連携のリーダーシップ発揮をうける高レベルの糖鎖科学の創出が可能となる。また、アジア諸国や欧米の研究者との連携が前進し、糖鎖科学の国際的発展に寄与する。よって、第4期科学技術基本計画の「我が国の強みを活かした国際活動の展開」の実現が可能となる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国では国立衛生研究所 (NIH)、国立総合医科学研究所 (NIGMS) が機能グライコミクスの拠点形成や糖鎖によるがんのバイオマーカー開発も国策として行っている。平成 24 年に提出された NAS (米国科学アカデミー) の糖鎖科学に対する意見書では、その重要性と緊急性が強調され、国策としてのサポートの強化が想定される。また、EU のデータベース構築、ドイツなどの拠点形成計画、中国や韓国などアジア諸国の国家的取組みなど、有形無形の国際競争と連携・協力が進行している。これらの国際的動向に対して、日本における糖鎖科学を対象にした大型予算はほとんどなく、唯一、新学術領域研究「神経糖鎖」が進行中である。糖鎖科学の生命科学全体の中での重要性を鑑みるに、我が国の糖鎖の研究基盤の強化と整備、恒常的な支援体制の構築は緊急課題となっている。とりわけ諸外国の動向を考慮すると、我が国における研究環境はむしろ後塵を拝しており、ま

複合糖質の統合的理解と疾患の解明をめざす先端的・国際研究拠点の形成
研究の流れと目指す方向 糖鎖が拓く超領域生物学



た本領域の頭脳の海外流出が顕著になりつつある現在、本研究計画の実現は国際的リーダーシップの堅持に必須となっている。

④ 所要経費

8年間の計画で総予算：115.1億円：この中で、初期投資：27.1億円（1-2年目）、運営経費等：88.0億円。

各々の内訳：初期投資合計27.1億円/2年間、その内容は、質量分析装置6式；核磁気共鳴装置3式；糖鎖/遺伝子/レクチン/抗体アレイ各3式；次世代シーケンサー2式。運用経費は、運営費、人件費（8年間）に合計9.75億円/年x8（年）=78.0億円、および構造解析・情報・データベースのセンター設置費用：5.0億円 x2年（平成31-32年）=10.0億円。

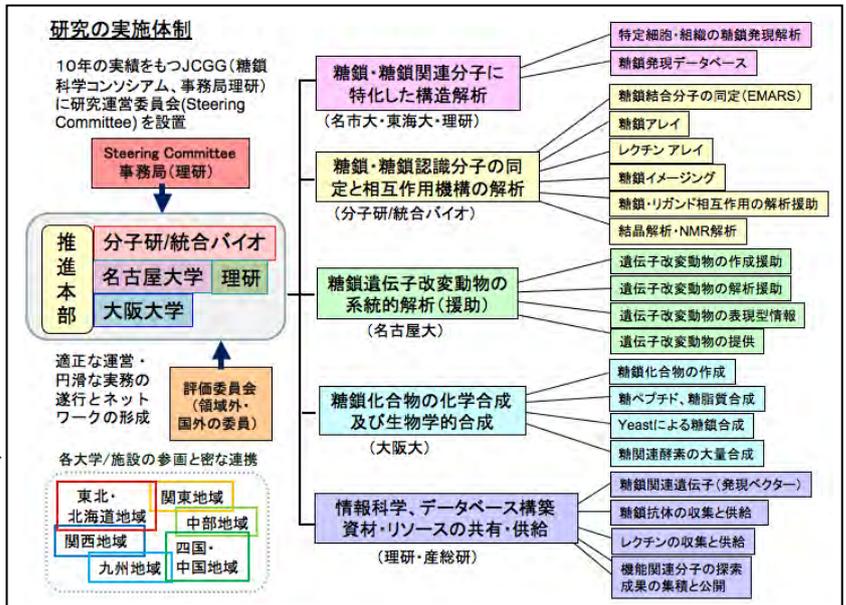
⑤ 年次計画

平成25～32年度の8年間の計画である。

具体的な計画として、

平成25-26年度：糖鎖構造解析、糖鎖認識分子の同定と相互作用の解析、糖鎖遺伝子改変動物の解析援助等、各拠点の設備、人員の整備、支援部門の体制の整備等を行うと同時に、運営の開始と試運転を行う。

平成26-27年度：2年目に導入予定の設備の配備、解析体制の整備、および糖鎖研究資材の提供、アレイ解析、ノックアウト作出・解析などの支援と供給の開始及びデータベースの構築を開始する。正味2年間を初期投資期間とする。平成27年度：前年度からの資材提供、ノックアウト作出・解析支援と供給等を発展させつつ、糖鎖、糖鎖遺伝子の発現と構造の解析、ならびに糖鎖認識分子の同定と特異性の解析を進める。一方、データベース公開の開始に向けて、疾患



関連複合糖質の情報収集、作用機構の解析及び応用研究を遂行するとともに、それらの成果の公開のための準備を行う。

平成28-32年度：それまでの研究資材の提供、アレイ解析、糖鎖変異動物の作成・解析支援、糖鎖構造と発現解析及び糖鎖認識分子の解析等を継続、発展させる。また、疾患関連糖鎖情報の公開とともに、作用機構の解析と糖鎖機能応用研究を遂行する。さらに、他領域や企業等からの要望に応えた解析支援及び融合・連携研究の推進を行うとともに、諸外国の研究者との連携・協力など、国際拠点としての機能を推進する。最後の2年間には、機能的なセンターを設置して事業を継続発展させる。

⑥ 主な実施機関と実行組織

これまで10年以上継続、発展させてきたJCGGに研究運営委員会(steering committee)事務局を設置し、全体の運営方針と実施体制を決定する。その下に研究推進本部を置き、実際のプロジェクトの円滑な遂行とネットワークの形成を図る。推進本部は、分子研/統合バイオ、名古屋大、大阪大、理研が協力して構成し、日常的な運営にあたる。その下で、主な大学や研究所が分担して計画の実施に従事する。中核研究室として、図(研究の実施体制)に示すように、5つの柱につき各大学、研究所が分担する。

具体的な実施内容として、1. 構造解析では、細胞・組織の糖鎖発現解析と発現データベース構築、2. 糖鎖・糖鎖認識分子の解析では、糖鎖及びレクチンアレイの作成と実施、糖鎖結合分子の同定(EMARS等による)、糖鎖イメージング及び結晶構造解析やNMR解析、3. 遺伝子改変動物の解析援助では、その作成、解析の援助と提供及び解析結果の情報処理、4. 糖鎖合成では、複合糖質、糖ペプチドの化学合成と生物学的合成、5. 糖鎖情報では、糖鎖遺伝子発現ベクターや抗体、レクチンの収集と提供及び情報の収集と公開、を実施する。また、領域外、国外の委員を加えた評価委員会を設置して適正な運営を図る。

連携協力機関として、北大、東北大、宮城県癌センター、東北薬科大、東京大、高エネルギー研、野口研、東京都健康長寿センター、医薬品食品衛生研、産総研、東海大、創価大、お茶大、新潟大、岐阜大、愛知医大、中部大、信州大、京都大、立命館大、神戸薬科大、大阪成人病センター、大阪母子センター、高知大、九大、鹿児島大、等が参画する。

⑦ 社会的価値

本研究でめざす複合糖質の解析拠点の構築の結果、複合糖質の横断的な機能の作用点を標的とする予防・診断・治療等、創薬への応用展開が促進され、最終的に国民の健康増進と医療の向上に結びつく。とくに国民の半数が罹患する癌や増加する認知症、及びパンデミックな新興感染症等への治療応用が期待される。またリウマチ等の自己免疫や慢性炎症疾患、神経変性症、糖尿病や動脈硬化など生活習慣病、筋・関節・骨格系の疾患、慢性閉塞性肺疾患等の予防と治療法開発に必須の情報を提供する点で安心安全な国民生活の向上と健康増進における価値は高い。

バイオ企業、製薬・診断薬開発企業等との連携により、病原体や癌等の糖鎖ワクチンの開発、糖鎖抗体による高機能の抗体医薬や糖鎖蓄積病治療薬等の革新的バイオ医薬品、持続性かつ安価な改良型医薬品の開発、疾患の予知・予防用バイオマーカーの開発、再生医薬製品の品質管理への応用、高機能医療材料への応用等、創薬科学の展開による産業的価値は甚大である。

⑧ 本計画に関する連絡先

古川 鋼一(名古屋大学大学院医学系研究科) koichi@med.nagoya-u.ac.jp

分子・かたち・疾患を統合する形態解析ネットワークの形成とデータベース構築

① 計画の概要

ゲノミクス、プロテオミクスに関わる技術の進歩と応用により、遺伝子、蛋白質など個々の分子の物理化学的性質に関する知見が急速に蓄積されてきた。これらの成果を元にして、多種多様な分子がどのように組み合わされて細胞や組織、器官という高次の構造体が発生・成長し、老化し、また疾患が生じるのかという、より高次かつ複雑な問題へのアプローチが開始されている。生体内分子間の相互作用を網羅的に研究するインタラクトーム解析はその一例であり、データベースの整備、バイオインフォマティクス技術の進歩と相まって、生命現象をシステムとして理解するシステム生物学も勃興しつつある。

しかし関与する分子の数の膨大さ、ゲノミクス、プロテオミクス技術で解析できない脂質、糖の存在などから、上記のアプローチは容易ではない。そこで改めて注目すべきは、**個体・器官・組織・細胞・細胞内構造**という階層を超えて解析可能な属性である**かたち（構造）**の情報である。本計画では個別分子と**かたち**を対応させ、さらに**疾患組織・細胞の形態データ**と連結させたデータベースを構築する。分子と**かたち**の対応の精度を飛躍的に向上させるため、異分野の技術シーズを取り込んだ革新的形態解析技術の開発を推進する。またデータベースには新規の解析技術で得られた最先端の形態データとともに、既存の膨大な解剖学、病理学の情報を利用可能な形式に変換、統合する。最終的に分子から個体、ヒトを含む多様な生物種、様々な発生・発達段階など、多次元の比較が可能な包括的データベースを完成させる。

上記の目的を達成するため、世界のトップレベルにある我が国の形態学、解剖学、病理学、顕微鏡学の総力を結集し、強力な研究拠点ネットワークを形成する。既存のデータベースとの有機的連結、海外の関連計画との積極的な連携を進め、本計画で構築するデータベースが形態解析の国際標準となることを目指す。

② 学術的な意義

分子生物学の爆発的展開とゲノミクス、プロテオミクス解析などにより、個別分子レベルの様々な情報は加速的に増加してきた。また遺伝子操作動物の解析や疾患解析などによって、分子の変異や欠損と様々な疾患の関連が明らかになってきた。一方、疾患と**かたち**の変化の相関に関しては光学顕微鏡で得られた膨大なデータが蓄積されてきたが、従来の方法で得られた**かたち**の情報は、疾患を起こす分子異常を特定するには不十分であった。

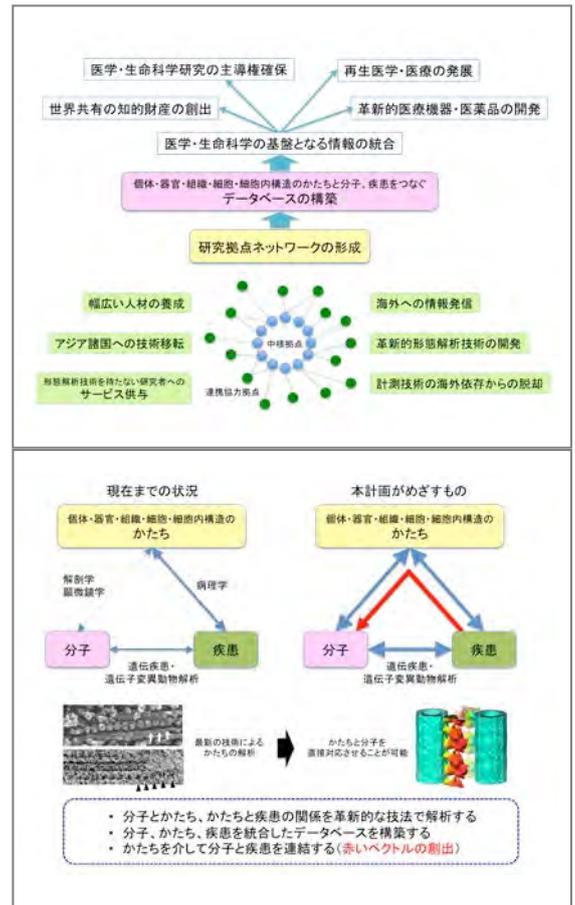
今世紀に入り先端的な超微形態解析やイメージングの技術が次々と開発された結果、個々の分子と**かたち**の相関が従来にないレベルで明らかになってきた。例えば線毛という細胞内構造については、個々の分子がどのように配置されているのか、線毛が動く時にそれらの分子の構造・配置がどう変わるか、また特定の分子の異常がどのような**かたち**の変化をもたらすかなどが解明されつつある。このような**かたち**に関する膨大なアナログ情報を分子機能と対応させることにより、近い将来、疾患における**かたち**の変化から分子異常を特定することが可能になると予想される。このためには形態解析技術をさらに革新的に進化させるとともに、得られたデータを統合し、多角的な検索が可能な形式に変換、集積したデータベースの構築が必須である。

このデータベースは**かたち**に関する情報を仲立ちとして、分子と疾患を有機的に連結し、従来とは異なる切り口による疾患研究を可能にする。ここには多種多様な疾患だけでなく、形態形成、器官・組織形成の各段階や老化から死にいたる過程のデータが集積され、生命科学に必要な不可欠な研究基盤を提供する。その波及効果は広い領域に及び、現代の医学の大きな課題である癌、精神疾患、神経変性疾患等の病因・病態研究、iPS細胞などを用いた再生医学・医療の展開、革新的な医療機器・医薬品の開発にも大きく貢献する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

本研究計画がめざす分子・かたち・疾患の三者を連結させたデータベースは国内外を問わず前例がない。分子と**かたち**だけに限れば、例えば出芽酵母のゲノム情報に基づき、個別タンパク質に GFP を連結した分子の細胞内局在が蛍光顕微鏡レベルで解析された結果がデータベース化され、重要な研究基盤となっている。しかし分子と**かたち**と双方向性に結びつけるためには形態情報の精度が不十分である。また医学研究への応用のためには哺乳類を対象とした取組みが必要なことは言うまでもない。

今回の計画が目指す精緻な形態解析を前提にしたデータベースを構築するためには、形態学、解剖学、病理学、顕微鏡学において高いレベルの研究を遂行しうる多くの人材と広範な研究基盤が必要である。米国ではこれらの領域の研究体制が脆弱化



しているが、我が国の人材の層は厚く、先端的な形態科学研究で欧州と覇を競っている。このことは形態科学諸領域における発表論文の質と量などに示されており、今後も我が国のリーダーシップが期待されている。このような強みを最大限に生かすことは、今世紀後半の医学・生命科学研究で日本が主導的役割を担うためにも極めて重要である。

④ 所要経費

総額 162.5 億円 (初期投資 : 47 億円、運営費等 : 115.5 億円)

初期投資 : 主要拠点の施設・機器整備 36 億円 (3 億円 x 12)

連携協力拠点の機器整備 8 億円 (0.4 億円 x 20)

データベース構築 3 億円

運営費等 : 主要拠点の技術開発研究費、設備維持・運用費、人件費等 84 億円 (1 億円 x 12 x 7 年間)

連携協力拠点の技術開発研究費、機器維持・運用費 28 億円 (0.2 億円 x 20 x 7 年間)

データベース維持・管理費 3.5 億円 (0.5 億円 x 7 年間)

⑤ 年次計画

研究継続期間 : 7 年間 (平成 25 年度～平成 32 年度)

平成 25 年度 :

1. 主要拠点における施設・機器の整備、人材の確保と技術研修、連携協力拠点の機器の整備を行う。
2. 主要拠点・連携協力拠点間の技術交流を行い、共通技術の開発を開始する。
3. 技術ニーズを明確化し、異分野の技術シーズの探索を行う。
4. データベースの基礎的部分を構築し、試験的運用を開始する。

平成 26 年度 :

1. 主要拠点・連携協力拠点においてデータベースへのデータ蓄積を本格的に開始する。
2. 分子レベルのデータを集積する主要なデータベースとのリンクを行い、データベースの本格的運用を開始する。
3. 技術ニーズとシーズをマッチングさせ、異分野と連携して新規形態解析技術の開発を開始する。
4. 海外の研究施設・計画との相互交流を開始する。

平成 27～32 年度 :

1. 主要拠点・連携協力拠点での技術開発を進め、データベース整備を加速する。
2. 主要拠点・連携協力拠点が連携し、人材育成を系統的に進める。
3. 主要拠点・連携協力拠点以外で得られたデータや既存のデータを収集し、データベースへの登録を進める。
4. 形態科学の技術を持たない研究者にサービスの提供を行い、広範囲の医学・生命科学分野との連携に努める。
5. 新規形態解析技術の開発を促進し、実際のデータ収集に適用する。
6. 定期的にセミナー、ワークショップ、技術講習会等を開催し、国内・国外の研究者に積極的に情報を発信する。
7. すでに稼働しているアジア太平洋解剖学会 (APICA) の枠組みを通じて、アジアの研究者への技術移転を推進する。

平成 31～32 年度 :

1. 計画期間終了後も継続的、発展的にデータベースが整備される体制を構築する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

名古屋大学と北海道大学を中核拠点として研究推進と全体のコーディネーションを行う。またその他の主要拠点として、福島県立医科大学、新潟大学、群馬大学、東京大学、東京医科歯科大学、慶應義塾大学、順天堂大学、生理学研究所、京都府立医科大学、大阪大学が参加し、それぞれの強みを生かして役割を分担する。その他、連携協力拠点として東北大学、山形大学、岩手医科大学、理化学研究所、日本女子大学、山梨大学、金沢大学、京都大学、鳥取大学、香川大学、九州大学、久留米大学、長崎大学、宮崎大学などが参加する。データベース構築については組織・細胞別に責任拠点を決め (例えば北海道大学、京都府立医科大学が中枢神経系を担当など)、その下に関連研究者を組織して着実に進める体制を整備する。

1 2 の主要拠点で実行組織を構成し、年次計画に基づいて、新規技術の開発と普及、データベース整備と運用、他のデータベースとの連携、海外の研究者・関連施設・計画との連携、技術移転等を推進する。連携協力拠点を含めた有機的なネットワークを構築し、定期的かつ緊密な情報交換を行い、目標達成のための効率的な体制を整備、運用する。

⑦ 社会的価値

科学技術立国をめざす日本政府の方針は幅広い国民の理解と支持を得ている。今回の研究計画は我が国の科学技術の強みを生かし、さらに強化して世界をリードするものであり、国民の期待に添う。医学・医療の発展を強力に推進する原動力となることはもちろん、生命科学における新たな発見を生み出すために必須の基盤を提供する点でも価値が大きい。本計画の成果が、医薬品や医療機器の開発に大きく貢献し、経済的・産業的価値を有することは明らかである。また解剖学や病理学の既存の膨大な研究成果をデータベース化することは有用であるだけでなく、世界が共有する知的財産として極めて貴重なものとなる。

さらに今回の計画の基礎となる顕微鏡技術において、我が国は常に技術革新の先頭を走り、なかでも電子顕微鏡は世界中で圧倒的なシェアを誇ってきた。本計画によって電子顕微鏡はもとより広範囲の形態解析技術、計測・分析技術の発展が一層促進され、その点でも大きな経済的・産業的インパクトを与えると予想される。

⑧ 本計画に関する連絡先

藤本 豊士 (名古屋大学・大学院医学系研究科) tfujimot@med.nagoya-u.ac.jp

ヒト生命情報統合研究の拠点構築

① 計画の概要

国民の健康の維持増進や予防医学の確立のためには、複雑な環境要因や遺伝的要因と健康との関係を解き明かすことが不可欠である。環境要因や遺伝的背景は地域・人種による差異が存在するために、我が国の研究として日本人のデータの取得が必須である。糖尿病や高血圧などの生活習慣病や認知症といった頻度も高く国民の関心も大きい疾患は、環境・生活習慣と複数の遺伝的要因とが複雑に絡んでいるため、100万人規模の健常者集団の精緻な長期観察（コホート研究）を基盤として、そこから得られるゲノム、バイオマーカー、診断、生活習慣、環境などの多種多様な膨大な情報を集積・共有・統合・解析し、健康に関わる様々な知見を見いだす研究、すなわち、ヒト生命情報統合研究の実施を提案する。この研究は健康のみならずヒトの多様な形質にも及ぶものであり、新しいヒト生物学の創出を目指すものである。

このために、100万人規模のバイオバンクの構築と様々な生体試料の蓄積、それらを用いた網羅的分析・解析結果に臨床情報、疾患罹患情報を利用した統合解析による多因子疾患の原因解明と予防・治療法の開発に向けた拠点構築と、統一基準などの制度設計、解析基盤、情報基盤の整備を行う。そして、事業の三年目をめどに、既存のコホート事業も含めた全国で数カ所の実施拠点によるヒト生命情報統合解析の実施基盤を構築する。その基盤は、(1)中核拠点、(2)地域研究拠点、(3)データ解析センター、(4)生体試料バンクからなり、また、(5)産学連携コンソーシアムを形成する。

このようなヒト生命情報統合研究は、新型シークエンサーをはじめとする計測技術、インターネットやスパコンなどの情報通信技術の革新的な進歩により現実のものとなろうとしているが、生命科学のビッグデータをどのように扱い知識を生み出すのか、克服すべき課題も多く、医学・生物学にとどまらず科学全般にわたる極めて大きな挑戦的課題である。

② 学術的な意義

これまでの分子レベルでの疾患研究は、動物モデルを用いたものや試験管内での疾患解析が主流であったが、これではいくつもの要因が複雑にからんで起きる疾患の発症機構の解明や治療法の開発に限界があった。新型シークエンサーなどの計測技術の発展により、また、ビッグデータを効率的に集約・管理し、そこからの知識発見を行う情報技術の進歩により、ヒトそのものを対象として分子レベルでの疾患研究を行うことが可能になりつつある。本提案はこのような技術的な進展を背景にして、ヒトの多様性を意識しつつ、病気を「生体分子を通して身体全体で見る」という次世代の医学と医療の基盤の構築を目指すものである。また、疾患にとどまらずヒトの様々な形質も対象になるため、新しいヒト生物学の創出も可能となる。

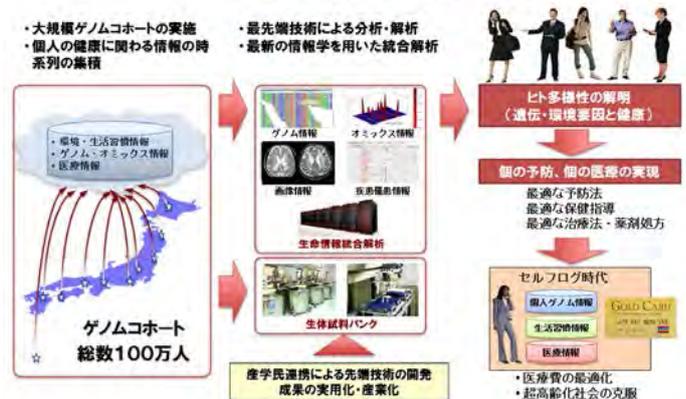
これまで我が国は、計測技術や情報通信技術の革新的な進歩を疾患解析研究に戦略的につなげることに遅れた。このままでは、激増する長期療養者や国民医療費の問題に対し、診断・予防・治療方法で解決するための有効な手が打てないばかりか、先行する欧米に予防法や治療薬の開発を軒並みさらわれかねないという危機に瀕している。

一方で、我が国は、先端技術の融合と技術改良を通して最高精度のシステムを構築し、研究成果を実用化・汎用化する応用技術では世界でずば抜けた力を持つ。これらを総動員して「ヒト生命情報統合研究」を実施することで、世界一の長寿国で、世界に一步先じた高齢化社会の健康長寿モデルの構築が可能である。これにより、予防に関する情報を用いた新たなヘルスケア産業の創出や保健医療情報のIT化による新時代の保健医療システムの構築が可能となる。日本人の疾患情報は欧米人からは得られないが、アジア人は遺伝的に似通っているため、21世紀に都市化され高齢化する中国に対しても知的財産上のアドバンテージを得ることになるものと期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

諸外国においては疫学研究の重要性を認識し、大規模ゲノムコホート研究が実施されている国が多く（例えば、50万人規模の英国のUKバイオバンクや中国のChina Kadoorie Biobankなど）、自国民の健康・医療状況を判断するための情報蓄積とその活用が進められている。このような健康に関するデータは、生活習慣や集団による差異が存在するものであり、我が国の研究として自国民のデータの取得が不可欠である。それゆえ、我が国でもこれまで数多くのコホート研究が実施されてきたが、その規模、新技術の取り込みなど内容において残念ながら不十分なものであると言わざるを得ない。そこで本研究では、最新の計測技術・情報技術の進歩を戦略的に取り込みゲノムコホート研究から出てくる情報の価値を最大化するために、それらを連携させるための情報技術やデータ標準化を開発する。既存のゲノムコホート研究とネットワークを形成し、全体のコーディネートを行う。

ヒト生命情報統合研究が目指すもの



④ 所要経費

所要経費（16年間681億円）（1）準備段階（3年間15億円）人件費、外注費（調査、設計）、人材育成、計算機、会合費、海外調査等（2）ゲノムコホート実施段階（13年間500億円）生命分子統合解析（ゲノム、オミックス解析等）、新規ゲノムコホート実施（一次データの解析含む）（3）情報集積・共有・統合段階（11年間120億円）データ集積のためのネットワーク運営、データの標準化、統合化とソフトウェア開発、データベースの構築維持、データベースの構築、活用のための人材育成、データ格納サーバ（4）データベースの公開、活用段階（当面5年間46億円）データベース公開、データ活用技術開発、解析用スパコン、データベースや技術の普及
上記以外に産学連携や新規技術開発の経費が300億円程度見込まれるが、主として民間企業から集める予定である。

⑤ 年次計画

100万人規模のコホート研究を実施すると、さまざまな疾患について10年で約1万人の患者が集まり、種々の解析が可能となるものと推定される。そこで、準備期間も入れ、当面16年のロードマップを以下に示す。

（1）準備段階（平成26年～平成28年）ヒト生命情報統合研究に必要な制度や倫理等のガイドラインの設計、産学連携のためのコンソーシアムの立ち上げ、健康医療情報の電子化・標準化のためのシステム設計、医療情報追跡システムやプロトコルの設計、種々のデータの標準化、統合化のためのデータフォーマット設計、個人情報保護に配慮したデータ公開・共有の仕組み設計、データの集積・共有・統合のための拠点整備、ヒト生命情報統合研究を担う人材の育成のための仕組み設計、新規ゲノムコホート研究の設計、企画、既存ゲノムコホートの支援増強策の策定と連携の仕組み設計、必要な予算獲得（政府、民間）に向けた活動（2）ゲノムコホート研究実施（データ収集）段階（平成29年～平成41年）

既存ゲノムコホートの拡張と生命情報統合解析支援（ゲノム、オミックス解析など）、新規ゲノムコホート拠点の設置（2～3年）と追跡（10年）（3）情報集積・共有・統合段階（平成31年～平成41年）データ集積のためのネットワーク構築、標準化、統合化技術の開発、データベースの構築、活用とそのための人材育成（4）データベースの公開・活用段階（平成34年以降）一般の研究者に向けたデータベースの公開（制限付きアクセス含む）、解析ツールの開発と提供、データ活用技術の普及

⑥ 主な実施機関と実行組織

主な実施機関と役割：科学技術振興機構バイオサイエンスデータベースセンター（全体の調整事務局機能、データベースの構築と公開）

実行組織と役割：情報・システム研究機構ライフサイエンス統合データベースセンター（データの標準化統合化技術開発、バイオインフォマティクス人材育成）、国立情報学研究所（情報集積追跡のネットワーク構築と運営、大規模データ解析）、国立遺伝学研究所（ゲノム解析、スパコンの運営、ゲノムデータ管理）、東北大学（東北ゲノムコホート研究）、九州大学（久山町ゲノムコホート研究）、京都大学（長浜ゲノムコホート研究）、東京大学（疾患解析技術開発、人材育成）、神戸先端医療振興財団（疾患データの分析と標準化）、筑波大学（茨城コホートと人材育成）

上記以外にも、新規ゲノムコホート研究拠点（地域拠点）、IT企業、製薬企業等からなるコンソーシアムを形成し、本研究を実施。

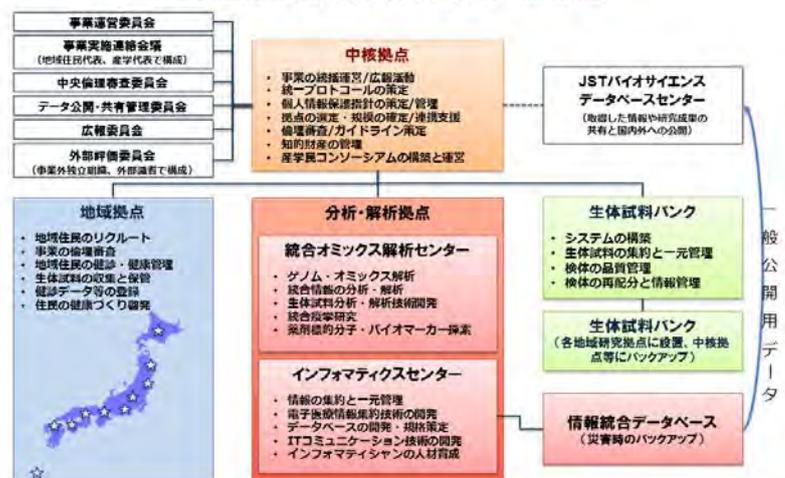
⑦ 社会的価値

国民の高齢化、生活習慣の変化により患者数が急速に増えている生活習慣病や認知症などは、家族を含めた社会の負担増や医療費の激増などの極めて深刻な社会問題を引き起こしている。高齢者の疾病の多くは罹患率が高く有病期間が長いことに加えて根治法がない多因子疾患であるため、疾病の早期発見と発症前の予防的介入が健康で活力ある長寿社会を構築する唯一の手立てとなる。21世紀の医学の目標は、「病気にかからない」あるいは「病気との平和共存」の医療開発である。しかしながら、こういった疾患に対する患者を対象とした臨床研究は疾患概念の確立と診断基準の策定に多大な貢献があったが、革新的な予防・治療法の発見には至っていない。また、細胞や動物モデルを用いた病因の探索が世界中で行われてきたにもかかわらず、その成果をヒトに応用し効果的な薬が開発された例は少ない。このことは、ヒトの多様性を十分に考慮した戦略なしでは多因子疾患の克服は非常に困難であることを如実に表している。本提案はまさにこのような問題の解消に向けた基盤作りであり、医学、医療、創薬はもちろんのこと、そのための装置産業や情報産業にも大きな貢献があると期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

高木 利久（科学技術振興機構バイオサイエンスデータベースセンター） tt@k.u-tokyo.ac.jp

ヒト生命情報統合研究事業 組織図



トランスオミクスアプローチに基づく革新的医学研究

① 計画の概要

生命システムと病気の理解に基づく健康の増進は人類の最重要課題のひとつである。しかし、生命システムはゲノム、エピゲノム、転写物、タンパク質、代謝物の多階層にまたがる分子ネットワークにより制御されているため、各階層を個別に扱っても生命の一断面を見るにすぎない。この問題を克服するため、複数のオミクスデータを統合し、生命システムの階層横断的理解を目指す学問分野「トランスオミクス」を創出し、これに基づく革新的医学研究を目指す。トランスオミクスはセントラルドクマの多階層分子情報を一気に俯瞰できるだけでなく、生まれつきの疾患感受性（ゲノム）、環境との相互作用で蓄積する変化（エピゲノム）、表現型・症状と直結する変化（タンパク質、代謝物）を時間軸に沿って同定し理解することを可能にする。よって、高齢化の進む我が国で顕在化している慢性疾患・難治性疾患の発症予測・予防・診断のみならず、細胞プログラミングによる疾患治療法の開発やバイオマーカーの同定による創薬開発に必要である。本研究計画では、国際協調または個別研究で進捗しつつあるヒトゲノム多様性、ヒトエピゲノム、ヒトプロテオーム、ヒトメタボロームのデータを活用する未来志向型、オールジャパン型の研究ネットワーク体制を構築し、我が国がこの新しい学問分野で国際先導的役割を果たすことを目指す。

② 学術的な意義

網羅的な生体分子解析技術の長足の進歩により、各国で各階層のヒトオミクス研究が進行中であるが、それらのデータを横断的に活用する試みはまだ緒についたばかりである。研究者の経験や勘に頼ることのない非バイアスのアプローチを階層横断的に施行することで、バイオマーカー同定や創薬のチャンスを飛躍的に増大させることが可能になる。例えば、がん抑制遺伝子の機能低下は、遺伝子変異（点変異や欠失）、エピゲノム変異（メチル化）、タンパク質の修飾や分解の異常などいずれの階層でも起こりうるが、トランスオミクスアプローチにより真の原因をピンポイントで同定することが可能になる。がんのみならず、生活習慣病、神経変性疾患をふくむ慢性疾患・難治性疾患の発症予測・予防・診断・治療法の開発に有用であり、細胞プログラミングによる再生医療にも必要である。オミクス解析技術も今後さらに改善される可能性があり、例えばナノポア・シーケンサーのタンパク質への応用が可能になれば、プロテオーム解析に革命をもたらす可能性もある。また、トランスオミクスアプローチのコホート研究への応用（ゲノムコホートの発展型）、及びシステムバイオロジーとの融合等の新しい試みが大いに期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ヒトゲノム多様性、ヒトエピゲノム、ヒトプロテオーム、ヒトメタボロームの研究は現在国際協調または個別研究で現在進捗しつつあるが、これら多階層のオミクスデータを横断的に活用する試みは世界的に見ても緒についたばかりで、米国や欧州で統合オミクスの動きが散見されるのみである。一方、米国を中心としてビッグデータサイエンスの重要性が認識され、膨大なデータから新しい発見を行なうアプローチへの研究費投入が行なわれはじめている。トランスオミクスは正に生命科学分野におけるビッグデータサイエンスであり、本研究計画は、世界に先駆けて組織的にトランスオミクス研究を行う未来志向型の計画である。

④ 所要経費

総計 150 億円（10 年間合計）

運営費：10 億円 X 10 年間 小計 100 億円

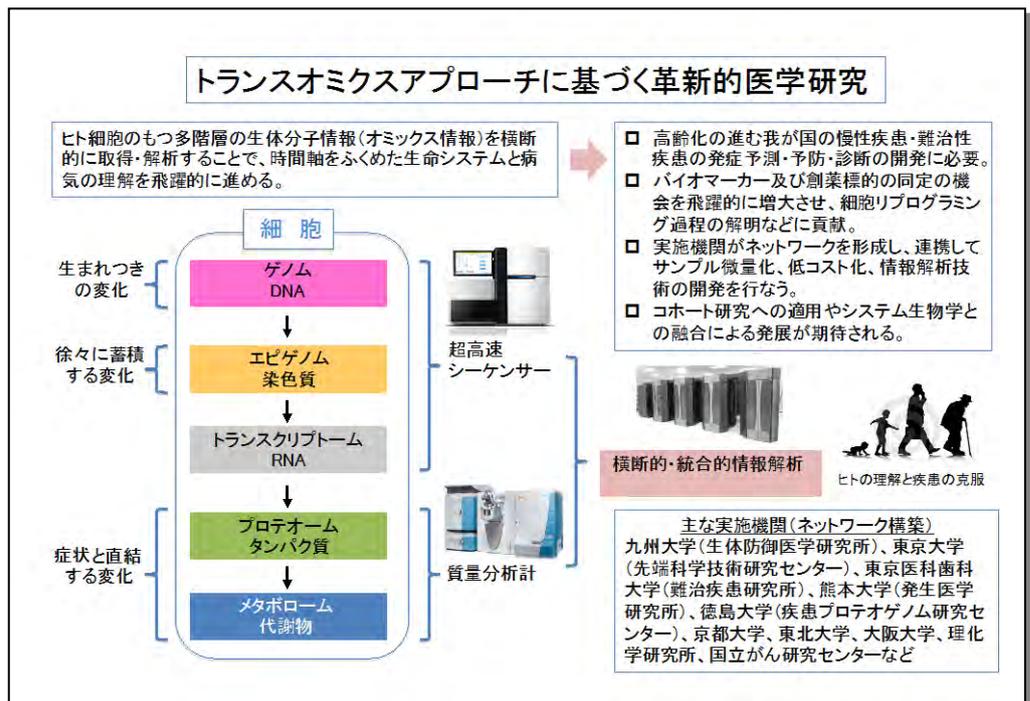
初年度設備費（超高速シーケンサー、質量分析装置、計算機の導入）：30 億円

6 年度設備費（超高速シーケンサー、質量分析装置、計算機の更新）：20 億円

⑤ 年次計画

1~5 年度の計画：主にトランスオミクス技術の確立

当初の 3 年間目標で設備と技術の導入を行い、



トランスオミクス研究ネットワークの構築と基盤整備を行う。特定のモデル細胞（がん細胞株、多能性幹細胞、免疫細胞など）の集約的解析により技術の確立、とくにデータ解析・相互比較・統合整理に関する問題点の洗い出しと克服、情報の集積・統合、国際標準データベースとの連携を行う。国内外の学術コミュニティと研究情報の共有を図ると共に、社会との双方向コミュニケーションを促進する。また、関連する生命科学領域や生命情報学などの分野と連携し、ヒト生命の理解に向けた研究情報基盤を整備する。

6～10年度の計画：主にヒトの病気の理解を目指す

研究開始から5年で蓄積した研究基盤を活用し、我が国の高齢化社会で特に重要視される慢性疾患・難治性疾患（生活習慣病を含む）を中心に、病気に関するトランスオミクス研究を推進し、ヒトの病気の新しい予測・予防・診断・治療法の開発と創薬に寄与する。トランスオミクス、またはその成果のコホート研究（東北メディカルメガバンク、エコチル調査、福岡県久山町コホート）への適用を検討し、システムバイオロジーとの融合などを試みる。

⑥ 主な実施機関と実行組織

九州大学（生体防御医学研究所）、東京大学（先端科学技術研究センター）、東京医科歯科大学（難治疾患研究所）、熊本大学（発生医学研究所）、徳島大学（疾患プロテオゲノム研究センター）などが中心となり、京都大学、東北大学、大阪大学、理化学研究所、国立がん研究センターなどがオールジャパン型ネットワーク体制を構築する。九州大学（生体防御医学研究所）は平成25年度に学内の大学改革活性化制度を活用してトランスオミクス医学研究センター（5研究分野、うち2分野新設）を設置しており、本研究計画のコアとして機能する。各実施機関はそれぞれオミクス研究の実績があり、対象とする細胞・組織について各機関の特徴を生かした分担を行なう。例えば、九州大学（がん、免疫、発生）、東京大学（がん、生活習慣病）、東京医科歯科大学（生活習慣病、骨疾患）、熊本大学（発生、再生）、徳島大学（免疫）などである。バイオサイエンスデータベースセンターとは緊密な連携が必要と考えている。

⑦ 社会的価値

本研究計画は、第4期科学技術基本計画の成長を牽引する問題解決型イノベーションの「ライフイノベーション」に相当し、高齢化の進む我が国で顕在化している慢性疾患・難治性疾患の発症予測・予防・診断法の開発のみならず、細胞リプログラミングによる疾患治療法の開発やバイオマーカーの同定による創薬開発に必要である。我が国の国際競争力を強化するものであり、同時に、国民の健康と福祉への貢献につながる社会的価値の高い計画と位置づけられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

佐々木 裕之（九州大学生体防御医学研究所） hsasaki@bioreg.kyushu-u.ac.jp

高度安全実験 (BSL-4) 施設を中核とした感染症研究拠点の形成

① 計画の概要

目標： 人類はワクチンや抗菌薬開発など科学技術で感染症を制御してきたが、経済のグローバル化等により出現・拡大する新興感染症は依然として世界の脅威である。日本のアカデミアは当該分野で多大な国際貢献をしてきたが、国内では高度安全実験 (BSL-4) 施設での先端研究ができない状況である。アフリカから欧州へのエボラウイルス等の度重なる侵入を見ると、我が国の BSL-4 施設の整備と当該研究の強化は喫緊の課題である。本計画は、一種病原体研究の世界トップレベルの拠点形成と当該分野での世界をリードする研究人材の育成により、感染症に対する世界の安全・安心の向上に資することを目標とする。計画： (施設) 教育研究を目的とする BSL-4 施設を設置し当該分野の研究環境を整備する。BSL-4 実験室は、個々に独立運用できる広さ 200㎡以上で多重密閉構造の陽圧防護服型実験ユニットを 2 系列設置し、培養室、動物実験室、シャワールーム、生体認証による入退室監視システムを備え、感染症法に準拠した世界最高水準の施設を建設する。

(運営及びデータベース構築) 実施機関と関係省庁の代表者からなる運営委員会による管理運営体制を構築する。運営委員会は安全管理のほか、研究計画の採択や助言を行い研究者間の情報共有を進め、先進の一種病原体に関する教育研究を推進する。また、解析した病原体に関する遺伝子情報等の総合データベースを構築し、国内の感染症研究や対策の基盤を整備する。

② 学術的な意義

感染症の発生は、国民の健康を直接脅かすのみならず、社会・経済的にも大きな影響を与える。したがって、感染症に対する研究成果は、国民の安全・安心を担保する科学技術開発の最重要事項の一つである。本計画は、これまで国内では行うことができなかった一種病原体・一類感染症を対象とした研究を可能にするものであり、以下のような学術的意義を有する。

1) 世界をリードする感染症研究： 我が国の感染症研究は国際的にトップレベルであり、インフルエンザをはじめとした感染症研究により世界をリードする研究成果を挙げている。したがって、我が国がこれまで育ててきた人材や技術により、一種病原体を対象とした研究においても世界をリードする研究成果を見込める。さらに、すべての病原体・感染症を包括的に捉えた比較解析が可能となり、共同研究拠点に集う研究者を中心に、相乗効果による感染症研究の加速的な発展が期待できる。

具体的には、一種病原体の増殖機構や病原性の解明、一類感染症に対する迅速診断法やワクチン・治療薬の開発、病原体の強毒化機序の解明、高病原性の新興感染症への対応、研究成果の集積によるデータベース構築と活用などが期待される。

2) 人材育成： 一種病原体を扱える感染症研究者、及び BSL-4 施設の運営・管理や緊急時対応のための人材育成が可能となる。国家及び地球規模での感染症対策を国際的にリードする研究者、専門家、技術者の輩出により、世界の感染症対策への貢献が期待される。

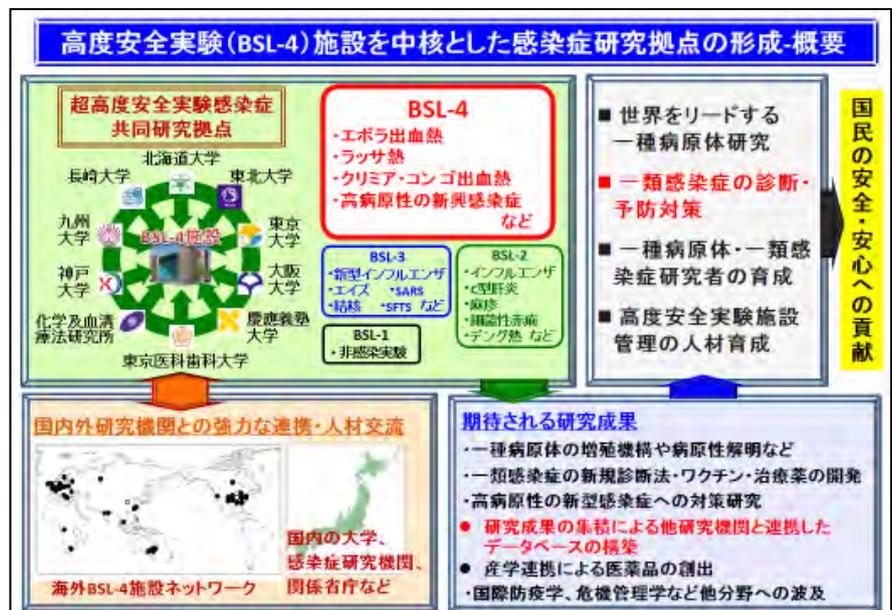
3) 一類感染症の診断及び予防対策： 我が国で一類感染症が発生した場合には、国や地方自治体の関係機関と相補的な連携を行い、迅速な防疫体制の構築に協力する。また、診断法・ワクチン・治療薬を開発し、一類感染症発生に対する準備を整える。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内外の動向： 世界 19 カ国、40 カ所以上で BSL-4 施設が稼働している。米国、英国、ドイツでは 40 年以上、安全に稼働し、近年はインド、中国も BSL-4 施設を整備して一種病原体に関する最先端の研究、ワクチン開発などを進めている。

我が国では教育研究目的の BSL-4 施設は設置されておらず、国内の研究者は国外の施設で研究を実施して世界的にも評価の高い成果を収めている。しかし 2001 年の米国同時多発テロ発生以降は、自国の研究者以外の BSL-4 施設使用は原則禁止または厳しく制限され、日本人研究者による一種病原体を対象とした海外での研究が困難となりつつある。

当該計画の位置づけ： 国内に BSL-4 施設を有する研究拠点を確立することで、日本の研究者が海外で進めてきた研究が遅滞なく実施され、さらなる活性化が期待される。また、国内研究機関間のネットワークを構築することで国内に蓄積する先進的な研究成果の相互利用を可能にして独創的な成果の創出を促進する。



④ 所要経費

1) 施設建設費：80 億円（免震構造や予備電源設備を備え感染症法に準拠した施設）、2) 実験設備・機器費など：11 億円、3) 施設維持費：3 億円/年、4) 研究成果の集積によるデータベースの構築：1.5 億円

⑤ 年次計画

平成 26 年度： 1) 拠点合同運営委員会の設置、2) 設置場所の決定と地域の環境整備、3) 仕様書作成
 平成 27 年度： 1) 運用マニュアル等の作成、2) 施設の設計（平成 27～28 年度）、3) 施設運営スタッフの育成
 平成 28 年度以降： 研究者のトレーニング
 平成 29 - 30 年度： 主要施設の建設
 平成 31 年度： 実験機器設置と主要施設の試運転、安全性の確認
 平成 32 - 35 年度： BSL-2、BSL-3 の病原体を用いた拠点運用開始。平成 33 年度に BSL-4 病原体を使った施設の運用開始。

⑥ 主な実施機関と実行組織

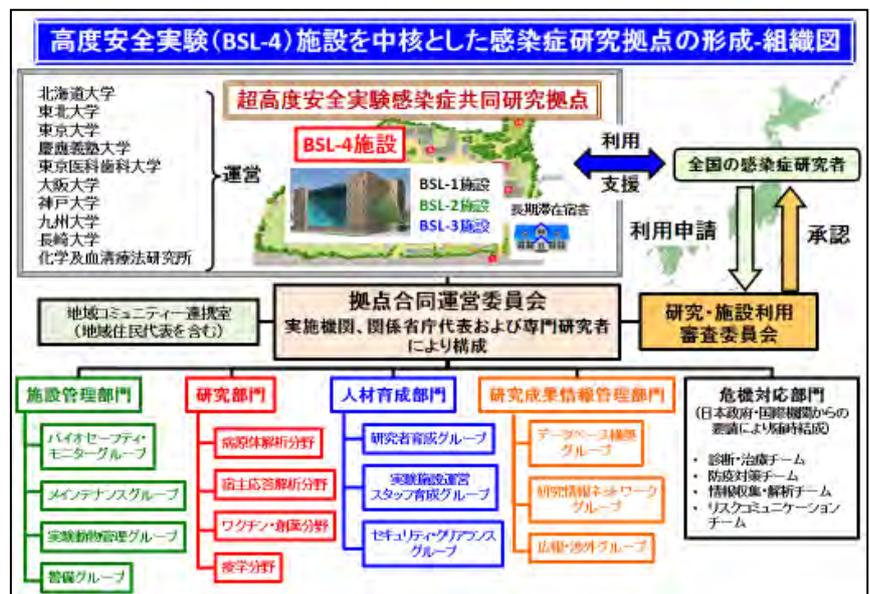
実施機関：北海道大学、東北大学、東京大学、東京医科歯科大学、慶應義塾大学、大阪大学、神戸大学、九州大学、長崎大学、化学及血清療法研究所の感染症研究を専門とする研究代表者及び感染症や国家の安全管理に関与する省庁関係者で構成する拠点合同運営委員会（以下、運営委員会）を組織し、長崎大学を幹事校として運営する。

実行組織と役割：

（設置準備段階）運営委員会において候補地の選定と設置までの詳細なロードマップを策定する。

（拠点の設置段階）海外の BSL-4 施設利用実績がある北海道大学、東京大学、長崎大学及び関連省庁の担当部局を中心にワーキンググループを組織し、施設の仕様について法令の順守を確認したのち、候補地周辺の自治体、住民との調整作業を行う。

（拠点の設置後）運営委員会の下に施設管理、研究、人材育成、研究成果情報管理の 4 部門を置く。地域住民を含む地域コミュニティ連携室、全国の感染症研究者の拠点利用を推進するための研究・施設利用審査委員会を設置する。運営委員会は四半期ごとに研究拠点の研究計画を策定し、進捗状況や成果を評価する。



⑦ 社会的価値

感染症の流行は、我が国の国民の安全・安心を脅かすものであり、その対処のための科学技術の発展は国民の期待に沿うものである。本計画の推進により、一種病原体や高病原性新興感染症などに対する診断・治療法が確立され、適切な予防手段が講じられることで、国民の安全・安心が確保されるとともに、WHO などによる国際的な感染症管理体制への貢献を通じ、世界の安全・安心の確保に資する。

また、感染症の流行は経済的にも大きなダメージをもたらす。例えば、2003 年の SARS 流行が経済成長に深刻な混乱を引き起こしたことは記憶に新しく、アジア開発銀行によれば、東南アジア経済への損害は 123～284 億ドルとされている。本計画の着実な推進は、我が国と世界の公衆衛生基盤の強化に通じ、我が国経済に対する潜在的脅威を取り除くとともに、グローバルな経済環境の安定化にも資するものである。さらに、こうしたリスクの除去にとどまらず、本計画の研究成果により、今後の経済成長が期待されるアジア、アフリカ諸国に対する医薬品供給の可能性を増大させ、我が国における新産業の創出が期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

森田 公一（長崎大学） moritak@nagasaki-u.ac.jp

先端科学技術による医療機器・化学マテリアルのレギュラトリー科学評価解析センター

① 計画の概要

先端科学技術に基づく医療機器や新化学材料に基づく製品・食品などの社会に与える有効性、利益 (Benefit) と、生体や環境に与える有害性、危険性 (Risk) を、科学的に解析し定量的に評価することにより、科学技術イノベーションと社会サービス・グローバルビジネスの調和に必要な安全基準、規制を科学的に構築し、その下に、先端科学技術を遅延無く社会に導入するレギュラトリー科学 (Regulatory Science) を実践する共同利用センター施設を構築する。

具体的には、電磁波、放射線を用いる医療機器や医療情報通信機器の電磁界障害、放射能汚染や、新化学材料を用いた工業製品、日用製品、衣類、食品などの有害性、毒性などを計測、分析、モデル化、安全基準、評価基準、評価装置構成、評価・認証手順などを策定し、実践する総合機構として必要な設備を全て具備するセンターを構築し、産業界、学会、市民に社会サービスとして継続的に設備とサービスを提供する。

また、このセンターを活用して、将来にわたり信頼できる安心・安全な社会基盤を構築、維持発展させていくために必要な人材のトレーニング、育成を実践的に遂行し、大学の本来事業として永続的に実施する。

② 学術的な意義

先端科学技術によるイノベーションの創生と、リスク管理による安心安全な社会インフラやグローバルビジネスの展開の両立には、死の谷があることが認識され、少なくともイノベーションによるベネフィットと、生態障害や環境破壊などのリスクを科学的解析に基づき規制し、万人が納得するリスクとベネフィットのバランスに基づき運営するレギュラトリー科学 (Regulatory Science) の実践拠点として、同センターは自然科学と社会科学の学術融合領域の研究教育を実践する。

具体的には、超広帯域 (Ultra Wide Band : UWB) 無線、カーボンナノチューブ、磁性粒子などの先端科学技術を用いた医療機器や、新化学材料に基づく製品・食品などの人体や周辺機器への影響、環境障害などのリスクを科学的に定量化すると共に、それらの利便性や産業化、ビジネスによるベネフィットに見合うレギュレーションを科学的に構築し、そのリスクとベネフィットのバランスを理工学と経済・経営・法学の文理融合によるレギュラトリー科学の学術研究領域を開拓し、将来の安心安全な社会システム・インフラの持続的発展に貢献する。

このために、横浜国立大学と横浜市立大学が、これまでの実績のある 21 世紀 COE やグローバル COE プログラムに基づく連携を深め、京浜臨海ライフイノベーション総合特区における地域連携により、本レギュラトリー科学センターを中心に、新たな医工融合や文理融合の学術領域の研究と、新科学技術の評価、解析により、今後の社会サービスやグローバルビジネスに貢献するが期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国では、ICT による医療機器を薬事法と電波法に基づく新医療機器の法制化と認可が、FDA と FCC の連携とメリーランド大、Duke 大の協力で、遅延 (Device Lag) 無く始められている。これは本計画が目指すレギュラトリー科学センターである。我が国では、平成 24 年度より厚労省の医薬品医療機器総合機構 (PMDA) に Device Lag を解消し、新医療機器の薬事法による治験や認可の在り方を検討する科学委員会が設置され、医療機器専門部会では医学・薬学専門家に加え、工学系専門家がレギュラトリー科学に基づく薬事審査基準などの検討を開始している。

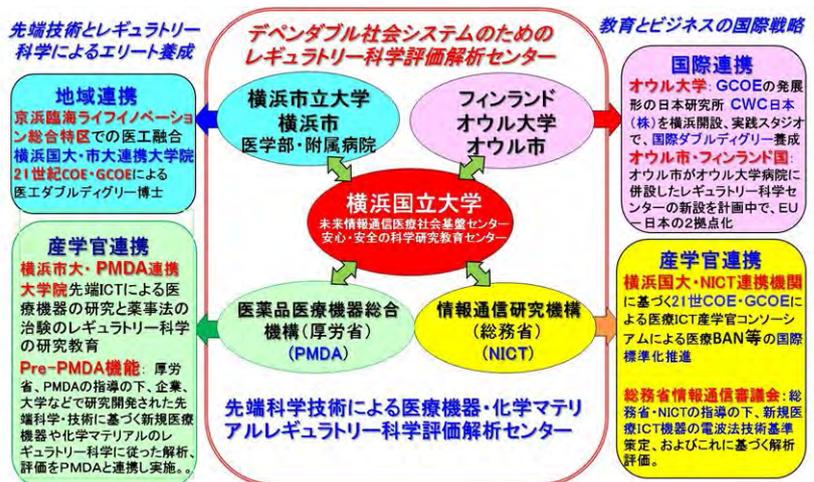
当該計画は、横浜国大が横浜市大 (医学研究科、附属病院)、情報通信研究機構 (NICT)、フィンランド・オウル大学がグローバル COE プログラム「情報通信による医工融合イノベーション創生」の発展で、FDA と FCC と同様に、我が国の PMDA と NICT と連携し、レギュラトリー科学に基づく医療機器や化学薬品の安全かつ経済的な解析、評価によるデペンダブル社会システム作りを目指す。また、オウル大学、オウル市による同様の拠点化と呼応し、横浜から世界に発信する。

④ 所要経費

1. 施設建造経費 :	550,000 千円
2. 施設地所経費 :	50,000 千円.
3. 設備、備品経費 :	350,000 千円
4. 管理運営経費 :	150,000 千円
5. 人件費 :	150,000 千円
6. 消耗品・通信経費	25,000 千円
7. その他諸経費	15,000 千円
合計	1,290,000 千円

⑤ 年次計画

1. 平成 25 年度
計画実施準備; 本格開始に向けて、施設、設備、体制、運営の基本体制をシミュレートし、評価、解析対象例: 医療無線 BAN



に関して実施

2. 平成 26 年度

計画実施初年度：施設建造、設備調達、人員採用、評価解析対象の公募、受付開始、具体的な評価、解析対象を限定し、実施

3. 平成 27 年度

計画実施定常化：施設、設備、人員、運営体制の整備し、本格評価解析体制を定常化し、体制改善を検討

4. 平成 28 年度

計画実施拡大：施設、設備、人員、運営体制の改善体制を整備し、評価解析体制を拡大し、実施例増。オウル大、オウル市との連携体制確立

5. 平成 29 年度

計画実施拡大：体制の不備検証、改善体制を整備し、評価解析体制を拡大し、米国 MICT、ハーバード大学、中国、韓国との連携体制を確立

6. 平成 30 年度

計画実施再編：運営の交付金依存体制から、独自の運営に向けた体制の構築開始し、評価解析体制を定常化し、北米、南米地域との連携拡大

7. 平成 31 年度

計画実施再編：施設、設備、人員、運営体制の交付金依存体制から、独自の運営に向けた体制をシミュレーションし、評価解析体制を改善し、東南アジア、アフリカ地域との連携拡大

8. 平成 32 年度

運営体制の再編完了：独自運営に向けた体制に移行し、評価解析体制を改善、実施定常化し、諸国との連携体制を確立

9. 平成 33 年度以降

企業や他機関との連携し、独自運営に向けた体制で、評価解析体制を確立

世界各国の協調可能な諸国との連携体制を確立

⑥ 主な実施機関と実行組織

1. 中心運営機関

横浜国立大学の全学組織である

・「未来情報通信医療社会基盤センター」、「安心・安全の科学研究教育センター」が中心となり、本計画の運営と医療機器と化学マテリアルなどの解析、評価などの実践を行う。

2. 全学連携組織

自然科学系の

・「工学研究院」、「環境情報学研究院」、「都市イノベーション研究院」が先端科学技術の医療、健康、環境保全、防災、エネルギー、マテリアルなどの研究教育を実践し、評価解析対象を提供する。

社会科学系の法学・経済・経営の

・「国際社会科学研究院」がレギュラトリー科学に基づくリスク管理とグローバルビジネスの研究教育と法的、行政的、経済的リスク管理を実践する。

3. 地域連携・産学官連携・国際連携組織

京浜臨海ライフサイエンス総合特区（横浜市、川崎市、神奈川県）を活用し、

・「横浜市立大学」の医学研究科、附属病院との 21 世紀 COE、グローバル COE プログラムで実績のある医工融合と、厚労省、総務省の独立行政法人、

・「医薬品医療機器総合機構：PMDA」、「情報通信研究機構：NICT」との連携大学院、連携講座を活用して、薬事法による治験、電波法による技術基準適合証明などのレギュラトリー科学に基づく解析、評価を実践する。さらに、フィンランドの

・「オウル大学」、「オウル大学日本研究所 CWC 日本」（オウル大学が日本に開設した研究所）が、欧州（EU）やアジアの関連機関との共同研究教育を実施する。

⑦ 社会的価値

本計画における先端科学技術による医療機器と化学マテリアルばかりでなく、対象を新たに開発された食品、衣類などに広く拡張することが可能であり、その社会や産業に対する有効性、生活向上などのベネフィットと、その望まれない障害、危険性などのリスクを科学的に定量化し、それに基づく社会的にコンセンサスが得られる法制化とその執行に必要なレギュラトリー科学の新概念を他の学術研究分野に広く発展することが期待される。

レギュラトリー科学は、対象となる科学技術の成果を創生する理学、工学などの自然科学分野と、その成果のリスクとベネフィットのバランスを管理する法学、経済、経営などの社会科学分野の境界・融合・複合領域のマルチ・ディシプリナリーな学術領域の研究教育の重要性を認識することに貢献し、こうした新たな学術領域の創生と発展が新たな研究教育対象として、我が国の国際的な教育戦略にも貢献するものと期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

武田 淳一（横浜国立大学） takeda.junichi@ynu.ac.jp

基礎と臨床における医学知の統合と循環を実現する大規模統合臨床情報基盤の開発研究計画

① 計画の概要

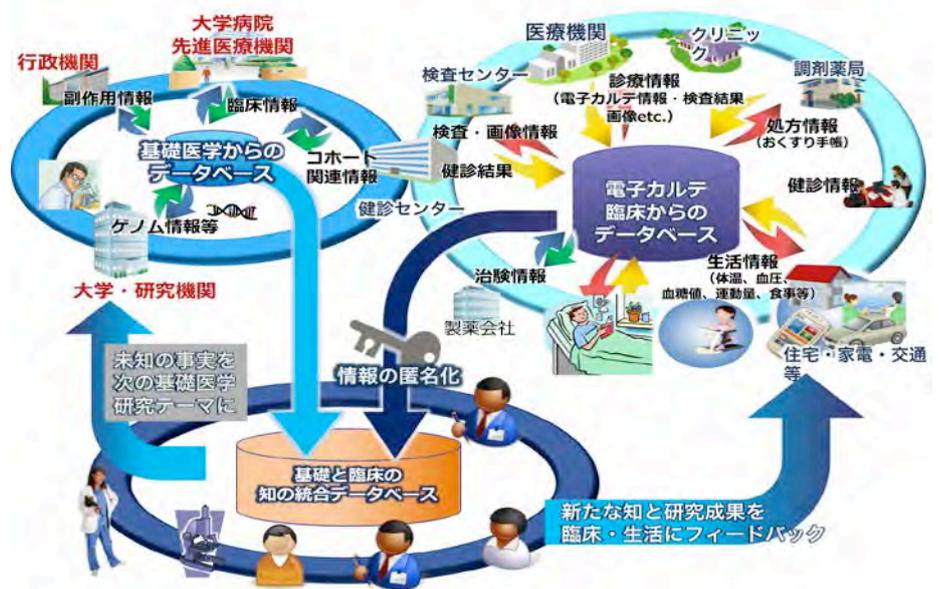
本研究計画では、基礎研究の知と臨床医学研究の知を統合して両研究へ還元する「基礎と臨床における医学知の統合と循環」を実現する。このため、国際標準に準拠した臨床情報の収集とそのビッグデータからの知の生成のための情報基盤と研究支援のための臨床情報解析基盤を新たに研究開発し、開発された基盤を社会に提供することで具現化する。

1) 臨床情報の基礎研究への還元推進として、日常臨床で生成される膨大な臨床データを国際標準に準拠した形式で全国規模で統合データベース (DB) 化し、それをデータマイニングや疫学解析することによって臨床に直結しうる基礎研究課題や、創薬などの治療法開発などにつながる疫学的端緒を発見し、新たな基礎研究、臨床研究、社会医学研究への還元を目指す。

2) これを効率よく実現するために、医療機関における診療での臨床データに加えて、スマートホンなどの携帯端末から得られる生活習慣情報も蓄積できる電子健康医療情報システムと DB システムを、各メーカー固有の非標準電子カルテシステムに頼るのではなく、前記の DB 解析システムに直結できる高品質データを生成する臨床研究指向の標準電子カルテシステムとして開発し、その情報基盤を整備し提供する。

3) 基礎研究から臨床への実用化推進として、基礎から臨床の知の連結・統合化を加速するために、基礎の知と臨床の知を構造化した連合知識 DB (オントロジー) を構築し、両研究領域からシームレスに活用できる基盤を開発する。また、この技術の長所を生かすべく、英語や他言語との情報変換のためのツールの開発も併せておこなう。

4) 本研究により開発されたシステムで、患者ごとに治療内容や治療効果等を登録する新たな DB を構築し費用対効果を検証する。とくに、既に手術内容に関する DB を構築している日本外科学会や、同様の仕組みを検討している日本循環器学会とも連携して進める。



② 学術的な意義

本研究の学術的意義は、日常臨床で蓄積される臨床情報を全国規模で標準データベース化し系統的に解析することによって、未知の研究端緒を得られ、それが新たな臨床に将来結びつく基礎研究課題や臨床研究課題が得られることである。また日常臨床から得られる大規模データベースを研究利用できることは、多様な着想にもとづく新たな基礎研究、臨床研究、社会医学研究のパイロットスタディーやシミュレーションスタディーを活性化させる。さらに、臨床医学の質とアウトカムの評価を極めて効率的かつ高品質に実現することができる。特にデータベース集積がある疾患において患者全数をカバーできるような規模に成長した場合には、従来のサンプリング方式による解析にくらべて極めて信頼性の高いエビデンスを低コスト、短期間で得ることができる。臨床アウトカムの評価や薬剤副作用の発生状況の把握、多剤併用時の予期しない臨床イベント発生率の解析などが、リアルタイムかつ低コストで実現できることとなり、新たな創薬や臨床研究に課題を提供できる基盤となる。また大規模臨床データのように、欠損値を多く含み、多様なデータタイプが混在する多項目時系列データベースから新たな知の端緒を発見するためのデータマイニング手法、知識発見手法の開発研究は、インターネット上に蓄積される大規模情報検索や集合知解析技術の新たな応用手法の発展に直結する。このように、本研究計画がめざす臨床情報データベース基盤は、国際治験・臨床研究の基盤、他国との患者情報交換の基盤になりうる最重要基盤のひとつである。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

