

地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化

領域番号：6105

令和元年度～令和5年度

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）

（新学術領域研究（研究領域提案型））

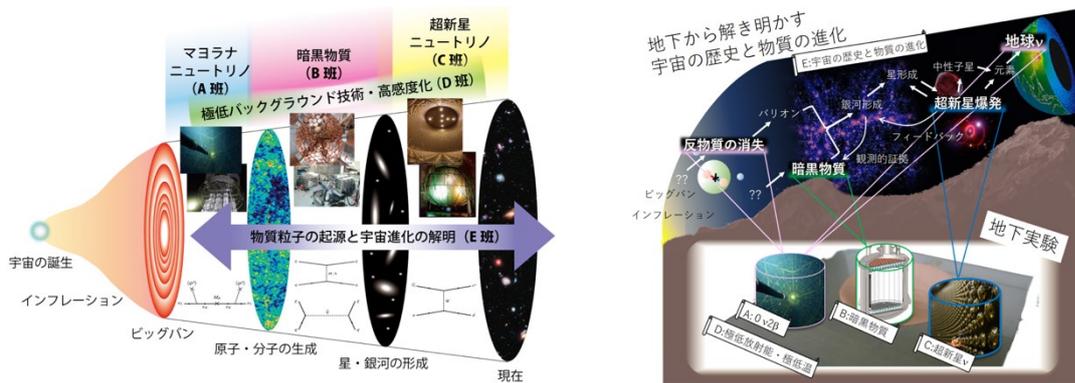
令和6年6月

領域代表者 井上 邦雄

東北大学・ニュートリノ科学研究センター・教授

はしがき

低バックグラウンド(BG)観測に適した地下環境で実現した超新星や太陽・大気・加速器・原子炉さらには地球ニュートリノ観測は、ニュートリノ振動の発見をもたらし、ニュートリノ天文学やニュートリノ地球科学を創出してきた。平成 26 年度から平成 30 年度にかけて展開した新学術領域「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究(地下素核)」は、極低放射能化を進め、非常に稀な現象を扱う暗黒物質の直接探索やニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊($0\nu 2\beta$)の探索といった「地下宇宙素粒子研究」を重要な学術分野に成長させた。



令和元年から令和 5 年度にかけて展開した本領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化(地下宇宙)」は、培ってきた極低放射能技術に極低温技術を取り込み、暗黒物質探索や $0\nu 2\beta$ 探索で世界をリードする研究を展開し、物質の起源や力の統一といった素粒子研究の究極目標を目指す上での新しい手法となる「極稀現象フロンティア」を開拓した。極稀現象フロンティアとは、自然界に埋もれている素粒子の標準理論を超えた現象を極低バックグラウンド技術で見出す研究フロンティアである。極稀現象フロンティアの主要研究である暗黒物質探索や $0\nu 2\beta$ 探索は素粒子原子核研究の最重要課題にも位置付けられている。さらに、本領域では、宇宙の歴史や物質の化学進化の系統的な理解を進める超新星背景ニュートリノ観測や宇宙の現在の較正点となる地球ニュートリノ観測でも世界をリードする研究を展開してきており、学際分野も含んだ広がりのある研究を展開してきた。

「極稀現象フロンティア」は今後数十年にわたって重要な研究フロンティアであり続けることが期待され、長期的な視野で研究展開・技術継承・技術革新・人材育成を実施していく必要がある。一方で、極稀現象フロンティアは幅広い分野を跨ぐため、長期的な視野で分野を支える固有の研究拠点がこれまでなかった。本領域での活動は、長期的な視野でコミュニティと共に分野を発展させる組織整備「大学間連携による神岡極稀現象研究拠点の形成」を令和 6 年にスタートさせるに至った。さらに、本領域の研究をより一層発展的に展開する学術変革領域「極稀事象で探る宇宙物質の起源と進化：新たな宇宙物質観創生のフロンティア(地下稀事象)」も採択され、令和 6 年に開始する。今後様々な成果を生み出す研究基盤の形成を実現したことも本領域の大きな成果であるが、ここでは、期間内に実現した成果について報告する。

研究組織

領域代表者：井上 邦雄（東北大学・ニュートリノ科学研究センター・教授）

総括班 X00（地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化）

研究代表者：井上 邦雄（東北大学・ニュートリノ科学研究センター・教授）

研究分担者：梅原 さおり（大阪大学・核物理研究センター・准教授）

森山 茂栄（東京大学・宇宙線研究所・教授）

身内 賢太朗（神戸大学・理学研究科・准教授）

関谷 洋之（東京大学・宇宙線研究所・准教授）

南野 彰宏（横浜国立大学・大学院工学研究院・教授）

吉田 斉（大阪大学・理学研究科・准教授）

濱口 幸一（東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・准教授）

鈴木 英之（東京理科大学・理工学部物理学科・教授）

計画研究 A01（逆階層領域でのニュートリノのマヨラナ性の研究）

研究代表者：井上 邦雄（東北大学・ニュートリノ科学研究センター・教授）

計画研究 A02（ ^{48}Ca を用いたニュートリノマヨラナ性の研究と次世代高感度化技術開発）

研究代表者：梅原 さおり（大阪大学・核物理研究センター・准教授）

研究分担者：小川 泉（福井大学・学術研究院工学系部門・教授）

仁木 秀明（大阪大学・核物理研究センター・協同研究員）

宮永 憲明（公益財団法人レーザー技術総合研究所・研究部・共同研究員）

時田 茂樹（京都大学・化学研究所・教授）（R4 年度—）

黒澤 俊介（東北大学・未来科学技術共同研究センター・特任准教授）（R5 年度—）

計画研究 B01（高感度大型装置で推進する暗黒物質直接探索）

研究代表者：森山 茂栄（東京大学・宇宙線研究所・教授）

研究分担者：山下 雅樹（名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任准教授）（—R4 年度）

安部 航（東京大学・宇宙線研究所・助教）

風間 慎吾（名古屋大学・高等研究院（素粒子）・特任助教）

中村 正吾（横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授）

Martens Kai（東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・准教授）（R2 年度—）

計画研究 B02（方向に感度をもった暗黒物質直接探索）

研究代表者：身内 賢太朗（神戸大学・理学研究科・准教授）

研究分担者：中 竜大（東邦大学・理学部・講師）

小川 洋（日本大学・理工学部・助手）

計画研究 C01（超新星背景ニュートリノの高感度観測でせまる宇宙星形成の歴史）

研究代表者：関谷 洋之（東京大学・宇宙線研究所・准教授）

研究分担者：坂口 綾（筑波大学・数理物質系・教授）

竹内 康雄（神戸大学・理学研究科・教授）

鈴木 良一（国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主席研究員）

計画研究 D01（極低放射能技術の最先端宇宙素粒子研究への応用）

研究代表者：南野 彰宏（横浜国立大学・大学院工学研究院・教授）

研究分担者：田中 雅士（早稲田大学・理工学術院・主任研究員（研究員准教授））

池田 一徳（東京大学・宇宙線研究所・助教）

竹田 敦（東京大学・宇宙線研究所・准教授）

岩田 圭弘（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 福島研究開発拠点 廃炉環境国際共同研究センター・研究副主幹）

伊藤 主税（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・安全・核セキュリティ統括本部・

次長)

市村 晃一 (東北大学・ニュートリノ科学研究センター・助教)

計画研究 D02 (極低温技術による宇宙素粒子研究の高感度化)

研究代表者: 吉田 斉 (大阪大学・理学研究科・准教授)

研究分担者: 石徹白 晃治 (東北大学・ニュートリノ科学研究センター・准教授)

岸本 康宏 (東北大学・ニュートリノ科学研究センター・教授)

美馬 覚 (国立研究開発法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究所神戸フロンティア研究センター・研究員)

大谷 知行 (国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究センター・チームリーダー)

(R3 年度—)

計画研究 E01 (物質の起源を解明する新たな素粒子模型と初期宇宙進化の理論研究)

研究代表者: 濱口 幸一 (東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授)

研究分担者: 柳田 勉 (東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・客員上級科学研究員)

松本 重貴 (東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授)

Melia Thomas (東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・准教授)

長峯 健太郎 (大阪大学・理学研究科・教授)

Menendez Javier (東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・特任研究員) (R1 年度)

計画研究 E02 (超新星ニュートリノと核物理・宇宙化学進化の理論研究)

研究代表者: 鈴木 英之 (東京理科大学・理工学部物理学科・教授)

研究分担者: 山田 章一 (早稲田大学・理工学術院・教授)

鷹野 正利 (早稲田大学・理工学術院・教授)

中里 健一郎 (九州大学・基幹教育院・准教授)

辻本 拓司 (国立天文台・JASMINE プロジェクト・助教) (R2 年度—)

公募研究 (R2-R3 年度) 15 件

A01 公 (半減期 10 の 27 乗年以上の二重 β 崩壊観測を実現する TI-208 背景事象除去の検証)

研究代表者: 福田 善之 (宮城教育大学・教育学部・教授)

A01 公 (有限振幅法を用いた原子核密度汎関数理論による二重ベータ崩壊行列要素計算)

研究代表者: 日野原 伸生 (筑波大学・計算科学研究センター・助教)

A01 公 (ガス飛跡検出器で探るマヨラナ・ディラック決着への道)

研究代表者: 小原 脩平 (東北大学・学際フロンティア研究所・助教)

B02 公 (高圧キセノンガス検出器によるミグダル効果検証のための研究)

研究代表者: 中村 輝石 (東北大学・理学研究科・助教)

C01 公 (高マトリクス試料中の極微量放射性核種測定法確立-地下宇宙研究への応用)

研究代表者: 坂口 綾 (筑波大学・アイソトープ環境動態研究センター・准教授)

D01 公 (極低放射能測定における μ -TPC を用いたアルファ線イメージ分析装置の開発)

研究代表者: 伊藤 博士 (東京理科大学・創域理工学部先端物理学科・助教)

D01 公 (落雷磁場を利用した神岡地下水分量の長期観測)

研究代表者: 鷲見 貴生 (国立天文台・重力波プロジェクト・特任助教)

