

大規模学術フロンティア促進事業の「事業移行評価」(報告)

「「スーパーカミオカンデ」によるニュートリノ研究の
推進」から「「スーパーカミオカンデ」によるニュートリ
ノ研究の新展開」への事業移行について

令和6年(2024年)8月15日

科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会

目次

はじめに.....	- 3 -
1. 事業移行評価の実施方法	- 4 -
2. 現行計画の概要	- 5 -
① 概要と主な内容.....	- 5 -
② 実施体制.....	- 5 -
③ 年次計画及び予算規模.....	- 6 -
3. 現行計画の達成状況	- 7 -
・ プロジェクトの進捗・達成状況.....	- 7 -
・ プロジェクトの実施体制.....	- 8 -
・ 学術的意義と波及効果（達成度）.....	- 9 -
・ 社会的意義と波及効果（達成度）.....	- 9 -
4. 後継計画の概要	- 10 -
① 概要と主な内容.....	- 10 -
② 施設整備.....	- 10 -
③ 実施体制.....	- 10 -
④ 年次計画及び予算規模.....	- 10 -
⑤ 戦略性、緊急性、社会や国民からの支持.....	- 11 -
・ 戦略性.....	- 11 -
・ 緊急性.....	- 11 -
・ 社会や国民からの支持.....	- 11 -
5. 現行計画の評価と今後の留意点	- 12 -
① 現行計画の達成状況を踏まえた評価.....	- 12 -
② 後継計画推進に当たっての課題・留意点.....	- 12 -
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会 委員名簿	- 14 -
別添 1：現行計画の年次計画.....	- 15 -
別添 2：実施主体が構想する後継計画の年次計画.....	- 16 -

はじめに

学術研究の大型プロジェクトは、最先端の技術や知識を結集して人類未踏の研究課題に挑み、当該分野の飛躍的な発展をもたらすとともに、世界の学術研究を先導するものであり、社会や国民の幅広い支持を得ながら、長期的な展望を持って、これを推進していく必要がある。

文部科学省では、平成 24 年度(2012 年度)に「大規模学術フロンティア促進事業」を創設し、科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会（以下「本作業部会」という。）が策定する「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想－ロードマップ－」等に基づき、社会や国民からの支持を得つつ、国際的な競争・協調に迅速かつ適切に対応できるよう、学術研究の大型プロジェクトを支援し、戦略的・計画的な推進を図っている。

各プロジェクトの推進に当たっては、本作業部会として原則 10 年以内の年次計画を作成し、これに基づく進捗管理等を「大規模学術フロンティア促進事業のマネジメントについて」(令和 5 年(2023 年)4 月 20 日本作業部会決定)(以下「マネジメント」という。)に基づき実施している。年次計画の終期を迎えるプロジェクトについては、実施主体等に後継計画の構想があり、かつ、後継計画がロードマップに記載されている場合には、現行計画に対する評価及び後継計画への移行の可否を審議するため、本作業部会として、「事業移行評価」を行うこととしている。

「スーパーカミオカンデ」によるニュートリノ研究の推進」から「スーパーカミオカンデ」によるニュートリノ研究の新展開」について

「大規模学術フロンティア促進事業」の一つである、「スーパーカミオカンデ」によるニュートリノ研究の推進」(以下「現行計画」という。)は、当初計画では、平成 25 年度(2013 年度)から令和 4 年度(2022 年度)のところ、令和 4 年度(2022 年度)に新型コロナウイルス感染症の影響による研究計画の遅れを踏まえ、年次計画を 2 年延長している。令和 6 年度(2024 年度)に延長後の年次計画の最終年度を迎え、実施主体である東京大学宇宙線研究所が後継計画「スーパーカミオカンデ」によるニュートリノ研究の新展開」(以下「後継計画」という。)への移行を希望していることから、本作業部会として事業移行評価(現行計画に対する期末評価と後継計画に対する事前評価を代替)を実施し、本報告においてその結果を示すものである。

