

学術大型研究計画（区分Ⅱ）

説明資料

日本語の歴史的典籍の国際共同研究ネットワーク構築計画

① 計画の概要

日本語の歴史的典籍を対象とする大規模画像データベースの整備を基に、その活用により人文学分野における組織的かつ国際的な共同研究を推進し、古典籍を軸とする日本の文化に関する異分野融合の国際共同研究ネットワークを構築する。

本事業における共同研究は、国文学のみならず日本語の歴史的典籍全般を対象として、典籍のデータベース化を行い、それを研究資源として、国文学等の人文学分野にとどまらず、自然科学分野までを包括して文理融合を踏まえた異分野融合研究を推進していくものである。また、共同研究の実施にあたっては、研究課題に応じて可能な限り国内外の機関間との協定締結等を踏まえて実施する。

このように、本事業の共同研究は、国文学研究資料館としてこれまで未開拓であった異分野融合研究による新規性、独創性及び広範性、さらには実施形式の多様性といった点から、従来の共同研究を根本的に革新し、研究の細分化現象の打破を目指すことによって、研究の新たな地平を切り開くものである。

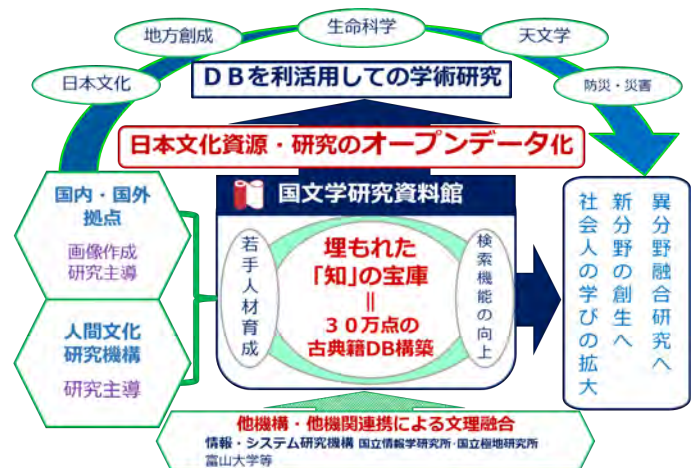
② 目的と実施内容

日本語の歴史的典籍（主に、日本人によって著述された江戸時代末までの書物）に集積されてきた膨大な「日本の知」を、大規模画像データベースとして整備し、また、そのデータベースを狭義の人文学の枠を越えた理系をも包摂した異分野研究者コミュニティならびに海外研究者コミュニティとの共同・連携により活用することにより、日本の文化に関する異分野融合の国際共同研究ネットワークを構築する。

そして、それによって、日本文化のプレゼンスの強化、すなわち、昨今、日本文化発信として世界の注目を集めているマンガやアニメ、さらには和食等のいわゆる「クールジャパン」が、突然変異的、表層的な現象ではなく、前近代の「知」の伝統の上に花開いた、21世紀の「温故知新」であることを内外に発信する。

上記の目的に即した具体的な実施内容は以下のとおりである。

- ・ 30万点の画像データの作成
- ・ 大規模提供システムの運用
- ・ 検索機能の向上・多言語対応
- ・ 異分野融合研究の醸成



「日本語の歴史的典籍の国際共同研究ネットワーク構築計画」概要図

③ 学術的な意義

従来の歴史的典籍に基づく研究は、明治期以来、校訂者により整備された活字テキストという2次資料に依拠したものが主流であった。しかし、奈良時代以来綿々と書写され、また木版による印刷で継承されてきた知識の全てが、活字化されたわけではなく、一説によればその1%も受け継がれてはいない。また明治期以来の表記法の整備により、1字1音対応に慣れ親しんだ現代人は、1音が複数の字形で対応していた歴史的典籍を読むことすら出来なくなっている。加えて旧漢字も読めなくなったために、明治期以来の活字テキストも死蔵化されている現状にある。いわば日本は典籍に記された先人達の文化を捨ててきたのである。We b上に様々な誤情報が溢れているのは、1次資料である歴史的典籍が多くの人目に触れない現状ゆえである。津波や地震など災害の例や新たな和漢菓の可能性にみるように、歴史的典籍により明らかになることも多い。典籍を活用し、正確な情報のもと、現代に資する研究を推進するためには、まずWe b上での典籍画像の公開という基盤構築が必要不可欠である。本計画により歴史的典籍が研究者の机上で閲覧可能になり、閲覧にかかる時間、経費の大幅節減が達成され、資料研究の効率が飛躍的に向上する。研究環境が整備されることで、従来の活字テキスト中心の研究に大きな変革をもたらし、資料を利用したくても出来なかった他の学術分野の研究者に歴史的典籍30万点という門戸を開放することになる。典籍情報の共有化により、他分野研究者との共同研究（異分野融合研究）が推進されるとともに、We b環境を利活用した海外の研究者との共同研究も容易となる。そうした典籍画像の利活用を促すためにも、産学連携研究等によるくずし字からの半自動テキスト化の研究を含んだ新検索技法の開発を実施し、人文学分野のみならず自然科学分野をも包摂した新たな研究の可能性を切り開こうとするものである。

④ 実施機関と実施体制

◎実施機関

国文学研究資料館

◆機構内連携機関

国立歴史民俗博物館、国立国語研究所、国際日本文化研究センター

◆国内拠点（拠点連携委員会への参画・画像情報共同作成・共同研究の実施）

北海道大、東北大、筑波大、東京大、お茶の水女子大、名古屋大、京都大、大阪大、神戸大、奈良女子大、広島大、九州大、慶應義塾大、國學院大、立教大、早稲田大、大谷大、同志社大、立命館大、関西大

◆国外拠点（国際共同研究ネットワーク委員会への参画・国際共同研究の実施）

コレージュ・ド・フランス日本学高等研究所、フィレンツェ大、コロンビア大、北京外国語大、高麗大学校、ライデン大、ヴェネツィア国立大、ナポリ大、サピエンツァ・ローマ大、パチカン市国図書館、ブリティッシュ・コロンビア大、ケンブリッジ大、カリフォルニア大バークレー校C. V. スター東アジア図書館

◆その他の連携研究機関等（画像情報作成等に係る連携・研究開発系共同研究の実施・異分野融合研究の実施）

宮内庁書陵部、国立国会図書館、国立情報学研究所、凸版印刷（株）、（株）PFU、一橋大、公立ほこだて未来大、富山大等

◎実施体制：

上記の連携機関、拠点等と連携して事業を推進している。また、事業を推進する部署として、国文学研究資料館において古典籍共同研究事業センターを設置した。外部の意見を反映させプロジェクトを企画・実施していくため、古典籍共同研究事業センターに各種委員会を設置するとともに、顧問及びアドバイザー制度を導入した。

- ・日本語歴史的典籍ネットワーク委員会（モニタリングと評価を実施）
- ・事業実施委員会（重要事項を審議）
- ・国際共同研究ネットワーク委員会（国際共同研究を推進）
- ・拠点連携委員会（国内拠点との連携を図る）

⑤ 所要経費

総経費（平成25年度～35年度） 8,806,771千円

◆運営費交付金（特別経費） 6,767,671千円

委員会経費、画像作成業務費等、共同研究経費、公開データベースシステム構築費、人件費、管理経費

◆外部資金等 2,039,100千円

共同研究経費、公開データベースシステム構築費、人件費

⑥ 進捗状況

平成27年度までに7万2千点の歴史的典籍の画像を作成し、平成35年度までに30万点の画像を分野別にデータ化、公開するとともに、歴史的典籍の国際共同研究ネットワークを構築する。

◆平成25年度：運営費交付金（特別経費）100,000千円 ※準備経費

画像情報作成（6,112点）

◆平成26年度：運営費交付金（特別経費）150,000千円

画像情報作成（17,924点）、検索機能の向上（タグ付けWG等でのデータ作成、テキスト化実証実験原理検証）、共同研究14件の実施（国際共同研究（準備研究）、公募型共同研究等）、広報誌の刊行

◆平成27年度：運営費交付金（特別経費）120,000千円

画像情報作成（17,950点）、検索機能の向上（タグ付けWG等でのデータ作成、テキスト化実証実験原理検証、研究開発系共同研究6件の実施（画像検索・多言語化対応・アノテーション・古典籍専用ブックスキナの開発）、共同研究22件の実施（国際共同研究、公募型共同研究、拠点主導共同研究、異分野融合研究等）、広報誌の刊行、国際研究集会の開催

◆平成28年度以降

画像情報作成、共同研究の実施、広報誌の刊行、国際研究集会の開催、大規模提供システムの運用、英文オンラインジャーナルの発行、国際コンソーシアムの発足

財源は、引き続き「大規模学術フロンティア促進事業」を概算要求していくとともに、外部資金等を積極的に獲得していく。

⑦ 社会的価値

本計画は、学術研究に資することを第一とするが、日本の歴史的典籍のWeb上での公開は、活字テキストでは限界のある、古典籍への興味・関心を一般社会において掘り起こす契機となり、初等中等教育、生涯教育等の社会の各層において、広く歓迎・活用されている。特に試行的に取り組んだ古典籍のオープンデータセットとしての公開（国立情報学研究所との協働）は、これまで一部の研究者に特権的に囲い込まれてきた種々の分野の古典籍を、一般の人が手軽に手にすることが出来るように開放し、その利活用を自由に求めている点で、単なる公開とは異なる古典籍利用を促すことになった。一例として、すでに公開されているくずし字アプリなどの取組がメディアにも取り上げられたところである。このことは、潜在的に日本の古典籍を読みたいと願う層の顕在化に繋がっている。また研究成果の面で取り上げた古典籍OCRの取り組みは、従来くずし字ゆえに読むことが出来ない、読むことの出来る研究者を知らないと諦めていた市民層に一定の道筋を示すことになり、産業的価値を見いだすことになった。

⑧ 本計画に関する連絡先

神谷 真司（大学共同利用機関法人人間文化研究機構国文学研究資料館 古典籍共同研究事業センター事務室）

心の先端研究のための連携拠点（WISH）構築

① 計画の概要

本計画は、心理学・認知科学、脳科学、発達科学、霊長類学、進化学、認知発達ロボティクス、精神医学、実験社会科学の研究拠点を基盤とした「心の先端研究のためのネットワーク」を整備し、文理連携によって、心の働きとその認知・神経基盤、発達基盤、進化基盤、社会基盤を解明する。我が国は年間の自殺者が3万人を超え、20歳台の死因で1位を占める。背景には、対人的コミュニケーション能力の欠如と社会関係の希薄化、社会的ネットワークからの疎外がある。こうした喫緊の問題群を科学的に理解し適切な対応を行うためには、社会的きずなのなかで作られ保たれる人の心の成り立ちについて、多様なディシプリンが有機的に連携し先端研究を進めることが必須である。本来、人間は他者とのやりとりの中で自己や文化を形成し、社会的な価値・規範を作り、「現在・ここ・自分」を超えた「未来・あちら・他者」に対する展望や共感をもつことができる希有な動物である。本計画は、ヒトの高度の知性、すなわち、他者の心を想像し、理解し、伝え、協力する心、自分が置かれている状況を知覚し行動を柔軟に調整する「つながる心」を学際的に解明し、科学的人間理解に基づく臨床応用や社会制度を整備するための基盤を提供することを目標とする。この目標に向け、心理学・認知科学、発達科学、脳科学、霊長類学、精神医学の研究者はもちろん、実験経済学、神経経済学、神経政治学などの社会科学領域、認知発達ロボティクスなどの工学・情報科学領域も交えた多数の研究者が各拠点のもつユニークな実験環境やデータベースを遠隔地から共有しつつ、他者とのきずなの中で作られ保たれる心と社会場面での働きについて、日本独自の先端研究を推進する。2017年以降の予算は37.9億円（設備導入に19.0億円、運営費等に各年度6.3億円×3年間）、既に措置された20億円と併せて総額57.9億円の研究計画である。