電子医療データを複数機関で統合して副作用発見、臨床疫学解析、医療経済研究に資する研究は国内では本計画の実施機関や、米国、台湾、欧州などで進展しつつあり、断片的ではあるが一定の成果が得られ始めている。この際に必須となる臨床情報標準化の研究も国際標準が一定程度定められ、国内でも、本研究計画の実施計画機関を中心として日本医療情報学会、関連する工業会、厚労省が連携して推進しており、一部領域ではその成果が標準規格となっており、本研究計画の実施計画機関などで実証研究が進められている。内閣府最先端研究開発支援プログラムでも臨床情報の標準化情報基盤の構築研究、ビッグデ

ータ解析基盤の医療への応用研究も進められている。また臨床知の構造化による知識データベース（オントロジー）の開発研究が東大と阪大との共同で行われている。本研究計画はこれまでの研究成果を進展させ、データベース研究チームが個別に情報の統合化、標準化、解析ツールの開発、環境構築に時間と経費をかけずに大規模高品質統合データを効率よく生成、集積、解析できる、全国規模の医療機関、臨床研究機関を貫く研究指向型標準情報基盤を実現する研究計画である。

④ 所要経費

最初の5年でデータベース構築、システム開発を行い、その後10年間運用とデータベースの維持拡張を行う。

総額：205億円（10年間）

内訳：

- 1) 拠点整備 総額90億 初期：60億（期間5年計） 運用経費：3億×10年＝30億
・臨床情報統合データベース構築 医療機関側初期50億円（100医療研究機関×0.5億円）、DBセンター初期10億円（データベース構築、開発）、DBシステム運営 2億円/年×10年 計20億円、人件費：1億円/年（10人）×10年 計10億円
- 2) 開発研究 総額95億 初期：65億円（期間5年計） 運用経費：3億円×10年＝30億円
・臨床情報統合データベース・解析システムの研究開発 初期：開発期間5年計15億円、継続費：1億円/年×10年 計10億円
・研究指向型標準電子カルテ研究開発 初期：開発期間5年計40億円、継続費：1億円/年×10年 計10億円
・統合オントロジー研究開発 初期費：開発期間5年計10億円、継続拡張費：1億円/年×10年 計10億円
- 3) 一般管理費 総額20億

⑤ 年次計画

最初の5年でシステム設計、開発し、その後10年運用しつつ拡張する。

26～30年度：

- ・臨床情報統合データベース（以下FCDB）の設計を、既存の国内研究事業のリーダーの合同チームを形成して行う。3～4年次にはFCDBの開発と研究指向型標準電子カルテの連動設計を行う。
- ・研究指向型標準電子カルテの設計に関する研究開発を、学会、工業会、関連団体等とともに、関係省庁とも連携しながら実施する。3年次からは実際にシステム開発を開始するとともに、全国の主要医療機関の既存情報システムとのデータ連動機構を各メーカと共同研究開発し、主要医療機関への導入を試行。4年次目から本格展開を開始し、FCDB集積を開始する。
- ・臨床医学オントロジーと直接関連する基礎医学領域の知識、特に分子薬理、細胞内情報伝達、遺伝子変異情報などの知識の構造化によるオントロジーの設計開発を行う。第3～4年次には、臨床医学オントロジーと直接関連する基礎医学領域の知識オントロジー構築を開始する。

31～35年度：

FCDBを主要医療機関からの実データにより構築し第5年次には第三者研究者による利用を試行開始し、第6年次から一般研究者も利用可能とする。一方、データ品質バリデーションを行い、必要な精度情報を医療機関側システムにフィードバックして精度修正を促すシステムの開発と運用を目指す。

⑥ 主な実施機関と実行組織

主な実施機関：日本医療情報学会、◎東京大学大学院医学系研究科、○浜松医科大学、大阪大学、九州大学、川崎医療福祉大学、帝京大学※、東北大学※

主な協力機関：医療情報システム開発センター（MEDIS-DC）、保健医療情報システム工業会（JAHIS）※、National Clinical Database（NCD）※、日本外科学会※、日本循環器学会※（※の機関は本応募時には交渉中もしくは交渉予定である）

実行組織における主な機関の役割は、以下を予定している。

東京大学および日本医療情報学会：全体の統括、自治医大：基礎知と臨床知の統合解析技術の開発と臨床データ統合、浜松医大：臨床情報統合データベースの設計と構築、九州大学、帝京大学、大阪大学：研究指向型標準電子カルテシステムの設計と開発、MEDIS-DC：医療機関へのシステム導入支援と既存システム接続支援、データベースセンターの運用、オンサイト解析センターの運用、東北、自治医、東京、浜松医、大阪、川崎医療福祉、九州の各大学にオンサイト解析センターを設置。

⑦ 社会的価値

臨床医学の質とアウトカムの評価を極めて効率的かつ高品質に実現することができる。特にデータベース集積が、ある疾患において患者全数をカバーする規模に成長した場合には、信頼性の高いエビデンスを低コスト、短期間で得ることができる。臨床アウトカム評価や薬剤副作用発生状況の把握、多剤併用時の予期しない臨床イベント発生率解析などが、リアルタイムで低コストで実現でき、新たな創薬や臨床研究に課題を提供できる基盤となる。このように、本研究計画がめざす情報基盤は、国際治験・臨床研究の基盤、他国との患者情報交換の基盤になりうるもので、経済的・産業的価値が大きい。国民にとっても、効率的な医療情報利用が安全でコスト効率の良い医療の実現と健康保持に直結することが期待される。

そして、このような保健医療分野の行動解析の可能性も含めた情報基盤の発展は、世界で最早の超少子高齢社会を迎えた日本がこれを乗り越えるためには不可欠であると同時に、将来の世界貢献の主要な基盤技術となりうる。

⑧ 本計画に関する連絡先

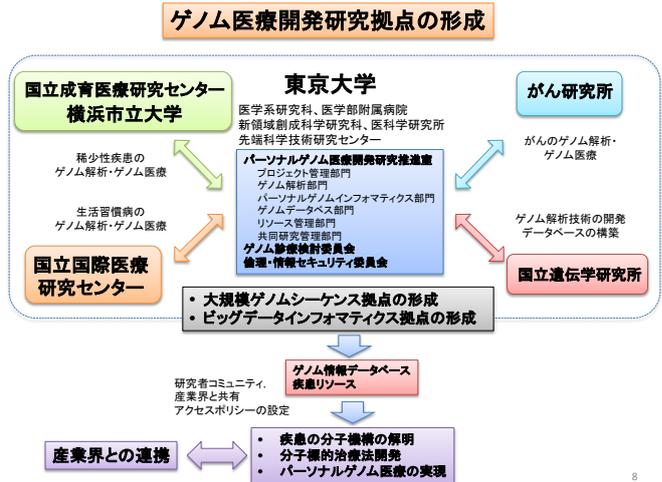
大江 和彦（日本医療情報学会、東京大学大学院医学系研究科） ohe-office@adm.h.u-tokyo.ac.jp

ゲノム医療開発研究拠点の形成

① 計画の概要

本研究拠点では、わが国のゲノム医療のヘッドクォーターとして、ゲノム解析技術、情報解析、ゲノム診療のスタンダードを作り上げる「ゲノム医療開発研究拠点」の実現を目指す。国民の健康維持・増進を飛躍的に向上するために、疾患の発症機構を分子レベルで解明し、その分子病態に効果的に介入する革新的な治療法を開発する。近年のゲノム解析技術の飛躍的進歩の結果、パーソナルゲノム（個人の全ゲノム配列）を読み解くことが可能となり、遺伝性疾患のみならず、頻度の高い多因子疾患、体細胞変異が重要な役割を果たすがんにおいて、疾患発症に関わるゲノム上の多様性（生殖細胞上の変異や、体細胞に生じる変異）を解明することが重要な課題となっている。

本研究拠点では、次世代シーケンサーを用いた大規模ゲノム解析拠点、ゲノムインフォマティクス拠点を整備し、稀少難病、生活習慣病、がん、の3領域に重点を置き、十分な検出力が得られる解析規模を設定した上で、疾患発症に関わるゲノム多様性を明らかにし、疾患の分子機構を解明する。その成果に基づき、疾患の分子機構に介入する真に有効な治療法を開発する。さらに、電子カルテ情報をはじめとした臨床情報との統合的な連携の上に、個々の患者の持つゲノム多様性に基づいて、診断、治療法を最適化するパーソナルゲノム医療の開発研究を進める。インフォマティクス分野は日本で極度に人材が不足している領域であり、メディカルゲノムインフォマティクスという新しい分野の人材育成拠点としても整備していく。研究拠点で得られる、疾患リソース、ヒトゲノム情報は、大規模なものとなり、公的バンク、公的データベースに登録し、研究者コミュニティが幅広く活用でき、わが国のゲノム医学研究が発展する基盤としても整備をする。



② 学術的な意義

ゲノム解析技術の飛躍的な進歩により、ゲノム解析情報を、治療法開発、診療に活用していくという、translational genomicsの実現が、今後の医療において、診断、治療の最適化、医療経済の効率化の原動力になると期待される。遺伝性疾患のみならず頻度の高い多因子疾患、さらには体細胞変異が重要な役割を果たすがんにおいても、ゲノム多様性が疾患発症に深く関わっていることが明らかになりつつある。疾患発症に関わるゲノム多様性を解明し、その分子機構を明らかにすることで、真に有効な治療法が開発が初めて可能になる。最近の研究で、アレル頻度が低く、影響力の大きいゲノム多様性が疾患発症に関与していること、低頻度アレルは、近年の人類の爆発的な人口増加の過程で発生したものが多く、人種毎に大きく異なっていることが明らかにされており、低頻度アレル・日本人ゲノムの多様性に焦点を当てた大規模ゲノム解析研究の展開が必須となっている。さらにがんにおいてもがん細胞と正常ペア検体との差分から、発がんのドライバー変異となっている体細胞変異を、大規模解析に基づいて解明することが重要となっている。ゲノム医学研究においては、高精度の臨床情報とゲノム解析を統合した解析が重要であり、疾患リソースの果たす役割が極めて大きく、高度な診療を実践している医療機関を中核に構築していくことが重要である。疾患発症に関与するゲノム多様性は、治療法開発研究のシーズとして重要であり、これらを、研究者コミュニティ、産業界が積極的に活用することで、新規の治療法開発研究が飛躍的に加速され、その果たす役割は大きい。また、メディカルゲノムインフォマティクスの分野に精通した人材育成は、わが国で喫緊の課題となっており、その意義は極めて高い。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

次世代シーケンサーを用いた大規模ゲノム解析は、米国（Broad 研究所、ベイラー大学、ワシントン大学など）、英国（Sanger 研究所）で発展している。また、中国においても BGI という研究所が大規模なゲノム解析を進めている。これら大規模解析拠点では、がんゲノムの解析も重点的に推進しており、米国のがんゲノムプロジェクトでは 2013 年 3 月現在で 7800 例を越えるがんゲノムの網羅的解析を完了している。国際共同研究として国際がんゲノムコンソーシアムが開始され、わが国は肝臓がんを分担している。米国では電子カルテとゲノム情報を統合する多施設共同研究 eMERGE (electronic medical records and genomics) が開始されている。わが国では、このような拠点整備が遅れている。

④ 所要経費

疾患発症の要因となるゲノム多様性の解明においては、低頻度アレルを含めた網羅的解析が重要で、遺伝統計学的上、十分な検出力を達成するために、解析の大規模化が必須である。がんの体細胞変異の解析においては、低頻度に存在する体細胞変異を検出することが必要で、高い被覆度でのゲノム解析を多数症例に対して行うことが重要となり、この点においても、解析の大規模化が必須である。以上より、次世代シーケンサー、計算機を十分な規模で装備した拠点整備が必須となる。研究推進

の上で大規模リソース収集が重要となるので、疾患リソース収集管理部門を整備する。ゲノム医療において必須となる専門家（ゲノムトランスレータ、遺伝カウンセラー）の人材育成を進める。以上より、総計で 174 億円を必要とする、その内訳を以下に示す。

- ・次世代シーケンサー（15 台）として 15 億円
- ・ゲノムインフォマティクスのための計算機として 50 億円
- ・ゲノム解析費用として 75 億円
- ・リソースの収集・管理システムとして 5 億円
- ・人件費 50 人 28 億円
- ・電子カルテの臨床情報とゲノム情報を統合するデータベースの構築 1 億円

⑤ 年次計画

平成 26 年度：大規模ヒトゲノム解析拠点、ゲノムインフォマティクス拠点を整備する。次世代シーケンサーについては、新機種の開発が進むと想定されるので、平成 27 年度以降も継続して導入し、計算サーバも継続して増強する。リソースの収集・管理拠点を整備し、大規模リソースの収集を進める。ゲノム多様性データベースについて、研究者コミュニティが利用できるよう、アクセスポリシーを定め IRB 承認の手続きを進める。電子カルテの臨床情報を匿名化してゲノム情報と統合するデータベースの開発を開始する。パーソナルゲノム医療の開発については、実現性の高い分野についてモデル事業を開始する。

平成 27 年度：大規模ゲノム配列解析を推進し、疾患発症に関わるゲノム多様性の探索を進め、疾患の分子病態機序を解明する。ゲノム多様性のデータベース構築を開始する。電子カルテの臨床情報とゲノム情報の統合を進める。パーソナルゲノム医療開発研究を進め、対象とする疾患分野を拡張するとともに、診療へのトランスレーションを開始する。

平成 28 年度～30 年度：大規模ゲノム解析を進め、ゲノム情報と電子カルテの臨床情報を統合した解析を実施し、疾患発症・重症化や予後に関連したゲノム多様性を明らかにし、治療法開発のためのシーズ開発、産業界へのトランスレーションを進める。また、これらの解析を担う若手人材の育成を育成するため、定期的にセミナーやシンポジウムを開催する。

平成 29 年度～32 年度：パーソナルゲノム医療を診療の場に普及する活動を推進する。大規模ゲノム解析のためのゲノムインフォマティクスの専門家、医師、患者に大規模ゲノム解析の結果を伝える専門家（ゲノムトランスレータ）、遺伝カウンセラーなど、新規に必要な人材の育成を行い、医療機関における新規の職種として実現していく。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東京大学医学部附属病院、同大学院医学系研究科、同大学院新領域創成科学研究科、同医科学研究所、同先端科学技術研究センターが実施の中心となる機関として研究を推進する。役割分担として、国立遺伝学研究所がゲノム解析技術の開発・データベースの構築を、国立成育医療研究センター・横浜市立大学が稀少性難病を、国立国際医療研究センターが生活習慣病を、がん研究所ががんを担当する。

実行組織として、東京大学医学部附属病院内にパーソナルゲノム医療開発研究推進室、ゲノム診療検討委員会、倫理・情報セキュリティ委員会を設置し、次のような役割分担を行う。

- ・パーソナルゲノム医療開発研究推進室
- ・プロジェクト管理部門：大規模ゲノム解析プロジェクトのマネージメント、アウトリーチ活動を担当する
- ・ゲノム解析部門：次世代シーケンサーを用いた大規模ゲノム解析を担当する
- ・パーソナルゲノムインフォマティクス部門：次世代シーケンサーによって得られるパーソナルゲノム情報から、ゲノム多様性を解析、臨床情報を統合した、遺伝統計学的解析を担当する
- ・ゲノムデータベース部門：パーソナルゲノム情報をデータベース化し、その維持管理を行う。個人のプライバシーに十分な配慮をした上で、研究者コミュニティが研究に活用できるように、データの性質に応じて、公開、制限付きアクセス(authorized access)による提供を行う
- ・疾患リソース収集管理部門：ゲノム DNA などの大規模臨床リソース、手術材料を始めとする病理リソースの収集支援、管理を行う。
- ・共同研究管理部門：全国の研究者による共同利用に関するマネージメントを担当する
- ・ゲノム診療検討委員会：パーソナルゲノム医療の実施に関連する課題の検討と、その推進を担当する
- ・倫理・情報セキュリティ委員会：ゲノム解析、ゲノム情報、臨床情報の扱いなどについての倫理面の検討、情報セキュリティのマネージメントを担当する

⑦ 社会的価値

疾患の診断、治療法において、革新的な進歩を提供するという点で、その社会的価値は極めて高い。本研究拠点で行う研究は、大規模な研究となり、研究費も必然的に大規模となることから、国民の理解と支援を得ることが必須になる。そのために、このプロジェクトで得られるゲノム多様性の情報など、研究者コミュニティ、産業界が広く活用できる仕組みを作ることが重要になる。本研究拠点の成果から、治療法開発研究に対するシーズとして膨大な数のものが得られるので、その知的財産を確保するとともに、シーズを積極的に産業界に提供することにより、創薬研究の分野が大きく発展することが成果として期待される。がん治療薬については、がん医療の均てん化、我が国の医薬品開発を加速化する上で重要な基盤となる。

⑧ 本計画に関する連絡先

辻 省次（東京大学大学院医学系研究科） tsuji@m.u-tokyo.ac.jp

放射線医科学イノベーション創出に向けた統合コンソーシアムの形成

① 計画の概要

放射線医療は、疾病診断やがん治療等の中核を担い、分子イメージングや粒子線治療等の先端医療を先導してきたが、先般の原発事故以降放射線の人体影響への社会的関心が高まり、そのリスクと便益の科学的評価と安全の担保が求められている。本計画では影響(リスク)と医学利用(便益)の研究領域を融合し研究を推進するため、当該分野の中核機関と医・工・薬・生物・情報科学等の研究者が結集するコンソーシアムを形成する。この仕組みを活用し、1)放射線診療の情報収集基盤整備、2)ヒトおよびモデル動物における線量と影響の情報を包括したデータベース(DB)構築、1)2)のための基礎基盤研究の推進を目標に、以下のテーマで拠点と全国関連機関がネットワークを構築し、共同研究や人材交流・育成を実施する。

A. 放射線治療：外部照射の治療効果と照射野外低線量被ばく領域での発がん影響に関する多数施設での情報収集、放射線治療の個人履歴記録の制度設計、革新的技術による治療法開発を行う。B. 放射線診断：被ばく者の低減化と適正化、がんの集学的診断法の標準化に向けた研究と情報収集を行う。C. 放射線疫学：医療被ばく等の国民の被ばく実態を調査し、線量や健康影響情報を収集する。D. 放射線生物：幹細胞の変異誘発機構、分化細胞のがん幹細胞化等を研究し、動物とヒトのデータ連結に必要な情報を収集する。新たな拠点を整備し、治療の有効性向上や治療効果・有害事象予測のための治療生物研究を推進する。E. 被ばく医療：再生医療技術等を利用した治療法を開発する。F. RI内用療法：新たな拠点を整備し、がん治療用RI製造や線量評価の技術開発を行う。

得られた線量、健康影響、医療効果等の情報はDBに加工し(ナショナルデータセンターの設立)、放射線影響の新たなエビデンス確立、放射線治療と防護の最適化に資することで新たなイノベーション創出に繋げる。

② 学術的な意義

本計画の最終目標は、放射線診断の最適化、がんの状態や治療歴を考慮した個々の患者に最適な個別化治療法の確立、合理的な放射線防護による安全確保にある。こうした臨床医学的・社会的成果を得る過程で、数多くの基礎・基盤的研究成果を創出できる。

・がん誘発等の長期的放射線リスクの蓄積の場である幹細胞を対象としたDNA損傷、細胞周期制御、染色体安定性、細胞情報伝達系等の細胞生物学的研究成果と医療被ばく等の疫学データを連結させることで、放射線と生体影響の因果関係や機構解明が飛躍的に進み、放射線発がんの閾線量や放射線影響の発生抑制という課題が解決できる。放射線治療患者の二次発がんの検証は放射線生物影響の大きなエビデンスに繋がる。

・放射線誘発DNA損傷を人体影響とがんの損傷という両面から解析することで放射線治療研究への学術的発展が期待できる。また放射線発がんの機序解明は難治がん全体の克服に大きく寄与する。同様に放射線の免疫機能や心血管・代謝への影響の機構研究はそれぞれの関連疾患の研究に大きく役立つ。

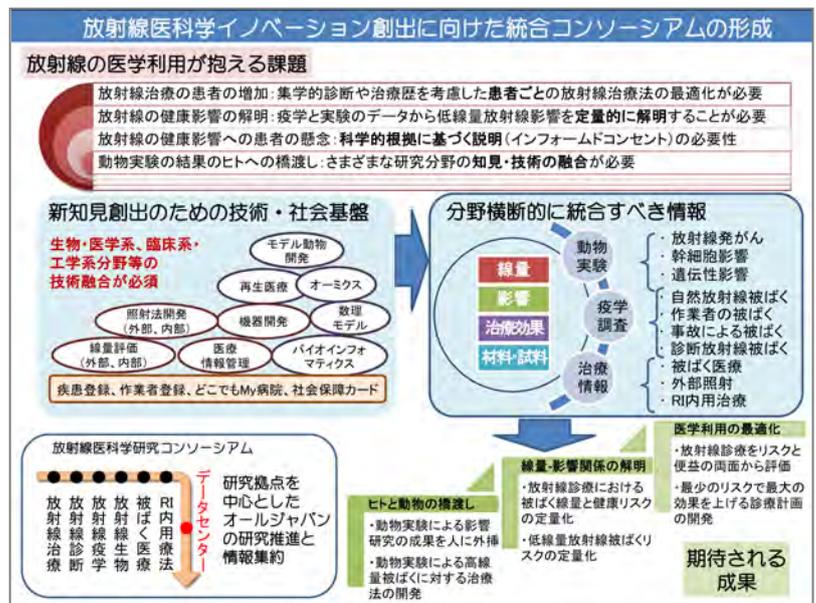
・計画終了後はバイオインフォマティクスや数理生物学的手法の本格的導入により、放射線影響研究分野で価値の高い研究成果を輩出でき、日本の持続的な貢献が見込まれる。

・異なる線質の照射や対象(細胞・動物・ヒト)を包括して影響や効果に関するDBを構築する過程で、放射線防護分野の国際的課題である線量概念や線量評価手法について先導的な考え方を提示できる。特に線量評価の不確かさが大きい内部被ばく線量評価に関して、内用療法の開発過程において放射性核種の生体内・細胞内動態や生物学的効果に基づく正確な線量評価を可能にする。

・ヒト-モデル動物間やin vivo-in vitro間の反応性の差異、in silico研究への発展といった成果は、医薬品開発や化学毒性研究等に直接応用できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

原爆被爆者のデータを放射線防護の基幹にまで高めた我が国の放射線影響研究に対する国際的評価は高く、WHO、IAEA、OECD/NEA、学際的欧州低線量イニシアティブ(MELODI)等国際プロジェクトの中で重要な役割を担っている。本計画では日本が特に期待されている動物実験と医療被ばくの実態調査を実施する。



放射線医学利用研究は、国民の健康増進への貢献度が高いと同時に、国際競争力の高い分野である。本計画において、放射線治療分野では引き続き世界を牽引し、内用療法分野では欧米が先導するアルファ線核種の利用研究に参入する。また放射線診断分野では我が国の状況に応じた医療被ばく防護体系を構築する。

一方、放射線治療歴のデータ集積やがん登録の整備、医学利用の実態把握、内用療法の診療体制整備は、欧米に比べ遅れており早急に進める必要がある。さらにはEBMやインフォームドコンセントが求められる中、モデル動物とヒトのデータの連結による低線量放射線のリスク評価や機構解明も必要とされている。これらはいずれも非営利的な活動を長期間継続する必要があるため、国家あるいは超国家的なプロジェクトでしか実現できない。

④ 所要経費

総予算 280 億円

初期投資 140 億円（内訳：ナショナルデータセンター建設費 20 億、拠点の大型研究設備整備費 120 億）；運営費 140 億（内訳：14 億 X10 年）

⑤ 年次計画

平成 25～34 年度(10 年間)の計画終了までに、1)放射線診療情報を全国レベルで収集するための制度設計ならびに 2)放射線影響の疫学・動物実験・分子解析情報を登録した「ナショナルデータベース」の公開を行う。具体的には以下の通り。

平成 25 年度：各研究拠点を中心にテーマ内の重点研究課題を設定し、公募あるいは指定により国内の協力研究機関を定め、基礎・基盤研究、多施設臨床研究あるいは情報集約に着手する。

平成 25～27 年度：ナショナルデータセンターの建設ならびに拠点の大型研究施設整備を行う。

平成 28～34 年度：研究コンソーシアムで得られた成果は各拠点が整理した上で、「線量」「影響」「診療効果」に関する情報をナショナルデータセンターに集約する。

平成 32～34 年度：放射線診療（外部照射診断、核医学検査、外部照射治療、内用療法）の情報収集のフェジビリティスタディを実施する。

また各テーマのマイルストーンは以下の通り。

A. 放射線治療：平成 31 年度までに、多施設共同研究により放射線治療情報、治療効果(予後)、および二次発がんのデータを連結する。

B. 放射線診断：平成 31 年度までに、被ばく線量低減や治療成績と連結した画像診断の高度化・標準化を行う。

C. 放射線疫学：平成 31 年度までに、モデル地区において、放射線診療の線量情報と社会保障カードやeヘルスレコードといった社会基盤との連結を行う。

D. 放射線生物：平成 27 年度までに組織幹細胞を分離・分取する技術や特定幹細胞を追跡できる系統マウスの開発などを行う。

E. 被ばく医療：平成 32 年度までに、高線量被ばくした局所の治療法に関する前臨床研究を行う。

F. R I 内用療法：平成 29 年度までに治療による被ばく線量（細胞内、細胞レベル、組織、個体）の評価手法を確立する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

北海道大学、環境科学技術研究所、福島県立医科大学、東京大学、放射線医学総合研究所、京都大学、放射線影響研究所、広島大学、九州大学、長崎大学などの研究拠点が国内外の大学・研究所・医療機関と連携してテーマごとの研究を推進する。

また研究コンソーシアム全体の運営（拠点間の連携、関連省庁との調整等）は放射線医学総合研究所が、データ集約は東京大学が担当する。

日本医学放射線学会、日本核医学会、日本放射線影響学会、日本放射線腫瘍学会、日本医学物理学会、医療被ばく研究情報ネットワーク（医療被ばく関連学協会等の連合体）等の学術コミュニティは、それぞれの重点研究課題選定や情報集約の協力、多施設共同研究の主導等を行う。

⑦ 社会的価値

放射線診断の最適化及び個々のがんの特性や治療歴を考慮した最適な放射線治療法の確立とイノベーション創出は本計画究の最終出口の1つである。日本ではがん患者の約3割が放射線治療を受け（欧米では約6割）、今後その割合はさらに増加すると予想され、本計画の国民の健康増進への貢献度は極めて高い。また日本の放射線医学利用における基盤技術・要素技術は世界的にも高いレベルで、本計画の基盤研究の成果となる機器（例：正常組織への影響が少ない治療装置）や放射線診断の線量評価システムには高い産業的価値がある。

一方本計画が目指す放射線医科学DBの構築や放射線診断や治療情報収集のための基盤整備は非営利的であるが公共性が高く、新たな知の創造のツールとしての価値が高い。

加えて原発事故を契機に生じた国民の放射線への懸念に応え、放射線健康影響研究の成果を基に日本の独自性を勘案しつつ政策決定や放射線防護・管理の合理的強化を行うことは不安解消に繋がる。放射線影響予防・低減化に資する研究成果も大いに期待できる。

さらに本計画遂行は、現在不足が懸念されている放射線医科学分野の研究や教育を担う人材の育成に直結している。

⑧ 本計画に関する連絡先

米倉 義晴（独立行政法人放射線医学総合研究所） yonekura@nirs.go.jp

健康・医療・介護に関わる統合データベース構築および データベース活用に係わる教育・研修のためのナショナルデータセンター構想

① 計画の概要

わが国には国民健康栄養調査、医療施設調査、患者調査、レセプトNDB、介護給付実態調査など多くの健康・医療・介護等に係わる政府統計・行政資料がある。これらの集計データを用いた研究は少なくないが、個票データを用いた研究は極めて少ない。個票データ利用のためには行政府への利用申請が必要であり、その過程で多大な労力や期間、データハンドリング技術を要するため、長らく研究利用が進まなかった。

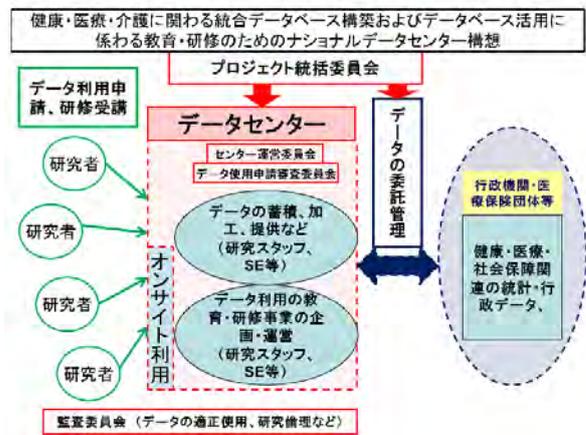
2007年の統計法全面改正によって公的統計の研究利活用の機運は高まっているが、医療関連の個票データについてはいくつか障がい指摘されている。とりわけ、データ提供を行う行政機構内で、いわゆるビッグデータの加工や個人情報保護を遂行するための専門の人材やノウハウ、財源が不足している。一方で、政府統計・行政資料以外の医療関連のビッグデータを用いた研究や、大規模な医療保険データ等に基づく種々の情報提供を行う民間シンクタンクも出始めており、行政機構外における専門の人材やノウハウは蓄積しつつある。

本プロジェクトの目的は、わが国の健康・医療・介護に関わるナショナルデータを集積し、統合的データベースを構築するとともに、そのようなデータベース活用に係わる教育研修を行うナショナルデータセンターを創設することである。データベース構築にあたっては、秘匿度の段階に応じた情報管理等を条件に政府統計・医療介護保険等のデータの委託管理に向けた関係省庁・保険団体との折衝を重ねる。また、データ利活用に向けた社会に対する広報・アドボカシーを行う。委託管理の可能になったデータから順次、試験的提供やデータ利用に係わる研修事業を行って、データセンター運用のノウハウを蓄積する。本プロジェクトにより、健康・医療関連の制度・政策研究の推進や、少子高齢社会における社会保障のあり方を広く議論するための科学的エビデンスの蓄積が促進されると考えられる。

② 学術的な意義

健康・医療・介護分野においては、ナショナルデータベースの必要性と実現可能性が高い。その理由は、第1に、偏りのない人間集団を対象にした、十分な数の調査サンプルが必要であること、第2に、診療記録や医療・介護保険業務の電子化に伴って膨大なデータが実際に蓄積しつつあること（医療保険の請求書であるレセプトは年間数十億件発生する）、第3に、近年、国民の医療へのアクセスや健康の格差拡大が懸念されており、この分野の制度・政策研究が急務であることなどが挙げられる。

前述したように、わが国には多くの健康・医療・介護関連の政府統計・行政資料があるが、従来の研究は公表された集計値のみを用いたものが多く、個票データを用いた研究はさきわめて少ない。その理由は、個票データの利用にあたっては、行政府への利用申請と承認が必要であり、その過程で多大な労力や期間を要し、また承認が得られたとしても、データの規模が大きく構造が複雑な場合、高度のデータハンドリング能力が必要であり、そのようなノウハウをもたない研究者（とりわけ若手研究者や少人数の研究グループ）には敷居が高かったことが挙げられる。一方、行政機構内でも、いわゆるビッグデータの加工や個人情報保護を遂行するための専門の人材やノウハウ、財源は不足している。これらの状況は統計法全面改正以降も大きくは変わっていない。この状況を打破するためには、健康・医療・介護関連の制度、データハンドリング、研究実務に習熟した十分数の人材（critical mass）を養成・集約することが必要である。本プロジェクトでは、データベース構築とその加工、データ取扱の教育・研修などについて、それらに特化した組織を設置し、そこで一元的にデータを扱うことで専門の人材を養成・集約するとともに更なるノウハウを蓄積し、もつ



健康・医療・介護の政府統計・行政データ利活用に向けた課題

データの収集、アーカイブ化
匿名化ノウハウの蓄積
法的・倫理的な検討

- (例えば匿名化については)
- 以下の手順・手法の検討
- ✓ 識別情報の同定と削除
- ✓ リコーディング
- ✓ トップ(ボトム)コーディング
- ✓ 局所欠測化
- ✓ リサンプリング
- ✓ スワッピング、など

データの種類に応じた、データハンドリングの教育・研修
(米国ミネソタ大学・ResDAC)



研究実績のある研究機関、研究班、公的保険団体等とのネットワーク形成
社会に対するアドボカシー、国・行政・関係団体への働きかけ

てナショナルデータの利活用促進と研究の活性化を目指す。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

わが国では戦後、種々の人口統計・経済統計を用いた精緻な分析が、わが国の経済政策や社会インフラの整備に貢献してきた。そして2009年には、社会科学領域のデータセンターに向けて、一橋大学と独立行政法人統計センターが連携協力協定を締結した。2011年には、生命科学領域でもナショナルデータベース構築を目指して、独立行政法人科学技術振興機構にバイオサイエンスデータベースセンター (NBDC) が設置された。海外においても、様々なナショナルデータベースが構築され、健康・医療分野における個票データの利活用も進んでいる。例えば、米国連邦政府の運営する高齢者等対象の医療保障制度メディアケア (対象者数約4000万人) に基づくデータベースには、患者や医療機関、診療内容、医療費などの情報が含まれており、他の資料との連結も可能である。当該データベースを利用すべき学術上の必要性を明示できれば、研究者はこの情報を利用することができる。このデータベースの運用と研修を行う組織として、ミネソタ大学に ResDAC というデータセンターが設置されている。本プロジェクトは、このような先行する国内外の組織の調査や協力を得て推進する。

④ 所要経費

センター (後述する2箇所) の運営に係わる年間経費は、総額で3億円程度を想定している。内訳は施設のスペース費用 (関東および関西、それぞれ年間1200万円、800万円)、データ保管用サーバーおよび操作端末リース費用 (年間2500万円×2)、教育・研修用サーバーおよび利用者端末リース費用 (年間1000万円×2)、光熱費・消耗品費用 (年間500万円×2)、研究・運営スタッフ (博士号保持者等、4名) 人件費 (年間5000万円×2)、システムエンジニア・技術スタッフ (修士号保持者等、5名) 人件費 (年間5000万円×2) である。

⑤ 年次計画

1年次：プロジェクトチーム結成、センター構想の立案。

2年次：センター構想の提言、政府統計・行政資料データの委託管理に向けた関係省庁等との交渉開始、社会に対する広報・アドボカシー。

3年次：センター設置、関係省庁等との交渉継続、一部データの収集・加工・蓄積、研修プログラムの立案。

4年次：データ収集・加工・蓄積の継続、モデル研修プログラムの実施。

5年次～6年次：一部データの試験提供の実施・評価、モデル研修プログラムの評価。

7年次～9年次：データ提供の実施、研修プログラムの実施。

10年次：活動評価。

⑥ 主な実施機関と実行組織

利用者の利便性を図るため、東日本、西日本に1箇所ずつ、総合大学等のキャンパス内にスペースを借用し、センターを設置する。各センターには、外部委員を含むセンター運営委員会、データ使用申請審査委員会を設ける。また、両センターの活動を評価するとともに、本プロジェクトを統括するプロジェクト統括委員会を設置する。また、これらの組織とは別に、データの適正使用や研究倫理に関して監査を行う監査委員会を設置する。監査委員会メンバーは他の委員会の委員を兼任しないこととする。

上記の組織化には、関連の学会 (日本医学会、日本公衆衛生学会、日本産業衛生学会、日本衛生学会、日本疫学会、日本医療・病院管理学会、医療経済学会など) の協力を得る。

⑦ 社会的価値

急速に進む少子高齢化によって、社会保障の充実と財源確保、資源の有効活用が急務である。限られた資源を効率的活用においては、データに基づく計画策定、事業評価が不可欠であるが、健康・医療など社会保障に係わる分野における個票レベルでのナショナルデータの利活用や研究蓄積は、海外の状況に比してはまだ少ない。その主要原因として、健康・医療・介護サービスの分野におけるナショナルデータベースの構築が遅れていることや、とりわけ医療・介護関連データの構造が複雑かつ特殊であることが挙げられる。

日本学術会議 (第20期) は提言「保健医療分野における政府統計・行政資料データの利活用について-国民の健康と安全確保のための基盤整備として」 (2008年8月) を発出したが、行政機構内のマンパワーや予算の不足などの理由からその進展は遅れている。また、データの規模やその構造の特殊性から、データベース構築やその加工、データハンドリングに係わる教育・研修は行政機構内で実施するより、当該業務に特化した外部組織で行ってノウハウを蓄積して行くことがより効率的と考えられる。本プロジェクトはまさにそのような流れに沿うものである。

⑧ 本計画に関する連絡先

小林 廉毅 (東京大学・大学院医学系研究科) yasukik@m.u-tokyo.ac.jp

人獣共通感染症研究世界拠点の形成

① 計画の概要

本計画は、既に共同利用・共同研究拠点として設置されている北海道大学人獣共通感染症リサーチセンターの研究活動をより強化し、新規の学術研究領域を形成し、先回り戦略を展開すると共に、国際機関と内外の研究・行政機関・産業界と協働して、世界の感染症対策を牽引する人獣共通感染症研究世界拠点の形成を目標とする。

<基礎研究>

- 1) 自然界に存在する微生物の生態を究明し、人獣共通感染症病原体の自然宿主、自然界での存続メカニズムを明らかにする。
- 2) 人獣共通感染症の病原性、宿主域決定因子を解明する。
- 3) 病原体ゲノム進化の軌跡を明らかにし、その方向性を予測することで、新興感染症予測技術を開発する。
- 4) 数理生物学的観点から宿主-病原体関係のダイナミズムを解析し、感染症制御法を開発する。

<応用研究・学術コミュニティへの成果還元>

- 1) 人獣共通感染症の診断・治療・予防法を開発・改良し、国際社会への普及を目指す。
- 2) 病原体、遺伝子、株化細胞を人類共有の生物資源として系統的に保存すると共に、病原体のゲノム・遺伝子情報を大規模に集積する。これらのリソースを研究者コミュニティに提供する。
- 3) リスク管理専門部門を創設し、感染症対策の情報発信および関連機関への助言・指導を実施し、世界の感染症対策を牽引する。

<人材育成>

国内外の研究者、大学院生ならびに専門技術者の研修を実施し、人獣共通感染症対策専門家として世界に送り出す。また、獣医学研究科協力講座として各国からの留学生を受け入れ高度な専門教育を施す。

<国際連携>

ザンビア拠点を中心にサブサハラアフリカでの研究活動を展開する。また新規に東南アジアのタイならびにモンゴルに共同研究拠点を設置する。これらの拠点設置国をハブとしてアジア・アフリカにおける人獣共通感染症対策ならびに人材育成を推進する。

② 学術的な意義

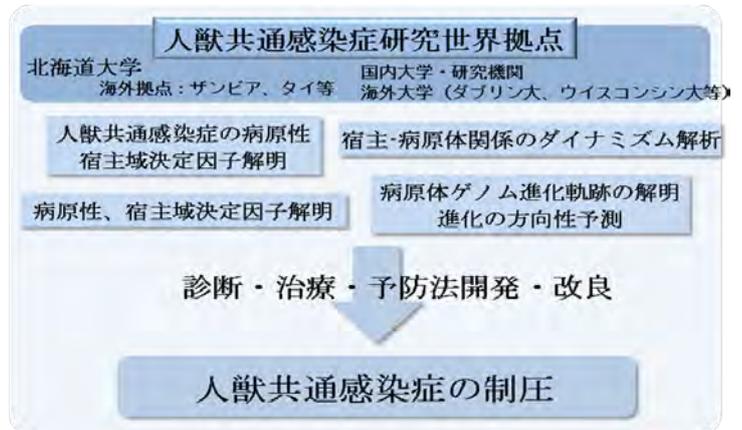
近年、ダニ由来感染症である重症熱性血小板減少症候群やインフルエンザ等、世界各地で問題となっている新興・再興感染症の殆ど全ては、自然界の野生動物が保有する微生物が偶発的にヒトに伝播して起こる人獣共通感染症である。人獣共通感染症の研究は医学、獣医学の狭間にある研究分野であり、人獣共通感染症リサーチセンターでは新たな学問領域をうちたてるべく、平成17年の創設以来、上記2分野に加えて薬学、情報科学、工学、農学、リスク管理学等の専門家を結集し世界をリードすべく研究を推進してきた。本研究は、人獣共通感染症リサーチセンターの既存の基盤をより充実整備すると共に、新規分野として数理生物学を取り込み、世界の感染症対策を牽引する人獣共通感染症研究世界拠点を形成することを目標とする。

本研究は、病原体の生態や多様性、感染における宿主特異性、病原性の発揮という多元的広がりをもった研究に、個体・集団・ゲノムレベルの進化とその方向予測という時間軸に沿った研究を付加することで、4次元的に病原体の自然界での発生・淘汰・維持機構を明らかにし、新興・再興感染症の発生予測の研究として発展させることを目指す。

現在、微視的な研究である分子生物学的攻略法を用いた感染症制圧の試みは限界を迎えている。本研究で立案する、複層的な感染症研究体制の構築は、新規の学術研究領域の形成による世界の感染症対策を牽引する目標の達成に貢献するものである。また、近年世界的に、大規模な環境破壊、未曾有の規模の自然災害が発生し、急激な産業構造転換や都市化も相まって、感染症、特に野生動物に由来する新興感染症の発生リスクが高まっている。斯かる状況において、感染症発生の最前線に、海外拠点を設置して国際共同研究を推進することは、当事国に直接のメリットをもたらす、同時に、我が国の輸入新興・再興感染症に対する先回り対策において重要である。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

重症急性呼吸器症候群(SARS)、高病原性インフルエンザ等の発生に対応し、「ヒト、動物、環境の健全性を包括的に保つことが人類の持続的発展に必要である。」という「One Health」の概念が2004年に提唱された。人獣共通感染症の研究を推進し、対策を講ずることは喫緊の国際課題である。本課題の達成には、医学と獣医学との連携に加えて、多分野にわたる科学領域を



結集した研究体制の構築が必須である。欧米諸国は既に、人獣共通感染症研究に対応すべく、研究施設の新設や研究体制の再編を進めている。米国は平成 22 年に米疾病対策センター(CDC)の組織を大幅に再編し、National Center for Emerging and Zoonotic Diseases を設立した(年間運営費 300 億円)。北海道大学は、世界に先駆けて平成 17 年に人獣共通感染症リサーチセンターを創設し、人獣共通感染症に特化した研究および対策の立案を推進している。世界の研究潮流の進行は早く、国際社会において日本がリーダーシップをとるためには、大規模予算を充当し、本計画を実現することが必用である。

④ 所要経費

経費総額：80 億円/10 年間

<当初 2 年間(基盤・体制整備・拡充期間)>

人件費(特任教員、博士研究員、研究補助員等)：3.0 億円/年

設備備品費：1.0 億円/年、消耗品費(共同研究分を含む)：1.0 億円、国内・外国旅費(調査研究、研究打合せ、成果発表、客員研究員招聘)：1.0 億円/年

創薬基盤形成：10 億円

<以降 8 年間の運営費>

人件費(特任教員、博士研究員、研究補助員等)：3.0 億円/年、設備備品費：2.0 億円、消耗品費(共同研究分を含む)：2.0 億円、国内・外国旅費(調査研究、研究打合せ、成果発表、客員研究員招聘) 1.0 億円/年

⑤ 年次計画

平成 25-26 年度

1. 既存研究部門では従来の研究を継続する。
2. 新規に 部門を設置し教員・研究員を採用する。
3. 新規海外拠点の設置準備を平成 25 年度で完了させ、26 年度から本格的な研究活動を開始する。
4. 重点推進プログラムを選定し、実施体制を整備する。
5. 共同研究課題を公募し実施する。

平成 27~30 年度

1. 重点推進プログラム、共同研究を継続的に実施する。
2. 新規、既存海外拠点での共同研究、教育訓練を実施する。

(第一次中間点検評価)

平成 31~34 年度

1. 重点推進プログラム、共同研究を継続的に実施する。中間評価の結果を反映させた研究推進を行う。
2. 新規、既存海外拠点での共同研究、教育訓練を継続して実施する。

平成 31~34 年度

1. 重点推進プログラム、共同研究を継続的に実施する。中間評価の結果を反映させた研究推進を行う。
2. 新規、既存海外拠点での共同研究、教育訓練を継続して実施する。

(最終年度：最終評価実施)

⑥ 主な実施機関と実行組織

北海道大学 人獣共通感染症リサーチセンター

海外拠点：ザンビア拠点、タイ拠点、モンゴル拠点

○海外拠点協力機関

ザンビア大学獣医学部、同国保健省 大学教育病院、 タイマヒドン大学公衆衛生学部、モンゴル農業大学

国内共同研究機関：滋賀医科大学、宮崎大学、鳥取大学、岐阜大学、東北大学、東京大学、大阪大学、長崎大学、国立感染症研究所、タイ国立衛生研究所、ダブリン大学、米国国立衛生研究所、ウイソコンシン大学、等

⑦ 社会的価値

人獣共通感染症リサーチセンターの喜田は、国内における高病原性インフルエンザ発生時に、国家的防疫を主導し、国家被害を最小限に抑えた。今後も、斯かる重大な人獣共通感染症の発生時には、行政当局と情報を共有し、その対策に協働する。人獣共通感染症リサーチセンターは WHO から「人獣共通感染症対策研究協力センター」として指定されており、研究および調査活動によって得られた結果は WHO を通じて国際社会に発信される。本計画では、「感染症を正しく理解し、正しく防ぐ」ための知識を、リスク管理専門部門が主体となって、国際社会に対して積極的に普及し、社会に実装することにより、人類の福祉向上に貢献する。

⑧ 本計画に関する連絡先

杉本 千尋(北海道大学・人獣共通感染症リサーチセンター) sugimoto@czc.hokudai.ac.jp

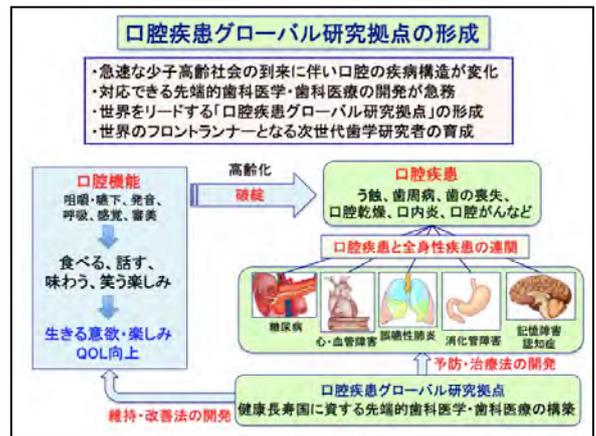
口腔疾患グローバル研究拠点の形成

① 計画の概要

我が国の歯学は、医学・工学などと連携して、ライフサイエンスとマテリアルサイエンスを基盤とした幅広い歯科医学を構築してきた。口腔は、咀嚼、嚥下、発音、呼吸、感覚、審美性の維持などの機能を遂行し、食べる、話す、味わう、笑うなどの人間の生活に基本的な活動を獲得・維持し、生きる意欲・楽しさを与えて、QOLの向上に必須な役割を担っている。しかし、近年の我が国の急速な少子高齢社会の到来に伴い口腔領域の疾病構造が大きく変化したために、それに対応する先進的歯科医療の開発が急務である。例えば、高齢者の歯周病、歯の喪失、口腔癌などは、口腔機能の障害をもたらすだけでなく、糖尿病などの内分泌疾患、心・血管系疾患、呼吸器疾患、脳疾患などの全身性疾患と関連していることが示されているが、それらの分子基盤や治療法は明確にされていない。そのため、本計画では、歯科医学・歯科医療における喫緊の重要課題を解決するために、我が国の歯学研究のフロントランナーを結集して学際的な歯学研究ネットワークを構築し、「口腔疾患グローバル研究拠点」を形成する。本拠点では、高齢者医療の進んでいる我が国の特性を活かして、世界をリードできる歯学研究の推進と先端歯科医療の開発を目標とする。具体的には、プロテオゲノミクス・バイオエンジニアリングを基盤として、1) 先端口腔基礎研究、2) 口腔疾患研究、3) 口腔疾患・全身疾患連関研究、4) 歯科デバイス開発研究の4つを基軸とした研究を推進する。そして、これらの個別的研究を基礎・臨床融合型の統合的研究へと展開させ、先端歯科医療（テーラーメイド歯科医療）の開発を行い、歯科領域における先制医療の基盤を構築する。また、本拠点では歯医工連携や産学連携を強化した歯科医療イノベーションの創出を目指し、少子高齢社会に資する先進的歯科医学・歯科医療を開発して、国民の口腔機能回復、健康維持向上を図る。

② 学術的な意義

我が国の歯学は、1906年に医師法、歯科医師法が別々に制定されて以来、医学・工学との連携を維持しながら歯科医学・歯科医療を構築し、現在までに29の歯科大学・歯学部が設立され、幅広い分野の研究を展開している。全国の歯科大学・歯学部のフロントランナーが大学の垣根を越えて結集し、基礎・臨床融合型の学際的な「口腔疾患グローバル研究拠点」を形成することは、我が国の歯学に新たな展開をもたらし、現在までに築いてきた歯科医学を飛躍的に発展させる学術的な意義がある。また、本計画の推進により、我が国の歯科医療を「経験的事実に基づいた歯科医療」から「メカニズムの理解を基盤とした安全で質の高い歯科医療を国民に提供し、歯科医療における先制医療の基盤構築も期待できる。これらの成果を世界に発信することにより、超高齢社会における歯科医療の国際的リーダーシップをとることが可能となる。さらに、近年、歯周病などの口腔疾患が心血管系疾患、糖尿病などの病態と密接な関連を有していること、咀嚼などの口腔機能が脳機能を賦活し、健康の向上に関与していることなどのエビデンスも集積されているため、本計画の推進は医学領域へも波及効果をもたらすと期待できる。また、我が国の歯科医学は工学系との連携により、新規歯科材料の開発などに大きな貢献をしており、本研究拠点の形成により、マテリアルサイエンスの発展にさらに貢献できる。本計画では歯科産業界を中心とした学際的な産学連携研究を推進するので、新たな歯科医療イノベーションの構築に大きな貢献が期待できる。さらに、本計画の推進は、臨床指向（開業医指向）の顕著な欧米、アジア諸国に科学的な根拠に基づいた先進的歯科医学を推進する「モデル国」としての範を示すとともに、我が国から新たな歯科医学の潮流を世界に向けて発信する契機にもなる。



③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内外の歯学研究の動向を把握するために、日本学術会議歯学委員会が中心となって歯科医学の現状と国際比較に関する調査を実施した。調査結果「我が国における歯科医学の現状と国際比較 2013」は、日本学術会議歯学委員会の「報告」として公表した。本調査により、我が国の歯学における基礎研究および臨床研究の多くの研究分野は「研究水準は非常に進んでいる」と評価できたが、その成果を社会還元するための「技術開発水準」「産業技術力」をさらにレベルアップする必要があることが明確になった。また、米国では、NIHにNational Institute of Dental and Craniofacial Research (NIDCR)が設置され、基礎・臨床歯学研究をリードしているが、我が国では歯学部を中心とした全国的な研究所・研究拠点は未だに設置されておらず、歯学関連の先進的研究拠点の設置の必要性も浮き彫りとなった。そのため、NIDCRの模倣ではなく、我が国の歯科医学の実情に適したシステムと機能を担う歯科医学研究拠点の設置が必要と考えられ、本計画を申請するに至った。

④ 所要経費

総予算：70億円

平成26年：13億円 [拠点整備費：5億円（研究拠点+ネットワーク構成拠点）、設備・備品費：3億円（研究拠点+ネットワーク構成拠点）、人件費：2億円、運営経費：3億円]

平成 27 年：9 億円 [拠点整備費：2 億円（研究拠点+ネットワーク構成拠点）、設備・備品費：2 億円（研究拠点+ネットワーク構成拠点）、人件費：2 億円、運営経費：3 億円]

平成 28-35 年：6 億円/年 [設備・備品費：1 億円（研究拠点+ネットワーク構成拠点）、人件費：2 億円、運営経費：3 億円]

⑤ 年次計画

研究期間：平成 26～35 年度

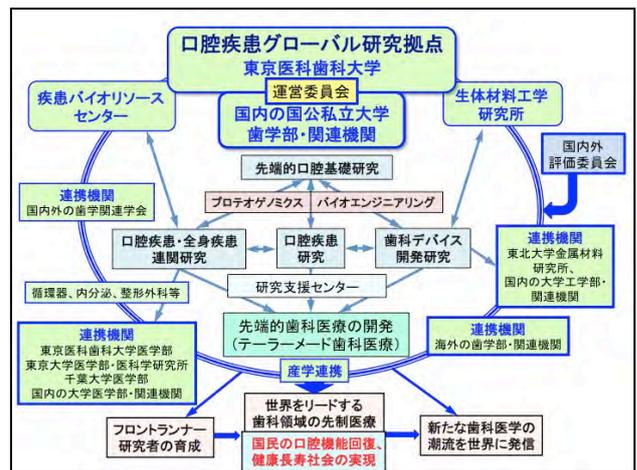
平成 26 年度：運営委員会を設置し、4 つの基軸研究に関する政策的な研究テーマと公募研究テーマを設定する。各基軸研究の代表的な政策的なテーマは、1) 先端的口腔基礎研究：口腔と他臓器・組織との機能連関、2) 口腔疾患研究：口腔難治疾患の病態解析と治療法の開発、3) 口腔疾患・全身疾患連関研究：歯周病と糖尿病・心血管系疾患連関の分子メカニズム、4) 歯科デバイス開発研究：口腔領域の再生デバイスの開発などである。また、運営委員会は、拠点研究員、特任研究員などを選定する。拠点研究員、特任研究員は国際公募も行う。研究拠点（東京医科歯科大学）の研究施設、研究設備、研究備品の整備を行うと共に、拠点研究員、特任研究員の所属するネットワーク構成機関の研究施設、研究設備、研究備品の整備も行う。さらに、研究拠点及びネットワーク構成機関の研究支援センターの整備を行う。国際シンポジウムを開催し、国内外の研究グループ間のネットワークの構築を推進する。外国人を含めた学際的なメンバーで構成される評価委員会を設置する。

平成 27 年度：研究拠点（東京医科歯科大学）及びネットワーク構成機関の研究施設、研究設備、研究備品の整備を行う。4 つの基軸研究を推進するとともに研究発表会、国際シンポジウム、若手歯学研究者・大学院生を対象としたサマースクールを開催する。

平成 28～35 年度：4 つの基軸研究の政策的な研究テーマ及び公募研究テーマの評価を毎年行い、5 年間でテーマの見直しを検討する。また、拠点研究員、特任研究員なども 5 年間で見直しをする。個別的研究を推進するとともにそれらを連携させた統括的研究の推進を強化する。毎年、研究発表会、国際シンポジウム、若手歯学研究者・大学院生を対象としたサマースクールを開催し、国内外の研究ネットワークを強化する。老朽化した研究設備・備品の整備を行う。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東京医科歯科大学に研究拠点を設置し、国内の国公立大学歯学部・医学部等の関連機関研究者の参画により「口腔疾患グローバル研究拠点」を構築する。東京医科歯科大学が実施の中心機関となるが、具体的な実行組織は国公立大学歯学部・関連機関より選出されたメンバーで構成される運営委員会である。運営委員会のメンバーは、日本学術会議歯学委員会で組織したワーキンググループで、1) 先端的口腔基礎研究、2) 口腔疾患研究、3) 口腔疾患・全身疾患連関研究、4) 歯科デバイス開発研究の 4 つの基軸研究分野より、人選する（各分野 5 名程度、合計 20 名程度）。運営委員会は各研究分野の政策的な研究テーマと公募研究テーマを設定する。政策的な研究テーマは、運営委員会により選出された国内の大学歯学部・医学部関連機関の拠点研究員（各大学の教授相当教員の兼任：各基軸研究分野で数名）に特任研究員などを配置して推進する。拠点研究員、特任研究員は国際公募でも採用する。また、運営委員会は各研究分野間の連携を図り、個別的研究を統括的な研究へと展開させる役割を担う。各研究チーム及び拠点全体の進捗状況は、国内外の学際的なメンバーで構成する「評価委員会」で厳密に評価し、自己評価と共に適切な研究推進を図る。本研究拠点では、プロテオゲノミクス・バイオエンジニアリング関連の支援組織として東京医科歯科大学の「疾患バイオリソースセンター」と「生体材料工学研究所」を活用する。さらに、東京医科歯科大学医学部、東京大学医学部、千葉大学医学部などの国内の大学医学部関連機関及び東北大学金属材料研究所などの大学工学部関連機関を連携機関とし、歯工連携の強化を図る。また、国内の歯学関連学会、歯科関連産業界や海外の主要大学歯学部も連携機関として参画し、学際的・国際的な研究を展開する。連携機関との円滑な共同研究を推進するために研究支援センターを設置する。



⑦ 社会的価値

近年の我が国の歯学界では、歯科医師の資質低下や歯科医学研究水準の低下がみられ、国際競争力・指導力の低下も懸念されている。しかし、このような現況は、将来を見据えた大胆な歯科医学研究システムの再構築により、歯科医学・歯科医療をさらに発展させる絶好の契機と捉えることもできる。その観点に立って、本研究拠点では、我が国の歯科医学・歯科医療レベルを向上させることにより、国民にこれまで以上に安心・安全で、かつ有効な「歯科医療」を提供することを目指す。この取り組みは、歯学界における「負のスパイラル」を「正のスパイラル」へと転換し、国民の歯科医学への理解をさらに深めると期待できる。特に、テーラーメイド歯科医療を開発することは、歯科領域で先制医療を展開する基盤構築にも繋がり、新たな歯科医療イノベーションをもたらすと同時に、将来的には疾患の予防による医療費の削減にも繋がると期待できる。我が国の歯科医療産業界では、歯科用材料や歯科用医療機器などの開発以外に、歯科領域における診断薬や再生医療の開発も手がける企業が増えているので、本研究拠点との産学連携により、歯科医療産業界の活性化にも貢献できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

山口 朗（東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科） akira.mpa@tmd.ac.jp

分子標的薬シミュレーター（分子標的計算拠点）

① 計画の概要

21世紀になり個々の患者のゲノムが読まれ、がんや生活習慣病の治療標的となるタンパク質がわかるようになってきた。今まで、人体内の水に溶けた状態のタンパク質の挙動を予測することは理論的に膨大な計算が必要であることから、現実的には不可能と考えられてきた。そこで薬は、大規模な化合物ライブラリーから、ハイスループットスクリーニングで実際にアッセイして探すのが基本とされてきた。最近、コンピューターの演算能力が急速に増し、結晶構造をもとに、全原子の位置情報を同定または、推定し、分子動力学でのシミュレーションで動態を予測する事が可能となってきた。そこで、今回の計画では、圧倒的な演算能力を集中して用い、親和性、特異性、機能性の高い新薬を、計算により設計することにより、新たな分子標的薬の開発手法を確立することである。

具体的には次の2つの課題を達成する。

(1) 標的計算分野では、前半期（2-4年度）は1ペタFLPSの演算能力を集中的に用い、1ヶ月に1個の標的にたいし100種類の医薬品を設計することを1サイクルとし、1年の間に、4個の標的に3サイクルの設計を行い、合成を担う他機関との連携で合成展開を進める。3年で、8個の標的につき、2種のリード化合物を開発する。5-7年度は10ペタFLPSの演算能力を基盤にする。

(2) 標的解析分野では、標的の遺伝子とタンパク質の発現と特徴を詳しく解析し、妥当性を検討する。さらに結晶構造など全原子の位置情報の同定もしくは推定を評価し、IT創薬の標的としての適格性、優先度を決定する。

上記2分野の連携で、能力分配委員会を主宰し、計算能力をどのように集中的かつ効果的に運用するか決定する。

② 学術的な意義

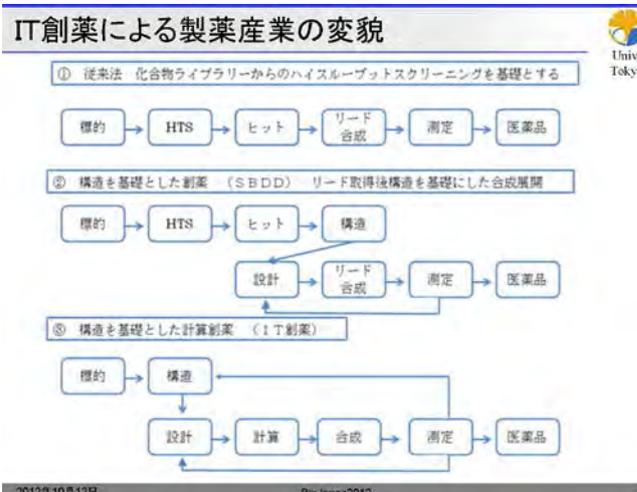
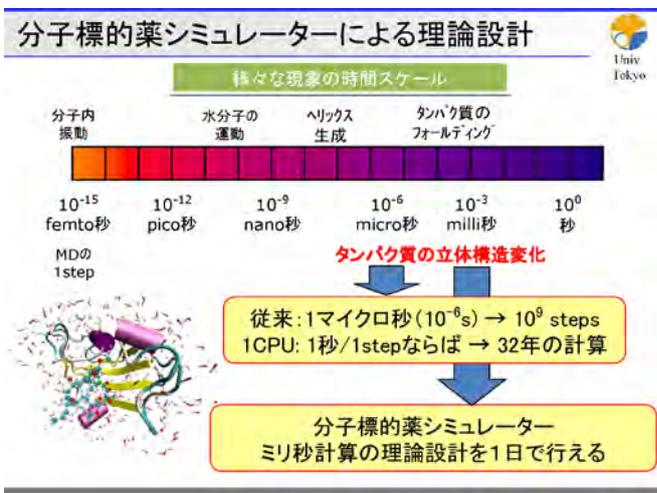
本計画の第一の意義は、結晶構造情報をもとに、分子標的への薬をシミュレーション計算で設計する技術を実用化することである。計算機での生体高分子への薬の設計は長年、夢とされてきたが、近年、膨大並列計算の演算能力の飛躍的向上をうけ、藤谷らにより、FUJI FORCE FIELDを用い分子動力学でより正確な親和性を計算する方法が開発された。最先端研究支援で、抗体医薬品のシミュレーション設計技術が開発され、そのシミュレーションで合成展開を担うには「京」の経験から1ペタ程度の演算能力が必要であると考えられた。今回の計画の意義は、この創薬シミュレーション技術を、思い切った演算能力で実用化し、我が国の創薬技術のイノベーションを達成することである。

2番目の意義は、IT創薬へ適格な分子標的を同定する技術を確立することである。ゲノミクス、プロテオミクスからの標的治療ターゲットとしての正確な評価野技術と、計算の基礎となる全原子の位置情報を同定または推定する技術を確立することである。

3番目の意義は、世界のハイエンドのコンピューターの開発を加速化する役割である。国際的には、アメリカのDESRESとシユレジンガー社によるハードとソフトの一極集中状態が、我が国の「京」の稼働とそこでのEU研究者とのGROMACSの最適化で打ち破られ、もう一つの分子標的薬設計の極が、我が国に育ちつつある。これをしっかり根付かせ、成長させるのが、今回の計画の大きな意義である。コンピューターメーカー内部からはうまれにくいHPCにも止められるアーキテクチャーについて、我が国の計算機開発研究者に、実際の創薬に有用な演算システムを作るチャンスを与えるところにもう一つの大きな意義がある。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

水溶液中のタンパク質のfoldingのシミュレーションはKollmanにより1998年に開始されたが、当時のスパコンでは1マイクロ秒計算が不可能であった。それをスタンフォードのPandeが並列計算を、日本の藤谷がFuji Force Fieldを、スウェーデンのLidhalが分子動力学アプリケーションGROMCSを開発し、新しい時代が開いた。アメリカのD E Shawが専用マシンANTON