なお、評価に当たっては、本作業部会の委員に加え、当該分野における専門家にアドバイザーとして協力を頂き、評価を実施した。

1. 事業移行評価の実施方法

「マネジメント」に定める評価の流れに基づき、事業移行評価を以下のとおり実施した。

【本作業部会における事業移行評価の経過】

- ・ 現地調査（東京大学宇宙線研究所（岐阜県飛騨市））
（令和6年（2024年）6月12日（水））
- ・ 実施主体からのヒアリング
若手含む実施研究者との意見交換
（令和6年（2024年）6月13日（木））
- ・ とりまとめ書面審議
（令和6年（2024年）8月7日（水）～8月15日（木））

2. 現行計画の概要

① 概要と主な内容

- ・ 実施主体
東京大学宇宙線研究所

- ・ 計画概要
ニュートリノ研究における世界最大級の大型実験装置「スーパーカミオカンデ」を改良し、ニュートリノの全貌解明に向けた研究の展開やニュートリノを利用した宇宙観測を実施することで世界のニュートリノ研究の中心を担う。

- ・ 計画期間
平成 25 年度(2013 年度)～令和 6 年度(2024 年度)、12 年計画
※ 現行計画開始当初は、平成 25 年度(2013 年度)から令和 4 年度(2022 年度)までの 10 年の計画であったが、新型コロナウイルス感染症の影響による進捗の遅れを踏まえて、年次計画を 2 年間延長し令和 6 年度(2024 年度)までの 12 年間の計画へ変更している。
[参考] 建設期間：平成 3 年度(1991 年度)～平成 8 年度(1996 年度)
 運転期間：平成 8 年度(1996 年度)～

- ・ 所要経費
年間運用経費 約 7 億円
[参考] 建設費総額 約 104 億円

- ・ 研究テーマ(目標)
 - 1) ニュートリノの質量階層性など全貌解明に向けた研究の展開
 - 2) ニュートリノを用いた宇宙観測
 - 3) 大統一理論の検証を可能とする陽子崩壊の探索

- ・ 評価等の経緯
進 捗 評 価：平成 28 年(2016 年)12 月、平成 30 年(2018 年)8 月
年次計画変更：平成 29 年(2017 年)1 月、平成 30 年(2018 年)8 月、
 令和 5 年(2023 年)1 月

② 実施体制

本計画は、東京大学宇宙線研究所が実施主体として、国内の 17 の大学・研究機関と国外の 10 カ国 34 の大学・研究機関と連携して推進。

③ 年次計画及び予算規模
別添 1 のとおり

3. 現行計画の達成状況

・ プロジェクトの進捗・達成状況

スーパーカミオカンデは、岐阜県神岡鉱山の地下 1,000 m に 5 万トンの水を蓄えた水チェレンコフ型検出器であり、その内壁に設置した多数の光電子増倍管でニュートリノ反応によって生成される荷電粒子が発するチェレンコフ光をパターンとしてとらえることにより、反応した場所、粒子の方向、粒子の種類を決定することができる観測装置である。平成 10 年(1998 年)にはニュートリノ振動を発見しニュートリノが質量を持つことを示し、平成 11 年(1999 年)から始まった K2K (KEK to Kamioka) 実験では世界に先駆けて高エネルギー加速器研究機構の陽子加速器で人工的に作られたニュートリノをスーパーカミオカンデに打ち込む実験が行われ、大気ニュートリノで発見されたニュートリノ振動を確認することに成功した。また、平成 21 年(2009 年)からは大強度陽子加速器施設(J-PARC)の加速器を用い、K2K 実験の約 50 倍の大強度ニュートリノビームを用いた T2K(Tokai to Kamioka)実験がスタートしている。平成 10 年(1998 年)の大気ニュートリノ振動の発見に始まる数多くのニュートリノ振動に関する成果は高く評価され、平成 27 年(2015 年)にはノーベル物理学賞が梶田隆章博士(東京大学宇宙線研究所長(当時))に授与され、同年「基礎物理学ブレークスルー賞(Breakthrough Prize in Fundamental Physics)」がスーパーカミオカンデ実験グループ、K2K/T2K 実験グループに授与された(SNO, KamLAND, Daya Bay 実験と共に)。

本プロジェクトは、計画概要のとおりスーパーカミオカンデを改良することにより、ニュートリノの全貌解明に向けた研究の展開やニュートリノを利用した宇宙観測を実施することで世界のニュートリノ研究の中心を担うことを目的にしたものである。

