2008年、KamLANDはみたび、世界の注目の的になった。

原子炉反ニュートリノの観測 地球ニュートリノの観測 そして太陽ニュートリノの観測

井上邦雄教授
大阪府立四条畷高校出身。東北大学理学研究科附属ニュートリノ科学研究センター教授。KamLAND建設メンバーの一人として、世界で唯一、地球ニュートリノ観測可能な施設につくりあげた。地球ニュートリノの検出により地球内部の構造研究が可能となることから、地球物理学の研究と有機的に結びついたニュートリノ地球物理学の創出を目指している。

市村晃一さん
大阪府立生野高校出身。東北大学理学部卒、理学研究科修士課程修了。180km離れて観測するという話がおもしろくて、進路を選択。KamLANDにおける反ニュートリノの検出のためのデータ解析を担当している。

市村　ぼくたちニュートリノ科学研究センターに所属している人間は、KamLANDという特別な施設を使って「ニュートリノ」（νと書く）を観測していますが、それは、どのような意味を持っているのでしょうか。ニュートリノはレプトン族に属する素粒子で、「電子型」「ミュー型」「タウ型」の3種類あることが確認されています。いずれも反応力が極めて弱く、ほとんど物質と反応しないため何物にも邪魔されずに、物質を突き抜け、作られた時の情報を背負って宇宙を飛びかっています。この世界はニュートリノであふれています。だから、それを検出できれば、ニュートリノを出している物質の性質や現象を解明できるようになると考えられ、世界中の素粒子研究者がニュートリノ観測に関心を持ち、競い合っているというわけです。

清水　KamLANDがある神岡鉱山の地下の別の場所には、先に建設された東京大学のスーパーカミオカンデがあり、そこで太陽ニュートリノの存在を検証した小柴昌俊博士は、2002年のノーベル賞を受賞しました。しかしそれは、ニュートリノ観測のスタートにすぎません。カミオカンデとは異なったテーマとアプローチでニュートリノの観測を目指そう。それがKamLAND建設のコンセプトでした。そのために採用したのが、液体シンチレータという方法です。自分たちで設計し、組み立て、2002年初頭に完成したのです。現在のKamLANDは、3ヵ国、90名の研究者が利用しており、そのうち約30名が東北大学という構成になっています。まずは、こんな概要説明でどうでしょうか。

井上　だいたい。それでいいでしょう。KamLAND(Kamioka Liquid-scintillator Anti-Neutrino Detector)は、**①原子炉反ニュートリノ振動現象の検出によるミュー・ニュートリノの質量の発見、②太陽ニュートリノの検出による太陽ニュートリノ欠損問題の解明、③地球内部で生成される反ニュートリノの検出による地球内部エネルギー生成の謎の解明、④超新星爆発ニュートリノの検出による星の進化の謎の解明**、を目指して2002年1月に完成。次々に成果を出してきたのですね。

市村　今回は、ぼくが一番年長なのですが、学部3年次にKamLANDを見に行ったときにはもう完成していて、シンチレータの中を見ることはできませんでした。自分たちで設計し、機器を手配し、部品なども手づくりしてというKamLAND創設の熱気は、先輩たちの伝承から推測するしかありませんでした。

清水　もちろん市村さんより学年が下の私も、完成後のKamLANDしか知りません。でも今でも、「次は」「この次は」という意欲がみなぎっていて、当時の雰囲気を想像することはできますね。

井上　まる6年しかたっていないのですが、サラッと振り返ってみましょう。2002年中には周辺の原子力発電所から飛び出す原子炉反ニュートリノの振動現象、の観測からニュートリノの振動パラメータの精密測定」の論文にまとめ、再び太陽ニュートリノの欠損問題などを解明し、アメリカ物理学会の『フィジカル・レビュー・レターズ』に論文を発表。アメリカの科学誌『サイエンス』で2002年の10大ニュースに選ばれ、物理学分野の論文としては2年連続で論文被引用回数世界一となりました。

2005年夏には、地球ニュートリノの観測に成功し、イギリスの科学誌『Nature』で紹介されました。これにより、ニュートリノを使って地球内部を観測するというニュートリノ地球科学の方向も現実性を帯びてきました。同じ理学研究科の大谷栄治教授（本誌38p参照）たち、地球科学の研究者からも注目されアドバイスもいただいています。

そして2008年、ニュートリノ振動の観測精度を高めることに成功。その成果を「ニュートリノ振動パラメータの精密測定」の論文にまとめ、再び『フィジカル・レビュー・レターズ』に発表したのです。

