



季刊誌

NO.03

J-PARC

JAPAN PROTON ACCELERATOR RESEARCH COMPLEX SPRING 2016



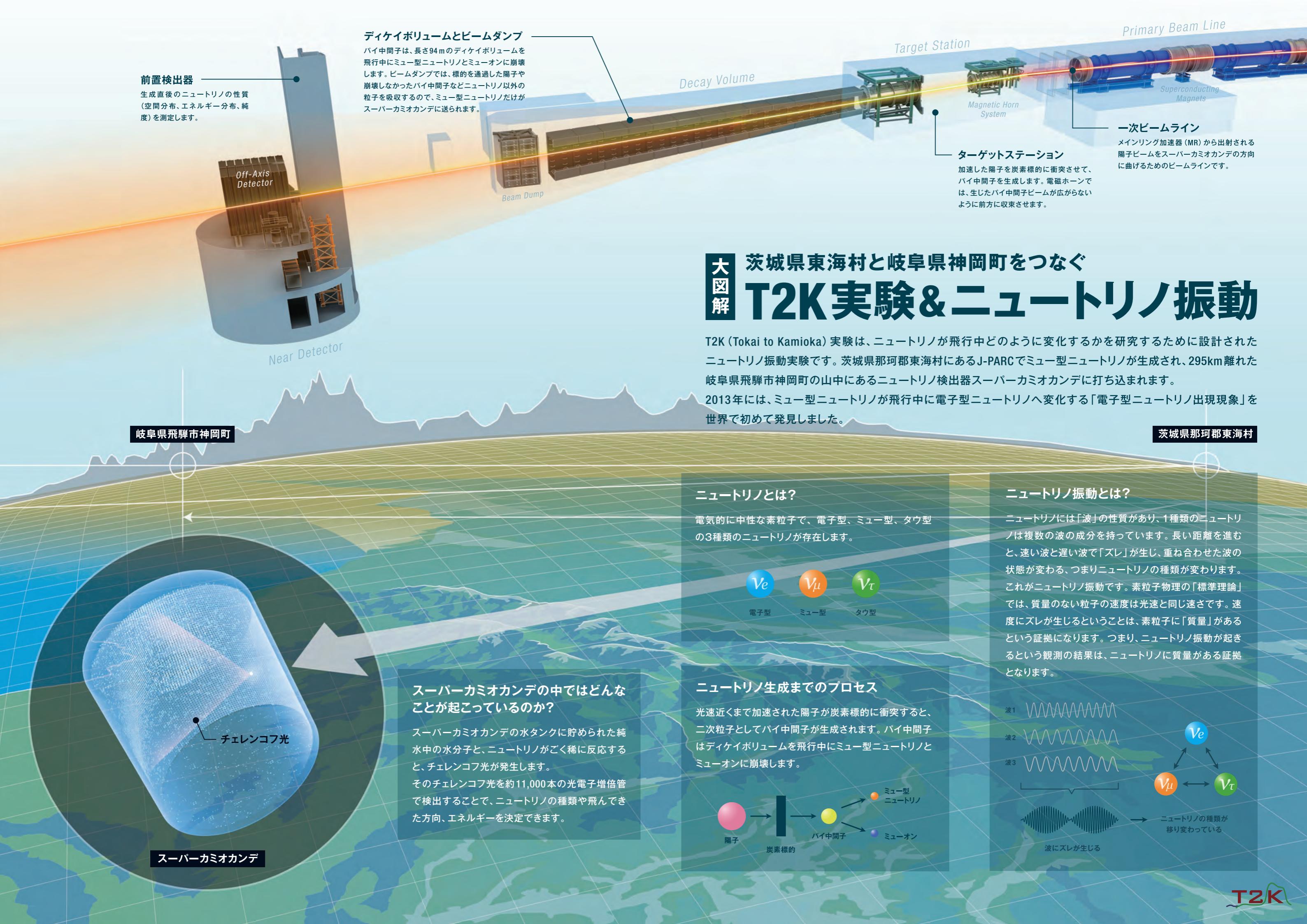
特集

梶田隆章×小林隆 T2K対談

ニュートリノの謎に魅せられた研究者達

茨城県東海村と岐阜県神岡町をつなぐ

T2K実験&ニュートリノ振動 大図解





ニュートリノの謎に魅せられた研究者達

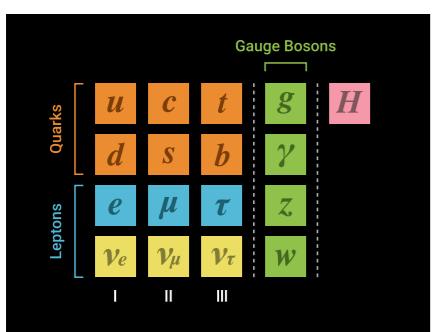
茨城県那珂郡東海村のJ-PARCから岐阜県飛騨市神岡町のスーパーカミオカンデにニュートリノビームを打ち込むT2K (Tokai to Kamioka) 実験。2010年に始まったこの実験では、ミュニュートリノが電子ニュートリノに変化する現象(ニュートリノ振動)を世界で初めて確認するという、非常に大きな成果をあげた。

プロジェクトの開始当初から深く関わってきたのが、東京大学宇宙線研究所長の梶田隆章氏と、J-PARCセンター素粒子原子核ディビジョン長の小林隆氏である。梶田氏はニュートリノを検出する側、小林氏はニュートリノを発射する側の立場として、T2K実験やニュートリノ研究をテーマに語ってもらった。



■ T2K実験

国際コラボレーションであるT2K実験には、世界11カ国、約500人の研究者が携わっている。



■ 標準理論

物理学者がおよそ100年かけて作ってきた標準模型。人類が現在知っている、宇宙に存在する全ての物質が表されている。

「分からぬ」ことが面白い

——ニュートリノ研究のどんなところが面白いと思っていますか？

梶田　ニュートリノ研究の魅力を一言で表現すると、「素粒子の標準理論を超える物理への突破口になる」ということに尽きます。これは物理学全体に与える影響がとても大きく、すごく重要なことです。また面白いのは、ニュートリノを観測していると、予想と違うことがたくさんあるんですね。実験をやっていて、じつはこれがものすごく楽しい。