を開発し、ビルゲーツの出資をうけたソフト会社シュレジンガーが独占的体制を作りかけている。しかし日本の「京」の稼働と、そこへの GROMACS 最適化で、もう一つの拠点がうまれた。「京」は多数のプロジェクトが並走中であり、創薬大規模計算に集中する事は不可能である。また薬開発に求められる長期の守秘性は保障されていない。そこで、標的を選定する能力を持ち、演算力を集中的に運用できる拠点を作るのが本計画である。

スパコンの機能は著しく向上しつつあるので本計画ではクラウドでハイエンドの演算能力を調達し、開発、維持管理、エネルギー管理は外部化する。ハイエンドのクラウドにより、数年に1回、上位マシンに移行する。

④ 所要経費

初年度2013年度は、事前調査のため1億円を予定し、下記には、2年度目から7年度目をあげる。ただし、5から7年度目の後期計画は前期計画の達成状況により加速化が必要になる可能性もある。

<前期>2014~16年(各年) 標的計算5億円、標的評価5億円、教育管理運営1億円、知的財産管理1億円、計10億円×3年=30億円

<後期>2015~17年(各年) 標的計算10億円、標的評価6億円、教育管理運営2億円、知的財産管理1億円、計19億円×3年=57億円

期間計: 87億円

⑤ 年次計画

準備期(初年度)

拠点作成WGを選定し、標的計算分野、標的評価分野をもとに基本構想を作成する。評価分野ではがんと生活習慣病を主たる対象にタンパク質相互作用阻害剤(PPI)、核内複合体、膜タンパク質の3課題につき、分子標的のリストアップと、計算に必要な情報を取得するための体制を作る。計算分野では、必要とされる設計の演算のアルゴリズム、基礎となるパラメーター、演算規模の推定をもとに計算機の仕様と、運用方式を設定する。

計算機の入札の国際的仕組みに配慮しつつ、医薬品開発に必須の守秘性と公共的正確の両立をめざす運営組織の形態を検討し、適切な組織形態を準備する。標的分子設計の計画を公募し、評価分野で検討する。民間企業などにより探索された標的、合成された化合物について守秘性が必須の場合は、有効な知財管理の下、評価する仕組みを準備する。

前半期(2-4年度目)

(1) 課題の選定: 3課題のチームでそれぞれ標的を公募し、社会連携も含めた標的創薬計画を選定し、評価委員会で集中的な演算能力を毎月1課題程度に絞って選定する。標的分子の全原子の位置情報を同定・推定する技術開発を進める。

(2) 設計技術の革新: 全原子の位置情報を基礎に標的分子の水溶液中での動態予測を平衡化させる技術、そこにナノモルレベルで結合する分子の設計、結合自由エネルギーの推計、それら分子の合成可能性や医薬品としての問題点を検討する技術開発を進める。

(3) 検証作業: 設計された医薬品の合成と評価は、提案者が行うことを基本とするが、一部においては、評価分野が援助して行う場合もある。設計された医薬品を他施設、社会との連携で作成し評価し、臨床入りを目指す。

後半期(5-7年度目) 前半期の成果をもとに、より複雑な課題を選定しさらに大きい演算能力を駆使し、IT創薬の基盤技術を確認し、実際の医薬品設計を進める。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東京大学先端科学技術研究センターにある「分子標的薬設計機構」をもうける。機構は、概算性急で行われている「生物学薬学のための分子動力学拠点」を基礎に、先端研の生命科学、計算科学の基幹分野が参加し、集中的に研究開発を行う。先端研に最先端研究支援で整備されている40テラフロップスのスパコンを継承し、基礎演算能力とするとともに、コンピューターメーカーとクラウドでハイエンド演算能力を使用できる体制を整備する。院生、社会人教育は、先端研の大学院である先端学際工学専攻を基盤に行う事とする。

機構には、標的設計分野、標的評価分野、教育企画室、研究企画室(知財管理、スパコンと研究体制の管理)の2分野、2室をおく。

連携研究室を、当該研究科の合意を基礎に、結晶構造解析については大阪大学工学系研究科、熱力学的解析については東京大学工学系研究科におき、支援研究を行う。

⑦ 社会的価値

創薬の基盤技術を変え、我が国の新しい製薬産業の基礎を作る。従来、水溶液中の標的タンパク質の構造の予測は不可能と考えられ、標的への医薬品は、実際の化合物を多数集めたライブラリーからのハイスループットスクリーニングでリード化合物を発見することに依存していた。世界のメガファーマと比べライブラリー規模の小さい製薬企業は不利であった。しかしIT創薬になれば、設計された医薬品を合成すればリード医薬品を手に入れる事ができ、創薬への道筋が大きく変わる。

21世紀のヒトゲノム解読から多数の分子標的が同定されてきているが、それに対する医薬品はまだ少数が開発されたのみである。シミュレーションを駆使した創薬技術が確立することは、がんや生活習慣病や感染症など様々な病気に画期的な治療薬を提供することを可能にする夢の技術である。

⑧ 本計画に関する連絡先

児玉 龍彦(東京大学先端科学技術研究センター) kodama@lsbm.org

リピドーム研究を推進する日本脂質コンソーシアムの形成

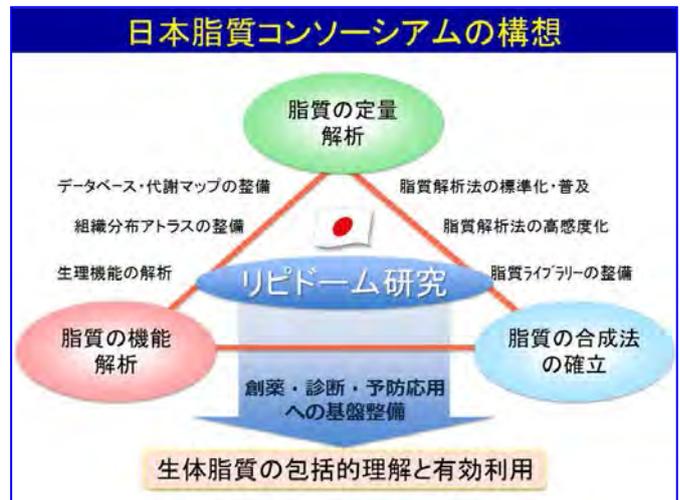
① 計画の概要

本研究計画は、ゲノム、プロテオームに並ぶ、リピドームの世界的な研究基盤を構築するものである。

脂質はその水に溶けない物性、ゲノムに直接コードされない理由から、科学技術が進歩した現在でも解析し難い対象である。また、このことが多くの脂質機能が未解明のまま残されている一因となっている。近年の脂質分析技術進歩は脂質研究に大きなインパクトを与えた。すなわち質量分析機器を用いた分析技術の革命は、これまで解析されてきた脂質分子は氷山の一角に過ぎず、「生体内にはゲノムの数をはるかに凌ぐ種類の脂質が存在する」ことを明らかにした。“脂質”は、遺伝子、タンパク質に比肩するバイオリソースである。従って、脂質の構造と機能の全容解明ならびにそのデータベース化を行うリピドーム解析はゲノムやプロテオーム解析と同様に、学術的にも社会的な観点からも早急に着手すべき重要課題である。

これまで本邦は世界の脂質研究をリードし続けてきた。しかし近年欧米が大型予算を投入し本邦の脂質研究の優位性を脅かす存在となっている。本邦でも戦略的創造事業や新学術領域研究の一環として脂質研究が推進されてきたが、その規模は必ずしも大きくはない。世界のリーダーとしてリピドームの抜本的なブレイクスルーを引き起こすためには、国家プロジェクトとして脂質研究の強力な推進が必要である。

本計画は、ヒトを含む多様な動植物種に存在する全脂質の構造を明らかにし、機能と組織分布を解明し、有意な生理活性をもつ脂質を発見し、製造し、利用することで、広く社会に波及効果をもつイノベーションを創出することを目的とする。そのために、脂質研究基盤の整備と新規技術開発、次代を担う研究者の養成、ライフサイエンス関連産業との連携促進をミッションとし、多くの人材と英知が集結する、日本脂質コンソーシアムを創設する。



② 学術的な意義

脂質は生命を包み、区画する生体膜を構成する細胞の基本構成要素であり、エネルギー源、生体膜としての役割に加え、生理活性物質やその前駆体として働く多彩な役割を担う生体分子である。よって脂質分子の多様性、生理機能を理解することは、生命秩序の原理を知る上で極めて重要である。

脂質は核酸とならぶ根源的な生体物質であるが、両者の研究進展には大きな違いがある。遺伝子については、1990年代のヒトゲノム計画推進の前後から今日に至るまで、増幅法、配列決定法、発現解析法の技術革新が次々とおこり、研究手法が一般化されている。実際、多くの生物のゲノム配列が解明され、その情報をもとに、有益なタンパク質を大量発現し利用するなど、生物が持つ遺伝子は資源として活用されている。一方、脂質に関しては一部の生命科学研究者が、それぞれの経験に基づいた、いわば職人芸を駆使して、各論的に課題に対峙してきた。しかし、生体内に存在する脂質の種類も未解明であり、有益な脂質を大量に合成、調製する技術も未完成という現状である。

本研究で期待される成果の一つは、革新的な脂質解析技術の確立である。質量分析をベースとした微量脂質の定量、定性解析法が開発され、未知の生理活性をもつ新しい脂質が数多発見される。二つ目の成果は、脂質が司る生命現象の解明や脂質代謝異常による病態の解明であり、学術のみならず医療革新や新規機能性食品への応用も期待できる。上記技術開発と生物学的研究は互いにフィードバックをかけあい、これらが両輪となって日本の脂質研究を世界一に牽引する。最終的には、生体内全脂質の構造が明らかとなり、脂質代謝の全貌を見渡せる代謝マップが完成する。情報科学との連携で脂質データベースが完備されれば、医療産業をはじめとした関連分野でこれを活用した新しい研究が萌芽し、有益な脂質の大量調製など、脂質資源の有効利用につながる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

生命科学において、リピドームはゲノム、プロテオームに続くオミクス研究として重要な課題である。本邦では1961年に「日本脂質生化学会」が発足し、1989年には世界に先駆けて脂質データベース「Lipd Bank」の整備を開始した。国外では国際学会としてICBLが存在するが、米国には脂質研究に特化した学会はない。このように日本は一国内に大きな脂質研究学会を長年形成し、古くから世界の脂質研究をリードしてきた。

国内では、JST・戦略的創造研究推進事業「代謝と機能制御」(2005~12)、文科省科研費・新学術領域研究「脂質マシナリー」(2010~14)が、国際的な脂質研究を担う個別研究を支えてきた。国外ではより大規模な研究費の投入が始まっている。米国においては2003年に多機関参加型研究拠点「LIPID MAPS」が、欧州においては2005年に「ELIfE」が形成され、日本の脂質研究を急迫している。

当該計画では、本邦に欧米に勝る規模の脂質研究プラットフォームを整備することにより、ゲノム研究では必ずしも実現でき

なかった日本の優位性を脂質研究において確固たるものとすることを目指す。

④ 所要経費

初期設備投資 100 億円、前期（1-5 年目）50 億円、後期（6-10 年目）50 億円の研究経費（計 200 億円）を計上している。この経費には、質量分析機器、質量顕微鏡（脂質イメージング）、脂質発現解析、生理機能解析と同時に、データベース化、脂質発現等の技術開発に必要な機器等の経費、人件費を含む。

脂質解析機器等の初期設備投資	100 億円
脂質の定量・定性解析技術の開発	40 億円
脂質データベースの構築	5 億円
脂質の生理機能の解析	25 億円
脂質の製造・発現法の確立	20 億円
脂質リソース（ライブラリー）の整備	5 億円
創薬・診断・予防応用のための基盤整備	5 億円

⑤ 年次計画

本研究では、数十万種存在すると考えられる脂質分子について、まず、現時点で検出・構造決定が可能な脂質分子種のリピドーム解析から着手する。データベースを構築し、デポジットした脂質については、生成・分解経路を網羅した代謝マップを作成する。また、生理機能解明とともに合成法の開発・ライブラリー構築を行う。中核拠点ではこれと並行し、脂質分析技術の迅速・簡便化を通じ標準化を進めるとともに、脂質解析法の高感度化を図る。

前期（1～5 年）：マウスとヒトを対象とした脂質分子種の網羅的な解析を行い、データベースを構築する。約 1 万の脂質分子種を解析対象として想定しているが、各実施機関はそれぞれが得意とする脂質分子種を担当する。このうち主要な分子種については有機・酵素的に合成する方法を開発し、生体脂質ライブラリーを構築する。また、様々な脂質分子種を含む臓器の一つである脳を対象とした脂質の組織分布アトラスを作成する。一方、脂質解析法の高感度化を推進し、既存の技術では検出感度以下の脂質分子種を探索・発掘する。

後期（6～10 年目）：脂質解析技術の高度化により初めて検出される脂質分子種の構造を決定し、データベース化・ライブラリー化を推進する。最終的に植物・微生物を含む多様な生物種に解析対象の範囲を拡大し、新たな脂質分子を探索する。これらのリソースを活用し、生成・分解経路を網羅した脂質代謝マップの完成を目指す。さらに前期での脳における解析を全身組織へ展開し、脂質の組織分布アトラスを完成させる。

機器メーカーと連携し、一般的な研究室で利用可能な汎用性の高い機器を開発することにより脂質研究の裾野を広げる。また、本研究で得られるリソース・知見・人材を積極的に産業界、他学問分野に導出する。特にライフサイエンス関連産業での新規創薬、疾患マーカー探索、機能性食品開発等を推進する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本研究組織は、東京大学を中心に首都圏の 4 機関（東京大学、昭和薬科大学、順天堂大学、国立医薬品食品衛生研究所）を中核拠点とし、全国各地に地方拠点を置く。東京大学は中枢組織として、脂質解析技術の開発、脂質データベース構築、脂質の合成に関する研究について幅広く、他拠点と連携しながら推進する。順天堂大学は附属病院との連携の強みを活かし、ヒト疾患サンプルバンクを整備し、各拠点到適宜ヒト由来検体を提供する。昭和薬科大学は「脂質のメディスナルケミストリー」、国立医薬品食品衛生研究所は「ヒト脂質代謝疾患バイオマーカーの開発」について、他の拠点を先導する。脂質解析技術開発の拠点としては、浜松医科大学と秋田大学を置く。浜松医科大学は質量顕微鏡による組織分布解析法の開発の中心となり、脂質の組織分布アトラスの作成を推進する。秋田大学は極微量脂質を検出するための新規解析法の開発を行う。その他の拠点は以下の役割分担に従い、それぞれが得意とする脂質の種類に応じた一斉定量解析ならびに機能解析を遂行する。北海道大学はスフィンゴ脂質、東北大学はリゾリン脂質、東京都医学総合研究所はリン脂質、理化学研究所は糖脂質、京都大学は酸性リン脂質、大阪大学はトリグリセリドなどの中性脂質、神戸大学はイノシトールリン脂質、徳島大学は酸化リン脂質、九州大学はコレステロールなどのステロイド、熊本大学はエイコサノイドの解析をそれぞれ担当する。各拠点で蓄積される成果を東京大学を中心とした中核拠点到集約し、脂質代謝マップを完成させる。

⑦ 社会的価値

本研究の成果は人々の健康に資する。魚類や海獣を主食とするエスキモーの疫学調査に代表されるように、食餌として摂取する脂質の質は QOL に大きく影響する。医薬品との関わりでいえば、長年世界中で使用されているメバロチンやアスピリン等の薬剤は脂質代謝酵素を作用点とし、モンテルカスト（抗喘息）やフィンゴリモイド（抗多発性硬化症）といった新薬は脂質受容体を標的としたもので、本邦には脂質関連創薬に実績をもつ製薬企業が多い。よって本研究の成果は、新たな医薬や機能性食品の創製へと繋がる可能性が高く、経済的・産業的に大きな波及効果が期待される。また、疾患マーカー脂質の発見や早期診断法の確立、ドラッグデリバリーにおけるリポソームの活用など、脂質デバイスの活用も大いに期待される。さらに、疾患予防のための理想的な脂質摂取の指針は、国民の健康維持と医療費削減に繋がり、その意義は大きい。また、微生物等の脂質資源の開拓は、エネルギー問題などの社会的課題解決の糸口となるかもしれない。本研究の成果は、このように健康福祉に役立ち、社会に大きなインパクトを与えることから、国民の理解は十分に得られるものと考えている。

⑧ 本計画に関する連絡先

西島 正弘（昭和薬科大学） nisijima@ac.shoyaku.ac.jp

ナノ医療に基づいた革新的医薬品の創出拠点の形成

① 計画の概要

21 世紀に入り、創薬の領域では低分子医薬から高分子医薬へのパラダイムシフトが起こり、DDS などのナノテクノロジーに基づいた新しい医療であるナノ医療は、次世代創薬のブレークスルーになるものと期待されている。我が国のナノ医療の基盤技術は世界最先端であるにも関わらず、欧米に比べて実用化への障壁は著しく高く、優れた DDS が多数開発されていても実用化に至っていないのが現状である。日本発の革新的医薬品を創出するためには、こうした独創的な DDS の性能を客観的に評価できる新しい評価システムを確立し、前臨床試験・臨床試験へと支援する拠点を整備することが不可欠である。さらに、各拠点で得られた情報に基づいて DDS ライブラリーを形成し、低分子医薬の可能性を広げることとも可能となる。

本計画では、オールジャパン体制でプラットフォームを構築し、全国から提案された独創的な DDS の体内動態・細胞内動態、遺伝子・核酸医薬の導入効率などの性能を統一的に評価可能な拠点を形成する。本拠点において、国立医薬品食品衛生研究所と連携して客観的な評価方法を確立すると同時に、実用化においてボトルネックとなっていた GLP/GMP 基準の製造法を各拠点に整備する。各拠点は、最も優れていると評価された DDS の非臨床試験・臨床試験実施を支援すると同時に、統一的な評価結果を共有することでさらに優れた次世代 DDS の開発へとフィードバックする。各拠点で統一的に評価された DDS 性能情報は DDS ライブラリーとして管理・統括し、種々の機能性医薬分子とのマッチングを行い、ナノ医療として貢献する。

以上、本プラットフォームでは、ボトムアップとトップダウンとによる「知の循環」を形成し、新しい学問の創成と、持続的な革新的医薬品の創出を行う基盤とする。

② 学術的な意義

創薬の領域におけるパラダイムは、低分子医薬から抗体医薬へ、さらに核酸医薬へとシフトしている。このような状況下で、ナノ医療を実現するための革新的な薬物送達システムの開発とその実用化に向けて、全世界的に熾烈な主導権争いが行われている。ナノ医療における日本のプレゼンスは高いが、現在、二つの問題に直面している。

第一は、基礎研究から非臨床試験・臨床試験へ移行する段階に必要な GLP/GMP 基準での製造法の確立が「死の谷」として橋渡しを阻んでいることにある。低分子医薬と異なり、DDS の構築法は小スケールと大スケールで製法原理が全く異なってしまう。本計画では、各拠点に新しい製造原理に基づいた GLP/GMP 基準の製造施設を備え、優れたナノ医療シーズを積極的に非臨床試験へ進めるようサポートする。

第二は、従来のボトムアップ的研究体制の結果、多数の DDS が生まれているが、研究者ごとに評価方法あるいは評価レベルが異なるため、各システムの優位性を客観的な視点から比較できないことにある。本計画では、各 DDS の特性を標準化された方法で性能評価を行うことで、この問題を克服する。優れた DDS は、各拠点において GLP/GMP 基準で製造を行い、非臨床試験・臨床試験への移行を支援することで、日本発の革新的医薬品の創出に貢献する。さらに、各拠点で集積された標準化された DDS 性能情報は、DDS ライブラリーとして管理・統括され、創薬シーズの受け皿ともなる。搭載する医薬品分子に応じて適切な性能を有する DDS を選別（および開発）することが可能となる。

このようにナノテクノロジーに基づいた創剤を基盤とする新しい製剤学が一つの柱となり、体内動態はもとより、細胞内動態の機構論に基づいた定量的解析が第二の柱となってプラットフォームを構築し「知の循環」が形成される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ナノ医療に関する研究は、世界中で激しい競争が繰り広げられている。特に、次世代医薬として期待されている核酸医薬の開発は、高度な DDS の技術が求められており、最先端の技術開発競争となっている。

米国は、FDA を中心に、世界の Initiative を取ろうと積極的な活動を展開している。中でも、国立がんセンター(National Cancer Institute: NCI)に属する NCL(Nanotechnology Characterization Laboratory)は研究分析機関として世界中からサンプルを集めて無料で分析評価し、結果をフィードバックすることにより世界的なネットワークを構築しつつある。このような状況に対して、欧州では、European Technology Platform Nanomedicine(ETPN)を組織して、産官学がネットワークを形成して米国と競争している。

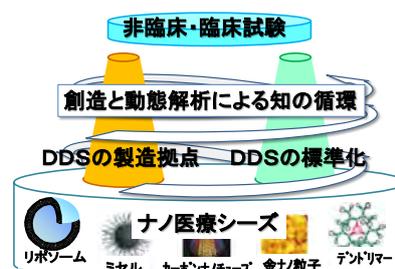
このような状況の中、日本も高分子ミセルの Reflection Paper を策定し、EMA と連携して世界へ発信する準備を進めているが、より大規模かつ戦略的な構想が不可欠となっている。

④ 所要経費

総額予算は、初期投資に 50 億円、運営費に 100 億円、総額 150 億円を計上する。

・初期投資 50 億円：中核となる 5 拠点に、GLP/GMP 基準でナノ医薬品を製造する拠点を整備する。クリーンルームの設置、ナ

ナノ医療に基づいた革新的医薬品の創出拠点の形成
Platform for Innovative Nanomedicine based on All Japan Networks



ノ医薬品を無菌状態で大量に製造するための各種備品の設置、分析機器の設置、DDS ライブラリーの構築等、1 拠点あたり 10 億円程度を上限とした基盤施設の構築を行う。

・運営費 100 億円：各拠点に、GLP/GMP 製造法の確立、標準的評価方法の確立、DDS ライブラリーの構築など、全国共通の評価方法を確立すると同時に、各拠点の特色が出るように、拠点整備を行い、出来るだけ早く非臨床試験を開始できるよう支援する。同時に、DDS ライブラリーの構築を進め、総合的・統括的な解析を行うことで、新しい問題点を発見し、より戦略的に革新的医薬品の創出へと貢献する。

⑤ 年次計画

平成 26～27 年度：GLP/GMP 基準の製造拠点の構築とナノ医療技術の標準化

1) GLP/GMP 基準の DDS 製造拠点の構築：全国に 5 拠点、GLP/GMP 基準で DDS を大量にかつ無菌下で製造できる施設を構築する。各拠点で最低 3 種類の異なる DDS の GLP/GMP 基準の製造ができるように配置する。

2) ナノ医療技術の標準化のための評価法の確立：各種 DDS の体内動態を定量的に評価する方法を、薬物速度論に基づいて構築する。また、核酸など細胞内に標的部位がある場合には、細胞内動態の定量的評価方法も不可欠となり、普遍的な方法論へと拡張する。

平成 28～30 年度：DDS ライブラリーの構築と非臨床試験

1) DDS ライブラリーの構築：26～27 年度に確立した評価方法論に基づき、これまでに開発された DDS を共通の評価方法で定量的に評価し、DDS ライブラリーを構築する。その結果、最も優れたシステムを非臨床試験へ移行できるよう、積極的な支援を行う。

2) 非臨床試験への展開：非臨床試験を行うためには、GLP/GMP 基準での製造が不可欠であり、一般に数億円の研究資金が必要となる。本事業は、評価の結果非臨床試験へ移行すべきである、と判断されたものに対して、財政面および方法論の観点から積極的な支援を行う。

平成 31～35 年度：非臨床試験から医師主導の臨床研究へ

非臨床試験を通過した優れた DDS に対して、医師主導の臨床研究へ移行できるよう各拠点が支援する。この時点で製薬企業と連携できるシステムは、製薬企業主導の臨床試験へと展開する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本計画における研究開発拠点は、北海道大学、東京大学、名古屋市立大学、京都大学、熊本大学を中核拠点とし、国立医薬品食品衛生研究所ならびに製薬企業と密接に連携して、オールジャパンでネットワークを構築する。

北海道大学は、ナノ医療のための基盤技術となる多機能性エンベロープ型ナノ構造体(Multifunctional Envelope-type Nano Device: MEND)の開発に成功し、低分子医薬品はもとより、蛋白質や核酸を搭載した革新的医薬品のシーズとして実用化を進めて来た。平成 24 年度より、東京大学、国立がんセンターと連携して、「ナノテクノロジーを基盤とした革新的医薬品に関する評価方法」という事業を開始した。本事業は、革新的医薬品の実用化を促進するために、大学と PMDA, NIHS との人材交流を図るとともに、日本発のナノ医療に関する包括的ガイドラインの策定を最終目標としている。DDS の GLP/GMP 基準の製造を行う拠点の構築に着手している。

東京大学は、DDS の標準化を行うための評価方法に関する整備を行い、DDS ライブラリーの設計と管理を行う。評価方法の確立に関しては、北海道大学と連携し、DDS の細胞内動態の定量的評価方法を標準化し、実用的な評価方法を確立する。

京都大学は、各種 DDS を体内動態の観点から定量的評価を行い、標準化の基盤整備を進めてきた。本事業では、最新の可視化装置を用いた in vivo imaging の手法を導入し、DDS の標準化法を確立する。

⑦ 社会的価値

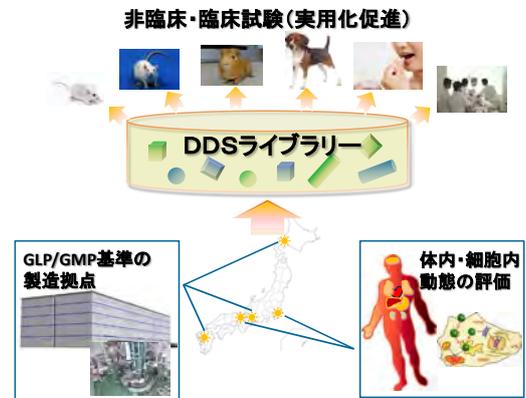
糖尿病、高血圧などの生活習慣病に対する有効な治療薬の開発により、国民の QOL は著しく向上した。しかしながら、がんや痴呆など、有効な治療法、治療薬の開発が遅れている疾患も多数ある。本事業は、ナノ医療という新しい治療法によりこれまで有効な治療法が存在しなかった疾患を克服することを最終目標としており、国民のニーズと合致している。

本事業により、大学の研究室で開発された革新的医薬品のシーズが「死の谷」を超えて非臨床試験・臨床試験へと橋渡しされ、製薬企業との連携が促進されれば、現在の医薬品産業が直面している困難な状況をブレイクスルーすることになる。現在日本の医薬品産業は大幅な赤字の状態にあり、これは海外からの医薬品の輸入超過が原因である。このような状況の中で本事業が成功すれば、医薬品産業に革命的な効果をもたらすことができる。

本事業は、ナノ医療の実用化を促進することで経済的・産業的効果をもたらすことが期待される。同時に、ナノテクノロジーに基づいた創剤学の創成と体内動態・細胞内動態の機構論に基づいた定量的解析により「知の循環」が形成され、新しい科学として発展することが期待されている。

⑧ 本計画に関する連絡先

原島 秀吉 (日本薬剤学会、北海道大学大学院薬学研究院) harasima@pharm.hokudai.ac.jp



バイオ医薬の次世代型投与システムの開発とその早期実用化を目指した開発基盤拠点

① 計画の概要

21 世紀に入り、高分子バイオ医薬品が次々と開発され、疾病の根本治療を可能とする新たな医療が展開されている。しかしながら、これらの医薬品は、体内への吸収性、安定性、組織移行性等の問題から、ヒトにおける有効性や安全性の確保が困難であると同時に、現在まで主として注射あるいは局所適用による使用を余儀なくされている。これは、新たなバイオ医薬品の開発およびその実用化を極度に制限するとともに、患者にとっても QOL 等の面から多くの問題を引き起こしている。現在、バイオ医薬の自己投与を可能とする新たな DDS・製剤化技術の開発が強く望まれており、本技術の先行開発はバイオ医薬品の開発競争に出遅れた日本の医薬品産業が国際的な競争力を取り戻す上で不可欠である。

本プロジェクトでは、日本が得意とする医薬品の DDS・製剤化技術および体内動態解析技術を最大限に利用し、(1)高分子バイオ医薬品の経口、経皮、経肺、経鼻などの新たな投与システムに関する高度な技術の研究開発部門、および(2)高分子バイオ医薬品の新たな治療システムの実用化に向けた First in human 試験として、探索的臨床試験等を実施するための臨床試験部門を構築する。より具体的には、

(1)新規製剤技術開発部門では、我が国の製薬企業および薬学系大学の研究者の拠点として、日本薬剤学会が主体となった研究拠点

(2)臨床試験部門では、国内の早期・探索的臨床試験拠点施設、およびバイオ医薬の有効性と安全性評価に必須と考えられる分子イメージング研究施設との共同で、バイオ医薬品の探索臨床試験の実施拠点、を形成する。

この両部門を中核とし、基礎研究から臨床へのシームレスな開発展開を可能にする産・官・学一体となったオールジャパン体制の研究基盤を構築することによって、在宅治療など患者の QOL 向上を可能とする次世代型治療システムの開発とその早期実用化を目指す。

② 学術的な意義

高分子バイオ医薬品の体内動態・細胞内動態の制御は、その実用化の最も重要な課題であり、これまでリポソーム等の微粒子を基盤とした多くの薬物送達システムの研究と主導権争いが全世界的に繰り広げられてきた。一方、それらバイオ医薬の DDS 製剤のほとんどは、注射剤あるいは局所適用剤に限定されており、臨床応用への大きな障壁となっている。本プロジェクトで開発する高度な経粘膜投与システム、あるいは長期放出制御型製剤は、すでに上市されているバイオ医薬品の新たな応用の可能性を広げるとともに、患者自身が簡便かつ安全に利用出来る次世代型治療システムの創生に極めて大きなインパクトを与えるものである。

これまで、非臨床レベルでは多くの投与システムが考案されているものの、その実用化においては、実際のヒト投与を想定した製剤化技術の導入、およびその有効性をヒトにおいて検証するための臨床研究の実施基盤が不可欠である。また、我が国ではバイオ医薬の製剤化技術は個別の大学研究室等において医薬ごとに独自に開発されてはいるが、今後、高分子バイオ医薬品の開発を促進し、我が国の医薬品産業をより活性化するためには、そのノウハウを国単位で集約することが必須である。

本プロジェクトでは、これまで主として我が国の薬剤学・動態学分野で蓄積されてきた製剤化・DDS の豊富な知識および体内動態の解析技術を大規模に集約し、早期に活用することによって、高分子バイオ医薬品の次世代型の投与システムの開発を可能にする。在宅医療や self medication などの概念が広く患者の間にも普及し、医療の形が変わりつつある現在、本研究によって得られる成果は、日本の医療水準の向上に極めて大きな意義をもつものである。

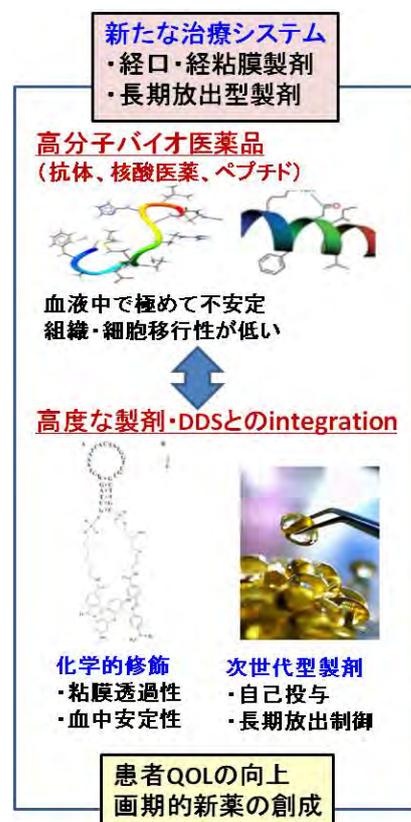
③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内では、これまでバイオ医薬の新たな製剤化・DDS 技術は、個別の大学研究室等において医薬ごとに独自に開発されてきたが、未だ臨床応用には至っていないのが現状である。本プロジェクトでは、それら技術、ノウハウを集約し、世界に先駆けてバイオ医薬品を用いた新たな治療システムの開発を推進する。

一方、海外ではこれまでインスリンを初めとしたバイオ医薬品の経肺、経鼻等の経粘膜投与システムが開発されているものの、有効性あるいは利便性の面から新たな治療システムとして根付くには至っていない。しかし、欧米のメガ企業内では、現在も継続して経口投与を含めて新たな投与方法・製剤の開発が独自に進められている。日本の製薬企業にとって同規模の研究開発を個々に実施することは困難であることから、本プロジェクトは産業界を含めた研究基盤として極めて重要な役割を担う。

④ 所要経費

総額予算として 120 億円、そのうち初期投資に 40 億円、運営費に 80 億円を計上する。



初期投資 40 億円

(1) 新規製剤技術開発部門 15 億円：各種製剤化機器、非臨床試験実施のための設備、臨床試験に用いる GMP 基準で製剤を製造するためのクリーンルーム、分析機器等の設置

(2) 臨床試験部門 25 億円：臨床試験のための施設設置、PET、MRI 等の分子イメージング設備等の設置

・運営費 80 億円：年間の運営費 8 億円、10 年間の継続

(1) 新規製剤技術開発部門：新たな製剤化技術およびその GMP 製造法を確立するとともに、非臨床試験による検証を行う標準的評価方法の確立を支援する。

(2) 臨床試験部門：ヒトにおける試験の実施、その解析技術の確立を支援する。分子イメージング拠点では、様々な投与方法に対応したイメージング技術の確立とヒト試験の実施を目指した研究を実施。

⑤ 年次計画

平成 26～27 年度：

・バイオ医薬品の製剤化技術の研究拠点の構築および早期探索的臨床試験拠点の整備

平成 28～31 年度：

・個々バイオ医薬品の新規製剤化技術の開発と非臨床試験による検証

・新たな製剤化技術に関するデータベースの作成と有効な製剤化技術の絞り込み

・ヒト早期臨床試験実施のためのプロトコルの作成およびヒト試験実施のための非臨床安全性データの取得

・分子イメージングに必要なバイオ医薬品の標識化のための合成技術の確立および新たなイメージング技術の検討

平成 32～35 年度：

・ヒト試験のための GMP に対応した製剤の作成、

・早期探索的臨床試験から臨床試験の実施による有効性・安全性の検証

・バイオ医薬品の次世代型治療システムの実用化支援

⑥ 主な実施機関と実行組織

(1) 新規製剤技術開発部門：

日本薬剤学会が中核となってコンソーシアムを形成し、北海道大学、千葉大学、名古屋市立大学、京都大学、摂南大学等の大学研究施設、物質・材料研究機構などの公的研究施設ならびに製薬企業からなる研究拠点を形成する。また、国立医薬品食品衛生研究所ならびに製薬企業と密接に連携して、オールジャパンでネットワークを構築する。

日本薬剤学会では、これまで学会等で発表された多くの技術に関するデータベースを作成するとともに、PMDA、NIHS との人材交流を図る。また、各研究施設は独自に開発した技術を提供し、その実用化に向けた研究を実施する。

(2) 臨床試験部門

日本の早期・探索的臨床試験拠点として選定された 5 施設を中核として、各大学病院との連携によって First in human 試験の実施に取り組む。また、東京大学、摂南大学は、バイオ医薬の体内動態モデルを構築し、臨床試験データの解析手法を構築する。一方、分子イメージング施設としては、理化学研究所分子イメージング科学研究センター、放射線医学総合研究所を中核として、高分子バイオ医薬のヒトイメージングの手法の確立とその実施に取り組む。

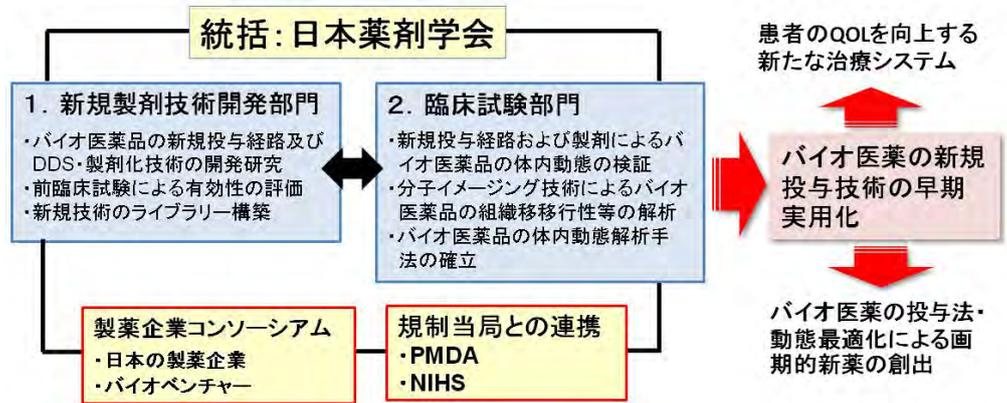
⑦ 社会的価値

近年、在宅医療や self medication などの概念が国民の間に普及し、医療の“質”が問われるようになってきた。そのため、高水準の QOL を保ちつつ早期の社会復帰を視野に入れた新たな治療システムが国民的ニーズとなっている。一方、抗体、核酸などのバイオ医薬品は、がんや痴呆など、有効な治療法、治療薬の開発が遅れている疾患の根本治療を可能にする革新的医薬品として大きな期待を担っているものの、これまで注射や局所製剤による投与を余儀なくされており、利便性や汎用性の観点から社会への普及に大きな障壁となってきた。本プロジェクトで開発するバイオ医薬品の新たな投与システムは、それら最新の医薬品の自己投与を可能にするものであり、社会への貢献は計り知れない。また、本技術はすでに臨床に用いられているバイオ医薬品に対しても、その有用性を飛躍的に高めることが可能である。

我が国の製薬産業は、欧米に比べて未だ低分子医薬への比重が高く、世界的なバイオ医薬品の開発競争に完全に出遅れた状態である。本プロジェクトの成果は、バイオ医薬品開発においても日本の医薬品産業が国際的な競争力を取り戻す上で不可欠である。

⑧ 本計画に関する連絡先

原島 秀吉（日本薬剤学会、北海道大学大学院薬学研究院） harasima@pharm.hokudai.ac.jp



ゲノム科学支援による薬用植物資源科学を基盤とした 高品質薬用植物の作出・栽培・維持・管理・供給システムの構築

① 計画の概要

本計画の提案では、超高齢社会に直面し、社会的要請の強い健康長寿に向けて、生活習慣病関連で多用される漢方薬を中心とした薬用植物資源の内製化を目指し、そのための公的な薬用植物栽培基盤を整備し、生産地と成分に関する遺伝子・系統あるいは疾患との関連情報などのデータを収集し、それらのデータベースを構築し、全国の医療従事者と植栽研究の基盤とする。具体的な基盤施設設備として、

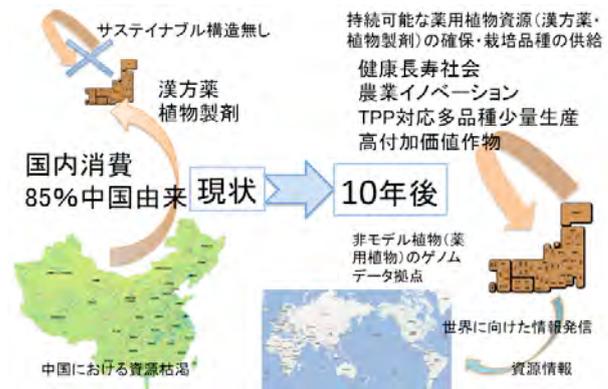
- 1) 250種類を超える薬用植物の系統遺伝子ライブラリー保存施設、成分化合物の収集（天然化合物）保管体制の構築
- 2) ファンクショナルゲノミクスとオミクスデータ収集を実施し公開する基盤となる大型施設・設備整備
- 3) 漢方処方有効性の基盤を明らかにするデータベースの構築
- 4) 正倉院御物のような古典的標本の成分を現代水準で解析し、公開する現代的天然物化学研究と博物館機能の両者を兼ね備えた融合型施設

5) 遺伝子組換え施設と屋外圃場を兼ね備えた実験薬用植物園；

1)、2)について基原植物を準備、かつその情報を用いた植物が実験的に栽培される圃場が必要であり、管理された実験植物園が必要不可欠である。ここで得られた技術をさらにコンソーシアムを構築した厚労省所属薬用植物園等からJA等へ伝播を図る。

6) 作製された遺伝子改変植物は共有の研究資源として研究者が自由に利用できることを目指しており、同様のプロジェクトを進めている欧米やアジアと連携し効率的な研究展開を目指す。

7) 国内創薬研究基盤との有用天然物成分探索ネットワーク体制構築、現在構築されつつある大学発創薬基盤拠点とのネットワークを構築し、そこに基づいて、有効性未確認薬用植物成分を化合物ライブラリーに組み込むことで研究資源の有効活用を図る。上記の設備はいずれも研究の基礎となる設備/装置であり、初期投資と同時に毎年の運営費が極めて重要となる。



② 学術的な意義

1) 現在国内で利用される、漢方製剤は年間 4%程度増加しつつあるが、その 85%程度は中国に依存しており、同国の経済成長に伴い価格は高騰しつつあり国内栽培が期待されている。しかし栽培面積はこの 20 年間で 1800ha に半減し、在来種苗が失われ、技術者や指導者がともに途絶えつつある。国内生産量の乏しい薬用植物については国内に種苗の育成がなく、217 を超える医療保険適用漢方処方 148 処方等で使用される 150 以上の生薬の原料植物で、栽培方法が確立していない。従って薬用植物の新たな育種、栽培、生産技術等に関する研究を進める上での学術基盤整備から開始しなくてはならない。本研究を通じて栽培の普及に貢献し、医薬品原料の安定供給を図り、超高齢社会における保健衛生の向上に資する。国内の薬用植物の普及と振興により、行政支援並びに、地域産業のイノベーションとなる農地転用を可能とするブランド生薬と言った高付加価値作物の栽培品種作成に貢献する。すでに医薬基盤研究所薬用植物資源研究センターは独自に開発した薬用植物の新品種、新規の栽培、加工技術について、直ちに自治体、生産者及び企業等が連携して利用できる仕組みがあり、ここに必要なデータを送り出せば現在、国内の薬用植物栽培の障壁である「種苗の供給」及び「技術者の育成」についても解決可能であると考えられる。

2) 生薬成分を研究テーマにしている生命科学研究者は日本に数多くおり、本基盤を整備することにより生薬由来医薬資源の確保に向けた、各薬用植物の有用成分の確認作業と規格整備は、創薬研究データベースセンターとのネットワーク構築によって、この研究成果を起源とした医薬品創製の道も開かれる。

3) 高等植物は環境に優しい生産系であり、ことに地方の農業の転換にむけたブランド生薬の開発は高度な技術基盤を持った農業従事者の育成に役立ち本格的 TPP への対応が社会への波及効果として期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

北京ゲノムセンター等では、巨費を投じて中医（漢方）医療に使用される処方及びエキス製剤の基原薬用植物の解析を実施している。大量塩基配列データ取得やメタボロミクスの技術的發展に伴い、薬用植物等の非モデル植物ゲノム機能科学が国内外で勃興しつつある。米国 NIH、ゲノムカナダ、欧州連合の FP7 によって薬用植物のトランスクリプトームとメタボローム統合解析が進行中で、オミクス手法によって有用薬用成分の生合成遺伝子が同定されている。薬用植物に関する拠点を持たないのは本邦だけである。

我が国固有の薬用植物のゲノム機能科学研究は、知財防衛や地域産業育成の点から極めて重要である。国内で運用されてきた植物工場と連携し新たな生薬生産を可能とする。優良種子や優良種苗の輸出、技術移転などにより、世界的な医薬資源の枯渇に対処でき、国際貢献が行える。

現在進行中の伝統医薬データベースは拠点として拡大継続し、公開を通じて、世界的に生薬及び漢方薬の有効性と安全性の確

保、医療への利用などに貢献できる。現在、低品質な中医薬製品の世界的流通に伴う健康被害が言われているが、これを一部は正することも可能であろう。

④ 所要経費

総予算 180 億円

初期投資：施設の建設費を含め、初期投資額として 90 億円。

(内訳：密閉・開放型圃場の整備 4 億円 遺伝子組換え施設を有する中央薬用植物園 20 億円、種苗ライブラリーの管理維持設備 10 億円 化合物蒐集保存設備関連 10 億円 総合研究博物館改装整備 (含む FT-MS を含む新規分析装置) 12 億円 ファンクショナルゲノミクス関連施設 8 億円 (ファンクショナルゲノミクス関連設備 高精度質量分析計、次世代 DNA シークエンサー、サーバーなど合計 10 億円 (2 年間で整備) データベース公開 5 億円、その他運営費 11 億円) 5 年後に新規機種導入のため経常費以外に 10 億円程度が必要。

運営費：年間 8 億円 (8 億円×10 年間 = 100 億円) 内訳) 研究員および技術員などの人件費 年間 3 億円 各種消耗品、水道光熱費、機器およびサーバー保守経費、物品費、その他管理費 年間 5 億円

⑤ 年次計画

研究継続期間：10 年間 (平成 25 年度～平成 34 年度)

平成 25～28 年度

「計画概要」に記載の 2) ファンクショナルゲノミクスを実施する基盤となる大型施設設備整備、4) 古典的～現代生薬標本成分の解析・公開する現代的天然物化学研究と博物館機能の両者を兼ね備えた融合型施設、5) 遺伝子組換え施設を含む屋外圃場の以上 3 施設についてはこの 3 年間で設置・構築する。

平成 25～34 年度

「計画概要」に記載の 1)～3) を整備するとともに、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。計画は 10 年を一つの区切りと考えている。10 年後には新しい漢方処方の提案を目指した新規計画の発足を目指す。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東京大学大学院薬学研究科 (検見川・実験薬用植物園)、東京大学総合研究博物館、理化学研究所 環境資源科学研究センター、千葉大学大学院薬学研究院、独立行政法人 医薬基盤研究所薬用植物資源研究センター、富山大学・和漢医薬学総合研究所

東京大学大学院薬学研究科は東京大学総合研究博物館に明治以来の生薬標本を維持管理している。ここに精密分析機器を導入し、実験室を設置する。総合研究博物館は在来の標本の保存・展示の概念から踏み出し、古典収蔵生薬標本をはじめとして、各地から送られてくる標品のデータの公開法を開発しユニバーサルアクセスを可能とする。さらに標本作製と情報形成そのものの過程の展示公開までを目指す。新規に設置される実験薬用植物園は全国薬用植物園のハブとして機能する。植物の地域による有用成分のバラエティー情報等を蓄積する。このようなデータは理化学研究所 環境資源科学研究センターに設けられるファンクショナルゲノミクス研究施設、千葉大学薬学研究院でのファンクショナルゲノミクス研究や、これまでも漢薬のデータベースを構築してきた富山大学和漢医薬学総合研究所で利用されデータベースに充当される。ファンクショナルゲノミクス成果の実用展開は設置予定の検見川・実験薬草園で最初に試みられ、開発研究に適合したものは医薬基盤研究所薬用植物資源研究センターで実用化研究を実施し、研究の成果として得られた品種、栽培技術等を国内の各大学薬草園、企業並びに行政機関と連携して速やかに実用化、技術移転が実施しうる。

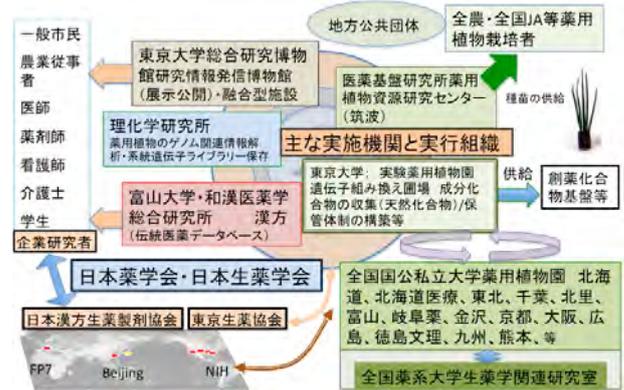
全国の薬用植物園は各地の地域特性に合わせた、栽培を行い、気候風土に基づく植物の生理的変動情報を、総合研究博物館における分析結果も含め新薬用植物園と情報交換する。和漢医薬学総合研究所ではこれまでも漢方処方と疾病・生薬成分情報を含んだデータベースの構築を進めてきており、この加速と情報更新を確実なものとする。

⑦ 社会的価値

中国の経済発展に伴い、医薬資源の枯渇が焦眉の急になりつつあり、医療従事者も生薬資源の確保を要望している。日本における医療の歴史をみると、当初中国、朝鮮半島またはインドなどから伝来した生薬を使用したが、江戸時代に国産品を奨励し、日本各地の薬用資源の調査と薬用植物の栽培化を図るようになった。栽培は奈良県などで行われてきたが、近年栽培が低調になり、それらの優良種苗は各地の薬用植物園に移管されるようになった。現在、我が国で使用される 250 品目程度の生薬のうち 12%のみが日本産の生薬である。今後、国内栽培を拡大するためには、本プロジェクトの成果として、付加価値の高い薬用植物を見出し、優良種子の確保、優良種苗の効率的増殖法 (挿し木など) が確立されて初めて、栽培による薬用資源の補充が可能になる。それらを栽培する方法を確立し、生薬に加工した際には国内企業で製剤化して販売するという利用サイクルを創出する必要がある。

⑧ 本計画に関する連絡先

野口 博司 (静岡県立大学薬学部) noguchi@u-shizuoka-ken.ac.jp



地球環境変化の早期検出に向けた統合的炭素循環観測・評価システムの構築

① 計画の概要

将来の地球環境変化を予測するため、全球気候モデルを用いた研究が進展し、大きな成果が生まれている。気候の現状把握と予測の確からしさが増すにつれ、地球温暖化予測に不可欠な全球炭素循環の不確実性低減、変化の早期検出、および炭素管理の意思決定が与える効果の評価が求められている。また、そのために必要十分な観測・評価システムの確立が喫緊の課題とされている。これまでに、温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT: Greenhouse gases Observing SATellite）を始めとする地球環境観測衛星、航空機、船舶、地上観測ネットワーク等を利用した温室効果ガスの観測が行われ、多様なデータが蓄積されている。また、大気中温室効果ガス濃度と輸送モデルを用いて、大気の側から地表の温室効果ガス収支を推定する手法（トップダウンアプローチ）や、地表で観測された温室効果ガス収支を衛星データやモデルで積み上げ広域化する手法（ボトムアップアプローチ）の研究も発展している。しかし、トップダウン・ボトムアップ手法を統合し、多様な観測データを融合し、全球の温室効果ガス収支をオペレーショナルに評価する実用的な手法は確立していない。本研究は全球を対象とするが、特にアジア太平洋域を重視し、衛星・航空機・船舶・地上観測によるデータを解析システムに融合し、観測値と計算値が最も整合するようシステムのパラメータを自動調整する手法を開発する（温室効果ガスのトラッキングシステム）。これにより、国別・地域別の炭素収支の精緻な評価を行い、炭素循環のいわゆるホットスポット（気候変化が炭素循環を変化させ、それが気候変化を加速させる地域）の微小な変化を早期検出する。炭素循環の変化を早期発見してその影響を発信することは、国際社会に対し温暖化対策の緊急性を強く訴えることとなり、持続可能な地球環境と社会の実現に向けた貢献となる。

② 学術的な意義

全球炭素循環の実態把握とその変化の早期検出、並びに炭素管理の意思決定の効果を評価するための、最適な観測・評価システムを確立する。これにより以下の成果と効果が期待される。

- (1) 衛星観測（GOSAT）・航空機・船舶・地上ステーションに基づく、アジア太平洋域で特に強化された温室効果ガスの観測網が確立する。これにより、炭素循環における観測空白域が緩和され、品質管理された観測データが早期に利用可能となる。
- (2) 炭素フラックス推定のためのトップダウン・ボトムアップ手法が高度化され、さらにそれらを統合した温室効果ガスのトラッキングシステムが開発される。その結果、全球、特にアジア太平洋域における国別・地域別のCO₂吸収排出量、大都市圏・固定大規模発生源からの排出量の現実的な評価が可能となる。
- (3) 実測による定量評価が困難とされてきた炭素循環のフィードバック効果の把握、ホットスポットの早期検出が初めて可能となる。その結果、全球温室効果ガスの動態解明、気候変化予測、それらの不確実性評価に関わる研究が大幅に加速される。
- (4) 開発された解析システムを用いて、途上国の森林地域について空間分解能を上げた評価を行うことにより、REDD+（開発途上国における森林減少・劣化等による温室効果ガス排出量の削減）および炭素クレジット化の検討に対し定量評価と科学的知見を提供することが可能となる。また、未だ精緻な定量化が困難である大規模森林（泥炭）火災によるCO₂排出を実測に基づき評価することが可能となる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内では、第2期科学技術基本計画で重点分野の一つとされた環境分野において「地球温暖化研究イニシアティブ」が設定され、戦略的な研究目標が定められた。しかし、この動きは第3期、第4期の科学技術基本計画には継承されず、わが国としての地球温暖化研究の推進戦略は明確化されていない。観測面では、総合科学技術会議で策定された「地球観測の推進戦略」がその役割を担っているが、実際は府省ごと、研究機関ごとに独立して行われる傾向が強く、環境研究の総合化を阻んでいる。

海外では、特に2000年以降、温室効果ガスの各種観測データと数値モデル（特にインバージョンモデル）に基づく炭素循環の把握について、国際的政府間組織や欧米諸国で研究計画が策定され、大型かつ長期の研究も始動している。欧州連合では、2013年に始まり20年間継続する統合的な炭素循環研究（Integrated Carbon Observing System）が準備段階に入っている。アジア太平洋域を対象とした本格的な研究計画は策定されていない。

④ 所要経費

(1) アジア太平洋域で強化された観測システムの整備

- ・地上観測ステーションの増設および維持費（南・東南アジア10カ所）20億円
- ・航空機借上げ料および搭載計測装置（ガス分析装置等）10億円
- ・船舶借上げ料および搭載計測装置（ガス分析装置等）10億円
- ・観測人件費（観測技術者・データ解析技術者）6億円 なお、衛星観測（GOSAT等）関連経費は除く。

(2) 観測データ統合利用システムおよび統合モデルの開発

- ・観測データ統合利用システム開発費（システム開発費）1億円
- ・統合モデル開発費（システム開発・改良費）1億円
- ・解析人件費（システム開発技術者・データ解析技術者）3億円

合計51億円（研究期間10年間）

⑤ 年次計画

本研究は5つのサブグループにより構成される。それぞれの計画を以下に記す。

- (1) 南・東南アジアについて温室効果ガスの濃度とフラックスを観測する地上観測点を増強、航空機と船舶観測も強化する。
- (2) 大気輸送モデルと大気中温室効果ガス濃度のデータに基づく、トップダウンアプローチによる炭素収支評価の高度化を行う。
- (3) 陸域・海洋の観測データと経験モデル等に基づく、ボトムアップアプローチによる炭素収支評価の高度化を行う。
- (4) トップダウン・ボトムアップアプローチの統合に基づく温室効果ガスのトラッキングシステムを開発する。
- (5) 全球、特にアジア太平洋地域の国別・地域別炭素収支の評価、ホットスポットの特定、およびそれらの変化の検出を行う。

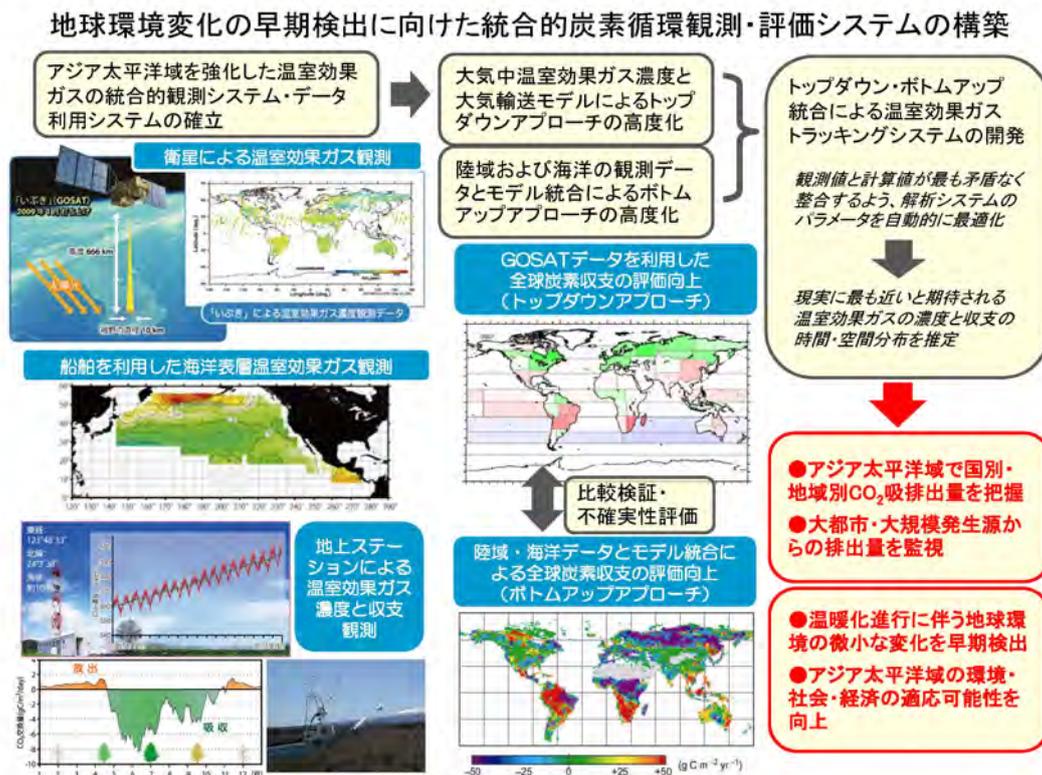
研究期間は10年間とする。各段階で強化する項目は下記の通りである。

初年度：(1)の観測システム整備、および観測データの統合利用システムを開発・強化する。

2～3年度：(2)(3)によるトップダウン・ボトムアップ高度化、比較検証するための集中的な観測、不確実性評価を行う。

4～6年度：(4)の温室効果ガストラッキングシステムの開発、特に、観測データの融合（同化）手法の開発・改良を行う。

7～10年度：(4)のシステムを用いて、(5)による国別・地域別炭素収支評価、並びにホットスポットの特定と変化の検出を行う。



⑥ 主な実施機関と実行組織

国立環境研究所内に委員会を設置し、詳細な研究実施方針の策定を行う。実行段階では次のような機関が参画する。

- (1) アジア太平洋域で強化された観測システム整備：国立環境研究所・気象研究所・海洋研究開発機構・東北大学・北海道大学
- (2) 大気輸送モデルと大気中温室効果ガスデータに基づくインバージョン解析法（トップダウンアプローチ）の高度化：気象研究所・海洋研究開発機構・東京大学・国立環境研究所
- (3) 陸域・海洋の観測データとモデル統合に基づくボトムアップアプローチの高度化：福島大学・北海道大学・農業環境技術研究所・産業技術総合研究所・国立環境研究所
- (4) トップダウン・ボトムアップ統合とデータ同化に基づく温室効果ガストラッキングシステムの開発：国立環境研究所・気象研究所・海洋研究開発機構
- (5) 全球およびアジア太平洋域における炭素収支評価、ホットスポット特定、変化の早期検出、不確実性評価：海洋研究開発機構・気象研究所・福島大学・国立環境研究所

さらに、筑波大学、東海大学等の協力を得る。

⑦ 社会的価値

今後わが国がアジア太平洋域を対象として、戦略的な研究計画に基づいて、温室効果ガスの動態を正確に把握し、その将来予測を高い精度で行う手段を持つことは、緩和策としての排出削減目標の設定に科学的根拠を与え、適応策の基本となる気候変化の予測精度を向上させることにより、各国の政策と経済に直接的な影響を与える。また、ホットスポットに関わる地域や事象を特定し、その微小な変化を早期に検出することは、地球温暖化対策の緊急性について国際社会並びに地域社会に対して警鐘をならすことにつながる。

⑧ 本計画に関する連絡先

三枝 信子（独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター） n.saigusa@nies.go.jp

さとやま共生系：過去から未来へ

① 計画の概要

エネルギー・化学物質を多投入することなく、生物生産物を含む広範な生態系サービスを持続的に活用しつつ生物多様性を維持しうる生態・社会システムを、ここでは「さとやま共生系」とよぶ。それは、モノカルチャー（単作）と多投入を旨とする近代農業の席卷によって生物多様性の急激な低下が起こる以前には、世界各地にみられた伝統的なシステムでもあり、日本の伝統的な水田システムを中心とするさとやまはその代表例である。持続可能な人類社会を築く上で多くの有益な示唆を含むことが期待されるそのようなシステムが注目されるようになり、生物多様性条約第10回締約国会議（2010）では、日本が提案した長期目標「自然と共生する世界」とともに、さとやままで培われた自然との共生の智慧を未来に活かすための「さとやまイニシアチブ」が採択された。欧米および日本の自然再生事業の中にも、このような共生システムに目を向け、その要素を取り戻すことを目的に実施されているものが少なくない。

本研究プロジェクトは、そのような意義を持つ「さとやま共生系」の多様な側面の学術的解明にもとづき、持続可能な社会の構築に向けた具体的な提案を担う統合的学術領域の確立をめざす。そのため、国際的な枠組みから地域の実践にいたるまで、持続可能な社会の構築にかかわる政策や計画に学術面から参与しつつ、社会的ニーズに直接応えることのできる現場に即した知の蓄積をはかる。一方で、先史時代から現在までの広いタイムスケールを視野において、さとやまの土地利用や資源採集、水田システムにおける稲作などの人間活動、生物多様性と生態系サービス、地域文化などの間の多様で多階層にわたる複雑な相互の関係性を、多様な学術分野のアプローチを駆使して分析・評価する。これらの研究を通して、近未来のさとやま共生系のデザインに資する原理・視点・手法・指標を抽出あるいは開発して体系化する。

② 学術的な意義

さとやまの生物多様性と生態系サービスを深く広く捉えて人間活動との関係を理解することにより、人類社会の重要な目標の一つとして掲げられている「自然との共生」を実現するための具体的な要件・条件および辿るべきプロセスを明らかにし、世界規模から地域規模までのさまざまなレベルでの社会的な実践を学術面から先導し、また評価・検証するには、多様な学術分野の協働が必要不可欠である。日本は、理念としての「さとやま」の概念を掲げ、国際的な環境政策においてオピニオンリーダーの役割を担いつつある。この研究プロジェクトが確立をめざす「統合的な知のフォーラム」の形成によって個別分野に散在する知見を統合・体系化し、社会が利用可能な情報として発信することは、日本の学術に課せられた義務であるともいえるだろう。

行政の非効率性を批判する言葉に「縦割り」があるが、残念ながら学術の世界においても分野間の知の交流は活発とはいいがたく、行政よりも深刻な「縦割り」の実態も散見される。例えば、ある分野ですでに確立している知見や常用される手法が別の分野で利用されず「時代遅れ」ともいえるアプローチでの研究に多額な研究費が投入されることもある。

「さとやま共生系」研究プロジェクトでは、自然と文化が相互作用しつつダイナミックに変化するシステムを広範な学術分野の協力で解明するにあたって、学術の縦割りの壁を打破するために、人材養成面において意識的な努力を行う。また、それぞれの学術分野に蓄積している知見、概念、手法のうち、問題解明にもっとも適したものを統合利用し、社会的ニーズに正面から向き合い貢献する科学を打ち立てる。一方で、社会の多様な主体と密接にかかわりあいながら進める「参加の科学」を重視する本プロジェクトは、現代社会における「科学と社会の著しい乖離」という深刻な問題の解決に資するモデルの一つを提供するものでもある。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

日本国内においては、当該計画のテーマに関連して、多様な個別の学問分野において、それぞれの分野特有のアプローチによる研究がはじめられている。それらの多くは、地域の取組に参与する研究であり、東日本大震災の被災地、自然再生事業が実施されている地域などがフィールドとなっている。保全生態学と情報科学の協働により、住民参加の科学を軸とする地域づくりに貢献している例などもある。しかし、それらの間での研究交流はほとんどなされていない。本研究プロジェクトは、この分野の研究交流の活発化に大きく寄与するものである。

