

## 【令和2年度実績】

### 1. 極低放射能環境での宇宙素粒子研究の推進

No.19 ①-1 長期的視野に立脚した基礎研究の充実

No.20 ①-2 世界トップレベル研究の推進

No.21 ①-3 国際的ネットワークの構築による国際共同研究等の推進

No.25 ③-1 新たな研究フロンティアの開拓

No.33 ②-4 国際共同利用・共同研究拠点及び共同利用・共同研究拠点の機能強化

#### 実績報告

長期運転で故障が目立ってきた光センサーに対して、ゲインの低下を補償する電子回路による増幅で延命し、エネルギー分解能の悪化を最小限にとどめ、刻々と変化する光センサーの性能変化に精緻に対応した観測を行うことで、Zen800の観測においてZen400の3倍超の高品質データを蓄積した。さらに、人工知能技術によるガンマ線を伴うバックグラウンドの半減、原子核破砕事象による長寿命核バックグラウンドの詳細な理解とそれに対する中性子多重度を使った効率的な識別手法の開発による半減と相まって、およそ4倍の探索感度を実現した。Zen400のデータも含めた統合解析では世界で初めて逆階層バンド構造領域にかかるマヨラナ有効質量に対する制限を与えており、目標に向けて順調な感度向上を続けている。進捗状況は、国際会議 Neutrino 2020, Neutrino Telescopes 2021などで重要な国際会議で発表している。

さらに長期的な取り組みとして、通信技術の大きな進展を反映した最先端のSoCを使用することで、更なるバックグラウンド低減を可能にする、高密度・低消費電力の高性能電子回路を開発し、プロトタイプによる目標性能達成を確認した。大規模製造に移行し、順次導入して行く。また、エネルギー分解能向上のための被覆率100%の集光ミラーを設計し、集光量2.3倍を可能にしたほか、有効体積の倍化が可能となる蛍光フィルムを使ったミニバルーンの実現可能性を示した。ガンマ線を伴うバックグラウンドを大幅に低減できる技術であるステレオ撮像による素粒子検出手法も開発し、鏡の反射率を理論値近くにまで高めた2枚鏡光学系を作成できたことで、初めて位置分解能やガンマ線識別能の測定に成功した。今後は大型化に必要な技術開発を進めていく。次々世代への取り組みにも着手しており、順階層バンド領域をカバーできる感度達成に必要な100トンクラスのキセノン<sup>136</sup>同位体の入手源として使用済み核燃料に着目し、再処理過程でのオフガス取り出しのための開発計画を企業と協議している。

地下宇宙素粒子コミュニティの中核として活動するための地下施設の拡充では、クリーンルーム及び小規模実験のための実験空間、さらにプロトタイプ検出器用の50立方メートルタンクスペースを整備した。これらは、共同利用に供して地下宇宙素粒子研究の発展に貢献していく。

---

### 2. 地球ニュートリノ研究ネットワークの展開

No.19 ①-1 長期的視野に立脚した基礎研究の充実

No.20 ①-2 世界トップレベル研究の推進

No.21 ①-3 国際的ネットワークの構築による国際共同研究等の推進

#### 実績報告

原子炉停止期間のデータを蓄積により、地球ニュートリノの観測精度は15.6%に達し、ついにモデル精度を凌駕している。放射性熱の多いモデルを明確に排除しており、今後の進展で地球始原隕石の特定など地球形成史に関わる情報を得ることができると期待される。また、地球内原子炉

仮説に対しても世界で最も厳しい制限を与え、地球内での特殊な熱生成モデルや過剰なウラン濃縮仮説を排除している。今後は、国内の原子炉が運転を進めて行く際に MOX 燃料の使用が増えて行くことが想定されるため、系統誤差低減に向けて原子炉ニュートリノスペクトル計算の精度向上への取り組みを始めた。関連して、渡辺寛子助教が、「地球ニュートリノ観測による地球内部理解」の業績により、日本物理学会第 2 回米沢富美子記念賞を受賞した。

海洋底地球ニュートリノ観測計画では新たに科研費基盤 B を取得し JAMSTEC と共同での検出器開発が始まった。海洋工学・科学掘削・海洋生物学といった新たな分野にも連携も拡大している。