小林　まだまだ分からぬことが多いんです。ニュートリノ以外の素粒子は、基本的な性質はすでに分かっていて、今はさらに詳しく調べようとしている段階です。でも、ニュートリノはまだ基本性質も分

かっていない。だから「何か出てくるかもしれない」という期待が常にあります。そんなところも魅力ですね。

梶田　実験結果が予想と違うと、すごく楽しい。だって、理論屋さんが言うとおりに世の中が全て決まっていたら、つまらないじゃないですか(笑)。

——T2K実験で苦労したことは何かありましたか？

小林　ミュニュートリノが電子ニュートリノへ変化する現象を見つけようとしている、その兆候がちょうど見え始めた頃、東日本大震災が発生しました。2011年3月11日の朝まで取っていたデータを解析すると、電子ニュートリノが6事象くらい見えていた。震災でJ-PARC側の運転が止まってしまったので、それまでに観測で

きたデータを解析し、2011年の夏に“implication”(兆候)を見つけたという形で論文を出しました。

梶田　スーパーカミオカンデの方には特に影響は無く、ずっと運用できていましたが、完成したばかりのJ-PARCがあんなにダメージを受けてしまったというのが、ものすごいショックでした。

小林　結局、J-PARCは1年ほど止まってしまいました。もし地震が起きずにそのまま実験を続ることができていたら、多分1年くらいで、電子ニュートリノへの変化を発見できていたかも知れません。ライバルは待ってはくれないので、実験が止まっている間は、データを溜められないという歯がゆさがありましたね。

——いまはどんな実験を行っていますか？

小林　ニュートリノと反ニュートリノで性質に違いがあるのかどうかを調べています。まだどうなるか分からないので、みんな興味津々です。もし違いがあることが分かったら、宇宙にはなぜ反物質がなく、物質しか存在しないのか、という大きな謎を解明するヒントになるかもしれません。