② 目的と実施内容

WISH事業の目的は、ヒトを特徴づける「つながる心」の解明に向けて、文理連携の先端的な学際研究を展開することにある。共有の価値や規範・文化のもとに「社会的きずな」を作ることのできるヒト知性の本質を解明することは、人文社会科学領域と自然科学領域を結節する「扇の要」としての役割を担う「統合人間科学」を創出する。

この目的に向けて、具体的には、京都大学霊長類研究所に措置された大型研究設備や東京大学進化認知科学センター、慶応義塾大学人間知性研究センターの設備を用いて、ヒト、チンパンジー、ボノボのヒト科3種や、ウマやトリを含むそれ以外の群居性動物を対象にした社会的知性の比較認知・発達研究を行う。また、東京大学、京都大学、北海道大学に措置されたMRIを活用し、玉川大学応用脳科学研究センター、生理学研究所と共に、複数MRIを結んだ脳活動の並行記録法を確立し、東京大学・北海道大学で開発されてきた社会的交渉課題における理論モデルと接合する。また、大阪大学・未来戦略機構認知脳システム学研究部門を中心に、認知発達ロボティクスの観点からインタラクションを支える知性の設計原理について検討する。これらの成果を、東京大学医学部精神科を中心に進められている大規模なコーホート研究と接合し、ビッグデータの解析手法を用いて、乳児期から老年期に至るライフスパン全体における心の発達過程や発達障害に関する詳細な理解を得る。上記のデータベース構築に加えて、非侵襲の必須装置（MRI等）を拡充し、有為の若手研究者を雇用し、客員交流制度を整える。

③ 学術的な意義

心理学・認知科学、発達科学、脳科学、精神医学、実験社会科学のみならず、日本が世界をリードする霊長類学、さらに認知発達ロボティクスをも有機的に統合した「心の先端研究」拠点の構築により、これまで人文社会科学の各分野において個別的に探求されていた「ヒトはなぜ、どのように人間的であるのか」という極めて根源的な問いに対し、サイエンスの側から統合的にアプローチする日本発のユニークな学問領域が創成される。人間の認知発達・社会・脳科学研究拠点と3つの霊長類研究施設を結ぶ遠隔リアルタイムの比較認知科学実験や、複数MRIの並行記録による社会脳研究、ロボットなどの人工物を介した構成的心理・行動実験、心とゲノムをつなぐ個体情報を網羅した大規模データベースの開発は、本計画独自の世界に先駆けた研究手法である。これによって共感、信頼、公正、互惠、協力など、人間社会の基盤を構成する心のはたらきを解明し、コミュニケーションや言語を含む、ヒトを特徴づける「つながる心」の解明が期待できる。さらに、最先端の科学的手法で得られた知見を、実験室や臨床現場で蓄積してきた莫大な心理学的知見と融合させることで、うつ、ひきこもり、いじめ、不登



校、感情暴発、発達障害、乳幼児虐待、高齢化と精神的健康といった現代社会が直面する喫緊の課題の解決に向けて、精神医学や疫学を含む社会臨床科学への波及効果が期待できる。経済学・法学・政治学などの社会科学領域に対しても、実験社会科学の展開を介して、社会制度設計の基盤となる「生態学的に妥当な人間モデル」を提供することで大きな影響を及ぼすことが予測される。上記の連携を通じて、文理の壁を溶解した、新しい「統合人間科学」の創出が期待できる。

④ 実施機関と実施体制

実施機関：7 研究機関連携

東京大学・こころの多様性と適応の統合的研究機構（UTIDAHM）、京都大学・心の先端研究ユニット、北海道大学・社会科学実験研究センター、大阪大学・未来戦略機構認知脳システム学研究部門、玉川大学・応用脳科学研究センター（米国カリフォルニア工科大学との国際連携）、慶應義塾大学・人間知性研究センター（慶應大と理化学研究所の共同構成）、自然科学研究機構・生理学研究所（自然科学研究機構内の領域融合センターを含む）

東京大学では、2015 年度から、学内 5 研究科の先端研究者を結集し、進化と発達を軸に社会における主体的な人間の営みを探求する「こころの多様性と適応の統合的研究機構」が発足した。同機構は総長室直下の戦略的機構である。京都大学においても、学内 12 部局の先端研究者を結集し、物理的・社会的環境との相互作用による心の働きを解明するための研究を推進する「心の先端研究ユニット」が 2010 年に設置され、領域横断的な活動を行っている。本 WISH 計画では、東大と京大をメタ拠点として、心理学・認知科学、脳科学、実験社会科学、認知発達ロボティクスの 7 先端機関がハブ拠点として、心の先端研究に関する国内外のほかの研究機関（NTT コミュニケーション科学基礎研究所人間情報研究部、熊本大・心の可塑性研究ユニット、CalTech Center for Social Decision-Making など）を結びつけるオールジャパン体制の先鋭な WEB 型組織を構成する。

⑤ 所要経費

2017 年以降の施設整備費として 19.0 億円、連携拠点運営経費として 18.9 億円（毎年度 6.3 億円 x 3 年間）の総計 37.9 億円を計上する。施設整備の内訳は、MRI 施設整備 2 式（6.4 億円：慶應大、玉川大に設置）、大規模社会実験システム整備 1 式（8000 万円：北大に設置）、乳児発達研究設備 1 式（1 億円：玉川大に設置）、アンドロイドを介した構成的心理・行動実験設備 1 式（8000 万円：阪大に設置）、比較認知科学研究棟施設 1 式（6 億円：京大に設置）、個人情報データベース整備 1 式（3 億円：東大に設置）、生涯発達研究設備 1 式（1 億円：熊本大に設置）の 7 項目。運営経費の内訳は、大型施設整備維持経費（MRI、比較認知実験設備等の維持経費）、全国共同利用研究経費（先端設備を利用し国公立大学等の研究者が共同研究を行う経費）、全国共同教育経費（先端設備を活用した心の先端科学に関するワークショップ等）、頭脳循環による国際化推進経費（ポストクの国際雇用）、学術情報の社会的発信経費、メタ拠点運営経費（東大・京大の 2 メタ拠点における事務局運営経費）に大分類される。

⑥ 進捗状況

「心の先端研究と心理学専門教育」分科会から生まれた本 WISH 事業は、第 20 期発足と同時に活動を始め、21 世紀 COE とグローバル COE の心理学・認知科学分野の代表者を糾合し、「心理学・教育学」分野別委員会の助言も得て連携拠点構築を進めてきた。WISH 事業 7 拠点の代表者は上記分科会の中核として 10 年を超える協同を重ねており、本計画においても、分科会メンバーと協力しながら国内 WEB 展開を行っている。同時に、社会心理学・経済学・政治学の研究者が協同する「実験社会科学」分科会も WISH 事業を支持している。なお、文部科学省の最先端研究基盤事業採択 14 件のうち、唯一の人文・社会系の最先端研究基盤事業として WISH 事業（平成 22-24 年度）が認定され、措置された 14 億円による設備面での初期整備が一部行われると共に、24 年度補正予算において MRI 装置整備のための 6 億円の追加投資がなされた。

年次計画は以下のとおり。平成 24 年度には最初の比較認知科学実験設備（犬山）と、京大に措置された MRI1 台が稼働を始めた。25 年度には、比較認知科学実験設備を増設して合計 2 か所（犬山、熊本）で、ヒト科 3 種を主対象とした遠隔地からの連携研究を開始した。さらに、24 年度補正予算で措置された MRI2 台（東大と北大に設置）が稼働を始め、共同利用体制を整えた。26 年度からは、WISH を構成する心理学関連の 5 拠点に阪大ロボティクスを加え、連携体制をスケールアップした。具体的には、26-29 年度は、MRI を用いたインタラクティブな実験を加速し、社会科学のゲーム理論モデルと接合する。27-29 年度には、ヒト科 3 種を対象とした比較認知・比較発達研究の先端的成果を、認知発達ロボティクスによる社会的知性の設計原理についての知見と接合する。これらの知見を、精神医学の発達コーホート研究と結びつけ、29 年度以降、大型データベースに統合、ビッグデータに関する解析技法を用いて、ライフスパンを通じた個体の心の発達過程や発達障害についての理解を進める。29-31 年度の最終 3 年間で、英文学術誌の充実と SCI ジャーナルへの移行、若手研究者の頭脳還流プログラム等を進める。

⑦ 社会的価値

心理学・認知科学・発達科学・ロボティクス・霊長類学・進化学・脳科学・精神医学・実験社会科学の文理連携により「社会的きずな」を作るヒト知性の本質を解明するという WISH 計画は、国際的にも極めて野心的な試みである。同様の観点からヒト知性に迫ろうとする包括的計画は、未だ世界のどこにも存在せず、我が国が世界をリードする日本発の心の先端科学が確立できる。また、WISH 事業は、いじめやひきこもり、高ストレスによるうつ病や自殺の多発などの、現代社会が抱える心をめぐる社会病理の解決に向けて、最先端の科学的知見に基づく提言を行うことができる。同時に、経済学・法学・政治学を含む社会科学領域に対し「科学的証拠に基づく人間モデル」を提供することで、経済格差や貧困を含む喫緊の多様なマクロ問題の解決を目指した社会制度の設計に貢献できる。同時に、サイエンスに依拠した人間モデルの普及・教育活動を通じて、国民の人間・社会科学リテラシーが大幅に向上し、社会的な問題解決や合意のための有効な知的土壌の醸成が期待できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

亀田 達也（東京大学・大学院人文社会系研究科）

わが国の産業・社会の基盤資源としての昆虫類の生物情報データベースおよび大規模標本の整備

① 計画の概要

昆虫は地球上で量的、質的に最も繁栄し、現在の地球環境や人間生活と密接不可分の関係を有する生物群である。国内には、日本列島の地理的、気候的な特徴を反映し、欧州全体の種数に匹敵する10万種以上の昆虫が生息するとされる。今日のグローバル化・温暖化時代において、昆虫は生物多様性の重要な役割を担うばかりでなく、他方では作物加害、重篤な人畜感染症や植物病害を媒介するリスク生物としても重要性が増している。本研究計画では、この豊かな多様性を経済活動と国民の健康維持に生かすための学術的基盤を形成することを目標に、1)大規模な昆虫標本の収集とその形態変異・生理生態・地理的分布等の種情報のデータベース化、2)DNA バーコードをはじめとする分類同定ならびに系統識別用の遺伝子情報の蓄積、3)農業害虫、衛生害虫、有用昆虫、環境指標種など国内の代表的昆虫の全ゲノム解析、4)代表的昆虫の寄生・共生微生物のメタゲノム、シングルセル・ゲノム解析5) マイクロCT等を用いた3D形態情報の集積による昆虫の形態形質のデジタル化・計量化による自動検索・同定システムや、微量元素分析に基づく発生源特定技術の開発を行う。これによって、生物情報と標本資源を集積するとともに、近未来に活用できる新たな技術を確立する。近年の感染症の流行や侵入の危険に対して適切な対応をとるためにも、また食品安全等に関して科学的な根拠に基づき国際間の交渉を行い、貿易の促進とわが国のヒトや動植物の健康保護を両立するためにも、昆虫の生物情報データベースおよび大規模標本の蓄積整備が必要である。また、本研究計画の成果は、生物多様性科学に飛躍的發展をもたらし、環境分野での国際的活動において日本が先導的な役割を果たすことを可能にする。科学的知見に基づく政策や具体的な対策の実施は、生物多様性の保全と持続可能な利用を通じて、豊かな自然共生社会の実現に大きく寄与する。

