

生薬・薬用植物の安定供給と開発のための基盤ネットワーク拠点の構築

① 計画の概要

本計画では、直面する超高齢化社会において社会的要請の強い健康寿命の延伸と国民医療費の軽減に向けて、生薬・薬用植物の安定供給と開発のための研究基盤ネットワーク拠点を構築する。構築された研究拠点は、研究者コミュニティにおいて世界最先端の生薬・薬用植物や漢方医療研究に資するだけでなく、医療関係者、農業従事者、学生を含めた一般社会人の利用に供し、超高齢化社会での国民健康の向上に資する。特に、近年問題となっている「甘草」などの生活習慣病で多用される漢方薬原料の国内生産を実現すると共に、生薬や漢方処方の新規効能承認などの伝統医薬の革新的な進展を実現する。

② 目的と実施内容

将来の高齢化社会において、国民の健康寿命の延伸と医療費軽減は大きな課題である。これに対して植物由来の生薬や漢方には大きな期待が寄せられている。本計画では、生薬・薬用植物の安定供給と開発のための研究基盤ネットワーク拠点を構築する。構築された研究拠点は、研究者だけでなく、広く一般社会人を含めた国民の利用に供し国民健康の向上に資する。

1. 薬用植物資源の基盤ネットワークの構築

既存の大学附属や公共の薬用植物園、薬用植物資源研究センターなどをネットワーク化して、多様な薬用植物資源の選抜や供給を効率的に行い、農業従事者、産業界、医療従事者に提供する。

2. 薬用植物ゲノム科学の解析基盤の構築

先端的な薬用植物ゲノム研究を推進している大学、研究機関を中心に、ゲノムとメタボロミクスなどの相関解析の基盤を構築する。これにより、ゲノム情報に基づく薬用植物の合理的な育種、栽培、利用を実現する。

3. 天然化合物と成分エキスのライブラリー構築と新規薬効開発

天然化合物や成分エキスのライブラリーを構築しそれらの薬効評価を行って、伝統に基づきながら新規の薬効探索・医療に展開する。

4. 生薬などのレギュラトリーサイエンス（規制科学）の推進

生薬や漢方処方のリポジショニング（既存薬の別の疾患への新たな利用）や新たなボタニカルプロダクト（植物エキス医薬品）、セルフメディケーションなどの社会実装に不可欠なレギュラトリーサイエンスを推進する。

5. 植物園および博物館の公開によるアウトリーチ

大学や公共の植物園および博物館の機能を高め、一般社会へのアウトリーチとすると共に重要な古典的標本の蒐集、評価と解析を行い、知の集積と利用に資する。

③ 学術的な意義

1. 現在国内で利用される漢方製剤は年々増加しつつあるが、原料生薬の85%は中国からの輸入に依存しており、同国の経済成長などに伴い輸出制限や価格の高騰が著しい。そこで、本研究基盤によって国内栽培に適した優良品種を供給すれば国内栽培が活性化され生薬の供給が安定化する。同時に高品質の薬用植物の国内栽培は、地方の農業の転換にむけたブランド生薬の開発につながり、社会への波及効果として期待できる。

2. 薬用植物資源の確保とそこからの生物活性化合物の開発は我が国の将来にとって極めて重要な問題である。新規活性化合物の単離と医薬開発やその生産遺伝子の同定によって、飛躍的に高齢化社会での健康長寿という人類の福祉に貢献できる。また、既存の生薬や漢方処方のリポジショニングやボタニカルプロダクト（植物エキス医薬品）開発などは、高齢者の健康に資するばかりでなく、国民医療費の削減にも直結する。

3. 植物園や博物館による生薬や薬用植物のアウトリーチ活動によって、社会人から若者まで健康リテラシーのみならず科学リテラシーを身近に涵養できる。

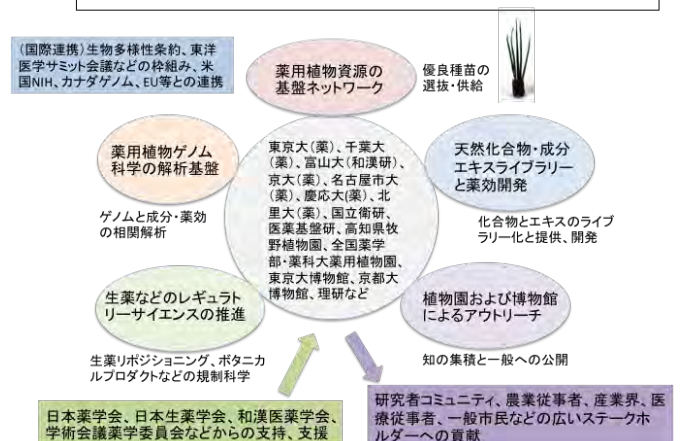
④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国外では、薬用植物等の非モデル植物でのゲノム機能科学が活発化している。国内ではすでに、文科省新学術領域研究、AMED研究プロジェクト、富山大学、理化学研究所などで本研究に関連したプロジェクト研究が進行中であるが、それらはいまだにネットワーク化されていない。本研究提案によってこれらを有機的に連結した研究基盤ネットワーク拠点を構築する。

⑤ 実施機関と実施体制

プロジェクトの推進は、東京大学薬学系研究科、千葉大学薬学研究院、富山大学和漢医薬学総合研究所が主たる機関として実施の責任を担う。さらに、以下の機関がそれぞれの項

生薬・薬用植物の安定供給と開発のための 基盤ネットワーク拠点の構築（計画概要）



目を担当しプロジェクトを推進する。

1. 薬用植物資源の基盤ネットワークの構築

東京大学薬学系研究科附属薬用植物園および医薬基盤研・薬用植物資源研究センターがネットワークのハブ機能を担い、全国の薬学部・薬科大学附属薬用植物園、高知県立牧野植物園が分担して薬用植物資源の選抜、維持、供給を行う。

2. 薬用植物ゲノム科学の解析基盤の構築

千葉大学薬学研究院が主たる責任を担い、各種の植物オミクス研究のプラットフォームが整備されている理化学研究所環境資源科学センター、かずさDNA研究所が主な分担機関として推進する。

3. 天然化合物と成分エキスのライブラリー構築と新規薬効開発・疾病治療戦略の実施

東京大学薬学系研究科および富山大学和漢医薬学総合研究所が、それぞれ化合物ライブラリーと薬効開発・疾病治療戦略のハブとしての責任を担い、医薬基盤研、牧野植物園、名古屋市立大学（薬）、北里大学（薬）、千葉大学（薬）が分担する。