プロジェクトの推進にあたって掲げた 3 つの研究テーマについては、概ね良好な達成状況である。

「1) ニュートリノの質量階層性など全貌解明に向けた研究の展開」については、ニュートリノ質量階層性の発見、ニュートリノの CP 対称性の破れの研究及び新種ニュートリノの存否の解明を課題としたものである。ニュートリノが地球を通過する際に受ける物質効果の差異に注目した大気ニュートリノ研究によって質量階層性を発見するため、大気ニュートリノの精密観測における検出器外周の事象を解析に取り入れることで統計量を従来よりも 48%増やしたほか、ニュートリノと反ニュートリノの違いの分別をより精密に行うように解析プログラムの改良を行うことにより、ニュートリノ質量階層性について 92.3 %の信頼度で標準階層性を示唆する結果を得られる成果を上げている。また T2K 実験では、J-PARC からのニュートリノビーム及び反ニュートリノビームによる電子ニュートリノ出現とミューニュートリノ消失の観測結

果を同時に用い、さらに原子炉実験のデータを合わせることで、CP 対称性の破れがあることを 90%以上の確率で示唆する結果を得られている。さらに、太陽ニュートリノ観測では、放射性物質によるバックグラウンド事象の削減手法の開発・適用により観測精度を向上させるなど、科学成果を着実に積み上げてきたと言える。

次に、「2) ニュートリノを用いた宇宙観測」については、超新星爆発からのニュートリノを捉えることによる超新星爆発の機構解明、及び暗黒物質が対消滅して生まれるニュートリノを捉えることにより暗黒物質を間接的に探ることを課題としたものである。超新星爆発から生成される反電子ニュートリノは水中の陽子と反応して陽電子と中性子を生成するが、純水では陽電子の信号のみしか観測に使用できなかったため、純水にガドリニウムを導入することによって中性子の遅延同時計測を目指した。ガドリニウムの導入に際しては、放射性不純物の少ない超高純度硫酸ガドリニウムをメーカーと共同開発し、純水装置への漏洩対策や循環システムなどの改良により、タンク内純水の透過率を保ちながら中性子信号を捉えることに成功している。また、解析に機械学習の手法を取り入れることによりバックグラウンドの削減に取り組み、従来の手法に比べ約 1.3 倍の中性子検出効率を実現させた。これらにより得られたデータ解析の結果、超新星背景ニュートリノがゼロの場合を 90~95%信頼度程度で排除するなど、超新星背景ニュートリノ信号の兆候が見えており、今後のデータ取得による大きな成果が見込める重要な進展に至っている。

最後に、「3) 大統一理論の検証を可能とする陽子崩壊の探索」については、大統一理論の検証を行うため、継続して陽子崩壊の探査を行うことを課題としたものである。陽子崩壊探索ではより多くのデータを取得することが重要となるため、解析手法と粒子識別手法の改善・改良により統計量を 20%増やし、最大 450 キロトン・年となる世界最大の観測データ量での陽子崩壊研究を進めている。

・ プロジェクトの実施体制

本プロジェクトでは、東京大学宇宙線研究所が主体となり、国際協力体制のもとで、明確な責任体制と役割分担が確立されている。

国際的な協力体制については、連携する各国から 1 人ずつの代表者からなる Country Board のほか、実験の運営について議論を行う Executive committee、実験に係る重要事項を審議する Collaboration Council、学生を含む共同実験者会議である Collaboration Meeting 等が設置され、相互に連携が図られて適切な運営が担保されている。

なお、ガドリニウム実験の推進にあたっては、ガドリニウム取扱専用エリアを設けて、作業従事者に対して専用保護具の着用を義務付けるとともに、安全データシートを基にした安全教育の実施や、万が一漏洩した場合のマニユ

アルの準備など、徹底した安全対策が実施されている。

・ 学術的意義と波及効果（達成度）

スーパーカミオカンデは、ノーベル賞受賞につながる大気ニュートリノ振動の発見を含め、数多くの成果を上げて、当該分野を牽引してきた。現行計画においては、純水へのガドリニウム導入により中性子の遅延同時計測を可能とすることで、超新星背景ニュートリノの観測感度を大幅に向上させニュートリノ質量の階層性の決定やCP対称性の破れの問題の解明に向けて世界のニュートリノ研究を牽引する成果をあげており、学術的意義は極めて高い。また、超新星爆発に備えて光学望遠鏡および重力波観測装置との連携観測体制を構築し、マルチメッセンジャー天文学を推進しており、素粒子物理学にとどまらず、宇宙物理学、天文学などの研究にも大きな波及効果をもたらしていると言える。