② 目的と実施内容

本計画の情報集積と技術開発により、これまでの外部形態による方法では正確な同定が困難であった微小な害虫や天敵を迅速に同定することが可能になり、農林業害虫、感染症媒介昆虫、検疫対象害虫等に関する生理・生態学的な基礎研究、さらにモニタリングや生物的防除などの応用研究の飛躍的な発展をめざす。衛生害虫に関する研究は、海外の飛来源ならびに飛来経路の推定に対して有用な情報を提供するとともに、国内流行予測や殺虫剤抵抗性の発達要因の解析などを通じて感染症対策研究の発展に寄与する。マイクロCT等を用いた3D形態情報解析で得られる微細構造の情報は、昆虫の各種機能利用を目指す研究、とりわけバイオミメティクスなど医学・工学との境界分野に新たな素材を提供する。実施内容：1) 標本収蔵とサンプル処理調整の拠点、形態解析および遺伝情報解析拠点、データベース構築拠点の整備を行う。2) 国内とアジア各地から新たな昆虫標本を網羅的に収集し、それらの形態変異・生理生態・地理的分布、DNA バーコードなどの遺伝子情報を蓄積しデータベースの構築を行う。3) 害虫および天敵としてとくに重要な微小昆虫を中心に、マイクロCT等を用いた3D形態情報を集積し、形態形質のデジタル化・計量化による自動検索・同定システムの開発を行う。4) 国内の代表的昆虫とくに農業害虫、衛生害虫、感染症媒介昆虫、天敵、有用昆虫、環境指標種などの全ゲノム解析を行う。5) 国内への移入が懸念されるリスク昆虫の同定方法を諸外国と共同で確立し、早期対策に向けた提言を発する。6) 国内の代表的昆虫の細胞内寄生・共生微生物のメタゲノム解析、シングルセル・ゲノム解析を行う。7) Spring-8を利用した昆虫体内の微量元素の質的および量的解析技術の確立を目指す。8) 蓄積した形態データ、微量元素データ、ゲノムデータを統合したデータベースを構築し、世界へ向けて公開する。

③ 学術的な意義

昆虫の最大の特色はその種多様性にあり、昆虫の生物情報データベースおよび大規模標本の整備は、生物多様性科学の発展に中心的な役割を果たす。日本は世界の生物多様性のホットスポットの1つであり、アジア地域の昆虫科学者と連携し、調査を実施するとともに標本とその種情報を組織的にカタログ化・収蔵することで、アジア地域における昆虫多様性学の拠点として、国際的に貢献することができる。実用化規模のDNA バーコードデータならびに3Dを含む形態情報を既存のアジア・太平洋地域産昆虫種情報とリンクさせた農業昆虫や衛生昆虫の同定・検索支援システムは、類似物のない独創的なシステムであり、広くアジア地域全域での農業害虫や検疫対象害虫・感染症対象昆虫・有用昆虫を同定し、情報検索を行うための基盤ツールとしてきわめて実用性が高い。また、蓄積されたDNA情報から特定の目標昆虫用のカスタムメイド・マイクロアレイを開発したり、PCR多型・1塩基多型などの鑑別法を適用できるようになれば、防疫施設での重要害虫の簡易判定をはじめ、さまざまな用途に迅速な同定システムを提供できる。これらの成果は、分散する情報資源に非専門家を含む幅広い利用者が自らアクセスして同定と統合検索を行うことを可能とし、農業あるいは植物検疫上重要な昆虫の研究基盤を飛躍的に強化するとともに、農作物の輸出入検疫や農業生産の現場を支える技術となることが期待される。本研究は、昨今のグローバル化や温暖化により侵入や分布拡大が懸念される感染症媒介昆虫や薬剤抵抗性害虫研究の基盤整備にも貢献するものであり、代表的昆虫種の寄生・共生微生物のメタゲノム、シングルセル・ゲノム解析も包含する。これらの革新的なゲノム解析や微量元素解析の成果は、宿主昆虫の種・系統・地理的分布の精密な同定や外来性昆虫が保有する病原の国内侵入の監視や感染症の解析等の幅広い研究に貢献すると考えられる。

④ 実施機関と実施体制

【実施機関】大学(北海道大学、東京大学、東京工業大学、京都大学、九州大学、長崎大学、東京農業大学、神戸大学、京都工

芸繊維大学、愛媛大学)、独立行政法人(農業環境技術研究所、農業・食品産業技術総合研究機構、国立環境研究所、国立科学博物館)、国立感染症研究所。

【実施の中心となる機関名とその役割】

(1) 標本資源の集積と管理：九州大学、独立行政法人農業環境技術研究所および国立感染症研究所を核として進める。これら機関は日本で最大規模の一般昆虫、農業昆虫、衛生害虫標本を所蔵する。国内だけでなくアジア地域への広範囲な調査を実施し、欧米に匹敵する標本資源を集積させ、データベース化を進め情報管理を行うとともに、拠点機関のネットワーク化を推進する。

(2) ゲノム解析等：ゲノム解析は、東京大学、九州大学、国立感染症研究所への次世代および第3世代のDNAシーケンサーとスーパーコンピュータ導入によって進める。マイクロCTは神戸大学、京都工芸繊維大学に、共生微生物のシングル・セルゲノム解析装置は東京工業大学に設置し進める。微量元素分析は国立感染症研究所が中心に進める。国内の代表的昆虫とくに農業害虫、衛生害虫、感染症媒介昆虫、天敵、有用昆虫、環境指標種などの全ゲノム解析を行う。上記の情報を元に、同種における集団遺伝学的解析を行う。また、国内の代表的昆虫の共生微生物のメタゲノム解析、シングルセル・ゲノム解析を推進する。

(3) データベース化(システム開発、構築公開作業)：独立行政法人農業環境技術研究所、九州大学、東京大学が連携して行う。これらの機関は既にシステムの開発、Web上での各種データベースの公開実績がある。アジア地域産昆虫の種情報、形態情報、DNAバーコード情報、文献情報、ゲノム情報(共生微生物を含む)、微量元素情報等を一括して検索できる統合検索支援システムを開発し、世界へ向けて公開する。

⑤ 所要経費

総経費：100億円 内訳：1) 設備投資：30億円 標本収蔵室等の設備拡充23億；世代シーケンサー、次々世代シーケンサー及び付随機器；計3,000万円×10台(更新有り)；昆虫凍結用冷凍庫300万円×50台；核酸抽出ロボット、サーマルサイクラー等一式5,000万円；ゲノム解析用サーバー1,000万円×5台2,000万円×5台；マイクロCT1,000万円×5台2) 人件費2億円×10年 a. 博士研究員20名；標本収蔵拠点部門：5名；ゲノム解析部門(メタゲノム含む)：4名；微量物質解析部門：4名；データベース構築部門：5名；海外対応部門：2名；b. 機器オペレーター技術員10名；c. データ解析専門員10名；d. データベース構築専門員5名3) 運営費 機器のランニングコスト通算9億円；データベース構築、公開費通算9,000万円；外注による解析通算10億円；共同利用機器使用料等通算1,000万円；4) 消耗品費 試薬等通算15億円；5) 旅費(海外調査費用を含む)通算10億円6) その他 海外協力体制構築、会議費等 通算5億円

⑥ 進捗状況

DNAバーコードと3D形態画像を統合した情報集積や同定システムの構築、微量元素の解析による昆虫の発生源特定技術の開発等については、科学研究費補助金等の援助を得て一部の昆虫を対象とした研究がすでに実施されている。DNAバーコードについては、東京大学が中核のワーキンググループJBOLIが設立され、手法の普及や関連する活動の支援と、日本独自の同定検索支援システムJBOLI-DSの開発が進められている。DNAバーコードデータについては、東京大学、九州大学、神戸大学等で科研費により一部の昆虫を対象としたデータの蓄積と公開が行われている。衛生昆虫類においては、長崎大学と国立感染症研究所が日本医療研究開発機構(AMED)委託費により、遺伝子情報のデータベース化を進めている。種情報については、九州大学でアジア・太平洋地域の昆虫類に関する約50万件の種情報昆虫学データベースKONCHUと約30万件のアジア太平洋地域産昆虫標本データベースAIICが公開されている。東日本大震災で被災した昆虫標本のデータベース化では、他の生物分類群に先駆けて1万点以上の情報をネット上に公開した。種情報のデータベース化は1990年以来現在まで、科研費研究成果公開促進費のほか、同基盤研究A、Bの補助により実施している。日本は、カイコの全ゲノム解読プロジェクトの成功など、昆虫の遺伝子に関しては世界を牽引する実績を挙げてきている。現在は科研費新学術領域研究「複合適応形質進化」や「ゲノム支援」などで、鱗翅目、鞘翅目、半翅目など多くの種のde novoゲノム解読が行われており、米国の5000種ゲノム解読計画に比肩できる研究が行われている。また、昆虫の病原体と媒介微生物ならびにそれらへの抵抗性遺伝子については農水省委託金や科研費、AMED委託費等による研究が進められており、大規模なメタゲノム解析への素地は十分にできている。

⑦ 社会的価値

昆虫の存在は、害虫あるいは益虫としての人間との深い関わりを通して、幅広い国民に時に厭わしく、時に好ましい印象を与えてきたが、昆虫の知的価値、産業的価値についての認識は不十分であり、生物多様性科学の基礎となる昆虫分類学への理解は不足している。昆虫は作物害虫として、また、植物病害や重篤な感染症の媒介昆虫といったリスク生物としての側面を持っており、今日のグローバル化時代において、貿易を促進しつつ、わが国の農業や国民の健康を維持するという課題を遂行するためにも、これらリスク生物に関する科学的知見の蓄積とその利用は、これまで以上に重要なものとなっている。また、名古屋議定書に基づく遺伝資源の公平配分の対策に向けても、食品安全と動植物の健康の基準に関する協定(衛生植物防疫検疫)が定める国際ルールのもとでも、科学的な根拠に基づいて国際間の交渉を行い、わが国のヒトや動植物の健康を保護するためにも重要であり、その十分な基盤整備は、直接・間接に国民生活の維持向上に役立つ成果をもたらす。さらに、その成果は昆虫の機能利用による新しい産業が生まれる基盤ともなる。

⑧ 本計画に関する連絡先

多田内 修(九州大学理学院)

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。しかしトランスオミクスには二つの大きな問題が存在する。一つは膨大な数の生体構成分子を効率的かつ網羅的に計測する技術が未発達であること（計測問題）、もう一つはそうにして生み出された生体ビッグデータの解析および情報抽出に対する数学的手法が確立されていないことである（情報問題）。本研究計画では、生命科学者と数学者が有機的に連携することによりこの二つの問題を克服し、トランスオミクス研究の道筋を拓いてその成果を医学生物学研究へ応用することを主目的とする。つまりゲノム、エピゲノム、トランスクリプトーム、プロテオーム、メタボロームの各階層におけるビッグデータの取得と解析を目指して、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 目的と実施内容

■1～5年度の計画：主にトランスオミクス技術の確立

まず各オミクス階層における網羅的計測技術を確立するため、最新設備の導入と新たな技術開発を行うと同時に、各レイヤー間における相互作用を数理科学的に解析する方法論の確立を目指す。具体的には、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

