

超大型水チェレンコフ観測装置で挑戦する
素粒子の統一理論と宇宙の進化史の謎

Hyper-Kamiokande

ハイパーカミオカンデ

Hyper-Kamiokande

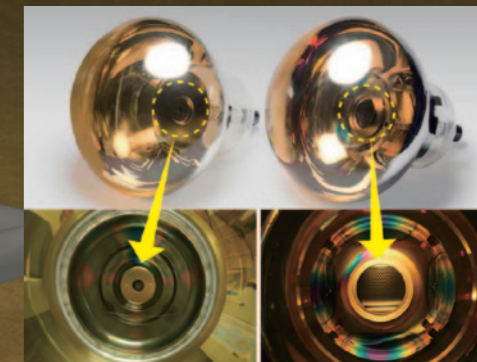
「素粒子」と「宇宙」を地下から見上げる

ハイパーカミオカンデは、現行のスーパーカミオカンデを凌駕する巨大水タンクとそのタンクの中に並べる超高感度光センサーからなります。この実験装置は、素粒子を観察する「顕微鏡」であると同時に、飛来するニュートリノを用いて太陽や超新星爆発を見る「望遠鏡」でもあります。陽子崩壊

の発見やニュートリノのCP対称性の破れ(ニュートリノ・反ニュートリノの性質の違い)の発見、超新星爆発ニュートリノの観測などを通して、素粒子の統一理論や宇宙の進化史の解明を目指します。国際研究プロジェクトとして世界の研究者が協力し、2026年の実験開始を目指しています。

超高感度光センサー

スーパーカミオカンデのものより2倍感度の高い、世界最大の高感度光センサーの開発を行っています。写真左は、半導体電子増幅素子を内蔵したハイブリッド型光センサーであり、右は高性能電子増幅電極構造を持つ光センサー。下の2つの写真はそれぞれの電子増幅部のもの。



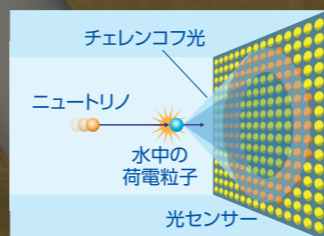
超大型地下タンク

スーパーカミオカンデの100年分のデータがハイパーカミオカンデでは約5年で得られることになります。そのため、これまで見えなかった素粒子のまれな現象や、対称性のわずかな破れの測定が可能になります。



実験原理

ハイパーカミオカンデでは、検出器に入ってきたニュートリノと水が衝突した時にはじき出される荷電粒子が放つ光(チェレンコフ光とよびます)を、壁に取り付けられた光センサーで捉えます。得られる光の量やリングの形から、ニュートリノのエネルギー、方向、種類などを決定します。



ニュートリノ研究はさらなる飛躍を目指し次のステージへ

スーパーカミオカンデ装置による素粒子ニュートリノの変身(ニュートリノ振動と呼びます)の1998年の発見は、2015年のノーベル物理学賞の受賞対象となる研究成果となりました。この発見が突破口となり、素粒子理論の見直しをせまるニュートリノの性質が次々に明らかにされてきました。2001年の太陽ニュートリノ振動の発見に続き、2011年には大強度加速器J-PARCで作られたニュートリノビームとスーパーカミオカンデを用いたT2K実験により、3つ目のニュートリノ振動モード

も確認されました。全ての振動モードが確認された今、ニュートリノ研究はさらなる発見を目指し次のステージへ進みます。ハイパーカミオカンデ実験では、これまで日本で培った高いニュートリノ実験技術をもとにさらに実験感度を向上させます。検出器は、直径74m、深さ60mの円筒形のタンク2個から構成されます。タンクの体積は1基あたり26万トン、有効体積は19万トンでスーパーカミオカンデの10倍になります。タンクの壁には大型の超高感度光センサーが40,000本取り付けられ、水中で発