D02 公 (エアブリッジインダクタンスによる超伝導力学インダクタンス検出機の高感度化)

研究代表者: 成瀬 雅人 (埼玉大学・理工学研究科・助教)

E01 公 (各種暗黒物質探索実験データと素粒子模型を系統的に照合するための枠組構築)

研究代表者: 馬場 健太郎 (岩手大学・教育学部・准教授)

E01 公 (高解像度シミュレーションを用いた暗黒物質分布の精密評価)

研究代表者: 石山 智明 (千葉大学・統合情報センター・准教授)

E01 公 (暗黒物質サブハローの性質と直接・間接検出実験への示唆) (R2 年度廃止)

研究代表者: 安藤 真一郎 (東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・客員科学研究員)

E01 公 (右巻ニュートリノによる宇宙物質総生成)

研究代表者: 横山 順一 (東京大学・大学院理学研究科 (理学部)・教授)

- E02 公 (ニュートリノ集団振動を考慮した超新星ニュートリノスペクトルの構築)
研究代表者: 加藤 ちなみ (東京理科大学・理工学部・助教)
- E02 公 (大質量星における 40K と中質量元素の元素合成: 後期進化の対流混合による影響)
研究代表者: 吉田 敬 (京都大学・基礎物理学研究所・特定研究員)
- E02 公 (現実的な 3 次元超新星モデルに基づく超新星背景ニュートリノ解析)
研究代表者: 中村 航 (福岡大学・理学部物理科学科・助教)
- 公募研究 (R4-R5 年度) 10 件
- A01 公 (高感度 $0\nu\beta\beta$ 探索のための高圧 XeLS の開発研究)
研究代表者: 尾崎 秀義 (東北大学・ニュートリノ科学研究センター・助教)
- A01 公 (二重ベータ崩壊・二重電子捕獲半減期の全核種精密計算)
研究代表者: 日野原 伸生 (筑波大学・計算科学研究センター・助教)
- A02 公 (PIKACHU 実験によるガドリニウム 160 の二重ベータ崩壊の研究)
研究代表者: 飯田 崇史 (筑波大学・数理物質系・助教)
- A02 公 (窒化物半導体増幅器を用いた小型・高効率な青色単一波長高出力光源の開発)
研究代表者: 上向井 正裕 (大阪大学・工学研究科・助教)
- B02 公 (ガス TPC の超微細読み出しが切り拓く低質量暗黒物質探索)
研究代表者: 東野 聡 (神戸大学・理学研究科・学術研究員)
- C01 公 (極微量元素除去技術を応用した放射線検出器材料の高純度化と高感度化)
研究代表者: 伏見 賢一 (徳島大学・社会産業理工学研究部 (理工学域)・教授)
- D01 公 (極低バックグラウンド新型ピクセル検出器による太陽アクシオン探索)
研究代表者: 鶴 剛 (京都大学・理学研究科・教授)
- D01 公 (神岡地下・地上における雷観測と宇宙素粒子実験への利用)
研究代表者: 鷲見 貴生 (国立天文台・重力波プロジェクト・特任助教)
- E02 公 (超新星ニュートリノ後期放射の理論計算および背景ニュートリノ探査の新手法開発)
研究代表者: 諏訪 雄大 (東京大学・総合文化研究科・准教授)
- E02 公 (物質中のニュートリノ集団振動の非線形挙動と超新星ニュートリノに与える影響の調査)
研究代表者: 加藤 ちなみ (東京理科大学・創域理工学部・助教)

交付決定額（配分額）

領域全体

年度	合計	直接経費	間接経費
令和元年度	307,996,000 円	236,920,000 円	71,076,000 円
令和2年度	291,694,000 円	224,380,000 円	67,314,000 円
令和3年度	292,045,000 円	224,650,000 円	67,395,000 円
令和4年度	293,995,000 円	226,150,000 円	67,845,000 円
令和5年度	288,470,000 円	221,900,000 円	66,570,000 円
合計	1,474,200,000 円	1,134,000,000 円	340,200,000 円

総括班 X00（地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化）

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和元年度	11,440,000	8,800,000	2,640,000
令和2年度	10,530,000	8,100,000	2,430,000
令和3年度	13,520,000	10,400,000	3,120,000
令和4年度	10,790,000	8,300,000	2,490,000
令和5年度	13,520,000	10,400,000	3,120,000
合計	59,800,000	46,000,000	13,800,000

計画研究 A01（逆階層領域でのニュートリノのマヨラナ性の研究）

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和元年度	29,900,000	23,000,000	6,900,000
令和2年度	46,540,000	35,800,000	10,740,000
令和3年度	57,980,000	44,600,000	13,380,000
令和4年度	55,380,000	42,600,000	12,780,000
令和5年度	47,190,000	36,300,000	10,890,000
合計	236,990,000	182,300,000	54,690,000

計画研究 A02（ ^{48}Ca を用いたニュートリノマヨラナ性の研究と次世代高感度化技術開発）

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和元年度	33,930,000	26,100,000	7,830,000
令和2年度	36,920,000	28,400,000	8,520,000
令和3年度	23,530,000	18,100,000	5,430,000
令和4年度	23,530,000	18,100,000	5,430,000

令和5年度	16,250,000	12,500,000	3,750,000
合計	134,160,000	103,200,000	30,960,000

計画研究 B01 (高感度大型装置で推進する暗黒物質直接探索)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和元年度	60,476,000	46,520,000	13,956,000
令和2年度	28,834,000	22,180,000	6,654,000
令和3年度	24,635,000	18,950,000	5,685,000
令和4年度	23,465,000	18,050,000	5,415,000
令和5年度	27,170,000	20,900,000	6,270,000
合計	164,580,000	126,600,000	37,980,000

計画研究 B02 (方向に感度をもった暗黒物質直接探索)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和元年度	25,480,000	19,600,000	5,880,000
令和2年度	30,420,000	23,400,000	7,020,000
令和3年度	24,570,000	18,900,000	5,670,000
令和4年度	34,580,000	26,600,000	7,980,000
令和5年度	37,050,000	28,500,000	8,550,000
合計	152,100,000	117,000,000	35,100,000

計画研究 C01 (超新星背景ニュートリノの高感度観測でせまる宇宙星形成の歴史)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和元年度	33,930,000	26,100,000	7,830,000
令和2年度	35,620,000	27,400,000	8,220,000
令和3年度	49,920,000	38,400,000	11,520,000
令和4年度	51,220,000	39,400,000	11,820,000
令和5年度	47,840,000	36,800,000	11,040,000
合計	218,530,000	168,100,000	50,430,000

計画研究 D01 (極低放射能技術の最先端宇宙素粒子研究への応用)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和元年度	51,480,000	39,600,000	11,880,000
令和2年度	14,950,000	11,500,000	3,450,000
令和3年度	18,720,000	14,400,000	4,320,000
令和4年度	14,040,000	10,800,000	3,240,000
令和5年度	17,810,000	13,700,000	4,110,000

合計	117,000,000	90,000,000	27,000,000
----	-------------	------------	------------

計画研究 D02 (極低温技術による宇宙素粒子研究の高感度化)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和元年度	44,330,000	34,100,000	10,230,000
令和2年度	37,440,000	28,800,000	8,640,000
令和3年度	28,470,000	21,900,000	6,570,000
令和4年度	20,280,000	15,600,000	4,680,000
令和5年度	20,410,000	15,700,000	4,710,000
合計	150,930,000	116,100,000	34,830,000

計画研究 E01 (物質の起源を解明する新たな素粒子模型と初期宇宙進化の理論研究)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和元年度	9,360,000	7,200,000	2,160,000
令和2年度	11,310,000	8,700,000	2,610,000
令和3年度	11,310,000	8,700,000	2,610,000
令和4年度	11,570,000	8,900,000	2,670,000
令和5年度	11,570,000	8,900,000	2,670,000
合計	55,120,000	42,400,000	12,720,000

計画研究 E02 (超新星ニュートリノと核物理・宇宙化学進化の理論研究)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和元年度	7,670,000	5,900,000	1,770,000
令和2年度	10,140,000	7,800,000	2,340,000
令和3年度	10,400,000	8,000,000	2,400,000
令和4年度	10,140,000	7,800,000	2,340,000
令和5年度	10,790,000	8,300,000	2,490,000
合計	49,140,000	37,800,000	11,340,000

公募研究 A01 (半減期 10 の 27 乗年以上の二重 β 崩壊観測を実現する Tl-208 背景事象除去の検証)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和2年度	2,990,000	2,300,000	690,000
令和3年度	2,990,000	2,300,000	690,000
合計	5,980,000	4,600,000	1,380,000

公募研究 A01 (有限振幅法を用いた原子核密度汎関数理論による二重ベータ崩壊行列要素計算)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和2年度	1,170,000	900,000	270,000

令和3年度	1,170,000	900,000	270,000
合計	2,340,000	1,800,000	540,000

公募研究 A01 (ガス飛跡検出器で探るマヨラナ・ディラック決着への道)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和2年度	2,990,000	2,300,000	690,000
令和3年度	2,860,000	2,200,000	660,000
合計	5,850,000	4,500,000	1,350,000

公募研究 B02 (高圧キセノンガス検出器によるミグダル効果検証のための研究)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和2年度	2,990,000	2,300,000	690,000
令和3年度	2,990,000	2,300,000	690,000
合計	5,980,000	4,600,000	1,380,000

公募研究 C01 (高マトリクス試料中の極微量放射性核種測定法確立-地下宇宙研究への応用)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和2年度	2,340,000	1,800,000	540,000
令和3年度	2,860,000	2,200,000	660,000
合計	5,200,000	4,000,000	1,200,000

公募研究 D01 (極低放射能測定における μ -TPCを用いたアルファ線イメージ分析装置の開発)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和2年度	2,730,000	2,100,000	630,000
令和3年度	2,860,000	2,200,000	660,000
合計	5,590,000	4,300,000	1,290,000