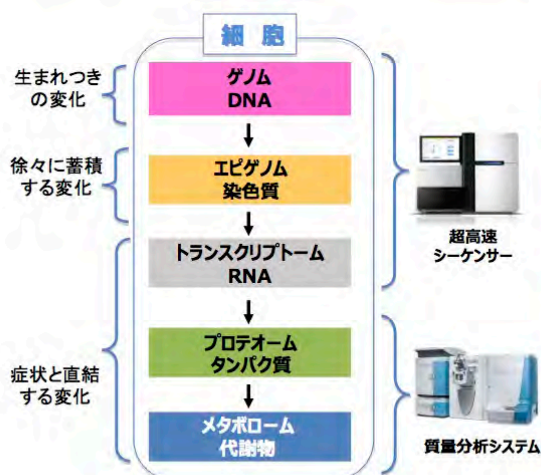
研究開始から5年で蓄積した研究基盤を活用し、我が国の高齢化社会で特に重要視される慢性疾患・難治性疾患（生活習慣病を含む）を中心に、病気に関するトランスオミクス研究を推進し、ヒトの病気の新しい予測・予防・診断・治療法の開発と創薬に寄与する。トランスオミクス、またはその成果のコホート研究（東北メディカルメガバンク、エコチル調査、福岡県久山町コホート、ながはま0次コホートなど）への適用を検討し、システムバイオロジーとの融合などを試みる。

③ 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。従来のような研究者の経験や勘に頼る個別的な仮説駆動型アプローチから、大規模な客観的データに基づく非バイアスのデータ駆動型アプローチを階層横断的に施行すること（トランスオミクス）によって、生命の作動原理や病気の原因を理解するだけでなく、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

トランスオミクスアプローチに基づく革新的医学研究

ヒト細胞のもつ多階層の生体分子情報（オミクス情報）を横断的（一気通貫）に取得・解析することで、時間軸をふくめた生命システムと病気の理解を飛躍的に進める。



- 高齢化の進む我が国の慢性疾患・難治性疾患の発症予測・予防・診断の開発に必要。
- バイオマーカー及び創薬標的の同定の機会を飛躍的に増大させ、細胞リプログラミング過程の解明などに貢献。
- 実施機関がネットワークを形成し、連携してサンプル微量化、低コスト化、情報解析技術の開発を行なう。
- コホート研究への適用やシステム生物学との融合による発展が期待される。



主な実施機関（ネットワーク構築）
九州大学（生体防御医学研究所、マス・フォア・インダストリ研究所）、東京大学（先端科学技術研究センター）、東京医科歯科大学（難治性疾患研究所）、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）、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

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、細胞リ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。

④ 実施機関と実施体制

トランスオミクスにかかわる網羅的生体分子計測技術の開発およびデータ取得機関（計測チーム）として、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（先端酵素学研究所）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と共に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、2013（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（6研究分野、うち3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。また、取得された生体情報ビッグデータを解析する効率的なアルゴリズムの開発やデータ解析機関（情報チーム）としては、九州大学（マスフォアインダストリ研究所）、理化学研究所が担当する。計測チームと情報チームを統合するヘッドクォーターを九州大学に置き、常に情報や問題点の共有に努め、その解決に当たる。

⑤ 所要経費

総計 150 億円（10 年間合計）

（内訳）

運営費：10 億円／年 × 10 年間	100 億円
設備費：超高速シーケンサー、質量分析装置、高性能クラスター計算機の導入	30 億円
設備費：超高速シーケンサー、質量分析装置、高性能クラスター計算機の更新	20 億円

⑥ 進捗状況

マスタープラン 2014 に採択されて以降、関連する実施機関において次のような改革・体制強化が行われた。すなわち、九州大学（生体防御医学研究所）では 2013（平成 25）年度に設置したトランスオミクス医学研究センターを充実させ、6 研究分野（うち 3 分野新設＝学内努力により 9 教員ポスト配分）を配置してマスタープランを実施する体制が強化された。また、徳島大学では疾患プロテオゲノミクス研究センターと疾患酵素学研究センターの合併により、2016（平成 28）年度より先端酵素学研究所が発足し、酵素学にプロテオミクスとゲノミクスを導入してマスタープランを実施する体制が整った。

このような体制強化を踏まえ、共同利用・共同研究拠点である九州大学（生体防御医学研究所）、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（先端酵素学研究所）が提案した「トランスオミクス医学研究拠点ネットワーク形成事業」が認められ、2016（平成 28）年度より 6 年間運営費交付金の予算措置を受けることになった。ただし、これはあくまでも共同利用・共同研究サービス体制強化のための支援であり、トランスオミクスの確立・発展のためにはさらに大規模の研究計画が必要であることは論を待たない。

この間、各実施機関は自助努力により各種オミクス計測機器の充実と人材の育成を図ってきた。また、九州大学（生体防御医学研究所）と九州大学（マスフォアインダストリ研究所）は定期的な合同研究会・ワークショップを実施し、生命学者と数学者が有機的に連携して問題に取り組む体制の構築を行った。さらに、2016（平成 28）年 11 月には、九州大学（生体防御医学研究所）とトランスオミクス医学研究拠点ネットワーク形成事業の共催により、世界初のトランスオミクス国際シンポジウム「Trans-Omics: New Approaches in Biology and Medicine」を福岡で開催することが決まっている。以上のように、本格的なマスタープランの実施に向けて体制の充実と計画の成熟度が向上している。

⑦ 社会的価値

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）

創薬基盤拠点の形成

① 計画の概要

本計画では、創薬のための大型基盤設備（大型化合物ライブラリーおよびハイスループットスクリーニング機器など）およびそれらを運用する拠点（スクリーニング拠点、最適化拠点など）を整備する事により、大学等のアカデミアの研究機関で行う創薬研究を支援する体制を構築する。その成果に基づいて産学連携研究を行い、日本の医薬品産業を活性化することを目的としている。本計画は大学に埋もれている創薬シーズを掘り起こし、そこから医薬品候補化合物を創出するもので、特に難治疾患、稀少疾患、顧みられない疾患あるいは創薬標的と考えられていない生体分子が関与する疾患など、製薬企業では着手しにくい治療薬についての開発も目指す。更に、誰もが自由に廉価で使用できる公的な共用創薬基盤設備を整備することにより、得られる化合物/薬理活性データを収集し、それらのデータベースを構築し全国のライフサイエンス研究者の創薬研究の基盤とする。本研究は、アカデミアで行う事から論理的に創薬研究を進める。この観点から、例えば異分野の構造解析、バイオインフォマティクス等の研究者との密接な連携も視野に入れている。

前述したように、本計画は日本学術会議マスタープランに採択され、それに基づいて一部ではあるが計画は予算化され、プロジェクトが開始されている。しかしながら、創薬の設備および運営費に関してはまだ不十分な状態にあると言わざるを得ない。具体的に更に整備が必要とされる項目について以下に箇条書きにする。

- 1) 拠点の継続的運営費
- 2) 最適化研究のための構造展開拠点の整備
- 3) 毒性と体内動態などの前臨床試験のための関連設備の設置と運営
- 4) 論理的創薬研究の基盤となる構造解析研究および *in silico* 研究体制の整備

② 目的と実施内容

【目的】 本計画ではアカデミアにおける創薬研究を推進する事を目的として、低分子医薬品開発に必要な不可欠な研究基盤設備および研究支援拠点を整備する。

【実施内容：設備および運営】 研究基盤設備として、20 万超の化合物を保管・管理・供給できる大型化合物ライブラリー設備および創薬のための最新スクリーニング機器・分析機器類が共用設備・機器として必須である。具体的には、プレートリーダー（吸光、蛍光、発光）、自動分注装置、細胞イメージングシステム、表面プラズモン共鳴（SPR）、等温滴定型カロリーメーター、マイクロフルイディックチップ測定など。

運営に関しては、専門的な知識を有した人材（前記の設備・機器類に精通した人材、アカデミアの基礎研究者に創薬研究のアドバイスができる人材、最適化研究を行える人材、ADMET に詳しい人材、薬事の知識を有した人材など）の確保とオールジャパン体制により網羅的支援を推進するために東大創薬機構拠点を中心に全国6ヶ所（北大、東北大、京大、阪大、九大、長崎大）に拠点を設けて、創薬に興味がある研究者が創薬研究に自由に取り組める体制を構築する。

③ 学術的な意義

1) 従来、日本には大規模な公的化合物ライブラリーなどの基盤がなかったため本格的な創薬研究は行えなかった。疾患の標的となるタンパク質の機能解析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、この基盤を整備することにより大学等公的機関の研究成果を源（オリジン）とする新規医薬品創製の道が切り開かれる。

2) 患者数の少ない稀少疾患あるいは顧みられない疾患の治療薬の開発は営利を目的とする製薬企業では着手しにくいのが現状である。公的研究機関で難治疾患の発症機序の解明に取り組んでいる研究者は多数おり、この公的基盤整備で大学等においてこのような疾病の治療薬の開発に取り組むことができるようになる。

3) 得られる成果（新規阻害剤など）は医薬品としての有用性だけではなく、他の学術研究分野への波及効果も大きい。この研究を通じて酵素・受容体な

アカデミア創薬研究のための大型化合物ライブラリー

東大創薬機構保有化合物ライブラリー

タンパク質機能の制御化合物候補を構造多様性等を考慮して広く収集
構造的特徴による分類後、代表化合物を選択

大学所蔵化合物も
厳選して収集

新規有用母核の発見
ケミカルスペースの拡大

コア化合物

9600個の構造多様性を考慮した推奨セット
数個の類似化合物を準備

既存の薬理活性化合物

フラグメント化合物

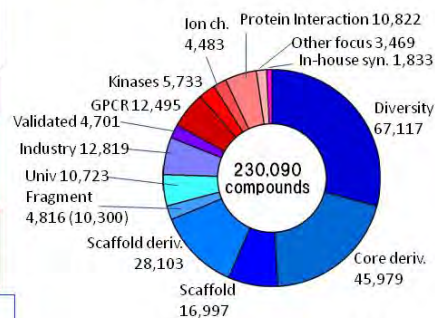
分子量250/350以下で溶解性が良好な
目標化合物の部分構造となりうる化合物

企業寄託化合物

数社の製薬企業と提携し、企業保有化合物を導入。開発初期からの産学連携

Focused Library

キナーゼ、GPCRなど特定の標的分子に絞って
in silico で予測・収集・合成。タンパク質
間相互作用阻害ライブラリーも試作



※平成28年6月現在の保有化合物数



ヒット化合物とタンパク質構造情報を活用

論理的創薬を目指す

どの活性を特異的に制御できる化合物が得られることから、創薬研究以外の基礎研究も強力に推し進めることになる。すなわち新規阻害剤などは生命科学研究のツールとして生命現象を解析する上で有力な武器となる。また構造生物学、有機化学、計算科学の進展にも繋がる。

4) 更に見落とせない波及効果は人材の養成・教育に多大の波及効果がある。すなわち、大学においてはじめて本格的な創薬科学の教育が実習形式で導入できる点である。講義の座学だけではなく実習を伴う実践教育が実施可能になる事は創薬研究者の人材の養成に有用であり、わが国の創薬力の底上げに貢献する。ここから輩出される大学院卒業生は、製薬企業等で戦力として期待でき、更に日本のバイオベンチャー育成にも繋がる。

優れた医薬品の開発は国民が健康で安心できる生活を送る上で最優先の研究課題である。共用可能な基盤を整備する事により、アカデミア創薬研究を支援する本計画は、この観点からも高い価値があると思われる。

④ 実施機関と実施体制

1) 中心実施機関：東京大学創薬機構（総長室総括委員会所属）

2) 連携実施組織：東京大学大学院薬学系研究科、北海道大学創薬科学研究教育センター、東北大学アカデミア発創薬拠点、京都大学ワンストップ創薬拠点、大阪大学創薬拠点、九州大学化合物ライブラリー創薬先端研究・教育基盤室、長崎大学感染症・放射線障害分野を中心とするネットワークなど