国際的に注目すべき動向としては、ドイツ政府（研究教育省）が2012年より進めている研究プロジェクト「日本とドイツのさとやま環境の持続的利用に向けて—農村環境管理の統合的理念としての生物多様性と生態系サービス（略称 JAGUAR）」があり、日本の研究者との密接な共同を求めている。本研究プロジェクトはこのプロジェクトをはじめ、ヨーロッパや東南アジアにおける「さとやま」理念を共有しうるプロジェクトと連携し、さとやま共生系研究の国際フォーラムの構築をめざす。

④ 所要経費

6年間の研究プロジェクトのおよそ50億円程度の所要経費の内訳を下に示す。研究の進展状況により、変化が予想されるが、平均的な額を示した。人件費の占める割合が大きいことは、既存の分野から「さとやま共生系」研究領域に優秀な人材をリクルートして強力な研究実行チームを構成するためである。また、国内外の多くの現場における実践に参与しながら研究を進めるために旅費の占める割合も大きくなっている。国際的シンポジウム、国内シンポジウム・フォーラム、現場でのワークショップなど、研究者以外の主体も含めた多くの会議の開催のための会議費、自然史データ、衛星・空中データ、社会経済的デー

タなどの収集、ネットワーク構築・維持・活用にも相応の経費を割く必要がある。人件費：3億円/年×6年＝18億円（特任教授、ポスドク研究員、技術補佐員等）、旅費：1億5千万円/年×6年＝9億円（国内外フィールド、会議等）、会議費：5千万円/年×6年＝3億円（シンポジウム等）、消耗品費：1億5千万円×6年＝9億円、印刷費・労務費・データベース管理費：5千万円/年×6年＝3億円、情報ネットワーク費：1億5千万円/年×6年＝9億円

⑤ 年次計画

2015年 ●研究組織の構築と統合的な研究としてプロジェクトを実施するための情報共有のためのシンポジウム・フォーラムを複数回開催 ●東日本大震災被災地の研究サイト、福井県三方五湖自然再生事業地、奄美群島などの研究サイトにおける地域との協働による地域研究プロジェクトの組織するためのワークショップの開催（数回） ●各種国際的な共同研究のためのシンポジウムや海外の現場でのワークショップを開催 ●データなどの収集や電子化されていない情報の電子化など、資料収集と整理、データベース化の方針を決めてデータ収集を開始

2016年～2019年 ●上記多様なデータの収集を地域の現場における参与型の研究とあわせて行い、データセットが利用できるようになった対象から順次関係性の分析・評価、モデル化。現場での実践の計画に反映して検証。とくに、空間生態学的な分析を重視 ●毎年1回ずつ情報共有のためのシンポジウム、フォーラム、さとやまの自然と共生する水田稲作に関するワークショップを開催 ●「さとやま共生系」国際的ワークショップを開催

2019年～2020年 ○研究成果をとりまとめて、各フィールド地域における「さとやま共生系」を維持・発展させるための指針や管理戦略やアクションプランを地域の多様な主体が参加するフォーラムによって策定○さとやまの自然と共生する水田稲作の普及に向けた手引き書を作成 ●個別の研究の学術誌における発表に加え、地域や国の生物多様性戦略（計画）や政策に研究成果を反映させるための文書を作成してインターネットで公表 ●生物多様性条約の新しい戦略計画等の計画に研究成果を反映させるための英文文書を作成してインターネットで公表 ●生物多様性条約締約国会議（2016年および2018年）において、「さとやま共生系」国際的ワークショップを開催

⑥ 主な実施機関と実行組織

実施期間 2015～2020年

実行組織 総合地球環境研究所、国立情報学研究所、中央大学、東京大学、慶応大学

主な実施期間を2015年～2020年とするのは、この計画が構想段階にあるため、プロジェクトの組織に1年を要することと、2020年に開催予定の生物多様性条約第15回締約国会議で採択される新しい戦略計画に研究成果のインプットをねらうためである。

総合地球環境研究所は、人文学、社会科学、自然科学の広範な分野の研究者、とくに若手研究者が所属し、研究および人材養成の役割を幅広く担う。

国立情報学研究所は、本計画の中でデータベースや参加型プログラムの双方向的情報交換のサイトの構築などを担う情報学の研究パートを担う。

中央大学理工学部の2013年に新設された人間総合理工学科は「人間と自然の共生」に関する研究・教育を目的としており、保全生態学の研究室は、研究全体を牽引する役割を果たす。

東京大学、慶応大学の関連領域の若手研究者は、本研究の計画立案、企画、実施の全課程に参画してプロジェクトの中核を担う。

⑦ 社会的価値

本研究で得られる「さとやま共生系」に関する広範な知見は、生物多様性条約を枠組みとする国際的な政策・計画に理論面・技術面から大きく寄与することが期待される。国内では、自然環境行政のみならずより広範な行政のニーズとして、人口縮小地域でもある里地里山（さとやま）の新たな共同利用や国土の利用計画における位置づけの解明が焦眉の課題となっており、本研究の成果は、そのような課題に答えるものでもある。一方、さとやま共生系を意識した自然再生事業が実践されている現場や生物多様性の保全と持続可能な利用を目的とする新たな国立公園の設置が予定されている地域などにおいて、本研究がさとやま共生系の視点から計画づくりや順応的な管理に直接参与することは、当該地域での取組の成功に寄与する一方で、研究成果を実際の事業や管理によって検証し、より一般的な価値のある知見として社会に還元することに役立つ。また、食料などのさとやまの供給サービスの持続的な生産は地域の持続可能性を保障するためのもっとも重要な課題であり、本研究計画は、自然と共生する稲作を社会に位置づけるための具体的なモデルづくりにも貢献することをめざす。

⑧ 本計画に関する連絡先

鷺谷 いづみ（東京大学農学生命科学研究科生態圏システム学専攻） awashi@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp



脱・持続不可能社会のための汎教育システムの構築 —SDGs に向けたマルチ・ステークホルダーの協働による教育

① 計画の概要

ポストDESDに向けた汎環境教育システムの構築と新たな実践の創造

UNDES D (国連・持続可能な開発のための教育の10年/2005年～2014年)を経て、持続可能な社会の実現をめざす取り組みが、市民一人ひとりによる実践と思考の積み重ねに依拠するものであることが改めて明らかとなった。リオ+20 (2012年)の成果文書においても、持続可能な開発目標 (SDGs) が2015年以降の国連開発アジェンダに整合的なものとして統合すべきでことが合意されている。まさに、ポストDESDはSDGsの達成に向けた市民レベルでの実践の組織化とより広い環境教育の枠組みを求めており、持続不可能な社会のあり方を市民自らが修正できる環境教育システムの構築が急務となっている。本計画の目標は2015年以降のポストDESDの新たな段階を準備するものとして、学校教育及び社会教育を統合したESD型社会を担保する汎環境教育システムを構築しようとするものである。具体的には、日本環境教育学会を核とする大学等の研究機関及び日本環境教育フォーラム (JEEF) やキープ協会等の全国の自然学校をネットワークする研究組織を立ち上げ、SDGsの達成に向けたマルチ・ステークホルダーの協働による汎環境教育システムを構築する。そのためには、新たな環境教育の効果に関する実証研究をベースに、地球公共資源の維持にもとづいた持続可能な社会を担保する汎環境教育システムを構築し、さらに日本環境教育学会とJEEF、キープ協会等が共同で企画・運営する研究・研修・教育拠点を立ち上げ、全国の自然学校及び青少年研修施設等のネットワークを活用し、学校や地域・事業所等において、汎環境教育を推進する環境教育の指導者養成 (10年間で1,000人のESD指導者養成) を体系的・継続的に行うことが必要である。

そのためには、新たな環境教育の効果に関する実証研究をベースに、地球公共資源の維持にもとづいた持続可能な社会を担保する汎環境教育システムを構築し、さらに日本環境教育学会とJEEF、キープ協会等が共同で企画・運営する研究・研修・教育拠点を立ち上げ、全国の自然学校及び青少年研修施設等のネットワークを活用し、学校や地域・事業所等において、汎環境教育を推進する環境教育の指導者養成 (10年間で1,000人のESD指導者養成) を体系的・継続的に行うことが必要である。

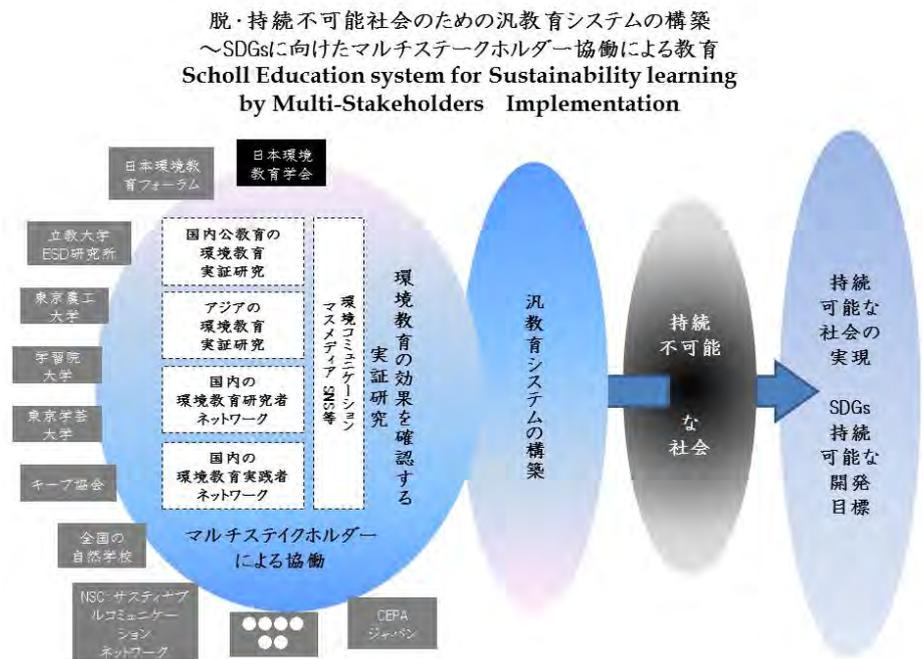
② 学術的な意義

「環境教育」概念が国際自然保護連合 (IUCN) 結成総会 (1948年) で提唱されて以降、主に3つの視点によって、学術的に拡張され、深化してきた。(1) 資源・エネルギーの視点。自然の保護から保全・活用へと環境概念が拡張されることによって、自然環境を資源・エネルギーの問題とみなして「限りある自然」の意義が強調されてきた。(2) 環境的公正の視点。環境問題は社会構造や格差の問題と結びつけられることで、「持続可能な開発」概念の登場とともに世代間公正の問題を含む環境的公正の枠組みの中で語られるようになった。(3) 地球環境悪化の視点。地球サミットを契機とした地球環境問題への注目は、地球規模での温暖化や生物多様性の喪失、原発事故による放射能汚染問題等に代表される地球環境の悪化と不可分のものとして理解されるようになった。

こうした環境教育概念の拡張と深化は、持続可能な開発のための教育 (ESD) 概念を生み出す必然性を持っており、DESD後の環境教育のあり方はESD概念を強く意識したものとならざるをえない。SDGsの達成に向けたマルチ・ステークホルダーの協働による汎環境教育システムを構築することは、これまでの環境教育の研究・実践の成果を体系化することにとどまらず、環境教育以外の領域の成果を踏まえたESDの実践を担保するものとなる。とりわけ、環境教育学会と自然学校等が直接連携・協力しながら研究・研修・教育を行う仕組みをつくることで、理論と実践とが互いに切磋しながら発展させる可能性を具体化することが重要である。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

環境教育 (さらにはその発展形であるESD) については、国内外で多くの研究的蓄積がなされており、これらの成果は学会誌や数種の環境教育専門の国際ジャーナルなどを通じて流布している。そして、環境教育/ESDの研究・教育を推進するために幾つかの大学は、研究組織を設立し、取り組んでいる (国内では本研究プロジェクトの連携機関である立教大学、東京学芸大学など、アジアにおいては台湾師範大学、チュラロンコン大学など)。また、DESD開始以降は、国連大学が高等教育機関を核としたESD推進の地域拠点 (RCE) 構想を具体化し、すでに100以上の拠点が設立されている (国内は6か所)。このように、大



学において、少なからずの組織的な研究がなされてはきたが、肝心の環境教育の効果に関する実証研究は長期にわたる研究と莫大な経費を要することなどから、未だなされてはいない。しかも、本計画のようなマルチ・ステークホルダーによる研究は皆無である。この意味で、本計画が、国内外の環境教育研究拠点と協働することによって、ポスト DESD を先導する画期的な成果を得るポテンシャルは十二分にある。

④ 所要経費

総額 50 億円（平成 26 年度～平成 35 年度／初期投資・設備整備 20 億円、システム開発・事業費 10 億円、拠点運営費・人件費 20 億円）

2014 年度（平成 26 年度）～2016 年度（平成 28 年度）＜学を得る＞研究・研修・教育拠点の整備 10 億円（コアセンターの整備等）、システム開発・設計及び先導的事業の実施 3 億円、拠点スタッフの人件費及び拠点運営費 3 億円。

2017 年度（平成 29 年度）～2021 年度（平成 33 年度）＜学を広める＞研究・研修・教育拠点の拡張 10 億円（自然学校等へのセンター機能の拡張）、システム改善及び普及事業の実施 5 億円、拠点と各地スタッフの人件費及び拠点運営費 15 億円。

2022 年度（平成 34 年度）～2023 年度（平成 35 年度）＜学を成す＞システムの運用及び検証事業の実施 2 億円、スタッフの人件費及び拠点運営費 2 億円。

⑤ 年次計画

2014 年度（平成 26 年度）～2016 年度（平成 28 年度）＜学を得る＞DESD の検証と総括及びポスト DESD に向けた研究・研修・教育システム（汎環境教育システム）の開発・設計。研究・研修・教育拠点（コアセンター等）の整備。コアセンターを中心とした先導的事業の実施・検証（ESD 指導者養成 100 人程度）。学際的・国際的な DESD 及びポスト DESD の実証研究の推進。

2017 年度（平成 29 年度）～2021 年度（平成 33 年度）＜学を広める＞SDGs の達成に向けた研究・研修・教育システム（汎環境教育システム）の自然学校・青少年自然の家等への普及。研究・研修・教育拠点の全国への拡張（自然学校・青少年自然の家等へのセンター機能の拡張）。全国の拠点における ESD 指導者養成事業の実施（5 年間で 700～800 人規模）。学際的・国際的な汎環境教育システムの実証研究の実施。

2022 年度（平成 34 年度）～2023 年度（平成 35 年度）＜学を成す＞SDGs の達成に向けた研究・研修・教育システム（汎環境教育システム）の検証と新たな政策・制度の提案。各研究・研修・教育拠点における検証事業の実施（ESD 指導者の実践の共有／2 年間で 100～200 人規模）。学際的・国際的な汎環境教育システムの検証研究の実施。

⑥ 主な実施機関と実行組織

日本環境教育学会（<http://www.jsoee.jp/>）内に学術大型研究計画推進本部（本部長＝会長、事務責任者＝企画委員長）を設け、コアセンターを公益財団法人・キープ協会（<http://www.keep.or.jp/ja/>）に整備する。研究サブセンターを立教大学 ESD 研究所（<http://www.rikkyo.ac.jp/research/laboratory/ESD/>）、研修・教育サブセンターを安藤百福記念自然体験活動指導者養成センター（<http://momofukucenter.jp/>）もしくは公益社団法人・日本環境教育フォーラム（<http://www.jeef.or.jp/>）に置く。

コアセンターに推進本部事務局を設置し、立教大学・東京農工大学・学習院大学・東京学芸大学等の首都圏の環境教育研究領域をもつ大学が幹事校（必要に応じて研究ブランチを設置）となって全国の大学等研究機関をネットワークし、日本環境教育フォーラムが中心となって全国の自然学校及び青少年研修施設等の環境教育実践組織をネットワークする。コアセンターを活動拠点として汎環境教育システムの開発と先導的事業を進めるとともに、研究ブランチの協力を得ながら全国の自然学校等に研修・教育ブランチを設置しながら ESD 指導者養成事業を展開する。また、コアセンターを中心に国内外の研究者・実践家を適時招請して、学際的・国際的な視点による汎環境教育システムに関する実証研究の検証と総括を行う。

⑦ 社会的価値

日本政府の提案によって取り組まれた UNDESD（国連・持続可能な開発のための教育の 10 年）は、必ずしも十分な成果を上げられないままに最終年度（2014 年度）を迎えようとしている。本研究計画が目指す SDGs の達成に向けたマルチ・ステークホルダーの協働による汎環境教育システムの構築は、まさに DESD に期待されながら達成できなかった課題の解決を、子どもから市民に至る一人ひとりの地域での実践を支える ESD 指導者の系統的・継続的な養成を通じてアクション・リサーチとして進めようとするものである。

とりわけ、自然環境が豊かでありながらも過疎化・高齢化に悩む地域に多く立地する自然学校等を研究・研修・教育の拠点として整備することは、日本社会が直面する地域間格差を縮小し、多様性を保持しながら均衡のとれた開発を模索するうえで重要な意味をもつと期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

阿部 治（立教大学・社会学部、日本環境教育学会） osamu@rikkyo.ac.jp

Future Earth : 地球人間圏の相互作用環の俯瞰解明に基づく地域からグローバルな持続可能性の追求

① 計画の概要

地球システムは物理・化学的環境と生命圏が複雑に相互作用しており、このシステムに育まれて人類は発展してきた。しかし、産業革命以降、急激な人口増加と産業活動拡大により、人間活動は全球スケールで地球システムを変化させて地球人間圏を形成し、地球史上、人類世とよばれる時代を生み出すに至った。この人類世では、気候変動、生物多様性の喪失、物質循環変化等により過去 1 万年間安定していた地球システムが臨界点をこえている可能性が指摘されている。この大規模な地球システム変化は、人類文明にとって大きな脅威である。

このような地球人間圏の持続可能性を、人類はどう構築できるかという大問題に挑戦するために、現在 ICSU を中心として地球変化統合研究プログラム Future Earth (FE) が提案されている。FE では、持続可能な地球人間圏への移行をめざして、(1) ダイナミックな地球システムの理解、(2) 持続可能な地球システムのための智慧(環境知)の獲得、および(3) 環境知にもとづく未来可能な地球人間圏を提示することを目的に掲げている。本計画ではこれらの目的に沿って、地球環境問題が集積しているアジアに中心的視座をおき、(1) GEOSS 等の活用も含めた全球・地域観測ネットワークデータによる過去から現在までの地球人間圏変化の統合解析、(2) 社会統計情報、土地利用・災害資料等のデータなども活用して、地球人間圏変化の問題解決に向けたメタ解析を、全球・地域レベルの研究を通して行う。(3) これらの知見を統合し、社会の多様な主体との協働により、新たな環境知にもとづく地域から全球スケールでの地球人間圏モデルを構築し、持続可能な地球人間圏への移行シナリオを提示する。さらに、(4) これらの知の集約と社会との連携のための永続的な研究・教育・情報ネットワーク活動のために「地球未来学国際基盤連携センター(仮称)」を構築する。

② 学術的な意義

(1) 地球システムと人間活動による様々な要因が複雑に絡む問題の解決には、自然科学と人文社会科学の協働に加え、科学と社会の共創に基づく超学際的な科学的取り組みが必要不可欠である。本計画の遂行により、研究者と社会の多様な主体が問題点を共有し、問題解決に向けての道筋を共に創り合意形成を行いつつ、持続可能な地球人間圏構築のための「社会のための科学」を大きく推進することができる。以下に、期待される成果と意義をより具体的に記す。

(2) 人口や巨大都市が集中するモンスーンアジア沿岸陸域とその縁辺海域、世界で最も豊かな生物多様性を有しながら、最も生態系破壊が進む東アジアグリーンベルト、脆弱な気候生態系で成り立っている内陸乾燥アジアなど、環境問題が複雑に絡むアジア域での地球人間圏変化の実態解明と解決への道筋をつけることが可能となる。特に災害リスク統合研究(IRDR)等との連携により、アジア特有の自然災害問題と環境問題の複合的問題への解決も視野に入れる。

(3) 自然科学・人文社会科学系分野の協働により、「地球システムガバナンス研究」等におけるアジアでの国際的拠点形成が可能となる。

(4) 国際的な地球環境教育プログラムである ESD(持続発展教育)や GLOBE(環境のための地球学習観測プログラム)を、FE の超学際的な取り組みと結びつけて実践することにより、人類世時代の環境教育として活性化できる。

(5) 「地球未来学国際基盤連携センター(仮称)」を設立することにより、過去から現在にいたる地球人間圏変化に関する知・情報の集積を進めて研究・教育・情報のネットワークを活性化し、社会との連携を図りながら、持続可能な地球人間圏構築を永続的に進めることができる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ICSU 傘下ではこれまで、世界気候研究計画(WCRP)、地球圏生物圏国際共同研究計画(IGBP)、生物多様性国際共同研究計画(DIVERSITAS)、および地球環境変化の人的側面に関する国際研究計画(IHDP)という 4 つの地球環境変化研究計画(GEC)と、これらを生野横断的につなぐ ESSP が実行されていた。FE はこれらを統合再編し、地球の持続可能社会を追求する国際研究プログラムとして、ICSU や ISSC(国際社会科学評議会)を始め、UNESCO、UNEP、UNU などの国連機関、各国の予算配分機関(IGFA および Belmont Forum) が組織して計画されており、文理融合に加え、超学際的に研究を進める体制をとっている。本計画は、こうした FE の国際動向に対する日本からの国際発信する提案である。上記 GEC や ESSP 関係のこれまでの国内での研究活動の連携・統合に加え、人文社会科学研究者も参加し、持続可能な開発目標(SDG)等への貢献も含め、FE でのアジア地域の重要な拠点計画として進める。IRDR との連携や、新たな地球環境教育のために、ESD や GLOBE の活動をリンクさせて進める。

④ 所要経費

(1) 地球人間圏変化の統合解析 : 10 億円/年 (前半 5 年) 5 億円/年(後半 5 年)

(2) 地球人間圏変化の問題解決に向けたメタ解析 10 億円/年

(3) 社会の多様な主体と連携した地球人間圏モデルの構築と持続可能な地球人間圏構築のための活動 10 億円/年

(4) 研究・教育・情報ネットワークと FE アジア拠点を含む

「地球未来学国際基盤連携センター(仮称)」設立とその運営 12 億円/年

⑤ 年次計画

全体で 2014 年度～2023 年度の 10 年間(国際計画 FE の第一期に対応。)

2014～2015 年度：

前半は全般的計画推進体制の構築、後半は研究・事業の準備・予備研究。地球人間圏調査・観測集中地点の同定と準備、過去の統計・地図・研究成果資料等の収集や現地調査のプロトコル作成、過去の地球表層環境推測データ収集開始、Future Earth アジア地域事務局の開設、「地球未来学国際基盤連携センター」の設立準備。

2016～2018 年度：

地球人間圏変化調査・観測ネットワークサイトの選定と調査・観測の開始。過去の資料収集、現地調査に関しては、統計データ、地図データ、地域調査・研究の成果などを中心に地球人間圏に関する知・情報をネットワーク上に集積。これらに基づいて大気、極域・雪氷、陸域、生態系、土地利用土地被覆、沿岸、海洋、社会経済、人間行動などを要素として含む地球人間圏モデルにおけるの構築とその改良。「地球未来学国際基盤連携センター」の設立。

2019～2023 年度：

過去から未来へと向かう人間地球圏の変遷誌解説、展望の作成の推進と地球人間圏変化観測ネットワーク情報や現地調査、収集整理された整理から地球人間圏の要素間の相互作用環の解明とモデル化。地球人間圏モデルとして今後 150 年程度の社会変動、地球変動に関するいくつかの将来展望を作成。地域的、国家的、全世界的な対応策オプションとそれに応じた変化に関する知の基盤ベースを集積し、社会システムの変容プロセスを研究する環境-社会変容の実験。「地球未来学国際基盤連携センター」を中心とした FE の第二期に向けた準備を開始。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本計画は、国内の大学・研究機関および政府機関・地方自治体・教育機関・民間などの実務機関・団体を含むネットワーク型の研究組織で推進する。ネットワーク全体の管理と運営には中核機関グループの連携による「地球未来学国際基盤連携センター」を機能させる。ネットワークには、概要の3つの課題に対応したいくつかのサブ拠点を位置付ける。また、研究者全体の連携は、日本学術会議 Future Earth 推進委員会および関連委員会・分科会が担う。

●中核機関グループ：

総合地球環境学研究所：本研究計画全体の統括とアジア地域拠点(FE-Asia Platform)の役割を担う。また、地球人間圏変化のメタ解析の統括(課題2)および地球未来学国際基盤連携センター(課題4)の設立準備も行う。

科学技術振興機構社会技術研究開発センター：持続可能な地球人間圏シナリオ(課題3)の研究推進と研究情報ネットワーク(課題4)の支援を行う。

国立環境学研究所：地球人間圏変化の統合解析(課題1)の統括を行う。

地球環境戦略研究機関：持続可能な地球人間圏シナリオ(課題3)の統括を行う。

●ネットワークサブ拠点：

北海道教育大学(課題2,3:環境教育とESDを主として担当)、北海道大学(課題1:GLP関連研究)、東北大学(課題1,2:IPBES/DIVERSITAS関連研究)、宮城教育大学(課題2,3:環境教育とESD)、茨城大学(課題2,3:海岸沿岸域の持続性)、気象研究所(課題1:地球温暖化予測・気候情報サービス)、産業技術総合研究所(課題2:IYD及び国際DELTAイニチアティブ)、東京大学大気海洋研究所(課題1:WCRP,IGBP関連研究)、東京大学生産技術研究所(課題1,2:水循環変化)、東大工学部(課題1,2,3:GEOSS/DIAS,IRDR関連研究、都市持続再生)、東京工業大学(課題2,3:SDG政策立案)、情報通信研究機構(課題1,2:WDS/CODATA関係)、首都大学東京(課題1,2:アジア気候環境データ)、東京学芸大学(課題2,3:環境教育とGLOBE)、政策研究大学院大学(課題2,3:アジアの政治経済と環境の持続可能性)、海洋研究開発機構(課題1:大気海洋系変化)、横浜国立大学(課題1,2:DIVERSITAS関連)、名古屋大学(課題2,3:アジア臨床環境学)、三重大学(課題2,3:災害リスクマネジメント研究)、京都大学東南アジア研究所(課題2,3:アジア持続性学)、京大農学研究科(課題1,2:水循環)、京大生存圏研究所(課題1,2:熱帯アジア持続性学)、国立民族学博物館(課題3:環境人類学)、九州大学(課題2,3:アジア保全生態学、意思決定科学)

⑦ 社会的価値

FEは地球が「生存の限界」に近づきつつある状況を見据えて、地球人間圏の持続可能性を追求する計画であり、その成否は人類社会にとって死活的に重要な意味を持つ。一方東日本大震災は、日本を含むアジアの変動帯の環境が自然科学、人文社会科学の両面からみて、さまざまな脆弱性をもっていることを激烈に示した。その意味で、アジアにおける地球環境問題と自然災害を密接に関係する問題として扱う本計画は、震災体験を経た日本においては、国民に理解されるというより、まさに国民が待ち望むわたちの科学研究であると確信している。さらに、自然科学と人文社会科学の協働と、研究者・政策担当者、教育関係者などの社会の多様な主体との協働を計画推進の根幹に据える本研究計画は、これまでの「縦割り」「タコ壺」的な従来型の「科学のための科学」的な知的営みを乗り越えて、「社会のための(社会と共にある)科学」を基本とした新しい知の生産をめざすものである。この新しい科学は、地球社会の持続可能性を高め破局を回避し、より持続性・持続性のある経済・産業の在り方の模索するものであり、長期的な視野でみた本計画の経済的・産業的価値は非常に大きい。

⑧ 本計画に関する連絡先

安成 哲三(総合地球環境学研究所) yasunari@chikyu.ac.jp

数理科学の深化と諸科学・産業との連携基盤構築

① 計画の概要

数学・数理科学は第4期科学技術基本計画においても、科学技術の共通基盤と位置付けられている。科学技術イノベーションを長期的に支えるため、二つのタイプの研究拠点を形成し、数学・数理科学を深化させるとともに諸科学・産業との連携を着実に展開する。一つは、大学共同利用機関および共同利用・共同研究拠点が中核となり、他の数理科学の研究機関が連携した、ネットワーク型の研究拠点である。もう一つは、国際ネットワークのハブとなる訪問滞在型の研究拠点(施設と運営機能)である。日本の優位性を活かし長期的な発展を確保しつつ新分野開拓の先頭を走るためにも、長期訪問滞在型研究施設の設置は欠かせない。ネットワーク型研究拠点においては、数学・数理科学のフロンティア探索とともに数学へのニーズの発掘からイノベーションへつなげるため、既存の各種プログラムの大幅な機能強化と新しい取り組みを開始する。具体的には、社会的に喫緊の課題に対して研究プロジェクトを立ち上げ、諸科学・産業と連携して問題解決に取り組む。ネットワーク型の多様性と柔軟性を活かすことにより、諸科学・産業からの逆インターンシップや共同研究のスタートアップ等を効果的に実現する。このプロジェクト研究を行う中で、イノベーションに必要な人材の育成を量的効果も意識して行う。

数学・数理科学のフロンティア探索とともに数学へのニーズの発掘からイノベーションへつなげるため、既存の各種プログラムの大幅な機能強化と新しい取り組みを開始する。具体的には、社会的に喫緊の課題に対して研究プロジェクトを立ち上げ、諸科学・産業と連携して問題解決に取り組む。ネットワーク型の多様性と柔軟性を活かすことにより、諸科学・産業からの逆インターンシップや共同研究のスタートアップ等を効果的に実現する。このプロジェクト研究を行う中で、イノベーションに必要な人材の育成を量的効果も意識して行う。

中長期の計画となる訪問滞在型の研究施設においては、少数の常勤研究者と研究支援スタッフを置き、特定の課題・テーマのもと関係者を招聘し中長期滞在型プログラムに参画させる。国外との連携事業などを積極的に推進することにより、数学・数理科学の世界動向を先導しフロンティアを拓く。

② 学術的な意義

数学・数理科学は長い歴史と豊かな広がりをもつ学問であり、人類の出会い様々な課題を数学的概念として定式化し解析する。その成果の汎用性は高く、自然界の法則の理解だけではなく、生命現象、新機能素材、環境問題、エネルギー、食料・水問題などの学際的研究や社会的問題解決のための研究で応用されており、人類社会の発展に大きく貢献してきた。これまで、ともすればバラバラであった「知」を統合するため、汎化機能の特徴とする数学・数理科学の深化と展開(諸分野・産業との連携)の拠点となる研究基盤が必要である。

諸科学・産業界において数理的な問題解決を必要とする場が、近年特に増大している。その背景として、現代社会の情報化・複雑化、計測技術の進歩、計算機性能の向上などとともに、学術分野において異分野融合的な研究領域が重要になってきたことがある。異分野融合は自発的に起こる場合は希で、多くの場合、分野横断的な学問、特に数学・数理科学が分野をつなぐ大きな役割を果たしている。本計画により、数学・数理科学にもとづく、分野を横断・統合する手段を確立することで、従来の発想を覆すような異分野の融合と、それによるイノベーションの惹起プロセスを加速できる。同時に、その手段を習得した新しいタイプの研究者の育成により、学術分野の新陳代謝が連続的に起こり、結果として学術全体の活性化が期待できる。

複雑でダイナミックな現象を捨象した抽象的思考を柔軟に行い、その結果をまた現実世界に投影できる研究者の育成は、アカデミアの誕生以来、アカデミアに身を置く人間の永続的な使命である。

数学・数理科学の深化・発展に寄与するとともに、諸科学・産業との協働による研究活動が我が国に定着し、積極的かつ自発的に拡大していくような研究基盤を形成することは、「知識創造立国」の実現に不可欠である。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国においてはNSFが2004年からPriority Areaの一つとして数理科学を推進し、大規模データへの数学的・統計的挑戦、不確実性のモデリングと管理、複雑非線形系のモデリングの問題を取り上げ重点的に予算措置してきた。一方、日本では、平成19年度のJST戦略的創造研究推進事業「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」領域の設置、また平成23年度から始まった文部科学省と大学等の共催による「数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ」等により、数学・数理科学と諸科学・産業との協働による研究推進の気運がようやく高まっている。昨年度閣議決定された第4期



科学技術基本計画においても、科学技術の共通基盤の充実・強化のための重要課題として、数理科学を含む領域横断的な科学技術の強化が謳われている。米国・イギリス・ドイツをはじめ中国・韓国などアジア先進国においても、この20年、訪問滞在型研究所が次々と設立されている。このように、我が国における数学・数理科学の持続的発展と、その諸科学・産業との協働を促進する体制はいまだ不十分と言わざるを得ず、本計画で目指す研究拠点作りが望まれている。

④ 所要経費

117億円（初期投資（訪問滞在型研究拠点新築費を含む）：22億円、運営費等：7億円×5年＋12億円×5年）

⑤ 年次計画

平成25～34年度（10年間）

平成25～26年度：

・諸科学・産業において数学的知見や手法を活用することによる解決が期待できる課題（ニーズ）を発掘し、具体的な課題解決型研究へとつなげるための、多様なプログラムを実施する。社会的に喫緊の課題に対して重点テーマ型研究プロジェクトを立ち上げ、諸科学・産業と連携して問題解決に取り組む。

平成27～30年度：

・長期訪問滞在型の研究拠点を新設する

平成31～34年度：

・ネットワーク型研究拠点のプロジェクトを固定組織化（センター化）することで、数学・数理科学によるイノベーションの普及活動を充実させる。長期訪問滞在型の研究プログラムを実施する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

ネットワーク型研究拠点は、大学共同利用機関である統計数理研究所を中核とし他の数理科学の研究拠点との連携により、おのおのが擁する研究人材やこれまでの活動実績、内外のネットワーク等を踏まえた強みや特色を活かしつつ、互いに協力して共同研究を有機的に推進する体制とする。連携する研究拠点としては図中に示すとおり。これに加えて数学の深化に関しては、数理解析研究所が長期的研究基盤としての活動を強化・発展させる。中長期訪問滞在型の国際研究拠点は、統計数理研究所（大学共同利用機関）および京都大学数理解析研究所（共同利用・共同研究拠点）のもつ経験とノウハウを十分に活用し、ネットワーク型研究拠点が設立の準備を担う。

⑦ 社会的価値

平成18年の報告書「忘れられた科学—数学」で、我が国の数学研究を取り巻く厳しい状況、諸科学・産業との融合研究の必要性が指摘された。伊藤の確率解析など、重要な基礎研究を生み出しながら、諸科学・産業との協働が不十分なため、外国が中心になって実用化された例も多い。赤池の情報量規準は、数学・数理科学においてその価値を認識される前に、諸科学・産業界において実用性の点から先に高く評価されたのも似た例である。製造業においてかつては国際的に優位であった日本製品のシェアが年々減少していく中、産学が団結して我が国の国際競争力を取り戻すため、数学・数理科学が中心となって諸科学・産業との協働によるイノベーションを継続的・組織的に推進する基盤を構築することは喫緊の課題である。本計画においては、大学院生や若手研究者のイノベーション創出にからむ各種プログラムへの参画、国内外の数学・数理科学研究拠点との研究交流、様々な形態のインターンシップ制度などを通して、数学・数理科学側だけでなく諸科学・産業側が期待する人材育成に努めることには大きな社会的価値がある。

⑧ 本計画に関する連絡先

宮岡 洋一（東京大学大学院数理科学研究科） miyaoka@ms.u-tokyo.ac.jp



未踏波長領域の極限コヒーレント光源による物性光科学の開拓

① 計画の概要

これまで、レーザー分野と放射光分野は独立に進歩を続けてきたが、近年、波長領域における両者の守備範囲が大きな重なりを持つようになり、もはや光源というハードウェアの観点から別の分野と考えるよりは、両光源を目的に応じて縦横無尽に活用する時代に突入しつつあるといえる。しかし、パルス性、単色性、輝度、コヒーレンスなどの特性に、それぞれ大きな特徴があり、相補的な利用価値が高いにもかかわらず、設置場所や利用形態が異なるために、これまで両者の長所を十分に活かした使い分けが、困難であった。

本計画において、光源に関しては、レーザーをベースにして10アト秒台の短パルスおよび1 keV までの軟X線領域におけるコヒーレント光源を開発し、各種時間分解分光や新しい超高速コヒーレント過渡現象の探索を推進する。また、高平均出力レーザーと周波数コムを融合させることにより、短波長超精密分光法の新たな展開を図る。一方、1 keV 以上および、ピコ秒領域の分光では、長尺アンジュレーターによる放射光の高いフォトンフラックスを利用した精密分光、オペランド分光、レーザー複合実験などを推進する。さらに、両光源の横断的な利用によるワンストップ広帯域分光実験プラットフォームを実現する。高度に制御されたコヒーレント光源の特徴を活かした、コヒーレント物性・フォトンクス科学を、可視光から軟X線とテラヘルツへと波長領域を拡大して推進する。

全国さらには国外の物性研究者と連携して、これらの実験設備を活用し、強相関電子系、表面界面、ナノ物質、有機物質、生体物質など幅広い物質群に関する物性研究を展開し、物性光科学をリードするとともに、既成の分野にとらわれずに活躍できる若手人材を育成する。実験施設については、システムとして確立したのから順次共同利用に開放していく予定である。

② 学術的な意義

「コヒーレント光源科学」

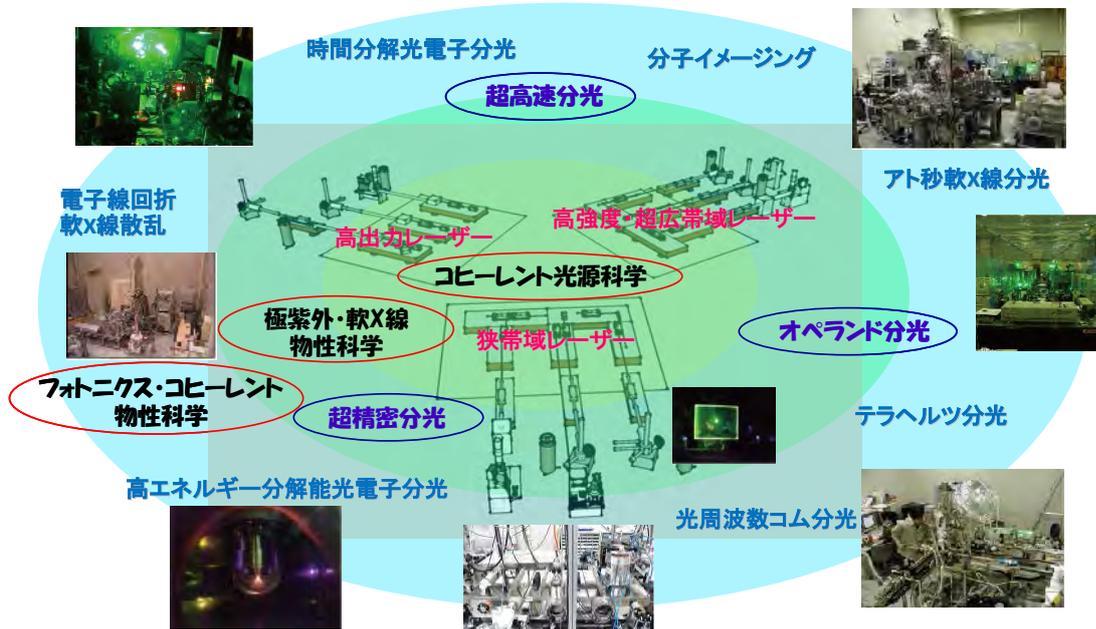
極限的なレーザー光源と計測手法の研究は、それ自体が物理学に根ざした学術であるという認識のもとに、同時平行で推進する。アト秒光の開発により、電子の実時間追跡、短波長領域での非線形現象やコヒーレンスの利用など、未踏研究領域の開拓が期待される。また、超高単色性と超高安定性を有し、同時に高平均出力をもつレーザー光源の開発により、今まで不可能であった極紫外領域での超精密分光が可能になり、光電子分光などに概念的な変革をもたらすと期待される。

「極紫外・軟X線物性科学」

放射光科学が先行していた分野であるが、レーザーベースの軟X線光源の登場によって、放射光との使い分けの時代に入っている。比較的低光子エネルギー、高分解能ではレーザーが、高光子エネルギーで高い平均フォトン数を必要とする場合は、放射光が有利である。時間分解では数10ピコ秒以上であれば両者とも利用可能であり、フェムト秒からアト秒の領域はレーザーの独壇場となる。本計画では、両光源を横断的に活用することを可能にする。

先端的なレーザー光源と計測技術は、センター内外の物性研究者との緊密な連携の下で、迅速に先導的物性研究へと展開さ

未踏波長領域における 吸収分光・イメージング、光散乱・回折実験、光電子科学、非線形分光



れ、超高速時間分解光電子分光、内殻励起分光、内殻共鳴回折などが飛躍的に進歩すると期待される。

さらに新しい手法は共同利用のシステムを使って、表面科学、生命科学、材料工学など幅広い研究者に公開されるので、大きな成果が期待できる。

「フォトンクス・コヒーレント物性科学」

新規なレーザー光源から得られる、精密に同期された広帯域なコヒーレントな光により、超高速分光、非線形光学、物質相制御などを含む幅広い物性光科学の研究が可能になる。加えて、位相敏感な超高速分光や、量子波動の実時間観測が軟X線領域まで可能になり、準粒子、素励起、量子相などの研究に新境地を開くことが期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

近年、放射光、レーザー光源の高度化が急速に進んでいる。加えて両光源の融合は世界の潮流になっており、国内外の主要な放射光施設では、レーザー光を組み合わせた高度な複合実験が進展している。これに対し、広帯域光源としての相互乗り入れを進めるという視点、物性に照準を当てたレーザー光源開発チームを内包している点が、本計画の大きな特徴となっている。レーザー開発を伴う研究が行える国内の組織としては、理研、大阪大学レーザーエネルギー学研究中心、原研関西光科学研究所などが挙げられるが、いずれも物性光科学とは大きく異なる研究目的を持っており、放射光施設とは独立している。本計画では、国内外の物質科学者と協力しつつ、両光源を用いた融合的な物性光科学の展開を図ることを目指す。

主要大学、研究機関が参加する「先端光量子科学アライアンス」（関東地区）、「融合光新創生ネットワーク」（関西地区）により、光源科学を軸とした全国ネットワークで、分野横断型の光科学を推進しようという機運も高まっており、本計画は、その中での技術協力や人事交流などの連携のもとに、円滑に進められるものと期待される。

④ 所要経費

10年計画（単位 百万円）

総額 7,300.（内訳） 建築関係（超省エネルギー型レーザー実験棟）2,000, 光源関係 1,200, 計測関係 2,300, 人件費（ポスドク、特任教員、特任技術職員）1,000, 維持費（光熱費、レーザー保守）800

⑤ 年次計画

第一期：基盤設備の整備（初年度～3年度、3年間）

第二期：光源と計測システムの整備（4年度～6年度、3年間）

第三期：計測システムの拡充と共同利用の拡大（7年度～10年度、4年間）

⑥ 主な実施機関と実行組織

東京大学物性研究所（LASOR センター、ナノスケール物性部門など）が中心となり、新領域創成科学研究科（物質系専攻、複雑理工学専攻など）、理学系研究科、工学系研究科などが連携して本研究を統括、運営する。

さらに、本学では網羅できない部分について、産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門、筑波大学応用加速器部門、京都大学化学研究科、大阪大学産業科学研究所、広島大学理学研究科、東京理科大学などの機関に協力を求め、「先導的共同研究」を行う。

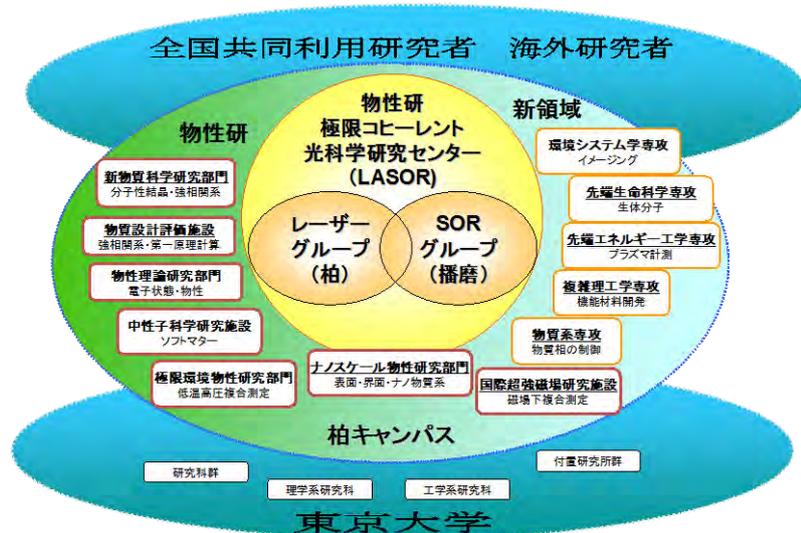
⑦ 社会的価値

物性・化学分野では、高温超伝導機構の解明、磁性の高速光制御、ナノ・分子デバイスの動作原理、触媒機構の解明などが期待される。生命科学分野では、生体分子の電子論構築、光合成の動的過程の解明、蛋白複合体の反応素過程の理解が進むと期待される。工業的応用では、次世代高速メモリの動作機構、燃料電池電極の物質移動、太陽光発電過程、光触媒機構、エンジン内部の流れ、新規薬剤効果などの解明が進み、情報、エネルギー、環境、健康・福祉の4大分野への貢献が期待される。

上述のように、本計画は未開拓の波長領域において、汎用性のあるコヒーレント光源と分光技術に基づいて、物質科学研究を柱に、工学、生命科学への応用展開をはかる点に特徴がある。これまでにない光計測手法をこれらの分野に供することにより、新しいパラダイムが出現することが期待される。これにより、利用価値の高い製品の開発など、産業界の発展にも貢献できる。かつて専用電子蓄積リングの出現により、放射光が物性物理学から生命科学、工業材料の研究にまで応用範囲を広げた事実からも、この期待が極めて妥当なものであることが、理解できるであろう。

⑧ 本計画に関する連絡先

瀧川 仁（東京大学・物性研究所） masashi@issp.u-tokyo.ac.jp



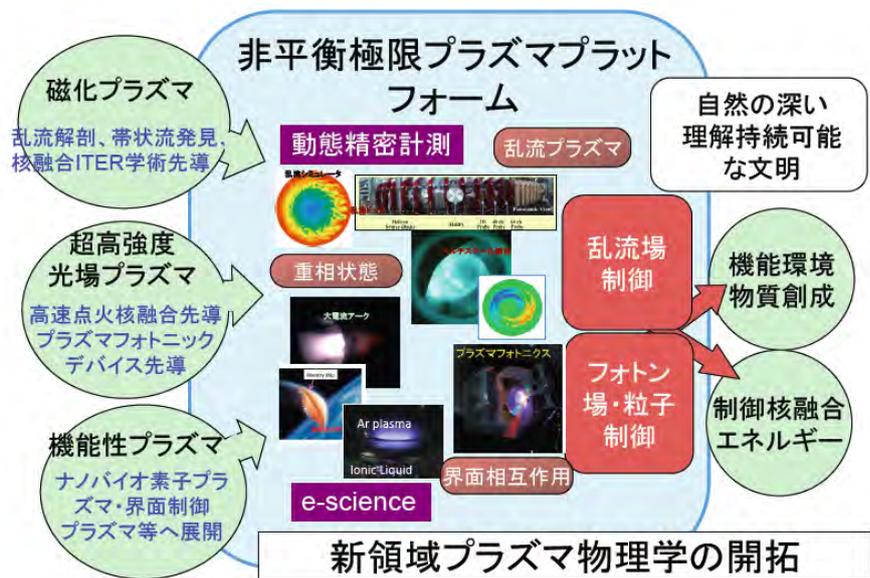
非平衡極限プラズマ全国共同連携ネットワーク研究計画

① 計画の概要

本大規模研究計画は、磁化プラズマから超高強度光場プラズマ、機能性プラズマまで広く展開している最先端研究を、共通学理から推進する。研究ネットワークにより学問を体系化し、学理基盤を構築、新しい学術分野創成、核融合や新エネルギーの実現と新機能性物質創成を加速する。本提案では、ネットワーク型設備「非平衡極限プラズマプラットフォーム」と計測・解析法共有のためのデータ解析ネットワークシステムを構築し「プラズマ乱流場制御」や「フォトン・場・粒子制御」という連携テーマから学理基盤を構築する。「乱流制御」では、本チームがこれまで解明してきた磁化プラズマ中の乱流構造研究を発展させ、乱流プラズマ実験装置に多次元乱流全体計測システムを構築し、理論・シミュレーション・実験研究を統合(e-scienceの駆使)、多スケール乱流の物理を解明する。「フォトン・場・粒子制御」では、本メンバー考案のプラズマフォトニックデバイスを駆使し、新しい超高強度光場プラズマ科学、重相(プラズマと気液固共存状態)科学研究を推進し非平衡状態を利用した新物質創成に発展させる。さらに、「乱流」と「場・粒子」制御の連携により、機能性プラズマ研究を発展させる。ナノ構造等の荷電粒子クラスターとプラズマ場の相互作用の研究により機能発現の機構解明を目指す。極限的非平衡状態の物質構造やダイナミクスを解明し、学理基盤を構築しプラズマ物理学を持続可能な文明実現に活かす。

② 学術的な意義

天体現象でのダイナミクスや構造形成の理解、また極限状態を利用した先端科学技術の実現にとってプラズマ物理学は中心的な役割を果たしている。非平衡過程に関わる極限プラズマの研究を統合し関連諸科学における研究を先導することは、今日の物理学の中心テーマである。熱的揺動励起と比較し、極端に強く(10の10乗倍を超える)選択的に励起された場(強い乱流場やコヒーレントな場)など新しい極限状態を実現し、従来(例えば極低温等)とは異なる次元から迫る科学研究を展開する。微視的揺動とメソスケール揺動、更には巨視的パラメタの界面等で生成消滅する多スケールな乱流プラズマの時空構造、分岐機構、確率的遷移機構の同定などは、熱的な平衡状態から遠くかけ離れた状態の普遍的理解を得るための格好の対象である。宇宙天体規模で起きるプラズマ乱流現象の理解に本研究は実験で検証された物理法則を提供する。超高強度光場極限では、未踏の凝縮相を実現し、新奇物質の取り出し(本メンバー考案の非平衡動的高圧プラズマ法)、ダイナミック電子顕微鏡の実証等、超高強度光場科学の新たな学問領域を先導する。電磁波非平衡場の科学や、非平衡媒質としての生体とプラズマの相互作用の研究も、未来の理工学を中心課題を導く。エネルギー環境科学の観点からは、非平衡極限プラズマ科学の方法論を活用した物質創成や、電磁波制御技術を非平衡科学と結合し新規な反応プロセスを開拓、重相の科学を産業応用、核融合炉システムの学問基盤などを提示し、プラズマを使わずに先端科学技術はあり得ない。脱炭酸ガス社会へ駆動する大きな科学的意義をもつ。



遷移機構の同定などは、熱的な平衡状態から遠くかけ離れた状態の普遍的理解を得るための格好の対象である。宇宙天体規模で起きるプラズマ乱流現象の理解に本研究は実験で検証された物理法則を提供する。超高強度光場極限では、未踏の凝縮相を実現し、新奇物質の取り出し(本メンバー考案の非平衡動の高圧プラズマ法)、ダイナミック電子顕微鏡の実証等、超高強度光場科学の新たな学問領域を先導する。電磁波非平衡場の科学や、非平衡媒質としての生体とプラズマの相互作用の研究も、未来の理工学を中心課題を導く。エネルギー環境科学の観点からは、非平衡極限プラズマ科学の方法論を活用した物質創成や、電磁波制御技術を非平衡科学と結合し新規な反応プロセスを開拓、重相の科学を産業応用、核融合炉システムの学問基盤などを提示し、プラズマを使わずに先端科学技術はあり得ない。脱炭酸ガス社会へ駆動する大きな科学的意義をもつ。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

プラズマが、流転する自然の理解の中心テーマの一つであることは国際的な共通認識である。今日、新機能性物質開拓でもプラズマ研究は熾烈な世界的競争状態にある。本研究は、実績と連携研究ネットワークによる研究加速方法、いずれも世界を先導している。具体的には、プラズマ乱流の理解を目指した測定により「プラズマ乱流を解剖」、乱流 e-science を世界に先駆け実現する。超高強度光場・重相科学では、プラズマフォトニックデバイス活用、金属シリコンの取り出し、物性研究の極値解を提供する。ナノバイオプラズマではナノシステムとDNA等のバイオシステムの融合、非均質素材のRF駆動反応等は、国際的に最先端研究のトレンドを生み出している。国際競争力および優位性を保持推進するには本研究が必須である。核融合研究では、ITER(国際熱核融合実験炉 建設中)の実験研究費を合理化するためにも学理を発展させる緊急性が高い。

④ 所要経費

所要経費は10年間の総額119億円(設備費65億円 運営費54億円)である。主設備「非平衡極限プラズマプラットフォーム」を設置する。このプラットフォームは、強い乱流場、多元的界面、超高強度光場プラズマの観点から極限的非平衡性を実現するプラズマシステムと、計測・解析法を共有するためのネットワークシステムから構成される。3つの極限領域のプラズマ

マの生成と計測・解析には、1) プラズマ乱流の動態統合観測装置 30 億円、2) プラズマ界面（固体、液体、生体など）統合観測装置 13 億円、3) 超高強度光場プラズマ（重相プラズマ、新非平衡物質状態など）生成観測装置 21 億円、4) データ解析ネットワークシステム 1 億円を構築する。10 年間の運営費には、このプラットフォームの運轉経費(29 億円)と、既存装置の共用や準備研究への活用経費(5 億円)、学術研究員等人件費含む研究経費(20 億円)を計上している。

⑤ 年次計画

研究継続期間：10 年間（平成 26～35 年度）。最初の 3 年間では、1) 非平衡極限プラズマの学理体系化を目指した研究を、既存実験拠点の強化、理論的・基盤的方法により推進し、2) 「非平衡極限プラズマプラットフォーム」を立ち上げる。次の 3 年間には非平衡極限プラズマ実験・理論・シミュレーションの統合研究法により「プラズマ乱流場制御、フォトン・場・粒子制御」の観点から学理の体系化を目指す。プラズマから未開拓の非平衡物質状態へと広がる新学術分野を創成する。後半 4 年間において深化させ学術的発信や学理応用を展開し新機能物質創成を進め成果の社会還元を行う。



プラズマ乱流動態統合観測装置（トラス乱流ドック）を建設し第 3 年度には実験を開始する。プラズマ界面統合観測装置は第 2 年度に完成し実験を開始する。機能発現の機構と制御研究を順次推進する。超高強度光場プラズマ（重相プラズマ、新非平衡物質状態など）生成観測装置は、初年度より光場の超強度化を段階的に行い、重相状態、プラズマや諸相の混在する物質の新非平衡状態を創成し、多元プローブビーム開発などにより動態精密計測を導入する。4 年次以降はプラズマ諸相および乱流場・フォトン・場・粒子制御の制御により、ナノ・バイオプラズマ新機能性物質や、超高圧相物質、スーパーダイヤモンドなどの創成を目指す。2 年ごとにアセスメントを行い最新の進展を繰り込んで計画を増強する。新学術分野創成、知の社会還元のため「非平衡極限プラズマ国際会議」や「学理に基づくプラズマ技術革新会議」を開催する。世界トップのこのプロジェクトでは次のような特性の国家的研究戦略拠点を創る：1) 非平衡・乱流制御が拓く新世界、2) 非平衡極限物質創成、3) 頭脳循環と国際キャリアパス、4) プラズマから新規学問分野を生む。

⑥ 主な実施機関と実行組織

九大を中心実施機関とし、電通大、阪大、東北大、核融合科学研、金沢大、名大、等を連携センターとし全国共同研究を展開する。組織と役割を記す。九大：応用力学研究所、伊藤極限プラズマ研究連携センター、プラズマナノ界面工学センターを中心に、乱流プラズマ研究拠点・機能性プラズマ研究拠点を形成。乱流プラズマ実験、e-science による統合研究法を開拓、連携の中心拠点。電通大：レーザー新世代研究センターを中心に、阪大・名大・金沢大と協力し、プラズマフォトリックデバイスを駆使し、超高強度光場、高エネルギー密度、重相プラズマ科学のとりまとめ、阪大：工学部を中心に、プラズマ生理学応用基盤を形成するプラズマ物理科学研究のとりまとめ、東北大：工学部を中心に、ナノ・バイオプラズマ実験装置を用いナノ・バイオプラズマに関わる非平衡プラズマ物理学のとりまとめ、核融合科学研究所：非平衡プラズマ物理学の理論研究や、電磁波非平衡科学のとりまとめ、金沢大：サステナブルエネルギー研究センターを中心に名大と協力し重相プラズマ科学の産業応用拠点機能を発揮。拠点組織が共同研究者達を惹き付けテーマ研究をとりまとめ、統合研究へと研究者循環を駆動する。中心実施機関はこれらの活動を束ね統合研究活動に責任を持ち、共同研究の全体運営、公募や年次評価、国際評価などの責任体制を支え、事務的サポートを行う。連携拠点群の共同作業により、新学術分野創成のための学界へのゲート「非平衡極限プラズマ国際会議」や、知の社会還元へのゲート「学理に基づくプラズマ技術革新会議」を運営開催し、統合的に社会へ発信する。

⑦ 社会的価値

プラズマは現在文明を支える基幹技術と先端技術を提供する。例えば、IT のムーアの法則がこの 20 年来継続しているのは、素子製作にプラズマの活用があつてのことであり、日本がそれらを先導してきた。「ナノ」と「バイオ」に関連する研究は爆発的に展開しているが、それら各々では各種プラズマ研究が活発に使われている。両者を融合した「ナノ・バイオのプラズマ」研究は、世界を先導できる次世代科学技術創出に必須で世界最先端の領域を開拓出来る。素材を制するものは産業を制するが、非平衡極限プラズマの物理科学に起源を持つ研究が育っている。スーパーダイヤ創成をはじめとする非平衡プロセスの活用研究も新規産業を興し今後の文明社会を切り開く。電磁波駆動非平衡反応を利用した電磁波による高効率研究が既に育ち、脱炭酸ガス社会に寄与する。「プラズマに基づくイノベーション」は社会の求めに応えるものである。大きな社会的価値を伴うプラズマの学理を発展させる緊急性が高い。

⑧ 本計画に関する連絡先

藤澤 彰英 (九州大学) fujisawa@triam.kyushu-u.ac.jp

高強度低速陽電子研究施設

① 計画の概要

電子の反粒子である陽電子は、物質の電子状態や構造のユニークなプローブとして幅広く使われている。本計画では、毎秒 50 億個という世界最高強度のエネルギー可変低速陽電子ビームを作り、物性物理学及び原子分子物理学の研究の共同利用を行う。

本計画では、リニアックによって加速した電子の制動放射による電子陽電子対生成と、負の陽電子仕事関数をもつ金属の表面からの再放出という、特殊な、しかし確立された方法でエネルギー可変低速陽電子ビームを生成する。あらゆる種類の低速陽電子ビーム実験を高強度で可能とするために、(1) 生成したパルス状低速陽電子ビームをそのままの利用、(2) それを DC 化して利用、(3) 再バンチしてより短パルスのビームとして利用、の 3 種類で構成する。リニアックのシングルバンチモードで短パルスビームを作ることも可能にする。さらに、維持管理の容易さと最大限の汎用性を確保するために、以下のような特徴を持たせる。

(i) 高強度運転によって放射化が起きる陽電子生成ターゲット (コンバータ・モデレータ) 部の保守・管理を容易にするために、この部分を 2 式作製し、リニアックからの電子ビームを分岐して、1 年ごとに使い分ける。1 年の使用が終わったターゲット部は、1 年間待ってから点検・補修を行い、次の 1 年の使用を開始する。

(ii) 各ターゲットは、リニアックからの電子の進行方向に連なる 2 連のカスケードとし、それぞれから独立のビームラインを引く。

(iii) ビームラインおよび装置は接地電位として、超高真空実験を容易にする。

(iv) そのために、陽電子は生成部で必要なエネルギーに加速して輸送する。

(v) 規格化されたビームライン分岐法を用いた拡張性の高い施設とする。

(vi) 放射性アイソトープからの陽電子を用いたスピン偏極ビームも設置する。

② 学術的な意義

陽電子は最初に発見された反粒子で、発見後 80 年の間に、がんの診断 (PET、陽電子放出断層撮影) や物質科学や原子分子科学の基礎研究や応用研究に幅広く用いられるようになってきた。

放射性同位元素からの陽電子 (ベータプラス線) をそのまま用いる実験で始まったこの分野の研究は、エネルギー可変ビームの開発により、可能性が大きく広がった。そのようなビームを、高エネルギー素粒子実験に用いられる陽電子ビームと区別して、低速 (英語では low energy) 陽電子ビームという。ただし、エネルギーをそるえる過程で強度が 1000 分の 1 程度に減少するために、強力なビームを得るためには出発点の陽電子源の強度を高める必要がある。

現在、我が国を含む世界の数か所で、高強度低速陽電子ビームが利用されているが、強度はまだ十分とは言えない。そこで、本計画では、現在の世界最高強度を一桁上回る高強度低速陽電子ビームをつくり、共同利用に供する。これにより、高精度の測定が可能になるだけでなく、各研究課題のマシントimeが短縮され、産業利用を含めたより多くの共同利用の受け入れが可能になる。

この計画によって、以下のような研究で大きなブレークスルーが期待される。陽電子線回折および陽電子マイクロ・ビームによる固体表面の構造解析や化学反応・電子過程のダイナミクスの研究、ポジトロニウム・ビームによる絶縁体や磁性体表面の構造解析、2 次元 2 光子角相関やコインシデンス・ドップラー広がり法による固体表面近傍の格子欠陥や電子状態の研究、また、陽電子、ポジトロニウム、ポジトロニウム負イオン、ポジトロニウム分子等に関するエネルギー準位や素過程の研究等。

他分野への波及効果は大きく、国際的に最重要な研究拠点になると考えられる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

高強度の低速陽電子ビームを得るためには、原子炉からの γ 線やリニアックで加速した電子の制動放射 X 線からの電子陽電子対生成を用いる。現在世界最大の強度は、ミュンヘン工科大学の原子炉を利用した毎秒 5 億個であり、わが国では、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と産業技術総合研究所 (産総研) でリニアックを利用した毎秒 5000 万個という世界第 2 位の強度のビームを使って研究が行われている。KEK では強度をそのまま生かして使い、産総研では短パルス化して使っている。京都大学原子炉研究所でも原子炉からの γ 線を利用した低速陽電子ビームを建設中である。諸外国の高強度低速陽電子ビームは原子炉を利用するものが多く、上記ミュンヘンの他、デルフト工科大学、マクマスター大学、ノースカロライナ大学で整備が進んでいる。

本計画では、原子炉ではなくリニアックを用いる。リニアック利用の優位性は、陽電子を生成部で必要なエネルギーに加速して、超高真空が容易な接地電位のビームラインで輸送できることにある。

④ 所要経費

建設経費：70 億円

内訳

建屋 (放射線シールド、電源、冷却水、空調を含む)

30 億円

リニアック一式	10億円
ビームライン	20億円
測定装置（制御装置を含む）	10億円

⑤ 年次計画

エネルギー可変陽電子ビーム施設建設・整備に必要な技術は、すでに、KEK、産総研をはじめとして、各国の高強度低速陽電子ビーム施設で確立したものを利用する。

初年度	調査・基本設計
第2年度	詳細設計・実施設計
第3年度	建設
第4年度	運転
第5年度	共同利用開始

⑥ 主な実施機関と実行組織

本計画の建屋は KEK 内に建設、あるいは KEK に既存の建屋を利用することを想定している。場合によっては、他の研究機関や大学などがホストとなり、他に設置することもありうる。

実行組織は、日本陽電子科学会の「大型低速陽電子研究施設建設計画推進委員会」である。同推進委員会は、KEK の低速陽電子実験施設職員及び、KEK 加速器研究施設の職員若干名と、KEK 低速陽電子ユーザアソシエーションの主要メンバーから構成されている。

メンバーの所属機関は、北海道大学、東北大学、KEK、筑波大学、東京大学、東京学芸大学、東京理科大学、上智大学、立教大学、千葉大学、京都大学、大阪大学、大阪府立大学、日本原子力機構、産総研、理研などである。

⑦ 社会的価値

代表的反粒子である陽電子を用いた基礎科学および材料科学の研究施設は、国民の科学に関する関心を高めると期待される。この施設では、一般市民への科学普及活動にも力を入れ、陽電子の基本的性質や、様々な応用の原理とその成果ばかりでなく、PET などの医療への応用の解説や反水素の合成などについての解説も幅広く行う。