公募研究 D01 (落雷磁場を利用した神岡地下水分量の長期観測)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和2年度	1,170,000	900,000	270,000
令和3年度	1,170,000	900,000	270,000
合計	2,340,000	1,800,000	540,000

公募研究 D02 (エアブリッジインダクタンスによる超伝導力学インダクタンス検出機の高感度化)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和2年度	2,990,000	2,300,000	690,000
令和3年度	2,990,000	2,300,000	690,000
合計	5,980,000	4,600,000	1,380,000

公募研究 E01 (各種暗黒物質探索実験データと素粒子模型を系統的に照合するための枠組構築)

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和2年度	1,170,000	900,000	270,000
令和3年度	1,170,000	900,000	270,000
合計	2,340,000	1,800,000	540,000

公募研究 E01（高解像度シミュレーションを用いた暗黒物質分布の精密評価）

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和2年度	2,600,000	2,000,000	600,000
令和3年度	2,210,000	1,700,000	510,000
合計	4,810,000	3,700,000	1,110,000

公募研究 E01（暗黒物質サブハローの性質と直接・間接検出実験への示唆）

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和2年度	1,170,000	900,000	270,000
令和3年度	1,170,000	900,000	270,000
合計	2,340,000	1,800,000	540,000

公募研究 E01（右巻ニュートリノによる宇宙物質総生成）

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和2年度	1,170,000	900,000	270,000
令和3年度	1,170,000	900,000	270,000
合計	2,340,000	1,800,000	540,000

公募研究 E02（ニュートリノ集団振動を考慮した超新星ニュートリノスペクトルの構築）

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和2年度	1,170,000	900,000	270,000
令和3年度	1,170,000	900,000	270,000
合計	2,340,000	1,800,000	540,000

公募研究 E02（大質量星における 40K と中質量元素の元素合成：後期進化の対流混合による影響）

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和2年度	1,170,000	900,000	270,000
令和3年度	1,040,000	800,000	240,000
合計	2,210,000	1,700,000	510,000

公募研究 E02（現実的な 3次元超新星モデルに基づく超新星背景ニュートリノ解析）

年度	合計（円）	直接経費（円）	間接経費（円）
令和2年度	1,170,000	900,000	270,000
令和3年度	1,170,000	900,000	270,000

合計	2,340,000	1,800,000	540,000
----	-----------	-----------	---------

公募研究 A01 (高感度 $0 \nu \beta \beta$ 探索のための高圧 X e L S の開発研究)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和 4 年度	3,250,000	2,500,000	750,000
令和 5 年度	3,250,000	2,500,000	750,000
合計	6,500,000	5,000,000	1,500,000

公募研究 A01 (二重ベータ崩壊・二重電子捕獲半減期の全核種精密計算)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和 4 年度	910,000	700,000	210,000
令和 5 年度	910,000	700,000	210,000
合計	1,820,000	1,400,000	420,000

公募研究 A02 (P I K A C H U 実験によるガドリニウム 160 の二重ベータ崩壊の研究)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和 4 年度	3,250,000	2,500,000	750,000
令和 5 年度	3,250,000	2,500,000	750,000
合計	6,500,000	5,000,000	1,500,000

公募研究 A02 (窒化物半導体光増幅器を用いた小型・高効率な青色単一波長高出力光源の開発)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和 4 年度	3,120,000	2,400,000	720,000
令和 5 年度	2,990,000	2,300,000	690,000
合計	6,110,000	4,700,000	1,410,000

公募研究 B02 (ガス T P C の超微細読み出しが切り拓く低質量暗黒物質探索)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和 4 年度	3,250,000	2,500,000	750,000
令和 5 年度	3,250,000	2,500,000	750,000
合計	6,500,000	5,000,000	1,500,000

公募研究 C01 (極微量元素除去技術を応用した放射線検出器材料の高純度化と高感度化)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和 4 年度	9,750,000	7,500,000	2,250,000
令和 5 年度	9,750,000	7,500,000	2,250,000
合計	19,500,000	15,000,000	4,500,000

公募研究 D01 (極低バックグラウンド新型ピクセル検出器による太陽アクシオン探索)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
----	--------	----------	----------

令和4年度	9,620,000	7,400,000	2,220,000
令和5年度	9,620,000	7,400,000	2,220,000
合計	19,240,000	14,800,000	4,440,000

公募研究 D01 (神岡地下・地上における雷観測と宇宙素粒子実験への利用)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和4年度	3,250,000	2,500,000	750,000
令和5年度	3,250,000	2,500,000	750,000
合計	6,500,000	5,000,000	1,500,000

公募研究 E02 (超新星ニュートリノ後期放射の理論計算および背景ニュートリノ探査の新技术開発)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和4年度	1,300,000	1,000,000	300,000
令和5年度	1,300,000	1,000,000	300,000
合計	2,600,000	2,000,000	600,000

公募研究 E02 (物質中のニュートリノ集団振動の非線形挙動と超新星ニュートリノに与える影響の調査)

年度	合計 (円)	直接経費 (円)	間接経費 (円)
令和4年度	1,300,000	1,000,000	300,000
令和5年度	1,300,000	1,000,000	300,000
合計	2,600,000	2,000,000	600,000

研究発表

- 研究項目 A01 (計画研究)

査読有論文： 全 35 件

[1] S.Abe, S.Asami, M.Eizuka, S.Futagi, A.Gando, Y.Gando, T.Gima, A.Goto, T.Hachiya, K.Hata, S.Hayashida, K.Hosokawa, K.Ichimura, S.Ieki, H.Ikeda, K.Inoue et al. (KamLAND Collaboration), Search for the Majorana Nature of Neutrinos in the Inverted Mass Ordering Region with KamLAND-Zen, Physical Review Letters 130, 051801 (2023). **Editors' Suggestion, Featured in Physics**

[2] S.Abe, S.Asami, M.Eizuka, S.Futagi, A.Gando, Y.Gando, T.Gima, A.Goto, T.Hachiya, K.Hata, K.Hosokawa, K.Ichimura, S.Ieki, H.Ikeda, K.Inoue et al. (KamLAND Collaboration), Abundances of Uranium and Thorium Elements in Earth Estimated by Geoneutrino Spectroscopy, Geophysical Research Letters 49, 16 (2022). **AGU Research Spotlight** (分野融合)

学会発表： 国際学会 92 件 (招待講演 62 件)、国内学会 168 件 (招待講演 3 件)

[3] K.Inoue, Status and prospects of KamLAND-Zen, UGAP2024, Sendai, 2024/3/4.

[4] N.Kawada, Latest result of geoneutrino measurement with KamLAND, TAUP2023, Vienna, 2023/8/28. (分野融合)

受賞等： 一部抜粋

川田七海, [2]に関連して、第 18 回日本物理学会若手奨励賞 (宇宙線・宇宙物理領域)(2024), 第 18 回宇宙線物理学奨励賞 (2024), 第 25 回高エネルギー物理学奨励賞 (2023)

渡辺寛子, 科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞 (2023), 第 24 回守田科学研究奨励賞 (2022), 第 2 回米沢富美子記念賞 (2020)

東北大学物理学専攻賞 (博士) (安部清尚 2023, 尾崎秀義 2020)

東北大学物理学専攻賞 (修士) (後藤駿 2024, 永塚穂里 2023, 儀間智美 2022, 酒井汰一 2022, 安部清尚 2020) 東北大学総長賞(竹内敦人 2022)

- 研究項目 A01 (公募研究)

査読有論文： 全 7 件

[1] Qunqun Liu, Jonathan Engel, Nobuo Hinohara, and Markus Kortelainen, Effects of quasiparticle-vibration coupling on Gamow-Teller strength and β decay with the Skyrme proton-neutron finite-amplitude method, Physical Review C 109, 044308 (2024). **Editors' suggestion**

学会発表： 国際学会 16 件 (招待講演 13 件)、国内学会 6 件 (招待講演 4 件)

[2] 日野原伸生, Calculation of double-beta decay nuclear matrix elements using QRPA, 12th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, 2020/10/6

[3] 福田善之, ZICOS – Neutrinoless Double Beta Decay experiment using Zr-96 with an organic scintillator -, NEUTRINO 2020, 2020/7/1

[4] 小原脩平, 高圧キセノンガス検出器開発の現状, 新学術領域「地下宇宙」2021 年領域研究会, 2021/5/20

[5] 尾崎秀義, Machine learning status and prospects in KamLAND-Zen, 2023 fall meeting of APS DNP and JPS, 2023/11/26, Hawaii

- 研究項目 A02 (計画研究)

査読有論文： 全 18 件

[1] S. Ajimura, ..., I. Ogawa, ..., S. Umehara, S. Yoshida 他, Low background measurement in CANDLES-III for studying the neutrino-less double beta decay of ^{48}Ca , Phys. Rev. D **103**, 092008(2021).

[2] *T. Iida, ..., I. Ogawa, ..., S. Umehara, S. Yoshida 他, The energy calibration system for CANDLES using (n, γ) reaction, Nucl. Instr. Meth. A, **986**, 164727 (2021).

[3] *K. Tetsuno, ..., I. Ogawa, ..., S. Umehara, S. Yoshida 他, Status of ^{48}Ca double beta decay search and its future prospect in CANDLES, Jour. of Phys.: Conf. Series, 1468, 012132, 2019. (領域内連携)

[4] *I. Ogawa, ..., H. Niki, S. Tokita, N. Miyanaga, M. Uemukai, A. Rittirong, S. Umehara, K. Matsuoka and S. Yoshida, Laser isotope separation to study for the neutrino-less double beta decay of ^{48}Ca , Jour. of Phys.: Conference Series, 2586, 012136, 2023.

