

平成22年6月16日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18340073
 研究課題名（和文） 素粒子研究の未来開拓を目指す百トン級水チェレンコフ検出器の開発とその国際的展開
 研究課題名（英文） Feasibility study of 100 million tones water Cherenkov detectors which aim to open new era of elementary particle physics.
 研究代表者
 塩澤 真人（SHIOZAWA MASATO）
 東京大学・宇宙線研究所・准教授
 研究者番号：70272523

研究成果の概要（和文）：素粒子の統一理論や物質支配宇宙の解明を目指した、次世代の陽子崩壊・ニュートリノ検出器の実現可能性を調べた。また世界中の熾烈な競争環境の中、互いの調査結果の情報交換や協力関係構築を行ってきた。宇宙線ノイズを避けるため地下に100万トン規模の巨大な実験装置を設置する実験計画となるが、大空洞掘削に適した強固な岩盤の場所の地質学的調査や、空洞の形の最適化、装置内部にとりつける光センサーの必要数の検討を行ってきた。実験を断念させるような困難はなく、百万トン級水チェレンコフ検出器の概念設計が完了した。

研究成果の概要（英文）：Feasibility study has been performed for next generation nucleon decay and neutrino detectors which aim to explore unification of elementary particles and the matter-dominated Universe. We also made good relationship with the world community to exchange status and progress of each country while international competition is getting hard. This detector with the dimension of 100 million tones has to be constructed in underground to be shielded against cosmic ray noise. We have completed concept design of the detector in Japan based on recent various studies: geological survey to look for hard rock region suitable for the gigantic cavity, optimization of cavity shape, optimization of light sensors, and so on.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2007年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2008年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：素粒子物理学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理（実験）

キーワード：宇宙線、国際協力、素粒子実験

1. 研究開始当初の背景

バリオン数(B)非保存による陽子の崩壊は究極的には物質の消滅を意味し、その実験的検証は人類の自然観に革命をもたらすような極めて重要な意義を有する。素粒子に働く力は $\sim 10^{16}$ GeV の超高エネルギーにおいて大統一されると信ずる強い理由があり、ここでは大統一力によりバリオン数の保存が破れる。1974年に唱えられたこの大統一理論(GUT)を検証する唯一の手段は陽子(核子)崩壊の検出で、1980年代に日米欧で巨大検出器による探索実験が開始された。現在はスーパーカミオカンデ(SK)の独壇場であり、 $p \rightarrow e^+ \pi^0$ 崩壊に対する現在の陽子寿命の下限は 5.4×10^{33} 年、超対称大統一理論で最も重要な $p \rightarrow K^+ \nu$ の崩壊モードについては 2.3×10^{33} 年である。バリオン数非保存は、真空から生まれた宇宙が現在の物質優勢の宇宙に進化するために必要である。ビッグバンによる開闢後 10^{-36} 秒の宇宙は超高温のGUTの世界であり、当初はここで宇宙のバリオン数が創り出されたと考えられたが、その後電弱相互作用の量子異常による効果、スファレロンの発見によりこの考えは成り立たなくなった。現在では、まず宇宙のレプトン数(L)が創られ、数百 GeV より高温でスファレロン過程によりLの一部がBに転換されて現在の物質優勢宇宙となったレプトジェネシスの可能性が非常に高まった。バリオン数非保存過程が存在することは実験的に検証されなければならないが、スファレロン過程は加速器による衝突実験では余りに断面積が小さく観測不可能であり、陽子崩壊が唯一の現実的手段である。

2. 研究の目的

素粒子研究の未来開拓を目指し、100万トン級の水チェレンコフ検出器建設を立案するに当たり、期待される物理の成果を最大限保ちつつコスト及び建設期間を縮小するために、必要な測定器デザインの最適化を行う。このため、陽子崩壊の探索、ニュートリノのCP非保存の測定、その他超新星爆発からのニュートリノバースト検出や大気ニュートリノ観測など有望な物理のシミュレーションを精力的に行い、ハイパーカミオカンデのデザインを進め、現実的なコストで実現できる計画を作り上げる。また、超新星爆発からのニュートリノバーストの検出は、データ収集用電子回路に非常に大きな負荷を生じるが、これに耐える電子回路を開発する。更、米国及び欧州の100万トン級水チェレンコフ