先端的なモノづくりの進歩は、これからも我が国の産業の発展の要の一つである。これまで、エレクトロニクス、触媒などの分野で盛んにおこなわれてきた表面のエネルギー状態や機能の研究に、表面原子の種類と配置を敏速かつ正確に決定する方法が加われば原理的な思考に基づいた画期的な発展が期待できる。そのような需要は今後爆発的に増大する可能性があるが、全反射陽電子回折 (TRPD) 法はその要求を満たす非常に有力な手段である。

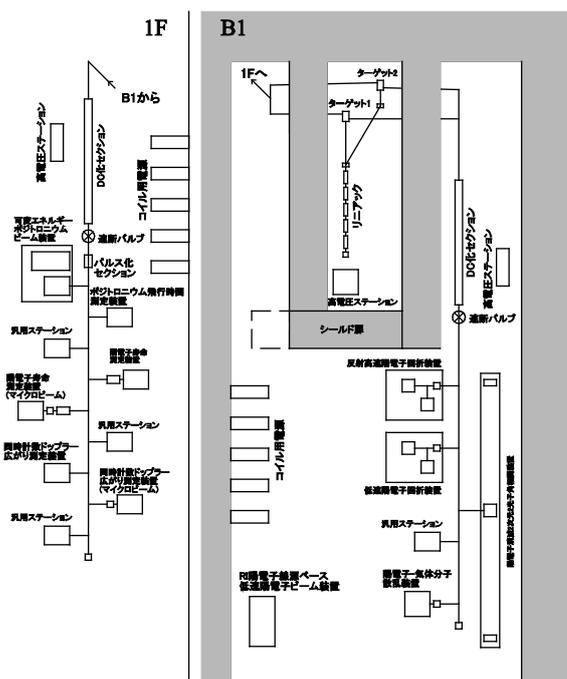
⑧ 本計画に関する連絡先

長嶋 泰之 (東京理科大学・理学部) ynaga@rs.kagu.tus.ac.jp

高強度低速陽電子研究施設

施設の特徴	
<ul style="list-style-type: none"> 電子の反粒子である陽電子の共同利用 世界最高強度 (5×10¹⁰/s) のパルスおよび連続陽電子ビーム 陽電子生成: リニアックによって加速した電子 → 制動放射 → 電子陽電子対生成 単色化: 負の陽電子仕事関数をもつ金属の表面からの再放出 	
高強度化・高度化の具体的内容	
<ul style="list-style-type: none"> 放射化への対応: ターゲット部は2式作製 → 1年ごとに使い減衰を待って維持管理 2ステーションの同時利用: 各ターゲットは2連のカスケード → 2本のビームライン 超高真空対応: 陽電子は生成部で加速して輸送し、ビームラインおよび装置は接地電位 → 真空焼きだし容易 拡張性: 規格化されたビームライン分岐法 ビーム操作: 下流で、DC化、短パルス化、高輝度化を行う スピン偏極ビーム: 放射性アイソトープからの陽電子の利用 	
高強度化・高度化の効用	
高精度の測定が可能・各研究課題のマシントime短縮・産業利用を含む多くの共同利用	
装置	対象
全反射陽電子回折	最表面から内側に向けて構造を確定
陽電子ホログラフ	表面原子配列の直接決定
陽電子マイクロ・ビーム	固体表面近傍の格子欠陥分布の可視化 固体表面近傍の化学分析、 触媒作用・表面化学反応・電子遷移の ダイナミクス
ポジトロニウム・ビーム	絶縁体や磁性体表面の構造解析
2次元2光子角相関	固体の電子状態・格子欠陥
同時計測ドップラー広がり法	格子欠陥の深さ方向の分布
陽電子寿命	空孔クラスターの同定 空孔生成エネルギー
ポジトロニウム寿命	機能性分離膜、多孔性材料の孔のサイ
偏極陽電子ビーム	表面磁性

高強度低速陽電子研究施設(案)



高輝度中性子・ミュオンによる物質・生命科学の新展開

① 計画の概要

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) 物質生命科学実験施設 (MLF) の中性子およびミュオン実験ステーションのビームライン (BL) の新規整備、中性子第 2 ターゲットステーション (TS2) および透過型ミュオン顕微鏡の建設と定常中性子源施設 JRR-3 との相補利用の促進により、物質生命科学と産業応用に格段の新展開を図る。

中性子は前期 5 年において、偏極中性子や巨大生体分子構造などの先端性の高い BL 4 本を建設する。また総合研究基盤施設の建設や試料環境充実など研究環境整備を行い、産業利用も視野に入れた新たな成果創出に邁進する。後期 5 年においては、TS2 建設により極冷中性子の発生を行い、空間・時間観測領域を拡大して生物やソフトマター等を含むより大きく、より運動の遅い構造の研究を推進する。また、中性子偏極技術、集光技術等を基盤技術として開発し、偏極極冷中性子顕微鏡、ホログラフィー装置、マイクロビーム装置など先端装置の建設を行い、実空間生物測定など非周期物質生命系での新たなサイエンスの創出と物質・生命科学の新展開を目指す。また、JRR-3 の中性子源や実験装置の高度化を行い、定常中性子源の特徴を相補的に活用し、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研究を推進する。

ミュオンは前期 5 年において、世界初の超低速ミュオン及び高密度マイクロビーム実験装置を中心に、多重極限超高精度ミュオン実験装置、およびマイクロビームを格段に発展させた超高速 BL を整備し、表面・界面科学、材料科学、基礎物理の世界的研究拠点形成を目指す。後期 5 年で透過型ミュオン顕微鏡を建設し、その実用化を図る。また、高輝度負ミュオン BL とその低速化に向けた開発を推進し、エキゾチック原子や隕石、考古学資料等の稀少物質の非破壊元素分析への応用を格段に広げる。

② 学術的な意義

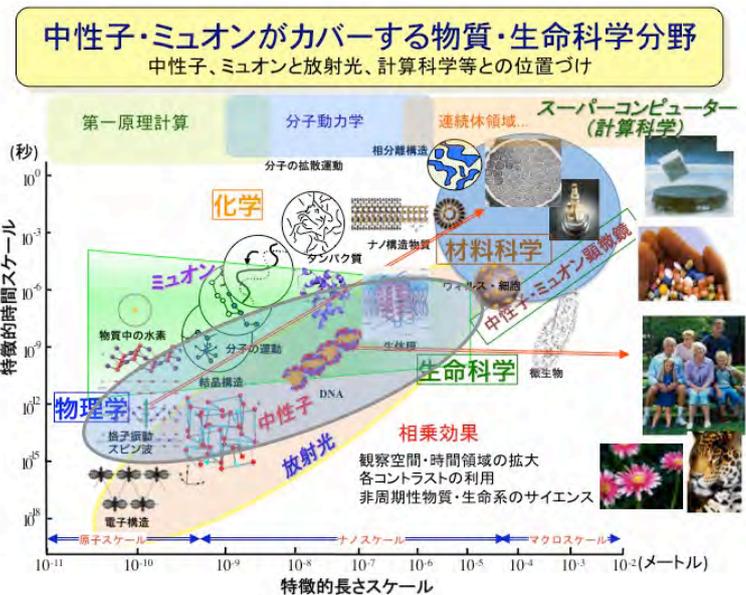
物質生命系の機能解明は人類生存基盤において最重要課題の 1 つである。その解明には、原子・分子レベルの構造と運動のみならず、それらが作り出す物質の階層構造とその運動の根源的理解が不可避である。本計画では、J-PARC のパルス中性子・ミュオン実験施設において、空間・時間観察領域の拡大、各プローブのコントラストの相補利用により物質生命科学の格段の新展開と新たな実空間サイエンスの創成を行う。

中性子は、高い物質透過性や軽元素原子感性という X 線と相補的プローブとして諸物質の構造・運動解析等に威力を発揮する。その特色はそのスピン感度の高さにあり、前期では、JRR-3 との協調により開発される偏極中性子技術を用いスピン科学の新たな展開を図る。後期の第 2 ターゲットステーションより発生する極冷中性子は、より大きな空間とより遅い時間スケールでの物質生命科学を可能とし、特に偏極技術、集光技術をもとに建設される偏極極冷中性子顕微鏡やマイクロビーム装置は、周期性を持たない生体物質などの実空間での機能解明を格段に進める。

ミュオンは、物質中の内部場を高感度かつ広い時間スケールで探り、電子状態とそのダイナミクス、電子・イオン・スピン伝導や水素が関わる物質・生命の機能に直結する重要な情報をもたらす。超低速ミュオンは、nm 深さ分解能で表面近傍から内部に至る機能イメージングにより界面科学を格段に進歩させる。高密度マイクロビームは物質内部の 3 次元機能走査や極微試料の研究を実現する。後期に建設の透過型ミュオン顕微鏡は生体細胞の実空間イメージングを初めて可能とし、中性子顕微鏡との相乗効果により、生物など周期性を持たない物質系の機能解明に格段の進展をもたらす。また、これらのビームの一部を g-2, edm 等の基礎物理と共有し、異分野間の技術的・人的交流を促進し、物質科学の新たな展開を誘起する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

J-PARC/MLF 施設パルス中性子源は米国の SNS、英国 RAL の ISIS とともに世界の三極をなし、装置建設や高度化では国際協力を進める一方で、熾烈な研究開発競争を展開している。特に電池材料、電子材料、生命物質、薬剤などの現代社会を支える基盤先端物質研究においては、その競争は非常に過酷である。研究用原子炉 JRR-3 においても、欧米諸施設はもとより進展著しいオーストラリアや韓国等との激しい研究競争を広げている。MLF パルスミュオン源においても、リチウムイオン電池の基盤研究等で世界に誇る成果を挙げているが、カナダ TRIUMF、スイス PSI、RAL-ISIS との技術開発と磁性材料、電池材料等の先端基礎研究において、激しい競争を行っている。今後、これらの激しい国際競争に勝ち抜くためにも、J-PARC/MLF パルス中性子源、JRR-3 定常中性子源およびミュオン源と装置の高度化と新規整備およびそれらの相補的複合利用の促進が不可欠である。



④ 所要経費

I 中性子 (単位: 億円)

前期 分光器建設 (37+維持費 3.2/年) : 偏極装置 (15 : 内 11 は措置済)、巨大生体分子構造装置 (15)、先端小角装置 (10)、分子分光装置 (8) / 研究環境整備 (8.5+維持費 1.4/年) : 研究環境・試料環境整備 (1.5)、計算環境整備 (3 (3年ごと))、重水素化ラボ (2)、³He 偏極子ラボ (2)

後期 第2ターゲットステーション (330+維持費 30.2/年) : 加速器と中性子源 (270)、初期装置 (4台) (60)

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

II ミュオン (42.8+維持費 7/年) : 多重極限超高精度低速 BL (S ライン) (7.8 : 内 6 は措置済)、超高速 BL (H ライン) (11)、ミュオン透過顕微鏡 (30)

合計 施設及装置建設整備 : 480.3 億円、維持費 : 41.8 億円/年

⑤ 年次計画

研究継続期間: 10 年間 (H25 年度~H34 年度)

前期: H25 年度~H29 年度

中性子: 偏極中性子装置、巨大生体分子構造解析装置、先端小角散乱装置、分子分光装置の BL 4 本を建設する。総合研究基盤施設の建設など研究環境を充実させ、JRR-3 との相補利用も行い、成果創出に邁進する。同時に第2ターゲットステーションの技術開発と偏極中性子装置においてスピン自由度の制御技術の開発を行う。

ミュオン: S ライン (4 分岐) を整備し、長時間分解能/極低温/パルス超高磁場・光励起等の特色ある実験装置を用いてのミュオン高度利用により最先端の物性科学、材料科学を推進する。H ラインでは、最も単純な原子であるミュオニウムの超微細構造定数の性質や、宇宙開闢時にのみ存在が予想される超高エネルギースケールの現象等の探索を目指す基礎物理化学研究を展開する。

後期: H30 年度~H34 年度

中性子: 第2ターゲットステーション建設を含め、中性子偏極技術、集光技術、ヘリウム3フリー検出器の基盤技術開発を行う。偏極極冷中性子顕微鏡、ホログラフィー装置、マイクロビーム構造解析装置、マイクロビームダイナミクス装置の4台の装置建設を行い非周期物質生命系での新たなサイエンスを実現させる。

ミュオン: 透過電顕 (TEM) は、電子を加速して、試料厚さ 1 μm 分解能を達成しているが、電子の代わりに超低速ミュオンを再加速することにより、電顕と光顕の分解能のギャップを埋める画期的な観察手段が実現できる。10 μm 厚超の環境セルの観察により生きた生物や電池電極等の観測も可能となる。

⑥ 主な実施機関と実行組織

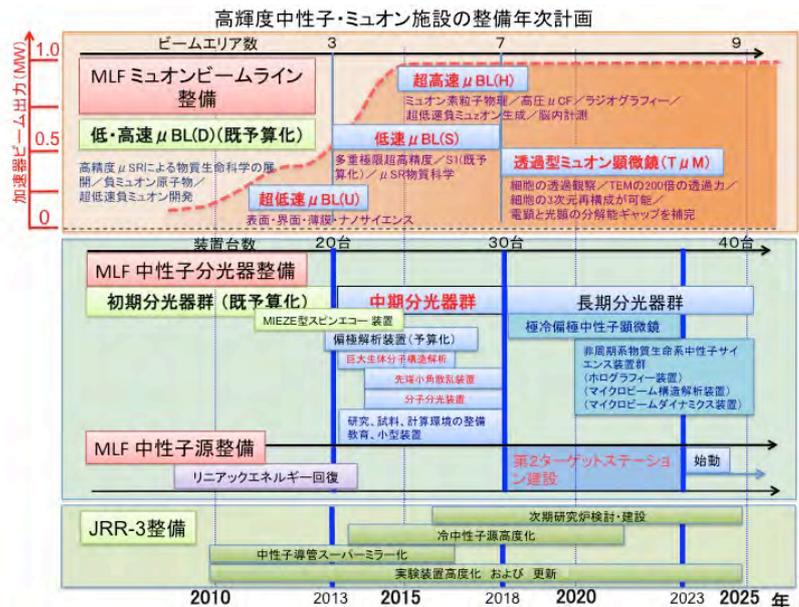
- 中心実施機関: J-PARC 全体の共同運営機関 (JAEA, KEK)、JRR-3 運営機関 (JAEA) (施設・装置建設と高度化)
- 全国共同利用機関を有する大学: 東京大学、東北大学、京都大学等 (施設、装置の運営と維持)
- 第三者機関: 茨城県 (特に産業利用に重心、中性子装置設置運営)
- 共用促進法における登録機関: (同法で設置された中性子装置の利用支援)
- 関連研究者所属大学・研究機関等: (大学連携、科研費等による装置設置、基礎科学、人材育成)

⑦ 社会的価値

J-PARC/MLF の中性子およびミュオン施設においては、基礎物理学、物性物理学、化学、生物学、医学、薬学、工学、材料科学など様々な科学・技術研究が既になされ、今後も研究分野を拡大していくと期待される。利用者は加速器ビーム強度にはほぼ比例して増加しており、現在 900 名を超え、1 MW に到達する時期には、2500 名を超えると期待されている。外国人はその 10% 強である。既に鉄系超伝導物質、全固体型リチウム電池、水素貯蔵物質、アミロイド線維化、白金フリー・水素酸化還元触媒など大きな学術成果が得られており、基礎科学において人類の知的財産の構築に大きく寄与している。さらに、本計画の実施により、質的に異なる新たな成果が期待される。経済的・産業的価値から見ると、中性子産業利用推進協議会が組織されており日本を代表する大手先端企業が多数参加している。実際、MLF 中性子施設への実験課題申請では、既に 30% 以上が産業利用課題であり、産業界における製品開発や技術開発に大きな貢献をしており、エネルギー分野、環境分野、情報・通信分野などこれからの日本と世界の生存基盤を支えるあらゆる分野で不可欠な手段となっている。

⑧ 本計画に関する連絡先

池田 裕二郎 (日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究開発機構・J-PARC センター) ikeda.yujiro@jaea.go.jp



高エネルギー密度科学推進計画 —大強度レーザーで切り拓くファシリティーと研究ネットワークの融合—

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のように、「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 100 ギガパスカルまでであるのに対し、大強度レーザーで発生可能な圧力は 10 テラパスカルに迫り、これに爆縮による体積収縮効果を用いることにより、恒星の中心の圧力に匹敵する 10 ペタパスカルを超える圧力すら実現されている。また、この圧力を凌駕する光圧力を発生させ、燃料を加熱する「高速点火核融合」の進展により、真空の崩壊に迫るほどの超高強度場の発生が現実の課題となった。本研究計画は、このような「高圧力」と「高強度場」を発生させる「激光エクサ」（繰り返しキロジュールレーザーとサブエクサワット級のシングルショットレーザーから構成される）により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等の高エネルギー密度科学フロンティアの開拓を目指すものである。この施設はさらに、プラズマ・核融合科学の分野では、炉心プラズマを繰り返し生成して実用化に資するとともに、物質科学の分野に、未踏の高圧力や強磁場等の極限環境を提供する。

大型施設の運営と研究体制については、日本原子力研究開発機構関西光科学研究所（機構関西研）と連携し、激光エクサを共同開発するとともに、既設の大強度レーザー施設（激光 XII 号、LFEX、J-KAREN）を用いて高強度場科学を開拓する。さらに、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所（KEK 物構研）と連携し、繰り返しキロジュールレーザーのモジュールを放射光施設に設置し、極限環境下の物質科学のプラットフォームを構築する。国内外の研究者は、当面はそれぞれの研究所・センターに申請し、これらの施設を利用するものとするが、将来的には統合審査制度を設けるなどして、研究に最も適した施設を利用できる仕組みを構築する。

② 学術的な意義

本研究計画の学術的意義は、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。期待される研究成果は以下のとおりである：

1. サブエクサワットのレーザーでは、短いレーザーパルスが広い周波数成分を持つことを利用して、回折格子によりパルスを一旦伸長し、増幅した後、再度パルスを圧縮する。このようなパルスを増幅するには広帯域の光増幅器が必要であり、パルスの伸長・圧縮には、広帯域の大型回折格子等の次世代の光学素子が必要となる。これらの次世代レーザー技術の開発においても、世界最大の LFEX ペタワットレーザーを産業界と協力して開発した実績に基づき、世界におけるわが国のレーザー技術の主導的立場を確立する。
2. レーザーの強い場による電子陽電子対の雪崩的な生成の観測等を通じて、真空偏極や量子電磁力学における摂動的取り扱いを超えた未踏領域を開拓する。標準理論の枠を超えた新粒子の探索についても、大強度レーザーを用いた実験手法の開発を行い、その可能性を明らかにする。また、加速器では実現困難な高い中性子流束を用いて、超新星爆発による核合成の解明、放射性廃棄物の核変換の可能性探索などの、新たな核科学的研究を展開する。
3. プラズマ・核融合科学に於いては、繰り返しレーザーによって実験精度の格段の向上を図り、無衝突衝撃波の構造形成などの非線形現象を解明する。レーザー核融合エネルギー開発は、従来の「数時間に 1 回」の科学的原理実証の段階から、核融合反応を連続的に発生させるなどの工学的技術の確立を目指した新しい研究段階に移行する。
4. 大強度レーザーが創るテラパスカルやキロテスラ領域の極限環境下の物質をパルス放射光によって観測することにより、これまで得られなかった高圧凝縮物質の特性を明らかにする。高圧下の構造制御による新しい高温超伝導材料の発見等の新物質創成も期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

本計画は日本の関連計画としては国内唯一のものである。国外との関係では、欧州の ELI (Extreme Light Infrastructure)-Ultra High Field が繰り返しレーザーであるため、精密測定に適しているが、開発に時間がかかるのに対し、本計画のレーザー（激光エクサ・フェムト）がシングルショットであるため、比較的短期間で開発することができ、真空からの電子陽電子雪崩等の希少現象の初観測に適していることから、本計画と欧州の計画とは相補的であると言える。

一方ロシアの XCELS (Exawatt Center for Extreme Light Studies) は、本計画と同様のシングルショットレーザーであり、時間スケールもほぼ競合しているため、現象が存在するか否かの初観測に向けた競争は激しい。



図 1. 激光エクサで推進する高エネルギー密度科学

その一例として、レーザー技術の心臓部に関して、我々が提案していた重水素化非線形結晶を用いた超広帯域の光パラメトリックチャープパルス増幅技術 (OPCPA) が、ロシアの計画に採用されたことが挙げられる。日本の計画の遅延は、直ちに競争力の低下を招く危険を孕んでいる。

④ 所要経費 所要経費総額： 140 億円

(内訳) 装置建設経費 (1-4 年度)

小計 115 億円

研究経費(準備実験経費、装置運転経費、診断装置整備費)

小計 25 億円

⑤ 年次計画

装置建設 (1-4 年度) : 激光エクサでは、極短パルスの種光を 3 段の OPCPA でサブキロジュールレベルまで増幅する。初段の増幅を高繰り返しレーザーで行い、第 2 段の増幅を繰り返しキロジュールレーザー、最終段の増幅を既設の LFEX レーザーで行う。初年度と 2 年度で励起用レーザーのプロトタイプに当たるシングルビームのキロジュールレーザー (激光エクサ・ナノプロト) を開発し、問題点の洗い出しと対策を行い、その後 KEK 物構研へ設置する。3、4 年度で、マルチビーム化 (激光エクサ・ナノ) を行い、シングルショットのサブエクサワットレーザー (激光エクサ・フェムト) を開発する。5 年度以降は、装置運転と平行して、超広帯域化を進め、最終的には、50 ペタワット出力を目指す。また同時期に、激光エクサ・ナノを既設の激光 XII 号レーザー光学系へつなぎ込む。

実験体制の整備 (1-4 年度) : 初年度より計画課題研究体制を組織する。各研究グループは、診断装置の開発を行うとともに、既存のレーザー装置 (激光 XII 号、LFEX、J-KAREN) を用いた準備研究を実施する。4 年度には、激光エクサ・ナノによるターゲット照射実験のための小型真空容器を設置する。

本実験 (5-8 年度) : 大強度レーザー実験用診断装置を立ち上げ、段階的に実験を実施する。

高強度場科学では、機構関西研の研究グループと連携し、・放射減衰領域での電磁放射特性の解明と量子ビーム生成、・10 の 24 乗ワット/平方センチメートルを超える集光照射強度の実現、・電子陽電子雪崩の観測を行う。

プラズマ・核融合科学では、激光 XII 号を激光エクサ・ナノによって代替し核融合実験と実験室宇宙物理実験を実施する。

物質科学では、大強度レーザーで発生する高圧力、強磁場などの極限環境下の物質をパルス放射光で観測する研究プラットフォームを用い、新超伝導材料等の創成を目指す。

⑥ 主な実施機関と実行組織

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター (阪大レーザー研) は、機構関西研等と連携して繰り返しキロジュールレーザー、サブエクサワット級レーザーの開発に取り組み、激光エクサレーザーを阪大レーザー研の激光 XII 号実験エリアに建設する。繰り返しキロジュールレーザーを用いたプラズマ・核融合研究、物質科学研究並びにサブエクサワットレーザーを用いた高強度場科学研究を推進する。機構関西研は、高強度場科学研究を連携して進めるとともに、レーザー駆動量子ビーム応用研究を推進する。また、KEK 物構研は阪大レーザー研と連携して、繰り返しレーザーモジュールを放射光施設に設置し、高圧物性研究の新たな展開を図る。これら 3 研究所・センターの装置は、各組織の定める利用制度に従って、公募による共同研究に供せられる。将来的には、高エネルギー密度科学研究コンソーシアムを組織し、連携機関の装置も含め、研究資源の有効利用を図る。(ファシリティ・ネットワーク融合型拠点構想) 関連研究課題の研究者は、ファシリティを横断的に利用することによって、研究者間のネットワークを拡大し、さらに大きな研究コミュニティを形成することができる。



図2. ファシリティ連携で推進する先端科学

⑦ 社会的価値

大強度レーザーによって人類がかつて想像しえなかつた超高強度場を地上に実現することが可能となり、模擬宇宙を手に入れることができる。暗黒物質の候補となる低エネルギー粒子探索の可能性も議論されている。大強度レーザー研究は、単に人間の知的好奇心を満足させるのみならず、多岐に亘る応用技術を通して、人類の未来に貢献する。例えば、エネルギー開発では、コンパクトで高効率の高速点火レーザー核融合の開発が格段に加速される。また超新星爆発を凌駕する大強度の量子ビームなどの発生は、核合成の謎に迫るのみならず放射性核廃棄物の核変換への応用が期待される。資源・エネルギー問題に悩む我が国が推進すべき新物質・新材料の創成も期待でき、大強度レーザーアブレーションによる太陽電池材料特性改善や超高压による相転移を利用した新規超伝導材料開発といった社会生活にも有用な研究も期待されている。本研究計画で、開発・整備される高繰り返し固体レーザー技術や、超短パルスレーザー技術は、今後のレーザー技術を牽引する極めて重要な布石となると期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

疇地 宏 (大阪大学・レーザーエネルギー学研究センター) azechi@ile.osaka-u.ac.jp

パワーレーザーによる真空量子光学開拓のための大規模連携研究

① 計画の概要

本計画は、レーザー技術の革新により可能となる未踏の超高強度の光を創り出し、自然の新たな姿を探求すると共に、パワーレーザーが持つポテンシャルを技術として活用することを狙いとし、オールジャパンの体制で研究を進めるものである。これにより、物理学や天文学あるいは地球物理学といった既存の学理体系に不連続な革新を誘起するきっかけを創るとともに、人類社会の発展に資する産業イノベーションを切り拓く広範な新技術の源泉として、パワーレーザー科学を我が国が主導することを旨とする。

パワーレーザー科学は、超高速光科学、プラズマ物理学、高エネルギー密度科学など広範囲にわたる。本計画では、強い光場と物質との相互作用のフロンティア開拓を目的として、光と真空の非線形相互作用研究「真空量子光学」を推進する。光による真空の絶縁破壊や偏極の観測を目指し、EW～ZW ($10^{18\sim 21}$ W) 級レーザーの開発が世界的に進められている。本計画ではわが国オリジナルの方法により、これよりはるかに低い10PW (10^{16} W) 級レーザーを用いて真空量子光学の研究を実施する。

本計画では、前段 (TW/kHz)、中段 (PW/10Hz)、後段 (30PW/0.1Hz) で構成する繰り返し発振高出力超短パルスレーザー装置を最新レーザー技術を駆使して開発し、このレーザーを用いて真空量子光学研究に取り組む。併せて、先進レーザープロセス工学、高エネルギー密度物質科学、量子ビーム科学、宇宙物理学などの研究を推進する。

先鋭性と多様性を備えた本装置を学術から産業にわたる多様なユーザーの利用に供する。本計画の実施期間は10年間とし、前半5年間でレーザーシステムを構築し、高エネルギー密度物質科学およびユーザー実験を開始する。後半5年間は、真空量子光学に重点を置き、並行して多様なユーザー実験を推進する。

② 学術的な意義

レーザー出力の向上に伴い、光と物質の相互作用に新たな領域が開かれつつある。集光強度 10^{18} W/cm² において光駆動電子の速度が光速に近くなり、自己集束や自己誘導透過、強い航跡波形成など多様な相対論的現象、高エネルギー電子・イオン・超短パルス X 線生成などが実現され、相対論プラズマ科学が進展した。さらに 10^{23} W/cm² 域に入ると陽子も相対論域に入り、GeV 級陽子ビーム高効率生成などの新たな現象が予測され、この領域へ向けて研究が展開されている。

強度が約 10^{20} W/cm² に達すると、真空は光電界で破壊し電子-陽電子対が生成すると予測されるが、ZW 級レーザーが必要になる。これ以下の強度においても真空の分極による非線形光学効果が観測されるはずであるが極めて弱い効果であり、その検証が急務となっている。大阪大学光科学センターの兒玉らは真空相互作用過程を新たに解析し、レーザー光を短焦点鏡で集光することで上記強度より大幅に低く、最新レーザー技術によって到達可能な強度において、真空非線形効果を観測できることを示した。

一方広島大学の本間らは、高強度レーザー光を小角度で交差させることで、低運動量移行を伴う非線形光-光散乱により、sub-eV の極めて軽い質量を有する暗黒物質源や暗黒エネルギー源 (以下、「暗黒場」と総称) を検出できる可能性を示し、高エネルギー実験では到達できない、究極的には重力結合ほどの微弱な結合領域を光-光散乱により探索する革新的方法を提案している。

これらの真空非線形過程の測定は、非線形量子電磁気学に新たな展開をもたらす可能性がある。また、極高光電界による電子加速は、極めて強い重力場における諸現象と等価の現象を生じる可能性があり、宇宙物理学との接点も期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

わが国では、原研関西研で超短パルス PW レーザーが開発され、相対論域プラズマ科学に関する多くの優れた成果が得られ、高度に制御されたレーザー加速電子ビームが阪大光科学センターで生成されている。真空の非線形性に関する理論研究が原研関西研、阪大光科学センター、広島大などで実施され、予備的実験が阪大光科学センターや京大化学研究所で開始されるなど、真空量子光学の先駆的研究が活発に行われている。

欧米では、超高強度光科学に関するプロジェクトが多数開始されている。例えば欧州では ELI (超高レーザー施設) が 2011 年に発足し、東欧 3 カ国に設置された ELI 研究所 (予算総額 875ME) で大規模な活動が開始されている。米国ではカリフォルニア大でレーザー加速プロジェクト BELLA (予算 30M\$) が加速器科学との連携により開始されている。アジアでは韓国光州科学技術大学で、世界最高出力 2PW レーザーが稼働を開始し、基礎科学研究所プロジェクトとして推進されている。

本計画によりわが国の研究拠点が形成されると、世界的に発展著しい超高強度光科学・真空量子光学研究への本格的取り組みが可能になる。

④ 所要経費

本計画では、最新レーザー技術を駆使してパワーレーザー総合システムを整備し、真空量子光学を開拓する。本システムの最終段は、30PW 超高強度レーザー (10PW、3 ビーム、45 億円) と、励起用ナノ秒高出力レーザー (500J、9 ビーム、60 億円) で構成する。繰り返しは 0.1Hz とし、微弱現象の統計的データ解析を可能とする。ナノ秒レーザーは高精度パルス波形整形を備え、超高圧力を固体状態で発生させるなど、様々な利用研究にも活用する。

中段は繰り返し 10Hz のフェムト秒超高強度レーザーと励起用ナノ秒レーザー (>50J, 10Hz, 30 億円) で構成し、対生成トリ

一般用レーザー電子ビーム生成、真空分極プローブ用高輝度偏光X線発生にも用いる。

パワーレーザーとレーザー生成量子ビームを組み合わせ、多種の光・量子ビームを同時に利用できる総合システムを構築する。さらに高繰り返しレーザーを中心に、学術研究から産業展開にわたる多様なユーザー利用に対応できる実験チャンパー群を備えたシステムとし、尖鋭性と多様性を備えた国際競争力のあるシステムを構築する。

本システム設備費と運営費の総額は185億円である。

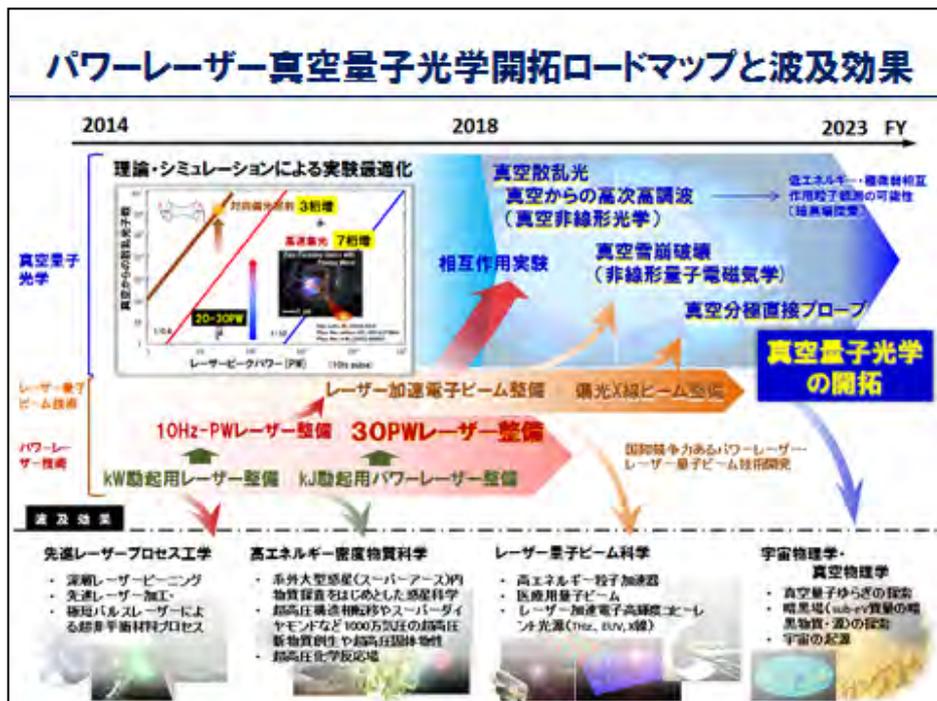
⑤ 年次計画

本研究は実施期間を10年間(平成26~35年度)とする。

最終的には、真空と光の相互作用に関する一連の実験と理論・シミュレーションをもとにした真空非線形光学や非線形量子電磁気学に関する成果をまとめ、真空量子光学を体系化する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本計画は、大阪大学および東京大学を中核機関とし、以下の主たる課題を下記の組織で分担して実施する。大阪大学が計画全体を統括し、東京大学は光科学、高エネルギー物理、地球物理などの諸分野をとりまとめる。光科学や高エネルギー密度物質科学などに関する複数の国内外ネットワークを活かし、多くの機関との現実的かつ効率的な連携を図り、オールジャパンによる推進を目指す。



1) 真空量子光学研究

- a) 真空量子光学：大阪大学光科学センター・工学研究科、東京大学理学研究科、広島大学理学研究科、京都大学化学研究所、原子力機構関西光科学研究所
- b) レーザー駆動高エネルギー粒子生成：大阪大学光科学センター、原子力機構関西光科学研究所、京都大学化学研究所、光産業創成大学院大学
- c) 高エネルギー密度物質科学：大阪大学工学研究科・理学研究科・極限量子科学センター、東京大学理学研究科・新領域創成科学研究科、愛媛大学地球深部ダイナミックセンター、広島大学理学研究科、岡山大学地球物質科学研究センター、物質材料研究機構

2) 次世代レーザー開発

- a) 10PW 繰り返し超高強度レーザー：大阪大学光科学センター、電気通信大学新世代レーザー研究センター、原子力機構関西光科学研究所
- b) 0.5kJ 繰り返し高出力レーザー：大阪大学光科学センター、電気通信大学新世代レーザー研究センター
- c) 上流部高繰り返し超高強度レーザー：大阪大学光科学センター、電気通信大学新世代レーザー研究センター、東京大学工学研究科・理学研究科

本計画を以下の実行組織を中核として推進する。

拠点代表：1名、研究部門2、研究グループ6、支援部門1、国際諮問委員会1

⑦ 社会的価値

本計画を推進するには、現在のレーザーの性能を上回る次世代レーザーの開発が必要である。次世代レーザーは、半導体産業や自動車産業におけるレーザー加工・プロセッシングなどにも必要とされており、本計画は産業にイノベーションをもたらす原動力となる。以下に例示する多様な応用も、次世代レーザーにより実用化が可能になる。

高強度レーザー照射により、高エネルギー電子、X線、イオン、中性子などが高輝度・短パルス源として生成される。レーザー生成小型プロトン源の実用化により電池開発現場において、リチウム電池内のリチウム分布の核反応分析計測が可能になり、電池の高性能化が促進される。短パルス中性子ビームは、大型構造物や自動車エンジン透視などの産業分野や、ホウ素中性子捕獲がん治療など医療分野への中性子利用を促進する。また、200MeVを超えるプロトンの高効率生成が実証されると、粒子線がん治療装置小型化への道が大きく開かれる。更に、現在検討が開始されている平均出力100kW級の高繰り返し短パルスレーザーが実現されると、レーザー駆動粒子加速器、レーザー駆動核変換などへの道が開かれる。

⑧ 本計画に関する連絡先

加藤 義章 (光産業創成大学院大学) y.kato@gpi.ac.jp

宇宙背景ニュートリノ崩壊探索

① 計画の概要

本研究では、宇宙背景放射と同様に宇宙初期に生成され、宇宙空間に一樣に存在すると予言されている「宇宙背景ニュートリノ」の崩壊探索を行う。ニュートリノ崩壊時に発生する遠赤外線 ($E_\gamma \sim$ 数 10meV) のエネルギーを一光子ごとに 2%以下の精度で測定する超伝導トンネル接合素子 (STJ) 検出器を開発する。Left-Right Symmetric Model では、ニュートリノの寿命は最短で $\tau = 1.5 \times 10^{17}$ 年となるが、そのような宇宙背景ニュートリノの崩壊からの光子は口径 20cm・視野 0.1 度の望遠鏡と赤外線検出器を搭載した人工衛星で 6 時間観測することによって、有意度 5σ で検出できる。この赤外線検出器として、Nb と Al を超伝導素材とする多チャンネル STJ 検出器と分光素子を組み合わせた観測装置の開発を行う。Nb/Al-STJ 検出器の構造は、2 層の Nb 薄膜の間に Al 薄膜層と AlOx の酸化絶縁膜が挟まれた Nb/Al/AlOx/Al/Nb サンドウィッチ構造である。本研究では、多チャンネル Nb/Al-STJ 検出器と分光素子を組み合わせた観測装置の設計・開発・製作を行い、2016 年度にこの観測装置を搭載したロケット観測実験を予備実験として行う。このロケット実験によって現在の寿命上限を 100 倍改善できる。以上の Nb/Al-STJ 開発・製作と並行して、将来の人工衛星搭載実験に向けたエネルギーギャップの極めて小さいハフニウムを用いた Hf-STJ についても衛星搭載実験用の光学系を含めた観測装置の開発研究を行う。人工衛星搭載実験は 2022 年頃に実施することを目指す。本研究計画は 2008 年より筑波大学を中心にして進められてきており、現在は国内の 4 大学・3 研究所と海外の 1 大学・1 研究所による国際共同研究グループで、年 6 回程度の計画検討会で実験準備を進めてきた。

② 学術的な意義

本研究は、これまでに行われたことのない方法で宇宙背景ニュートリノ崩壊を探索するものである。Left-Right Symmetric Model では、ニュートリノの寿命は最短で $\tau = 1.5 \times 10^{17}$ 年となるが、そのような宇宙背景ニュートリノの崩壊からの光子は口径 20cm・視野 0.1 度の望遠鏡と赤外線検出器を搭載した人工衛星で観測するとき信号のレートは毎秒 50 事象となる。COBE と AKARI によるバックグラウンド実測値を用いると、S/N 比は 2×10^{-5} となるので、6 時間観測することによって、有意度 5σ で検出できる。我々が 2012 年に発表した JPSJ 論文では、AKARI の観測結果から求めたニュートリノ寿命の下限が 4×10^{12} 年となることを報告すると同時に、この衛星実験の提案を行った。この宇宙背景ニュートリノ崩壊が検出できれば、ニュートリノの質量自体を決定できると同時に、標準宇宙理論で予言されている宇宙背景ニュートリノの発見となる。2016 年に予備実験として観測時間 5 分間のロケット実験を行う。これによって、ニュートリノ寿命下限を 100 倍改善できる。

本研究で開発する多チャンネル STJ 赤外線検出器と分光素子を組み合わせた観測装置は、高効率・高エネルギー分解能で宇宙赤外線背景放射の連続スペクトルを観測することを可能にするものである。

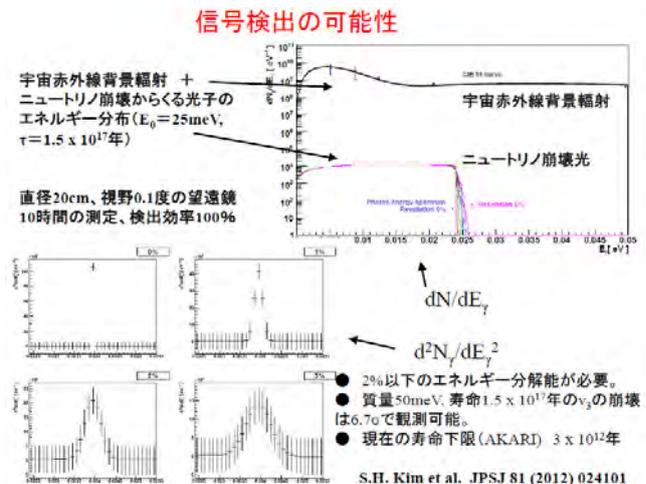
この赤外線検出器は高エネルギー分解能光子検出器として、他分野での応用が期待できる。たとえば X 線検出に用いれば、物質科学、生命科学で放射光を用いた実験で最先端 X 線検出器として大いに活用されることが期待される。また赤外線一光子検出が可能であることを利用して量子情報通信分野での応用も期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ニュートリノ物理学はニュートリノ振動の発見以来、大きな発展を示している分野である。大気ニュートリノ振動の観測をはじめとする多くのニュートリノ振動の観測によって、現在ニュートリノの質量が 0 でないことが示され、3 種類のニュートリノの質量の 2 乗差とニュートリノ混合角は測定されている。しかしながらニュートリノの質量自体は決定されておらず、今後の素粒子物理学の発展にとって、ニュートリノの質量を測定することは非常に重要な課題である。質量の測定のために、本研究計画では宇宙背景ニュートリノの崩壊を探索する。Left-Right Symmetric Model では、ニュートリノの寿命は最小で $\tau = 1.5 \times 10^{17}$ 年となり、検出可能となる。

宇宙背景ニュートリノは宇宙背景放射と同様にビッグバン宇宙初期に生成され、宇宙空間に一樣に存在すると標準宇宙理論で予言されている。これを発見することは大きく宇宙物理学を進展させる。

宇宙背景ニュートリノ崩壊からくる光子のエネルギー分布は高エネルギー端でカットオフがあり、それを測定することで、ニュートリノの質量を決定することができる。



④ 所要経費

本研究計画で用いるロケットおよび観測衛星は JAXA/ISAS が設計製作するもので、下記の所要経費には含まれない。2016 年に行う予定である宇宙赤外線背景放射観測実験ロケットに搭載する遠赤外線観測装置の開発・設計・製作・試験・本実験および、2022 年以降に行う予定である宇宙赤外線背景放射観測実験ロケットに搭載する遠赤外線観測装置の開発・設計・製作・試

験の所要経費を下記に示す。

2014年度から2021年度の所要経費(単位 百万円)は総額1879であり、内訳は、
計算機システムは総計580(2014年度30, 2015-2021年度80), 検出器開発製作および試験装置は総計910(90, 130, 110, 100, 100, 140, 140, 100), 光学系システムは総計65(3, 5, 5, 10, 10, 10, 10, 10, 65), 旅費・会議費・論文出版は総計140(10, 10, 20, 20, 20, 20, 20, 20), 人件費(研究員2~4名, 事務補助員1名)は総計184(14, 14, 26, 26, 26, 26, 26, 26)である。

⑤ 年次計画

過去10数年間に超伝導トンネル接合素子STJを用いた光検出器の開発研究が世界でひろく行われてきた結果、現在Nbを用いた超伝導体検出器では高エネルギー分解能を有することが測定されている。本研究では、さらに高いエネルギー分解能でエネルギーを測定するために、NbとAlを超伝導素材として用いる多チャンネルSTJ検出器(50 x 8ピクセル)と分光素子を組み合わせた観測装置の開発を行う。50ピクセルと分光素子(回折格子)で15meV~30meVの遠赤外光のエネルギーを一光子ごとに2%の精度で測定する。それを8列並べることによって位置情報も8点得る。

2013-14年度に極低温1Kで動作する低ノイズ前置増幅器等のエレクトロニクスの開発を進め、この実現によってNb/Al-STJ検出器の遠赤外光一光子の検出を実現する。2012年度までの研究でSTJサイズを小さくすることによって、ノイズ、リーク電流を大幅に低減できる可能性が見えている。

2015-16年度に反射鏡・分光素子・Nb/Al-STJ検出器を1Kクライオスタットに格納した赤外線観測装置を製作する。

2016-2017年度にこの赤外線観測装置をJAXA宇宙赤外線背景輻射観測実験ロケットに搭載して観測実験を行う。これは将来の衛星実験の予備実験となる。

これらと並行して将来の赤外線衛星搭載に向けたエネルギーギャップの小さいハフニウムを用いたHf-STJ検出器の衛星搭載実験用観測装置開発を行う。衛星搭載実験を2022年頃に実施するための検出器製作を2019年に開始する。

全研究期間を通して、勉強会、グループミーティング、研究会等を行って、情報交換を通して知識の向上をはかるとともに、検出器開発の計画を練り上げる。研究成果を物理学学会・国際会議等で報告し、会議での議論・情報交換を通して検出器開発の推進に反映させる。

⑥ 主な実施機関と実行組織

実施機関は国内機関では筑波大学、JAXA/ISAS、KEK、岡山大学、福井大学、近畿大学、理化学研究所、海外機関では韓国ソウル国立大学、米国フェルミ国立加速器研究所である。筑波大学が実施の中心となり、宇宙背景ニュートリノ崩壊探索研究コンソーシアムを形成しており、実行組織の役割は以下のとおりである。

筑波大学	総括, 実験設計・検出器開発・製作・試験, 実験シミュレーション, 光学系・クライオスタット設計開発, データ解析
JAXA/ISAS	ロケット製作, 衛星製作, 実験設計, エレクトロニクス開発, 光学系・クライオスタット設計開発, データ解析
KEK	エレクトロニクス開発, STJ検出器性能試験, データ解析
理化学研究所	STJ検出器設計製作・性能試験, データ解析
岡山大学	STJ検出器設計製作・性能試験, データ解析
福井大学	赤外線ビーム光源開発, STJ検出器性能試験, データ解析
近畿大学	STJ検出器性能試験, データ解析
ソウル大学	STJ検出器設計製作・性能試験, データ解析
フェルミ研究所	エレクトロニクス開発, STJ検出器性能試験, データ解析

⑦ 社会的価値

本研究計画では衛星実験による宇宙背景ニュートリノ崩壊探索が本実験であり、その予備実験としてロケット実験を行う。この宇宙背景ニュートリノ崩壊が検出できれば、ニュートリノの質量自体を決定できると同時に、標準宇宙理論で予言されている宇宙背景ニュートリノの発見となる。この2つは素粒子物理と宇宙物理で緊急に解決すべき宿題であり、これが解決すれば、宇宙起源と進化の理解を深め、人類共有の科学の知の基盤を強化し、あらゆる分野の科学に大きな影響を与える。

この実験に用いるために開発している超伝導赤外線検出器は高エネルギー分解能光子検出器として、非常に多くの用途があり、他分野での応用が期待できる。たとえばX線検出に用いれば、物質科学、生命科学の分野で放射光を用いた実験研究において高エネルギー分解能X線検出器として大いに活用されることが期待される。また赤外線一光子検出が可能であることを利用して量子情報通信分野での応用も期待される。これらの応用は経済的・産業的価値を生み出す。

⑧ 本計画に関する連絡先

金 信弘 (筑波大学) skim@hep.px.tsukuba.ac.jp

J-PARC 実験施設の高度化による物質の起源の解明

① 計画の概要

J-PARC 加速器は世界で有数の大強度陽子加速器である。この J-PARC の大強度陽子ビームを最大限に活用して研究成果を創出するために、J-PARC ハドロン実験施設の拡張とビームラインの整備・高度化を行うことを中心として、加えて物質生命科学実験施設 (MLF) において新しい素粒子実験を展開する。これによって、K中間子、反陽子、ミュオンなどのビームを用いた素粒子原子核実験を世界最高水準で行うことを目指す。具体的テーマとしては、(1) ストレンジネス量子数を持った原子核 (ハイパー核) の究極的分光とそれによる一般化された核力の研究、(2) 複数のストレンジネス量子数やチャーム量子数を持った原子核の生成と極限状態核物質の研究、(3) K中間子の稀崩壊における CP 対称性を破る過程の世界最高感度での測定 (KOTO-II)、(4) 荷電レプトンフレーバー非保存であるミュオンの電子転換過程の世界最高感度での探索 (COMET)、(5) ミュオン異常磁気能率の世界最高感度での測定とミュオン電気双極子能率の測定 ($g-2/\mu$ EDM, MLF で実施)、の 5 つである。これらの研究テーマを組み合わせることにより、宇宙開闢初期に起こった物質の起源と階層構造を解明することが出来る。これらの研究テーマを推進するために、ハドロン実験施設を約 3 倍の面積に拡張し、二次粒子生成標的を一カ所から三カ所に増強して、世界的にユニークで特徴ある二次ビームラインを新設する。これにより、上記の重要な実験を時間的に並行して効率良く行う。必要となる冷却水、電力などの関連設備の増強等を併せて行い、研究用大型スペクトロメータなど、実験研究用装置・設備を大幅に増強する。また、MLF に $g-2/\mu$ EDM 実験設備を新たに建設する。

② 学術的な意義

物質の起源を求めて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、LHC 加速器のようなエネルギーフロンティアのみならず、大強度ビームを用いたインテンシティフロンティアでの研究が必要不可欠である。J-PARC では世界トップクラスの大強度の K 中間子、反陽子、ミュオンなどのビームが得られるが、本計画は、J-PARC ハドロン実験施設の高度化を軸に物質の起源に迫る研究を展開することを目的とする。(1) ハイパー核の究極的分光とそれによる一般化された核力の研究や(2) 複数のストレンジネスやチャームを持つ原子核の生成と極限状態核物質の研究では、ストレンジ粒子と核子あるいは原子核の相互作用を明らかにすることにより、中性子星に存在していると考えられる極限状態の核物質と言えるストレンジ核物質の成り立ちを根源的なクォークレベルから理解する。また、チャームクォークという重いクォークを含む粒子の分光を行うことにより、クォークがどのように組み合わせられてハドロンが作られているかを理解し、それが核物質の中でどのように変化するか(クォーク閉じ込めが準安定的に消滅するか)を観測する。こうして、未だ明らかでないクォークから原子核が形成されるメカニズムを解明する。(3) K中間子の稀崩壊における CP 対称性を破る過程の世界最高感度での測定により、現在の物質優勢宇宙の理解の鍵となる粒子・反粒子の間の非対称性の起源の解明を行う。(4) 荷電レプトンフレーバー非保存であるミュオンの電子転換過程の世界最高感度での探索や、(5) ミュオン異常磁気能率の世界最高感度での測定とミュオン電気双極子能率の測定は、素粒子標準模型を超える事象を捉える可能性のある有力な研究である。本計画では、これら素粒子物理及び原子核物理にまたがる研究を総動員することにより、物質の起源に迫る。



は原子核の相互作用を明らかにすることにより、中性子星に存在していると考えられる極限状態の核物質と言えるストレンジ核物質の成り立ちを根源的なクォークレベルから理解する。また、チャームクォークという重いクォークを含む粒子の分光を行うことにより、クォークがどのように組み合わせられてハドロンが作られているかを理解し、それが核物質の中でどのように変化するか(クォーク閉じ込めが準安定的に消滅するか)を観測する。こうして、未だ明らかでないクォークから原子核が形成されるメカニズムを解明する。(3) K中間子の稀崩壊における CP 対称性を破る過程の世界最高感度での測定により、現在の物質優勢宇宙の理解の鍵となる粒子・反粒子の間の非対称性の起源の解明を行う。(4) 荷電レプトンフレーバー非保存であるミュオンの電子転換過程の世界最高感度での探索や、(5) ミュオン異常磁気能率の世界最高感度での測定とミュオン電気双極子能率の測定は、素粒子標準模型を超える事象を捉える可能性のある有力な研究である。本計画では、これら素粒子物理及び原子核物理にまたがる研究を総動員することにより、物質の起源に迫る。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

本分野においては米国トマスジェファーソン国立加速器研究所での電子加速器施設のアップグレード計画、米国フェルミ国立加速器研究所での陽子加速器の高度化計画、ドイツ GSI での FAIR 計画が進められている。ジェファーソン研究所での電子加速器施設アップグレード計画では、主として電子や光子を用いて核子のクォーク構造を研究する。本計画での研究とは方法が異なり、双方を進めることが核物質の理解に本質的に重要である。フェルミ研究所での加速器高度化計画は本計画の一部であるミュオン電子転換過程の探索 (COMET) やミュオン異常磁気能率の測定 ($g-2/\mu$ EDM) において競争関係にあり、本計画の速やかな実施が望まれる。FAIR 計画の一部である反陽子を使ったチャームクォークを含む粒子の分光などは本計画の一部と競争関係にある。J-PARC ハドロン実験施設は、多様なハドロンビームを用いて多様な実験を一カ所で行えるという独自性がある。本計画により、この優位性を高め、素粒子原子核物理において世界をリードし続けられる研究基盤を構築する。

④ 所要経費

本計画の所要経費 (運営費を除く初期投資分) は総額 238 億円である。その内訳は次の通りである。

- ・ J-PARC ハドロン実験施設の拡張: 137 億円 (建屋の拡張、新たな二つの二次粒子生成標的の設置、二次ビームラインの設置)

- ・測定器整備：30 億円
(新設二次ビームラインにおける多様な素粒子物理、原子核物理実験のための測定器整備)
- ・ミュオン電子転換過程探索実験：40 億円
- ・ミュオン異常磁気能率とミュオン電気双極子能率の測定実験：31 億円

加えて、施設完成後には電気代や施設・機器のメンテナンスのために運営費が必要となる。既存部分の運営費に対する運営費の増分は総額年間 15.2 億円である。その内訳は次の通りである。

- ・電気代の増分：5.2 億円/年
(ハドロン施設拡張部分のみ必要で 17.5 MW)
- ・メンテナンス等の運営費の増分：10 億円/年
(ハドロン実験施設部分について 7 億円/年、それ以外について 3 億円/年)

なお、ここでは年間 4 サイクル=88 日間の運転を仮定している。

⑤ 年次計画

本計画は J-PARC ハドロン実験施設の拡張を中核とするため、土木・建築工事およびその準備が先行する。建設地は茨城県東海村の J-PARC キャンパス内、既存のハドロン実験施設に隣接した場所で、この場所には中世から近世にかけての製塩遺跡があることが判明しており、土木・建築工事の実施に先立ち遺跡調査が必要となる。よって計画の一年目はこの遺跡調査に並行して土木・建築工事の実設計、装置の製作を行うことになる。二年目から四年目は土木・建築工事と装置の製作・設置を並行して行う。この間、既存のハドロン実験施設での実験研究は可能な限り継続するが、既存建屋と増設部分の貫通、および、「ビームダンプ」と呼ばれる一次陽子ビームライン最下流部に置かれるビーム吸収装置の移設のために、二年目半ばから四年目半ばの約二年間はハドロン実験施設の既設第一生成標的を使用した実験は行うことができない。なお、高運動量ビームラインおよび COMET ビームラインでのビーム実験は第一生成標的およびビームダンプを使用しないため引き続き実施する。五年目には新設ビームラインが完成し、調整運転が行われ、実験が開始される予定である。

以上をまとめると年次計画は次のとおりである。

1 年目：建築・土木の実設計、遺跡調査、装置製作、

2～4 年目：建屋建設、ビームダンプ移設、装置製作・設置、

(2 年目の半ばから 4 年目の半ばまで約 2 年間はビーム休止。ただし高運動量/COMET ビームラインにはビーム導出可能で、実験を続行する。)

5 年目：施設運転開始、調整、実験開始。

なお、 $g-2/\mu$ EDM 実験に関しては平成 28 年には、競争関係にある米国フェルミ研究所の実験が測定を開始する予定である。我々の提案は全くの新手法なので多少の遅れは許容可能であるが、可及的速やかに新設備建設が MLF において開始出来ることが非常に望ましい。

⑥ 主な実施機関と実行組織

主となる実施機関は KEK 素粒子原子核研究所である。素粒子原子核研究所には既設の J-PARC ハドロン実験施設を建設し運用を行っているグループがあり、そのグループを中心として関連各グループを包含して実行組織を設ける。当然ながら素粒子原子核研究所は J-PARC センターおよび KEK 内各部署 (物質構造科学研究所、加速器研究施設、共通基盤研究施設、管理局) と連携をとりつつ計画を進める。また、連携協定を結んでいる理化学研究所仁科加速器センターや、大阪大学核物理研究センターなどと協力しつつ、本計画を推進する。ビームライン等基幹装置の建設および運用は大学共同利用機関である素粒子原子核研究所が責任をもって行うが、二次ビームラインの下流部や、実験用測定器等の建設や運用については、実験に参加する共同利用研究者やその所属する各大学・各研究機関 (東京大学、京都大学、東北大学、大阪大学、他) と協力してこれを進める。

⑦ 社会的価値

宇宙の歴史や物質の成り立ちに対するより深い理解は、人類全体が共有する新たな英知の創造としての社会的・文化的意義を持つ。本計画で得られた知見は、人類共通の知的資産として、国家・社会のあらゆる分野の発展の重要な基盤となり、原動力となる。本計画で開発される最先端のビーム制御技術、放射線測定技術、大容量データ処理技術などの最先端基盤技術は、医療、材料科学、情報工学等の分野で応用され、国民の日常生活を支える。また、本計画によって、J-PARC はハドロン関連研究において世界を確固としてリードする立場に立つことになる。本計画で展開される国際共同研究は普遍的、国際的な性格を有するため、本計画によって J-PARC をハドロン関連研究のメッカかつ国際的頭脳循環のハブとして機能させることは、我が国が国際社会の中で信頼と尊敬を得ることに大いに資するものである。さらに、世界を先導する最先端基礎科学が日本で発展していく現状を日本の子供達や若者に示すことは、日本の科学水準の一層の向上と社会の活力の向上に大きな効果を与える。

⑧ 本計画に関する連絡先

宮本 滋 (大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構) kenkyo1@mail.kek.jp



高輝度大型ハドロン衝突型加速器 (HL-LHC) による素粒子実験

① 計画の概要

欧州合同原子核研究機関 (CERN) に建設された大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) で、世界最高エネルギーの陽子・陽子衝突実験が始まり、2012 年夏には質量起源の鍵を握るヒッグス粒子を発見した。この粒子の性質の精査と、標準理論を超える新たな粒子の探索が、今後の素粒子物理の最重要課題となる。LHC は今後 10 年以上にわたり、世界で唯一のエネルギーフロンティア加速器であり、2030 年頃まで運転を継続し、これらの課題に正面から取り組んでいく。すなわち、ヒッグス粒子の精査と W 粒子の散乱現象などから、電弱相互作用の対称性の破れに関して精密検証を進めるとともに、暗黒物質など標準理論の枠外にある粒子を直接生成の探索し、素粒子物理の新しいパラダイムの創成を目指す。日本は LHC 加速器の建設に貢献し、高エネルギー加速器研究機構を含む国内 16 の大学・研究所がアトラス国際共同実験で研究を進めている。

LHC の長期運転では、放射線損傷で加速器・測定器の一部が当初設計の寿命を迎える。素粒子物理の新パラダイムの探索には更なる加速器性能の向上が必須であり、ルミノシティ (衝突輝度) を約 10 倍に上げ、測定器を改造・交換し、2020 年代に研究の更なる飛躍を目指すのが高輝度加速器 (HL-LHC) アップグレード計画である。現在概念設計と開発研究が進行中であり、2016 年から改造部の建設に着手し、2022 年から高輝度での実験を進める。

加速器改造において、日本はビーム分離用高磁場超伝導磁石の開発・製作を中心に、前段加速器の加速高周波回路やクラブ空洞でのビーム安定性の研究等で、多角的に貢献する。アトラス実験では、飛跡検出器やミュオン検出器等の入替えを行い、高輝度化により事象選別がより難しくなる環境でも、現在と同程度以上の感度を保って研究を進める。

② 学術的な意義

LHC におけるアトラス実験は、質量の起源であるヒッグス粒子と思われる新粒子をついに発見した。この粒子が本当に標準理論で電弱相互作用の対称性を破るヒッグス機構に関連した粒子なのかを理解することは、現在の素粒子物理の最重要課題である。HL-LHC では衝突輝度を LHC の約 10 倍にすることにより、この粒子の大量生成が可能となり、陽子・陽子衝突におけるその生成機構と崩壊過程を精密に研究することと、W 粒子相互散乱の研究等により、標準理論の基礎原理であるヒッグス機構の精密検証ができる。一方で、ヒッグス粒子は唯一のスピン 0 の素粒子であり、なぜそのようなものが存在するかは標準理論の範囲では説明できない。ヒッグス粒子の存在は、より高いレベルの新しい原理の存在を示唆するものであり、LHC は、この原理の鍵を握る重い新粒子を引き続き直接探索することができる唯一の加速器である。衝突輝度の向上により、より高い感度で探ることができる。

また、宇宙に広く存在している暗黒物質の解明も宇宙・素粒子研究の最重要課題である。暗黒物質が超対称性や余剰次元と関連している場合は、その仲間となる新粒子が LHC で直接生成できると期待されている。そのような新粒子を発見できれば、時空に関する標準理論を超える現象のはじめての実験的証拠となる。高輝度によって反応頻度が上がることにより、より重い新粒子が探索でき、発見後の精密測定が可能になる。この新粒子がどのような理論の枠組みに合致する粒子かの検証を進め、そこから時空の構造に関して新しいパラダイムを構築できる。

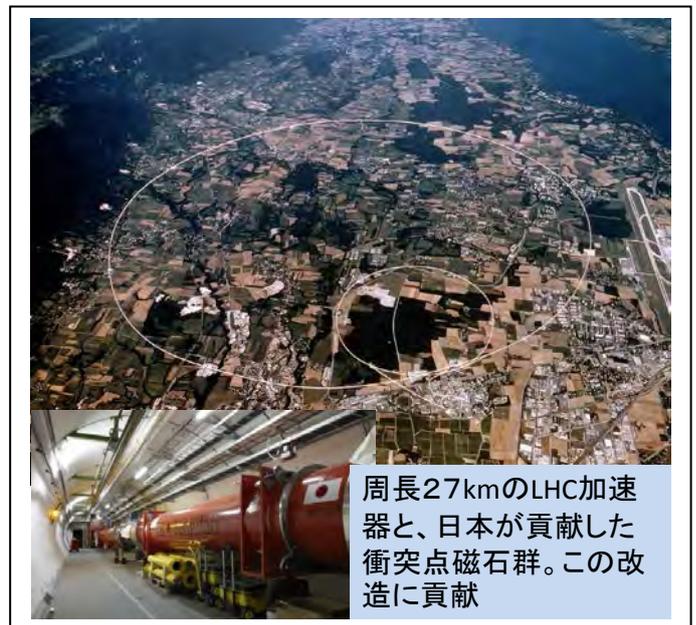
HL-LHC 計画では、LHC の性能を最大限に引き上げることで、既存の施設を有効利用しながら最先端の素粒子研究を開拓できる。またその加速器要素開発では、さらに高エネルギーの加速器 (HE-LHC) への道も広がる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

LHC でのアトラス実験には、国内 16 の大学・研究機関から 100 名を超える研究者・大学院生が参加して実験を進めており、今回のヒッグス粒子発見でも大きな貢献をしている。アトラス実験グループは日本国内の素粒子物理学実験の研究グループとしては最大規模のものの一つである。

国内で行っている SuperKEKB 加速器による Belle II 実験や J-PARC での稀崩壊実験は、標準理論を超える現象を間接的に捉えるもので、LHC での直接生成による研究とは相補的であり、両面からの研究が重要である。

ILC 計画は、ヒッグス粒子の性質をさらに高精度で研究ができる。特に、HL-LHC での研究では、粒子の生成と崩壊の過程を分離できないので、ヒッグス粒子と他の粒子との結合定数の絶対値の測定が難しいが、ILC の建設には最短でも 10 年の年月がかかり、その期間に HL-LHC で測定精度を改善することに大きな意義がある。標準理論を超える物理探索では、HL-LHC では直接



探索することが可能であり、精密測定から間接的に探る ILC 実験とは相補的な関係にある。

④ 所要経費

HL-LHC 加速器建設全体に関わる費用は、人件費込みで約 1000 億円と見積もられており、アトラス検出器の改造に必要な経費は、人件費や開発・準備費を含まないで約 350 億円である。

日本のグループは、加速器・測定器ともに、担当する部分の建設に関わる経費を分担するという方針で進めている。開発費を含め、かつ常勤の研究者の人件費は含まない形で、加速器の経費が 37 億円、測定器建設の経費が 51 億円の総計 88 億円の予算規模となる。

