

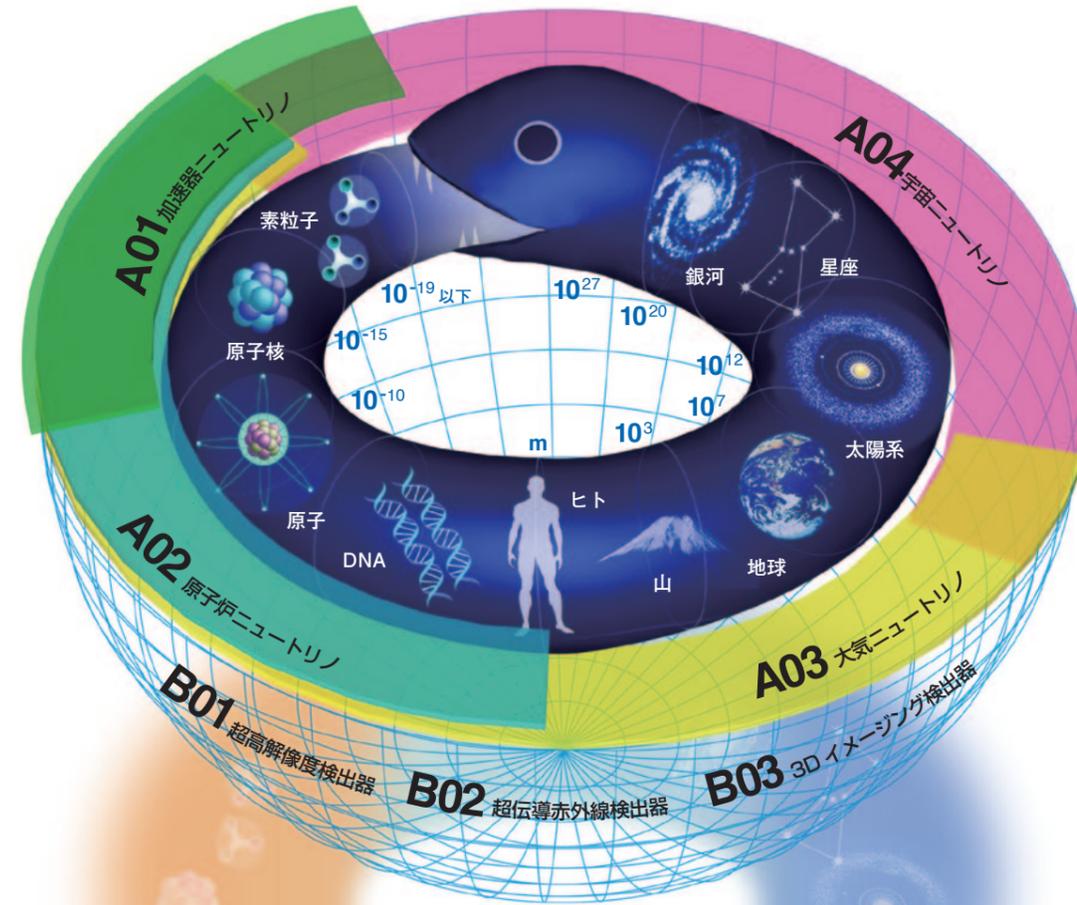
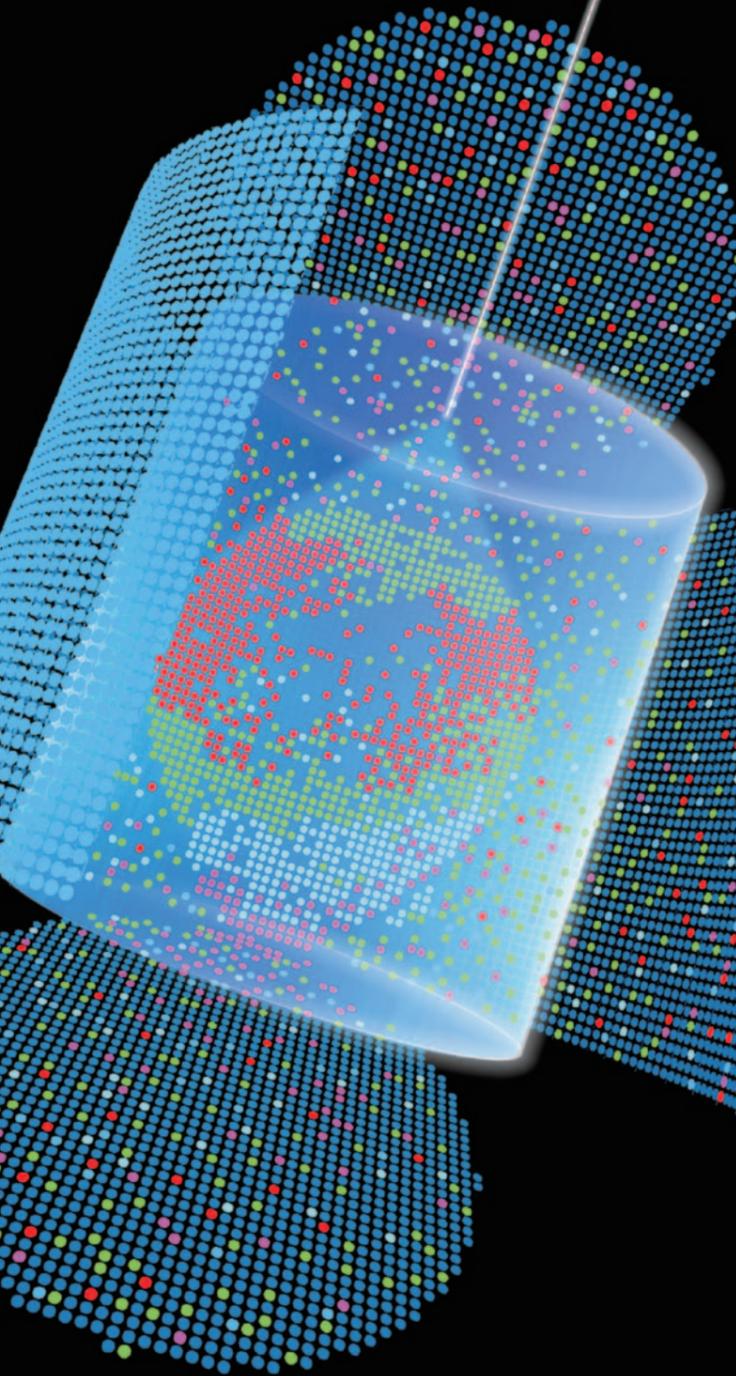
Unification and Development of the Neutrino Science Frontier