検出器建設計画への参画ないしは協力を行う。

3. 研究の方法

(1) ハイパーカミオカンデの設計

コストイフェクティブな設計に必要なシミュレーションスタディーについて、陽子崩壊、特に $p \rightarrow K^+ \nu$ に対する感度をできるだけ損なわずにどこまで光検出器の量を減らせるかのスタディーを行う。また水透過率測定装置の開発を行い、陽子崩壊事象の運動量再構成精度と検出感度を向上しかつバックグラウンド事象の低減を図る可能性を追求する。コンパクトな透過率測定装置を開発し水槽内の各場所から引き上げた水の吸収長を測定するシステムを構築し、将来波長、場所、時間の関数で光の吸収長を測定できるようにする。これは光検出器の量を減らし、コストイフェクティブな設計を行うために役立つデータとなる。

(2) ハイパーカミオカンデのデータ取得用電子回路開発

2008年より導入されたスーパーカミオカンデ用データ収集電子回路をもとに、ハイパーカミオカンデに用いる回路の設計を進める。また、超新星爆発からのニュートリノバーストに対して予想される負荷に対する、電子回路の処理能力を評価する。

(3) 100万トン級水チェレンコフ検出器R&Dの国際協力

次世代陽子崩壊・ニュートリノ検出器に関連する国際会議に参加し、世界各地のR&Dの進行状況に関する情報交換を行うと共に、相互の人的交流について検討する。この他、ニュートリノ国際会議等に参加し、将来のニュートリノ実験や陽子崩壊探索実験に関する情報交換・収集を行う。これらの活動を通じて得た情報をハイパーカミオカンデR&Dにフィードバックする。

4. 研究成果

陽子崩壊のさらなる感度向上とバックグラウンド低減を目指し、コンパクトで可動な水透過率測定装置の開発を行った。長期安定性が期待されるレーザーダイオードを光源として選択し、測定装置のデザインを行い、実際にプロトタイプ製作を行った。

- nu-bar、日本物理学会年次大会、
2010/3/20-23、岡山大学
- ② 塩澤真人、Nucleon Decay Searches、
International Workshop on Next
generation Nucleon decay and Neutrino
detectors、2009/10/8-10、コロラド、米
国
 - ③ 金行健治、Water Cherenkov R&D in Japan、
International Workshop on Next
generation Nucleon decay and Neutrino
detectors、2009/10/8-10、コロラド、米
国
 - ④ 塩澤真人、Super-Kamiokande、Internal
school of Nuclear Physics、
2009/9/16-24、エリチェ、イタリア
 - ⑤ 三浦真、Search for proton decay
 $p \rightarrow \nu K^+$ in Super-Kamiokande、ICRC2009、
2009/7/7-15、Lodz、ポーランド
 - ⑥ 金行健治、Results of nucleon decay
search in Super-Kamiokande-I+II、XIth
international conference on Topics in
Astroparticle and Underground Physics、
2009/7/1-5、ローマ、イタリア
 - ⑦ 三浦真、Search for nucleon decay in
Super-Kamiokande、日本物理学会年次大
会、2009/3/27-30、立教大学
 - ⑧ 三浦真、Search for nucleon decay in
Super-Kamiokande、Recontres de Moriond
Electroweek Interactions and Unified
Theories、2009/3/7-14、La Thile、イタ
リア
 - ⑨ 塩澤真人、R&D in Japan、International
Workshop on Next generation Nucleon
decay and Neutrino detectors、
2008/9/11-13、パリ、フランス
 - ⑩ 塩澤真人、Proton Decay Searches in
Super-Kamiokande、The 16th
International Conference on
Supersymmetry and the Unification of
Fundamental Interactions、
2008/6/16-21、ソウル、韓国

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塩澤 真人 (SHIOZAWA MASATO)
東京大学・宇宙線研究所・准教授
研究者番号：7 0 2 7 2 5 2 3

(2) 研究分担者

三浦 真 (MIURA MAKOTO)
東京大学・宇宙線研究所・助教
研究者番号：1 0 2 7 2 5 1 9

(3) 連携研究者

中村 健蔵 (NAKAMURA KENZO)
高エネルギー加速器研究機構・名誉教授
研究者番号：1 0 0 1 1 7 3 5