加えて、平成25年(2013年)度以降、スーパーカミオカンデやT2K実験で研究活動を行った大学院生および若手研究者は、日本国内の研究機関に所属する者だけでも202名にのぼり、100本の修士論文、45本の博士論文、53件(Breakthroughなど若手も含む共同受賞を入れると55件)の受賞に寄与するなど、当該分野における若手研究者の育成に大きく貢献できた点も評価できる。

・ 社会的意義と波及効果（達成度）

ノーベル賞受賞につながる成果を創出するなど、我が国が世界に誇る領域であり、宇宙や物質の起源に挑むという人類にとって極めて大きな真理探究のテーマとして高い社会的意義を有している。また、こうした意義について、科学館での展示やサイエンスカフェ、講演会等の取組を通じて、広く社会への発信に努めており、次世代の人材育成を含めた国民の科学リテラシーの向上にも寄与していると評価できる。

加えて、ガドリニウムの導入に際しては、地域住民に対する丁寧な説明と情報公開を行い、安全対策への理解を得ることで、地元との信頼関係が構築できている。それと相まって、飛騨市との連携協定による活動などを通じて地域の活性化に貢献するなど、地域との共生を実現している。

4. 後継計画の概要

① 概要と主な内容

- ・ 実施主体
東京大学宇宙線研究所
- ・ 計画概要
スーパーカミオカンデのニュートリノ識別能力を本質的に改善させ、ニュートリノによる天体物理学および素粒子物理学の両面に新たな展開をもたらす。
- ・ 計画期間
令和7年度(2025年度)～ハイパーカミオカンデが安定稼働に入るまで
(令和10年度(2028年度)頃を予定)
- ・ 所要経費
年間運用経費 約6億円
- ・ 研究目標(研究テーマ)
 - 1) ニュートリノを用いた宇宙観測
 - 2) ニュートリノの質量階層性など全貌解明に向けた研究の展開
 - 3) 大統一理論の検証を可能とする陽子崩壊の探索

② 施設整備

既存のスーパーカミオカンデを継続運転し、観測を行うものであり、新たな施設整備を必要としない。

③ 実施体制

東京大学宇宙線研究所を実施責任機関として、国内の17の大学・研究機関と国外の10カ国34の大学・研究機関と連携して推進。

④ 年次計画及び予算規模

実施主体が構想する年次計画は、別添2のとおり

⑤ 戦略性、緊急性、社会や国民からの支持

・ 戦略性

我が国が強みを有するニュートリノ科学の分野において、スーパーカミオカンデは、世界でも群を抜いて感度の高い検出器であり、現在建設中のハイパーカミオカンデが安定稼働に入るまで継続運転を続けることは、国際的プレゼンスを維持するためにも重要である。また、後継計画として掲げる3つの研究テーマは、当該分野においていずれも学術的価値が極めて高く、ガドリニウムの導入に伴う感度の向上により、超新星背景ニュートリノの初観測、ニュートリノ・反ニュートリノの違いの識別、陽子崩壊の探索など新たな成果が今後数年の間に期待されるなど戦略性は高いと認められる。

・ 緊急性

国際的な競争が激しさを増す中、既に重要な兆候が見られている現象に関してスーパーカミオカンデでの継続的な観測によるデータの蓄積と解析を続けることは、国際的にニュートリノ科学を牽引していくために重要であり、緊急性が高い。ハイパーカミオカンデが安定稼働するまでの間、超新星爆発からのニュートリノ観測の機会を逃すことなく様々な手法で観測の準備を整えておくことは、ニュートリノ天文学、マルチメッセンジャー天文学いずれにとっても重要である。

・ 社会や国民からの支持

ノーベル賞受賞につながった装置として国民の認知度は高く、社会に夢と希望を与え、多くの人々に対して科学の面白さ、大切さを理解する契機を与える計画である。

実施主体は、情報発信や見学会の開催といったアウトリーチ活動に組織的に取り組んでおり、社会や国民からの支持獲得に努めている。また、ガドリニウム導入に際しては厳重な安全管理を行い、地域住民に対して丁寧な説明を行い安全対策への理解を得るなど、地域社会との共生を実現している。