学会発表: 国際学会 45 件、国内学会 102 件

[5] [Saori Umehara](#), Current status and future prospects of the CANDLES experiment, Double beta decay and underground science (DBD23)/JPS/APS Meeting/, Hawaii, US, 2023/12

[6] 時田茂樹・狭線幅・高出力青紫色レーザーの開発 —48Ca の濃縮を目指して—、レーザー学会学術講演会第 42 回年次大会、オンライン、2022 年 01 月 (分野融合)

● 研究項目 A02 (公募研究)

査読有論文: 全 1 件

[1] Omori Takumi; [Lida Takashi](#); Gando Azusa; Hosokawa Kei..., "First Study of the PIKACHU Project: Development and Evaluation of High-Purity Gd₃Ga₃Al₂O₁₂:Ce Crystals for 160Gd Double Beta Decay Search", Progress of Theoretical and Experimental Physics/2024(3)/p.033D01, 2024-02

学会発表: 国際学会 3 件、国内学会 7 件

[2] [Takashi Lida](#), UGAP2024, The PIKACHU experiment for the study of Gd-160 double beta decay, Sendai, Japan, 2024 年 03 月

[3] 楠井大晴, 和田拓巳, [上向井正裕](#), 谷川智之, 片山竜二, レーザー学会学術講演会第 44 回年次大会, 日本科学未来館, 2024 年 01 月 (分野融合)

● 研究項目 B01 (計画研究)

査読有論文: 全 36 件

[1] [K. Abe](#) ... [S. Moriyama](#) ... [K. Martens](#), ... [S. Nakamura](#) ... et al., XMASS Collaboration, Direct dark matter searches with the full data set of XMASS-I, Phys. Rev. D 108 083022 (2023) pp083022-1-083022-19.

[2] E. Aprile ... [K. Abe](#) ... [S. Kazama](#) ... [S. Moriyama](#) ... [K. Martens](#) ... et al., XENON Collaboration, First Dark Matter Search with Nuclear Recoils from the XENONnT Experiment, Phys. Rev. Lett. 131, 041003 (2023) pp041003-1-041003-9.

[3] J. Aalbers ... [K. Abe](#) ... [S. Kazama](#) ... [S. Moriyama](#) ... [K. Martens](#) ... et al., A next-generation liquid xenon observatory for dark matter and neutrino physics, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 50 013001 (2023)

[4] E. Aprile ... [K. Abe](#) ... [S. Kazama](#) ... [S. Moriyama](#) ... [K. Martens](#) ... et al., Search for New Physics in Electronic Recoil Data from XENONnT, Phys. Rev. Lett. 129, 161805 (2022) pp161805-1-161805-10.

[5] E. Aprile ... [K. Abe](#) ... [S. Kazama](#) ... [S. Moriyama](#) ... [K. Martens](#) ... et al., Excess electronic recoil events in XENON1T, Phys. Rev. D 102 072004 (2020)

学会発表: 国際学会 56 件、国内学会 69 件

[6] [S. Moriyama](#), Direct Detection of Particle Dark Matter, QUPosium2023, 2023/12/12

[7] M. Yamashita, XLZD: Ultimate WIMP Dark Matter Search, International Workshop on "Double Beta Decay and Underground Science", 2023/12/3

アウトリーチ・メディア掲載等: アウトリーチ 4 件、メディア掲載 15 件、受賞 7 件

[8] [森山茂栄](#), 大発見に向けた研究の新展開: ニュートリノとダークマター、宇宙線研究所一般公開, 2023/11/3

● 研究項目 B02 (計画研究)

査読有論文: 査読有論文 28 編、著書 1 件

[1] T. Shimada, S. Higashino, ... K. Ichimura, K. Abe, A. Takada, H. Sekiya, [K. Miuchi](#), Direction-sensitive dark matter search with three-dimensional vector-type tracking in NEWAGE, PTEP (2023), ptad120 (領域内連携)

[2] T. Shiraishi, S. Akamatsu, [T. Naka](#), Environmental sub-MeV neutron measurement at the Gran Sasso surface laboratory with a super-fine-grained nuclear emulsion detector, Phys. Rev. C 107, 014608

[3] [Hiroshi Ogawa](#), Kenta Iyoki, Minoru Matsukura, Toru Wakihara, Ko Abe, [Kentaro Miuchi](#), Saori Umehara, Measurement of radon emanation and impurity adsorption from argon gas using ultralow radioactive zeolite, JINST 19 P02004 (2024) (領域内連携)

[4] [K. Miuchi](#), Elisabetta Baracchini, Gregory Lane, Neil J. C. Spooner, S. E. Vahsen, J., CYGNUS, Phys.: Conf. Ser. 1468 (2020) 012044.

[5] [身内賢太郎](#) (共著)「宇宙物理学ハンドブック」2020 年 2 月 (朝倉書店 ISBN978-4-254-13127-7) 5.6.1 暗黒物質直接探査 の項執筆(p762-767)

学会発表: 国際学会 38 件、国内学会 165 件

[6] K. Miuchi, NEWAGE / CYGNUS-KM, CYGNUS 2023, University of Sydney, Australia 2023/12/11-15

アウトリーチ・メディア掲載等: アウトリーチ 4 件、メディア掲載 2 件、受賞 4 件

[7] 身内賢太郎, 夢ナビ ミニ講義 「宇宙を満たす謎の物質ダークマター その正体を暴く！」

<https://douga.yumenavi.info/Lecture/PublishDetail/2024003375?back>

[8] 日本写真学会論文賞, 中竜大、連名受賞, 「局在表面プラズモン共鳴を用いた光学顕微鏡による微細放射線飛跡解析法」 2020/8/26

- 研究項目 B02 (公募研究)

査読有論文: 全 1 件

[1] K. D Nakamura, K. Miuchi, S. Kazama, Y. Shoji, M. Ibe, W. Nakano, Detection capability of Migdal effect for argon and xenon nuclei with position sensitive gaseous detectors, PTEP (2020) ptaa162. (領域内連携)

- 研究項目 C01 (計画研究)

査読有論文: 査読有論文 25 件、著書 1 件

[1] M. Harada et al. (The Super-Kamiokande Collaboration), Search for Astrophysical Electron Antineutrinos in Super-Kamiokande with 0.01% Gadolinium-loaded Water, Astrophysical Journal Letters 951 L27 (2023)

[2] M. Shinoki et al. (The Super-Kamiokande Collaboration), Measurement of the cosmogenic neutron yield in Super-Kamiokande with gadolinium loaded water, Phys. Rev. D 107, 092009 (2023)

[3] L. N. Machado et al. (The Super-Kamiokande Collaboration), Pre-supernova Alert System for Super-Kamiokande, The Astrophysical Journal, 935, 40 (2022)

[4] K. Abe et al., First gadolinium loading to Super-Kamiokande, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1027 (2022) 166248

[5] Y. Nakano, et al., Measurement of the radon concentration in purified water in the Super-Kamiokande IV detector, NIMA 977, 11 October 2020, 16429.

[6] C. Simpson, H. Sekiya, Y. Takeuchi et al. (The Super-Kamiokande Collaboration), Sensitivity of Super-Kamiokande with Gadolinium to Low Energy Antineutrinos from Pre-supernova Emission, Astrophys. J. 885, 2 (2019).

学会発表: 国際学会 11 件、国内学会 43 件

[7] M. Vagins, NEUTRINO 2022 “SK-Gd”, June 2

アウトリーチ・メディア掲載等: アウトリーチ 23 件、メディア掲載 79 件

- 研究項目 C01 (公募研究)

学会発表: 国内学会 2 件

[1] 坂口綾, 高マトリクス試料中の極微量放射性核種測定法確立—地下宇宙研究への応用, 新学術領域「地下宇宙」 2020 年領域研究会, 2020/6/2-3

[2] 坂口綾, 高久雄一, 宮田滉介, 鹿籠康行, 伊藤慎太郎, 市村晃一, 中島康博, 伊藤博士, 関谷洋之, 誘導結合プラズマ質量分析計による極微量放射性核種測定 (チュートリアル講演), 「第七回極低放射能技術」研究会, 2021/3/24-25

- 研究項目 D01 (計画研究)

査読有論文: 全 10 件

[1] Y. Nakano, K. Ichimura et al., Evaluation of radon adsorption efficiency values in xenon with activated carbon fibers, PTEP (2020), 113H01 (2020).

[2] K. Abe, K. Ichimura, A. Takeda et al., Development of low-background photomultiplier tubes for liquid xenon detectors, Journal of Instrumentation, Volume 15, P09027 (2020).

[3] S. Ito, K. Ichimura, M. Ikeda et al., Improved method for measuring low-concentration radium and its application to the Super-Kamiokande Gadolinium project, PTEP (2020), 093H02.

[4] K. Hosokawa, M. Ikeda, T. Okada, H. Sekiya, K. Ichimura et al., Development of ultra-pure gadolinium

sulfate for the Super-Kamiokande gadolinium project, PTEP (2022)013H01.

[5] Y. Iwata, H. Sekiya, C. Ito, Emission characteristics of gadolinium ions in a water Cherenkov detector, PTEP (2022), 013H01

[6] H. Ito, K. Wada, T. Yano, A. Minamino et al., Analyzing the neutron and g-ray emission properties of an americium-beryllium tagged neutron source, NIM A 1057, 168701 (2023).

[7] K. Ichimura, M. Ikeda, H. Sekiya, H. Ito, A. Minamino, S. Suzuki et al., Development of a low-background HPGe detector at Kamioka Observatory, PTEP, (2023), 123H01

学会発表: 国際学会 8 件、国内学会 67 件

[8] Akihiro Minamino, Low background technologies for astroparticle experiments, Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics 2024, 2024/3/6

アウトリーチ・メディア掲載等: アウトリーチ 12 件、受賞 3 件

- 研究項目 D01 (公募研究)

査読有論文: 全 5 件

[1] K. Fushimi, H. Ito et al., Development of highly radiopure NaI(Tl) scintillator for PICOLON dark matter search project, PTEP 2021, 4, 043F01.

[2] T. Akutsu, T. Washimi et al. (KAGRA Collaboration), Overview of KAGRA Calibration, detector characterization, physical-environment monitoring, and the geophysics interferometer, PTEP 2021, 5, 05A102.

[3] T. Washimi et al., Effects of lightning strokes on underground gravitational waves observatories, accepted in JINST (2021).

[4] T. Washimi, T. Yokozawa et al., Response of the underground environment of the KAGRA observatory against the air pressure disturbance from the Tonga volcanic eruption on January 15, 2022, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2022, 113H02 (2022).