4. 生薬などのレギュラトリーサイエンス（規制科学）の推進

国立医薬品食品衛生研究所（国立衛研）が主たる責任を担い、京都大学（薬）、富山大学（和漢研）、慶應大学（薬）、医薬基盤研が支援しながら、新規の植物由来製剤の社会実装にむけたレギュラトリーサイエンスを推進する。

5. 植物園および博物館の公開によるアウトリーチ

全国の薬学部・薬科大学附属薬用植物園および高知県立牧野植物園がその特性に応じて分担する。また、富山大学（和漢研）、東京大学総合研究博物館、京都大学総合博物館などが博物館として参加する。

⑥ 所要経費

総研究経費 90 億円

初期設備経費：施設および機器整備など初期経費として 25 億円（内訳：薬用植物園関連施設の整備、ゲノム機能科学、化合物・エキスをライブラリー・薬効解析、臨床応用・レギュラトリーサイエンスの機器整備、アウトリーチ（博物館およびデータベース）のための施設整備）
運営研究経費：65 億円（年間 6.5 億円×10 年間）（内訳：研究員などの人件費、各種消耗品・保守経費・その他管理費）

⑦ 年次計画

平成 28～31 年度

1. プロジェクト推進の拠点を整備する。遺伝子組換え施設を有する薬用植物園、などの施設整備を完了する。

2. 100 種の薬用植物について優良新品種の探索、選抜、育成を行い、薬学的品質評価・新品種の登録出願を進める。産業界、農業者などに供給する。

3. 50 種の薬用植物について薬用部位などのトランスクリプトーム解析を行い、薬用成分生産遺伝子を絞り込む。重要植物についてはゲノム解析とメタボローム解析も行い、遺伝子と化学成分の相関解析を行う。解析データはすべて一般公開する。

4. 自然変異体や遺伝子組換えなどゲノム多様性に富んだ 200 種の薬用植物体から、精製化合物やエキスをライブラリー化する。これらの化合物やエキスについて、複数の生物活性試験を行い新規活性成分や活性エキスを同定する。

5. 漢方処方の最初のリポジショニングについて審査機関での対応が開始され、ボタニカルプロダクトの医療用承認のためのガイドライン作りも開始する。

6. 伝統的な生薬・薬用植物に関して、一般市民向けのアウトリーチ活動を植物園、博物館を中心に全国ネットワーク化する。

平成 32～37 年度

最終年度には重要な薬用植物の多くが国内で供給される。また、実際の医薬品に展開される。複数の医療用漢方処方のリポジショニングや新しい改変漢方処方が社会実装される。生薬関連の法規制が整備され、国民はリテラシー向上と共に身近に生薬や植物医薬品を使用できるようになり、医療費削減と共に健康長寿社会の実現に寄与する。

⑧ 社会的価値

来たるべき超高齢化社会において、国民の切なる願いは老後の経済的な負担の少ない健康寿命の延伸である。生薬や植物由来成分は、科学的な根拠からも不老長寿としての効能が証明されている。このような植物由来製剤を先端的科学によって開発して、国民の健康寿命延伸に資することは極めて大きな意義がある。

同時に、生薬や漢方処方によりセルフメディケーションが推進されることにより、国民医療費の実質的削減にも繋がり、経済的価値も大きい。また、日本産のブランド生薬の輸出が進むという経済的・産業的価値も絶大である。

さらに、「植物はなぜこれほど多くの薬になる化学成分をつくるのか？」という普遍的な疑問にも答えることができ、人類の知の地平線を広げるという知的価値も大きい。

⑨ 本計画に関する連絡先

齊藤 和季（千葉大学・大学院薬学研究院、一般社団法人 日本生薬学会）

生薬・薬用植物の安定供給と開発のための 基盤ネットワーク拠点の構築（10年後の成果）

1. 85%が中国からの輸入に依存している生薬の国内生産が増加し、安定供給が実現する。同時に高品質の国内供給品が、国際的なブランド生薬として日本産生薬の輸出につながり、産業構造の転換を促す。



10年後



2. 生薬有効成分の生産遺伝子の同定や新規化合物・成分エキスの薬効開発によって、多くの植物由来製剤が開発され高齢化社会での健康長寿に貢献する。

3. 既存生薬や漢方処方のリポジショニングやボタニカルプロダクト（植物エキス医薬品）開発によるセルフメディケーションの普及がすすみ、高齢者健康に資するばかりでなく、国民医療費の削減にも直結する。

4. 植物園や博物館による生薬・薬用植物に関するアウトリーチ活動によって、社会人から次世代を担う若者まで、健康および科学リテラシーを身近に涵養できる。



来たるべき超高齢化社会における、生薬などの植物由来製剤による健康長寿と医療費削減の実現

地球環境変化の早期検出に向けた温暖化等関連物質の統合型観測・評価システムの構築

① 計画の概要

自然変動と人為的要因により引き起こされる地球環境変化を早期に検出し、原因を特定するため、地球温暖化の原因となる温室効果ガスに加え、時空間変動が激しく気候変化に複雑な影響を与える短寿命気候汚染物質（黒色炭素、メタン、対流圏オゾン等）、エアロゾル（PM_{2.5} 等）等の物質を総合的に監視する観測ネットワークと、そのデータを最大限活かす評価システムの構築を行う。温室効果ガスについては、これまでに地上観測、船舶、航空機、温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）を含む衛星観測が発展し、国別インベントリの整備も進められてきた。一方、エネルギー消費増加の著しいアジアは世界有数の大気汚染発生源であり、東アジアを中心に大気汚染物質の広域モニタリングが整備されている。このため温暖化等関連物質に関する観測データのカバレッジは近年飛躍的に向上したが、南アジアやシベリアを中心に未だ深刻な観測空白域がある。温室効果ガスの地表収支については、いわゆるトップダウン手法（大気輸送モデルと大気中濃度から逆解析により地表収支を算出）とボトムアップ手法（多点地上データをスケールアップ）を比較検証し、精度を上げる研究が進んでいる。これを加速するため、本計画では大気の輸送と化学反応によって複雑に変化する温暖化等関連物質について、それらの濃度データを解析システムに融合し、観測値と計算値が整合するようモデルパラメータを動的に調整する手法（データ同化手法）の開発改良を強化する。同時に、必要となるデータを長期的に提供するための観測ネットワークを確立し、データ流通を保証する。地球温暖化と大気汚染の双方を防止する有効な対策を策定するため、その効果を科学的に評価し、健康影響を含め監視する観測・解析システムを確立することは、国際社会に対し対策実行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 目的と実施内容