5. 現行計画の評価と今後の留意点

① 現行計画の達成状況を踏まえた評価

現行計画においては、新型コロナウイルス感染症の影響による計画期間の延長もあったが、所期の計画であったガドリニウムの導入を着実に成し遂げてスーパーカミオカンデの大幅な感度向上を果たしており、前述「3. 現行計画の達成状況」のとおり着実に成果を上げている。後継計画においては、これまでの実績も生かしながら、さらにチャレンジングな目標を掲げており、例えばデータ量をさらに増やすことによる超新星背景ニュートリノの世界初発見や、解析精度の向上に伴うニュートリノの質量階層性及びCP対称性の破れに係るより高い信頼度での検証などの更なる成果の創出が期待できる。

また、研究者の情熱が若手に伝播し、若手研究者が自主的に学び、横のつながりで新しい知識を身につけることができるような環境も構築できており、後継計画においても、引き続き若手研究者の連携と活発な研究活動が展開されることを期待する。

スーパーカミオカンデで培われた技術と知見は、次世代のハイパーカミオカンデ計画にも直接生かされることとなる。ニュートリノ物理の最前線を切り拓くスーパーカミオカンデの活動は、基礎科学の発展と社会への貢献の両面から極めて重要であり、後継計画を着実に進めることが必要である。

② 後継計画推進に当たっての課題・留意点

1) 計画終了後の在り方の明確化

スーパーカミオカンデは、現在建設中のハイパーカミオカンデの安定稼働に入るまで継続運転を行い、研究をつなげていく予定としている。一方で、本計画終了後の施設や付帯設備、ガドリニウム回収などの取扱いについて明確になっていないため、コミュニティとも協調しながら検討を行い、具体的な計画を策定していく必要がある。

2) 老朽化対策

平成8年度(1996年度)の運用開始から30年近く経過しているため、実験装置の経年劣化への対応が課題である。今後起こりうる障害をあらかじめ想定し、修理等の作業に係る観測停止期間を最小限にとどめるような万全の備えが必要である。

3) 社会への発信

ノーベル賞受賞などを契機として、社会や国民の支持も得られてきているが、高度な技術を用いて真理に迫るほど一般的な理解を得難くなる傾向も考

えられるため、計画の学術的意義や成果について、これまで以上にわかりやすく整理し、国民の支持を得られるように広く発信し続ける必要がある。

科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会 委員名簿

【学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会委員】

(委員)

原 田 尚 美 東京大学大気海洋研究所教授、
海洋研究開発機構地球環境部門招聘上席研究員

(臨時委員)

石 原 安 野 千葉大学国際高等研究基幹教授
上 田 良 夫 追手門学院大学教授
大 橋 隆 哉 東京都立大学学長
桑 田 薫 東京工業大学理事・副学長（研究・ダイバーシティ推進担当）
中 野 貴 志 大阪大学核物理研究センター長
○ 松 岡 彩 子 京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター教授
山 本 智 総合研究大学院大学理事・副学長
◎ 渡 辺 美代子 日本大学常務理事、特定非営利活動法人ウッドデッキ代表理事

(専門委員)

岩 井 紀 子 大阪商業大学総合経営学部商学科教授
岡 田 真 人 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
嘉 糠 洋 陸 東京慈恵会医科大学医学部教授
鈴 木 裕 子 鈴木裕子公認会計士事務所長、理化学研究所監事、公認会計士
関 野 徹 大阪大学産業科学研究所教授
三 原 智 高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所教授
吉 武 博 通 東京家政学院理事長、筑波大学名誉教授

【アドバイザー】

井 上 邦 雄 東北大学ニュートリノ科学研究センター長
藏 重 久 弥 神戸大学理学研究科物理学専攻教授

◎:主査 ○:主査代理 (敬称略、50音順)