学会発表: 国際会議 5 件、国内学会 11 件

[5] Tatsuki Washimi, Kamioka Lightning & Thundercloud observation and its application for the astroparticle experiments, Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics 2024, 2024/3/6

- 研究項目 D02 (計画研究)

査読有論文: 全 3 件

[1] Y. Kishimoto 他, Development of a cavity with photonic crystal structure for axion searches, PTEP ptab051 2021, DOI:<https://doi.org/10.1093/ptep/ptab051>.

学会発表: 国際学会 2 件、国内会議 11 件

[2] S. Yoshida, Present Status of Low Temperature Detector for Neutrino-less Double Beta Decay, Neutrinos Electro-Weak interactions and Symmetries 2020-12, ONLINE, Dec.21, 2020

[3] X. Lee, D.H. Kwon, K. Tetsuno, I. Kim, H.L. Kim, H.J. Lee, S. Yoshida, Y.H. Kim, M.K. Lee, S. Umehara, and T. Kishimoto, Study of a Large CaF₂(Eu) Scintillating Bolometer for Neutrinoless Double Beta Decay, 16th International conference on Topics in Astroparticle and underground physics, Toyama, Japan 8 - 14 September, 2019

[4] S. Yoshida, Development of Scintillating Bolometer with Large Undoped and Eu-doped CaF₂ Crystals for Neutrino-less Double Beta Decay of ⁴⁸Ca, The XXIX International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, ONLINE, June20 - July 2, 2020

[5] K. Ishidoshiro, Kinetic inductance detectors on CaF₂ for spin-dependent dark matter search, 18th International Workshop on Low Temperature Detectors, Milano, Italy, 22-26 July 2019

[6] 岸本康宏 暗黒物質アクシオン、暗黒光子等の検出のための大型共振空洞の開発・研究 -高い Q 値の実現、日本物理学会 2020 年秋季大会 (オンライン開催) 2020 年 9 月 14-17 日

- 研究項目 D02 (公募研究)

学会発表: 国内学会 2 件

[1] 河村 優貴、美馬 寛、大谷 知行、石徹 白晃治、Mohamado Zulfakri、細川 佳志、成瀬 雅人、明連 広昭、田井

野徹, 暗黒物質探索用 LEKID の作製に関する研究, 2020 年第 81 回応用物理学会秋季学術講演会, 11a-Z27-1, 2020/9/8-11 (9/11)

[2] 和賀雄貴, 成瀬雅人, 田井野徹, 明連広昭, エアブリッジを組み込んだ力学インダクタンス検出器の開発, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 2021/3/16-19

- **研究項目 E01 (計画研究)**

査読有論文: 120 件

[1] K. Asai, K. Hamaguchi, N. Nagata, S. Tseng, K. Tsumura, Minimal Gauged U(1)L α -L β Models Driven into a Corner, Phys.Rev.D 99 (2019) 5, 055029.

[2] K. Hamaguchi, N. Nagata, K. Yanagi, Dark Matter Heating vs. Rotochemical Heating in Old Neutron Stars, Phys.Lett.B 795 (2019) 484-489.

[3] S. Matsumoto, Y. S. Tsai, P. Tseng, Light Fermionic WIMP Dark Matter with Light Scalar Mediator, JHEP 07 (2019) 050.

学会発表: 国際学会 57 件 (招待講演 45 件)、国内学会 36 件 (招待講演 20 件)

研究会・勉強会の開催

2020/5/27, E02 とオンライン合同勉強会を開催。

2021/2/12, 2/15, A01 公募 (代表:日野原) との合同主催により、オンライン研究会「ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊とその周辺」を開催。(参加者 150 名以上)

- **研究項目 E01 (公募研究)**

査読有論文: 13 件

[1] S. Abe, G. Cho, K. Mawatari, Probing a degenerate-scalar scenario in a pseudoscalar dark-matter model, Phys.Rev.D 104 (2021) 035023.

学会発表: 国際学会 4 件 (招待講演 4 件)、国内学会 6 件 (招待講演 3 件)

- **研究項目 E02 (計画研究)**

査読有論文: 50 件

[1] *Y. Ashida, K. Nakazato, T. Tsujimoto, Diffuse Neutrino Flux Based on the Rates of Core-collapse Supernovae and Black Hole Formation Deduced from a Novel Galactic Chemical Evolution Model, The Astrophysical Journal 2023, 953, 151.

[2] *Ken'ichiro Nakazato, Hideyuki Suzuki, A New Approach to Mass and Radius of Neutron Stars with Supernova Neutrinos, Astrophys.J.**891**:156,2020.

[3] *Wakana Iwakami, Hirokata Okawa, Hiroki Nagakura, Akira Harada, Shun Furusawa, Kosuke Sumiyoshi, Hideo Matsufuru, Shoichi Yamada, Simulations of the Early Postbounce Phase of Core-collapse Supernovae in Three-Dimensional Space with Full Boltzmann Neutrino Transport, The Astrophysical Journal, 2020, 903, id 82, 24pp.

学会発表: 国際学会 41 件 (招待講演 7 件)、国内学会 133 件 (招待講演 4 件)

研究会・勉強会の開催

2020/1/6-7, 2021/1/7-8, 2022/1/6-7, 2023/3/2-3, 2024/2/29-3/1 C01 と合同で第 6-10 回超新星ニュートリノ研究会
2020/2/26-28, 国際ワークショップ「The Evolution of Massive Stars and Formation of Compact Stars: from the Cradle to the Grave」

2020/5/27, E01 とオンライン合同勉強会

- **研究項目 E02 (公募研究)**

査読有論文: 20 件

[1] Kato Chinami, Nagakura Hiroki, Hori Yusuke, Yamada Shoichi, Neutrino Transport with Monte Carlo Method. I. Toward Fully Consistent Implementation of Nucleon Recoils in Core-collapse Supernova Simulations, The Astrophysical Journal, **897**:43, 2020.

[2] T. Yoshida, T. Takiwaki, K. Kotake, K. Takahashi, K. Nakamura, H. Umeda, Three-dimensional Hydrodynamics Simulations of Precollapse Shell Burning in the Si- and O-rich Layers, Astrophys. J. **908**:44, 2021.

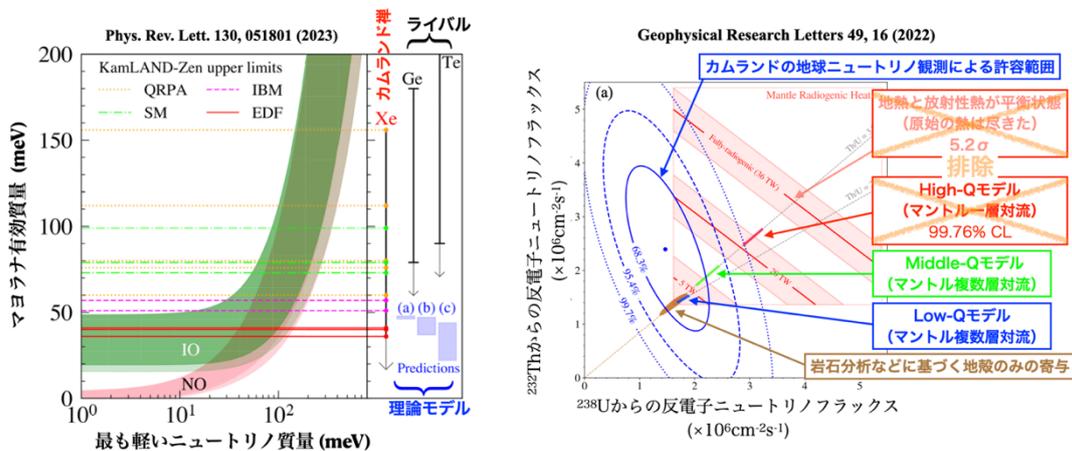
学会発表: 国際学会 10 件、国内学会 30 件

研究成果

● 研究項目 A01

計画研究の目標：KamLAND-Zen 実験によって逆階層構造に切り込み、複数の理論モデルを検証できる 40meV の感度を達成する。地球ニュートリノ観測では、地球モデル精度を凌駕する観測精度でモデル選別を進める。マルチメッセンジャー天文学に関しては、低エネルギー天体ニュートリノ観測を担当し、天体現象との関連研究や近傍超新星前兆ニュートリノアラーム構築を行う。

計画研究の成果： $0\nu 2\beta$ 探索では、KamLAND-Zen 400/800 を統合した解析を実施し、**世界で初めて逆階層領域に切り込む制限** (36-156meV 以上を排除) を与え PRL 誌に発表した (図左)。複数の理論モデルにもかかり始めている。高性能化のための開発は、プロトタイプでの性能検証を経て、KamLAND の高性能化プロジェクトとして提案し、文科省のロードマップ 2023 に掲載された。地球ニュートリノ観測では、地球モデルの精度約 20%を凌駕する観測精度 15%を実現し GRL 誌に発表した (図右)。High-Q モデルと呼ばれるマントルの一層対流を予言するモデルを排除することに成功した。地球内部のダイナミクスに対する知見(マントルの多層対流)に加えて、モデルの仮定に問題があることを示唆することから、地球内部組成に対しても知見を与えており、**ニュートリノ地球科学の質的転換**を果たした。日本学術会議の未来の学術構想 2023 には、カムランドの高性能化プロジェクト (No. 178) と地球ニュートリノ観測を発展させる計画 (No. 106) の 2 件が掲載されている。また、広範な天体ニュートリノ研究を実施し、天体ニュートリノ関連では 9 件の国際共著論文の発表に加え、超新星ニュートリノアラームの国際的な協働への参画、前兆ニュートリノアラームの運用開始の上で SK との協働も実現した。



公募研究の成果：

(小原) 高圧キセノンガス検出器開発において、光検出器の増強により有効面積を拡張し二重β崩壊 Q 値での世界最高レベルのエネルギー分解能 0.67% (FWHM) を実証した。また、D01 との連携により高放射線量部品を特定できた。A01 との連携により大型化の基本設計も行った。