第一に、温室効果ガスに加え、温暖化を加速する可能性のある短寿命気候汚染物質、エアロゾル等を監視する観測ネットワークを構築する。第二に、多様な観測データを短時間で統合解析・評価することのできるシステムを確立する。特に、大気中の輸送と化学反応プロセスを考慮したデータ同化手法の開発改良を強化する。第三に、輸送モデルに基づくトップダウン手法と、排出インベントリや地上観測に基づくボトムアップ手法による結果を比較検証し、不確実性の評価と精度向上をはかる。

③ 学術的な意義

温室効果ガスと短寿命気候汚染物質に関する多成分統合観測・評価システムの構築により、以下の効果が期待される。

- (1) アジア太平洋で特に強化された温暖化等関連物質の観測ネットワークが確立する。世界的に深刻な観測空白域が緩和され、異なる時空間スケールでの品質管理された観測データが円滑に利用可能となる。
- (2) 温暖化に複雑な影響を与える短寿命気候汚染物質の動態を考慮した、気候変動への正または負のフィードバックの定量評価が可能となる。特に、温暖化に伴う凍土融解や火災増加による気候汚染物質の排出量増加の監視、その放射過程・水循環・生態系・健康等への影響評価の信頼度が向上する。
- (3) 温室効果ガスインベントリと大気汚染物質のインベントリの融合が進み、排出インベントリのボトムアップによる結果をトップダウンと比較して精度向上することが可能になる。正確な国家排出インベントリデータを持たない途上国において、精度検証された排出量データは貴重な情報源となる。
- (4) 途上国の森林域や大都市に対し空間分解能を上げた収支評価を行うことにより、各国が策定する REDD+ や炭素クレジット化等の気候変動対策の効果、および大気汚染物質の排出削減策の効果について定量評価を行うことが可能となる。特に、アジアの大都市で深刻な健康被害を生んでいる高濃度大気汚染、食料増産・プランテーション開発に伴う水資源不足、強いエルニーニョ時に発生する大規模森林（泥炭）火災と煙霧被害等の問題に対応し、その健康影響評価と被害拡大防止を含む各種対策に、科学的根拠を有する評価を行うことが可能となる。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

欧州では、温室効果ガスの観測基盤 Integrated Carbon Observation System、雲・エアロゾル観測の基盤 Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure Network、大気環境の情報基盤 Copernicus Atmosphere Monitoring Service などが関連活動を開始している。地球温暖化防止の観点からは、Climate and Clean Air Coalition が短寿命気候汚染物質の削減をめざしている。豪州と日本に国際事務局をもつ Global Carbon Project は、Regional Carbon Cycle Assessment and Processes にて地域別の二酸化炭素とメタンの収支に関する統合評価を先導しているが、アジア太平洋での観測と知見の活用は十分とはいえない。当該計画により気候汚染物質の排出量評価の精度が向上し、気候変動のフィードバックの解明が大幅に進展する。

⑤ 実施機関と実施体制

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) アジア太平洋で強化された観測システムの整備：国立環境研究所・気象庁気象研究所・海洋研究開発機構・産業技術総合研究所・東北大学・北海道大学・京都大学
- (2) 大気輸送モデルとインバージョン・データ同化手法（トップダウン手法）の高度化：海洋研究開発機構・気象庁気象研究所・国立環境研究所・東京大学

(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手法の高度化：海洋研究開発機構・国立環境研究所・農業・食品産業技術総合研究機構・産業技術総合研究所・筑波大学・北海道大学・京都大学

(4) 複数モデルに基づくマルチモデルアンサンブルに関するプラットフォームの開発：国立環境研究所・海洋研究開発機構・気象庁気象研究所

(5) 全球およびアジア太平洋における温暖化等関連物質の排出量評価、変化の早期検出、各種削減策の効果の評価：海洋研究開発機構・気象庁気象研究所・国立環境研究所

⑥ 所要経費

(1) アジア太平洋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） 0.2 億円×10 カ所×10 年＝20 億円
- ・航空機借り上げ料および搭載計測装置（ガス分析装置等） 1 億円×1 機×10 年＝10 億円
- ・船舶借り上げ料および搭載計測装置（ガス分析装置等） 1 億円×1 隻×10 年＝10 億円
- ・観測人件費（観測技術者・データ解析技術者） 600 万円×10 人×10 年＝6 億円