別添1：現行計画の年次計画

大規模学術フロンティア促進事業の年次計画

計画名称	「スーパーカミオカンデ」によるニュートリノ研究の推進												
実施主体	【中心機関】東京大学宇宙線研究所 【連携機関】(国内)高エネ研、京都大 ほかに12機関 (国外)カリフォルニア大アーバイン校、ボストン大 ほかに24機関												
所要経費	建設費総額 約104億円 年間運用経費 約7億円	計画期間	運用期間 平成25年度～令和6年度 (評価実績：事前評価 平成22年度、中間評価 平成14年度 ※事故後の復旧について、進捗評価 平成28年度)										
計画概要	ニュートリノ研究における世界最大級の大型実験装置「スーパーカミオカンデ」を改良し、ニュートリノの全観測に向けた研究の展開やニュートリノを利用した宇宙観測を実施することで世界のニュートリノ研究の中心を担う。												
研究目標(研究テーマ)	1. ニュートリノの質量階層性など全観測に向けた研究の展開 2. ニュートリノを用いた宇宙観測 3. 大統一理論の検証を可能とする陽子崩壊の探索												
年次計画	2013(H25)	2014(H26)	2015(H27)	2016(H28)	2017(H29)	2018(H30)	2019(R1)	2020(R2)	2021(R3)	2022(R4)	2023(R5)	2024(R6)	2025(R7)
1. ニュートリノの質量階層性など全観測に向けた研究の展開 ・加速器や原子炉ニュートリノ実験の結果を合わせることで観測精度の向上を図り、大気ニュートリノの精密観測により、ニュートリノ質量階層性の発見を目指す。 ・T2K実験の観測精度を向上し、原子炉ニュートリノとの比較によりニュートリノと反ニュートリノの違いを探り(ニュートリノのCP非保存)、その系統を探る。 ・周辺ノイズを取り除くことで太陽ニュートリノの観測精度を向上させ新種ニュートリノの存否の決着を目指す。	観測開始								ニュートリノ質量階層性の発見を目指す				
	J-PARCの増強(750kW)												
	ニュートリノのCP非保存の兆候を探る												
	新種ニュートリノの存否の決着を目指す												
環境整備(ノイズ低減)													
2. ニュートリノを用いた宇宙観測 ・超純水にガドリニウムを溶解するなど装置の感度向上を図ることで超新星爆発からのニュートリノを捉え、超新星爆発の機構解明に迫る。 ・太陽内部等での暗黒物質同士が対消滅して生まれるニュートリノの飛来方向を、解析プログラムの改良を行いより良く捉えることにより、観測精度を2倍にして暗黒物質を探る。	超純水にガドリニウムを溶解するための装置の改良												
	電子回路の改良												
	超新星爆発からのニュートリノの捕捉を目指す												
	本観測開始												
暗黒物質の高感度探索													
3. 大統一理論の検証を可能とする陽子崩壊の探索 ・ニュートリノの質量を含む大統一理論の検証を行うため、継続して陽子崩壊の探索を行う。	解析プログラムの改良												
	観測開始												
大統一理論の検証													
評価の実施時期	-	-	-	進捗評価	-	進捗評価	-	-	-	-	-	-	-
計画推進に当たっての留意事項等	<p>【年次計画変更に当たっての留意点(R5.1)】 ○新型コロナウイルスの影響により特に現地の若手研究者等のスタッフの負担が大きくなっている。若手のモチベーションは高いがそれに頼るだけでなく、適切なエフォート管理及び評価、クロスアポイントの活用、キャリアパスの確保、研究者・技術者等の増員を検討するとともに、シミュレーションや解析手法等の高度化の検討においても若手の意見を取り入れながら進める必要がある。 ○ガドリニウムの使用に当たっては、引き続き厳重な安全管理を行うとともに、地域住民への透明性の高い情報提供、溶解に携わる作業従事者・研究者の安全確保及び健康管理、事故防止対策等について留意する必要がある。 ○ガドリニウムの投入による感度向上は認められているが、並行して物理解析の準備を着実に進め、延長した2年間を有効に活用して新たな研究成果創出に一層注力して頂きたい。</p> <p>○スーパーカミオカンデの運営経費の確保に配慮しつつ、一般経費化を図るなど大規模学術フロンティア促進事業の枠組みから外すことも含め、その位置付けを検討する。</p> <p>【進捗評価報告書における留意点(H30.8)】 ①国際共同研究体制の更なる深化と国際費用負担の更なる検討について 本プロジェクトは高い国際競争力を有し、10か国の研究機関が参加し、全体の半数弱という高い割合の海外研究者が参加する国際共同研究体制となっている。今後、Tank Open Country Boardにおける意思決定プロセスの明確化や、国際共同実験に基づくオーサーリストの作成プロセスの明確化など、国際共同研究体制を更に深化させること、並びに海外研究者の更なる参加に応じて、通常運転時の運転経費等への更なる貢献を得ることが期待される。</p> <p>②ガドリニウム実験に伴う安全対策の更なる徹底について 従来から行ってきた環境影響への対策や地元住民への説明を徹底することはもとより、今後、工事へ着手するに当たり、ガドリニウムの溶解に携わる作業従事者及び研究者への研修や、作業現場の安全確保など、事故防止に向けた教育と対策の徹底や、第三者機関によるガドリニウムの漏えい検知や、検知した場合の具体的な対応プロセスの事前検討などを含む安全対策全般に対するチェック機能の整備と情報の公開など、更に慎重な対応が求められる。</p> <p>③年次計画上の最終年度におけるアウトカムの明確化について 2019年度から2022年度まで4年間のガドリニウム実験が、当該分野において具体的にどのような意義を持つものなのか、達成目標としてのアウトカムを明らかにすることが求められる。このことは、期末評価における達成度の確認に寄与するばかりでなく、国民や社会からの支持を得る上でも必要である。</p>												