竹本　この間、2006年には、鈴木厚人初代ニュートリノ科学研究センター長（現、高エネルギー加速器研究機構長、理学研究科客員教授）が「反ニュートリノ科学の研究」の成果によって日本学士院賞を受賞したんですよね。

次は太陽問題の解明へ 超新星爆発の解明へ

井上　KamLANDは、世界で一番純度が高く、一番大きな実験装置なので、やろうと思えば、どんな観測でもできるんです。しかし、あることをやろうとすれば、何かを犠牲にしなければなりません。では、どのような優先順位で研究を進めていくか。今、考えていることは、**(1)CNOサイクルニュートリノの観測、(2)ベリリウム7(7Be)ニュートリノの観測、(3)二重ベータ崩壊の観測**、といったテーマです。それで、KamLANDの観測目標がひとまわりするかなと考えています。

CNOサイクルというのは、太陽がどのように形成され、どのような構造なのかを解明するために、ニュートリノを使って太陽内部の炭素、窒素、酸素を測定しようとするものです。測定できれば他の恒星の研究にも利用できるようになり、ニュートリノ天文学という方向も確かなものになるでしょう。炭素等の量と表面振動の不整合は「太陽問題」などとも呼ばれています。

市村　そのためには、(a)実験装置の信号に対する応答を詳細に理解すること、(b)シンチレータの純度などで測定精度を高めること、(c)ニュートリノを捕捉する電子回路の能力を高めること、(d)データ解析能力を高めることなどが不可欠です。ぼくは、実験装置全体の応答の均質性を確保することを担当。コバルトからのγ線などの放射線源を使ってシンチレータがそれらをどのように捉えるかを較正しています。

清水　私は、放射線源を使わず、環境バックグラウンドや宇宙線起源の事象を使ってニュートリノ観測中も継続的に装置の較正を行うことで、ニュートリノの観測精度を高めています。

渡辺　私は、ニュートリノがどの方向から入ってきたのかがわかるようにするために、リチウムを含有した液体シンチレータの開発を行っています。現在は、ニュートリノの方向は測定できないのですが、リチウムによって方向感度を付与できれば、原子炉、地球内部、超新星などの発生方向をかんたんに特定できるようになるだろうと考えているのです。

井上　リチウム含有シンチレータを使った小型の検出器を開発すれば、原子炉の非破壊検査もできるようになるのではないかなという実用的な期待もしています。

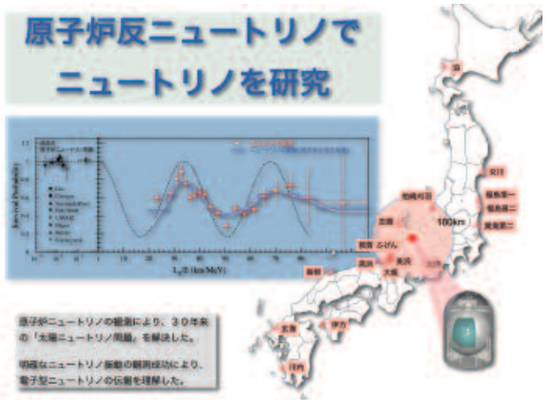
竹本　ぼくは、測定精度を高めるための電子回路の開発に取り組んでいます。いろいろなノイズもまじったバックグラウンドの中から正確にニュートリノを抽出するために不感時間を持たずに全てのプロセスを記録し、解析するための電子回路です。ぼくが持っているのが、1ギガヘルツの能力を持つ試作品です。

井上　「太陽問題」へのアプローチには、能力の高い電子回路が欠かせません。現在の世界最高が2ギガヘルツですが、実際に観測に使えるものとしては、竹本くんの試作品が最高でしょう。

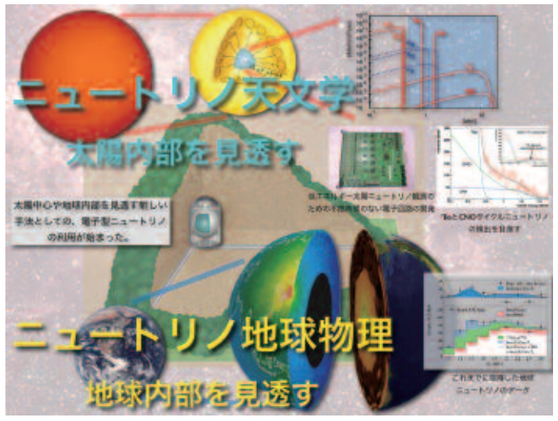
仲村　私は、ニュートリノ反応を三次限的に撮像するためのレンズとカメラの開発が担当です。エネルギーが高い宇宙線を捕捉できるものの開発から取り組んでいますが、ニュートリノまで捕捉できるようになるにはまだ数年はかかるかなという状況です。