生するチェレンコフ光を捉えます。ハイパーカミオカンデ実験の実現により、今後も世界のニュートリノ研究をリードしていきます。

ハイパーカミオカンデグループ

Mail: hk-public@km.icrr.u-tokyo.ac.jp
URL: <http://www.hyper-k.org>

宇宙と素粒子の誕生と進化、そして未来まで

もともと宇宙創成の瞬間は、現在知られている強い力、弱い力、電磁気力、重力の4つの力が統一されており、宇宙の進化とともに宇宙の温度が下がりが力が分化していったと考えられています。宇宙年齢にして 10^{-38} 秒後、エネルギーにして 10^{16} GeVの世界を支配する大統一理論は、そのエネルギーの高さから衝突型加速器実験で到達することは不可能である一方、ハイパーカミオカンデでは陽子崩壊を探索することにより、直接大統一理論を検証することができます。もし陽子が壊れることになれば、我々人類も含む宇宙の万物が寿命を持ち、いつかは壊れてしまうことを意味します。

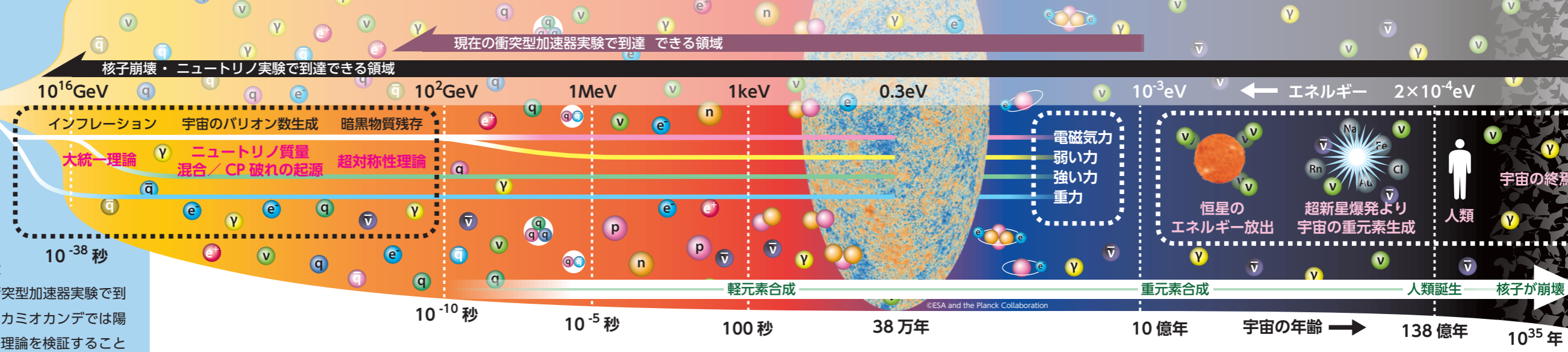
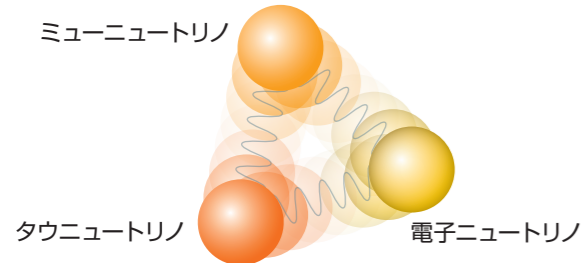
さらにニュートリノのCP対称性の破れなどの性質解明に加え、宇宙の重い元素の生成場所である超新星爆発や太陽から飛んでくるニュートリノの観測を通して、生命誕生にも関係する宇宙の進化の謎に迫ります。

ニュートリノとニュートリノ振動

宇宙を構成するすべての物質は、クォークとレプトンという素粒子の仲間から形成されています。例えばクォーク3つからできる陽子1つと、レプトンの仲間である電子1つを組み合わせると水素原子が作られます。ニュートリノは電荷を持たないレプトンで、電子ニュートリノ、ミューニュートリノ、タウニュートリノの3種類があります。

3種類のニュートリノは互いに混ざり合い、何百kmの距離を飛んでいる間に種類が変化したり戻ったりします。この現象をニュートリノ振動といいます。スーパーカミオカンデにより発見されたこの現象を詳しく調べることで、素粒子ニュートリノの性質を明らかにすることができます。

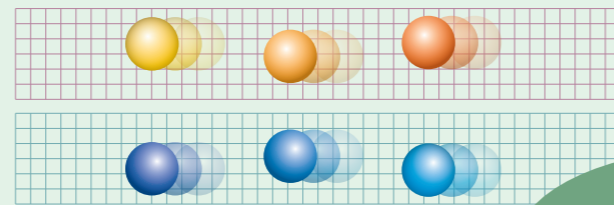
素粒子のしくみを説明する標準理論は、ヒッグス粒子の発見により完成したとされています。しかし、これまでわかったニュートリノの質量や混ざり具合は、なぜかクォークのそれらと比べて大きく異なり、素粒子の標準理論のほころびだと考えられています。ニュートリノ振動実験は、統一理論等、未解明の素粒子理論を解明する手がかりになると期待されています。