中心機関に 20 万超化合物のライブラリーを設備する（化合物の収集・保管の大枠は平成 23 年までに行われたが、現在これらの整備・効率的な運用、企業化合物の導入など質の向上を目指した整備を行っている）。各連携機関は分担して、日本全国のアカデミア研究者の創薬支援を網羅的に行う。

⑤ 所要経費

総経費 300 億円 [設備費：40 億円、運営費：200 億円、措置済：60 億円]

【設備費】設備の整備を含め、投資額として 40 億円。

内訳：化合物ライブラリー設備の充実などに 10 億円、スクリーニング設備に 10 億円、最適化研究の合成設備と *in silico* 研究に 5 億円、前臨床試験設備に 10 億円、データベース構築に 2 億円、その他諸経費に 3 億円

【運営費（人件費を含む）】年間 20 億円（20 億円×10 年間 = 200 億円）

⑥ 進捗状況

前記したように、本計画の一部は予算措置されている。具体的には、文部科学省ターゲットタンパク研究プログ

ラム（平成 19 年度～平成 23 年度）で 20 万弱の化合物ライブラリーが構築された。また、創薬等支援技術基盤プラットフォーム事業（平成 24 年度～平成 28 年度予定）で全国 6 拠点が整備された。化合物サンプルの提供支援を一般研究者に平成 21 年から開始している。スクリーニング設備の共同利用も開始しており、その結果、現在までに東京大学創薬機構には学内外の研究者のべ 1000 名以上の利用があり、800 万を超える化合物を全国の研究者に提供している。外部研究者との打合せ回数：1100 回以上（これは週に 2～3 回の頻度）であり、東大拠点と 6 拠点の成果として既に製薬企業への導出・共同研究・連携に進展したプロジェクト（13 件）もある。充実した共同利用体制が構築されていると言える。

かなりの成果を挙げつつあるが、残念ながら創薬基盤としての規模は米国、欧州に比べかなり小さく、その他の設備（最適化研究の合成拠点、毒性と体内動態などの前臨床試験関連設備、理論創薬研究のための大型コンピュータセンターなど）は未整備である。また、全国の研究者が継続的に容易に使用できる体制を維持するために、引き続き運営費の手当てが必須である。

⑦ 社会的価値

国民の健康を守る事は国の根本的な施策の一つである。アカデミアの基礎研究を応用研究である新規医薬品開発に繋げるこの計画プロジェクトの社会的な価値について議論するまでもない。高齢社会を迎え、誰もが健やかな老後を迎えたいと願っている。アルツハイマー病に代表される治療困難な疾病の克服は人類の悲願と言っても過言ではない。老人医療のみならず、働き盛りの人の命を奪うがんや心筋梗塞などは一家の大黒柱を失うことから、一家離散の恐れもある。このような悲惨な現状を克服することは科学の果たすべき役割の一つである。大学の研究成果をこれらの難病克服に少しでも役立たせることができれば、研究者としてこれに勝る喜びはないであろう。

⑧ 本計画に関する連絡先

堅田 利明（東京大学大学院薬学系研究科）

創薬スクリーニング設備の利用開放 共同利用と研究支援

東大創薬機構は化合物の供与と同時にスクリーニング拠点機能を担っており、創薬機構で HTS を含むスクリーニングに必要な機器類を利用する事も可能。これらを通じて、研究支援を行っている。



B1F: 化合物ライブラリー保管庫、スクリーニング機器室
4F: 計算機室 (*in silico* approach), 5F: 有機合成化学実験室

2011年4月以降利用者は3,000名を超える

KEK Super B-factory 計画

① 計画の概要

1999 年より運転を開始し、小林・益川の 2008 年ノーベル物理学賞受賞の決め手となるなど様々な物理成果を挙げた、KEK B-factory 計画で使用された加速器 (KEKB) や測定器 (Belle) をアップグレードし、世界記録でもある KEB の瞬間衝突性能 (ルミノシティ) を約 40 倍向上することで、過去 11 年間に蓄積した KEB の衝突データの約 50 倍のデータを短期間に収集・解析し、さらなるフロンティアを開拓する。

2016 年 2 月より初めてのビーム運転を開始し、加速器を理解し、ビームに起因するバックグラウンドを低減させるための運転を 6 月まで行った。その後、超電導最終収束電磁石やダンピングリングなどを導入し、2017 年秋より物理運転を開始する。取得されたデータの解析結果から、新しいエネルギースケールの物理や新しい複合粒子など、幅広い研究成果が期待される。

② 目的と実施内容

本計画の目的は、高度化された SuperKEKB を運用し、KEKB の数十倍の物理実験データを蓄積することにより、宇宙初期に起こったはずの極めて稀な現象を多数再現し、KEKB でこれまでに見つけた、素粒子標準理論だけでは説明が困難な現象を手掛かりとして、新しい物理法則の発見・解明を目指すとともに、小林・益川理論だけでは説明できなかった、宇宙の発展過程で反物質が消え去った謎に迫ることである。

このために、KEKB 加速器から SuperKEKB 加速器へ、また Belle 測定器から Belle II 測定器へ、それぞれ高度化改造を H22 年度より開始した。SuperKEKB は、衝突点のビームサイズを KEB の 1/20 に絞り込むとともに、蓄積ビーム電流を KEB の 2 倍に高めることにより、ビーム衝突性能を KEB の 40 倍に増強する。このため、周長 3016 m の KEB 電子リングおよび陽電子リング (衝突リング) を、既存の設備を最大限活用しながら、新型ビームパイプへの更新、高度化のために必要な電磁石ならびに電磁石用電源の増設および更新、高周波加速システムの増強、新しい衝突点収束超伝導電磁石の導入等により改造する。電子・陽電子線形加速器 (入射器) については、電子・陽電子源を改造するとともに、加速器を構成する電磁石等を高精度で一直線に配置するアライメントの精度向上等に取り組む。また、入射器で生成される陽電子ビームを陽電子リングに入射する前に、低エミッタンスにするための周長 135 m の低エミッタンス陽電子入射システム (陽電子ダンピングリング) を新設する。Belle II 測定器は、SuperKEKB による高頻度の衝突事象を詳細に記録し、精密な解析を可能にするために、センサーの微細化、高速化、粒子識別能力の向上、崩壊点位置決定能力の向上、データ記録解析能力の向上などの高度化を行う。

③ 学術的な意義

TeV エネルギー領域に質量階層性の謎を解くための新しい物理的仕組みがあると考えられており、世界中で探索が進められている。ところが、現在までのところ、LHC に代表される直接探索では、新物理の証拠となる新素粒子は発見されていない。直接探索で探索しうる新素粒子の質量領域は、主にビーム衝突エネルギーにより制限されるため、新素粒子の質量が重い場合には発見が困難である。

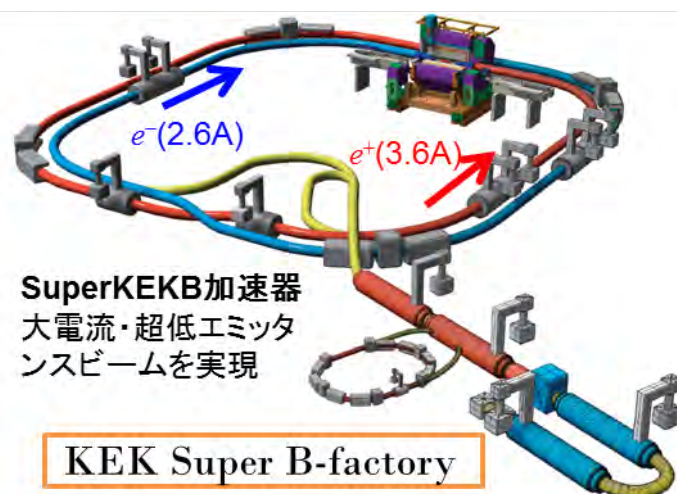
一方で、KEK Super B-factory 計画やその他のフレーバー実験では、新素粒子の存在が観測量に与える量子力学的な微小な影響を測定することで、新物理を間接的に探索する計画である。ビーム衝突エネルギーは変えず、データ量を増やすことで、より微小な影響に感度を持ちうるので、新素粒子の質量が高い場合にも新物理の発見の可能性があるのが特長である。様々な理論的可能性のある中で新物理の存在を確定するためには、関連する複数の観測量を、荷電、中性終状態を問わず比較して検証する必要がある。また、一旦新物理の影響が観測されたならば、多くの観測のうちどの崩壊様式に新物理の影響が現れるか (現れないか) を精査し、支配する新物理法則のモデルを確定することも可能になる。これらの作業には、KEK Super B-factory による多角的観測網が最大の役割を担うと期待されている。このように、新物理法則を探索・発見・理解することで、究極の物理理論完成に向けた重要なピースを埋めることができる。新物理の研究を通じて、我々の宇宙の大きな謎である、「消えた反物質」や「暗黒物質」の解明に重要な手がかりを与えるとも考えられている。

なお、微細ビームを衝突させる加速器技術、低物質質量で高精度なセンサー技術などは、将来の素粒子物理学研究に欠かせない要素技術であり、長期的には他の科学分野や医療分野での利用にも役立つと期待される。

④ 実施機関と実施体制

KEK がプロジェクトをホストする。加速器、測定器の運転と、データの取得に責任を持ち、国内外の共同実験者が解析できる環境を整備する。加速器の改造と改造後の維持・運転は、「加速器研究施設」が担当し、測定器の維持・運転と運転開始後のデ

衝突点の高性能測定器 Belle II



ータ収集は「素粒子原子核研究所」が担当する。

参加機関は、KEK のほかに 99 あり、そのすべての名称と役割を 800 字以内で記すことは不可能である。日本からは、千葉大学、カブリ数物連携宇宙研究機構、名古屋大学、奈良女子大学、新潟大学、大阪市立大学、東邦大学、東北大学、首都大学東京、東京大学、山形大学と核物理共同体（東北大学、大阪大学 RCNP、東京工業大学、東京大学、宮崎大学、京都大学、昭和薬科大学、ソウル大学（韓国）、中央研究院（台湾）に、少人数ずつ所属する核物理学研究者がまとまって 1 機関として活動している）が参加している。

KEK と他の参加機関との連携を図るために「Bファクトリー計画推進委員会」を設置し、計画全体に関する意思決定を行う。さらに、「Bファクトリー加速器国際評価委員会」、「Bファクトリー実験国際評価委員会」を設置し、海外の学識経験者から加速器、測定器に関する技術的なアドバイスや、研究推進の方針についての広い意見を求める。

国内外の参加大学・研究機関からなる研究者組織（Belle II）の中で、参加機関の代表者からなる「参加機関代表者会議」が意思決定を行う。Belle II 代表者らは、海外の財政機関等の参加者からなる「外部資金管理委員会」の監督のもとに測定器運転と組織運営を管理する。参加機関は実験データへのアクセスや計算機資源などの利用が認められ、物理学の研究を進めることとなる一方で、測定器や計算機、ソフトウェアのグループに所属し、物理解析以外の何らかの責務を負う。「素粒子原子核研究所」に所属する研究者もこの枠組みの中で研究を進める。

⑤ 所要経費

建設費（日本負担分総額 314 億円）は計画どおり H22～H26 年度にかけて措置され、予定通り建設を完了し、H27 年度からフェーズ 1 運転を開始した。今後の運転に係る経費（電気代、業務委託費、施設・設備維持費、フェーズ 2、3 と段階を進めるための衝突点改造等の費用、データ解析のための計算機運用費など）の十分な確保が必要である。また、加速器の運転においては徐々にビーム強度を高めながら性能を向上させていくため、それに伴い電気代等の経費が増大する。可能な限り運転の効率化を図るなど、経費削減に努めているところであるが、近年の電気代高騰の影響を受け、年度ごとの所要経費総額は以下のとおりである。