建設が完了した 2022 年以降約 10 年にわたって実験を進める。その運転経費の日本の分担は、毎年 2 億円程度と見積もられる。加速器運転の費用は分担しないことを想定する。

また、HL-LHC 建設期間には、並行して現在の LHC での実験を進めることになりこの運転経費は年間 2 億円である。

⑤ 年次計画

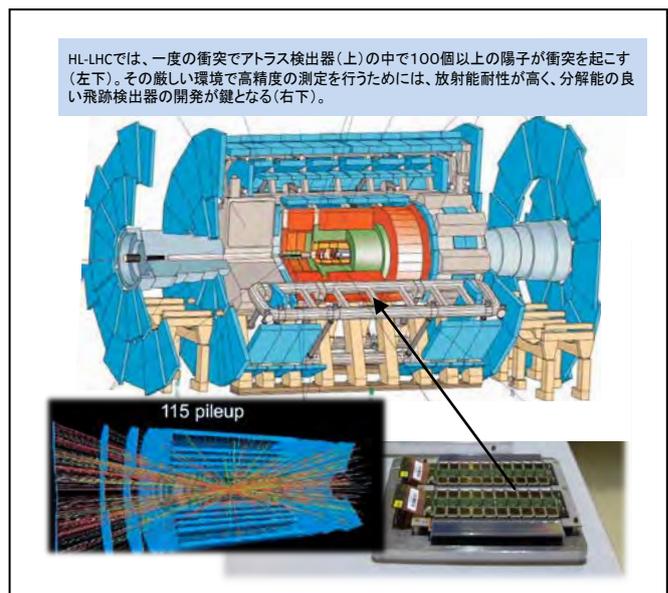
2013 年—2015 年は加速器・測定器ともに各部の開発研究と全体設計を進める。加速器に関してはビーム分離磁石の設計を進め、モデル機を作成して実証試験を進める。前段加速器の高周波回路の放射線耐性試験を行い、LHC 加速器内でのビーム軌道の安定性の検証を進める。

アトラス実験では、内部飛跡検出機に関して、ピクセル型及びストリップ型のシリコン飛跡検出器の総合放射線耐性試験を進めるとともに、プロトタイプ機を製作して、量産への道筋を付ける。ミュオン検出器、カロリメータ、飛跡検出器の情報を総合的に使う、新しいトリガーシステムの概念設計を進める。

2016 年—2021 年は加速器・測定器ともに実機の製作期間になる。加速器ではビーム分離電磁石の製作、高周波回路の製作が中心となり、測定器では、飛跡検出器の製作とミュオントリガーシステムの構築及び、カロリメータ・飛跡検出器トリガーとの連携のためのシステム構築が中心となる。

2022 年に、それまでに建設してきた加速器・実験装置を現地に設置する。その後、約 10 年間、高輝度での LHC 運転を行い、積算ルミノシティ 3000fb^{-1} のデータを得る。標準理論での電弱相互作用の対称性の破れの研究と新粒子・新現象の探索を進める。

また、上記に並行して、2015—2021 年の期間は現在の LHC での実験を進め、上記課題を先行して進めて行く。



HL-LHCでは、一度の衝突でアトラス検出器(上)の中で100個以上の陽子が衝突を起こす(左下)。その厳しい環境で高精度の測定を行うためには、放射線耐性が高く、分解能の良い飛跡検出器の開発が鍵となる(右下)。

⑥ 主な実施機関と実行組織

LHC 加速器のアップグレードは CERN において実施する。CERN 加盟国は現在欧州の 20 カ国であるが、この HL-LHC 計画は、加盟国以外の日本・米国・ロシア等を含む国際共同プロジェクトである。アトラス実験は、世界中からの 38 カ国約 3000 人の研究者・大学院生からなる国際共同実験である。

加速器建設への日本からの関与は高エネルギー加速器研究機構が中心となる。実験については高エネルギー加速器研究機構と東京大学などの国内大学がアトラス国際共同実験に参加しており、アトラス日本グループを組織している。これを母体としてアップグレードされた LHC での実験を進める。測定器の開発・製作・運転に関わる予算は高エネルギー加速器研究機構を通して執行する。他にデータ解析のための計算機システムを東京大学素粒子物理国際センターに設置しているが、LHC から HL-LHC まで継続して運用するため、その運営費・更新費はこの大型計画には含まない。

なお、アトラス日本グループは、次の 16 の研究機関で構成される：高エネルギー加速器研究機構、筑波大学、東京大学、東京工業大学、首都大学東京、早稲田大学、信州大学、名古屋大学、京都大学、京都教育大学、大阪大学、神戸大学、岡山大学、広島工業大学、長崎総合科学大学、九州大学。

⑦ 社会的価値

2012 年 7 月のヒッグス粒子らしきの新粒子発見のニュースは、国内の主要新聞のトップ記事となり、このような基礎科学の重大発見に対して国民が大きな興味を持つことを如実に示した。一見実用とは程遠い発見に関しても、大きな知的価値を認める国民性が現れていると考える。HL-LHC において、標準模型の確立と、それを超える新現象を発見した場合は、先述のように我々が住む宇宙の生成に関する大きなパラダイムシフトとなり、人類の知的財産として重要な貢献となる。

一方、HL-LHC を実現するための、加速器・実験装置の開発においては、耐放射線デバイスの開発や、大口径高磁場超伝導磁石の開発、解析に伴う計算機技術等、先端技術の開発が必要であり、これらは将来の産業発展に貢献すると考える。将来の経済的波及という意味でも、この観点でこのプロジェクトへの投資以上の効果が期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

宮本 滋 (大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構) kenkyo1@mail.kek.jp

国際リニアコライダー計画

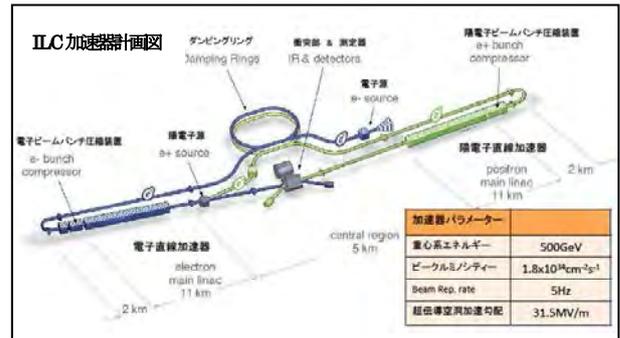
① 計画の概要

国際リニアコライダー (ILC) 計画は、アジア・欧州・北米の3極の素粒子物理及び加速器研究者の国際協力により実現を目指しているエネルギーフロンティアの電子・陽電子衝突型加速器である。国際的な合意と参加に基づいて ILC を日本に建設し、国際共同実験を行う。

衝突エネルギーは 250 GeV から 500 GeV までの領域を網羅し、将来は 1000 GeV 領域への拡張の可能性も視野に入れる。全長約 30 km の地下トンネルの両端からナノビーム技術を駆使して生成した電子と陽電子を注入し、超伝導加速技術によって加速して正面衝突させる。これにより、シンクロトロン放射によるエネルギー損失をなくし、LHC 実験に比べて圧倒的に背景 (ノイズ) 事象が少ないクリーンな実験を実現する。

最近 LHC で発見されたヒッグス粒子の詳細研究を行い素粒子の質量生成の背後の物理を解明するとともに、トップクォークの詳細研究、宇宙の暗黒物質等 TeV スケールで期待される新粒子・新現象の探索や研究を進める。これにより、宇宙の真空の構造、力の大統一、自然界の新しい対称性、宇宙初期の物理法則の知見が得られ、宇宙の進化を解明することが期待される。

国際将来加速器委員会 (ICFA) の基に設立された国際設計チーム (GDE) が 2012 年末に ILC の技術設計書 (TDR) を完成させた。2013 年 2 月には国際協力の枠組みとしてリニアコライダー コラボレーション (LCC) が発足した。今後数年間で加速器・実験装置、施設・設備、研究所組織などの詳細設計を行うとともに具体的な実施計画を策定する。次いで国際合意に基づいて国際研究所を設立し、建設・運転・運営を行う。建設に 10 年程度を要し、実験期間は 10 年以上におよぶ。将来の衝突エネルギーのアップグレードを含めると実施期間が四半世紀を超える大型の世界プロジェクトである。



② 学術的な意義

最高エネルギーの電子・陽電子衝突により新粒子・新現象を探究する。背景事象が少ない電子・陽電子衝突実験の特長を活かした高精度の測定を行い、新粒子・新現象の背後にある物理の基本法則を解明する。従来のリング型コライダーより大きなエネルギー拡張性をもつ「リニア」コライダーは、長期間にわたり最先端の研究基盤となる新しい加速器技術である。

LHC で発見されたヒッグス粒子は、真空を満たすヒッグス場のゼロでない真空期待値によって生じ、真空と同じ量子数をもつ全く新しい種類の粒子である。超対称性モデルや余剰次元モデル等、素粒子の標準理論を超える様々な物理体系が提唱されているが、それらは異なる真空の構造に立脚しており、性質の異なる「ヒッグス粒子」を予言する。ILC では、ヒッグス粒子の性質、各粒子との結合定数、ヒッグスポテンシャル等を決定し、新しい物理の方向性を定める。

トップクォークの発見以来 20 年近く経過したが、その質量や結合定数の決定精度は未だ十分ではない。閾値近傍で衝突エネルギーを変化させながら生成断面積を測定するという ILC 特有の手法を用いて決定精度を圧倒的に向上させ、標準理論を超える物理を探究する。またクォーク対やゲージボソン生成を高精度で測定し、量子的高次効果を通して、LHC を越える高いエネルギースケールの現象を探索する。

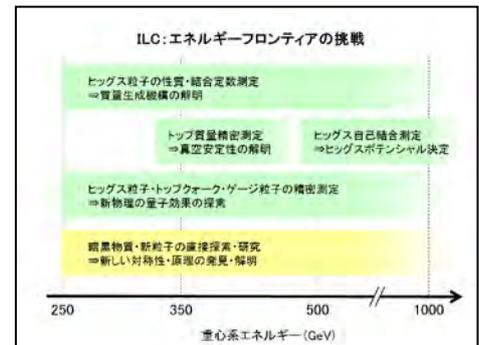
ILC は、LHC での発見が難しい強い相互作用をもたない新粒子の発見能力が高い。また、始状態の衝突全エネルギーが確定しているため、検出できない粒子が測定器の外へ持ち出す「エネルギー欠損」を高精度で決定できる。エネルギー欠損の測定はダークマターの候補である弱い相互作用しかもたない重い粒子 (WIMP) を探る最も有効な手法である。

このように ILC は、真空の構造、力の大統一、自然界の新しい対称性を探求して、新しい物理学の方向性を定め、宇宙の進化を解明する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

電子・陽電子リニアコライダー (LC) が極めて高いポテンシャルをもち LHC と相補的なエネルギーフロンティア加速器であるという世界共通認識の基に、LC 加速器・測定器に必要な技術開発が 1980 年代から世界規模で展開された。2005 年には日米欧の研究開発が統合され、超伝導加速技術技術をベースにした ILC の設計・開発が GDE の下で進められ、昨年末の TDR 完成に至った。本年 2 月には新体制が発足し、国際協力は次の段階に進んだ。

日本の高エネルギー物理学研究者会議 (JAHEP、正会員約 600 名) は、昨年 3 月に「日本が主導して電子・陽電子リニアコライダーの早期実現を目指す」方針を確認し、10 月には国際コミュニティの同意と各国の参画を得た ILC を衝突エネルギーの段階的増強シナリオに沿って日本に建設することを提案した。CERN 理事会の下で策定された欧州戦略には「日本のコミュニティ



による ILC 建設の提案を歓迎し、欧州グループは参加を強く希望する」と記され、本年3月の米国エネルギー省 (DOE) と国立科学財団 (NSF) の諮問委員会 (HEPAP) は ILC をエネルギーフロンティアの最重要施設にランクすると報告した。

④ 所要経費

加速器建設の経費は GDE による技術設計書では 2012 年 1 月の 1 ドルを 1 ILCU と定義して、アジア・欧州・米国の 3 地域での建設費の平均値を 77.8 億 ILCU (不定性 26%)、これに含まれない労働力として 2260 万人・時間 (その不定性は 24%) と算出した。日本の山岳地帯での建設経費は、山岳トンネル工事費増を含み、79.8 億 ILCU (不定性 26%)、労働力として 2290 万人・時間 (不定性 24%) と算定した。ただし、この算出には建設開始までの準備段階の経費は含まれない。この数値は OECD と欧州連合統計局が各国物価を調査し算出した購買力平価 (PPP) に基づいて算出されているため、各国通貨での経費に換算するには、為替や国際経費分担のモデルを仮定しなければならない。日本で想定される山岳地帯サイトで、1 ドルを 100 円、1Euro を 115 円として換算すると評価額は、8、300 億円程度に対応する。研究所の年間運営費は 3.9 億 ILCU (不定性 40%)、所用人員は 850 FTE (不定性 25%) と見積もられている。測定器建設の経費は 1 測定器あたり約 4 億 ILCU で、2 台の建設を想定している。

⑤ 年次計画

2020 年代後半の稼働開始を目指す。そのためにはまず、KEK、CERN 等の世界の主要加速器研究所が連携して国際準備組織を立ち上げる。ICFA の下に発足した LCC は、GDE を引き継いで活動の中核となり、国際準備組織を率いて、加速器及び測定器の詳細設計、建設計画の策定、ビーム加速試験、更なる性能向上とコスト削減を目指した技術開発等を推進する。また、候補地を 1 ヶ所に絞り込み、地形に合わせた施設の詳細設計、環境アセスメント、輸送計画の策定等、日本での建設を前提とした準備作業を進めるとともに、加速器建設とプロジェクト運営の母体となる国際組織 (仮称 ILC 研究所) の制度設計と国際準備組織からの移行計画策定等を行う。これらの事前準備を 2015 年あるいは 2016 年までに完了させる。政府間合意が得られた時点で、ILC 研究所 (仮称) を発足させ、プロジェクトを開始する。

プロジェクト開始後、調達及び量産体制整備等の準備、施設及び装置の建設、試運転等に 12 年程度を要すると見込まれているため、本格的な衝突実験は 2020 年代後半以降になる。第 1 期の約 10 年間は重心系エネルギーを 250 GeV から 500 GeV までの間で変化させて、ヒッグス粒子、トップクォーク等の性質の精密測定ならびに新現象の探索を行う。その後は、それまでの研究結果を踏まえてアップグレード計画を進める。

⑥ 主な実施機関と実行組織

ILC 加速器の建設とプロジェクト運営の母体となる国際研究組織 (仮称 ILC 研究所) の発足までは、KEK、CERN 等の世界の主要加速器研究所が連携して立ち上げる国際準備組織が実施母体となる。この準備組織はプロジェクト開始と共に ILC 研究所へ発展する。ICFA の下に設置された LCC の ILC 部門は、上記の国際準備組織の中核となり、加速器の詳細設計、建設計画の策定、ビーム加速試験、更なる性能向上とコスト削減を目指した技術開発等の本部組織の役割を担う。日本での建設を想定した詳細設計及び建設計画策定においては、KEK が LCC との連携を図りつつ中心的な役割を果たす。

現時点では、LCC の首脳部と ILC 及び物理&測定器のディレクター等が決まり、活動を開始した。また LCC の活動を監督するリニアコライダーボード (LCB) が発足した。アジア・欧州・北米の 3 極から選ばれた各 5 名に議長を加えた 16 名で構成される。

測定器の開発・設計と物理研究は、1998 年に研究者コミュニティが立ち上げたワールドワイドスタディ、その後 GDE に並行して設立されたリサーチデレктоレート (RD) が調整役を果たしたが、今後は LCC が役割を受け持つ。国内外の研究所・大学が協力し、約 300 機関から 1000 人を超える研究者が参加して開発・研究を進めている。国内では東北大・東大・名古屋大・信州大・京大・神戸大・広島大・九大・佐賀大等、約 50 機関が設計・開発段階から参加している。

高エネルギー委員会 (JAHEP を母体として選出されたコミュニティの代表) は ILC 計画を推進するための司令塔として 2012 年に LC 戦略会議を立ち上げた。全国の大学の研究者が参加して日本全体での推進体制が構築されている。LC 戦略会議は、国際的コンセンサスの形成、国際協力体制の構築、国際研究組織に関する検討、アウトリーチ活動等において中心的役割を果たしている。

⑦ 社会的価値

ヒッグス粒子発見以来 ILC の日本誘致に関する解説記事が Nature と Science に掲載され、学術コミュニティの関心の高さを表している。国内マスメディアへの掲載数は 2008 年から 5 年間で 988 件、ネットニュースへは 2012 年 9 月から半年間で 100 件にのぼる。

ILC の啓発のため、KEK、大学等により一般向講演会を年 10 回以上開催し、「ILC 通信」を 2006 年から配信している。

先端加速器技術の開発や知財や波及効果等の検討のため、産学連携の中心となる「先端加速器科学技術推進協議会」が 2009 年に発足し、民間企業と研究機関の研究者・技術者が会合を重ねている。

ILC の国内誘致は学術コミュニティ内の国際貢献となるばかりでなく、広く社会的、産業的な波及効果をもたらす。民間の有識者団体である日本創成会議は、ILC をグローバル都市形成のモデル事業と位置づける提案 2012 年に発表した。多数の研究者やその家族が世界から集まる ILC を中核とした国際都市を実現することにより、次世代リーダーや加速器産業イノベーションの世界的な発信地となり、今後の国際科学イノベーション拠点形成のモデルケースとなる。

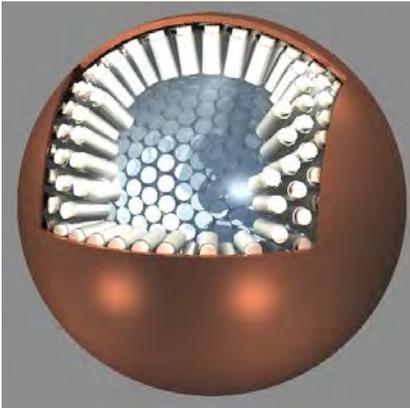
⑧ 本計画に関する連絡先

宮本 滋 (大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構) kenkyo1@mail.kek.jp

暗黒物質の直接探索 (XMASS)

① 計画の概要

宇宙の物質・エネルギーの95%は未知である。27%は暗黒物質と呼ばれ、その存在は確実であるが正体はいまだに不明である。その候補の一つは、新しい素粒子であるとされている。本計画は液体キセノンを用いて、暗黒物質が、検出器内で反応した時に放出される蛍光を捉え直接観測する。計画されている検出器は世界最大の検出器であるとともに、暗黒物質探索のための検出器としては、世界で最も低いエネルギーまで観測できる。本検出器は、暗黒物質の最も有力な候補である WIMPs とよばれる素粒子のみならず、Axion と呼ばれる一連の粒子にも感度があり、多様な暗黒物質候補に関して探索を行う事が可能な多目的な実験である。いずれも、世界最高感度の探索を行い、その発見を目指す。最終目標 (II 期: XMASS-II) は総重量 2.5 トン、有効質量 1.0 トンの検出器で、例えば、スピンの依存しない暗黒物質 (例えば、100 GeV) と核子との散乱断面積に対して 10^{-47} cm^2 程度以下までの探索をおこなう。



本提案研究は、その I 期として有効質量 1 トンの検出器を用い、現時点で世界最高感度である 10^{-46} cm^2 程度以下までの探索を行う。

暗黒物質探索に必要な要素は、大型かつ低バックグラウンドである。本計画は、低バックグラウンドを実現するために液体キセノン中の自然放射能 (クリプトン等) や検出器内表面の自然放射能 (鉛 210 等) の低減に最新の技術を投入する。クリプトンは、我々の開発した世界最高性能を持つ蒸留塔の技術を用いて除去する。検出器内面の自然放射能は、それを十分に高い効率で同定しデータから除去できる新型光センサーを用いることと、装置の建設を、極低バックグラウンド環境でおこなうことで排除する。これまでの経験で得た知識を一気に投入することにより必要な低バックグラウンドを達成し、世界最高感度の探索を行う。

② 学術的な意義

本計画は、宇宙に関する未解決の問題の中で、最も重要な問題の一つである暗黒物質の正体の解明にせまるものである。まず未知の素粒子としての暗黒物質の存在を明確に示すことは、暗黒物質の研究分野の中では最優先で進められるべきものの一つである。これはこれまで様々な努力によっても、既知の粒子では暗黒物質の説明に成功していないため、強い期待が集まっている。次に一旦暗黒物質が検出されれば、その質量や通常物質との間の散乱断面積等を決定することができる。これらは素粒子としての性質を規定するために重要な情報となる。こういった情報を提供することができる暗黒物質の直接探索の学術的意義は大きい。この研究分野は世界的な競争になっており、本計画を推進することは高い緊急度を持つ。

暗黒物質の探索では、宇宙空間や太陽内部などでの反応から発生する宇宙線やニュートリノの観測から間接的にとらえようという試みも多くある。例えばスーパーカミオカンデ等によるニュートリノを用いた暗黒物質の間接測定があり、もし信号が発見されれば特徴的な信号がみられることが期待されている。しかし直接検出においては例えばキセノンの同位体組成等を人為的に変えることができるため、暗黒物質の性質をより詳しく調査出来る等のメリットもある。よって暗黒物質の正体を解明するには間接検出のみならず、直接検出の手法を推進する必要がある。

なお、本検出器は小さいエネルギー付与を検出できる性能を持つため、原子核反跳を生じる WIMP 探索においては探索できる質量の範囲が広いといったメリットを持つ。その上本検出器は電子に対してエネルギーを付与する可能性のある多種類の暗黒物質候補 (アクシオン等の擬スカラー粒子、ベクトル粒子等) にも感度がある。これらを両立させた計画を持つのは独創的な点だと言える。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

暗黒物質の探索は国際的な競争である。現在、XENON グループが得た上限値 $2 \times 10^{-45} \text{ cm}^2$ が、最も感度が良く、同グループは、さらに 1 トンの液体キセノンを用いた検出器の建設を進めている。2015 年～16 年頃には運転予定で、 10^{-46} cm^2 以下を目指す。また、300kg の液体キセノンを使った LUX グループは、今年から来年にかけて 10^{-45} cm^2 以下の感度をめざしている。XMASS1.5 (I 期) は 2016 年頃に完成し 10^{-46} cm^2 以下を目標とする。さらに第 II 期計画では、 10^{-47} cm^2 以下を有効質量 1.0 トンの検出器で 2019 年頃に達成したい。これにより、理論で予想されるかなりの領域を探索できる。

国内で行われている研究は、将来に向けて高感度実験を行うための研究開発である。それらは神戸大学、名古屋大学、徳島大学及び東北大学、早稲田大学等において進められている。国内において現時点では本研究計画だけが高感度の探索を実行できるものである。

④ 所要経費

XMASS-II (有効質量 1.0 トン) の総予算は、9600 百万円であるが、I 期計画 (総重量 5 トン、有効質量 1 トン) に必要な経費は総額 1360 百万円である。主たる経費は、光センサー、キセノン、それをハンドリングする容器・配管・低温設備に用いら

れる。各々360百万円、300百万円、440百万円である。光センサーは本計画の主要な改良点であり、準備実験で用いた光センサーとは異なるものとなる。キセノンは、すでに2トンが手元にあり、追加に3トンのキセノンを購入する。容器や低温設備は、この5トンのキセノンを安全に使用し、異常時にも大気解放に至らぬよう配慮している。この設備には準備実験で用いた設備を有効活用する。光センサーを保持する低バックグラウンドのホルダーに110百万円、追加の電子回路、計算機やモニターに150百万円が必要となる。前者は純度が高く、特別に宇宙線暴露の少ない銅材料を手配する。後者の主たる経費は、全チャンネルに波形を記録するための回路に使われる。

研究を効率よく推進するには既存の研究者だけでは人手不足となる。そのため特任教員に75百万円、安全監視員に25百万円が必要となる。

⑤ 年次計画

平成26年度：検出器のデザインを完了させる。光センサーの生産を開始する。キセノンの購入を進める。電子回路モジュールの入手を行う。ガス配管、安全対策用の容器等の購入を進める。

平成27年度：検出器のデザインを元に容器を製造する。光センサーの生産を完了し、設置作業を行う。キセノンを全量購入完了する。電子回路モジュールの入手を行う。ガスハンドリング系の建設を完了し、検出器とのつなぎこみを行う。運転を開始する準備を完了する。

平成28年度：運転を開始する。検出器の校正等を進める。初期データの解析を進め、それに基づく暗黒物質探索の証拠を得るか、制限を与える。アクション等の擬スカラー粒子、ベクトル粒子等の未知粒子の探索を進める。他にも得られたデータの中に期待と異なる振舞いをするものが無いかどうか探索を行う。

平成29年度：運転を継続する。新しい研究テーマとして、データに季節変動がないか、エネルギー依存性がないかを調査する。外的要因がないことを確認する。安定したデータ収集を継続する。前年に継続して暗黒物質の証拠、そのほか未知粒子の存在を示唆するデータがないかどうか調査する。並行して、XMASS-IIのデザインの詳細を行う。

平成30年度：運転を継続する。暗黒物質等の信号を継続して調査研究を進める。並行して、XMASS-IIの準備を行う。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本研究計画の主たる実行機関は東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構(以下、IPMU)と東京大学宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設(以下、神岡施設)である。IPMUの暗黒物質探索のグループは、岐阜県にあるIPMUの神岡分室で研究活動を推進する。現時点でも、IPMUの神岡分室では、神岡施設の維持管理する地下実験室において、暗黒物質探索の研究を推進している。本計画においてはIPMUと神岡施設は密接な連携関係を持ち、本研究を推進する中心実行組織をなす。中心実行組織は、検出器やガスハンドリング系の設計、建設から維持運転を行い、欠かすことのできない中心的役割を果たす。国内研究機関は、東海大学、岐阜大学、宮城教育大学、横浜国立大学、名古屋大学、神戸大学を含み、ラドンなどのバックグラウンド計測、崩壊系列同定によるバックグラウンドの評価、時間測定の研究など、それぞれ個性に応じて、実験研究の個々の部分を担当する。海外機関にあつては、韓国のKRISSとSejong大学が研究組織に含まれる。これら韓国グループは、特に、放射線ソースによる測定器の較正作業を担当する。

データ解析にあつても、実データの基礎的な取り扱いや較正のレベルにおいては、IPMUと神岡施設が中心的な役割を果たすが、データの解析は全研究者が関与するところとなる。

現時点では、組織は小さく、総数で40名弱のメンバーである。しかし、実際に建設が開始されれば、国内・海外のメンバーを増強し、さらに強力で研究を推進できる体制を形成する予定である。

⑦ 社会的価値

宇宙がどのように発生して、どのように発展してきたか、宇宙は何で出来ているかといった研究は、広く国民に興味を持たれている。現在の宇宙論や宇宙構造形成に関わる学問分野の中では、星の誕生から銀河の誕生まで、宇宙の構造形成の源は暗黒物質だとされている。つまり我々が知っている物質はあくまで暗黒物質に付随して凝縮や運動を行うものとして理解することが標準的な考え方になってきている。このような説明は研究者向けではない一般向けの読み物の中でも行われている。ただし、暗黒物質が何ものであるか、本当に素粒子であるかといったことが未解決なままに残されている。このような状況の下、暗黒物質がたしかに実験室でも捉えられる事が分かり、その正体の解明を進めることができれば、学問的意義のみならず、宇宙観や人間のあり方にまで大きな影響を与えられようと考えられる。

本計画においては、国民の理解を促進するためにも、積極的に新聞等のマスコミに対して情報を開示してゆく。計画を行う施設や設備の見学対応や、広報活動やホームページを通じた情報発信等は既に行っているが、より一層積極的に進めてゆきたい。

⑧ 本計画に関する連絡先

鈴木 洋一郎(東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構) suzuki@icrr.u-tokyo.ac.jp

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 計画の概要

理化学研究所「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し、低エネルギー (核子当り 5 MeV) から高エネルギー (核子当り 345 MeV) 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。本研究は核廃棄物消滅処理にも有用である。RI ビームの強度は現施設を大きく凌ぐものになる。

高度化の内容は以下のとおりである。すなわち、

- 1) 現在の RIBF 入射系のうち、2 段目のリングサイクロトロン fRC を超伝導リングサイクロトロンに置き換え、初段の荷電変換装置を省き、ビーム強度の増大を図る。
- 2) 空間電荷効果の影響を受けやすい RRC を超伝導線形加速器で置き換え、効率的なビーム輸送を図る。
- 3) これら 2 つの超伝導加速器をおさめる建物と関連インフラ、および低速ビームの実験室を建設する。
- 4) ビームの大強度化に伴い、既存の SRC の RF 系の増強及び BigRIPS の放射線遮蔽の強化を行う。

上記、1) および 2) により現在の 1 次ビーム強度の 10 倍増を見込んでいる。

② 学術的な意義

現在、理化学研究所・RIBF で研究が進められている原子番号 113 番近傍の超重元素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 (右図参照)。この「安定の島」にある原子核は自然界で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、ビーム発生系の高度化によって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ための道に繋がり、さらに核変換技術の基盤ともなる。

陽子と中性子で構成された原子核は、少数量子多体系としてユニークな研究対象であり、殻構造による魔法数の存在はもとより、量子的な表面が生み出す集団運動、核内での粒子相関・凝縮など豊かな現象が発現する。陽子あるいは中性子が異常に多いエキゾチック核の研究によって、殻進化現象、中性子ハロー・スキン核など、安定核ではみられない新しい現象が見出された。RIBF はこの研究を一挙に推進するために建設され、2007 年の本格始動後に新領域の開拓が進んだ結果、軽い中性子過剰核の集団性異常や新種のハロー核、 r -過程元素合成過程に関連する核の半減期異常など、新たな創発現象が次々と発見されている。

本計画は上記の RIBF での核構造研究に加え、エキゾチック核を利用した核反応学研究をも一気に押し進める。エキゾチック核特有の核反応現象の端緒をとらえ、「安定の島」生成に向けた日本発の研究を推進する計画である。核反応学研究のためには、RI ビーム強度の更なる増大とエネルギー範囲の拡大が必須であり、RIBF の高度化により世界に類のない施設を構築する。

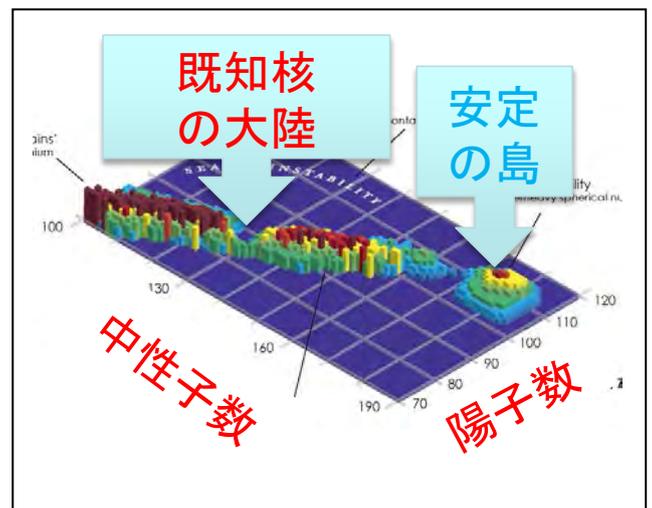
③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

2007 年より本格始動した RIBF は、2013 年現在、世界の他施設の 1000 倍以上の RI 生成能力を誇っている。欧米では RIBF を猛追する次期計画が進んでおり、現 RIBF 施設の能力を越えるものもある。本計画では、引き続き世界を先導するとともに、「RI 核反応学」という新たな研究分野を創出するため、強度では世界に匹敵し、エネルギー範囲では世界を遥かに凌駕する RI ビームの利用を可能にする。

RI ビームを供給できる施設は、In-flight 型と ISOL 型に大別される。欧州の CERN・ISOLDE やフランス・SPIRAL2 は ISOL 型であり、RI ビームの最大エネルギーは核子当たり 5MeV 程度、強度は RI の元素に大きく依存する。In-flight 型の施設では米国・FRIB や独・FAIR が挙げられ、核子当たり数 100MeV のビームが供給できるものの RI ビームの低エネルギー化を意識した装置群は考慮されていない。RIBF は In-flight 型の施設で、すべての元素の RI を供給でき、本計画の高度化によって低エネルギー RI ビームを強化することで、我が国の先導的な地位を強化、維持発展することが可能となる。

④ 所要経費

概要：上で述べたように、本計画では、既存の RIBF 加速器入射系に超伝導加速器 (超伝導リングサイクロトロンおよび超伝導線形加速器) を新設することによって一次ビームの強度の増強を図るものである。超伝導加速器をおさめる建物と、必要なインフラを新たに建設する。また、ビーム強度の増強に伴い、既存の RIBF 加速器の RF (高周波) 系と、BigRIPS の放射線遮蔽の増強が必要である。内訳を下記に示す。



内訳：

超伝導リングサイクロトロンおよび超伝導線形加速器 120 億円

建物および冷却・変電設備：45 億円

RIBF 加速器 RF 系増強：12 億円

BigRIPS 遮蔽増強：13 億円

総額（初期投資）：190 億

右図に現行施設と本計画の関連を示す。

なお、建設後の年間運営費は 40 億円を想定している。

⑤ 年次計画

平成 26 年度：詳細設計開始

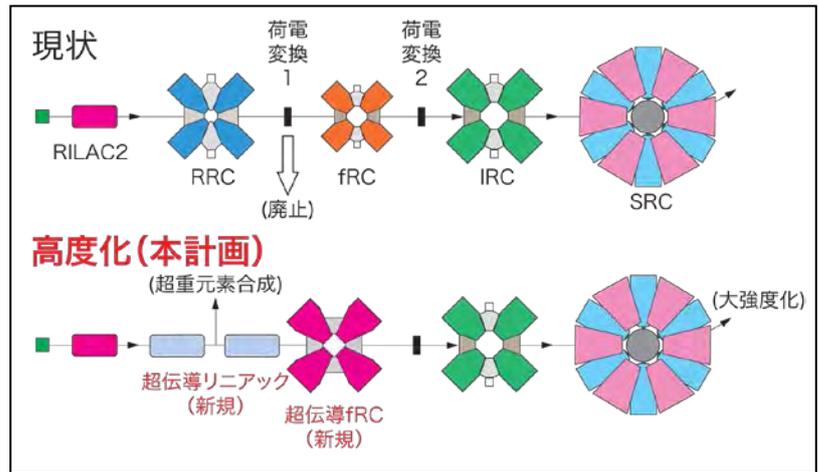
平成 27 年度：超伝導線形加速器および超伝導リングサイクロトロンの製作開始。

平成 28 年度：RF 系の製作開始。

平成 29 年度：建屋の製作開始。

平成 30 年度：BigRIPS 遮蔽の製作開始。据付け調整開始。

平成 31 年度：大強度 RI ビームの発生開始。



基幹技術の開発と超伝導加速器の設計は順調に進んでおり、年次計画通りに高度化を行う目途が立っている。欧米で建設中の次世代 RI ビーム施設の稼働時期（2019 年頃）とほぼ同時期に RIBF の高度化を完成させ、世界での先導性を確保しつつ、低エネルギー RI ビームを利用した新しいプログラムを展開することができる。

⑥ 主な実施機関と実行組織

実施機関：独立行政法人理化学研究所

本計画の基盤整備および研究立案の責任を担う。

国内外の関連研究機関・大学との連携体制を構築し、本計画の強力な推進を図る。

実行組織：計画責任者 理化学研究所・仁科加速器研究センター長（総括）

実行グループ

理化学研究所・仁科加速器研究センター・RIBF 研究部門

加速器基盤研究部：加速器設計、建設

RI ビーム物理学研究室、スピン・アイソスピン研究室、核分光研究室：核反応実験プランの立案、核変換プログラムの立案

供用促進・産業連携部：施設共用推進、ビーム利用計画立案

超重元素研究グループ：超重核合成

実験装置運転・維持管理室、実験施設開発室：RI 飛行分離装置（BigRIPS）強化、実験機器強化

応用研究開発室：核化学研究プランの立案

安全業務室：放射線シールド強化、放射線安全

現在の RIBF 研究施設の運営法を踏襲し、国際評価委員会、国際研究課題採択委員会などを通じて、研究計画の議論・立案を行い、国際的学術コミュニティと緊密な連携をもって計画を推進する。

⑦ 社会的価値

2011 年の東日本大震災で起こった福島原子力発電所の事故は、原子核物理学・原子核基礎科学研究を推進しているコミュニティの社会貢献を考慮する契機となった。本計画では、RI を利用した反応学を進め、核変換・核合成の基盤をさらに広げ、核廃棄物の短寿命化への基礎研究を進めることも大きな目的の一つである。長寿命核分裂片のみならず、マイナーアクチノイドに関する核反応データも取得し、効率よい核変換法の発明を目指す。これら基礎研究の社会的、経済的、産業的効果は非常に大きい。

⑧ 本計画に関する連絡先

延與 秀人（理化学研究所・仁科加速器研究センター） enyo@riken.jp

大型先端検出器による核子崩壊・ニュートリノ振動実験

① 計画の概要

本研究計画は、J-PARC からの大強度・高品質ニュートリノビームを用い、神岡にスーパーカミオカンデに代わる 100 万トン級超大型水チェレンコフ検出器ハイパーカミオカンデを建設し、ニュートリノにおける CP 対称性（粒子・反粒子対称性）の破れを探索する。さらに、ハイパーカミオカンデを活用し、素粒子の大統一理論に迫る陽子崩壊の発見を目指す。また、ニュートリノ反応の研究、大気ニュートリノ観測、宇宙ニュートリノ観測、ニュートリノ天文学を総合的に展開する。素粒子物理学の新たな展開と、原子核物理学、宇宙物理学、天文学に新たな知見をもたらすことを目指す。

ハイパーカミオカンデは岐阜県飛騨市神岡町の地下に 100 万トン級の空洞を掘削して約 10 万本の光センサーを内部に設置した水槽を建設し、地下水から作られる超純水を満たすことにより、

ニュートリノ反応や核子崩壊から生じる荷電粒子のチェレンコフ光イメージを検出する。J-PARC では加速器・ビームラインのオーバー MW に向けた改良を行い、安定して長期に 1MW 程度の強度で運転する。

② 学術的な意義

J-PARC で進行中の T2K ニュートリノ振動実験で電子ニュートリノへの振動が発見されたため、J-PARC 大強度高品質ニュートリノビームとハイパーカミオカンデを組み合わせれば、世界に先駆けてニュートリノの CP 対称性の破れの発見が可能となり、基礎物理学の金字塔となる。また大統計大気ニュートリノもあわせて、CP 対称性、質量階層性、混合角等三世代ニュートリノの質量・混合の総合研究を行い、世界を主導する次世代ニュートリノ実験を実現する。クォークと大きく異なるニュートリノの性質を明らかにし、未解明の素粒子混合や質量生成機構の理解につなげたい。さらにニュートリノに満ちた宇宙の進化論に対する理解を深める。

核子（陽子と中性子）崩壊の探索は、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 の 33 乗から 34 乗年以上であることがわかってきた。この結果は、もっとも単純な理論予想の範囲に突入したことを意味し、いつ陽子崩壊現象を発見してもおかしくないところまで来たことを示す。ハイパーカミオカンデの実現により、さらなる長寿命領域が探索可能となり、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 の 35 乗年以上の感度に至る。この探索により「素粒子と力の大統一」の証拠の発見を目指し、また大統一理論仮説の検証を行う。

超新星爆発に際しては、例えば我々の銀河中心での爆発においては約 20 万個ものニュートリノ事象数の観測が期待される。これにより光ではとらえることができない中心核爆発の時々刻々の変化を捉えることができ、中性子星／ブラックホール誕生の瞬間を捉えることができる。また、多数の超新星背景ニュートリノ（宇宙初めからの超新星爆発ニュートリノ）が年間 50 事象程度観測されることが期待され、過去の超新星爆発の歴史の理解を目指す。

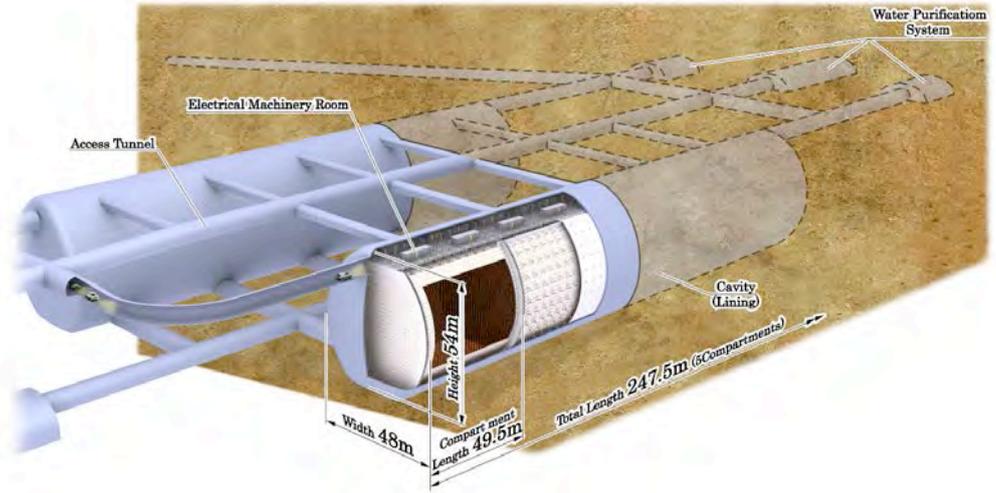


図 1、ハイパーカミオカンデ概念図

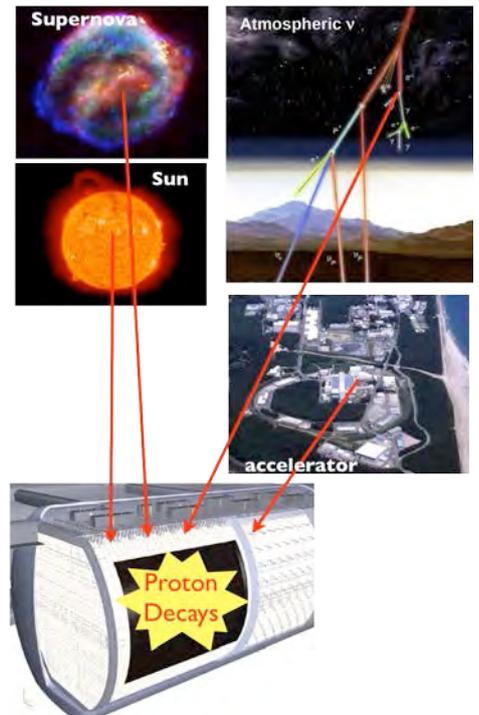


図 2、加速器 (J-PARC) ・大気・超新星爆発・太陽ニュートリノや陽子崩壊など豊富な観測対象を持つ。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

日本、米国、ヨーロッパ、三極でCP対称性の破れの測定実験の実現可能性が追求されている。日本は、“宇宙の物質優勢の謎”に直結するCPの研究を主題に進めており、米国とヨーロッパではその国土の大きさを利用した超長基線(1,000km以上)と液体アルゴン検出器を用いたニュートリノ実験からの、ニュートリノ質量構造の決定を主軸に進めている。ニュートリノ研究の発展には両方のアプローチが必要で、相互に情報を共有し、協力して研究計画を進めている。我が国は過去30年に亘り水チェレンコフ検出器を用いて世界のニュートリノ研究を主導してきており、またJ-PARC加速器施設を保有するため、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。また、液体アルゴン測定器に関しては、欧米での実験計画とも協力して開発研究を続ける。

④ 所要経費

ハイパーカミオカンデ

建設費 800億円

運転経費等 30億円/年、15年間

J-PARC

運転経費等 40億円/年、15年間

ただし、日本原子力機構分の運転経費(前段加速器)は計上していない

前置検出器

建設費 約30億円

⑤ 年次計画

平成27～50年度

(具体的な計画)

平成27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28年度:検出器の建設(所要7年)を開始する。

平成35年度:実験を開始する。

平成35～50年度:ニュートリノCP測定・陽子崩壊探索を行い主要な結果をまとめる。

⑥ 主な実施機関と実行組織

ハイパーカミオカンデの設計と建設を東京大学宇宙線研究所が中心となり推進する。J-PARC加速器の大強度運転、ニュートリノビーム生成、前置ニュートリノ測定器の建設は高エネルギー加速器研究機構が中心となり推進する。これに加え、次の国内の研究機関が本研究計画に参加する。東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構、東京大学、京都大学、東北大学、名古屋大学、神戸大学、大阪市立大学、東京工業大学、宮城教育大学、岡山大学など。また海外(カナダ、スペイン、スイス、ロシア、英国、米国等)からの参加も予定されている。

⑦ 社会的価値

日本におけるニュートリノ研究は、小柴昌俊東京大学特別栄誉教授のノーベル賞受賞にも象徴されるように、超新星爆発ニュートリノ観測、ニュートリノ質量の発見、太陽ニュートリノ問題の解決、地球反ニュートリノの発見、3世代間ニュートリノ混合の確立、と世界第一級の成果をあげてきており、国民による認知度は高い。本研究は未だ謎にまつまれた素粒子の大統一理論の解明や、宇宙になぜ反物質がないのかという謎に迫ることを目的にしており、人類の知的好奇心に訴える問題に挑戦する。世界最大のニュートリノ検出器や大強度加速器の開発には、世界最先端の技術が必要とする。高感度光センサーや大規模地下空洞の開発・建設等、経済・産業界への波及も期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

塩澤 真人(東京大学・宇宙線研究所) masato@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp

高エネルギー重イオン衝突実験によるクォーク・グルーオン・プラズマ相の解明

① 計画の概要

我々を取り巻くハドロン物質は、数兆度という超高温状態においては、ハドロンの内部にあるクォークが閉じ込めから解放され、クォークとグルーオンからなる QGP (クォーク・グルーオン・プラズマ) に相転移する。この QGP は宇宙開闢後の数マイクロ秒後の宇宙の姿である。この QGP を実験的に生成する唯一の手法が高エネルギー重イオン衝突である。本研究は、米国 RHIC 加速器 (BNL 研究所) や欧州 LHC 加速器 (CERN 研究所) での高エネルギー重イオン衝突実験を国際協力の下で推進し、QGP の物性研究を展開し、超高温下や極初期宇宙での物質の存在形態やその性質に関する新たな知見の獲得を目指す。

ここ 10 年の RHIC や LHC での実験における、多角的かつ系統的な測定により、本研究分野は飛躍的な進展を遂げた。すなわち、QGP の生成は確認され、生成された QGP は粘性が小さい流体の様相を呈することが判明したのである。今後は QGP の物性科学 (QGP 物性の温度依存性、状態方程式、QGP の生成機構やハドロン物質の相構造) を進めることが重要である。これらの研究推進には、RHIC-LHC に跨がる広範な衝突エネルギーの下で、現状では測定が困難なジェットや重クォーク、光子、レプトンの高精度測定が必須である。本研究では、日本グループが参与してきた RHIC-PHENIX 実験と LHC-ALICE 実験において、相補的かつ高精度で良質な測定を進めるために、主要測定装置の高度化や新規建設 (重クォークやレプトン測定用シリコン飛跡検出器や前シャワー検出器、高レート動作の GEM 検出器を用いたタイムプロジェクションチェンバー (GEM-TPC) 検出器やカロリメータ検出器) を進め、グリッド計算機システムの強化を行い、国内外に研究拠点を設置することで、日本グループの先導性を維持した QGP の物性研究を展開する。

② 学術的な意義

RHIC や LHC での実験から、生成された QGP が粘性の小さな流体の様相を呈していたことが分かったものの、その定量性は、衝突初期条件 (衝突前の核子内クォーク・グルーオン分布やその揺らぎ) や衝突直後から QGP 生成に至る動的過程が不確定なことから、未だ確定的ではない。また、QGP の動的時空発展中において、物性量の温度依存性を直接的に導き出すことは、今の実験装置では難しい。本研究では、既存の実験では高精度で測定することのできない、(1) 衝突初期に生成されるジェットや重クォーク (→ 初期状態、熱化機構、輸送特性、比粘性)、(2) QGP の時空発展に透過的な光子やレプトン (→ 時空発展、物性の温度依存性、状態方程式) を系統的かつ高精度に測定することで、RHIC-LHC に跨がる広範なエネルギー領域で QGP 物性やハドロン物質の相構造を明らかにする。

高エネルギー重イオン衝突は、QGP という非閉じ込め場の存在が確立しており、ハドロン物理学の重要な課題である「カイラル対称性の自発的破れ」や「クォークの閉じ込め」機構の解明に、J-PARC で進められている研究と相補的な意義を持つ。また、重イオン衝突によるハドロン物質の相構造研究は中性子星の内部構造の解明に重要である。高エネルギー重イオン衝突は衝突直後に、高磁場中性子星を大きく凌駕する世界最強の電磁場を生成する。高強度電磁場による高エネルギー宇宙線生成・加速機構に重要な知見を与える。衝突直後の非線形・非平衡カラー場の振舞を理解することは、超高強度レーザー実験において多光子が関与する電磁場の非線形的挙動の理解に繋がる。

QGP の流体的な性質は QGP が非常に強く結合した系であることを示す。強結合系という横糸で、半導体中の高密度電子ホール系や超低温フェルミガス系と AdS/CFT 対応理論を含んだ、原子核物理と物性物理を融合した新領域研究に繋がる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

高エネルギー重イオン衝突による QGP の物性研究は、原子核物理における最も重要な研究課題の一つである。

RHIC や LHC での実験に参加する多くの国際研究機関が、これまでの成果を受けて、QGP 物性の精密研究を最優先課題と考えている。RHIC-PHENIX, LHC-ALICE 両実験とも、精密研究を可能にする実験装置の高度化や新規建設を進め、2018 年頃に新たな測定器群に基づく実験開始を計画している。

RHIC-PHENIX 実験や LHC-ALICE 実験では、測定器建設から物理解析にいたるまで日本グループの寄与は非常に大きく、新たな実験計画にも大きな貢献が期待されている。日本グループは、これまでの経験を下に、主要な測定器建設 (ALICE 実験: GEM-TPC 検出器、ジェット測定量カロリメータ、PHENIX 実験: シリコン飛跡検出器、前シャワー検出器) やグリッド計算機システムの強化を担う。国内外に研究拠点センターを設置し、研究遂行を主導的に進める。なお、両国際計画と相補的な計画として、バリオンリッチな高密度核物質研究のための J-PARC 加速器施設における重イオン加速も検討中である。

④ 所要経費

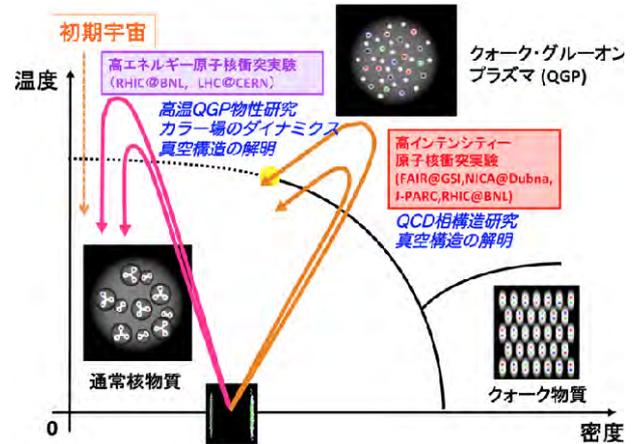


図 1 ハドロン物質の相図と QGP

本研究はH26-H35年の10年間に亘って進める。総額は30億円程度であり、以下の3種に分類される。

1つはRHIC-PHENIX実験/LHC-ALICE実験の遂行・運営費、研究拠点設置・運営費である。国内における研究拠点、CERN研究所における海外研究センター設置と運営費用、研究者の雇用、海外研究における旅費・滞在費として、1億円/年を計画する。

2つ目はRHIC-PHENIX実験の新測定器建設費である。日本グループは、シリコン飛跡検出器や前シャワー検出器の建設を主導し、その測定器の研究開発や建設費用に10億円(シリコン飛跡検出器:5億円、電磁前シャワー検出器:5億円)を計画する。

3つ目はLHC-ALICE実験高度化にむけた、高レート耐性を持つ国産GEM検出器を使ったTPC検出器高度化やジェット測定高精度化にむけたカロリメータ検出器の強化、グリッド計算機システムの増強であり、測定器の研究開発や建設に10億円(GEM-TPC測定器:6億円、カロリメータ:2億円、グリッド計算機:2億円)を計画する。

⑤ 年次計画

研究遂行期間は、H26年(2014)からH35年(2023)の10年間である。

RHIC-PHENIX実験は、今後5年程度は既存の測定器システムで、ハドロン物質の相構造研究を中心に広範エネルギーでの重イオン衝突を行い、5年後程度を目処に、新しい測定器システムを使った高エネルギー重イオン衝突を進め、ジェットや重クォークの新高精度測定を通じたQGPの物性研究を進める。毎年のRHIC-PHENIX実験遂行費と共に、今後5年程度で、シリコン飛跡検出器や前シャワー検出器の研究開発(3年)や建設(2年)を進め、2018年頃から新しい測定器システムでの実験を遂行する。

LHC-ALICE実験は、現在の100倍の衝突レート下でのジェット・重クォーク・光子・レプトンの高精度測定を目指す実験高度化計画がLHC評価委員会に承認された。日本グループは、国産GEMを使ったTPC検出器の研究開発(2年)と建設(3年)を進める。また、2020年頃に建設を目指すカロリメータの研究開発(4年)と建設(2年)も進める。2018年以降の高統計データ処理に向けて、2018年までに計算機システム強化を遂行する。2018年以降に、これらの測定器高度化を通じた最高エネルギーでのQGPの物性研究を推進する。

これらと並行して、RHIC-PHENIX実験やLHC-ALICE実験を通じたQGP物性の包括研究を目指した国内研究拠点の形成やCERN研究所などに当センターの海外研究拠点を設置し、最前線基地として関連研究を推進する。

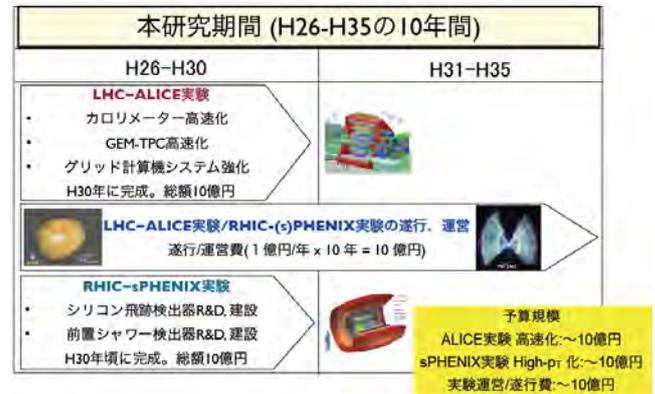


図2 年次計画

⑥ 主な実施機関と実行組織

大型国際共同実験(RHIC-PHENIX/LHC-ALICE実験)を長期かつ主導的に進めるにあたっては、研究基盤となる組織の形成が必要であるが、現段階では各大学、研究機関の連携にとどまり、国内拠点の形成にまでは至っていない。そこで本計画では、高エネルギー重イオン衝突によるQGP物性研究を遂行するための国内研究母体(センター)の設立を要求する。筑波大学数理物質系(三明康郎 理事・副学長)に、同大学が現在行っている素粒子・原子核・宇宙分野が連携した「宇宙史プログラム」関連の研究センターを立ち上げ、本研究母体とする。この取り組みと並行して、全国共同利用研である大阪大学核物理研究センター(RCNP)、理化学研究所等を研究母体とすることも考えていく。またCERN研究所などに当センターの海外研究拠点を設置し、最前線基地として関連研究を推進する。本研究は、筑波大学を中心に、筑波大学/東京大学/広島大学を遂行機関、理化学研究所や大阪大学核物理研究センター(RCNP)を協力機関として遂行する。各実施機関の役割は以下の通りである。

- ・筑波大学(数理物質系):研究総括、研究拠点及び研究前線基地の設置と運営、RHIC-PHENIX実験における前置シャワー検出器建設、LHC-ALICE実験におけるカロリメータ検出器の高度化
- ・東京大学(理学系研究科):LHC-ALICE実験における国産GEM検出器の開発とTPC検出器の高度化
- ・広島大学(理学研究科):RHIC-PHENIX実験における前置シャワー検出器建設、LHC-ALICE実験におけるカロリメータ検出器の高度化、LHC-ALICE実験用グリッド計算機システムの高度化
- ・理化学研究所(仁科加速器センター):RHIC-PHENIX実験におけるシリコン飛跡検出器の建設
- ・大阪大学核物理研究センター(RCNP):国内データ解析拠点、測定器共同開発

⑦ 社会的価値

日本グループが大きく貢献してきたRHIC-PHENIX実験では、高温QGPの生成とその性質に関する学術成果を、記者発表(マスメディア、新聞、科学雑誌)を通じて国民へ発信してきた。ビッグバンから始まる宇宙開闢後の姿と深く関わりのある本研究は、大いに国民の感心を得ている学術分野であり、その知的価値は高い。高温高密度という極限状況下で顕在するクォーク・グルーオン・プラズマは、固体・液体・気体・プラズマに次ぐ新しい物質状態として、私たちの物質観に重要な知的価値を与える。実験用測定器の開発は、放射線計測技術の開発と関わりが深い。新技術を基にした測定器開発は、汎用的・特殊用途的な放射線計測技術の発展に繋がる。本研究における測定器開発を通じて、例えば、カロリメータ読出に使用される光測定用ピクセル検出器やシリコンピクセル検出器、GEM検出器の開発を通じて、一般や医学分野での各種放射線測定、放射線治療、非破壊検査等の技術促進に繋がる。また国際共同実験や海外拠点における研究活動を通じて、国際的に活躍できる博士、若手研究者を育成する点も重要である。

⑧ 本計画に関する連絡先

三明 康郎(筑波大学 理事・副学長(研究担当)) miake.yasuo.ge@u.tsukuba.ac.jp

光子ビームによるクォーク核物理研究計画

① 計画の概要

光子ビームによるクォーク核物理研究を推進し、量子色力学 (QCD) 真空とハドロン内のクォーク相関を究明する。本計画は、共同利用・共同研究拠点である東北大学電子光理学研究センターELPH (電子光理学研究拠点) と大阪大学核物理研究センターRCNP (サブアトム科学研究拠点) との拠点間連携研究計画である。その特徴は、両拠点の持ち味を有機的に結合することによって初めて切り拓かれる研究を独創的かつ包括的に推進すると共に、そのための研究手段を飛躍的に改善し開拓するものである。

RCNP が SPring-8 で共同利用に供するレーザー電子光 (LEPS/LEPS2) ビームは 100%偏極の世界最高性能を誇るレーザー電子光であり、このビームラインに設置した 4 π 電磁カロリメータ BGOegg は GeV 領域で世界最高エネルギー分解能を持つ ELPH の基幹検出器である。BGOegg は、拠点間連携協力により震災復興期間中に既に SPring-8/LEPS2 に移設し稼働し始めており、本研究前半の主要検出器として活用する。クォーク核物理の研究においては、質量の異なるフレーバーを研究対象とするために数百 MeV から数 GeV の広い範囲のエネルギー領域で包括的な研究を進めることが必要である。このために、次のような入射光子ビームの改良・開拓を行う。

1) 両拠点がそれぞれ共同利用に供する光子ビームのエネルギーギャップを埋め、500MeV から 3GeV までの連続エネルギーの光子ビームを共同運用する。

[現在の光子ビームエネルギー： 0.5-1.1GeV (ELPH)、1.5-2.9GeV (LEPS/LEPS2)]

2) 世界初の 8GeV 単色光子ビームを開拓する。

本研究の基盤を支える加速器の研究においては、電子ビームの高度化を図り超短パルス電子ビームを開拓し、これを用いて単色光子ビームの実現を目指す。

② 学術的な意義

クォーク核物理研究は、ハドロンを研究対象とする非摂動領域 QCD 現象の研究であり、難解で時間を要す。しかし、物質の質量の 99.9%はハドロンが担っており、その 98%は QCD におけるカイラル対称性の自発的破れによって創成されると考えられており、学術的観点からはこの複雑な階層の研究は避けて通れない。実際、格子 QCD による核力の導出など、理論面での画期的進展と並行して、エキゾチックハドロン探索に見られるように実験的研究が精力的に進められている。このような状況の中で、本計画では、二つの特徴ある拠点が連携することによって得られる利点を活かしたクォーク核物理研究を推進する。

ハドロン構造の研究は、究極的にはクォークによって物質がどのように形成されるかを解明することを目的とする。現在の知見によれば、陽子ですら単純な 3 クォーク状態ではなく、5 クォーク等の高次の成分を含んでいる。例えば 2 クォーク (ダイクォーク) があたかも一つの自由度を形成して、2 つのダイクォークと 1 つの反クォークで 5 クォーク状態が形成される描像が提案されている。このような観点から、少なくとも 5 つのクォークで構成されるペンタクォークバリオン等のエキゾチックハドロンの存在形態を突き止めることは、ハドロン構造研究に突破口を切り拓くことになる。

一方、QCD 真空の研究は、物質がどのように創成されるかに関わる研究である。一般に、ハドロンは非摂動的に決まる QCD 真空の素励起 (粒子は量子場の励起状態) であり、逆に、ハドロンの消滅演算子によって QCD 真空を定義する。即ち、ハドロン構造の研究と QCD 真空の研究は相互規定的であり、密接に関係している。

これらの研究に実績がある二つの拠点が連携することによって、クォーク核物理研究を飛躍的に推進し、世界をリードする包括的な研究拠点を形成することができる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

本研究分野においては、まず国内では、稼働中の J-PARC ハドロン実験施設における研究がある。J-PARC ではハドロンビームが用いられ、主にチャームクォークを含むハドロンの構造の研究が進められると期待される。本研究計画では、研究対象のフレーバーは u, d, s クォークであり、かつ光子ビームとハドロンビームによる研究は互いに相補的である。

光子ビームを用いた研究は、米国のジェファーソン研究所 (JLab) で行われている。特に現在進行中のアップグレード計画が完了すると、GeV エネルギー領域の偏光した光子ビームが生成できるようになるが、ダイヤモンド結晶を用いて偏光させるため偏光度は 40%程度である。偏光方向の切り替えの容易さの点から見ても本計画の方が圧倒的に優れている。また X 線の逆コンプトン散乱による 8GeV 単色光子ビームが開発されれば、他の追随を全く許さない。

④ 所要経費

本研究計画においては、両拠点が運営する 4 つの光子ビームラインを共同運用して進められる。従って、研究のインフラストラクチャーは整っている。必要な研究経費の主なもの LEPS2 検出器と 8GeV 単色光子ビームの開発費である。LEPS2 検出器は、米国ブルックヘブン国立研究所より移設・設置した直径 5m、総重量 400 トンの 1 Tesla ソレノイド磁石内に設置する電磁カロリメータ、及び前方荷電粒子スペクトロメータである。研究の前半で使用される BGOegg は、LEPS2 検出器が完成した後は ELPH で使用する。

光子ビームによるクォーク核物理研究推進

38 億円

(内訳)

・前方荷電粒子スペクトロメータ建設	8億円
・電磁カロリメータ建設	8億円
・電子ビーム高度化・単色光子ビーム開発	16億円
・4ビームライン運転・維持・改良経費	4億円
・運営費	2億円

⑤ 年次計画

本研究計画は平成26年度から6年間の計画として立案する。各種測定器建設は最初の2年までに終え、残りの4年で最大の成果をあげる。平成25年から既存の検出器を用いて準備研究を開始する。ELPHとSPring-8 (LEPS/LEPS2)の2カ所で連携して研究を推進する。

○ 平成25年度

・LEPS2:新たに建設したLEPS2ビームラインの調整を行うと共に電子光物理学研究センターから移設したBGOeggの調整を行う。下半期からはテストデータ収集を始める。BGOegg内側の荷電粒子検出器を装着する。また、LEPS2前方荷電粒子スペクトロメータの設計を行う。並行して隣のビームラインLEPSで Θ^+ に関するデータを蓄積する。

・ELPH:震災後初めて1.3 GeV電子ビームを加速・蓄積する。新たなビーム軸に合わせてGeV電子光ビームラインを復活させ、電磁カロリメータFORESTを稼働する。

○ 平成26年度

・LEPS2: BGOeggによるデータ収集を開始する。前方荷電粒子スペクトロメータの建設に着手する。大型ソレノイド内LEPS2電磁カロリメータ開発に着手する。

・LEPS: LEPSビームの有効エネルギーを1.0-2.9 GeVに改良する。

・ELPH: ストレンジネスを露わに含まないペンタクォークバリオンN5(1670)のスピンパリティ決定に向け、FORESTによるデータ収集を再開する。

・電子ビーム高度化: 単色光子ビーム開発に向け、フェムト秒電子バンチ実現を目指す。また、X-FELOの研究を進める。

○ 平成27年度以降

平成27年度までに各種検出器の建設を終了し、28年度から本格的データ収集に入る。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東北大学電子光物理学研究センター (電子光物理学研究拠点)