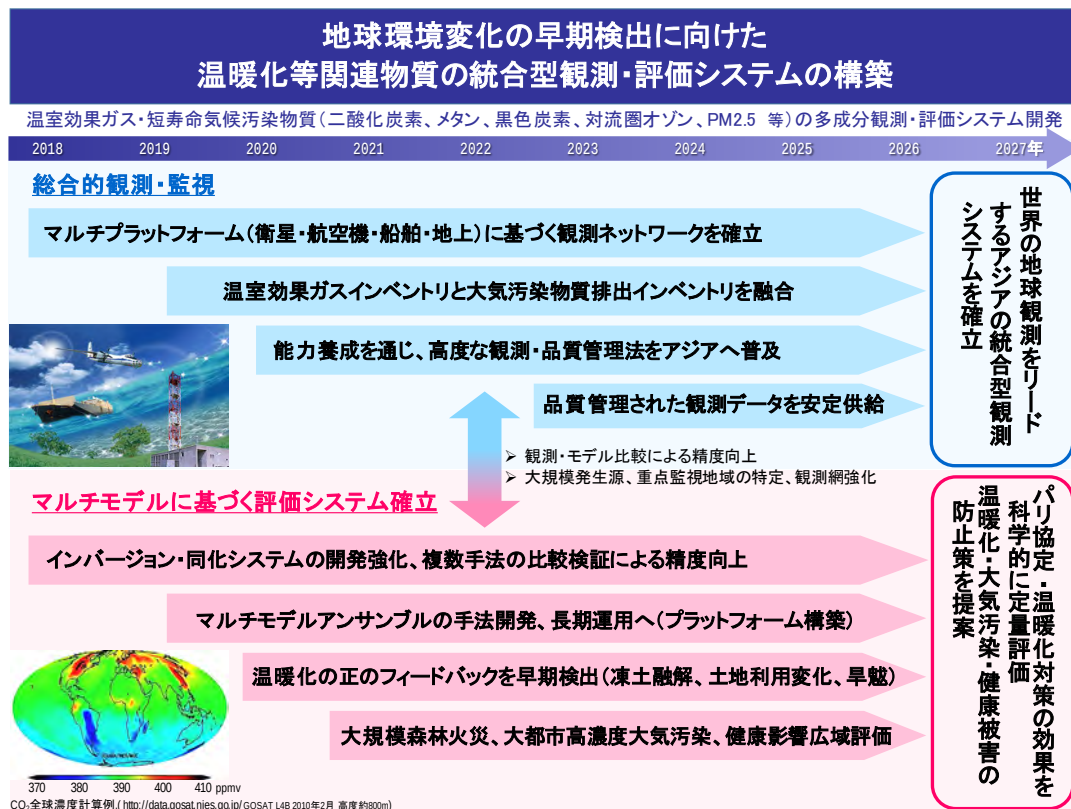
なお、衛星観測（GOSAT 等）関連経費は除く。

(2) 統合型評価システム（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） 2 億円
- ・統合型評価システム（モデル）開発費（システム開発・改良費） 2 億円
- ・解析人件費（システム開発技術者・データ解析技術者） 600 万円×5 人×10 年＝3 億円

合計 53 億円（研究期間 10 年間）

⑦ 年次計画



⑧ 社会的価値

(1) 化石燃料や薪炭等バイオマスの不完全燃焼により発生する黒色炭素は健康被害を引き起こすため、その発生源の特定は大気環境の改善のためにも、施策を策定する上でも重要である。また、温暖化の進行と同時に、凍土融解に伴う温暖化等関連物質の大量放出、食料増産・プランテーション拡大に伴う水資源不足・乾燥化が進めば、温暖化を加速する正のフィードバックとなる。本計画による統合型観測・評価システムは、地球温暖化と大気汚染に関する環境変化とその影響を地域社会ならびに国際社会に早期に知らせ、対策の緊急性を訴える上で有効な手段となる。

(2) 国別・地域別の温暖化等関連物質の吸排出量の評価、大規模発生源からの排出量の常時監視が実現する。特に途上国において空間分解能を上げた観測・評価システムを適用することにより、正確な国家インベントリ情報をもたない国や地域における信頼性の高い排出量データを提供可能となる。さらに、REDD+や JCM をはじめとする各種対策の有効性を確認する根拠となる。これらの情報源の整備は、アジア太平洋の環境・社会・経済の適応可能性の向上をめざす新たな学問分野の創出をもたらす。

⑨ 本計画に関する連絡先

三枝 信子（国立研究開発法人国立環境研究所・地球環境研究センター）

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5期科学技術基本計画において、未来の産業創造と社会変革のための共通基盤を支える横断的な科学技術と位置づけられ、各技術との連携強化や人材育成の強化に留意しつつ、その振興を図ることとされている。本計画では数学・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ために、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を形成する。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。

更に、この研究拠点において国際的研究動向を把握しフロンティアを形成するハブとなる訪問滞在型研究プログラムを実施する。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。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 目的と実施内容

オールジャパンおよびオールコミュニティ体制の数学・数理科学の研究機関が有機的に連携したネットワーク型研究拠点を形成する。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、未来の産業や社会価値の創造につながる研究プロジェクトを立ち上げ、数学・数理科学のフロンティア形成や、諸科学・産業と連携して問題解決に取り組む。

- ・数学・数理科学のフロンティアと多様性拡大のための短期共同プログラム（公募型）
- ・諸科学・産業連携のための短期協働プログラム（公募型）
- ・テーマ集中プログラム（国際公募型、企業連携型）
- ・スタディグループ
- ・人材育成プログラム

③ 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、とすればバラバラであった「知」を統合するため、汎化機能を特徴とする数学・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。

④ 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。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。一方、日本では、平成18年に文科省レポート「忘れられた科学—数学」が出されて以来、数学イノベーション委員会を開催し、数学・数理科学の振興施策を検討し、報告書がまとめられたところである。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が、個々の取り組みは見えにくく、諸科学・産業界のニーズに応えるような組織的な活動には至っていない。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。

⑤ 実施機関と実施体制

ネットワーク型研究拠点には、北海道大学社会創造数学研究センター、東北大学大学院理学研究科、東京大学大学院数理科学研究科、明治大学先端数理科学インスティテュート（共同利用・共同研究拠点）、統計数理研究所（大学共同利用機関）、早稲田大学理工学術院、名古屋大学大学院多元数理科学研究科、京都大学数理解析研究所（共同利用・共同研究拠点）、大阪大学数理・データ科学教育研究センター、広島大学大学院理学研究科、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所（共同利用・共同研究拠点）が中核機関として参画する。これをハブに全国の数学・数理科学研究機関が連携する。特に、数学・数理科学のフロンティア形成の中心を京都大学数理解析研究所（共同利用・共同研究拠点）が、諸科学・産業との連携形成の中心を統計数理研究所（大学共同利用機関）が担う。また、訪問滞在型研究プログラムに関しては、全国に先駆けテーマ設定長期滞在

型研究センターである東北大学知の創出センターが取りまとめを行う。

⑥ 所要経費

全体の指揮、世界の研究動向に関する情報収集・発信、成果の取りまとめと協働の促進、相談窓口、プログラム支援などを行う中核となる機関に運営センターと活動推進支援人員を、各連携拠点にサイエンティフィック・コーディネータを置く。データ集積と情報発信のためのシステムを構築する。

全体所要経費：122 億円（内、初期投資：2 億円、運営費等：12 億円×10 年）

（1）初期投資：2 億円

- ・ネットワーク型研究拠点機能整備経費 数学協働システムのクラウド化 0.5 億円
- ・訪問滞在型研究拠点形成費 整備費 1.5 億円

（2）運営費：12 億円/年 x 10 年

（あ）人件費（特任教員、特任研究員、PD、研究補助）

- ・ネットワーク型拠点研究経費 2 億円/年 ×10 年・訪問滞在型研究拠点研究経費 2 億円/年 ×10 年

（い）物件費

- ・ネットワーク型拠点研究経費 2 億円/年 ×10 年・ネットワーク型拠点運営経費 2 億円/年 ×10 年
- ・訪問滞在型研究拠点研究経費 2 億円/年 ×10 年・訪問滞在型研究拠点運営経費 2 億円/年 ×10 年