超大型水チェレンコフ観測装置が可能にする 宇宙進化の謎の解明と大統一理論の検証

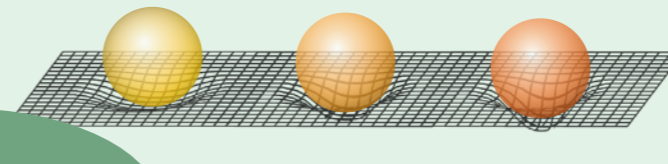
CP対称性の破れの測定

加速器ニュートリノビームと反ニュートリノビームの振動を観測することにより、ニュートリノのCP対称性の破れ(粒子と反粒子の違い)の測定をします。今の宇宙は我々人間や星なども含む「物質」に満ちあふれ、「反物質」は見当たりません。この物質と反物質のアンバランスは、ニュートリノのCP対称性の破れが種になっているとする有力な仮説があり、その謎にせまります。



ニュートリノ質量の順番の決定

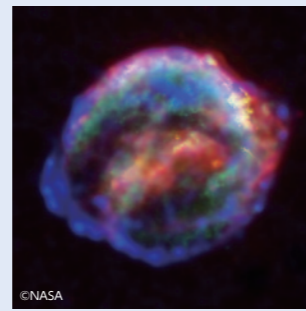
これまでのニュートリノ振動の観測から、3つのニュートリノ質量の差の大きさは測定されました。しかし、太陽ニュートリノを構成する2つのニュートリノ質量が3つ目の質量より重いのか、軽いのかはまだわかっていません。このニュートリノの質量の順番を決定することは、CP対称性の破れの測定の精度を高め、ニュートリノが粒子と反粒子の区別がないマヨラナ粒子かどうかを明らかにするための手がかりにもなる大事な研究課題となっています。



ニュートリノ振動 全容解明

自然ニュートリノの精密観測

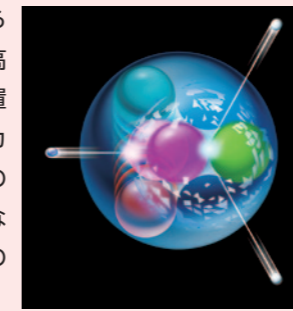
太陽から来る太陽ニュートリノ、地球上の大気で行ける大気ニュートリノ、超新星爆発からのニュートリノなどの自然ニュートリノを用いて、ニュートリノの性質を調べると共に、太陽エネルギーが放出される仕組みや、超新星爆発によって重い元素が作られた宇宙の歴史を明らかにします。人類存在の鍵となる素粒子や天体、宇宙の歴史に新たな知見をもたらすことが期待されます。



宇宙の起源と進化の謎の解明

陽子崩壊の発見

陽子が永久に安定して存在するのか、またはより軽い素粒子に壊れてしまうのか、は素粒子物理学の大きな問題の一つです。理由の一つには、素粒子やその間に働く力を統一する大統一理論により陽子が壊れることが予言されることがあげられます。我々は世界最高感度の陽子崩壊実験装置となるハイパーカミオカンデを用いて、世界初の陽子崩壊の発見と新たな素粒子物理学の枠組みの開拓を目指します。



大統一理論の検証

J-PARC 加速器施設との連携

大気や太陽から飛んでくる自然ニュートリノに加え、茨城県東海村のJ-PARC加速器による大強度・高品質ニュートリノビームを用いて、ニュートリノのCP対称性の破れの発見を始めとするニュートリノの精密研究を行います。ビームパワーの増強も合わせて、現行T2K実験の50倍の数のニュートリノの観測を見込んでいます。



国際協力体制

世界トップクラスの研究者が集まる国際研究拠点として、ハイパーカミオカンデ実験は世界の様々な国の研究者が力を合わせてその実現を目指しています。2016年現在、日本をはじめイギリス、アメリカ、カナダ、スイスなど世界12ヶ国67機関から約250名が参加しています。