H29 年度 90 億円

H30 年度以降 年間 100 億円

⑥ 進捗状況

H22～H26 年度に措置された建設費により、当初計画にしたがって装置の高度化を実施し、H27 年には加速器機器の立上げ調整作業などを行い、H28 年 2 月からフェーズ 1 運転を開始した。今後、フェーズ 2、フェーズ 3 と計画どおり進めるために、加速器および測定器の整備・立上げ調整を続けていく。具体的な進捗状況について以下に記述する。

電子および陽電子ビームを低エミッタンスにするために必要な電磁石および電磁石電源の製作および据付けの完了後、リング全周の電磁石の精密測量・位置調整および電磁石通電試験等を進めた。陽電子リングにおける新型ビームパイプへの更新を完了し、真空排気等の立上げ作業を進めた。ビーム電流を増強するために高周波源の増設および加速空洞の改造および配置最適化を完了し、大電力試験および加速空洞のコンディショニング等を進めた。ビームの位置やサイズ、振動を精密に計測し、安定に制御するための新しい検出器等の製作および設置を完了し、検出器の較正作業等を進めた。また、入射器においては、新たな RF 電子銃の開発や陽電子源の増強を行うとともに、エミッタンスの増大を防ぐために入射器全体のアライメント精度を向上させた。

フェーズ 2 から稼働させる、衝突点の最終収束用超伝導電磁石（衝突点の左右各 1 セット）のうち左側電磁石が完成した。組み上がった電磁石システムを地上建屋で冷却試験したうえで、ビームラインに設置した。現在製作進行中の右側電磁石は H28 年秋完成の予定であり、その後ビームラインに設置する。また、陽電子ダンピングリング（DR）の新トンネルおよび建屋が計画どおり完成し、機器の据付・立上げ調整を進めている。フェーズ 2 運転に先立って DR の調整運転を開始する予定である。

Belle II 測定器の最も外側の中性 K 中間子・ミュオン粒子検出器および電磁カロリメータの新しい読み出し回路の設置が完了した。中央飛跡検出器本体の建設が完了し、宇宙線によるテストが進行中である。他の検出器の建設も概ねスケジュール通りに進んでいる。H28 年末～H29 初頭には、Belle II 本体をビームラインに導入する予定である。新たな大学・研究機関の参加があり、現在 23 カ国・地域の 100 機関からの 600 人を超える研究者が共同で測定器の建設および物理解析の準備を進めている。

⑦ 社会的価値

本研究に関して、施設見学会、講演会などを通じて、国民への情報発信を行なってきた。H27 年度は実験棟の年間見学者が初めて 1 万人を突破（1 月下旬）し、関心の高まりがみられる。日本が世界最先端の研究を主導する事に対し、大きな期待と支持を頂いていると感じられる。素粒子物理学分野においてノーベル賞級の研究を推進することの知的価値はもとより、その研究施設を日本国内に建設し、多くの部分を日本が分担し、国内の企業と共同してつくり上げることで、相応の経済効果が見込まれ、技術の底上げが期待できる。一部で外国の進んだ技術を導入することも、国内の技術水準向上にプラスの効果を与える。

また、Belle 実験のデータを用いた素粒子物理学の一般向け体験講座（B-Lab）や、高校生対象のスクールなどを開催しており、高い評価を受けている。B-Lab には、高校生・大学生・一般から 900 名近くの人々が参加しており、新聞にも取り上げられるなど、地道な活動が評価されている。本研究を遂行する間も発展的に継続する予定であり、科学教育という面においても直接的に社会への貢献を行なっていく。

⑧ 本計画に関する連絡先

岡田 安弘（大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構）

J-PARC 主リング大強度化によるニュートリノ研究の新たな展開

① 計画の概要

本研究計画は、東海 - 神岡間長基線ニュートリノ振動実験 (T2K 実験) が初めて成功した電子ニュートリノ出現現象の観測や、このほど世界最高精度を達成したミューニュートリノ消失現象の精密測定を更に進展させ、かつ、これと相補的な世界の実験結果と組み合わせることによって、加速器を用いたニュートリノ振動現象の研究における最重要課題の一つである

「レプトンセクターにおける CP 対称性の破れ」の探索を世界に先駆けて開始することを目標とする。T2K 実験は、ニュートリノビームと、反ニュートリノビームを切り替えて生成し、その差から CP 対称性の破れにせまることができる。また、原子炉実験 (反電子ニュートリノの消失を測定) と合わせることで、さらに CP 対称性の破れの情報が得られる。T2K 実験と原子炉実験の最新結果は、レプトンの CP 対称性が最大限に破れていることを示唆している。ビーム強度を向上すれば、T2K 実験が今後 10 年程度で CP 対称性の破れのより強い証拠を得る可能性がひらけた。

このために、陽子シンクロトン加速器として既にパルス当たりに取り出される粒子数の世界記録を樹立している J-PARC 主リング加速器を「高繰り返し化」のシナリオに基づいて更に大強度化する。即ち 1 秒周期運転に対応できるような高繰り返し・低リップルの主電磁石電源を開発・製造するとともに、付随する施設設備を建設整備し、ビーム強度の仕様値 (750kW) を超える事を目指す。すでに、約 2.5 秒周期での 400kW 運転が実現され、本計画での仕様値達成は目処がついている。さらに大強度陽子ビームの理解が進み、より有望な動作点が見つかり、本計画と合わせて 1MW 以上のビーム強度を実現できる可能性がひらけた。

本計画で T2K 実験は、宇宙の物質創成の鍵をにぎる可能性が指摘されているレプトンにおける CP 対称性の破れに対し有意な感度を持った世界初の実験になる。

② 目的と実施内容

本計画は、ニュートリノビームの大強度化によりレプトンにおける CP 対称性の破れを発見し、精密に測定することを最大の目的とするものである。ニュートリノは物質との相互作用が極めて小さいため、この発見の鍵を握るのはスーパーカミオカンデに代表される巨大な測定器と、J-PARC で生成される強力なニュートリノビームである。本計画では、主リング加速器とニュートリノ生成装置を増強し、MW を超えるビーム強度を実現し、CP 対称性の破れの測定を行う。

主リング加速器の増強は、運転周期の高繰り返し化により時間当たりの陽子数と、1 周期ごとの陽子数を増強することにより達成する。このため、電磁石電源、加速高周波機器等の増強を実施し、また、モニタ、制御機器、入射機器等の性能向上によるビームロス低減を図る。これらの増強の内一部は既に予算措置が行われている。

ニュートリノ生成機器の増強は、主リング高繰り返しへの対応と、増大する放射線への対処が主な項目である。具体的には、ビーム収束電磁石電源の増強、機器冷却能力の増強、モニタ・制御機器の性能向上、対放射線性能・対応能力の強化等を実施する。

上記の実施により、大強度陽子ビームの生成能力と、それを受け止めてニュートリノビームを生成する能力を増強し、MW を超えるビーム強度を実現する。

H25 (2013) : 主リング主電磁石電源開発研究 (実機サイズ初号機的设计・製作)

H28 (2016) ~ H30 (2018) : 大強度化 (主リング主電磁石電源の高度化、ニュートリノ施設大強度対応)

H30 (2018) ~ : 主リング大強度運転 (750kW 超) + さらに大強度化

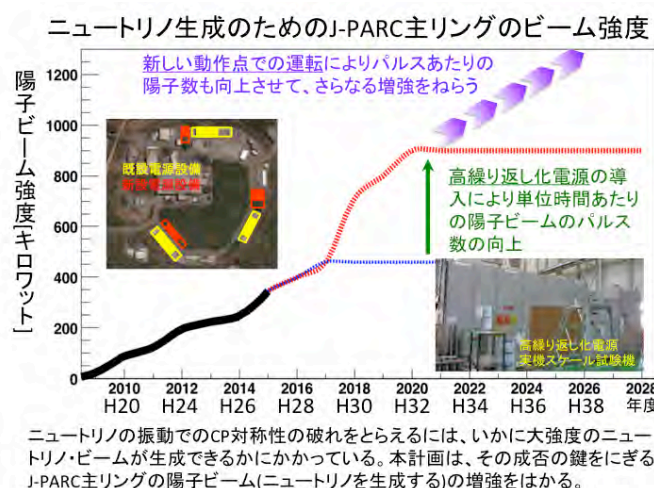
T2K 実験による CP 非保存現象の探索を加速 (所要期間 10 年程度)

③ 学術的な意義

ニュートリノ振動現象は、素粒子標準模型を超える理論の存在を強く示唆する現象であり、ニュートリノの性質に関して更に詳しい研究を行いその質量と混合の全貌を解明することは、素粒子物理学の今後の進展にとって極めて重要である。特に T2K 実験によって電子型ニュートリノの出現現象が成功裏に観測されたことから、その現象に関わるニュートリノ第 1 世代 ~ 第 3 世代間の混合角 (θ_{13}) が大きい事が明らかとなったため、ニュートリノにおいても、大強度陽子加速器と大型検出器を用い



現在の宇宙がどうやって生成されたか? という謎を解明する鍵となる、レプトンの粒子・反粒子の違い (CP 対称性の破れ) がニュートリノ振動に現れる。加速器を用いて生成したニュートリノ・ビームと反ニュートリノ・ビームで実験的に捉えることを目指す。



ニュートリノの振動での CP 対称性の破れをとらえるには、いかに大強度のニュートリノ・ビームが生成できるかにかかっている。本計画は、その成否の鍵をにぎる J-PARC 主リングの陽子ビーム (ニュートリノを生成する) の増強をはかる。

たニュートリノ振動実験の手法でCP対称性の破れを観測できる可能性がひらけた。

我々の住む宇宙では、物質と反物質が同量ではなく物質が優勢である。即ち物質反物質の対称性が破れている。このような宇宙が生み出された背景には極微の世界に於ける「CP対称性の破れ」が本質的な役割を果たしたとされる（サハロフの3条件の内の一つ）。これまでCP対称性の破れはクォークにのみ観測されていた。ところが、クォークの世代間混合を説明する小林・益川行列に基づくCP対称性の破れの効果では、現宇宙の物質-反物質の非対称性を10桁も下回る効果しか得られないことが明らかとなっており、宇宙形成の初期においては、クォークにおけるCP対称性の破れとは別の、新たなCP非保存のメカニズムが必要である。その有力な候補の一つとしてニュートリノにおけるCP対称性の破れが物質宇宙創成に大きな役割を果たした可能性が指摘されている。本研究によりニュートリノ振動現象の精密測定をすすめ、ニュートリノにおけるCP対称性の破れの探索に先鞭をつける事は、宇宙の物質起源の謎に迫る大きな前進となると期待されている。

④ 実施機関と実施体制

主な実施機関は高エネルギー加速器研究機構であり、ビームの大強度化を中心となって遂行する。高エネルギー加速器研究機構を中心として京都大学、筑波大、東京大学などの大学と協力して主リング加速器の性能向上と、ニュートリノビームラインの大強度対応を行う。

T2K実験によるCP非保存現象の探索のため、高エネルギー加速器研究機構と東京大学宇宙線研究所をホスト機関として、東京大学・京都大学・神戸大学・大阪市立大学・宮城教育大学など国内の研究機関と海外11カ国の研究機関、合わせて59機関からなるT2K国際共同研究グループが組織されている。