⑦ 年次計画

平成 28～37 年度（10 年間）

（具体的な計画）

平成 28～29 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。文部科学省の「数学・数理科学と諸科学・産業との協働によるイノベーション創出のための研究促進プログラム」も着実に実施する。
- ・重点テーマの研究プロジェクトを推進する。運営委員会が公募・選考し、数学・数理科学の深化・展開をもたらす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。
- ・中・短期訪問滞在型の研究プログラムを既存の施設を利用して行う。特に短期滞在型においては、ワークショップ開催を実施するとともに、チュートリアル・サマースクールなど、数理科学人材・データサイエンティストの育成を行う。
- ・長期訪問滞在型の研究拠点の運営のあり方の基本方針を検討するための委員会を立ち上げ、報告書を取りまとめる。

平成 30～33 年度：

- ・重点テーマの研究プロジェクトを実施するとともにテーマの見直しを行う。
- ・長期訪問滞在型の具体的な運営体制と規則を検討する委員会を立ち上げる。

平成 34～37 年度：

- ・重点テーマの研究プロジェクトの中で成果がでているものを集中的に研究できる体制を作る。
- ・長期訪問滞在型の研究プログラムを実施する。

⑧ 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。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、PBL(Project Based Learning)、異分野との共同研究への参加などを通して、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。

⑨ 本計画に関する連絡先

小谷 元子（日本数学会）

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

本計画は、世界的にトップレベルにある日本のプラズマ研究（乱流、光、機能の3分野）を「非平衡」の概念のもと融合しプラズマ学における日本の更なる国際的優位性と競争力を強化、プラズマ三分野の融合による新学術領域を創成する。自然認識と非平衡プラズマの「学理」を提示する。

本計画では「非平衡極限プラズマプラットフォーム」を構築する。そこでは、ミクロの世界から宇宙天体にいたる自然界に存在するプラズマの普遍性を探求し、「揺らぎ・構造・機能」の観点からその共通原理を求める。また、各分野の極限を迫り、最先端研究を推進する。これにより 10 桁以上も異なるスケールのプラズマ研究の基礎となる計測・解析法共有のためのネットワークを促進する。また、三分野独自に開発してきた研究手法を互惠相補的に活用し、プラズマ学のみならず他分野にも役立つ新たな科学的手法に発展させる。さらに、これまでのプラズマ研究で培った理論・シミュレーション・実験の統合的方法を適用し、世界トップレベルの研究者の連携によってプラズマ科学の新領域を開拓する。

本計画の推進体制は、九州大学を中核拠点とし、強力な国際的競争力を持つプラズマ研究機関が連携する。プラズマ学の国際的統合拠点として既存の国際共同研究の枠組みを利用し日本のみならず頭脳循環を図りつつ、新領域を担う国際的人材を育成し国際キャリアパスを確立する。また、本計画は学会に広く認知され、物理学会領域 2 及びプラズマ核融合学会において「非平衡極限プラズマ」のセッションが、それぞれ 2013 年の分科会及び年会より設立されるなどコミュニティの支持を受け、現在も活発な活動が続けられている。本計画はマスタープラン 2011、2012、2014 及びロードマップ 2011、2014 の重点課題に選ばれた計画であり既に高い評価を得ている。

② 目的と実施内容

本大規模研究計画では、プラズマの非平衡、特に極限的性質を探索しその学理の樹立を目的とする。日本は乱流プラズマ、光プラズマ、機能プラズマの研究領域において世界的にトップレベルの研究を展開している。その 3 分野を「非平衡極限プラズマ」の概念のもと融合し物理学の新領域を開拓、世界最高水準の研究を推進する。融合で得られる学理は、極限的・非平衡構造やダイナミクス・物理のみならず革新的応用技術を加速し、現代及び豊かな近未来社会の実現に貢献する。

融合研究推進のために建設される「非平衡極限プラズマプラットフォーム」では、特に「揺らぎ・構造・機能」の共通概念のもと普遍的原理を探索する。乱流に関しては、平衡状態において生じる 10 の 10 乗以上の強い極限的揺らぎ（乱流）のもとで、プラズマが自律的かつダイナミックに構造を形成する（軸性ベクトル形成）原理を探索する。特に磁場閉じ込めプラズマの未解決問題の第一原理的理解を提供する。一方、プラズマ（プラズマフォトンクス）によるレーザー光制御によって達成される 10 の 28 乗 W/m^2 の極限的光場で得られる凝縮状態（極限的プラズマ状態と言える）は、新奇物質科学や惑星内部で実現されている超高密度状態を実現し新しい物理学を切り開く。また、対象素材を破壊することなく大量に加工可能な技術はプラズマのみである。プラズマの機能を活用しより微細な 10 の 10 乗レベルで粒子を制御するボンドエンジニアリングの実現を目指す。さらに現代では医療や農業などプラズマが生体系にも応用されている。全国の競争力の高いプラズマ拠点のネットワーク体制によるプラズマの新学術領域の創成と、新領域を支える人材育成と日本を中心とした国際的な頭脳循環を促進する。

③ 学術的な意義

プラズマは普遍的に存在し自然現象の理解には不可欠な物理学の対象である。さらに、自然の理解には「究極の物質」の探求とともに、根元的物質から構成される自然がいかに発展して行くか、「流転する自然」の法則を知ることが人類古来のテーマである。後者はまさに本計画のキーワード「非平衡」の学理であり、その宝庫であるプラズマは格好の研究対象である。本計画で研究対象となる乱流、光、機能プラズマの密度や温度領域は 10 桁以上も異なり、そこでのプラズマの非平衡性の探究は、プラズマの構造形成とダイナミクスの原理的かつ普遍的理解を提示するのみならず地磁気生成、惑星大気・構造、ブラックホール周りの降着円盤など様々な天体現象解明の物理基盤を与えるなど「流転する自然」に対する学術基盤を提示する。

一方、プラズマプロセスが IT 文明の実現に貢献してきたのは周知の事実であるが、その他にもプラズマは陰日向に現代の文明の根幹を支える技術を提供している。本計画で得られる非平衡プラズマの学理は近未来の最先端技術実現のための学術基盤も提供する。例えば、極限プラズマ乱流の理解は超高温プラズマを制御し安全で経済的核融合炉を実現可能とする。また、プラズマは極限コヒーレント光を制御できる唯一のもので、能動的な X 制御法などの技術も開拓できる。プラズマ中に生じる極