(福田) 二重ベータ崩壊事象と ^{208}Tl のバックグラウンドをチェレンコフ光の情報を利用して識別するため、高速 PMT を用いて波形弁別を行う装置を製作し複数の校正線源でのテストを行った。

(日野原) アイソスカラー型対相関の不定性を低減する原子核密度汎関数理論に基づく原子核行列要素計算において、高計算量の被積分関数計算の並列化で約 20 主量子数の広い模型空間計算を実現した。中間状態積算では収束性の良い積分経路を設定し、 ^{136}Xe を含む 4 核種を計算した。

2 期目では、 $0\nu 2\beta$ に加え、 $2\nu 2\beta$, $0\nu \text{ECEC}$ にも計算を拡張した。また、QRPA での計算量を数桁減

らすことが期待される有限振幅法のエミュレータの定式化を実現した。

(尾崎)加圧によってキセノン密度を高める研究を実施し、高圧化での Xe 含有液体シンチレータの発光特性を測定した。測定結果に基づき、新たに開発したニューラルネットワークを使った解析手法で、宇宙線の原子核破碎による長寿命 BG を約 7 割低減することに成功した。

● 研究項目 A02

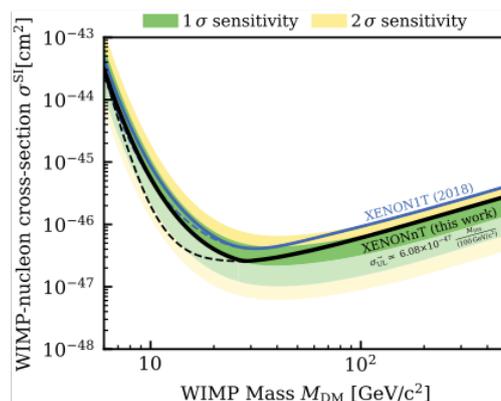
計画研究の目標： ^{48}Ca の $0\nu 2\beta$ 測定および次世代測定器開発を行なう。次世代測定器の飛躍的感度向上には、 CaF_2 結晶の高純度化・ CaF_2 蛍光熱量検出器・ ^{48}Ca 濃縮技術が重要である。それぞれの目標は、 ^{48}Ca の $0\nu 2\beta$ 測定で世界最高感度を更新、高純度結晶 ($10\mu\text{Bq}/\text{kg}$ 以下) の製造技術確立、蛍光熱量検出器開発は、 $0\nu 2\beta$ 測定で要求されるエネルギー分解能 0.5% (4.3MeV 換算) の達成、 ^{48}Ca 濃縮については高出力レーザーおよび濃縮装置を開発し同位体比 50% 以上の ^{48}Ca 濃縮である。これらから、順階層構造領域に至り数 meV 程度の感度にも達成可能な検出器開発に繋げる。

計画研究の成果：現行 CANDLES 検出器の 130 日の測定データを用い、 ^{48}Ca の $0\nu 2\beta$ 崩壊の世界最高感度と同等の測定結果を得て、Phys. Rev. D に出版した。また、 CaF_2 蛍光熱量検出器開発では、発生位置依存性を取り除ける事象に対して目標エネルギー分解能を超えたエネルギー分解能 0.2% まで到達できることを確認し、この結果は、J. Phys. Conf. Ser. に報告した。さらに、高純度化結晶に用いたカルシウム原料は、B02 の高純度モレキュラーシーブとして使用されることとなった。また、 ^{48}Ca 濃縮ではコストパフォーマンスの良い注入同期レーザー方式を用いて、周波数安定性が要求以上の 2.0MHz (rms) を満たした光出力 100mW を実現した。

● 研究項目 B01

計画研究の目標：XENON 実験では 20 トン年の暴露量で暗黒物質と核子の散乱断面積 $2 \times 10^{-48} \text{cm}^2$ を達成できる感度を実現し、大発見を目指す。この感度の実現には、本研究が貢献する中性子検出器が本質的に重要である。

計画研究の成果：XENONnT 実験で原子核反跳を用いた暗黒物質探索の初の結果を出した (図)。前身の XENON1T と同程度の曝露量であったが、それを凌ぐ結果を得た。また、XENON1T で見られた電子反跳現象の超過については、XENONnT 実験では見られず、太陽アクシオン等未知の現象に対する世界一厳しい制限を与えることができた。硫酸ガドリニウムを用いた水チェレンコフ光型中性子検出器を、C01 との連携によって暗黒物質探索で初めて実用化することに成功し、本



本研究項目の目標を達成した。他にも XMASS のデータ解析により、様々な未知の物理現象に対する制限を与えることに成功した。また XMASS の 5 年に渡る全データの解析により、0.35GeV から 10TeV といった広い範囲の暗黒物質に制限を与え、その結果をまとめた最終論文を出版しコラボレーションの活動を完結することができた。なお、将来の高感度の実験のための研究開発 (ラドン抑制、新センサー開発、液体キセノンからの赤外線発光と粒子種同定の研究) も進み、研究発表や論文発表としての成果も得られた。

● 研究項目 B02

計画研究の目標：ガス検出器 (NEWAGE)、原子核乾板 (NEWSdm) を用いた、方向に感度を持つ暗黒物質探索を行う。NEWAGE では 30cm 角低 BG μ -PIC 製作、DAMA 領域探索開始を目標とする。NEWSdm

は、赤道儀を用いた地下環境での暗黒物質探索実験を目標とする。

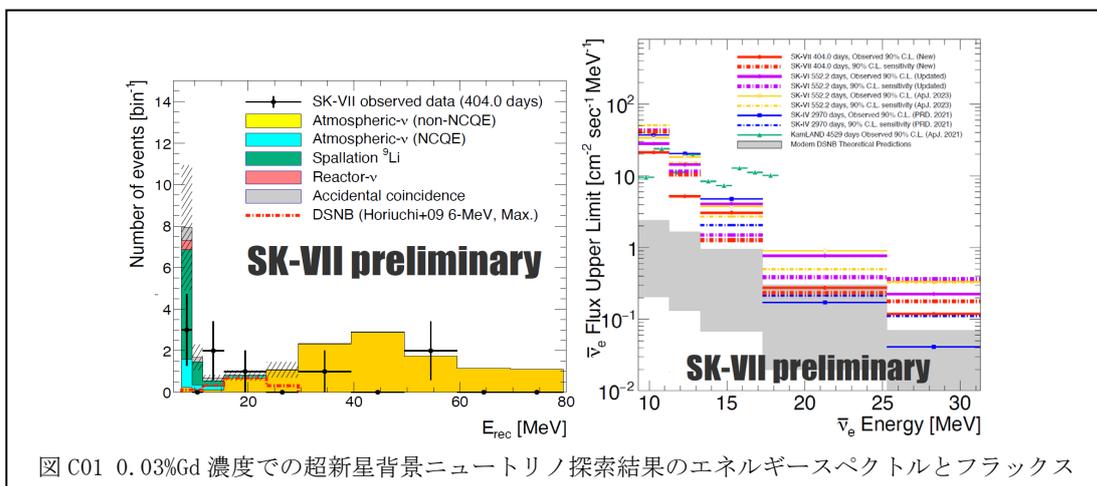
計画研究の成果：NEWAGE では、予定通り 30cm 角低 BG μ -PIC を製作した。地下実験室にて方向に感度を持つ暗黒物質探索実験を行い、これまでよりも約 1 桁強い制限を与え、論文を出版した。ガス純化に関しては、低バックグラウンド吸着剤の開発を論文出版した。NEWSdm では、地上・地下の環境での中性子測定によるデモンストレーションを経て、初の方向に感度を持つ暗黒物質探索実験を行った。D01・公募研究との表面アルファ線検出器開発の共同研究が進み、共著論文を出版した。

公募研究の成果：(中村) ミグダル効果検出の観測可能性に関して B01・B02・E01 と共著論文を出版した。(東野) 低質量暗黒物質の方向に感度を持つ探索に用いることのできる技術としてピクセル IC の製作を行った。

● 研究項目 C01

計画研究の目標：SK-Gd を初期フェーズから一段と高性能化して、世界初の超新星背景ニュートリノの検出を目指す。それにより、宇宙の星形成の歴史と、そこで重要なニュートリノの役割を明らかにする。具体的には、5 年間の観測で得られたフラックスやスペクトルの情報から、超新星爆発やその後クーリングへ至るプロセスの理解、星形成率等、宇宙星形成史モデルの妥当性を、詳しく評価する。

計画研究の成果：公募研究および D01 との密接な連携により追加導入用の高純度硫酸 Gd 開発、製造、評価を実施した。そして 2022 年度に 0.03%Gd 濃度を実現させ、世界最高感度の超新星背景ニュートリノ探索を行った。2023 年 9 月までの観測データから**世界で最も厳しい超新星背景ニュートリノに対する制限を更新した (図)**。すでに超新星爆発の平均温度が高いとするいくつかのモデルで予言される領域を排除している。この解析を行う中で、想定していなかったが、原子炉ニュートリノも SK で初めて観測できていることが分かった。



公募研究の成果：(坂口) 硫酸 Gd 中の極微量放射性核種定量を目指し、誘導結合プラズマ質量分析計の定量限界低減に取り組んだ。そして硫酸 Gd 中の ^{226}Ra や ^{227}Ac の評価方法を確立し、SK への硫酸 Gd 追加時の製品ロットのスクリーニングに大きく貢献した。

● 研究項目 D01

計画研究の目標：各計画研究がもつ低放射能技術を共通基盤化して各グループに還元することを目的とする。具体的には、検出器材料中の放射性不純物 (RI)・水やキセノンガス中の希ガス