梶田　そうですね。宇宙の物質の起源に結びついている可能性が高いというところが、大きな興味をもたらしています。

小林　性質の違いは「CP対称性の破れ」と呼ばれています。それをこれから5~10年くらいかけて、詳しく調べようとしています。ノーベル賞を受賞できるかどうかは断言できませんが、もし見つけることができれば、非常に大きな成果であることは間違いないですね。

——それは楽しみです。見つけられそうですか？

小林　じつは今までの観測結果で、兆候はうっすらと見えています。

梶田　まだ「なんとなく」という感じですけど。

小林　信頼性の高さは「シグマ」という単位で表すことができます。梶田さんがノーベル物理学賞を受賞した大気ニュートリノの観測では、最初の発表ですでに7シグマ(約99.99999997%の信頼性)くらいありましたよね。

梶田　はい。1つのプロットだけで6シグマを超えていたので、全体では7シグマを優に超えていました。

小林　CP対称性の破れがあるかどうか、シグマで言うとまだ1シグマ(約68%)も無いくらい。まだ観測を続けて、信頼性を上げていく必要があります。

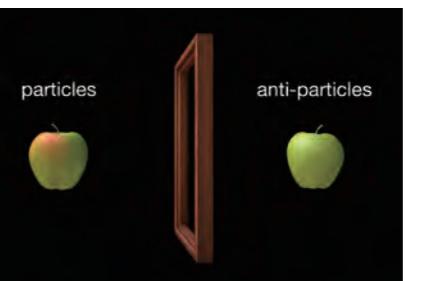
ハイパーカミオカンデを作ろう

——今後のニュートリノ研究のために、どんな研究施設が必要になりますか。T2K実験のバージョンアップや、構想中の次世代計画などについて教えてください。

小林　ニュートリノ研究者が将来作りたいと言っているのは、スーパーカミオカンデをさらに大きくしたハイパーカミオカンデです。

梶田　さきほどから話題になっているCP対称性の破れを明確に示すには、T2Kではまだ…。

小林　T2Kは3シグマ(約99.7%)を越える確度でCP対称性の破れを発見することを提案しています。この研究分野では、5シグマ(約99.99994%)以上の結果を示すことで最終的に結論として認められます。



■ CP対称性の破れ

現在の宇宙は物質のほうが圧倒的に多く、反物質はほとんど観測されない。これは「CP対称性の破れ」により、物質が反物質より僅かに多いためと考えられている。

す。だから次のプロジェクトが必要になつていて、いま検討しているのは、重さが1桁大きい検出器を作ろうというプランです。

梶田　一方で、J-PARCにはメインリング加速器のビームの強度を上げて欲しいと考えています。

小林　現在のビーム強度は350 kWなんですが、今後数年でそれを倍にする計画が認められました。次の数年でさらに倍にして、いまの約4倍となる1.3 MW程度にすることを考えています。ハイパーカミオカンデの実現までに、ぜひそこまで達成しておきたい。

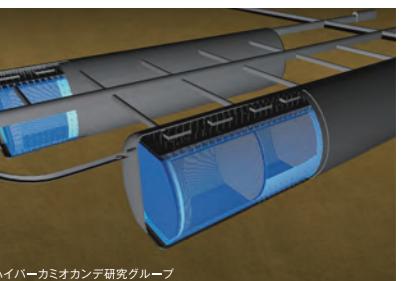
梶田　期待しています。

小林　T2Kでは、ビーム強度をアップグレードして、3シグマくらいまでの結果が出せるかなという感じです。さらに検出器をハイパーカミオカンデにすることで、やっと5シグマの成果が実現できるようになる。ハイパーカミオカンデでの測定に必要な大強度ビームや高精度測定は一朝一夕で実現できるものではありません。