図1. 非平衡極限プラズマ分野連携による学理の探求と波及効果

限電磁場の制御によってテーブルトップ加速器や電子顕微鏡が実現可能となる。また、プラズマの極限スケールの揺らぎを制御することでサブ原子レベルでの機能材料の加工も可能となる。「乱流・場・フォトン・粒子」を集团的に制御する物理学の新体系が導かれる。自然認識の基礎となる物理学のみならず、21世紀の超革新的技術の要となる学理を与え、量子ビーム科学、加速器科学、機能性物質創成などの工学や広く生体系への応用へと展開され大きな波及効果を持っている。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

プラズマ分野は基礎から応用まで広く裾野を広げて展開され熾烈な国際的競争状態にある。本計画の主要3分野は、研究テーマでの実績においていずれも世界を先導している。乱流プラズマでは、プラズマ乱流の完全理解を目指した多次元の測定によりプラズマ乱流をクロススケール結合の観点からパラダイムシフトを先導してきた実績がある。現在、一兆円以上の費用をかけてITER（国際熱核融合実験炉）が建設されようとしているが、磁場閉じ込め核融合の原理的理解による実験や効率化による研究費の合理化のためにも、今、プラズマの学理を発展させる緊急性は高い。光プラズマでは、日本オリジナルのプラズマフォトリクスを創出し、プラズマを始め諸相が共存する重相の科学や金属シリコン、スーパーダイヤモンドなど新機能性物質創成法を開拓している。機能プラズマでは、日本は従来のプロセス技術の枠を超えナノとバイオの融合分野を開拓し、さらに医学や農業応用において欧米の雑誌で注目を集め世界を牽引している。また、世界に先駆けて行く日本のプラズマ三強分野の融合研究は、日本オリジナルかつ挑戦的体制であり迅速に国際的優位性と競争力を一気に高めることができる。

⑤ 実施機関と実施体制

九大を研究推進の中核拠点とし、電気通信大学、大阪大学、東北大学、核融合科学研究所、金沢大学、名古屋大学を連携して全国共同研究を展開する。中核拠点には統括事務局を設置し、研究支援、運営事務、及び組織運営をプロジェクトディレクターの下に実施するとともに、全国共同機器利用、年次報告・評価、国際評価などの責任体制を支える。また、「研究連携統合委員会（仮称）」を置き融合研究を効率的に推進する。なお、本連携ネットワーク研究ではクロスアポイントメントなどの人事システムも積極的に利用し研究者循環を図り3分野の「知の循環」を促進する。プラズマ科学の新領域を担う若手を育成する。

⑥ 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）で前回と同額とする。設備費は、先進的新設備「非平衡極限プラズマプラットフォーム」の構築に使われる。このプラットフォームの構築なくしては本ネットワーク研究計画で提唱する極限の実現は困難であり、その構成は強い乱流場、超高強度光場プラズマ、プラズマ界面の観点から極限的非平衡性を実現する実験設備と、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なる。10年間の運営費には、このプラットフォームの運転経費（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及び運営費（20億円）を計上している。

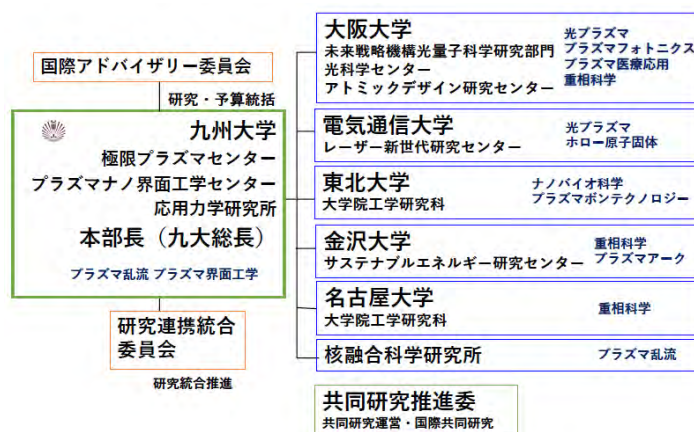


図2. 非平衡極限プラズマ研究連携ネットワークの組織と連携

⑦ 年次計画

研究継続期間：10年間（平成28～37年度）。

最初の3年間では、「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、「乱流・場・フォトン・粒子」を制御する観点から学理の大系化を目指す。非平衡極限プラズマの学理大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する。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。後半の4年間において、創成した新学術分野を更に普遍的視野から深化させ学術的発信に努め、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集中的に行う。

⑧ 社会的価値

現在の日本はノーベル賞の受賞者数に端的に表れているように、自然科学分野において世界的にも優位にある。究極の物質とともに物理解の根幹をなす「万物流転」の法則の確立を目指す本計画は、自然科学の最先端研究であり国民に誇りを与え文化的観点からも社会的価値が高い。一方で、プラズマの活用により、半導体素子製作にムーアの法則が継続し現在の豊かな情報化社会が実現しており、日本にはそれらを先導してきた実績がある。さらに、これからの技術であるフレキシブルデバイスやウェアブルデバイスなどの加工は対象を破壊することない非平衡プラズマの能力を持って初めて可能となる。エネルギー環境科学の観点からは、プラズマ乱流の理解や重相科学の進展は核融合炉システムの学問基盤を提示し、脱炭酸ガス社会へ駆動する大きな科学的意義を持っている。さらに、プラズマ学は、核融合、プロセスなどの既存の範囲を超えてスーパーダイヤモンドや金属水素などを始めとする新物質状態や新機能性新材料創成、さらに医療や農業などの生体系など多岐に渡って応用されている。さらに豊かで安全安心な近未来社会の実現に向けて、非平衡プラズマの研究は高い社会的価値を持つ。

⑨ 本計画に関する連絡先

藤澤 彰英（国立大学法人九州大学・応用力学研究所）

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

物質の起源の解明を目指し、J-PARC ハドロン実験施設の拡張とビームラインの整備・高度化によって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とともに、加えて物質生命科学実験施設(MLF)においても新しい素粒子実験を展開する。世界的にユニークで特徴ある二次ビームラインを新設して 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。それによって、宇宙開闢初期に創成された素粒子とその後に創られたハドロン・原子核・原子が織りなす階層構造、すなわち物質の起源を解明することが出来る。本計画では、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、上記の重要な実験を時間的に並行して効率良く行えるようにし、MLF には $g-2/\mu$ EDM 実験設備を新たに建設する。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。