⑤ 所要経費

複合施設であるJ-PARCの運転経費に加え、本計画で必要となる経費を示す。

【総経費】112億円（内17.3億円措置済み）

【建設費】72億円（内17.3億円措置済み）

主リング高繰り返し化による大強度化（電磁石電源、加速高周波機器等）60億円（内17.3億円措置済み）

ニュートリノ実験施設大強度対応（ビーム収束電磁石電源、機器冷却能力等）12億円

【運営費】40億円

性能向上費（入射機器、モニタ・制御機器、対放射線性能・対応能力等）4億円／年×5年

電気代増加分2億円／年×10年

⑥ 進捗状況

J-PARC主リング加速器からニュートリノ実験施設に供給されるビーム強度は、平成28（2016）年現在400キロワット程度である。主リングにおいて実現可能な最大ビーム強度は、空間電荷効果によるビーム損失によって制限される。400キロワット以上のビーム強度を得るためには、取り出しのビームエネルギーを上げるか、繰り返しサイクルをあげる方法があるが、電磁石の飽和の影響や、昨今の電力事情を考慮した結果、高繰り返し化のシナリオを選択するに至った。

高繰り返し化のためには、1）主電源電磁石用の高繰り返し・低リップル電源が必要であるとともに、2）加速空洞の高勾配化、3）入射システムの高繰り返し化、4）主リングコリメータの増設が必要である。2）については既に加速効率の高い磁性材料の開発に成功しており、空洞に組み込んだ試験からは良好な結果が得られている。3）については、電源の一部・セプト磁石の一部で改修・交換が必要で、現在、そのための準備が進んでいる。4）については、平成25（2013）年度より段階的に増強をしている。

本計画で申請している1）については、R&Dを実施中で、既に述べた通り2012年夏に技術レビューが行われR&Dの成果が高い評価を得た。H24年度補正予算により、高繰り返し主電磁石電源の実機サイズ初号機の経費として300,000千円が措置され、平成25（2013）年度に製作した。平成26（2014）年度に技術レビューを行い、量産技術の確立を確認した。その後、H28年度予算でまず17.3億円が措置された。

また、大強度ビームでの運転の実績を積み重ね、大強度陽子ビームに対する理解が進みビーム損失を低減する加速器の調整手順が確立されるとともに、平成27（2015）年度には、よりビーム損失の低減が見込める動作条件が見つかった。この動作条件では、高繰り返し主電磁石と組み合わせてMWビームを実現することが期待できる。

⑦ 社会的価値

日本におけるニュートリノの研究は、小柴昌俊東京大学教授のノーベル賞受賞（2002年）や、戸塚洋二前KEK機構長の文化勲章受章（2004年）、梶田隆章東大宇宙線研究所所長のノーベル賞受賞（2015年）に代表されるように、1987年のカミオカンデ実験による超新星からのニュートリノの検出を端緒として、スーパーカミオカンデ実験によるニュートリノが質量を持つことやその世代間混合の発見などの輝かしい成果を創出し続け、日本での大型実験研究が継続的に世界の研究を主導している分野であると国民に認知されている。T2K実験も未測定で残っていた最後の第1－3世代間混合を発見するという成果を挙げ、2016年基礎物理学ブレークスルー賞を他のニュートリノ実験と共同受賞した。これらの成果は多くの全国紙・地方紙・TV報道・一般向け科学誌などで取り上げられたことから、国民の関心と期待の高さを見ることができる。本研究によりニュートリノにおけるCP非保存の探索を開始する事は、我々の物質優勢宇宙の創成の歴史を紐解く大きなステップとなり、文化活動への極めて大きな知的貢献であるといえる。

⑧ 本計画に関する連絡先

岡田 安弘（大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構）

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させるべく、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) の建設に向けて過去10年間、準備研究をすすめてきた。

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テラ電子ボルト宇宙ガンマ線を観測し、極限宇宙の姿を明らかにする。

北半球ステーションは1km²に展開されたおよそ20基の望遠鏡群、南半球は3km²に展開されたおよそ100基の望遠鏡群から構成される。アレイ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4m 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。2015年にCTAの南北のサイトは、北はスペイン・ラパルマ、南はチリ・パラナルに決定した。

② 目的と実施内容

全天を高エネルギーガンマ線で観測し、我々の宇宙で起こっている爆発的なエネルギー放出を伴う高エネルギー現象、高エネルギー天体を明らかにする。100年来の謎である宇宙線の起源を解き明かし、さらに、高エネルギーガンマ線で見える宇宙を宇宙初期にまで拡張、巨大ブラックホールの進化について研究を進める。また、宇宙の主要な構成物質である暗黒物質を従来にない高精度で、銀河中心領域、我々の銀河周辺の矮小楕円銀河に探索する。暗黒物質が超対称性粒子であれば、それらの対消滅、崩壊に伴い高エネルギーガンマ線が放出され、CTAにより決定的な結果が得られる。成功すれば、歴史的な大発見となる。

これらの目的達成のため、CTAのデザインの最適化を進めてきた。南北2ステーション(北:スペイン・ラパルマ、南:チリ・パラナル)にチェレンコフ望遠鏡アレイを設置し、全天を観測する。北半球ステーションは中央部に4基の大口径望遠鏡(23m口径)とその周辺に15基の中口径望遠鏡(12m口径)が1km²のエリアにアレイ状に展開される。南半球は、4基の大口径望遠鏡の周囲に25基の中口径望遠鏡、さらに70基の小口径望遠鏡(4m口径)が3km²のエリアに展開される。このような望遠鏡配置により、高感度で広いエネルギー領域(20GeV-200TeV)でガンマ線を観測する。日本グループは戦略的にアレイ中央部の要といえる23m大口径望遠鏡の開発を主導的に進めてきた。

年間100ペタバイトを超えるデータは、ヨーロッパ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、国内研究者にサマリーデータ、解析ツールを配布する。また、サイトにオンサイトサーバー計算機を設置し、オンライン解析を行い、活動銀河フレア、ガンマ線バースト等の突発現象の速報を出し多波長、マルチメッセンジャー観測を促す。

③ 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。

CTAは10倍の感度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、銀河中心、矮小楕円銀河にハロー状に広がる暗黒物質の崩壊・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による暗黒物質探索は、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。

④ 実施機関と実施体制

CTA Consortiumが実施機関・運用機関の中心であり、国際共同で32カ国1200名の科学者からなる。予算化が進んでいる主要国は、ドイツ、イタリア、スペイン、日本の4カ国である。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、29大学117名の科学者からなり、CTAの正式メンバー国として望遠鏡の装置開発・製作、さらにキース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(プロジェクト推進、ミラー、カメラ、シミュレーション)、京都大学(電子回路)、名古屋大学(半導体光センサー)、青山大学(カメラ、サイエンス)、茨城大学(ミラー試験、耐候性試験)、近畿大学(アクチュエーター)、高エネルギー加速器研究機構(電子回路)、甲南大学(カメラ)、埼玉大学(光センサー)、東海大学(光センサー)、徳島大学(光センサー)、広島大学(サイエンス)、山形大学(電子回路開発)、宇宙航空研究開発機構・宇宙研(サ

イエンス) があげられる。また、CTA-Japan の研究者から、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)、プロジェクトマネージャー、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 の運営に深く関わっている。

⑤ 所要経費

CTA 全体では 23m 大口径チェレンコフ望遠鏡 8 基、12m 中口径望遠鏡 40 基、4m 小口径望遠鏡 70 基からなり、インフラ、人件費を入れると予算総額 400MEuro である。日本グループ CTA-Japan は、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行なう。H29-H32 (建設期間中) の部分運用、H33 以降 20 年間の運用を予定している。

総額 148 億円

日本分担 46 億円

内訳	23m 大口径望遠鏡 主鏡	8 式	16 億円
	23m 大口径望遠鏡 光検出器	8 式	10 億円
	23m 大口径望遠鏡 電子回路	8 式	12 億円
	他付帯部品、輸送費・建設費	1 式	8 億円

運営費 総額 102 億円

H29-H32 部分運用 4 年間 10 億円

H33 以降 4.6 億円/年として 92 億円

内訳	維持運転経費	2.0 億円/年
	海外旅費	0.6 億円/年
	サーバーレンタル	1.0 億円/年
	電気代、土地借料	0.4 億円/年
	人件費	0.6 億円/年

⑥ 進捗状況

特別推進研究により準備研究を終了し(大口径望遠鏡の最終デザインを決定し) 1 号基の建設をスペイン・ラパルマにすすめている。2016 年度より、施設整備費により 3 基の大口径望遠鏡をラパルマに順次建設し、2018 年度より北半球大口径望遠鏡の運転を開始する。並行して 2018 年度より CTA 南の大口径望遠鏡の建設を開始する。

第 1 建設期(北半球、特別推進、施設整備費で措置)

2015(H27) 大口径望遠鏡 1 号基をラパルマに建設開始(特別推進研究で措置)

2016(H28) 大口径望遠鏡 2-4 号基をラパルマに建設開始(施設整備費で措置)、設置後、順次運用開始

2018(H30) 大口径望遠鏡 1-4 号基による CTA 北運転開始

第 2 建設期(南半球、予算未定)

2018(H30) 大口径望遠鏡 5-8 号基をチリ・パラナルに建設開始

2021(H33) CTA 南北両半球完成、国際宇宙ガンマ線天文台として運用開始

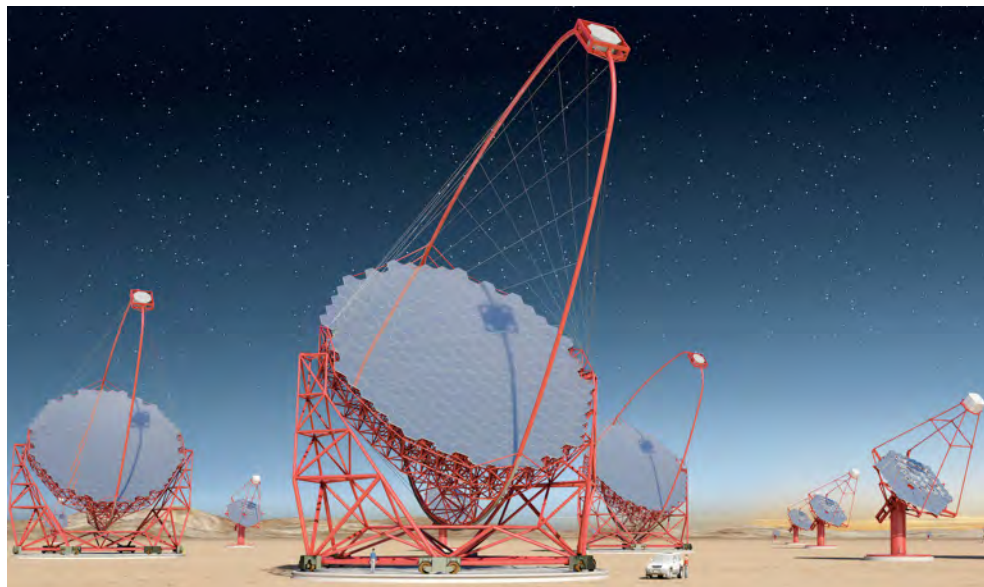
⑦ 社会的価値

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、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。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 大口径望遠鏡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)



図： CTA 国際宇宙ガンマ線天文台の想像図。中央に見える望遠鏡が 23m 大口径チェレンコフ望遠鏡。周囲に見える望遠鏡が 12m 中口径チェレンコフ望遠鏡。20GeV から 200TeV のエネルギー領域のガンマ線を大、中、小の三種類の望遠鏡で捉える。