大阪大学核物理研究センター (サブアトムック科学研究拠点)

・電子ビームの高度化・高機能化、単色光子ビーム開発

電子光物理学研究センター加速器ビーム物理研究部、高輝度光科学研究センター加速器部門

・レーザー電子光ビームの高度化・高機能化

電子光物理学研究センター核物理研究部、高輝度光科学研究センター加速器部門

・前方荷電粒子スペクトロメータ建設

核物理研究センター核物理研究部、京都大学理学研究科物理学専攻

・LEPS2電磁カロリメータ開発

電子光物理学研究センター核物理研究部、核物理研究センター核物理研究部

・4ビームライン運転・維持・改良

電子光物理学研究センター核物理研究部、核物理研究センター核物理研究部、核物理研究センター加速器研究部

・データ収集システムの構築

電子光物理学研究センター核物理研究部、台湾中央研究院物理研究所、岐阜大学教育学部

⑦ 社会的価値

物質とは何か真空とは何かを探究する学術的研究は、人類共通の疑問に対する答えを求めるもので、人類の知の創造の一翼を担う。この観点からすれば、先ず第一にこのような学術的研究自体が社会的・文化的意義を持つ。更に、既に述べたように本研究のような実験によって未踏領域を切り拓く研究では、常に最先端の実験技術や測定器材料の開拓が必要であり、これらは関連企業を通して社会との連携の下で進められることが多い。そして、そこで開発された新技術はいつの日か人類の日常生活に応用される。例えば、今回の計画では、複数のビームラインで様々な実験セットアップを変えながら実験を行うために、実験条件や規模の変化に柔軟に対応できる使いやすい回路システムを構築する。このような技術は、今や豊かで安全な社会の発展のために欠くことができない衛星の設計に応用され始めている。

本研究は国際共同研究である。それは、異なる習慣や宗教を乗り越えて行われる共同作業であり、社会に対しては国際性豊かな人材育成に資するものである。そして、我が国がこのような場を提供していることは、国際社会における信頼と尊敬を受けることに繋がる。

⑧ 本計画に関する連絡先

清水 肇 (東北大学・電子光物理学研究センター) hshimizu@lns.tohoku.ac.jp

極低放射能環境でのニュートリノ研究

① 計画の概要

「宇宙に反物質が無く物質だけでできている謎」、「ニュートリノが軽い質量を持つ謎」を解明するために、極低放射能環境を実現している液体シンチレータ反ニュートリノ観測装置カムランドのエネルギー分解能を大幅に向上し、1000kgの二重β崩壊核Xe136を導入して、ニュートリノ質量の逆階層構造をカバーするマヨラナ有効質量20meVの感度でのニュートリノを伴わない二重β崩壊（以下 $0\nu 2\beta$ ）の探索を行う。さらに、原子炉ニュートリノが少ない特別な状況を生かし、世界最高精度での地球ニュートリノ観測を行い、地球内部での放射性熱生成を直接測定することで、地球の形成・ダイナミクスの理解を深めるニュートリノ地球科学を推進する。また、同時にカムランド内部へ装置を導入するための導入口を改良することで、大型の装置の導入を可能にし、強力な反ニュートリノ源を使った第四世代ニュートリノ探索や高純度NaI結晶を使った暗黒物質の季節変動検証など、極低バックグラウンド環境を必要とする極低放射能科学を推進する。

$0\nu 2\beta$ 探索の高感度化で必須となるエネルギー分解能の向上には、高量子効率の光センサーを使用して集光ミラーを取り付け、大発光量の液体シンチレータに置換する。これらにより、エネルギー分解能はカムランドと比べて1.7~2倍程度向上する。同時に液体シンチレータを内包するバルーンをより放射性不純物の少ないものに置換して、さらなる極低放射能化を図る。また、現在直径50cmしかない上部導入口を直径2mの大口徑に拡大し、さらに5t程度までの重量物をつり下げる機構を設置することで、多様な極低放射能科学研究に対応できるよう汎用化を図る。

② 学術的な意義

$0\nu 2\beta$ を発見した場合、ニュートリノと反ニュートリノが同一であるという物質粒子の中でニュートリノだけが持ちうるマヨラナ性の証明となる。ニュートリノのマヨラナ性はシーソー機構による「ニュートリノが軽い質量を持つ謎」の究明につながり、また、レプトジェネシス理論による「宇宙に反物質が無く物質だけでできている謎」の説明にもつながる。さらに、 $0\nu 2\beta$ の反応率からニュートリノのマヨラナ有効質量が求められ、これまで質量の2乗差しか測定されていないニュートリノの質量の大きさを解明できる。ニュートリノのマヨラナ性と質量の大きさを解明は、CP位相の測定と併せてニュートリノ研究の最重要課題である。

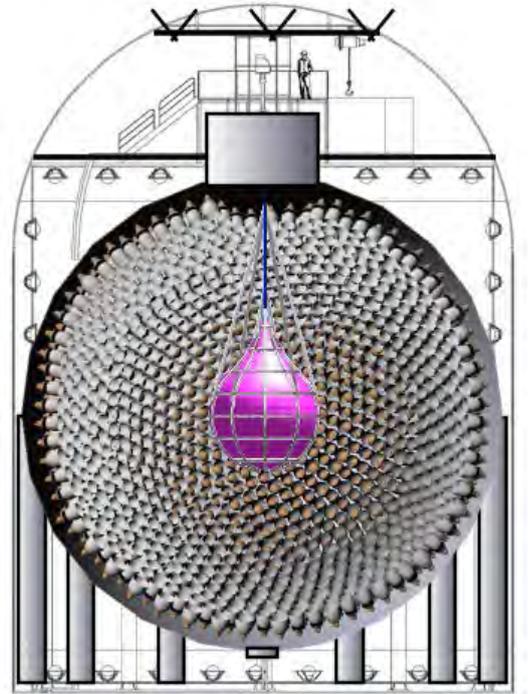
もし $0\nu 2\beta$ が未発見となっても、学術的な意義が高くなければならない。ニュートリノ質量の逆階層構造までの感度を持つ世界最高感度を実現することで、宇宙観測やニュートリノ振動研究など比較的重いニュートリノ質量を示唆するものがある中、これらとの矛盾が明確になれば、ニュートリノはディラック粒子であることの証明となる。あるいは、多くの理論が期待するマヨラナ性を信用すれば、ニュートリノ質量は標準階層構造を持つと結論づけることが可能となる。また、世界をリードする地球ニュートリノ観測を並行して推進することができるので、バックグラウンドとなる原子炉ニュートリノが大幅に減少している中、高精度での放射性地熱測定により、地球始原隕石の特定やマンテル対流が一層か多層かといった地球科学における永きにわたる議論に決着をつける可能性がある。さらには、宇宙観測や多くのニュートリノ実験が示唆している第4世代のニュートリノの存在を迅速かつ高感度で検証することや、過去のNaI結晶を使った暗黒物質探索実験(DAMA/LIBRA)が強い季節変動を示していることを極低放射能環境下で検証することも計画しており、幅広い学術的な成果が期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

$0\nu 2\beta$ 探索は、その重要性から熾烈な競争状態にあり、今後はGERDA、CUORE、SuperNEMOといった $0\nu 2\beta$ 探索に特化した実験が次々に参入する。本計画と同じ核種Xe136を使うEXO-200とはシーソーゲームを繰り広げたが、現在はカムランド禅が世界最高感度を達成している。競合がバックグラウンドの低減、大型化に苦闘する中、本計画は多目的・極低放射能・高いスケールビリティが特徴であり、 $0\nu 2\beta$ 発見に最も近いといえる。本計画が $0\nu 2\beta$ を発見すれば、他実験は必要規模を特定でき、 $0\nu 2\beta$ に特化しても成果を保証できる。他核種での測定や角分布の測定は、理論誤差低減や背景物理特定に有効であり、発見から詳細調査への一連の流れとなる。本計画は、世界最高感度の実験を発展させ $0\nu 2\beta$ 発見一番乗りを目指す。

また、カムランドが開拓した地球ニュートリノ観測は新たな実験の参入もあるが、原子炉の稼働率が低い中、本計画が最も質の高いデータを与える。さらに、複数の地点での測定はより詳細な地球内部の情報をもたらすと期待される。第4世代ニュートリノ探索でも本計画は迅速さ・感度の点で最も競争力が高い。

KamLAND2-Zen



④ 所要経費

○高エネルギー分解能化

大光量液体シンチレータ 3000 立方メートル 7 億円

高量子効率光センサー 6 億円

集光ミラー 1 億円

○汎用化

導入口拡張+クレーン設置 1 億円

○極低放射能環境の増強

低放射能バルーン 1 億円

デッドタイムフリー電子回路 2 億円

革新技術開発（発光バルーン、高感度撮像、高圧キセノン導入） 1 億円

○二重 β 崩壊核の増量

Xe136 追加 400kg 8 億円

合計 27 億円

⑤ 年次計画

初年度（平成 26 年度）KamLAND 改造および施設整備

(a)カムランド禅用ミニバルーンの撤去、(b)液体シンチレータ・バルーンの撤去、(c)光センサー等の取り外し、(d)高量子効率光センサー・集光ミラー取り付け、(e)低放射能バルーン導入、(f)大光量液体シンチレータ導入、(g)デッドタイムフリー電子回路調達・導入

第二年度（平成 27 年度）観測開始

(a)高分解能でのニュートリノデータ取得開始、(b)反ニュートリノ源導入・第 4 世代ニュートリノ探索、(c)低放射能ミニバルーン製作、(d)キセノン調達

第三年度

(a)反ニュートリノ源撤去、(b)キセノン含有液体シンチレータ導入、(c) $0\nu 2\beta$ 探索開始、(d)地球ニュートリノ観測開始、(e)革新技術開発

第四年度以降（5 年間）

(a)20meV の感度での $0\nu 2\beta$ 探索、(b)地球ニュートリノ観測の継続、(c)革新技術開発

・ $0\nu 2\beta$ 探索は、20meV の感度に達するには 5 年の観測期間が必要である。

・反ニュートリノ源を用いた第 4 世代ニュートリノ探索はニュートリノ源の寿命が短いため観測期間は 1 年である。

・暗黒物質の季節変動の検証には 2 年の観測期間が必要である。

これらを順次実施するが、反ニュートリノ源は設置場所によっては他と競合しないので並行する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東北大学ニュートリノ科学研究センターを中心として、国内からは、東京大学 Kavli 数物連携宇宙研究機構、大阪大学大学院理学研究科、徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部、国外からは、ローレンスバークレー国立研究所、カリフォルニア大学バークレー校、ワシントン大学、コロラド州立大学、アラバマ大学、カリフォルニア大学ロサンゼルス校、テネシー大学、ハワイ大学、TUNL、デューク大学、ノースカロライナ中央大学、Nikhef、CEA Saclay が参加して、KamLAND（地球ニュートリノ観測ほか）、KamLAND-Zen（ $0\nu 2\beta$ 探索）、Ce-LAND（第 4 世代ニュートリノ探索）、KamLAND-PICO（暗黒物質季節変動検証）の国際共同研究グループの連携で運営する。

⑦ 社会的価値

「無から生じた宇宙になぜ我々は存在できるのか？」といった基本的な謎への挑戦は、国民の知的好奇心をかき立て、理科離れが進む現状に歯止めをかける一助になると期待する。また、ニュートリノ研究において日本が世界をリードしている状況を堅持することは、最先端で活躍できる環境として教育・人材育成への高い効果が期待できる。本研究は、宇宙・素粒子の大問題としてよく取り上げられる「宇宙物質優勢」、「暗黒物質」、「暗黒エネルギー」、「軽いニュートリノ質量」のうち 3 つに関連しており、知的価値は非常に高いといえる。また、本計画でも推進する反ニュートリノ測定は核不拡散のための非破壊検査へ応用が見込まれているほか、本計画の特徴でもある極低放射能環境での研究は、稀な現象の研究に留まらず、高感度ホールボディカウンターへの利用や、極低放射能化のための技術を除染に応用することなども考えられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

井上 邦雄（東北大学ニュートリノ科学研究センター） inoue@awa.tohoku.ac.jp



小型科学衛星 DIOS: Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor

① 計画の概要

宇宙の構成要素はダークエネルギー、ダークマター、バリオン（通常物質）の3種類に分けられ、特にバリオンは星や銀河の形成や、宇宙の化学進化の鍵を握る重要な物質である。その割合は約5%にすぎないが、現在の宇宙では半分以上が未検出でダークバリオンと呼ばれている。バリオンの総量とその形態を理解することは、それを通じてダークマターやダークエネルギーを理解する近道ともなる。DIOSはバリオンの大部分と予想される中高温銀河間物質（WHIM）を、赤方偏移約0.3まで酸素輝線で捉え、宇宙の大構造形成と化学進化の過程を解明する衛星である。同時に銀河団、超新星残骸、高温星間ガスの組成とダイナミクスを明らかにし、広い階層での高温ガスの生成と進化を直接解明する。図1のように、観測装置は約1度の視野をもつX線望遠鏡とカロリメータアレイで構成され、JAXAの小型科学衛星としての実施を目指す。日本は2015年のASTRO-H衛星により、世界で初めてカロリメータを実現するが、DIOSの視野と面積の積（広がった放射への感度）はASTRO-Hの約300倍に達し、欧米で計画する大型X線天文台をしのぐ感度を持つ。運用期間は最低1年、目標は3年であり、5度四方の領域を深くサーベイする他、ほぼ全天の浅いサーベイ観測、天体のポインティング観測などを行う。X線望遠鏡には世界初の4回反射鏡が用いられる。口径60cm、焦点距離70cmというコンパクトなもので、日本が成果をあげてきた多重薄板望遠鏡技術を極限まで発展させるものである。焦点面検出器のTESカロリメータは、日米チームが中心となって開発し5eVをしのぐエネルギー分解能を実現する。また日本が開発してきた機械式冷凍機を用いて、無寒剤で長期間の観測に挑む。このように、DIOSは低コストでありながら世界の最先端の技術を盛り込み、宇宙物理学の新たな地平を開拓するミッションである。

② 学術的な意義

バリオン（陽子、中性子等の通常物質）は、ダークエネルギー（68%）やダークマター（27%）に比べると存在量こそ小さいが、宇宙の進化に果たしてきた役割は極めて大きい。星や銀河など宇宙を構成する天体もすべての元素もバリオンであり、光やX線の放射を出すのもバリオンである。ダークバリオンの存在を確認することは、ビッグバン宇宙における物質創成および軽元素合成のシナリオを検証する貴重な試金石となる。もしその総量が予想値とかけ離れて多い又は少ない場合、宇宙論へのインパクトはきわめて大きい。こうしたバリオンの半分以上が、最近の宇宙でその存在すらつかめていないことは大きな問題である。理論的にはその大部分は温度100万度以上の超低密度状態にあり、宇宙の大構造に沿って広く分布すると予想されWHIMと呼ばれている。WHIMはX線を放射するものの、我々の銀河系が100万度以上の星間ガスで満たされているために、手前の明るい放射が邪魔になり、WHIMを直接見る事ができない。しかし輝線放射に着目すると、WHIMの輝線は赤方偏移するために、銀河系放射と区別が可能である。DIOSはTESカロリメータの驚異的に高いエネルギー分解能を利用して、宇宙の大構造が成長した赤方偏移0.3以下（最近30億年）でのWHIMの放射を捉える。これがWHIM放射を見る唯一の方法であり、図2のようにDIOSによってバリオンの進化とそれに伴う構造形成の全体を初めて捉えることが可能になる。DIOSを実現するもう一つの意義が、将来の技術の基礎となるパイロット的役割を持つという点である。日本はX線だけでなく赤外線、サブミリ天文衛星で、望遠鏡や衛星全体を冷却しようとしており、冷凍機技術は日本の宇宙科学にとって必須である。DIOSはX線衛星では初めて、冷媒を用いない冷却を行うことで冷凍機技術を確立し、今後多くの波長で計画する衛星への道を開くものになる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ダークバリオンの探査は紫外線やX線の観測が行われているが、いずれも背後の明るい天体に対する吸収線を見るという手段のため、WHIMの広がりを知ることができない。ハッブル宇宙望遠鏡に搭載された紫外線検出器COSは、多くの吸収線を観測しているが、紫外線で検出できるWHIMはダークバリオン全体の約10%であるため、全体を捉えることができない。一方、X線は1999年に打ち上げられた大型衛星ChandraとXMM-Newtonによる吸収線観測が行われているものの、明るい背景天体の制限からWHIMと断定できる例はまだ1-2例に留まっている。日本が2015年に打ち上げるASTRO-H衛星では、世界ではじめてマイクロカロリメータにより、広がった天体の精密X線分光観測を行

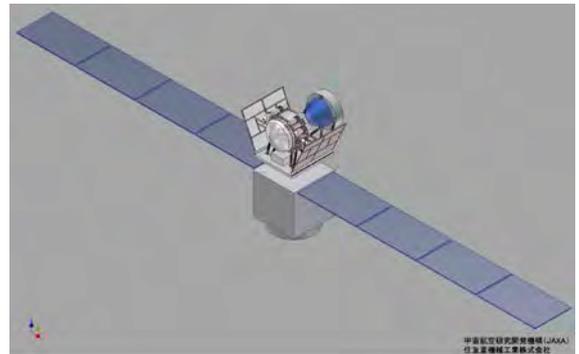


図1: DIOS衛星の予想図。太陽電池パドルの差し渡しは約10m、総重量は約600kg。

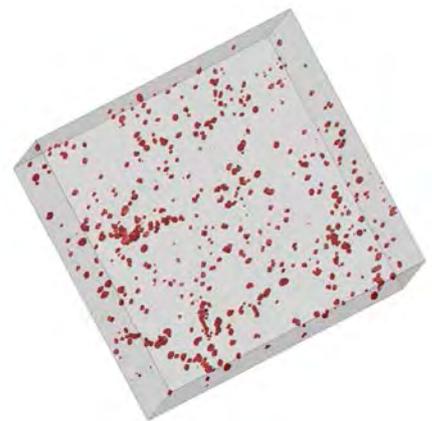


図2: DIOSが捉えるだろう銀河間物質のフィラメント構造。5度×5度領域の2年間の観測で、赤方偏移0.2（1辺2億光年）の大構造が見える。

うことができ、感度が大きく伸びる。DIOSはASTRO-Hの視野を約300倍に大きくすることで、WHIMの輝線放射に対する感度を大幅に向上させるものである。また吸収線ではなく輝線をとらえるため宇宙に大きく広がるWHIMの構造を捉えられ、輝線の赤方偏移も合わせるとWHIMが作る宇宙の3次元構造をはじめ捉えられるのが大きな特徴である。

④ 所要経費

DIOSの経費は、日本の負担約71億円（ペイロード日本負担16億、小型科学衛星バス約25億、打ち上げ約30億）、この他に海外からの寄与約10億が必要である。ペイロード日本負担16億の内訳は下記の通りである。冷凍機（9億：光学ベンチ、冷凍機、冷凍機駆動回路を含む）、カロリメータ低温部（1億：検出器、極低温回路、X線入射部）、カロリメータ室温回路部（4億：前置増幅、TES駆動、デジタル処理、冷凍機制御）、X線望遠鏡（1億：名古屋大学が主体となって製作）、運用（1億：初期1年間+サイエンスデータ）。この他に米欧の負担として、カロリメータ検出器と低温のアナログ処理部が3億、断熱消磁冷凍機、室温の回路部、望遠鏡の試験などを合わせて7億を見込んでいる。日本の予算のうち、衛星バス、打ち上げ、ペイロード費用の多くはJAXAからプロジェクトの費用として支出されるが、ペイロード製作で不足する費用は大型科研費などで補う予定である。米欧の負担分は、各研究機関の予算として考え、必要に応じてNASAやESAが公募するmission of opportunityなどへ応募することを考えている。

⑤ 年次計画

DIOSはJAXAの小型科学衛星3号機として2018年の打ち上げを目指している。その募集が2013年の前半に行われる予定であり、国際チームでの検討をもとにDIOS提案書の内容を強固なものとする。JAXAの小型科学衛星専門委員会による2段階の絞り込みを経て、最終的なミッションの選定は2014年前半になると考えられる。DIOSが採択された場合、2014年半ばから2015年半ばへの約1年が衛星及び搭載機器の詳細設計となる。小型衛星はプロトモデルを作らないことになっているため、ペイロードに関してはこの段階で可能な限りテストモデルを製作し、衛星搭載に耐えることを実証する必要がある。ペイロードのフライトモデルの製作は2015年後半から2016年末までの約1年半、その後2017年の後半にかけて1年弱をかけて単体環境試験が行われる。一方、衛星全体は2015年末から2016年半ばにかけて、機械試験モデルと熱試験モデルによる試験を実施し、並行して衛星の詳細設計を詰める。2016年の後半からフライトモデルの製作が行われ、2017年末から2018年初めにかけて、環境試験の終了した搭載機器の組み込みを行う。2018年初頭から約半年かけて衛星の総合試験を実施し、夏頃に打ち上げに至る。軌道は「すざく」、ASTRO-Hと同じ近地球軌道である。打ち上げ後冷凍機を運転し観測可能な状態になるまで約1ヶ月を見込む。運用期間は小型科学衛星としての要求は1年であるが、装置の故障が起きない限り観測を続けることにしており、3-5年は運用することを計画している。DIOSのペイロード製作にかかわるメンバーはASTRO-Hのカロリメータ検出器を担当するチームと重なる。上記の年次計画によれば、フライトモデル製作は2015年後半から予定されているので、ASTRO-H製作後その経験を直ちに生かすことができる計画となっている。

⑥ 主な実施機関と実行組織

衛星全体の組み上げ、試験、打ち上げに至る計画の主たる実施期間は宇宙航空研究開発機構(JAXA)の宇宙科学研究所である。一方、ペイロードとなるX線観測装置は首都大学東京が中心となり、各研究機関と連携しながら、製作と試験を実施する。打ち上げ後の衛星運用はJAXA宇宙研で行うが、データアーカイブの管理とサービスは首都大学東京 理工学研究科付属の宇宙理学研究センター(2013年4月発足)が中心となって行う予定である。JAXA宇宙研と首都大は距離的にも近いので、DIOSにおける両機関の連携には問題はない。DIOS計画の実施に参加する組織は下記の研究機関である。主な役割分担と合わせて記す。首都大学東京(ミッション全体の統括、TESカロリメータと冷却系の開発、データセンター)、名古屋大学(X線望遠鏡の開発、地球磁気圏観測の検討)、JAXA(ミッションおよびペイロード全体の製作、組み上げ、試験、打ち上げと運用の実施)、東京大学(ダークバリオン観測へ向けての理論的検討)、東京工業大学(ダークバリオンの観測方法の検討)、東京理科大学(銀河団観測の検討)、青山学院大学(超新星残骸観測の検討)、金沢大学(冷凍機の開発)、埼玉大学(デジタル回路製作、ダークバリオン観測の検討)、立教大学(冷凍機の開発)、京都大学(銀河アウトフロー観測の検討)、MIT(TESカロリメータの製作)、NASAゴダード宇宙飛行センター(TESカロリメータと断熱消磁冷凍機の製作)、NASAマーシャル宇宙飛行センター(X線望遠鏡の評価試験)、オランダSRON(X線望遠鏡の製作補助、TES読み出し系の製作)、イタリアIASF(バックグラウンド除去の検討)。この他にも、主にサイエンスの検討に関してDIOSチームは開かれており、今後も参加期間は増えることが予想される。

⑦ 社会的価値

陽子や中性子などの通常物質であるバリオンは、人々の関心の高いダークエネルギーやダークマターに比べると、宇宙のエネルギー密度という点では小さな寄与である。しかし、星や銀河や、すべての元素はバリオンが構成しており、宇宙史におけるその進化の全貌を理解することは、人類の知にとって必須である。DIOSは見えなかったバリオンを捉えそれを可視化する初めての計画である。宇宙の進化とともに大構造が形成され、それが収縮と加熱と元素の拡散を経て現在に至る様子が明瞭に描き出されることは、一般の人々からも関心を集め、宇宙に対する国民の理解に大きく資すると考えている。また巨額の予算を投じてASTRO-Hのために開発されたマイクロカロリメータと冷凍機技術を利用することで(特に冷凍機はASTRO-H用のエンジニアリングモデルをそのまま使う)、低コストで大きな成果を上げることを目指しており、コスト面での価値も高い計画である。一方、TESカロリメータはCCDなどの半導体検出器に比べてエネルギー分解能が10倍以上優れているため、高感度の物質分析などの産業応用の道も今後大きく開ける可能性が高いと考えている。

⑧ 本計画に関する連絡先

大橋 隆哉 (首都大学東京・理工学研究科) ohashi@tmu.ac.jp

CTA 国際宇宙ガンマ線天文台

① 計画の概要

高エネルギーガンマ線による宇宙の研究は、現在稼働中の地上チェレンコフ望遠鏡により、多種多様な天体が銀河系内外に発見され、ここ数年の間に大きく進展し、天文学のあらたな一分野を形成した。この分野の研究を飛躍的に発展すべく、日米欧の国際共同により、従来の装置の10倍の感度と広い光子エネルギー領域を観測できる究極的ともいえる高エネルギーガンマ線観測施設・チェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) の建設へ向けて準備をすすめている。CTA は北半球と南半球に設置される2ステーションから構成され全天観測を可能とする国際宇宙ガンマ線天文台である。人類の宇宙観測における最高エネルギー光子である TeV 領域宇宙ガンマ線を観測し、極限的宇宙の姿を明らかにする。超新星残骸、超巨大ブラックホール周辺、ガンマ線バーストでの高エネルギー粒子の加速/生成機構を研究し、また、宇宙における星と銀河の形成史を明らかにする。さらには宇宙を満たす暗黒物質の正体を探り、究極の物理理論である量子重力理論の検証を行なう。

北半球ステーションは 1km² に展開されたおよそ 30 基の望遠鏡群、南半球は 3km² に展開された 60 基の望遠鏡群から構成される。それぞれの中央部には大口径 23m チェレンコフ望遠鏡 4 基を配置し、その周囲に中口径 12m 望遠鏡、小口径 6m 望遠鏡を配置し、効率的に広いエネルギー領域の宇宙ガンマ線を高精度で観測する。CTA 南北のサイトは複数の候補の中から現在選考中であり、気象、地形、安全性などを総合的に検討し 2013 年度末に決定する予定である。年間 10 ペタバイトを超えるデータは CERN (欧州加速器研究機構) または、ESO (ヨーロッパ南天天文台) に設置されるデータセンターに集積される。日本では東京大学宇宙線研究所にサブデータセンターを設置し、このサブセンターを通して国内研究者にデータ、解析ツールを配布する。

② 学術的な意義

CTA で観測される天体からのテラ電子ボルトの光子は、人類が作り出した人類史上最高の人工加速器 LHC による衝突エネルギーに匹敵、またはそれを超える。宇宙では驚くべき高エネルギー現象がさまざまな場所で起きている。CTA は感度の向上と、より広いエネルギー領域の観測により、多種多様な天体で起こる高エネルギー現象の高精度観測を行い、宇宙で起こっている非熱的物理現象、粒子加速の研究を行う。宇宙論や基礎物理学の探求として、宇宙を満たす暗黒物質を今までにない高感度、高精度で探索する。また、宇宙論的な距離を伝播する高エネルギー光子を使い、時間と空間の量子的な揺らぎを研究する。

CTA は感度の 10 倍の向上とエネルギー帯域を 20GeV から 100TeV と広げることにより、1000 を超える銀河系内外の天体を観測する。とりわけ、高エネルギーガンマ線による観測は赤方偏移 $z=4$ まで延び、宇宙ガンマ線の観測を宇宙論的なスケールにまで広げる。活動銀河中心にある超巨大ブラックホールの進化、宇宙の構造形成・星形成史が明らかになる。また、銀河内のおよそ 200 の超新星残骸をすべてサーベイし、超新星残骸の宇宙線加速器としての進化、放出総エネルギー量を明らかにし、100 年来の大問題である宇宙線起源に決着をつける。また、銀河中心、近傍銀河団にハロー状に広がる暗黒物質崩壊・対消滅から放射される高エネルギーガンマ線を探索する。CTA による銀河中心ハロー観測は、超対称性粒子のパラメーター空間を深くサーベイする感度をもつ。

CTA は、人類の想像をはるかに超えた宇宙の極限的な姿を明らかにするとともに、宇宙の構成物質、時空間の量子的な振る舞いを従来にない高い精度で研究する。CTA の科学は、宇宙物理、宇宙論から基礎物理にわたり、その科学的意義は極めて高いといえる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

現在運用されているチェレンコフガンマ線望遠鏡、HESS, MAGIC, VERITAS により、銀河系内外に 150 を超える天体が高エネルギーガンマ線源 (テラ電子ボルトガンマ線天体) として発見されている。これら高エネルギーガンマ線の測定により、シェル型超新星残骸が銀河宇宙線を加速していることが徐々に明らかになってきた。CTA は、現在運用されている望遠鏡と比べ、10 倍の感度、10 倍のエネルギー帯域、3 倍の角分解能、2 倍のエネルギー分解能を持ち、次世代の宇宙ガンマ線天文台として相応しい高い性能を持つ。CTA は高エネルギーガンマ線による宇宙の観測を赤方偏移 $z=4$ まで広げ、1000 を超える天体を観測する。また、銀河系内のおよそ 200 個のシェル型超新星残骸を



図: CTA 国際宇宙ガンマ線天文台の想像図。日本グループは、アレイ中央に設置される大口径望遠鏡 8 基を主導的に建設する。20GeV-100TeV の広いエネルギー領域で従来にない感度を達成し、1000 を超える天体を深宇宙 ($z < 4$) まで観測する。

全て観測し、銀河宇宙線の起源を明らかにする。さらには、銀河中心に集中する暗黒物質の対消滅からのガンマ線を従来に無い高い感度で探索する。CTA は、飛躍的にガンマ線による宇宙の研究を進展させることが期待される。

④ 所要経費

CTA は、23m 大口径チェレンコフ望遠鏡 8 基、12m 中口径望遠鏡 40 基、6m 小口径望遠鏡 40 基からなり、予算総額 180MEuro (200 億円) と推定されている。日本グループ CTA-Japan は、望遠鏡アレイ中央部に位置し、CTA の要といえる 23m 大口径チェレンコフ望遠鏡 8 基の建設を主導的にこなす。

総額 200 億円

日本分担 40 億円

内訳

23m 大口径チェレンコフ望遠鏡	主鏡	8 式	14 億円
23m 大口径チェレンコフ望遠鏡	光検出器	8 式	10 億円
23m 大口径チェレンコフ望遠鏡	電子回路	8 式	12 億円
他付帯部品、電子回路・輸送費・建設費			6 億円

⑤ 年次計画

現在 EU の Preparatory Phase (2010-2014) の最終段階であり、装置デザイン、プロトタイプ製作を行なっている。CTA-Japan は特別推進研究により 23m 大口径望遠鏡プロトタイプ製作を、ドイツ、フランス、スペインのグループと国際共同で進めている。このプロトタイプは 2016 年に現地に設置予定である。全体計画としては、2015 年より望遠鏡の各部品の製作・量産を開始し、2016 年より現地に望遠鏡を順次設置、2020 年に CTA を完成し、天文台としての運用を開始する。

2013 サイト決定

2014 サイト準備開始

2015 望遠鏡エレメント製作開始

2016 プロトタイプ現地テスト、望遠鏡設置開始

2017 部分的運転開始

2020 CTA 完成

2020-2039 CTA 国際宇宙ガンマ線天文台として運用

⑥ 主な実施機関と実行組織

CTA Consortium が実施機関・運用機関の中心であり、日米欧を中心とする 28 カ国 1150 名の科学者からなる。日本グループ CTA-Japan は東京大学宇宙線研究所を中心とする大学連合、27 大学 97 名の科学者からなり、CTA の正式メンバー国として装置開発・デザイン・試作、サイエンスの検討を進めている。CTA-Japan の中心である東京大学宇宙線研究所は全国共同研究拠点・全国共同利用研として、CTA 計画を主として推進するとともに、共同研究者・研究者コミュニティの研究活動をささえ、かつ共同研究を進めている。CTA-Japan の主要な参加大学・研究機関としては、東京大学、京都大学、名古屋大学、青山大学、茨城大学、近畿大学、高エネルギー加速器機構、甲南大学、埼玉大学、東海大学、徳島大学、広島大学、山形大学等があげられる。

また、CTA-Japan の科学者から、CTA 大口径チェレンコフ望遠鏡建設プロジェクト責任者(スポークスマン)、および、カメラ、電子回路、オプティックスのコーディネーター 3 名を出しており、CTA Consortium の運営にも深く関わっている。

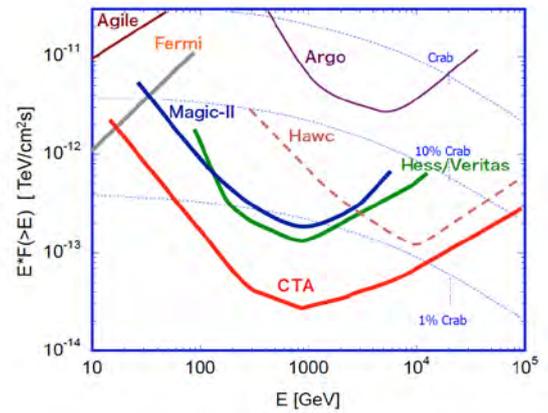
⑦ 社会的価値

高エネルギーガンマ線による宇宙観測は、宇宙のダイナミックで極限的な姿を映し出す。ガンマ線を放射するパルサー、超新星爆発、ガンマ線バースト、超巨大ブラックホール周辺では、地上の実験室では考えられないような超高密度、超高磁場、超高電場、超高温度、超高エネルギーの環境が作られており、時として短時間に莫大なエネルギーが解放される。人類は、宇宙の観測を通して宇宙のダイナミックで活動的な姿を知り、ビッグバンから始まった動的宇宙にあらためて大きな驚きを感じるであろう。CTA は、人類の想像をはるかに超えた宇宙の極限的な姿を明らかにし、宇宙の構成物質、時空間の量子的な振る舞いをも、従来にない高い精度で研究する。CTA の科学的意義は極めて高く、人類に極めて高い価値の知見を与える。

CTA の装置要求仕様は非常に高く、高感度光検出器、新素材、高精度オプティックス等、日本発の最先端技術が望遠鏡に多数利用される。これらの技術開発、実用化、量産は、長短期的に日本の経済・産業に高い価値をもたらす。

⑧ 本計画に関する連絡先

手嶋 政廣 (東京大学・宇宙線研究所) mteshima@icrr.u-tokyo.ac.jp



図： CTA は現在運用されているガンマ線望遠鏡と比べ、10 倍の感度、10 倍のエネルギー帯域、3 倍の角分解能を持つ。

JEM-EUSO: 国際宇宙ステーション日本実験棟に設置する極限エネルギー宇宙天文台

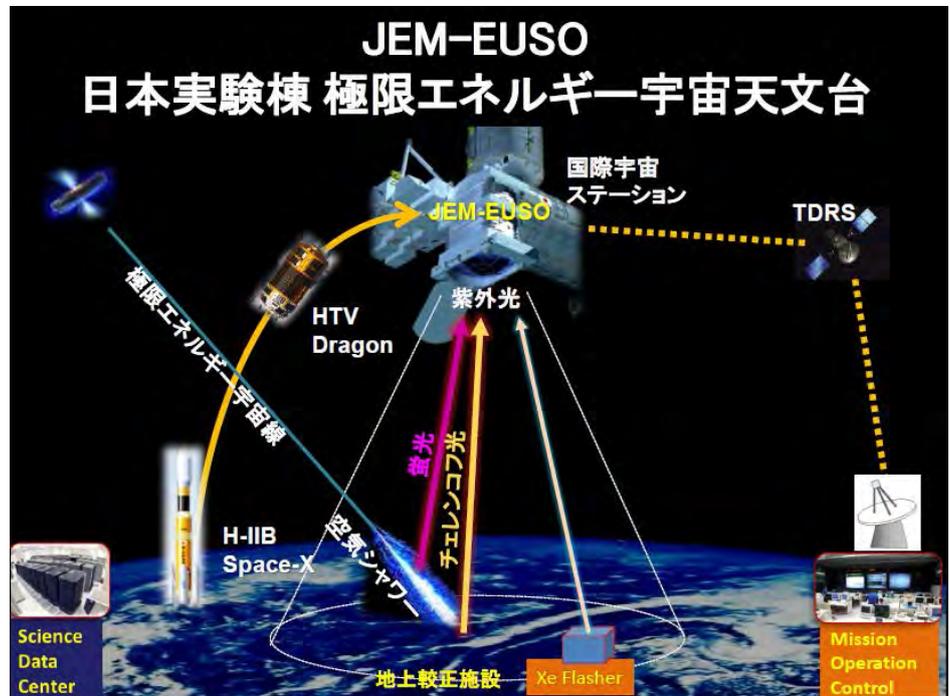
① 計画の概要

地球を見下ろす「天文台」とも言うべき口径約2.5mの広視野（60度）望遠鏡を開発して国際宇宙ステーション日本実験棟に搭載し、直径約400km以上にわたる広範囲の地球大気における宇宙線空気シャワーの発光現象を一度に監視する極限エネルギー宇宙天文台計画をJEM-EUSOミッションとよぶ。このミッションでは宇宙における最高のエネルギーをもった粒子の源とその発生機構を探索し、宇宙における基本的相互作用の限界を観測する。現在までに観測された宇宙線粒子の最高エネルギーは、加速器で到達できる最高エネルギー（約 10^{13} eV）を遥かに超えて 10^{20} eVに達している。このような極限エネルギー宇宙線がどこで生じ、どのようにして加速されたか、また、そのエネルギーに限界があるのか否かは、現代物理学の解明すべき大きな課題である。極限エネルギー（ $E > 10^{20}$ eV）粒子は、銀河磁場によってあまり曲げられずに、地球に到達するため、その到来方向から起源天体を特定できる。ミッション運用の最初の3年で、 5.5×10^{19} eV以上のエネルギーを持つ粒子による大気中の反応事例は約500例に達し、到来方向解析によって起源天体を特定できる臨界量に至る。また大局的な異方性に関する正確で頑健な議論をするためには、JEM-EUSOが実現する全天にわたるほぼ一様な露出が肝要である。

JEM-EUSOは、宇宙からの空気シャワー観測という新しい観測手法を開拓し、人類未踏の観測に挑戦する。これにより、稼働中の地上の観測施設の限界を超えた観測領域の飛躍的拡大が実現される。望遠鏡は三大陸にまたがった13ヶ国の協力で製造する。

② 学術的な意義

JEM-EUSOは極限エネルギー（ 10^{19} eV $< E < 10^{21}$ eV）粒子を用いた新天文学の開始を基本目的としている。宇宙で最高のエネルギーを持った粒子の起源と発生機構を探索する。このような粒子は、銀河磁場によって数度以下しか曲げられずにほぼ真直ぐに地球に到達するため、その到来方向から起源天体を特定できる。数百個の荷電粒子を観測したとき、その到来方向解析によって異方性を検出することで、その起源が明らかになる。例えば、近傍の活動的銀河核（Cen-AやVirgo-Aなど）の方向に集中すれば、これらが線源である。もしくは超銀河面に



に弱く集中すれば、近傍の銀河が線源であることを示唆する。あるいは、まったく等方的な場合は、線源が宇宙論的な距離にあることを意味し、GZK過程の存在を疑わなければならない。これらは、Pierre Auger天文台の10倍以上で南北に均一な感度を持つJEM-EUSOで初めて可能になる。また、複数の天体が極限エネルギー宇宙線の線源として同定されれば、線源同士のスペクトルの比較などにより、その加速機構が解明される。報告されているスペクトルの急峻化が理論の予測どおりGZK過程によるものであれば、同定された天体の距離と急峻化の強さが強く相関するはずである。これによりGZK過程の最終確認が可能になる。さらに、同定された天体の周りのより低エネルギーの事象の分布を調べることで、銀河磁場の分布と強度を推定できる。その他、極限エネルギーガンマ線やニュートリノの探索、相対論や量子重力効果の検証、夜光や大気内放電現象、流星などに関する発見的探索研究が可能である。これらは日本一国だけでは成し得ないものである。さらに、250人以上の多分野の研究者の共同研究の相乗効果により、新しい科学が芽生えることが期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ビッグバン宇宙の証拠である宇宙背景放射が発見された1965年の翌年、地球に到達する宇宙線のエネルギーは 10^{20} eVあたりに、宇宙背景放射との相互作用による「上限」（GZK限界）があると理論的に予測された。1990年代前半になって、日本のAGASA実験が定常的な観測を行っていた。しかしながら、有効検出面積が100 km²程度では十分な統計量を得ることができず、確定的な結論に至らなかった。この状況を克服するため、Pierre Auger天文台とTelescope Array実験が現在運用中である。両者ともGZK限界と矛盾しないスペクトルの急峻化を確認したが、最高エネルギー領域の宇宙線事象の検出数が、当初の想定に比べずっと少ない数に留まっている。また、米国コロラド州に建設が計画されていた北Auger実験は、米国での予算獲得ができずに、無期延期になった。この結果、飛躍的に統計量を上げられるJEM-EUSOの実現が強く望まれることとなった。国際宇

宙ステーションの運用は、2020年まで公式に延長された。さらに2028年まで運用延長が技術的には可能性なことが確認されている。

④ 所要経費

打ち上げ費用を除くミッション費用：約180億円（内、日本負担分約60億円）

日本は、ホスト国として、光学系（10）、光電子増倍管（5）、大気モニタ用レーザー（2）、望遠鏡の組立・試験（10）、科学データセンター（3）、ミッション組み上げ・試験（30）を担当し、ミッション経費約180億円の約3分の1を負担することが想定されている（括弧内の数字は日本負担分の概算。億円単位の内訳）。

⑤ 年次計画

2014年 Phase-B、基本設計、光電子増倍管製造開始、レンズ製造開始、レーザー基本設計

2015年 Phase-C、詳細設計、光学系組立・試験、レーザー詳細設計・製造

2016年 Phase-D、望遠鏡製造・組立・試験

2017年 Phase-E、打ち上げ、科学データセンター運用開始

2017-2020年 観測第一期：フルサクセス

2020-2022年 観測第二期：エクストラサクセス

⑥ 主な実施機関と実行組織

主な実施機関

研究機関・大学：

理化学研究所、東大宇宙線研究所、甲南大学、埼玉大学、大阪市立大学、東京工業大学、モスクワ国立大学（ロシア）、イタリア国立核物理学研究所、ローマ大学トルベルガータ校（イタリア）、フランス国立核物理・素粒子物理研究所（フランス）、チュービンゲン大学（ドイツ）、SKKU大学（韓国）、シカゴ大学（米国）、メキシコ自治大学など

宇宙機関：

JAXA、NASA、ヨーロッパ宇宙機関、ロシア宇宙機関、イタリア宇宙機関、フランス宇宙機関など

実行組織：JEM-EUSO collaboration

Principal Investigator: Piergiorgio Picozza (U. of Rome “Tor Vergata” -INAF, Italy & RIKEN Japan)

Deputy PI: Toshikazu Ebisuzaki (RIKEN, Japan)

Global Coordinator: Andrea Santangelo (University of Tübingen, Germany)

Japanese Co-PI: Masaki Fukushima (ICRR, University of Tokyo, Japan)

US PI: Angela Olinto (University of Chicago, USA)

Russian PI: Mikhail Panasyuk (MSU/SINP, Russia)

Instrument Manager: Fumiyoishi Kajino (Konan Univ. Japan)

Project Scientist: Marco Casolino (RIKEN, Japan)

Science Working Group Chair: Gustavo Medina-Tanco (UNAM, Mexico)

⑦ 社会的価値

JEM-EUSOの実現に向けた技術開発の結果、高透明度・軽量・大型フレネルレンズの製造技術が世界に先立って確立された。これによる太陽エネルギー利用や、リモートセンシング用の超広角望遠鏡への応用が期待されている。

また、JEM-EUSO検出器は約1マイクロ秒ごとに数十万画素の画像を連続的に取り込むことのできる耐放射線性に優れた超低消費電力の超高速撮像システムである。これは民生用のビデオに比べると約4桁高速であるので、広い分野の超高速現象の撮像への応用が可能で、様々な社会還元が期待される。

さらに、旧西側諸国とロシアの協力で建設した国際宇宙ステーションは、これらの国際協力体制の象徴である。その場所で、日本のリーダーシップを維持しつつ13ヶ国の国際協力で成し遂げる国際ミッション JEM-EUSO は、国際舞台での日本の存在感と先進的な技術を示す良い機会でもある。

⑧ 本計画に関する連絡先

戎崎 俊一（理化学研究所） ebisu@postman.riken.jp

一平方キロメートル電波干渉計

① 計画の概要

SKAはセンチ波・メートル波帯で唯一の高感度、高分解能、広視野、広帯域の大型電波望遠鏡であり、宇宙の晴れ上がりから第1世代星誕生までの暗黒時代に存在する中性水素原子ガスを直接観測することを主たる目的とする(図1)。また達成される高性能を活かすことで、惑星系から宇宙大規模構造の形成過程、宇宙磁場やパルサー、宇宙生命誕生など、多くの分野に強い影響を与えるものである。

SKAは人工電波の影響が小さい西オーストラリアおよび南アフリカに建設される巨大電波干渉計であり、観測周波数0.1GHz から10GHz 帯に当たるセンチ波・メートル波をカバーし総集光面積は1平方キロメートルである。周波数帯に応じて2種類の装置が考案されており、0.1-1GHzは開口型アンテナが用いられる低周波SKA、1-10GHzはパラボラアンテナタイプが用いられる中間周波SKAと呼ばれる(図2)。パラボラアンテナは3000台で構成され、全アンテナの半数を半径5kmに配置し、残りの半数はリモートステーションと呼ばれるアンテナ群として最大3000kmの範囲に配置される。データは光ファイバー網で中央データ処理センターに転送され、そこで関連処理された後に電波画像や電波源カタログなどのデータとして研究者に届けられる。

運営は国際連携によって行われ、イギリス、オランダ、イタリア、ドイツ、スウェーデン、オーストラリア、ニュージーランド、南アフリカ、カナダ、中国が正式メンバーであるが、現在も参加国が拡大する方向で計画が進んでいる。

日本はまだ正式メンバーではないものの国内での関心は高く、2008年にSKAの参加を検討するための研究者組織である日本SKAコンソーシアムが設立された。会員数は100名を超え、参画に向けた国際交流やサイエンス、技術開発の検討が進められている。

② 学術的な意義

以下に挙げる5つがSKAによる重要な研究テーマである。

1. 宇宙の暗黒時代: ALMA、TMTやPlanck衛星では観測することができない宇宙の晴れ上がり直後から初代天体によって再び電離されるまで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の天体を捉える。
2. 銀河進化: 中性水素原子輝線の全天サーベイ観測を行い、赤方偏移 $z=1.5$ までの銀河分布を描きだし、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。
3. 宇宙磁場の起源と進化: 数億の背景天体について超広帯域な偏波の全天サーベイを行い、銀河系から遠方銀河、宇宙大規模構造の磁気プラズマにまでわたる偏波と回転量度の精密分布を調べ、宇宙の様々な階層における磁場の起源と進化、天体形成との関わりを探る。
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一般相対性理論を検証するとともに、銀河系中にある多数のパルサーをプローブとすることで、銀河系を通過する重力波を捉える重力波望遠鏡とする。
5. 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、長波長放射が予測される比較的サイズの大きな塵の分布から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が多数存在する長波長電波領域での輝線探査を行い、生命の誕生に迫る。

1. 3. 4. はSKAでなければ達成できず、2. と5. に関してはALMAやTMTなど他波長のプロジェクトによる研究と相補的に関連させることで、相乗的な科学研究の発展が期待される。またSKAはセンチ波・メートル波帯における汎用性の高い望遠鏡であり、未だ知られていない新たな研究がSKAから生まれていくことも期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

電波天文学は、1931年にカール・ジャンスキー(アメリカ)が周波数20.5MHz(メートル波)の宇宙電波を発見したことに起源する。1951年には中性水素原子ガスが放射する波長21cmの輝線が発見され、それから世界的にセンチ波・メートル波電波天文学は発展した。その後、観測手段は波長方向に拡大し、現在電波天文学最大の世界プロジェクトであるALMAはミリ波・サ

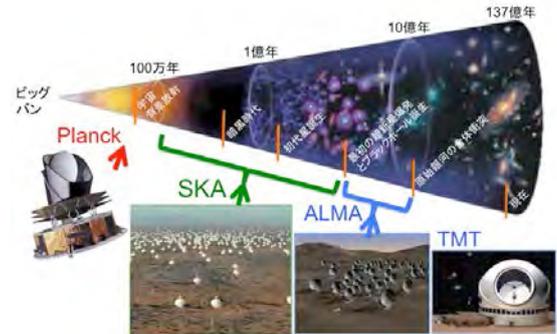


図1: SKAによって解明される暗黒時代。Planck等による宇宙背景放射観測では宇宙の晴れ上がり直後の宇宙を観測し、ALMAやTMTでは宇宙最初の星(第1世代星)が生まれた直後の原始銀河等が観測される。



図2: SKAの完成予想図。左は低周波SKAの開口型アンテナ、右は中間周波SKAのパラボラアンテナ。

ブミリ波での高感度観測を実現している。SKA は次世代の大型センチ波・メートル波電波干渉計であり、宇宙の暗黒時代を直接観測できる唯一の世界最高性能の電波望遠鏡となる。日本でも、これまで培ってきた電波天文学の厚い人材を活かして、初期宇宙や宇宙磁場のみならず、位置天文学などの科学研究、デジタル信号処理等の技術開発での国際協力、人材育成が進みつつあり、宇宙論、高エネルギー天文学の理論的研究では世界をリードしている。こうした理論、観測、開発の国内の連携を活かし、SKA に参加・協力することで、電波天文学だけでなく、天文学全体の中で今後も日本が最先端の研究レベルを発展させることができる。

④ 所要経費

SKA は、アンテナ（パラボラ型および開口型）で1000M€、その他のインフラ、ソフトウェア、運営、調達に500M€が必要となり、全体で1500M€と現状では試算されている。

これとは別に Pre-construction Phase での諸経費が全体で90M€が計上されている。内訳としてはアンテナ開発に約38M€、それ以外のインフラ、ソフトウェア、運営、科学研究推進等に約52M€が計上されている。また SKA の正式メンバーとして参加するためには、年間0.25M€が必要である。

⑤ 年次計画

2009年より2012年まではSKA Preparatory Phase と呼ばれ、サイエンス検討、技術開発が進められ、科学的・技術的根拠に基づきサイト決定がなされた。2013年以降は大きく次のような4段階に分けられる（図4）。

2013年-2015年 pre-construction phase : 装置の詳細な仕様が定義される。

2013年 Advanced Instrumental Program による技術開発がサイエンス与えるインパクトについての検討

2014年 建設予算の獲得とサイトに関する Critical Design Review、

2015年 SKA1 装置の Critical Design Review とパイロット的生産開始、
サイトに関する Acceptance Review (評価期間の完了と結果を調査)

SKA1 装置の Production Readiness Review

2016年-2020年 SKA1 (SKA Phase 1) : SKA の10%が建設される

2016年 SKA1 の Acceptance Review

SKA2 の Concept Design Review、
SKA2 の Preliminary Design Review

2018年 SKA2 装置の Critical Design Review とパイロット的生産開始

SKA2 装置の Production Readiness Review と SKA2 建設開始

2020年-2024年 SKA2 (SKA Phase 2) : SKA 全体(SK A2)の建設と SKA1 の科学運用が進められる

2024年- SKA2 の科学運用

⑥ 主な実施機関と実行組織

SKA 国際組織は2012年にイギリスのジョドレルバンク観測所にSKA プログラムオフィスを建設・設置し、統括しており、オーストラリア、カナダ、中国、ドイツ、イタリア、オランダ、ニュージーランド、南アフリカ、スウェーデン、イギリスが正式メンバー、インドをオブザーバーメンバーとした委員会で運営されている。

本格的な建設開始までには、ALMA 計画と似た実施方法、すなわち日本国内では国立天文台を中心とした大学連携網によって推進される必要がある。現在は、鹿児島大学、名古屋大学、熊本大学などに所属する研究者が個人レベルで推進している。当面は、これらのグループが中心となって推進することとなるが、大型計画として具体的に進める際には国立天文台が国際的な窓口となり事業全体を統括する体制を構築する。役割としては国立天文台が国際的な窓口と国内の事業全体の統括、財政的裏付けや組織的な技術開発を担当する。他大学では科学研究や個別的な技術開発を進めていくことになる。

⑦ 社会的価値

世界的な最先端の計画によって宇宙暗黒時代など天文学の未解決問題を解明することは国民の関心を引き、研究自体が国民の理解を得られるだろう。完成した望遠鏡で得られる観測データが人類の知見を深めることは当然である上に、解析手法や装置技術開発と保守管理の手法は、建設の初期段階から計画に関わることで初めて得られる知的価値である。国際共同で行うこと自体が国際交流の重要な動機となり、若い世代にも国際的な活躍の場を与える。経済的・産業的には、広く応用が期待できる波長域の電波を高精度で測定するばかりでなく、それを実現する装置を量産する必要があるため、世界を席巻する技術に育つ可能性は極めて高い。また、大量高速データ処理は既に最重要な技術であり、それを制することは技術戦略上も見逃すことはできない。大陸規模に広がるがゆえに、望遠鏡全体が環境に高度に配慮した設計を目指しており、太陽光発電、蓄電池やスマートグリッド技術なども建設には必須な技術となる。実際、計画推進国では、これらを総合的に評価し、SKA が極めて社会的価値のある計画であるとしている。

⑧ 本計画に関する連絡先

林 正彦 (国立天文台) masa.hayashi@z.nao.ac.jp

次期太陽観測衛星 SOLAR-C 計画

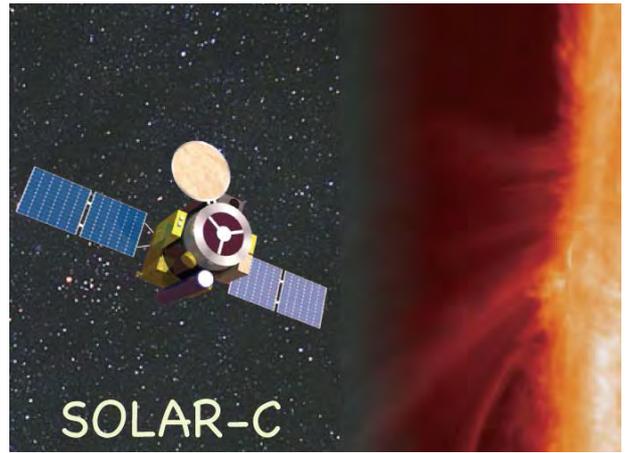
① 計画の概要

SOLAR-C 計画は、「ひのと」 「ようこう」 「ひので」 に続くわが国 4 番目の太陽観測衛星として、2020 年頃の実現を目指して計画されているものである。SOLAR-C 計画は国内の太陽研究における最高優先度の将来計画である。

ひので衛星で初めてなされた高解像度の光球磁場・彩層画像観測と高感度のコロナ観測は、太陽表面にそれまで予想されていなかった活発な磁気流体活動現象と解像度以下の微細磁気構造の存在を明確に示した。ひので衛星が見いだしたこれらの磁気活動は、基本となる微細構造間で受け渡される磁気エネルギーを源泉とし、彩層やコロナという高温の大気や惑星間空間を乱す擾乱を生み出すと考えられている。

これらの成因を理解するには、ひので衛星の観測から直接的・間接的に見いだされた「基本となる磁気構造スケールを解像」し、それらの「磁気構造の運動や相互作用の可視化」を通して、「磁気エネルギーの輸送過程や散逸過程を定量化」することが必要とされる。このために、SOLAR-C では光球からコロナにわたって高い解像度(0.1-0.3 秒角)の画像観測・偏光観測・分光観測を、人工衛星に搭載した観測装置で実施する。

SOLAR-C の観測装置は、光球と彩層の撮像・偏光観測を行う～1.5m 口径の光学望遠鏡、彩層・遷移層・コロナの撮像分光観測を行う紫外線分光望遠鏡、そしてコロナの撮像観測を行う極端紫外線望遠鏡で構成され、日本、米国、欧州の国際協力で実現する。安定した温度環境と高レートデータ通信を必要とすることから、衛星は傾斜角をもつ準天頂軌道におかれ、ほとんどの期間において夜のない連続観測を行う。観測運用計画は研究者により策定される。また、衛星で取得されたデータは、国内外の受信局に送信され、名古屋大学 STE 研究所に設置を予定しているデータセンターからユーザに提供する予定である。



② 学術的な意義

ひので衛星の光球磁場観測・彩層画像観測(0.2-0.3 秒角解像度)と高感度のコロナ撮像観測・分光観測(2 秒角解像度)は多くの成果を生み出した。その中で、(1)ひので衛星の解像度(0.2-0.3 秒角)で彩層磁場・速度場を取得すること、そして(2)ひので衛星の観測から推定されたコロナの微細構造スケール(0.3-0.5 秒角)でコロナを撮像・分光観測することの重要性が認識されている。

彩層・コロナの加熱、太陽風加速の本質的な理解には、上に挙げた二つの観測が必須である。これらが実現すれば、微細磁気構造の浮上や対流による光球上での磁気構造の運動がエネルギーを上空へ運び、それが散逸して加熱後に発生する構造とそのダイナミクスとの関係が初めて可視化されて因果関係が明確になる。これにより他の星や銀河をとりまく宇宙プラズマの加熱・加速過程が理解される。

太陽面爆発フレアの発生前にコロナ中で進行するエネルギー蓄積過程の理解も、磁気圧が優勢となる彩層域の磁場と速度場の取得により大きく進展することが期待できる。彩層・コロナの観測からフレアを引き起こすトリガー候補の抽出とあわせれば、それが引き起こすフレアの規模を計算機で予想することへとつながる。これが噴出過程を伴うものであれば、それが太陽-地球間を伝播して地球周辺の宇宙環境(宇宙天気)を乱す予測と、その環境変化が衛星や地上設備といった社会インフラに与える影響度予測への応用が考えられる。

太陽磁気活動が停滞期に入りつつあることが多くの観測から示されてきている。過去の停滞期では地球が寒冷化したという事実があるが、その因果関係は理解されていない。現在の理解では、微細磁気構造からの放射量が太陽からの全放射量を変動させるとされており、SOLAR-C の目指す解像度で実施する微細磁気構造の変化とその放射スペクトルの測定は極めて重要な意味をもつと考えられる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国際的な太陽研究の動向を見ると、ひので衛星がもたらした高解像度観測を追求して行う磁気大気活動の研究、太陽面で発生する爆発現象の理解とそれがもたらす地球周辺の宇宙環境(宇宙天気)の研究、そして最近になって社会でも話題になっているが、停滞期へと移行している兆候を示す太陽磁気活動と地球気候への影響についての研究などが今後中心的に進められていくように思われる。これらの研究には、SOLAR-C 衛星の基本機能として位置づけられる彩層磁場の取得が欠かせないが、高精度の偏光観測を要するこの観測を、地上から安定的に実施することは困難であるというのが専門家の一致した見解である。2020 年ごろに予定されている欧米の太陽観測衛星では、観測衛星が太陽に近づくことで、小口径望遠鏡による高解像度観測を実施する計画であるが、太陽観測で今後必要とされてくる彩層磁場の大气圏外からの観測は、この計画を含めて予定されていない。

④ 所要経費

予算規模：

衛星および搭載観測装置開発費用：

250億円（マージン込み）

打上げ費用：100億円（JAXAによる打ち上げを想定した場合）

総費用：350億円（JAXA負担分のみ）

（注）新規開発となる衛星・観測装置部分は現段階では粗い見積もりです。

⑤ 年次計画

平成20年度(2008年度)よりSOLAR-C計画ワーキンググループ活動を開始しており、これまでの検討をまとめてミッション提案書を準備している。以下は平成25年度に提案書を提出して計画が予定に沿って進行した場合のものである。

2008-2012年：概念検討・基礎開発・国際協力調整

ミッション提案書執筆

2013年：基礎開発・概念設計・ミッション提案

2014年：予備設計（Phase-A）

2015年：基本設計（Phase-B）

2016-2017年：詳細設計（Phase-C）

2018-2020年：フライトモデル製作・試験（Phase-D）

2020年—：打上げ、科学運用（Phase-E）

⑥ 主な実施機関と実行組織

国立天文台と宇宙航空研究開発機構JAXAが中心となり、大学(京都大学、名古屋大学、東京大学)、米国宇宙機関NASA、欧州宇宙機関ESA、欧州各国が計画の検討、立案、観測装置の開発、衛星バス開発、衛星打ち上げ、科学運用を分担する。現在は基礎開発を行いながら確実に計画を遂行するための検討・立案を行っている段階である。この中心となっている組織は、JAXA宇宙科学研究所に平成20年度(2008年度)に設置されたSOLAR-Cワーキンググループであり、欧米の研究者・技術者の協力も得ながら、検討の初期から国際協力計画を前提に計画の策定を行っている。この活動にあわせて、国立天文台には平成20年度(2008年度)より、ひので科学プロジェクト室のサブプロジェクト室であるSOLAR-C検討室がおかれ、平成25年度(2013年度)からはSOLAR-C準備室が発足する。計画の実行段階では、国内では一つの主要観測装置の開発を国立天文台・JAXA宇宙科学研究所、大学が分担し、衛星バスの開発・衛星打ち上げはJAXA宇宙科学研究所が実施、そしてデータセンターは名古屋大学STE研究所が担当予定である。その他の主要観測装置は海外より供給され、NASAやESA・欧州各国が分担する予定となっている。

⑦ 社会的価値

天文学の中で、国民が実社会との関わりを感じやすいのが太陽の研究であろう。太陽表面での爆発的磁気活動によって、既に社会インフラとなった気象・通信衛星や発電システム等が影響を受けるほか、太陽磁気活動が弱まった時期に地球が寒冷化したという事実があり、太陽の活動が実社会に与える影響は大きい。このため、これらの研究に大きく寄与するSOLAR-C衛星計画は国民に理解されやすいものであろう。技術的なものとしては、解像度の高い宇宙望遠鏡の設計・製作・検証技術や衛星を指向方向に高精度に安定化する技術などが新たに獲得できる点として挙げられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

原 弘久（自然科学研究機構、国立天文台） hirohisa.hara@nao.ac.jp

LiteBIRD - 熱いビッグバン以前の宇宙を探索する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星

① 計画の概要

宇宙はどのように始まったのだろうか？どのような法則が宇宙を創り、進化させたのだろうか？これらの問いは人類に課せられた最大の知的挑戦である。宇宙は熱い火の玉状態のビッグバンで始まったとされるが、その答えでは不十分であり、研究の最先端は、いまや「ビッグバン以前」を科学の目で捉えようとしている。ビッグバン以前を記述する仮説で最も有力な提案がインフレーション宇宙理論である。インフレーション宇宙理論は原始重力波の存在を予言する。本計画の主目的は、原始重力波を世界に先駆けて観測し、代表的インフレーション宇宙理論を完全に検証することである。そのために、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)という宇宙最古の光に着目する。原始重力波は、CMBの偏光度分布に、他の物理現象では生成し得ない渦状のパターン(原始Bモードと呼ばれる)を刻印する。これを検出するのが最も感度の高い原始重力波発見法である。原始Bモード発見のために、本計画では、60cm程度の小型反射望遠鏡、超低温冷却系、多色超伝導検出器アレイを搭載した小型科学衛星LiteBIRDを開発し、CMBの偏光度を全天にわたり精密観測する。銀河系からの前景放射を分離するため50GHzから320GHzの周波数帯域をカバーし、二年間の観測を行う。JAXAのロケット(H2またはイプシロン)による打ち上げを前提とする。本計画は、宇宙論研究の中心としてのKavli IPMU、衛星開発・試験・打ち上げの中心としてのJAXA、地上におけるCMB観測実績を有し、要素技術開発を推進するKEKの三機関をはじめ、国立天文台、カリフォルニア大学バークレー校など、国内外の研究者のネットワークを構築して推進する。実現に向けて、POLARBEAR-2等の地上CMB観測プロジェクトでLiteBIRDと相補的な科学成果を出しつつ技術実証を行うのも計画の大きな特長である。