多様な実験を一カ所で行えるという J-PARC の独自性を生かして、物質の起源を多面的に明らかにして世界をリードする研究基盤を構築する。素粒子物理と原子核物理のコミュニティからは強いサポートを受けている。遺跡調査と実施設計から実験開始まで五年間の計画で、そのための準備を進めている。国際共同実験として、国外の研究者にも開かれた形で進める。

② 目的と実施内容

ビッグバンでの素粒子の生成からハドロンの生成、恒星での原子核の生成と中性子星内部の高密度物質の生成にいたる、宇宙における物質の起源と物質生成史の全体像の解明をめざす。「物質・反物質の非対称性の謎」「素粒子の世代起源の謎」「ハドロンの生成と構造の謎」「核力と原子核生成の謎」「高密度物質の謎」を解き明かす。最初の二つの課題には、(1) 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)、(2) 荷電レプトンフレーバー非保存であるミュオンの電子変換過程の世界最高感度での探索(COMET)、(3) 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)、で挑む。後の三つの課題には、それぞれ、(4) チャームクォークや複数のストレンジクォークをもつハドロンの分光、(5) ストレンジクォークをもつバリオン(ハイペロン)の核力の研究、(6) ハイペロンを含む原子核(ハイパー核)の精密分光による高密度物質の研究、で挑む。



そのために、世界的にユニークで特徴ある二次ビームライン: KL, K10, K1.1, HIHR とそのための測定器を新設して、研究(1), (4), (5), (6)のそれぞれを実施する。(2)はハドロン施設の現有ビームラインに大強度対応の実験装置を新設し、(3)は物質生命科学実験施設に実験設備を新たに建設して、それぞれ行う。

③ 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、大強度ビームを用いたインテンシティブロンティアでの研究が必要不可欠である。本計画は、J-PARC ハドロン実験施設の高度化を軸に、素粒子物理および原子核物理にまたがる研究を総動員して、物質の起源に迫る研究を展開する。研究(1)により、現在の物質優勢宇宙の起源の解明を行う。(2)や(3)により、素粒子標準模型を超える事象を捉え、素粒子の世代の根源的な起源の理解を試みる。(4)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、それが核物質の中でどのように変化するか、すなわちハドロンの生成と構造の謎を理解する。また、(5)では、ストレンジ粒子と原子核の相互作用を明らかにすることで原子核生成の謎に挑み、(6)では、高密度核物質中でのストレンジネス自由度の役割を解明し、中性子星に存在していると考えられるストレンジ核物質の成り立ちを理解する。最近初めて直接観測された重力波を用いて、中性子星どうしの合体からの重力波の観測が期待されており(重力波天文学)、本研究で目指す高密度核物質の研究と深い関わりを持っている。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

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、米国トマスジェファ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、ドイツ GSI での FAIR 計画が進められている。フェルミ研究所の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やミュオン異常磁気能率の測定において競争関係にあるので、本計画の速やかな実施が望まれる。ジェファソン研究所の計画では、主として電子や光子を用いてハイパー核の分光や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。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も本計画の一部と競争関係にある。

国内では、SuperKEKB での B 中間子やタウ粒子の実験とハドロン実験、RIBF での核子多体系の実験と相補的な関係にある。

⑤ 実施機関と実施体制

主となる実施機関は高エネルギー加速器研究機構(KEK)の素粒子原子核研究所(素核研)である。素核研で既設の 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を中心として関連各グループを包括して実行組織を設ける。素核研は 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核研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(東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学、他)と協力してこれを進める。

⑥ 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 304 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：178 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：34 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：46 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：46 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(ハドロン実験施設拡張部分のみ必要で 17.5MW)
- ・メンテナンス等の運営費の増分：10 億円/年

(ハドロン実験施設拡張部分について 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。

⑦ 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。建築地は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、工事の実施に先立ち遺跡調査が必要となる。計画の一年目は並行して工事の実施設設計と装置の製作を行うことになる。二年目から四年目は工事と装置製作・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、二年目半ばから四年目半ばの内約一年半の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。しかし、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引き続き実施することが可能である。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。以上をまとめると年次計画は次のとおりである。一年目：遺跡調査、建築・土木の実施設設計、装置製作、二～四年目：建屋増設、ビームダンプ移設、装置製作・設置、五年目：施設運転開始、調整、実験開始。

$g-2/\mu$ EDM 実験に関しては、MLF での実験設備の建設をこれと並行して行う。なお、この実験と競争関係にある米国フェルミ研究所の実験は平成 28 年度には測定を開始する予定である。J-PARC での実験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望ましい。

⑧ 社会的価値

宇宙の歴史や物質の成り立ちに対する深い理解は、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。ミュオンビームに関する技術は、火山・原子炉内部構造の監視やミュオン顕微鏡に応用され、我が国の安心・安全社会の構築に役立つ。

また、本計画によって、J-PARC はハドロン関係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実験は普遍的、国際的な性格を有するため、本計画によって J-PARC をハドロン関係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。さらに、最先端基礎科学が日本で発展していく現状を子供達や若者に示し、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。

⑨ 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)



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

ハイパーカミオカンデ計画は、スーパーカミオカンデの約 10 倍（有効質量約 19 万トン）の水槽に超高感度光センサーを約 5 万本備えた、超大型地下水チェレンコフ実験装置を神岡町に 2 基建設する、核子崩壊・ニュートリノ実験計画である。1 基目の検出器の早期建設・運転開始により CP 対称性研究の早期実現を目指し、また段階的な 2 基目の建設により総有効質量 38 万トンを実現し、素粒子の大統一理論に迫る陽子崩壊の探索やニュートリノ天文学の展開を行う。大強度陽子加速器 J-PARC では加速器・ビームラインの大強度化を行い、安定して長期に 1.3MW 程度の強度で運転する。本計画は、ブラジル、カナダ、フランス、イタリア、日本、韓国、ポーランド、ロシア、スペイン、スイス、イギリス、アメリカの 12 ヶ国による共同事業計画であり、東京大学宇宙線研究所と高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所を実施中心機関とする。ハイパーカミオカンデの第一期建設経費は約 675 億円と見積もられており、日本はそのうちの約 551 億円を負担することを計画している。それとは別に J-PARC の改良と前置検出器建設費用に約 72 億円が必要であり、日本はそのうち約 42 億円を分担することを予定している。これまで推進体制構築や準備研究を進めてきており、検出器設計と国際役割分担、建設スケジュールがほぼ固まり、概算要求の検討をしている。2018 年 4 月からの建設開始を目指している。運転開始は 2026 年 4 月を予定している。