---

### 3. 先進の低温検出器の開発

No.19 ①-1 長期的視野に立脚した基礎研究の充実

No.25 ③-1 新たな研究フロンティアの開拓

#### 実績報告

素粒子研究とデバイス・物性研究を結びつける AIMR、電気通信研究所と連携した FRiD プログラムをもとに、月例での研究会が実施され、理研や神戸大学、大阪大学なども参加する活発な連携が進んでいる。また、新学術領域「地下宇宙」での低温技術研究会は 7 回を数え、学際分野でのコミュニティ形成が進んでおり、中核として活動している。理化学研究所や埼玉大学の量子デバイス研究者との連携も進んでおり、素粒子研究者と量子デバイス研究者で構成するコミュニティ形成の核として貢献している。当センターに設置された 10mK に到達できる希釈冷凍機では、軽い暗黒物質探索を目的として超電導センサーでの放射線検出に成功しており、将来の物理測定を目指した希釈冷凍機の低放射能化も実現した。このテーマでの科研費基盤 B も採択されているほか、日米科学技術協力事業(高エネルギー物理学分野)により KID とその読み出し開発がサポートされることとなった。さらに、KID の読み出し回路を、量子ドットや量子重力実験に応用するアイデアも提案して科研費申請を行っており、コミュニティを拡大している。

アクション探索に用いる共振空洞の開発・研究では、従来の 28 倍の体積を持つ空洞(5.7 GHz)を、4K のクライオスタットで 9 テスラを発生する超電導磁石内に導入し、空洞の Q 値向上のための素材開発を進めている。また、13 テスラ大空間超伝導磁石を保有する核融合科学研究所との連携も始まった。このテーマでも科研費基盤 B が採択されている。

---

### 4. ニュートリノ研究の多様化

No.19 ①-1 長期的視野に立脚した基礎研究の充実

No.20 ①-2 世界トップレベル研究の推進

#### 実績報告

現状世界で唯一超新星爆発前兆ニュートリノ観測による爆発アラームを発信できる装置としてカムランドの運転の高い稼働率を維持しており、重力波観測装置などにアラームを発信している。また SNEWS の高度化にも取り組み SNEWS2.0 としての計画をまとめた。

国内の原子炉ニュートリノの観測では平均 180km の距離での観測であったが、国内原子炉の大部分が停止していることから、およそ 700km の超長基線での韓国の原子炉からのニュートリノを捉えることに成功し、さらに、超長基線でのニュートリノ欠損の検証にも成功した。

JSNS2では1機目の装置がJ-PARC MLFに完成し、令和2年度、3年度の2期に渡って成功裡にデータ収集を行なった。J-PARC MLFの静止崩壊ニュートリノを利用する低エネルギー電子ニュートリノ検出技術開発を東北大学が核となって企画し、令和2年度には新たに科研費基盤Aが採択された。令和3年度には、MLFでのバックグラウンド測定実験が認められ、現在測定中である。この開発によって、別モードのニュートリノ振動測定や超新星爆発電子ニュートリノの検出が可能となる(KamLANDでは超新星爆発反電子ニュートリノを検出する)。フランスで実施したDouble Chooz原子炉ニュートリノ実験では、クリーンな $\theta_{13}$ 測定と世界最高精度の原子炉ニュートリノフラックスの測定結果をNature Physics(2020年4月)で発表した。

Hyper-Kamiokandeは本予算が認められニュートリノ科学研究センターからは低エネルギー物理研究への貢献を続けている。また、J-PARCからのニュートリノビームをカムランドで検出するT2KL実験の研究が進み、スーパーカミオカンデでは難しい陽子や中性子を観測する研究が進んでおり、中性カレント反応研究において新たな展開が期待される。

---

## 5. 宇宙創成物理学国際共同大学院の推進

No.03 ②-2 大学院教育の充実

No.07 ②-6 世界を牽引する高度な人材の養成

No.46 ③-1 国際通用性の向上

No.47 ③-2 先端的教育研究クラスターの構築

### 実績報告

宇宙創成物理学国際共同大学院(GPPU)プログラムにおける9つの高度実験コースのうち4つを担当した。次年度は分野の技術発展に対応するため新たにコースを追加する。GPPUプログラムでは第二期生の6名が修了し、10名を新規採用した。理学研究科物理学専攻の素粒子・原子核分野では博士課程進学者が増加しており、GPPUの活動が貢献していると考えられる。GPPUの高度実験にも活用する目的で、極低放射能測定用・極低温センサー開発用・アクシオン探索用の実験室をそれぞれ提供している。また、新たに高度実験を担当する助教を採用し、コーディネーターの担当を始めた。