■ ビーム強度

ビーム強度が強ければ強いほど、たくさんの二次粒子が生成され、結果的に多くのニュートリノをスーパーカミオカンデに送ることができる。



■ ハイパーカミオカンデ装置の概念図

100万トン級の巨大水タンクを持ち、スーパーカミオカンデ100年分のデータを5年で得られる。大統一理論の検証や宇宙進化の謎の解明への貢献が期待される。

T2Kのうちに大強度ビームと高精度測定の実績を積み上げ、成果を世界に示すことで理解を得ていく必要があると考えています。

——ハイパーカミオカンデでは他にどんなことをやろうとしていますか？

小林 カミオカンデとスーパーカミオカンデで探し続けてきた「陽子崩壊」に対する感度も1桁上がります。これも発見できると非常に大きな成果。もし発見できれば、ノーベル賞は間違いないですね。

梶田 これは大きいと思いますよ。物理の意義が非常に明白だから。

小林 間違いなく今の素粒子の標準理論をはるかに超える何かがある、という証拠になるわけです。

——大統一理論ですね。

小林 現在の標準理論は低いエネルギーでの近似に過ぎません。その上位に存在して、もっといろいろな現象を統合的に説明できるようになるのが大統一理論。もし大統一理論があれば、寿命は正確には予言できないけれども、陽子は壊れるはずなんです。

梶田 そうですね。標準理論の枠内では、どうしても陽子は壊せないですからね。もし陽子崩壊を検出して、陽子の寿命が

測定できれば、それは大統一理論のエネルギー・スケールをほぼ決めることになる。そういう意味でも非常に重要です。

——カミオカンデの本来の目的は、陽子崩壊を検出することでしたよね。でもまだ見つかっていない。

梶田 陽子の寿命が、当時考えられていたよりも、10万倍とかのオーダーで長いようです。いま10万倍と言いましたが、これがどのくらい正しいかも実際のところはよく分からぬ。

小林 カミオカンデの後に、スーパーカミオカンデを作っても、まだ見つからない。長い寿命でも、確率的には壊れるはずなので、見つけるためには、なるべく多くの陽子を用意する必要があります。これが、大きな検出器が必要になる理由です。

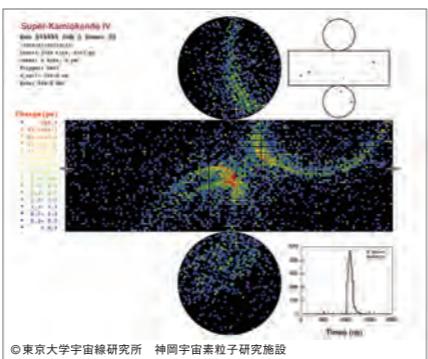
——世界中で見つけようとしている？

梶田 いや、残念ながら巨大な検出器が必要になるので、いまやっているのはスーパーカミオカンデだけですね。

小林 これは世界でも日本が圧倒しています。

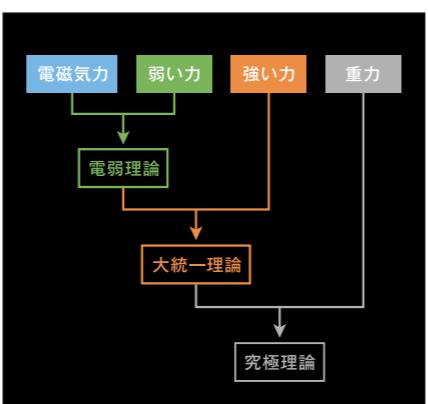
——ハイパーカミオカンデがあれば、日本が最初に陽子崩壊を発見できる？

梶田 できなきゃいかんのですよね。



■ 陽子崩壊（シミュレーション）

陽子が別の粒子へ崩壊する現象。大統一理論で予言されているが、現在までに陽子が崩壊した証拠は得られていない。これが観測されれば、大統一理論の検証に向けた大きな一步となる。