RI・地下環境中性子・ Gd^{3+} イオン発光を測定し、低放射能技術研究会やWEBデータベースで成果発信する。

計画研究の成果: 世界トップレベルでバックグラウンドが低いゲルマニウム検出器を開発し(図)、C01の硫酸Gdおよび各実験グループの検出器材料のスクリーニングを行った。そして、硫酸ガドリニウム水中のラドン濃度を測定できるラドン検出器を4台開発し、C01のSK-GdおよびB01のXENONnTでの運用を開始した。また、硫酸ガドリニウム水での Gd^{3+} イオン発光の観測に成功し、C01のSK-Gdの観測に問題ない発光量であることを実証した。さらに、神岡地下実験室の環境中性子を約2年半測定し、地下実験室の環境パラメータとの間に相関を見つけた。

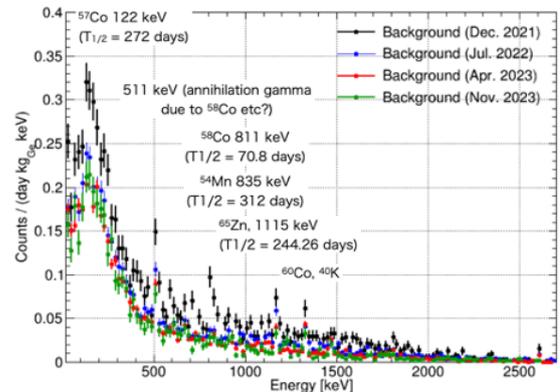


図 D01 開発したゲルマニウム検出器のバックグラウンドスペクトラム

公募研究の成果: (伊藤) アルファ線イメージ分析装置の低バックグラウンド化を進め、各実験グループの検出器材料のスクリーニングを行った。(鷺見) 地上と地下で観測される落雷磁場の性質をまとめ、論文出版した。また、落雷による磁場雑音が現在のKAGRAの感度よりも十分に小さいことを確認した。さらに、4年間の雨量データおよび3年間の地下排水量のデータを取得し、D01の地下環境中性子フラックスとの相関を調べた。(鶴) SOPIXカメラの残留バックグラウンドの低減に成功し、太陽アクシオン探索準備を完了した。

● 研究項目 D02

計画研究の目標: 検出器技術として極低温技術を新たに取り入れることで、0v 2β 探索検出器の高感度化と暗黒物質探索の範囲拡大を図る。

計画研究の成果: 超伝導センサー(MMC)と CaF_2 結晶を使用して蛍光熱量計開発を実施し、 CaF_2 結晶を使用した蛍光熱量計を世界で初めて実現した。 CaF_2 結晶内に意図的に多量混入した ^{238}U 娘核の α 線事象を使って、高い分解能(5.5 σ)で β 線事象と粒子識別することに成功した。低温(4K)強磁場(9T)環境を整備し、無酸素銅と超伝導素材(NbTi)で作成した空洞のQ値を測定し、超伝導薄膜などを使用した高いQ値を持つ空洞開発の準備が進んだ。フォトニック結晶構造を使った空洞開発のアイデアに関する論文をPTEPに発表した。また、積冷凍機に低放射能シールドを導入し、環境BGを低減できること、また100kgを超えるシールド導入後も冷凍機で極低温環境を実現できることを実証した。

公募研究の成果: (成瀬) 最先端直接描画技術を駆使したフォトリソグラフィ技術により、インダクタンス部分に50 μm 長のエアブリッジ構造を組み込んだ超伝導検出器の作製に成功した。このデバイスで20万程度の高い共振Q値を確認し、 α 線の検出にも成功した。一方で、全インダクタンス長におけるエアブリッジ部分の比は0.5%と小さい設計だったため、通常のインダクタンス部分にあたった信号と、エアブリッジ部分にあたった信号を見分けることはできず、エアブリッジ構造によるエネルギー分解能向上には至らなかったため、エアブリッジ部分の比率を50%以上に高めた素子の設計を行った。

● 研究項目 E01

計画研究の目標: (1)宇宙の物質反物質非対称性の起源およびニュートリノ質量生成機構の解明、

(2) 暗黒物質の正体・起源の解明、(3) (1) (2) を含む新たな素粒子模型・宇宙シナリオの構築、である。

計画研究の成果：宇宙の物質反物質非対称性の起源に関して、最小 $U(1)_{\mu-\tau}$ ゲージ模型でのインフラトンの右巻きニュートリノへの非熱的崩壊に伴うレプトジェネシスで、ニュートリノ振動実験の観測値を説明するパラメータ領域においてバリオン数の観測値を説明することができることを明らかにした。将来のアクシオン・ヘリオスコープ検出器を利用した「超新星アクシオン望遠鏡」検出器の提案をし、 $0(100)$ pc 以内の近傍超新星由来のアクシオンを検出しうることを明らかにした。

公募研究の成果：(馬渡) 暗黒物質直接探索実験からくる厳しい制限を逃れられる擬スカラー暗黒物質模型において、付加的ヒッグス粒子が既知のヒッグス粒子と縮退していた場合でも、 0.2GeV 以上の質量差があれば ILC 実験で検証されうることを明らかにした。(石山) 冷たい暗黒物質、および自己相互作用を考慮した暗黒物質モデルに基づく高分解能宇宙論的構造形成シミュレーションを行い、銀河系スケールのハローに存在する小スケールサブハローの中心密度を推定した。矮小楕円体銀河の観測と比較し、自己相互作用の散乱断面積が $3\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ 以下であると制限した。(横山) 初期宇宙のインフレーションと現在の加速膨張の起源を同じスカラー場によって説明することのできる Quintessential inflation シナリオにおいて、3世代の右巻きニュートリノによってレプトジェネシスと FIMP 暗黒物質を実現する模型を構築した。

● 研究項目 E02

計画研究の目標：超新星ニュートリノと化学進化の総合的研究の開拓を目指している。

計画研究の成果：大規模シミュレーションで求めたニュートリノの角度分布に基づき、超新星コアにおけるニュートリノ集団振動の可能性を明らかにし、原始中性子星冷却期のニュートリノ観測から中性子星の質量・半径に制限をつける手法を見出した。現実的な核力から出発した状態方程式と自己無矛盾な修正 URCA 過程ニュートリノ放射率の計算法は改良が進んだ。また**太陽系が現在の場所ではなく銀河中心近くで生まれ**、その場所での銀河系の化学進化を反映していることを明らかにした。

公募研究の成果：(中村) SN1987A に対応する空間 3 次元の計算を行い、衝撃波の復活で電子型・反電子型ニュートリノ光度が減少すること、原始中性子星内部の対流によりニュートリノ球半径が膨張することで平均エネルギーは減少しミュー型・タウ型ニュートリノの光度は増加することを発見した。(吉田) 太陽金属量の大質量星の後期進化で、対流層境界を通じた物質混合が効果的に起こる場合には、カリウムや中質量元素がより効果的に作られることを明らかにした。

(加藤) ニュートリノ振動をモンテカルロ法で扱う手法を確立し、さらに物質とニュートリノの散乱をこれまでにない新しい方法で組み込んで、散乱・集団振動の両者を扱うことができるコードを完成した。

● 総括班 X00 及び各計画班の連携

上記の成果に加え、総括班は、月例の運営会議・年 4 回の総括班会議を行い、各計画班への研究アドバイス、領域内外との連携促進などを指揮してきた。また、毎年領域研究会(内 2 回は国際シンポジウム)・暗黒物質に関する国際シンポジウム・超新星ニュートリノ研究会・極低放射能技術研究会のほか、不定期も合わせて合計 34 の研究会やシンポジウムを開催した。さらに、多様な国際活動支援によって国際的な人材登用・若手育成・人材交流が実現した。

各計画班は多様な連携を通して相乗的に発展してきた。以下は、連携の一部抜粋である。

A01 では、D02 が展開する極低温でのセンサー技術開発に協力し、KamLAND 用の低バックグラウンド実験室を整理し、極低温センサーを使った暗黒物質直接探索研究を推進すべく、RCNS と KEK-QUP 間で MoU を結び KamLAND 区域に Cryolab を設置することとなった。また、KamLAND 高性能化のための統合実験用に基盤研究 A と協力して建設したテストタンクは、簡易低バックグラウンド測定にも利用可能で、D01 の将来計画にも利用される予定である。さらに、分野の研究基盤として構築するに至った地下スーパークリーン施設は、純水や純空気製造における C01・D01 や海外地下研究所の知見を取り込み、公募研究の発展型装置や D01, D02 の発展的研究で有効活用できるよう設計しており、領域外からの利用も見込まれる。他にも、D01 が展開する多様な環境中性子測定において液体シンチレータを使う際のバックグラウンド低減手法に関する知見を提供した。また、C01 が SK-Gd での中性子タグ効率を高めたため原子炉ニュートリノの観測が可能になりつつあり、ニュートリノフラックスの評価方法などの知見を提供した。同時に、A01 が実現していた近傍超新星爆発前兆ニュートリノによるアラームにおいても、SK-Gd が中性子事象数の増加を使いアラームの発出が可能になったため、統合アラームを構築し、信頼性の向上や稼働率の大幅向上を実現した。超新星爆発ニュートリノを使ったアラームにも SNEWS2.0 として国際的な観測体制に参画している。

A02 は、D01 と協力して微量分析を行うほか、D02 と協力して蛍光熱量計開発を進めた。微量分析については、A02 と D01 が協力して開発した結晶中 α 線分析装置と、D01 が開発した ICP-MS を用いた微量分析がある。結晶中 α 線分析装置は、製造した高純度 CaF_2 結晶の微量分析を行うために用いた。結果、目標である $10\mu\text{Bq/kg}$ の結晶製造を実現できた。また、D01 が開発している高速 ICP-MS を、A02 の結晶高純度化開発に導入することで、 CaF_2 結晶の新たな高純度化法の評価が可能となった。蛍光熱量計開発には極低温技術が不可欠で、D02 との協力で世界初の CaF_2 蛍光熱量計が実現した。高純度結晶開発中に得られた高純度物質は他の計画班にも提供し、高純度 CaF_2 結晶の材料（炭酸カルシウム）は、B02 の検出器に用いるガス中のラドン等を低減する高純度モレキュラーシーブの材料として用い、モレキュラーシーブ純度を 1~2 桁向上させることができた。理論と実験の連携も促進しており、2021 年 2 月の E01 班による研究会「ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊とその周辺」では、核行列要素に関する理論実験の協力の重要性に対する共通認識を得た。それを受けて、A02・E01・A01 が協力し、領域外の原子核素粒子理論研究者らが集った研究会「二重ベータ崩壊核行列要素に関する実験理論合同研究会」（2022 年 10 月 3-4 日）を開催した。さらに翌年 2023 年 12 月 21-22 日には、国際ワークショップ「Theoretical and Experimental Approaches for Nuclear Matrix Elements of Double Beta Decays」を開催し、国際的な連携を促進した。また、低放射能・地下実験室を用いた研究連携として、A01・A02 および RCNP, RCNS, ローレンス・バークレー国立研究所協力による国際ワークショップ“Double Beta Decay and Underground Science(DBD23)”（2023 年 12 月 1-3 日）をハワイで開催し、二重ベータ崩壊実験・関連するニュートリノ質量測定実験・二重ベータ崩壊実験・暗黒物質探索実験・次世代実験技術における国内外の地下実験研究者の交流を促進した。