② 学術的な意義

インフレーション宇宙理論には種々のモデルが存在する。本計画は代表的インフレーションモデルを完全に検証する事を目的とし、宇宙論、素粒子論、天文学にわたる大きな成果が期待される。

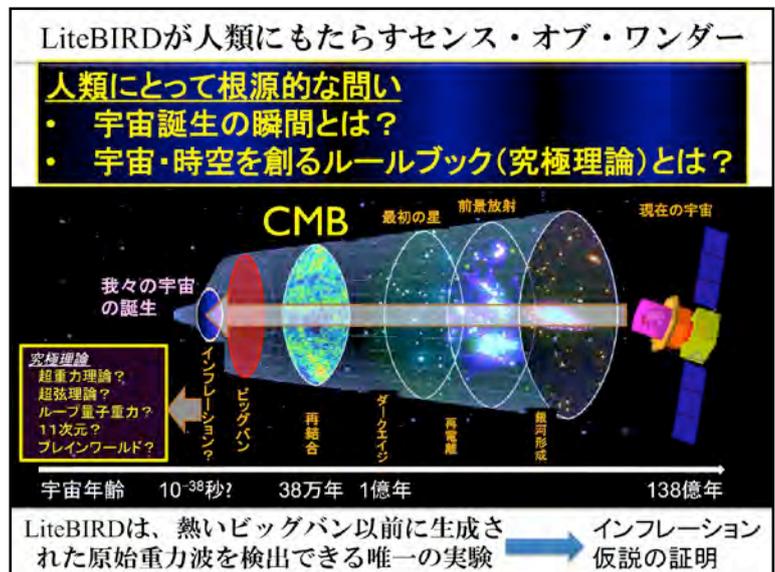
1)宇宙論：インフレーション宇宙理論の検証は現代宇宙論の最重要課題である。理論が予言する原始重力波の痕跡をとらえれば、最も直接的な検証となり、科学史上最大の発見の一つと言われている。宇宙マイクロ波背景放射偏光測定は、最も感度の高い原始重力波探索法である。本計画により、代表的インフレーションモデルが予言する原始重力波強度の下限(テンソル・スカラー比 $r=0.002$)まで探索が完了する。原始重力波が検出されれば、インフラトン(インフレーションを起こす新粒子)のポテンシャルエネルギーが決定される。検出されない場合は代表的モデルが棄却されるため、宇宙論に深刻な打撃を与える。他の観測との相乗効果も大きく、宇宙論パラメータ空間(例えば r と原始ティルト n_s)で各インフレーションモデルの有意性が検証出来る。予期せぬ発見があれば宇宙に始まりがあるというパラダイムが変更を迫られる可能性すらある。

2)素粒子論：インフレーションの背後にある量子重力理論としては、超弦理論をはじめとするいくつかの候補があり、原始重力波の強度の異なる予言値を与える。原始重力波の検出は、これらの究極理論候補の選別を可能とする現在唯一の手段であり、重力理論と量子論の統一という素粒子物理最大の目標に対して大きな意義を持つ。

3)天文学：銀河系・銀河系ハロー・局所銀河群磁場の構造及び起源の解明、星間ダスト組成分布及び整列機構の解明、宇宙再電離史の詳細決定と再電離機構の解明、Galactic Haze emissionの起源の解明、超高精度ミリ波サブミリ波偏光全天探査によるセレンディピタスな発見などが期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

我が国には本格的な宇宙マイクロ波背景放射(CMB)偏光観測プロジェクトが存在しなかったが、平成21年度より科学研究費補助金新学術領域「背景放射で拓く宇宙創成の物理」(領域番号2110)が開始され、KEKのグループは現在CMB偏光の地上観測で世界最高レベルの観測結果を出すところまで成長した。衛星によるCMB観測では、欧州を中心としたPlanck衛星のデータ解析が進んでいるが、偏光に対する感度は不十分である。それを凌駕するものとして、KEKが主導して進めるPOLARBEAR-2等の地上観測プロジェクトや、気球実験も進行中である。しかし、大気のゆらぎによる限界や全天観測の困難さのため、究極の観測にはCMB偏光に特化した人工衛星が必須となる。現在、米国では中型衛星EPICや比較的小型のPIXIEが検討されている。欧州ではPlanckの成果を得た後に、新しい衛星の提案が予定されている。いずれも計画段階で、打ち上げは2020年代半ばになる可能性が高い。従ってLiteBIRDを世界に先駆けて打ち上げるチャンスは十分にある。一方、国際競争があることも事実であり、計画の緊急性は高い。



④ 所要経費

初期投資： 約 15 億円
 開発費： 約 50 億円
 運営費： 約 5 億円
 合計： 約 70 億円

備考：より精度の高い予算見積もりを実施予定である。

⑤ 年次計画

平成 25 年度：焦点面検出器等の要素技術開発と地上実証実験を推進する。システム開発仕様書を仮制定し、ミッション定義審査を経て概念設計を開始し、システム実現可能性の検討を行い、システム要求書、概念設計報告書をまとめる。

平成 26 年度：システム要求審査を経て計画決定の手続きに入る。システム定義審査、プロジェクト移行審査を経てブレッドボードモデルの製作、基本設計を行う。実現性を確認し、システム仕様書、プロジェクト計画書をまとめる。

平成 27 年度～：基本設計審査を経てシステム、サブシステムおよびコンポーネントの詳細設計を行い、エンジニアリングモデルの製作、実機よりも厳しい環境下において試験を行う。試験結果をもとに設計を確定する。

平成 29 年度～：詳細設計審査を経て、確立された設計、製造工程、試験計画に基づきプロトタイプモデルとしてのコンポーネント、サブシステム、システム機器の製作、インテグレーション、試験を行う。

平成 32 年度：打ち上げ移行前審査を経て衛星を打ち上げる。

平成 33 年度：初期運用、観測機器調整、性能確認を経て、本格的観測を開始する。

平成 34 年度：観測機器の較正を行いつつ、観測を継続する。年度の終わりに観測を完了する。

平成 35 年度～：観測機器の較正を完了し、高いレベルでのデータの正当性のチェックを進めていく。

平成 37 年度：原始重力波の探索に関する最終結果を発表する。データの公開を行い、広く天文・宇宙・素粒子研究に供する。

備考：平成 26 年度以降は、最も早く実現する場合を衛星開発のフェーズに従って述べた。

⑥ 主な実施機関と実行組織

機関名	役割
Kavli IPMU	データ解析パイプラインの構築、データ解析、キャリブレーション
KEK	地上観測での技術実証、ミッション部設計・開発・試験
JAXA	プロジェクトマネジメント、全体設計・開発、実証試験、打ち上げ、運用
その他参加機関*	ミッション部設計・開発・試験

* 国立天文台、カリフォルニア大学、マギル大学、マックスプランク天文学研究所、理化学研究所、岡山大学等、現在 LiteBIRD ワーキンググループに参加している機関

備考：JAXA の科学衛星計画は、ワーキンググループにより検討された提案を宇宙理（工）学委員会がピア・レビューにより評価・選定し、次期計画候補を宇宙科学研究所長に諮問した後に JAXA から文部科学省に概算要求項目として提出される。従って、基本的には実行組織は JAXA であり、プロジェクトマネージャーおよびプロジェクトサイエンティストは JAXA で設定される（プロジェクトサイエンティストは JAXA 外の人を選定されることもある）。観測装置は、プロジェクトサイエンティストの下、大学共同利用や国際協力の枠組みによって開発され、種々の開発モデルが製作される。LiteBIRD は、これまで、宇宙理学委員会・小型科学衛星専門委員会の下でのワーキンググループとして活動してきた。平成 25 年 3 月 31 日現在、グループメンバー総数は 64 名である。JAXA におけるプロジェクト準備段階移行（プリプロジェクト化）と前後して、実施の中心となる機関は JAXA 宇宙科学研究所へ移り実行組織が再編成される。JAXA 宇宙科学研究所では、LiteBIRD の科学目標が、宇宙からの天文学、宇宙物理学の最重要課題の一つと認識しており、将来進めるべきミッションの一つとして、技術ロードマップ等に記載している。

⑦ 社会的価値

宇宙はどのように始まったか？この誰もが持つ疑問に答えるのは、実は大変難しい事がわかっている。ビッグバンからわずか 38 万年後の宇宙を宇宙マイクロ波背景放射（CMB）によって見る事が出来るというだけで、すでに驚嘆すべき事である。LiteBIRD は、CMB の偏光観測により、宇宙史をさらに遙かにさかのぼり、ビッグバン（熱い火の玉宇宙）以前の信号を検出することを目指す。これは国民に大きな夢を与える文化事業である。CMB の偏光観測により原始重力波の存在を発見すれば、人類にとってその知的価値は計り知れないものであり、そのような知的価値を日本主導で供給できれば、国民に大きな自信と誇りをもたらす。以上の理由から、科学技術立国を目指す日本の重要なプロジェクトとして、広く国民の理解を得る事ができる。LiteBIRD の成功には超伝導検出器アレイの開発が必須である。この技術のイメージングへの応用は、学術分野にとどまらず、健康診断、国防、災害時の使用など、幅広い利用が検討されている。量産には冷却技術の簡便化等の技術的課題があるが、将来的に大きな経済波及効果を持ちうる。

⑧ 本計画に関する連絡先

羽澄 昌史（高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所） masashi.hazumi@kek.jp

計画の概要 LiteBIRD - Lite (Light) Satellite for the Studies of B-mode Polarization and Inflation from Cosmic Background Radiation Detection

衛星システム

- 光学系
 - 回転半波長板による変調
 - クロスドラゴン方式の主鏡
 - 副鏡(直径約60cm)を4ケルビンに保持
- バスシステム
 - データ取得系
 - 制御系
 - 通信系
- 観測
 - 100ミリケルビンに冷却した焦点面に多色超伝導検出器アレイを配置
 - ジュールトムソソソ冷凍機
 - スターリング冷凍機
 - 断熱消磁冷凍機
 - (X線天文学のノウハウ活用)

観測

- 全天CMB偏光サーベイ
- 角度分解能は150GHzに対して30分角
- 50から320 GHzの間で6種類の周波数を観測

戦略

- 緊急度が高くスペースでしか出来ない観測に的を絞り、大きな成果を世界に先駆けて獲得
- 小型光学系と多色焦点面にしり重量・コスト減
- 準備段階では地上観測プロジェクトによってサイエンスの成果を出しつつ技術実証をおこなう
- X線観測人工衛星との技術的連携

所要経費 約70億円

- 初期投資 約15億円
- 開発費 約50億円
- 運営費 約 5億円

注1 打ち上げ費用は含まず
 注2 国際協力による貢献は含まず

年次計画 (凡例:H25 = 平成25年度)

- H25 ミッション要求書
- H26 システム定義審査
- H27～: エンジニアリングモデル、詳細設計
- H29～: フライトモデル、インテグレーション
- H32 打ち上げ (2020年度)
- H33 初期運用、性能確認
- H34～: 本格運用
- H37 原始重力波探索結果発表、データ公開 (2025年度)

主な仕様

- 軌道: 地球周回(高度800km)
- (オプション: ラグランジュ点L2)
- 重量: 約1t
- 電力: 約2kW
- 観測時間: 2年以上
- スピンドレート: 0.1rpm

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の「宇宙史」の本質的な過程を解明することを目指す計画である。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、韓国、台湾が参加し、米国も参加の強い意向を示している。特に欧州の活動は、ESA 長期計画 Cosmic Vision の枠組みの中で進められている。

現在は、「概念設計」を終え、一部「基本設計」に取り掛かっている段階にある。平成 26 年度からの予算化を経て、平成 34 年度に打上げることを目指している。



② 学術的な意義

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、天体の進化の「本質的な過程」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ることができる。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。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

日本は遠赤外線天体観測の重要性に鑑み、IRTS を平成 7 年に、「あかり」衛星を平成 18 年に打上げた。特に「あかり」は、全天の広域サーベイ観測を行い、130 万個と言う膨大な数の天体カタログを作製した。SPICA は、これら天体の詳細観測を行うものであり、日本の今までの成果を戦略的に発展させるものである。

国際的にも、多くの遠赤外線ミッションが今まで実行されてきたが、SPICA は、そのどれよりも感度・空間分解能が画期的に向上している。SPICA のような次世代の赤外線天文衛星の実現のためには、日本独自の冷却技術が必要である。そのため、次世代の遠赤外線天文衛星としては、世界のコミュニティが団結して、SPICA を実現しようとしている。

さらに、SPICA は、日本が進める次世代の天体観測装置 ALMA、TMT と密接な関係にある。ALMA は天体形成の「材料」（星間物質）を、TMT はその「結果」（星・惑星）を解明するのに適している。SPICA は、材料と結果を結ぶ重要な「過程」を解明し、天体形成のジグソーパズルを完成させる。これにより、ALMA、TMT の価値も相乗効果で高まると期待される。

④ 所要経費

総額：868 億円（概算）

（内訳）日本：538 億円、欧州：290 億円（概算）、韓国：20 億円（概算）、台湾：20 億円（概算）

（日本負担分内訳：衛星開発経費：368 億円、打上げ経費：143 億円（HIIA-204 を想定）、運用経費：27 億円（5 年間、データアーカイブ、ユーザーサポートを含む））

⑤ 年次計画

平成 25 年度： 「リスク低減フェーズ」の終了、計画の最終承認（JAXA プロジェクト移行）

平成 26-27 年度： 基本設計フェーズ

平成 27 年度： 予備設計審査（PDR）

平成 27-28 年度： 詳細設計フェーズ

平成 28 年度： 最終設計審査（CDR）

平成 29-34 年度： 製作試験フェーズ

平成 32 年度： 欧州からのフライトモデルの納入

平成 34 年度： 打上げ

平成 34-39 年度： 観測運用

⑥ 主な実施機関と実行組織

○国内チームの現状

(1) SPICA 計画の開発チームメンバーとして JAXA をはじめとして、東京大学・名古屋大学・国立天文台等約 20 の大学・研究機関から約 100 名が参加している。

(2) SPICA の科学的研究を進めるメンバーとして、国内約 240 名が参加している。

○国内の主たる実施機関

(1) 宇宙航空研究開発機構(JAXA)：計画全体のとりまとめ、衛星システムの開発、焦点面観測装置の開発とりまとめ、冷却部分の開発・製作、打上げ、運用

(2) 東京大学・名古屋大学・大阪大学・京都大学・東北大学・北海道大学・茨城大学・神奈川大学・京都産業大学・神戸大学・愛媛大学・東京工業大学・兵庫県立大学・国立天文台等の大学・研究機関： 個別の大学の得意分野を活かして、焦点面観測装置の個別要素を開発。さらに科学研究プログラムの推進。

特筆すべき役割：東京大学（中間赤外線分光装置の開発、遠赤外線観測装置の欧州との IF 調整）

名古屋大学（コロナグラフ観測装置の開発、望遠鏡の測定方法開発）

京都産業大学（中間赤外線観測装置の光学設計）

○国際役割分担の基本方針

各国の得意分野をもちよることにより、非常にチャレンジングなミッションを、確実に遂行する体制をとる。将来の発展をみこし、欧米のみならずアジアとの協力も進める

○国外の主たる実施機関と役割分担

欧州宇宙機構（ESA）：SPICA 望遠鏡の開発、地上局サポート、欧州ユーザーサポート

SPICA 欧州観測装置コンソーシアム（14 カ国）：遠赤外線観測装置 SAFARI の開発、中心機関はオランダ宇宙科学研究所（SRON）

韓国：韓国国立天文台(KASI)、ソウル大学等（SNU）：焦点面観測装置 FPC の開発

台湾：中央研究院・天文及天体物理研究所(ASIAA)：中間赤外線観測装置 MCS の開発への参加

米国：NASA 等（観測装置の一部、オプション）

⑦ 社会的価値

SPICA のような先端的な宇宙開発プロジェクトを進めることは、すでに述べたように、宇宙開発全体をけん引するのみならず、より広い範囲で日本の産業基盤の維持、産業競争力の強化に繋がる。例えば、SPICA で開発された冷凍機技術は、地上の医療機器にもつながる技術である。

さらに、SPICA のような挑戦的なミッションに取り組むことは、将来の日本をになう優秀な人材を育てることに直結する。

SPICA の成果は、人類共通の宝であり、国民の知的好奇心を鼓舞するとともに、国民に対して成果の普及、理解の増進をはかり、先端科学・技術基盤の強化、人材育成や未来を担う青少年たちへの教育活動に貢献する。科学技術は我が国の可能性を拓ける国力の源泉であり、世界をリードする科学成果の創出と先端科学技術の獲得により、科学技術立国としての地位向上に大きく寄与する。

以上のように、SPICA は人類を牽引する学術研究・科学技術のブレークスルーを起こすプロジェクトであり、科学技術立国たる日本が国家の品格を保ち、主導する、我が国のフラッグシップミッションと位置付けられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

中川 貴雄（宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所） nakagawa@ir.isas.jaxa.jp

南極望遠鏡計画

① 計画の概要

南極大陸内陸部にある日本の国立極地研究所ドームふじ基地に(1)口径 10m テラヘルツ望遠鏡(筑波大学中心)と(2)口径 2.5m 赤外線望遠鏡(東北大学中心)を設置してサブミリ波～テラヘルツ波～赤外線による南天の掃天観測を行い、暗黒銀河の探査と銀河形成進化を明らかにする。

ドームふじ基地は昭和基地から約 1000km 内陸側にあり、標高が 3800m (気圧換算標高は冬期約 4300m) で気温が -20°C ～ -80°C の極寒の地である。宇宙からの電波～赤外線を吸収する大気中の水蒸気が極めて少なく、また大気の熱放射が極端に少ない。そのため当該波長において地上で最高の天文観測環境にあり、テラヘルツ波や赤外線の多数の波長域では地上で唯一、観測が可能である。またシーイングも良く、可視光で $0.2''$ 以下になることもある。人工衛星搭載望遠鏡に比べて大型望遠鏡の設置が可能、経費が安価、最新の観測装置を搭載可能、装置の更新が容易、故障しても修理が可能などの長所がある。

ドームふじ基地に高床式の新越冬建物を建設したあと(国立極地研究所担当)、耐低温化した当該高精度望遠鏡を建設し、本計画で開発する大規模な高感度電波カメラと赤外線カメラを搭載して超広視野の観測を可能とする。それによって当該波長域で南天全体の掃天観測を世界で初めて行い「暗黒銀河」の解明を行う。観測は日本から遠隔操作で行うが保守や故障時の修理等のために毎年数名が現地滞留して越冬観測を行う。基地を維持するための設営隊は別途国立極地研究所により手当される。

② 学術的な意義

遠方宇宙にある銀河の観測は主として大型光学望遠鏡を用いた可視光観測により近年世界中で精力的に行われている。それによると再電離された宇宙の状態と理論から必要とされる宇宙の銀河の数の約3割しか見つかっていない。残りの7割の銀河は行方不明である。この「暗黒銀河」問題は最近の天文学における大きな謎とされているが、銀河内の固体微粒子(ダスト)によって可視光では銀河が隠されて見えない可能性もある。しかし、ダストよりも波長の長い赤外線や電波ではダストをすり抜けて銀河の外に出ることができる。実際、最近、可視光では見えないが電波では見えている銀河も発見されている。そのため、電波や赤外線観測すれば可視光では見えなかった暗黒銀河が多数発見される可能性がある。

銀河は一般に赤外線でも最も明るく輝いている。遠方宇宙にある銀河は宇宙の膨張に伴って我々から遠ざかっているためドップラー効果により、銀河から放射された赤外線は地上で観測するときにはそのスペクトルのピークがテラヘルツからサブミリ波に赤方遷移する。従って遠方宇宙にある銀河を探査するにはこれらの波長帯が最良である。一方、検出された銀河の距離の決定や温度などの物理量を求めるためにはスペクトルのピークの両側を含む全スペクトルの観測が必要である。本計画では10m テラヘルツ望遠鏡によってサブミリ波・テラヘルツ波の波長域を観測し、2.5m 赤外線望遠鏡で遠赤外線～近赤外線の波長域を観測して合わせて銀河の全スペクトルを決定する。これにより暗黒銀河の探査と性質の解明を行い、この大問題の謎に迫る。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

(1)南極では米国が南極点のアムンゼン・スコット基地に2007年から口径10m ミリ波望遠鏡を設置して観測を行っている。しかし、南極点の標高は2835mと低く、大気中の水蒸気が多いなどでテラヘルツ波～赤外線の観測には向かない。そのため、2011年より、より標高の高い場所のサイト調査を開始した。

(2)中国はドームA基地(標高4090m)に口径5m テラヘルツ望遠鏡と口径2.5m 光赤外線望遠鏡を建設する計画を持っており、2020年観測開始を目標としている。しかし、越冬はせず、冬期は遠隔操作による観測だけである。ドームAの観測環境はドームふじと同程度である。

④ 所要経費

(1)口径10m テラヘルツ望遠鏡

(第1期:2014~2018; 国内仮組まで)

・アンテナ	6.3 億円
・電波カメラ	2.8
・ヘテロダイン受信機	2.1
・電波分光計	0.2
・気象観測装置	0.1
・仮設テント倉庫	0.3
・研究員等雇用経費	1.2
・旅費会議費等	0.3
合計	13.3

(第2期:2019~2023; 現地組立・観測)

合計 5.6

(2)口径2.5m 赤外線望遠鏡

(第1期:2014~2018; 国内仮組まで)

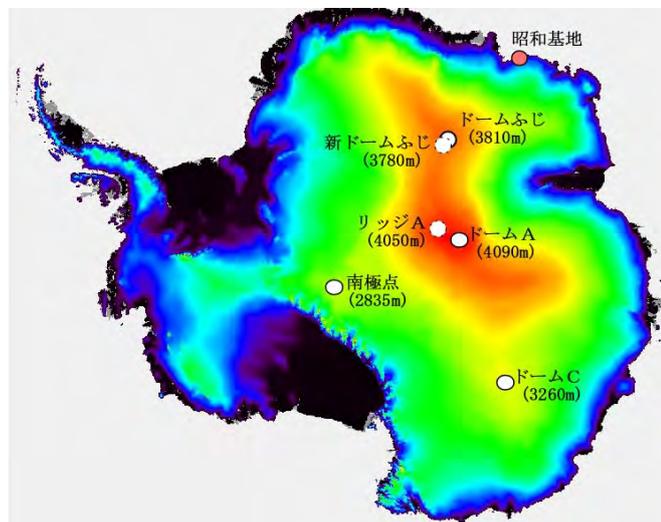


図1. 南極大陸の(新)ドームふじ基地等

・超軽量望遠鏡架台	1.5 億円
・2.5m 光学系	2.0
・観測ドーム	1.0
・赤外線撮像分光装置	1.5
・研究員等雇用経費	0.5
・旅費会議費等	0.3
合計	6.8
(第2期：2019~2023；現地組立・観測)	
合計	1.5
総計	27.2 億円



図2. 計画中の南極10m テラヘルツ望遠鏡 (左) と南極2.5m 赤外線望遠鏡(右)

⑤ 年次計画

- 輸送力増強と基地建物建設 (国立極地研究所担当)
 - ～2017 輸送力増強 (新型雪上車、新規雪上トラクター等)
 - 2018, 2019 現地建物建設
 - 2020～ 越冬
- 口径10m テラヘルツ望遠鏡 (筑波大学等)
 - 2014~2018 設計・製作・国内仮組・試験
 - 2019~2020 ドームふじ現地組立・調整試験
 - 2021～ 観測
- 口径2.5m 赤外線望遠鏡 (東北大学等)
 - 2014~2018 設計・製作・国内仮組・試験
 - 2019~2020 ドームふじ現地組立・調整試験
 - 2021～ 観測

⑥ 主な実施機関と実行組織

南極天文コンソーシアム (2005 結成) が協力して2つの望遠鏡を開発製作する。主たる実施担当は以下のとおり。

- 口径10m テラヘルツ望遠鏡
 - 筑波大学 (代表)・・・研究の統括、アンテナの開発製作、ヘテロダイン受信機開発製作
 - 東北大学・・・・・・低温対策技術の開発
 - 京都大学・・・・・・アンテナの開発
 - 国立天文台・・・・・・電波カメラの開発製作
 - 埼玉大学・・・・・・電波カメラの開発製作
 - 立教大学・・・・・・低温対策技術の開発
 - 国立極地研究所・・・輸送力増強、建物建設、低温対策、アンテナ基礎製作
- 口径2.5m 赤外線望遠鏡
 - 東北大学 (代表)・・・研究の統括、望遠鏡の開発製作、赤外線撮像分光装置の開発製作
 - 筑波大学・・・・・・低温対策の開発
 - 国立天文台・・・・・・赤外線撮像分光装置の開発製作
 - 立教大学・・・・・・低温対策技術の開発
 - 国立極地研究所・・・輸送力増強、建物建設、低温対策、望遠鏡基礎製作

⑦ 社会的価値

南極観測および天文観測はともに一般国民の関心が高く、知的探究心を刺激するものであり、天文や南極に関連するニュースは常に人々の耳目を集める。その両者を組み合わせた南極天文学の推進は極めて関心を持たれ、2007年以降10回以上の新聞記事となっている。またNHKの海外向け放送でもニュースとして放送されている。これまでに宇宙関係の講演会や社会的貢献のためのイベントを多く開催してきたが、常に多数の一般市民、小中学校の生徒の関心を集めてきた。

研究の主目的である暗黒銀河問題の解明は、宇宙の構造と歴史および人類の誕生の源である生命物質や星惑星系形成の解明に結びつき、我々人間や生命の起源に直結する根源的な問題であり人類にとっての意義は極めて大きい。また赤外線観測技術による生命生存の可能性のある太陽系外の惑星の発見に向けた研究は人類の存在理由を知る究極の課題として社会の関心を集めている。

望遠鏡を自ら独自開発することによって若手人材の育成をはかり、天文学分野のみならず一般企業や会社さらに学校教育における有用な人材の供給となる。

⑧ 本計画に関する連絡先

中井 直正 (筑波大学数理解物質系物理学域) nakai@physics.px.tsukuba.ac.jp

機動的多元的海洋観測体制の確立と運用

① 計画の概要

日本の排他的経済水域を含む太平洋の全域を対象とした自動観測網と次世代型大型研究船という、相補的な役割を持つ 2 大プラットフォームからなる革新的観測体制を世界に先駆けて構築する。自動観測網は物理、化学、生物におよぶ多元的ハイビジョン観測を行うことを目的とし、大型研究船は重点海域における基礎的あるいは戦略的プロセス研究を担う。まず、近年海洋表層と中層の物理モニタリングを可能にしたプロファイリングフロート観測網を、深層および化学・生物分野に拡張する。フロート等の自動測器に搭載する化学・生物センサー（溶存酸素、二酸化炭素、栄養塩、クロロフィル、プランクトン等）と、船舶観測に基づくセンサーデータの品質管理システムを開発したのち、これらセンサーを搭載した自動測器 600 台を太平洋全域に緯度経度 5 度の平均間隔で展開して表層および中層の時系列観測を行う。また、2000 m 以深を測定する大深度型自動測器 150 台を太平洋全域に 10 度間隔で展開して深層の変動と変化を描き出す。これに加え、環境条件を自在に制御できる培養・飼育装置群、細胞・生物画像解析装置群、各種の生物・化学分析機器群といった高度な設備をもつ高速大型研究船を建造する。この研究船は、超高解像度海洋モデリングやデータ同化との連携のもと、重点海域において生物、海水、底泥試料を採取し、超高速遺伝子解析技術による環境ゲノム解析、高性能質量分析計による同位体解析などを行い、センサー群や既存の観測では取得できない生物多様性や海洋の機能情報を準リアルタイムで提供する。以上の革新的 2 大観測プラットフォームと衛星、船舶、漂流ブイ、係留ブイ、潮位計といった既存の観測の連携により多次元的なデータを得るとともに、得られたデータを大型計算機と同化手法により最適化し、物理・化学・生物パラメータの大規模変動と変化を明らかにする。

② 学術的な意義

海は地球表面の 7 割を占め、水産、鉱物、観光資源等の経済的価値に加え、地球システムと生命の存在基盤として、人類にとって計り知れない普遍的価値を有している。しかし、今日でも、広大で多くが闇に包まれた海の姿は、その一部が明らかにされたに過ぎない。特に最大の海洋である太平洋は、気候や生物多様性の点で特に重要であるが、環太平洋先進国は限られ、観測・研究資源の不足は否めない。海洋システムでは、大気海洋相互作用、海洋大循環、物質循環、生物間相互作用などの各構成要素が複雑に相互作用し、1つの擾乱が非線形のシステム挙動をもたらす。この巨大で複雑なフィードバック系の全体像を解明し、気候変動や生態系破壊など人類の生存基盤に深く関わる問題についての確かな将来予測を行う必要がある。

本計画では、様々な海洋観測技術の開発を加速し、船舶観測と自動観測を統合した大規模観測体制により、断片的、離散的であった太平洋の海洋像を一新し、その気候への影響や潜在的価値を明らかにする。大気海洋相互作用については、熱帯域や中高緯度域の海洋が大気に及ぼすエネルギー・物質的な影響を解明し、エルニーニョや北太平洋十年振動に代表される大規模変動の理解を深める。海洋表層と中層については、台風通過のような突発的イベントから、季節・経年変動、長期変動に至る様々な時間スケールの変動が、乱流スケールから大洋規模までの様々な空間スケールの諸現象を通じて、物質循環、生物生産、生物資源変動に与える影響を明らかにする。さらに、未解明の深層循環とその変動、特に深層水が形成される極域海洋における近年の変化とその影響を明らかにする。海洋生態系については、生物多様性と機能を船舶観測と先端的解析手法により明らかにし、物質循環への影響や、気象、気候へのフィードバック過程を解明するとともに、二酸化炭素吸収など海洋の持つ環境調整能力の価値を算出する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

2000 年以降、国際アルゴ計画のもと、水温・塩分センサーを搭載した表・中層観測用フロートが全球海洋に 3000 台展開されてきた。それに加えて現在、化学・生物センサーの開発が各国で進められており、一部で溶存酸素、クロロフィル、硝酸塩センサー搭載フロートや大深度型フロートを使った観測が実施、計画されている。本計画により太平洋において物理・化学・生物の多元的自動観測網と取得データの同化システムが完成すれば、アルゴ計画によって成し遂げられた海洋内部のモニタリング体制がさらに飛躍的に発展し、日本は世界を大きくリードすることになる。また近年、気候変動とそれに伴う物質循環システムの変化、生物資源変動メカニズムの解明を目的として、学際的なプロセス研究が盛んに行われている。多元的自動観測網の構築に加え、高度な分析設備を備えた大型研究船を建造することにより、あらゆる海洋データが洋上でほぼリアルタイムで入手できる体制が構築され、世界にも例のない、全く新しいスタイルの海洋観測、研究体制が誕生する。データ蓄積と研究成果の統合スピードが飛躍的に上昇し、海洋に関わる学際的な研究が大いに加速することが期待される。

④ 所要経費

研究船の建造に 300 億円、自動観測網の構築等に 200 億円、計 500 億円を要する。内訳は以下の通り。

- ・次世代型大型研究船 (5,000 t) の建造 300 億円
- ・表・中層用自動測器 120 億円 (1000 万円×600 台×2 セット)
- ・大深度型自動測器 18 億円 (1200 万円×150 台×1 セット)
- ・フロート投入用船舶チャーター費 3 億円 (100 万円×100 日×3 回)
- ・フロート観測用衛星通信費 9 億円 (20 万円× (600 台×6 年+150 台×5 年))
- ・フロート本体およびセンサー開発費 5 億円 (1 億円×5 年)

- ・フロートデータ管理システム構築・運用費 5 億円 (5000 万円×10 年)
- ・データ同化システム構築・運用費 20 億円 (2 億円×10 年)
- ・研究費 20 億円 (2 億円×10 年)

⑤ 年次計画

1～4 年度目：1～2 年度目で大型研究船を建造し、3 年度目から重点海域におけるプロセス観測を開始する。船舶に搭載した各種分析機器による分析精度の検証、船上分析のための諸条件の検討、機器の改良を行う。また、小型の化学・生物センサーの開発を行い、自動測器（現状ではフロートを想定）に搭載してテスト投入を行い、船舶観測との比較を通じてセンサーの精度・安定性向上を図る。テスト観測の結果や既存のデータを用いてデータ品質管理手法を開発するとともに、マルチパラメータに対応した同化システムを構築する。

5～7 年度目：大型研究船で化学・生物センサーを搭載したフロート 600 台を太平洋全域に緯度経度 5 度間隔で展開するとともに、多様性解析用生物試料や高精度化学分析用試料などセンサー群や既存の観測では取得できない情報を得るための試料採集、および各種飼育、培養実験などを行う。得られたデータを船舶・衛星データなどとともに最適化して 4 次元データセットを作成し、表・中層の物理・化学・生物の大規模変動を明らかにする。さらに渦やフロントなど細かい時空間スケールのプロセスを船舶観測により解明するとともに、フロート搭載センサーの安定性を調査する。それらの結果からデータ品質手法を改善し、各海域におけるフロート観測の最適な密度・頻度を決定する。6 年度目には大深度型フロート 150 台を太平洋全域に緯度経度 10 度の間隔で展開して 5 年間の観測を開始する。

8～10 年度目：表・中層観測用フロート 600 台を太平洋全域に最適配置で再展開して 3 年間の観測を行う。フロート観測および同化データが示す物理、化学、生物パラメータの変動に基づき把握された重要海域（代表海域、多様性ホットスポット、変化顕在化海域など）において研究航海を実施する。大深度型フロートの測定データについても同化を行い、深層の変動とそのメカニズムを解明する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

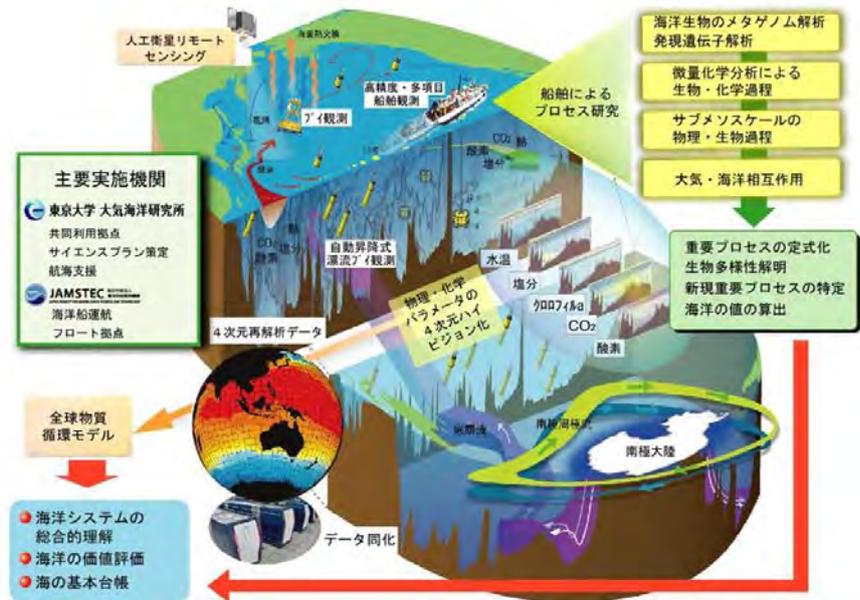
東京大学（大気海洋研究所他）と海洋研究開発機構が中心となって実施する。研究船の運航と観測の実施に関しては東京大学と海洋研究開発機構が、自動測器による観測網の構築とそれに必要なセンサー開発およびデータ品質管理システム構築については海洋研究開発機構、東京大学、北海道大学、東北大学が、データ同化については海洋研究開発機構が中心となって実施する。研究面では、自動観測データや最適化データの解析による物理・化学・生物の大規模変動の解明を北海道大学、東北大学、東京大学、東京海洋大学、海洋研究開発機構、東海大学、名古屋大学、九州大学が、船舶観測やデータ解析、モデリングに基づく大気海洋相互作用とそれに伴う物理・化学プロセスの解明を北海道大学、東北大学、東京大学、東京海洋大学、海洋研究開発機構、東海大学、名古屋大学、三重大学、京都大学、愛媛大学、九州大学、鹿児島大学が担当する。大型研究船を用いた重点海域における基礎的あるいは戦略的プロセス研究については、全国共同利用システムのもと、各大学と海洋研究開発機構が実施する。また、その他の独立行政法人や水産庁・気象庁・海上保安庁などの官庁にも連携と協力を求め、オールジャパンの実施体制を構築する。

⑦ 社会的価値

本計画は、海洋基本計画に述べられている科学的知見の充実を目指す海洋調査の推進や、海洋に関する国民の理解の増進と人材育成に対して、直接的に貢献する。具体的には、知見や観測密度の少ない外洋域の多元的高精度観測や新しいプロセスの解明が進むことによって、海洋の利用価値（水産生物生産など）および非利用価値（環境調整能力など）を算出する科学的根拠が示される。また、二酸化炭素吸収技術としての海洋鉄散布などの地球工学的手法、海上風力発電や潮流発電などの再生可能エネルギー開発、さらには海底鉱物資源開発といった海洋利用の是非などを議論する土台を新たに提示することによって、施策決定の根拠となりうるとともに環境経済学、国際法学にも大きく貢献する。さらに、顕在化してきた地球温暖化、気候変動、海洋酸性化・貧酸素化等の科学的影響評価や予測検証、および海洋生態系の変化の早期発見などが可能となり、啓発活動を通じた国民の理解や、気候変動枠組条約や生物多様性条約の締約国会議の目標設定への科学的貢献を通じて、自然と共生する持続可能な地域社会・国際社会づくりに貢献する。漂流や汚染などの緊急事態に対しても適切な対応が可能となる。

⑧ 本計画に関する連絡先

植松 光夫（東京大学大気海洋研究所） uematsu@aori.u-tokyo.ac.jp



本計画の概念図

気候変動予測連携研究拠点

① 計画の概要

気候のコンピュータモデルによる気候変動予測を行い、予測情報を社会に提供する。現在個別プロジェクトで行われているモデリング、予測システム研究等の活動を有機的に統合し、予測情報に基づいた地球温暖化等の気候環境変動への適応、緩和策の策定等、意思決定のルーチン化を図る。

2007年のIPCC第4次評価報告書以降、コンピュータモデルによる気候変動予測結果が水文、農業、水産等広範な分野での施策、政策決定に用いるに足ることが証明された。地球シミュレータの登場により、我が国の気候変動研究も世界をリードする立場を確保できた。しかし、現状では、気候変動予測実験とそのための計算及び人的資源は、短期的な研究プロジェクトによるサポートによってのみ可能な状態である。気候科学は、急速な進展の途上であり、その最新成果と変遷する気候システムの実情を取り入れた最新の予測情報が提供されることが必要であり、本拠点がその責任機関の役割を果たす。

衛星等による気候・地球環境の観測データを気候モデルに取り入れ、最新の初期値から、年々～数十年以上先の自然および人為要因による気候・環境変動を予測するシステムを構築する。このシステムは、全国の研究者による自由な発想を取り入れることのできる研究プラットフォームとして構築し、最新知見を反映した気候・地球環境の監視・予測システムとして機能させる。グローバルな気候変動のみならず、局地的な極端気象、異常天候等の監視およびそれらに対する人為要因の寄与とその予測を可能にする。

施設として、専用の大型計算機と観測データおよび予測結果の処理、蓄積を可能とする施設およびネットワーク整備が必要である。さらに、進化する科学知見を予測システムに取り入れるため、観測、モデリング等の公募型研究をサポートする必要がある。

② 学術的な意義

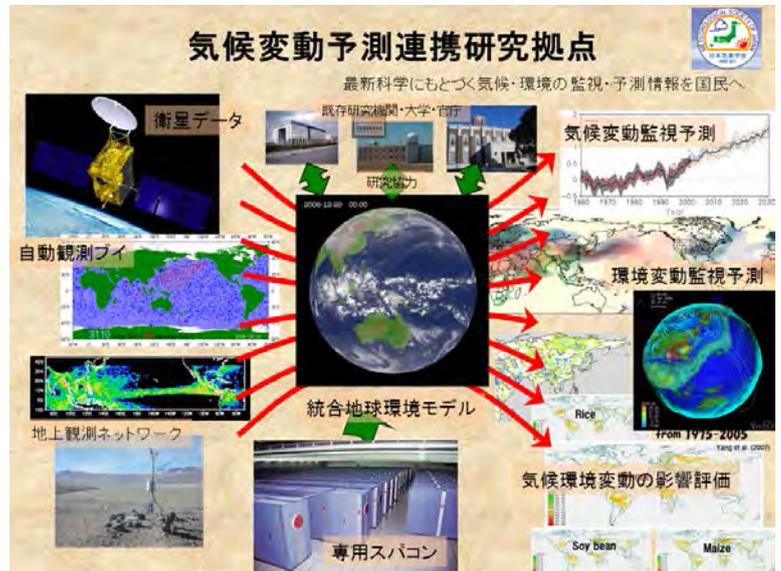
地球シミュレータの登場により、雲解像大気モデルや渦解像海洋モデルの予測モデルへの実装が、世界的にも注目を集めており、日本は現在世界の最先端にいる。従来の温暖化予測に観測データによる初期値化を加えた近未来予測も試みられた。また、気候モデルは、大気海洋のみならず、地球化学的過程を含め、炭素等の物質循環を評価できる地球システムモデルとして進化しつつある。このような新しい科学的成果を、単に「可能性の提示」にとどめず、社会への気候・環境予測情報の提供という形で実現させる仕組みの構築は、気候変動への適応、緩和という人類喫緊の課題に対し、わが国のイニシアチブを示す絶好の機会である。地球シミュレータを用いた気候予測実験の結果は、すでに多数の国で気候変動の影響評価研究に用いられており、今回の計画において高解像近未来予測や炭素循環モデルによる可能排出シナリオ等の予測プロダクトが提示されれば、世界的にも一層の注目を集めることとなる。また、予測研究プラットフォームは、観測プロジェクトと連携して台風や集中豪雨などの災害をもたらす極端気象現象や環境変動予測の可能性を広げるものであり、全国の研究者の自由な発想に基づく叡智を集約することによって、新たな気候科学研究の地平を開き、気象・気候情報の社会への応用を促進することが期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

地球シミュレータの登場により、日本の気候モデリングの水準は一気に世界のトップレベルに引き上げられたが、IPCC水準の地球温暖化実験の分量は、最早国内研究機関保有の計算機では賅えないレベルに達しており、わが国では、温暖化予測の実施は公募型のプロジェクト予算の成否に依存する状態になっている。予測等の研究成果を統合し、政策担当局や社会・産業界に対して、必要とされる最新の気候予測情報を提供する責任機関の設定にも至っていない。諸外国においては、温暖化予測はモデル開発資源（計算及び人的）を有する国立研究機関が責任機関として行うのが常である。本計画は、計算機技術もモデル技術も高いレベルを達成したわが国がそれに相応しい気候予測センターを立ち上げ、持続的に世界をリードするとともに、社会に研究・予測成果を還元する仕組みを構築する意義がある。現在、Future Earthの名のもとに国際的な地球環境変化研究の新しい枠組みが推進されようとしている。そこで目指す持続的な発展を可能とする未来社会の設計、その為の意思決定には、地球環境の将来に対する科学的予測が不可欠であり、本計画もその中核に貢献できるものとする。

④ 所要経費

データ解析・蓄積・公開システム、ネットワーク整備 5億円



大型計算機借料	10億円/年
人件費	2億円/年
プログラム開発等	1億円/年
公募型共同研究費	3億円/年
その他	2億円/年

⑤ 年次計画

初年度：予測システム設計

日本の気候変動予測旗艦システム設計を行う。予測に伴う不確実性の観点から、参画各機関の独自モデルを排除するのではなく、各機関のモデル開発能力を損うことなく共同開発を可能にする体制の構築を行う。

第2年度：予測システム構築

予測プロダクトを創出する予測システムの構築を行う。季節～数十年規模の大気海洋結合予測、百年以上の規模の炭素循環予測、汚染物質移流拡散等の短期予測等、目的に応じて解像度、用いるサブシステム等柔軟な仕様の変更を可能とする。

第3年度：予測システム検証

過去事例の事後予測実験等により、予測システムの性能を検証する。

第4年度：予測情報提供開始

各種予測プロダクトの利用者への提供を開始する。

第5年度以降：予測情報利用促進、予測システム高度化

予測情報の利用支援を行う。観測研究等との連携を含め、新しい科学知見を取り入れた予測システム高度化を行う。

⑥ 主な実施機関と実行組織

気象庁気象研究所（予測システム、モデル、データ同化システム開発）

東京大学大気海洋研究所（モデル開発、予測結果処理）

（独）国立環境研究所（予測結果の社会提供）

（独）海洋研究開発機構（モデル開発、予測実施）

（独）宇宙航空研究開発機構（衛星データ処理、同化）

⑦ 社会的価値

今さら述べるまでもなく、地球温暖化、気候・環境変動に対する国民の関心は高く、政策的にも適応策、緩和策の具体的な立案が急がれている。12. で述べたとおり、2009年の第3回世界気候会議（1979年の1回会議を受けてIPCCが発足したこの分野ではもっとも重要な会議の一つ）でも、気候の季節～数十年の予測情報の社会産業界での有効利用促進が高らかに謳われたところである。しかし、実際には必ずしも気候・気候を専門としない分野での予測情報の有効利用は順調に進んでいるとは言い難い。そもそも予測情報を手に入れにくいこと、また、予測に伴う不確実性の適切な扱い方が、非専門家には分かりにくいこと等によると思われる。予測情報提供とその高度化を組織的に行う体制を整えることが、このような状況を打開し、科学的成果の社会への還元を促進すると考えられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

木本 昌秀（東京大学大気海洋研究所） kimoto@aori.u-tokyo.ac.jp

航空機観測による大気科学・気候システム研究の推進

① 計画の概要

本研究の目的は、地球観測専用の航空機を導入し、大気科学・気候システム研究を飛躍的に推進することである。

地球温暖化を含む地球環境の変動が急速に進行し、人間の経済社会活動や水・食糧供給など生活の基盤に大きな影響を与えつつある。このため、地球環境変動の現状を把握し将来を予測し、対策を講じることが重要である。これらの地球環境問題に対応するには、地上からの観測だけでなく航空機を用いた地球観測システムの構築と、広い分野の研究者が長期的な視点から利用できる航空機の運用体制の確立が必要である。先端的な計測器を用いた航空機による直接観測は、測定項目、精度、時空間分解能の点で優れている。地球規模での観測では人工衛星も重要な役割を果たしている。航空機観測と人工衛星の観測を組み合わせるにより大きな相乗効果が生じる。

また、地震・津波・洪水などの自然災害や原発事故・海洋汚染などの深刻な事故が起きている。このような災害・事故の際に、的確な観測器を搭載して機動的に観測できる体制を構築することが急務である。これにより迅速な対策を講じることが可能になる。また、航空機は最先端の測定機器（人工衛星搭載センサーを含む）の基礎開発・試験のための重要なプラットフォームとなる。

これらの目的を達成するために、国が観測専用機を保有／占有し、大学や各種機関が中心となった研究者組織により、地球観測・監視システムを構築することを提案する。

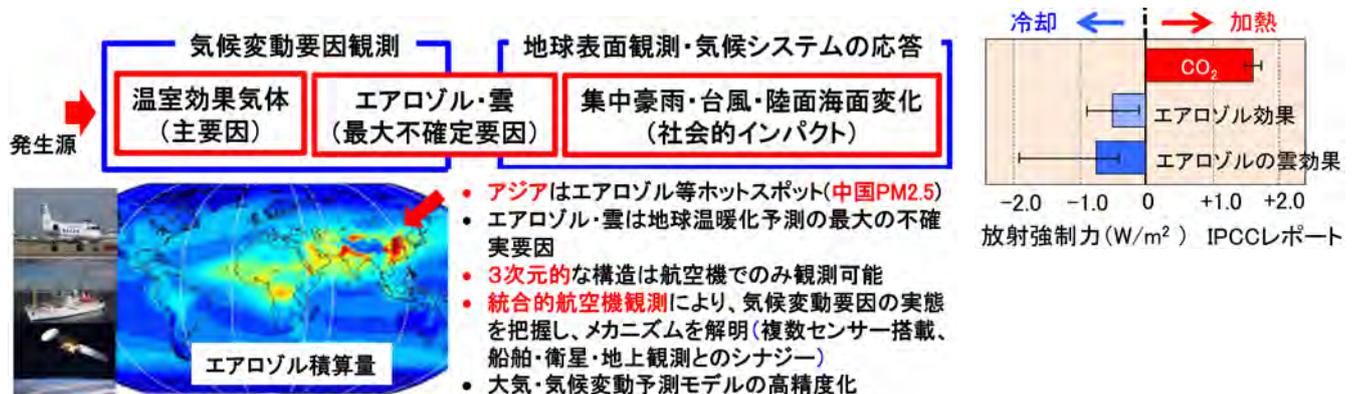
② 学術的な意義

航空機による地球観測は、地球観測サミットを通じて策定された全地球観測システム（GEOSS）においても、人工衛星観測・地上観測ネットワークとの相補性からその重要性が謳われている。欧米の先進諸国は航空機観測システムを構築・運用し大きな成果をあげてきている。一方、国内では大学や国の研究機関が散発的に観測を実施しており個々には成果があがっているが、継続的な観測データは得られていない。航空機観測により学術的成果が期待される重要課題を以下に挙げる。

1. 温室効果気体の変動と循環 : 気候変動と炭素循環の間の（特に生態系の）フィードバックが、二酸化炭素濃度の将来予測の大きな不確定要因である。アジアを中心とした詳細かつ継続的な実態把握により炭素循環とフィードバックを解明する。
2. エアロゾル・雲・降水の相互作用 : 気候変動を引き起こす地球の放射強制力の最大不確定要因は人為起源エアロゾルとその雲・降水影響である。アジアは世界最大のエアロゾル発生域であり、また多様な気象条件があるため、直接観測により広いパラメータレンジでの相互作用メカニズムを解明する。
3. 越境大気汚染 : 対流圏オゾンには農作物など植生に悪影響を与え、また PM2.5 に代表されるエアロゾルは健康への悪影響がある。アジアの越境大気汚染の実態解明と、その発生・輸送・反応過程を解明し、有効な対策策定に資する科学的知見を得る。
4. 台風・集中豪雨・メソ降水システム : 台風や集中豪雨の被害軽減には的確な予測が必要である。また熱帯での降水過程の定量的な理解は、全球気候の変動の理解に極めて重要である。台風や熱帯の雲・降水システムの気象要素を機動的に観測することにより、これらの気象システムの発生・発達機構を解明し、予測精度の向上に貢献する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

人工衛星観測は同一測器でグローバルかつ継続的な観測が可能だが、観測できる物理量が限られ、高度分布が得られないものも多い。地上観測は多くのパラメータを継続的に観測可能であるが、多くの情報は地表面に限られる。このため国際的には航空機観測は、人工衛星、地上観測と並ぶ地球観測の3本柱の一つとして位置づけられている。



アメリカのNASA、NCARやドイツのDLRなどに代表されるように、欧米の先進諸国は航空機観測システムを構築し、20年以上の運用で大きな成果をあげている。一方、日本は競争的資金などにより民間の航空機をプロジェクト毎に利用してきた。しかし、航空機観測の先端的な測定器は、継続的な観測計画に基づいて初めて系統的な開発を進めることが可能となる。このため地球観測を担う若手研究者の育成も十分ではない。現時点では、欧米との対比においてアジアは系統的な航空機観測の空白域である。

本計画では継続的な航空機観測の体制の確立により、世界最先端の測器の開発、若手人材の育成、体系的な地球観測データの蓄積を実現する。このことによりアジアの大気環境変動の観測的研究を飛躍的に推進させる。

④ 所要経費

対流圏の全高度領域を観測可能な観測機として、2015年に初号機が完成予定の国産航空機MRJ (Mitsubishi Regional Jet) などの航空機の保有/占有を想定している。MRJは国産機(三菱航空機)であるために、機体の改修が容易であることも重要な基準である。このレベルの航空機の保有/占有の経費として5年間で45億円必要となる。また各種の地球観測のための航空機の初期改造や検査に7億円、その後の運用に5年間で25億円が必要となる。各種搭載測定器の準備と他機体での試験飛行など、諸経費を含めて7年間の総額で85億円程度必要と見込まれる。

なおMRJよりもかなり小型で、かつ民間企業が現有している航空機(Gulfstream IIなど)を利用した場合には、必要経費は7年間の総額で40億円程度必要と見込まれる。

⑤ 年次計画

1年目:組織立ち上げと計画策定・システム設計

初年度は、航空機観測計画を策定・運用するための航空機共同利用運営委員会、外部から実施状況を評価する評価委員会、これらの組織を機能させるための事務組織を立ち上げる。運営委員会を中心に、長期的な研究・観測計画や利用制度(規定)の策定、それらを実現するためのシステムの設計を実施する。また搭載予定機器の整備・開発や試験飛行などを実施する。

2-3年目:機体の調達と初期改造および試験的運用

機体を調達し、地球観測に必要な初期改造を実施する。本格的な運用へ向けて、各種観測機器を搭載し試験観測を実施する。温室効果気体、エアロゾル・雲・降水相互作用など課題毎に試験観測を実施し、観測機の運用や測定器の整備など多角的に検討を実施する。本格運用の計画を策定し評価委員会の評価を受ける。観測機運用体制および地球大気観測システムを構築する。

4-7年度目 本格的運用

地球観測研究の各課題について、計画に基づき航空機観測を実施する。毎年成果などについて、評価委員会の評価を受ける。また得られたデータはデータベース化し、適宜、外部のユーザーなどに利用してもらう。

現在進行しているアジアの大気環境変動を考えると、一刻も早く、継続的な観測体制の実現が必要である。具体的には、平成25年度に詳細検討を実施し、26年度からの予算化を期待する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

日本気象学会を中心とする地球科学研究コミュニティの科学者の支援のもと、下記の組織の研究者が中心となって運営委員会などの実行組織を形成していく。また航空機観測研究に実績のあるアメリカヨーロッパの有力な研究機関(NASA, NOAA, NCAR, DRL, MPIなど)の研究者にも必要に応じて参加してもらう。

東京大学大気海洋研究所、東京大学理学部、東京大学先端科学技術研究センター、名古屋大学 地球水循環研究センター、東北大学 大気海洋変動観測研究センター、琉球大学、気象庁気象研究所、国立環境研究所、海洋研究開発機構(JAMSTEC)、宇宙航空研究開発機構(JAXA)

これらの組織の編成においては、航空機からの地球観測の目的・観測領域・衛星や地上観測との連携などを十分考慮する。また、観測データを数値モデルの開発・改良に有効に利用するため、数値モデルやデータ解析研究に実績のある研究者にも参画してもらい観測の立案・実施・解析に主体的に参加する体制を作る。

評価委員会は上記の大学や国立研究機関などに加えて、幅広い有識者により組織する。

⑦ 社会的価値

本研究計画で航空機観測により研究を促進させる4つの課題、すなわち、「温室効果気体の変動と循環」、「エアロゾル・雲・降水の相互作用」、「越境大気汚染」、「台風・集中豪雨・メソ気象」に代表される地球大気環境問題・気候変動は、社会・経済システム・国民の生活に直結する重要課題である。本研究はこれらの課題の実態解明と、将来予測の高精度化に重要な貢献をすることが期待できる。これらの科学的知見は、各種対策のための政策の策定の基礎となることにより、長期的な視点において社会に対して極めて重要な貢献となる。この結果、人間の健康と福祉に影響を与える大気環境の改善、気象および人為的な災害による人命や財産の損失の低減、水資源管理や農業生産計画、陸域・沿岸・海洋生態系保護の向上などにおいて貢献が期待される。

さらに地震・津波・洪水などの自然災害や原発事故・海洋汚染などの災害や事故実態調査においても、機動的な航空機観測は国民が必要とするものであり、重要な役割を果たすことが期待できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

新野 宏 (公益社団法人日本気象学会) niino@aori.u-tokyo.ac.jp

衛星による次世代全球地球観測システムの構築

① 計画の概要

世界各国科学者の検討に基づいた科学的観測要求に基づく国際的地球観測の枠組みである地球観測に関する政府間会合（GEO：Group on Earth Observations）及びその宇宙部分の調整を担う地球観測衛星委員会（CEOS：Committee on Earth Observation Satellites）における国際調整に基づき、JAXAが中心となって衛星による全球地球観測システムの構築を進めている。既に構築中の観測システムを継続・発展させるミッションとして、(A)地球規模の気候変動・水循環メカニズム解明を目的とし、全球規模・長期間の観測を2機×3世代の衛星で実現する地球環境変動観測ミッション（GCOM）シリーズ、(B)全球降水の高頻度・高精度観測と降水過程に伴うエネルギー収支の解明に貢献する全球降水観測計画（GPM）と、気候変動予測における大きな不確定要素である雲・エアロゾルとそれらの相互作用による放射収支影響、エアロゾル・雲・降水過程の解明に貢献する雲エアロゾル放射ミッション（EarthCARE）の後継ミッション、(C)大気中の温室効果ガス（CO₂、CH₄）の計測を行い吸収排出量の推定誤差低減等に資する温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）後継ミッションがある。また、重要気候変動観測の高精度化、越境大気汚染などの新たな社会課題に対応する衛星ミッションとして、(D)森林バイオマス量のグローバル分布推定を高精度化する植生ライダー計画、(E)越境大気汚染物質を観測する大気汚染監視計画、(F)海面高度分布計測を行う干渉型海面高度計計画がある。

② 学術的な意義

(A) GCOM シリーズ

構築中の第一期衛星に続き、第二期（GCOM-W2・GCOM-C2）により重要気候変動の観測を継続する。また、高機能化等により水循環・放射収支・炭素収支に関わる重要気候変動の観測精度向上を図る。

(B) GPM・EarthCARE 後継ミッション

GPM・EarthCARE 観測の継続と、エアロゾル・雲・降水過程の総合的理解を目指す。降水は社会利用ニーズも高く、気候変動予測改善における雲・エアロゾル観測の重要性も高い。雲・降水レーダの高機能化により、さらなる観測精度向上を図る。

(C) GOSAT-2

ミッション要求が制定され、実現に向けたセンサハードウェアの試作を実施。実現に向けた開発仕様を定めつつある。環境省においては既に予算要求済みであり、近々開発への移行を目指している。またサイエンスチーム準備委員会を設置し、サイエンスプランを作成中である。

(D) 植生ライダー計画

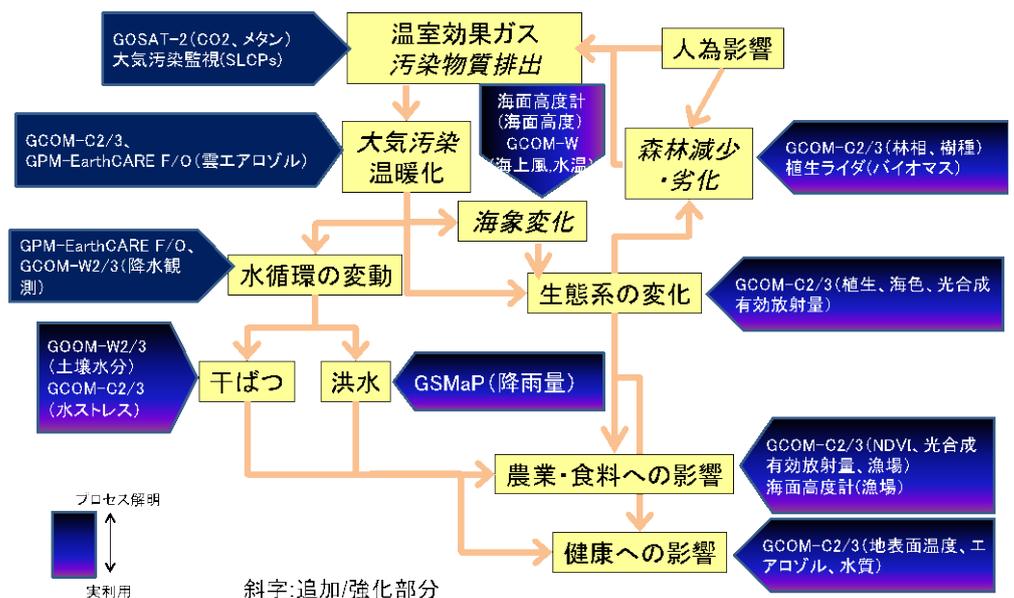
ライダー技術を用いて樹冠高を直接観測し、森林バイオマス推定の高精度化により全球規模の炭素循環把握に貢献する。途上国における森林減少・劣化による温室効果ガスの排出削減の把握・検証などにも活用される。

(E) 大気汚染監視計画

紫外～マイクロ波の同時観測により、対流圏の短寿命気候汚染物質（SLCPs）の全球規模監視を行う。大規模固定発生源の同定によるインベントリ把握や、対流圏オゾンの気候影響と人類健康影響、農作物被害の分離と定量的評価が可能となる。これらにより、今後約20年間の人為起源温暖化の約半分に寄与するSLCPsの排出量削減への貢献を目指す。

(F) 海面高度計計画

干渉型合成開口レーダ技術により面的な海面高度観測を実現し、沿岸域等を含む海域での海流予測の向上、漁場探査に応用できるサブメソスケール渦の可視化、海域依存特性を持つ海面水位上昇予測の高精度化を目指す。



③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国の JPSS および Decadal Survey 計画、欧州の Earth Explorer および Copernicus 計画等、主要衛星観測計画の策定においては、国連機関主導の全球気候観測システム (GCOS) や 各国宇宙機関からなる CEOS において、重複やギャップを極力避ける調整がなされる。(A)～(C)の継続ミッションは、そうした国際調整枠組みで調整されており、観測の独自性や先進性を有しつつ、世界の観測計画と相補的な位置付けにある。(D)～(F)の新規ミッションは、いずれも従来衛星観測で実現し得なかった観測を目指している。(D)は世界初の植生観測に特化したライダーにより、NASA の ICESat 観測の限界であった複雑地形における樹高算出の困難さを克服する。(E)は初めて複数波長帯で同時刻同地点観測を行うことにより、短期で消滅する SLCPs の排出量および発生源の推定精度を各段に向上する。(F)は、衛星直下に限定された従来の高度計観測に対し、高頻度・高密度観測を実現する。NASA・CNES による同種の SWOT 計画に対しても日本付近で2倍の高頻度計測を可能とする。

④ 所要経費

今後10年で	2,000～3,000億円
GCOM-W2	約380億円
GCOM-C2	約400億円
GPM/EarthCARE 後継	約250億円
GOSAT-2	約340億円
植生ライダー計画	約150億円
大気汚染監視計画	約150億円
海面高度計計画	約300億円

⑤ 年次計画

GCOM シリーズは長期観測継続のための重複期間を考慮して後継機の打上げ年度を計画しており、GCOM-W2 が平成 28 年度、GCOM-C2 が平成 32 年度の打上げを目指している。GPM・EarthCARE 後継ミッションについても観測データの継続性を最重要視し、平成 30 年度の打上げを目指している。GOSAT-2 は平成 29 年度を打上げ目標として検討を進めている。植生ライダー計画および大気汚染監視計画は平成 30 年度、海面高度計計画は平成 31 年度の運用開始を目指している。

⑥ 主な実施機関と実行組織

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) (A～F) 全体システムの研究開発運用
情報通信研究機構 (B, E) センサの研究開発、観測データの利用研究
環境省/国立環境研究所 (C) センサの研究開発、観測データの利用研究
環境省/国立環境研究所 (D, E) 観測データの利用研究

⑦ 社会的価値

JAXA が FY23 年に実施したアンケートによれば、「地球温暖化等、地球規模の環境問題を解明、予測するのに役立つ人工衛星の開発」についての支持は 59.2%と非常に高い数値を示しており、国民の理解・支持を十分に得られている状況にある。提案ミッションで得られるデータは様々な社会的価値を創出する。例えば、現業気象機関の数値天気予報の精度向上を通じた、気象災害に依る利益損失の低減、海面水温・海色等の漁業者利用による経済効果と計画的漁業による資源管理、海氷情報を利用した北極海航路活用の高度化による経済効果・環境管理、降水・日射・土壌水分等を用いた大規模耕作地監視による食料安全保障対応、温室効果ガスの排出状況推定および森林バイオマス推定による吸収排出量の推定誤差低減への貢献、大気汚染監視による越境大気汚染への対策、海面高度・海面水温・海上風などのデータ同化による海流予測の高精度化を通じた、船舶航行の効率化や津波等によるがれき・漂流ゴミ・放射性物質等の漂流予測の高度化等である。

⑧ 本計画に関する連絡先

福田 徹 (宇宙航空研究開発機構第一衛星利用ミッション本部 地球観測研究センター) fukuda.toru@jaxa.jp