文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究 (領域番号 2504)

ニュートリノフロンティアの融合と進化

ニュートリノで 解き明かす森羅万象 the universe

なぞの素粒子ニュートリノ。
その未知の性質は物質の根源と
深くかかわり、素粒子・宇宙・時空の起源を
解き明かす鍵を握っています。



C01 素粒子論 C02 原子核論 C03 素粒子・宇宙論

素粒子、物質、宇宙、そして再び素粒子へ — ニュートリノフロンティアとは

ギリシア神話に登場する「ウロボロスの蛇」は世界の調和をあらわす象徴です。その姿は「ニュートリノフロンティアの融合と進化」の研究にたとえられるでしょう。蛇が飲み込んでいる尾は素粒子、頭は宇宙で、素粒子と宇宙の研究がつながっていることがわかります。

この領域研究では、日本がリードしてきた最先端の計測技術を使って実験・観測に取り組むA班、新しい測定技術の開発研究を進めるB班、ニュートリノ物理とニュートリノを軸にした素粒子論・宇宙論を展開していくC班が連携し、ニュートリノから素粒子・宇宙のなぞに挑戦します。



ニュートリノの世界へようこそ!

領域代表
中家 剛 Nakaya Tsuyoshi
京都大学・教授

太陽はニュートリノで輝き、宇宙はニュートリノで満ちています。ニュートリノは、宇宙の中で光の次に多い素粒子です。しかし、「幽霊粒子」と呼ば

れるくらい減りに顔を出さないで、観測は簡単ではありません。私たちの研究では、この素粒子ニュートリノを柱として、素粒子、原子核、宇宙を調べていきます。ニュートリノにはまだ解明されていない謎が数多くあり、とても興味深い研究対象なのです。

私たちは地球内部や宇宙からのニュートリノの観測をしたり、加速器や原子炉でニュート

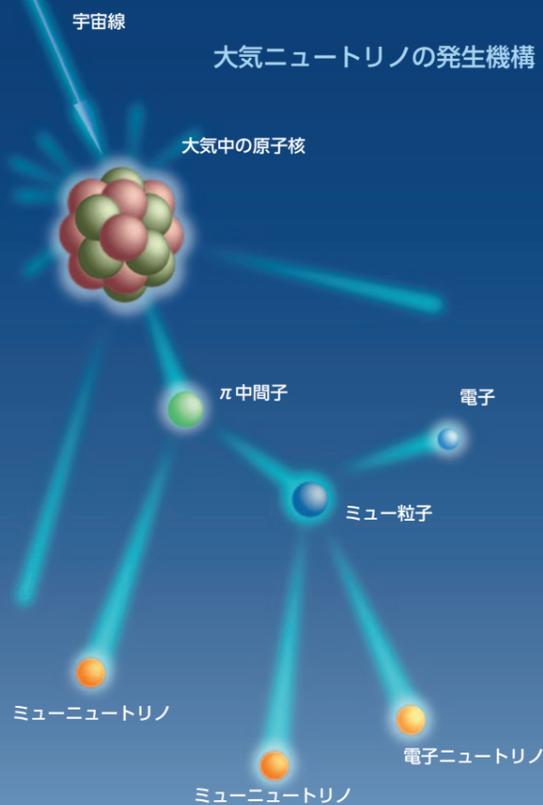
リノをつくって、研究を行っています。科学研究費をベースとした本研究の強みは、研究者がボトムアップでアイデアを持ち寄り、科学的興味(好奇心)に基づき研究を展開していくことです。興味をもって、謎を一步一步解いていくことが科学を進化させるうえでとても大事なのです。皆さんにもぜひニュートリノに興味をもっていただけたらうれしく思います。

宇宙からの訪問者

1987年、銀河系から
16万光年離れた大マゼラン雲で
超新星爆発が起こりました。
この爆発で放出されたニュートリノは
光速で宇宙に飛びちり、地球に到達。
ニュートリノ検出器「カミオカンデ」に
とらえられました。
ニュートリノは、宇宙誕生直後から現在まで、
活動的な領域で生成され、
今も飛び続けています。
その数は1cm³あたり300個。
宇宙に満ちあふれるニュートリノは、
宇宙の歴史や姿を伝えてくれます。

各班の研究

ニュートリノの発見(1954)から60年、「ニュートリノ振動」が測定された今、ニュートリノ研究は次のステップを踏みだしました。3種類のニュートリノの質量順序を明らかにし、次いでニュートリノと反ニュートリノ間のCP対称性の解明へと進みます。実験・観測と相まって、理論研究にも新しい時代が訪れようとしています。