井上　2002年の成果を見た第1世代、2005年までの第2世代、2008までの第3世代、そして新しい段階に入っていく第4世代。さらに、その次へ。

KamLANDはますます進化していくでしょう。

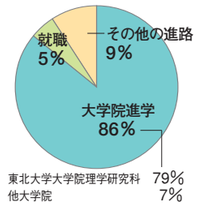


2002年、原子炉反ニュートリノの観測によりニュートリノ振動の観測に成功し、電子型ニュートリノの伝搬を理解できるようになった



2005年、2008年、地球ニュートリノの観測により、太陽中心や地球内部を見透す新しい手法として電子型ニュートリノの利用もスタート。次は、CNOサイクルや、ベリリウム7ニュートリノの観測へ向う段階となっている

■物理学科の主な進路（平成20年度）



私たちはKamLAND第4世代だと思っています。

清水百合さん
岩手県立盛岡中央高校出身。東北大学理学部卒、理学研究科修士課程修了。世界的レベルの研究ができる場所ということで、この道へ。KamLANDにおける太陽ニュートリノ観測のためのバックグラウンドの低減を担当している。

渡辺寛子さん
宮城県宮城二女高校出身。東京理科大学理工学部卒。井上教授の「役に立つニュートリノ」の話を聞いて東北大学へ。KamLANDにおける地球ニュートリノ観測のためにリチウム含有液体シンチレータの開発を目指している。

竹本康浩さん
大阪府立豊中高校出身。東北大学理学部卒。世界一の研究ができそうだという思いで、進学。KamLANDにおける太陽ニュートリノ観測のためにニュートリノ抽出精度を高める電子回路の開発に携わっている。

仲村未生さん
大阪府三国ケ丘高校出身。東北大学理学部卒。KamLANDにおけるニュートリノ観測の精度を高めるためにニュートリノの方向検出用のレンズとカメラの開発に携わっている。

OB・OG MESSAGE ② 物理学科

何事も経験。そして全力投球。

独立法人科学技術振興機構
戦略的創造研究推進事業
発展継続研究　飯島研究チーム
飯島 澄男教授

「カーボン・ナノ・チューブ」って聞いたことがあるかな？炭素原子でできたナノメートル・サイズ（毛髪の1000分の1の直径）のチューブ状物質のことです。今、世界中の研究者が注目し、新しい物理現象を続々明らかにしています。実は、私はこの新物質を発見し、1991年に発表しました。その結果、日本学士院・恩賜賞、文化功労者顕彰、フランクリン・メダル（物理学）など国の内外から多くの賞を戴きました。

さて、この物質のどこがおもしろいか簡単に説明しよう。銅線を限りなく細くすると、この極微細線を流れる電流は、よく知られたオームの法則に従いません。何故だろう？カーボンナノチューブも同じような不思議な性質をもっています。この謎解きには物理学の深い理解が必要です。一方、応用研究に目を向けると、壁掛けテレビ画面、燃料電池、次世代トランジスターなどノテクノロジーやバイオテクノロジーなど広範囲の応用開発が進行中です。カーボンナノチューブは極微小の世界の物質であるため、これを調べるには超高性能の電子顕微鏡が必要です。私は40年前に東北大学の大学院院生のときにこの装置に遭遇し、それ以来電子顕微鏡を用いていろいろの物質の研究を経験してきました。その一つがカーボンナノチューブだったということになります。

最後に私からの若い皆さんへのメッセージを送りましょう。それは何事も経験してみることです。私は高校から大学まで山岳部に属し、大学ではオーケストラ部で楽器の習得に挑戦し、学生生活を大いに楽しみました。学問に目覚めたのは4年生になってからです。進路が決まればゴールに向かって全力投球すればいい。物理学への興味はそんな体験から育ってきました。

■主な就職先（平成14～20年度）
ECトーキン、ローム、凸版印刷、新日鉄ソリューションズ、日本電気通信システム、三菱マテリアル、東京三菱UFJ証券、三洋電機、ニコン、日立製作所、日本ユニシス、オムロン、日本無線、日立金属、旭化成、富士通、日本アイ・ビー・エム、ルネサステクノロジ、大日本印刷、シャープ、岩崎電気、東京大学研究員、日本原子力研究開発機構、大和証券SMBC、日本学術振興会特別研究員　など（大学院修了者の就職先含む）