■ 大統一理論

宇宙を構成する4つの力のうち、電磁気力、弱い力、強い力をまとめる理論。現代物理学では未完成。宇宙の法則に迫るための様々なアプローチがとられている。

小林 陽子崩壊は、この20年は日本が世界を主導してきた。ただし、ニュートリノ含めアメリカの次期計画と国際競争になっているので、負けないようにしないといけない。

ニュートリノは役に立たない？

——ニュートリノ研究はすぐに役立つものではありませんが、100年後や200年後、もしかしたらもっと先に、技術の進歩でニュートリノが活用できるようになることは無いでしょうか。

梶田 いつも「役には立たないです」と答えています（笑）。エネルギー的に考えたとき、これが有効に働くとはとても思えないんです。何かの信号として使うのであれば、あまりにも膨大なエネルギーを使いすぎるので、とても割に合わない。技術以前に、まず経済的問題が大きい。

——検出器の小型化や加速器の省電力化は将来も不可能ですか？

梶田 ニュートリノの場合は、物質との相互作用が弱いという性質のために検出器のサイズが決まっているので、技術の進歩によりスーパーカミオカンデのような測定がテーブルトップでできるような検出器を作ることは不可能です。水以外のどんな物質を使ってもこれは同じです。

小林 T2Kのように加速器からのビームを使う実験の場合には、超強力なビームができれば、その分、検出器を小型にできるかもしれません。いまのT2K実験も、以前のK2K（KEK to Kamioka）実験のときに比べるとビーム強度は100倍になっています。

——でも何らかの利用方法はあるのでは？

小林 電子が社会全体で利用されるようになった歴史がありますが、ニュートリノに限って言うと、確かに難しいでしょう。でもモニター用途ならあるかもしれませんね。たとえば、トラックに乗るくらいのサイズの検出器を原子炉から少し離れた場所に置いて、原子炉から出てくるニュートリノの個数を調べることで、出力を見るとか。そういうアイデアはすでに出ています。

梶田 原子炉のモニターというのはあるかもしれないですね。

小林 そのほか、カミオカンデの跡地にできたカムランドという測定器では、地球内部で発生したニュートリノを観測して、地球内部の様子を調べています。低エネルギーの反電子ニュートリノの検出は水では難しいため、ここでは別の液体が使われています。



■ カムランド測定器内部

実験結果が
予想と違うと、
すごく楽しい。

梶田 隆章

スーパーカミオカンデを運用する東京大学宇宙線研究所の所長を務める。東京大学理学部助手となつた1986年からニュートリノ研究に従事。1998年にスーパーカミオカンデを使った大気ニュートリノの観測で、ニュートリノ振動を発見。その功績により、2015年にアーサー・B・マクナルド氏と共にノーベル物理学賞を受賞。



たくさんあります。この分からないことを1つ1つ解き明かしていくのが基礎科学。やっていてとても楽しいので、こういう分野にどんどん参加してもらいたいと思います。

小林 自然科学って、「不思議だな」と思うのが最初の入り口ですよね。全員が科学者になる必要はないけれども、本当に「やりたい」と思ったら、素粒子もやることはたくさんあるので、ぜひ来て欲しいですね。

梶田 いまは、素粒子の標準理論を超えた物理が出現しようとしているところ。まさに、これからどうなるかも分からない、非常に面白い時期になってきましたね。

小林 現役の研究者はもちろん、いまの中学生・高校生にもまだチャンスはあります。T2K実験は今後10年くらいは続けたいと思っています。ハイパーカミオカンデも頑張って建設に漕ぎ着けたい。そうすると…

梶田 少なくともあと数10年はやることがたくさんある（笑）。

小林 新しい発見がどんどん出てくるかもしれない。ぜひ一緒にやりましょう！



あるのが魅力。
という期待が常に
何か出てくるかも、

小林 隆

ニュートリノ実験施設を運用するJ-PARCセンターの素粒子原子核ディビジョン長を務める。高エネルギー加速器研究機構教授。東京大学原子核研究所助手となつた1996年よりT2K実験の前身であるK2K実験に携わり、以降ニュートリノ研究に従事。T2K実験によるミュニニュートリノビームからの電子ニュートリノ出現事象の発見により、2014年に仁科記念賞を受賞。