A01班

加速器ニュートリノビームによるニュートリノフロンティアの展開

茨城県東海村にある大強度加速器J-PARCでニュートリノビームを生成。295km離れた岐阜県飛騨市のニュートリノ検出器スーパーカミオカンデまで飛ばし、「ニュートリノ振動」を測定するT2K実験を進めています。2013年7月には、第3の振動モード(ミューニュートリノから電子ニュートリノに変化)の存在を確実にしました。今後は、ビーム強度と測定精度をさらに向上させ、ニュートリノ振動のパラメータを決定。その結果を踏まえて、ニュートリノにおける粒子と反粒子間の性質の違い(CP対称性の破れ)を調べるため、反ニュートリノ振動の測定に取り組みます。

研究代表者: 中家 剛 京都大学

A02班

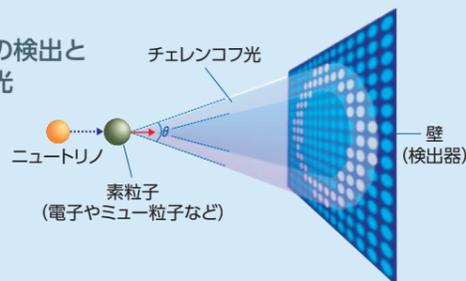
原子炉ニュートリノを用いた基礎科学および応用科学

フランスのショー(Chooz)にある原子力発電所で発生するニュートリノを検出する国際共同実験「ダブルショー(Double Chooz)実験」を推進。第3の振動モードを測定し、世代間で混合する割合「混合角」 θ_{13} を精密に求めます。また、加速器ニュートリノ実験の結果と組み合わせて、CP対称性の解明をめざします。

国内では、原子炉ニュートリノ検出器の技術に応用した小型検出器を開発し、外部から原子炉の運転状態をモニターできる装置を開発研究しています。

研究代表者: 久世正弘 東京工業大学

ニュートリノの検出とチェレンコフ光



A03班

大気ニュートリノを用いた質量階層構造の研究と次世代研究フロンティアの発展

大気ニュートリノは宇宙から到来する高エネルギー粒子「宇宙線」が地球大気と衝突して生成されます。この大気ニュートリノをスーパーカミオカンデで観測し、世代間混合の精密測定を行うとともに、3世代のニュートリノの「質量階層」構造を解明します。この研究はニュートリノにおけるCP対称性の破れを発見する可能性を高め、さらにニュートリノが粒子と反粒子の区別がない「マヨナラ粒子」なのかどうかを明らかにするための手がかりとなると期待されます。

また、スーパーカミオカンデを約20倍大型化した「ハイパーカミオカンデ」実現のための基礎開発を推進します。

研究代表者: 塩澤真人 東京大学

A04班

ニュートリノで探る深宇宙

宇宙最深部では、高エネルギー現象に伴って陽子や原子核が加速されています。そのダイナミズムは宇宙線から知られるようになりましたが、宇宙線や電磁波の観測で宇宙深部の加速現場を直接測定することは困難です。しかし、高エネルギー現象に伴って放出されるニュートリノを観測することができれば、深宇宙での高エネルギー現象の生成機構を解明する手がかりが得られます。そのためには超大面积の検出器が必要で、南極大陸を覆う厚い氷床の中に約5000個の増倍管を配置した「アイスキューブ(IceCube)」宇宙ニュートリノ望遠鏡を建設しました。アイスキューブは2012年6月、深宇宙から届いた超高エネルギーニュートリノの検出に初めて成功しました。

研究代表者: 吉田 滋 千葉大学

B01班

超高解像度ニュートリノ検出器の開発

ニュートリノは電荷をもたないので検出器に飛跡を残しません。他の粒子と反応し、電荷をもった電子やニュー粒子、タウ粒子がつくられることがあります。きわめて微弱なニュートリノ反応をとらえるために、より性能の高い検出器が求められます。特に、わずか0.3ピコ秒で消滅するタウ粒子の飛跡からタウニュートリノを同定するため、従来比約3倍の高感度化と、乾板材料の結晶を30nmに微細化する高解像度化を実現しました。さらに精度を上げて、全種類のニュートリノを同定できる検出器を開発するとともに、その技術をダークマター(暗黒物質)などの検出に応用することをめざしています。