30m光学赤外線望遠鏡計画 TMT

① 計画の概要

すばる望遠鏡による太陽系外惑星の直接撮像や多数の遠方銀河の検出にみられるような天文観測の急速な進展により、地球型系外惑星探査、初期宇宙史の解明、ダークエネルギーの解明などの課題が浮き彫りになってきた。これらの課題に取り組むために、ハワイ島マウナケア山頂域に、日本・米国・カナダ・中国・インドの国際共同科学事業として口径 30m の超大型望遠鏡 TMT を建設する。2014 年には合意書を締結して望遠鏡建設と運用を担う TMT 国際天文台を設立し、建設における各国の役割分担を決めた。日本は超大型高剛性軽量化望遠鏡本体構造の検討、設計、製作、現地据付、試験を行う。また、574 枚におよぶ主鏡分割鏡用ゼロ膨張鏡材を国産の技術で製作し、その研磨の一部を分担する。さらに、第一期観測装置の一部の設計・製作・試験を分担する。望遠鏡基礎工事の経費を含む TMT 国際天文台の共通経費の分担金を合意書の規定にもとづき負担する。これにより、日本は建設期の経費のうち 375 億円を分担する。

日本の観測時間を用いて大学等の研究者の共同利用を実施する。そのために建設段階から研究者の意見を採り入れて共同利用運用体制の整備を進める。これにより大学の研究・教育水準の向上およびグローバル化を促進し、科学や技術に広く学生の関心をひきつけることに貢献する。

現状、主鏡の製作等が進んでおり、2027 年に完成、2028 年度から共同利用運用を開始する予定である。

② 目的と実施内容

すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡などで浮かび上がってきている天文学の課題にこたえるために、ハワイ島マウナケア山頂域に口径 30m の超大型望遠鏡 TMT を建設する。この口径は、すばる望遠鏡をはじめとする従来の光学赤外線望遠鏡を 3 倍以上上回るもので、集められる光の量は 10 倍以上となり、補償光学を用いた高解像度・高感度観測、および大集光力を活かした分光観測で画期的な能力を発揮することができる。直径 30m の主鏡は 492 枚の分割鏡で構成される。

建設は日本・米国・カナダ・中国・インドの国際共同科学事業として進める。このために 2014 年に合意書を締結して望遠鏡建設と運用を担う TMT 国際天文台を設立し、建設における各国の役割分担を決めた。日本は建設において望遠鏡本体構造の検討、設計、製作、現地据付および試験を行う。また、交換用の 82 枚を含めて 574 枚におよぶ主鏡分割鏡の鏡材の製造を行うとともに、分割鏡の研磨の一部（約 3 割）を分担する。科学研究に用いる観測装置としては、望遠鏡運用開始時まで 3 機の第一期観測装置の製作が予定されており、日本はその一部の設計・製作・試験を分担する。望遠鏡基礎工事の経費を含む TMT 国際天文台の共通経費を合意書の規定にもとづき負担する。

建設における貢献割合に応じて配分される観測時間を日本の大学等の研究者の共同利用に供するため、研究者の意見を採り入れながら運用体制の整備を進める。他の望遠鏡の追従を許さない広視野探査能力をもつすばる望遠鏡と連携した TMT の共同利用により、世界的な成果を挙げることを目指す。

③ 学術的な意義

国立天文台がマウナケア山頂に建設したすばる望遠鏡をはじめ、口径 8-10m 級の地上望遠鏡や宇宙望遠鏡の活躍により、宇宙の理解はここ 10 年余りで大きく進展した。と同時に、新たな課題も次々と提起されてきている。TMT はそれらの課題の解明に不可欠な地上大型望遠鏡である。

20 世紀末に太陽によく似た星のまわりに惑星の存在が確認されて以来、太陽系外惑星の研究が急速に進んでいる。すばる望遠鏡はそのなかで、太陽型星をまわる惑星の直接撮像に成功するなどの成果をあげてきた。TMT は、太陽よりも低温な星を周回する地球型惑星の直接撮像に挑むとともに、惑星の反射光や惑星大気を透過してくる星の光を分析することにより、惑星の表面や大気の組成を調べ、酸素など生命に関連する物質の存在を探る。この研究は、従来の太陽系内惑星の研究と天文学の融合をさらに推し進め、宇宙生物学の分野を切り拓くものである。

遠方天体の観測による初期宇宙の解明も大きな課題である。すばる望遠鏡は、宇宙誕生から 10 億年以内の時代の銀河を多数発見し、初期の銀河や銀河団の形成の理解を大きく前進させてきた。TMT は、分光観測や補償光学を用いた高解像度観測を活用して宇宙で最初の星々からなる銀河を調べ、宇宙における最初の日体形成の解明に挑む。また、初代の大質量星が最後に起こす大爆発はガンマ線バーストを引き起こすものがあると考えられる。最遠方のガンマ線バーストの残光を観測することにより、宇宙の初代星の正体に迫る。これらの研究においては、膨張宇宙とその誕生を扱う宇宙物理学、爆発にともなう核反応を扱う原子核物理学などに波及する成果が期待できる。

TMT は光学赤外線観測のための汎用望遠鏡であり、このほかにも、宇宙膨張の直接測定、銀河とその中心に存在する超巨大ブラックホールの関係の解明、近傍銀河の星の詳細観測による銀河形成過程の解明等において大きな成果が期待できる。

④ 実施機関と実施体制

巨額の費用がかかる TMT 建設の実現には、国際協力による実施体制を構築することが不可欠であり、日本・米国・カナダ・中国・インドの 5 カ国の国際共同科学事業として推進している。TMT 計画に参加するパートナーの代表は、TMT 国際天文台の最高意志決定機関となる TMT 国際天文台評議員会を構成する。TMT 計画の目的や意思決定の原則、TMT 国際天文台の設立と運営、各パートナーの寄与と権利などを定めた合意書群に署名した最終責任機関は、自然科学研究機構（日本）、カリフォルニア大学・

カリフォルニア工科大学（米国）、国立研究会議（カナダ）、国家天文台（中国）、科学技術庁（インド）である。また、米国国立科学財団（NSF）が将来正式参加することを想定して米国天文学大学連合が準メンバーとして参加している。

各国代表からなる TMT 国際天文台評議員会は、スケジュールや予算をはじめとする TMT 国際天文台の運営の基本方針、TMT 計画マネージャー等の任免、新規パートナー参加の承認等の重要事項を決定する。TMT 国際天文台は、各パートナーが TMT 国際天文台との契約で実施する望遠鏡の各部分の製作を統括するとともに、現地建設工事をはじめとするインフラ整備を担当する。完成後の望遠鏡運用は TMT 国際天文台が担う。

日本の分担箇所に関する国内での実施統括には国立天文台があたる。日本の役割分担である望遠鏡本体構造と主鏡の製作を国内企業と連携して実施する。また、日本の分担する第一期観測装置の一部の製作を行うとともに、東北大学、久留米大学、東京大学、京都大学などの大学の研究者と協力して第二期観測装置の検討開発を実施する。TMT による科学研究や完成後の運用体制の構築の検討を、研究者の自主組織である光学赤外線天文連絡会をはじめとする関連の研究者組織と協力して進める。

⑤ 所要経費

30m望遠鏡 TMT の建設経費は約 1800 億円（2016 年時点）と見積もられており、日本はそのうち 375 億円を負担することを計画している。その内訳として、(1)望遠鏡本体構造の設計・製作・据付調整・試験（約 230 億円）、(2)主鏡鏡材の製作（約 21 億円）、(3)主鏡研磨の一部（約 45 億円）、および(4)第一期観測装置の一部の設計・製作・試験（約 9 億円）の現物による貢献に加えて、(4)共通経費として約 70 億円を TMT 国際天文台に支払うことが合意書において決められている。

国際貢献分に加えて、この期間の国内経費として大学共同利用体制整備などの経費約 40 億円が必要である。望遠鏡完成以降の運用時には、TMT 国際天文台の分担金 12 億円と、日本の TMT 運用経費分および国内のユーザーサポート経費 18 億円を合わせた、年間 30 億円の運用経費が必要となる。

⑥ 進捗状況

2014 年に、望遠鏡建設と運用を担う TMT 国際天文台を法人として設立し、現地建設を開始した。2015 年 4 月までに、5 カ国 6 機関が正式メンバーとして合意書に署名している。TMT 評議員会副議長には日本の代表が就任するなど、主導的な役割を果たしてきている。

合意書では各国の役割分担が定められた。そのなかで日本が担当し、計画の要となる望遠鏡本体構造については、2011 年度の概念設計に続き、2012-2013 年度には基本設計を行った。基本設計は国際審査に合格し、2014 年度から詳細設計に取り組んでいる。主鏡分割鏡材は 2015 年度までに 164 枚製造し、量産を継続している。研磨加工についても、2012 年度には試作に成功し、2013 年度より非球面研削の量産を行っている。現在、研磨加工の量産工程も進めている。

TMT による科学研究の推進にむけ、大学等の研究者約 100 人の協力を得て観測研究提案の検討が進められた。国際的にも、2013 年度に TMT サイエンスワークショップ、2016 年に TMT サイエンスフォーラムを日本で開催したほか、2015 年 5 月に公表された国際的な検討チームによる TMT での科学研究提案書の立案などで日本の研究者が大きな役割を果たしている。

ハワイ現地での建設をめぐっては、2015 年 12 月にハワイ州最高裁判所が TMT 建設のためのマウナケア保護地区使用許可の承認手続きに対する異議申立を認め、許可が差し戻しとなった。現在、保護地区使用許可の再承認に必要な手続きを進めている。

平成 25（2013）年 4 月 主鏡材製作開始、主鏡材研削加工開始

平成 26（2014）年 4 月 TMT 国際天文台設立

平成 26（2014）年 7 月 建設開始を正式発表

平成 29（2017）年 1 月 マウナケア保護地区使用許可承認

平成 30（2018）年 4 月 本格的建設工事を開始、ドーム製作開始、望遠鏡本体構造製作開始

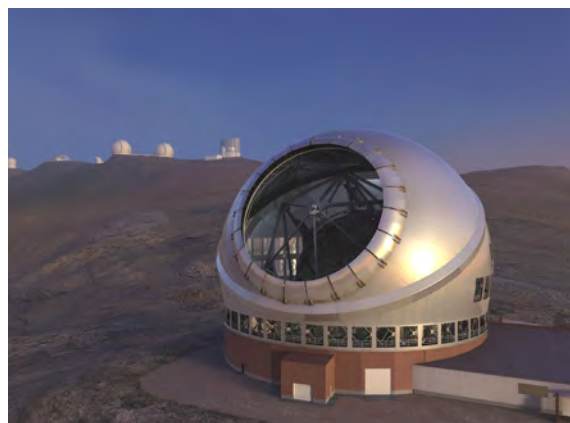
平成 34（2022）望遠鏡据付開始

平成 37（2025）望遠鏡据付完了、ドーム・山頂施設完成

平成 38（2026）主鏡セグメント据付、主焦点カメラによる試験観測、副鏡・第三鏡の据付開始

平成 39（2027）年 9 月 主鏡・観測装置据付完了、試験観測開始

平成 40（2028）年 4 月 共同利用観測開始



⑦ 社会的価値

国際共同科学事業である TMT 計画で重要な役割を担うことで、観測天文学にとどまらず、基礎研究・技術開発において国際的な共同研究を促進することが期待できる。大学の研究・教育水準向上およびグローバル化への貢献に加え、それを通じて科学や技術に広く学生の関心を引き付けることにも貢献できる。また、国立天文台 TMT 推進室に平成 27 年末までに 12 法人と約 3900 人からの寄附があったことにみられるように、国民の宇宙への関心は高く、最先端の研究の推進と普及活動により、国民の自然科学への理解を深めることに貢献できる。

超大型望遠鏡製作を通じた大型精密構造物の設計・製作技術の確立は、大型製品加工の自動化などに活かすことができる。また大型非球面鏡の製作技術は、太陽光発電、宇宙光通信、半導体/液晶露光装置、大学による中型望遠鏡の開発などの需要に応え、高精度/低コストの光学系を製作する国内体制を整備できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

白田 知史（自然科学研究機構 国立天文台）