別添2：実施主体が構想する後継計画の年次計画

計画名称	「スーパーカミオカンデ」によるニュートリノ研究の新展開		
実施主体	【中心機関】 東京大学宇宙線研究所 【連携機関】 国内17 (KEK, 京都大学, 岡山大学, 等), 海外34 (ボストン大学, カリフォルニア大学, 等) の大学・研究機関	分野	物理学
所要経費	年間運用経費 約6億円	計画期間	ハイパーカミオカンデが安定稼働に入るまで
計画概要	スーパーカミオカンデのニュートリノ識別能力を本質的に改善させ、ニュートリノによる天体物理学および素粒子物理学の両面に新たな展開をもたらす		

【年次計画】

項目 (研究テーマ)	1年目 (2025年度)	2年目 (2026年度)	3年目 (2027年度)	4年目 (2028年度)	5年目 (2029年度)	6年目 (2030年度)	7年目 (2031年度)	8年目 (2032年度)	9年目 (2033年度)	10年目 (2034年度)	10年目 以降	備考
<p>1. ニュートリノを用いた宇宙観測 ・Gdを導入した検出器により、宇宙初期からの超新星爆発からのニュートリノの観測を目指す ・天の川銀河での超新星爆発をモニターし、観測した場合には超新星の方向をいち早く世界の光学望遠鏡観測網に発信する。 ・多様な方法による暗黒物質の探索 ・高エネルギー天体からの宇宙ニュートリノ探索</p>		<p>超新星背景ニュートリノの観測を目指す</p> <p>天の川銀河での超新星爆発モニター</p>										
成果指標：関連論文数	※9本/5年				※9本以上/5年					※		
<p>2. ニュートリノの質量階層性など全貌解明に向けた研究の展開 ・加速器や原子炉ニュートリノ実験の結果を合わせることで観測精度の向上を図り、大気ニュートリノの精密観測により、ニュートリノ質量階層性の発見を目指す。 ・T2K実験の観測精度を向上し、原子炉ニュートリノとの比較によりニュートリノと反ニュートリノの違いを探り（ニュートリノのCP非保存）、その兆候を探る。 ・周辺ノイズを取り除くことで太陽ニュートリノの観測精度を向上させる。</p>		<p>ニュートリノ質量階層性の発見を目指す</p> <p>ニュートリノのCP非保存の兆候を探る</p> <p>スペクトルの歪み、異変変動の観測を目指す</p>										
成果指標：関連論文数	※9本/5年				※9本以上/5年					※		
<p>3. 大統一理論の検証を可能とする陽子崩壊の探索 ・Gd導入後のデータに最適化した陽子崩壊探索手法の開発を行い、探索感度向上を実現する。 ・SK開始以来の全データを用い、多様な陽子崩壊モードを用いた網羅的な探索を行う。</p>		<p>陽子崩壊探索の感度向上</p> <p>陽子崩壊の網羅的探索</p>										
成果指標：関連論文数	※5本/5年				※5本以上/5年					※		