研究代表者: 中村光廣 名古屋大学

B02班

宇宙背景ニュートリノの崩壊探索に用いる超伝導赤外線検出器の開発

宇宙が誕生した直後の超高温・超高密度状態では、ニュートリノは電子などと結びついて、自由に動き回ることができませんでした。誕生0.1秒後、ニュートリノは電子からやや離れ、宇宙に広がっていきました。このときのニュートリノは「宇宙背景ニュートリノ」と呼ばれ、宇宙背景ニュートリノを観測することができれば、誕生0.1秒後の宇宙の情報を得ることができます。

しかし、宇宙背景ニュートリノのエネルギーは非常に低く、それに比例して物質との相互作用も少なくなるので、容易に検出することができません。そこで、ニュートリノが崩壊するときが発生する遠赤外線を検出する方法が採用されました。そのための超伝導トンネル接合素子検出器の開発を進めています。2017年には小型ロケットに搭載して試験観測を行い、その後、人工衛星を使って本格観測する計画です。

研究代表者: 金 信弘 筑波大学

B03班

液体アルゴン3次元飛跡イメージング検出器の開発研究

液体アルゴン3次元飛跡イメージング検出器は、すべての荷電粒子を検出し、3次元の飛跡を再構成することができます。とくに、ニュートリノ事象やダークマターの検出に優れています。他のタイプの検出器と比べて、バックグラウンドを除去しやすく、信号事象の検出効率を上げ、さらにエネルギー分解能も向上できるという利点をもっています。しかし日本では、これまで200kgクラスの装置が試験稼働したのみで、将来に向けた大型化と高性能化が課題となっていました。そこで、1000トンクラスの検出器の開発を行うとともに、プロトタイプ製作への準備を進めます。

研究代表者: 丸山和純 高エネルギー加速器研究機構

C01班

ニュートリノ振動現象論の新展開と新物理の探求

素粒子の基本ルールである「標準理論」では、ニュートリノは質量をもたないとされているため、ニュートリノの質量は大きな謎となっています。ニュートリノ混合の3つの混合角と2つの「質量2乗差」のおおよその値が測定された今、ニュートリノ物理学は新たな段階に入りました。C01班では、ニュートリノの混合パラメータを精密に決定するための理論研究を、A01、A02、A03、A04の各実験班と密接に連携して進めていき、さらにニュートリノの質量の起源の解明と標準理論をこえる新しい物理の探求をめざします。

研究代表者: 安田 修 首都大学東京

C02班

ニュートリノで探る原子核のクォーク・グルーオン構造と標準反応モデルの構築

ニュートリノ物理の今後の中心的な課題は、「CP非保存角 δ 」と質量階層を解明することです。これらの値を決定するには、MeVからGeVの広いエネルギー領域にわたるニュートリノ-原子核反応を数%以下の精度で記述する必要があります。ニュートリノ-原子核反応は、共鳴領域、深非弾性散乱領域といった特徴的な反応機構によって引き起こされるため、従来はそれぞれの領域で別々に研究されてきました。C02班では、これらの研究を統一して記述する反応モデルの構築をめざしています。

研究代表者: 佐藤 透 大阪大学

C03班

ニュートリノで探る素粒子の起源と宇宙の構造

ニュートリノは素粒子の起源や初期宇宙を解き明かす鍵を握っていますが、その起源は未知です。超弦理論のような時空を含む理論において、ニュートリノはどのように出現するのか? ヒッグス機構が暗示する標準模型をこえる物理において、ニュートリノはどのような役割を果たしているのか? インフレーションやバリオン生成機構において、ニュートリノの性質はどのように制限されるのか?

C03班は、こうした多方向からのアプローチでニュートリノ物理学を追究し、そこから素粒子・宇宙の全体像の解明をめざします。

研究代表者: 北野龍一郎 高エネルギー加速器研究機構