② 目的と実施内容

本研究計画は、スーパーカミオカンデを検出器質量と光感度の双方で凌駕する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、J-PARC からの大強度・高品質ニュートリノビームを用い、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大空洞を掘削して約 5 万本の光センサーを内部に設置した水槽を 2 基建設し、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。第一期建設でスーパーカミオカンデの約 10 倍（有効質量 19 万トン）の検出器 1 基の早期建設・運転開始を行い、CP 対称性研究の早期実現を目指す。第一期建設の予算措置などを鑑みて第二期建設の設計を決定し、最終的に総有効質量 38 万トンを実現する。J-PARC では加速器・ビームラインの大強度化を行い、安定して長期に 1.3MW 程度の強度で運転する。

③ 学術的な意義

なぜニュートリノ研究？

- **その性質は標準理論を超える物理の証拠**
 - 極端に軽い質量、大きな世代間混合
- **振動全容の解明へ（世界共通の認識）、ニュートリノ振動を発見した日本が世界を主導できる分野**
 - CP 非保存 δ_{CP} → 自然界の粒子と反粒子のアンバランスの理解の鍵
 - 三世代質量の順番の決定
- **ニュートリノは天体を見るブローブ**
 - 光では見えない太陽内部、超新星爆発内部等
- **大統一理論の検証**
 - 核子崩壊探索 + ニュートリノ研究



図 2、科学的動機

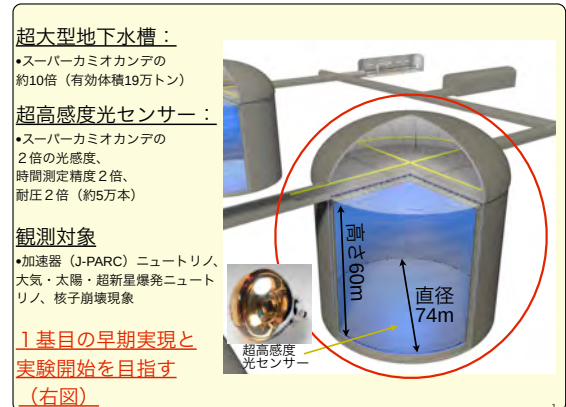


図 1、計画の概要

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、もっとも単純な大統一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」の証拠の発見と素粒子理論の新たなパラダイムの確立を目指す。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 10 万個ものニュートリノ事象の観測が期待される。これにより光では捉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、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 10 事象程度観測されることが期待され、多くの超新星爆発事象を用いた爆発機構の解明や、重元素合成の歴史の理解を目指す。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

現在日本と米国で 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。日本では、スーパーカミオカンデを凌駕するハイパーカミオカンデを建設し、J-PARC ニュートリノビームの増強とあわせて、ニュートリノ研究の確実な展開を目指している。我が国は過去 30 年に渡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。一方米国では日本の実験の 5 倍程度の基線長とニュートリノエネルギー、検出器質量が 1/10 程度の液体アルゴン検出器を用いたニュートリノ実験を計画している。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反面、厳しい発見競争に勝つためにはハイパーカミオカンデの一刻も早い建設開始が必要となっている。また代表的な陽子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は、その大検出器質量のためにハイパーカミオカンデのみが 10 の 35 乗年以上の感度に至る。

⑤ 実施機関と実施体制

東京大学宇宙線研究所が中心となりハイパーカミオカンデの建設と運転を推進する。東京大学はスーパーカミオカンデの建設と運転の実績を持ち、実験装置の各要素の開発・運転技術を持つ研究者を擁しており、神岡宇宙素粒子研究施設の総力を動員して実施中心機関としての責任を果たす。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と運転は、もう一つの実施中心機関である高エネルギー加速器研究機構が中心となり推進する。両機関はハイパーカミオカンデに関する協力の協定を締結し、常設諮問委員会を設置し、計画の具体化に向けた検討を進めてきている。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、岡山大学であり、要素開発・建設・運転に参加する。また海外（ブラジル、カナダ、フランス、イタリア、韓国、ポーランド、ロシア、スペイン、スイス、イギリス、米国）からの参加も予定されており、光検出システムの半分や前置検出器を主に分担する。

⑥ 所要経費

総経費は約 1547 億円、そのうち日本分担分は約 1393 億円と見積もられている。ハイパーカミオカンデの建設経費は約 675 億円と見積もられており、日本はそのうちの約 551 億円を 2018 年から 2025 年度の 8 年間に負担することを計画している。その内訳として、(1) 地下空洞掘削（約 284 億円）、(2) 水槽ライナーと構造体（約 123 億円）、(3) 内側水槽の光検出システムの半分（約 102 億円）、および(4) 純水製造装置（約 32 億円）となる。またハイパーカミオカンデ装置の運転と大学共同利用体制整備などに 20 年間で約 400 億円（2026 年から 2045 年度）必要となる。J-PARC の 750kW から 1.3MW への改良に約 32 億円、その運転経費として 10 年間で約 400 億円（2026 年から 2035 年度）が必要となる。ただしこの運転経費は、高エネルギー加速器研究機構分（後段加速器）のみであり、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。前置検出器の建設経費は約 40 億円と見積もられており、日本はそのうちの約 10 億円を分担することを計画している。

⑦ 年次計画

- 2018 年 4 月 建設地地質調査開始
アクセストンネル掘削開始
- 2020 年 4 月 ハイパーカミオカンデ地下空洞掘削開始
J-PARC の 1.3MW への改良開始
前置検出器建設開始
- 2023 年 4 月 水槽建設開始
- 2024 年 10 月 光検出システム取り付け開始
- 2025 年 10 月 純水供給開始
- 2026 年 4 月 ハイパーカミオカンデ運転開始（2045 年度まで）
J-PARC1.3MW 運転開始（2035 年度まで）

⑧ 社会的価値

日本におけるニュートリノ研究は、2002 年（小柴昌俊東京大学特別栄誉教授）と 2015 年（本研究計画提案者梶田）のノーベル物理学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。本研究は未だ謎につ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、世界最先端の技術を必要とする。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。

⑨ 本計画に関する連絡先

塩澤 真人（東京大学・宇宙線研究所）