B01 は、C01 の水チェレンコフ型中性子検出器の技術を応用することにより、暗黒物質の直接検出へ向けた強い連携を通じて研究を遂行する事ができた。特に XENON 実験に使用する素材については、本領域の核をなす D01 が共有する低 BG 技術や放射線計測技術が決定的に重要であった。XENON や XMASS における暗黒物質探索の対象となる候補やデータの解釈には、E01 との連携が有効であり、毎年開催してきたシンポジウムで議論を重ね、招聘研究者を通じて班同士の連携や将来の暗黒物質

探索実験への参画を含めた研究の発展を促すことができた。B01 の検出器は、A01・A02 の進める $0\nu 2\beta$ 探索や稀な原子核崩壊探索も物理対象であり、背景事象の評価において有用な連携が可能となった。さらには超新星バーストニュートリノへの感度もあり、E02 の知見を活かして XMASS や XENON 実験での探索感度の評価が可能となり、C01 や A01 との同時観測の可能性についても議論が進んだ。これらの連携を通じて、38 件の雑誌論文を出版することができた。

B02 が進めたガス純化材の開発では、A02 が見出した低放射能炭酸カルシウムを用いることで大幅な低 BG 化を実現した(共著論文 JINST 19 P02004 (2024))。また、B02 公募研究「高圧キセノンガス検出器によるミグダル効果検証のための研究」(中村輝石)と検出器開発に関する連携を行い、その延長として B01 と暗黒物質探索による連携、E01 と物理による連携が進められ、共著論文を発表した(PTEP (2020) ptaa162)。さらに、D01 公募研究「低放射能測定における μ -TPC を用いたアルファ線イメージ分析装置の開発」(伊藤博士)に μ -TPC 開発についての技術および検出器を提供し、D01 との低 BG 技術による連携で進めた論文を出版した。このアルファ線イメージ分析装置は D01 が進める Ge 検出器とは測定する放射性同位体の種類が異なり、領域全体に相補的な測定手法を供与している。

C01 は D01 と全面的に連携して SK-Gd 実験を推進してきた。SK でのラドン検出技術や Ge 半導体検出器による放射性不純物の定量技術は、D01 を通じて全ての実験班と共有された。一方で、D01 で開発された低 BG-Ge 検出器を用いて、SK-Gd 用に製造されたすべてのロットの硫酸ガドリニウムの純度評価を行った。また、D01 との共同で ICP-MS による極微量のラジウム定量技術を開発し、短時間での硫酸ガドリニウム中の不純物が可能となった。この技術は A01 で行われている低放射能蛍光ミニバルーンの開発にも生かされている。水中のガドリニウム濃度モニターの開発も D01 との連携で行われた。B01 には、中性子検出用の硫酸ガドリニウム水システムの技術、および必要な純度の硫酸ガドリニウム自体の技術を提供した。そして E02 と共同で超新星ニュートリノ研究会を開催することで、実験と理論の研究者の相互理解を深め若手研究者の育成にも貢献してきた。実際に超新星ニュートリノ観測にむけて、実験と理論の研究者の共同研究も実施し、毎年の論文出版が実現した。

D01 は領域の技術基盤として全実験班と連携し、極低放射能技術の開発を行った。まず、B01・C01 との連携によって世界トップレベルの低 BG-Ge 半導体検出器を開発し、各実験班の検出器材料中の放射性不純物含有量測定が行われた。次に、C01 との連携によって低 BG のラドン検出器を開発し、C01 の SK-Gd と B01 の XENONnT で運用されている。また、A01・A02・B01・B02 との連携によって中性子検出器を開発し、神岡地下実験室の環境中性子フラックスを約 2 年半にわたって測定した。そして、B01 との連携によってレーザー共鳴イオン化による放射性希ガス微量分析装置を立ち上げた。さらに、C01 との連携によってレーザー励起を用いて硫酸ガドリニウム水中の Gd^{3+} イオン発光を測定し、SK-Gd では問題にならないことを実証した。また、領域発足当初は想定していなかった理論班 E01 と実験班 D02 との連携から近傍超新星爆発からのアクシオンを検出する着想が生まれ、論文にまとめた。さらに、全実験班と共同で極低放射能技術研究会を年次開催し、領域内外の研究者との技術交流・連携促進を実現した。

D02 は、希釈冷凍機の低放射能化を実現し、これを契機に A01 と連携して RCNS と KEK-QUP 間の MoU のもと、KamLAND 区域内に極低温技術を使った低質量暗黒物質の直接探索を実施する Cryolab の整備を始めた。また、極低温でのセンサー技術を使い A02 との協力で世界初の CaF_2 蛍光熱量計を実現し、目標を超えたエネルギー分解能を達成した。D02 が進めた極低温センサー技術は応用範囲

が広く、宇宙背景放射観測や量子センサー開発などで学際的な連携を生み出した。さらに、D02 が推進したアクシオン探索のための技術開発は世界的な競争力を獲得し、R6 年度開始の学術変革領域「地下稀事象」での核として極稀現象フロンティアの分野を束ねるに至った。

E01 は、領域全体を串刺しにする様々な理論的研究を行なった。A01・A02 が探索するレプトン数の破れに関連した宇宙の物質優勢の起源に関する研究を行い、モデル予測は実験感度目標のベンチマークになっている。また B01・B02 の暗黒物質直接探索に関しては、熱的暗黒物質の包括的研究により直接探索とその他の探索方法の相補性を明らかにし、冷たい暗黒物質(CDM)に基づいた宇宙論的流体シミュレーションを用いた暗黒物質分布に関する諸問題に関する研究を行うなど、実験研究に指針を与える理論的成果も得られた。また、E01 博士研究員と B01, B02 の連携によりミグダル効果検出のための研究が行われ、共著論文を出版した。D01, D02 の分担者らとの共同研究によって近傍超新星由来のアクシオンを検出する「超新星アクシオン望遠鏡」検出器のアイデアを提案、論文として出版するなど、当初は想定していなかった領域内連携による成果も得られた。2020 年 5 月には E01・E02 でオンライン合同勉強会を開催し、E01(標準模型を超える物理)と E02(超新星の物理)の双方からチュートリアル講演がなされ、研究交流および今後の連携研究の可能性の議論が行われた。2021 年 2 月には E01 と A02 公募研究の合同主催により、オンライン研究会「ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊とその周辺」を開催し(参加者 150 名以上)、素粒子・原子核分野からの講演を通して分野を超えた情報交換・研究交流が行われた。

E02 は、C01 と合同で超新星ニュートリノ研究会を毎年開催し、定期的に超新星ニュートリノに関する理論研究者と実験研究者の研究情報交換と共同研究の機会を提供してきた。そしてその共同研究として、超新星や原始中性子星のモデルに関する観測による識別可能性を議論した成果が論文として発表されている。また、超新星ニュートリノ研究会では、毎回専門家以外を対象としたチュートリアル講演を企画し、理論と実験について相互に基本的な事項から理解を深めることができた。さらに他の新学術領域や計画研究の研究者に、地球モデルや銀河形成などに関する基礎的な解説を依頼し、参加者の研究テーマの拡充を図った。これらに加えて、素粒子モデルの理論研究を行う E01 と超新星爆発とニュートリノ放出の理論研究を行う E02 の合同勉強会を開催し、関係する研究を促すことができた。

● 分野を支える研究基盤の形成

「地下素核」「地下宇宙」と続いた新学術領域での活動は、極稀な現象の研究によって物質の起源や力の統一を目指す「極稀現象フロンティア」を開拓した。このアクティビティは、さらに、学術変革領域「地下稀事象」に発展的に継承される。これらの領域の中でも KamLAND, SK-Gd は神岡地下に位置し、国際的な高い求心力を維持してきた。この分野は今後数十年にわたって宇宙・素粒子・原子核研究の重要な分野であり続けると期待され、求心力の高いプロジェクトのさらなる高度化に続き、長期的な視野を持った技術開発・技術継承・人材育成をコミュニティと連携して実施していく必要がある。この観点から、A01 のプロジェクトである KamLAND を運営する東北大学ニュートリノ科学研究センター(RCNS)と、全国・国際共同利用共同研究機関であり A02・D02 のプロジェクトに参加する大阪大学核物理センター(RCNP)は、極稀現象フロンティアでの研究を展開し、技術開発・技術継承・人材育成をコミュニティと連携して実施することを目的として、「大学間連携による神岡極稀現象研究拠点の形成」(KERNEL)を組織整備として開始した。これは、本領域の大きな成果である。さらに、KamLAND エリアに KERNEL の活動を支える純空気製造装置や純水製造装置を備えるク

ラス1のスーパークリーン施設が2025年3月に竣工する。ここに導入される装置も領域の知見を取り込んだものである。地上にあるだけで宇宙線による放射化が問題となる本分野で、地下にスーパークリーン施設を有することは大きなアドバンテージとなり、技術継承を確実なものとし、技術革新を生み出す原動力となる。これも本領域での活動の成果である。これら分野を長期的に支える新しい拠点・基盤は、本領域の活動なくしては実現し得なかったものである。