

# Scienceweb

東北大学グローバル COE

物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開  
Weaving Science Web beyond Particle-Matter Hierarchy

## 特集

“哲学”から見た

素粒子実験施設カムランド — 04

## 連載

新規採用された助教へのインタビュー

第1回 物理学専攻 佐藤勝彦 天文学専攻 伊藤洋介 — 15

“物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開” 活動報告 — 02

人材育成プロジェクト：GCOE セミナー・講義開催一覧 — 14

Vol 2. 2009 01



東北大学 GCOE プログラム

# “物質階層を紡ぐ

# 科学フロンティアの新展開”

東北大学 GCOE プログラム「物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開」では、2008年6月から12月までの主なニュースをご紹介します。

この他にも、新しいニュースが日々 GCOE ウェブサイトで配信されています。

2008年6月18日

“物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開”が GCOE プログラムに採択されました



グローバル COE プログラム—国際的に卓越した教育研究拠点形成の重点的支援—に、「物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開」が採択されました。

東北大学では、他に7件のプログラムが採択されています。1大学でグローバル COE プログラムに採択された件数では、東京大学の10件に次いで全国で2位でした。

2008年8月

新たに助教が5名採用されました



グローバル COE プログラム「物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開」の事業目的達成の一環として、物理学・数学・天文学の3つの専攻で助教を募集しました。審査の結果、5名が採用され、各専攻に配属されました。

この新規採用された助教については、本誌で紹介記事を掲載しています。詳しくは15ページをご覧ください。

2008年  
大学院生・若手研究者支援のための  
研究奨励費の採用実績

新規助教採用件数：5名  
RA 採用件数：75名  
特別研究採用件数（学生）：63件  
特別研究採用件数（助教）：5件

# 活動報告

6月のプログラム採択より様々な活動を行ってきました。

詳しくは <http://www.scienceweb.tohoku.ac.jp/> をご覧ください。

2008年9月29日

## GCOE キックオフミーティングが開催されました



グローバル COE プログラム「物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開」のキックオフミーティングが理学部大講義室にて開催されました。

6人の拠点担当の先生から、GCOEプログラムの趣旨・拠点運営体制の説明や、それぞれの分野の研究内容の講演が行われました。事前の参加者登録者数は教職員52名、学生54名でしたが、当日参加者も多数来場しました。

2008年9月

## GCOE ウェブサイト Scienceweb が公開されました



本 GCOE の活動内容や成果を広く知らせるために、ウェブサイト「Scienceweb」が公開されました。セミナーの開催告知や研究奨励費の募集など、さまざまな記事が日々配信されています。URL は下記のとおりです。

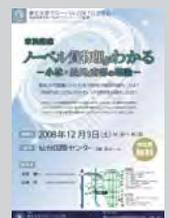
<http://www.scienceweb.tohoku.ac.jp/>

2008年12月13日

## GCOE 市民講座 “2008年ノーベル物理学賞がわかる” が開催されました



仙台国際センター 2F「萩」にて、市民講座「ノーベル賞物理がわかるー小林・益川と南部の理論ー」が開催されました。大学生・大学院生だけではなく、一般市民や中高生等、たくさんの方々にお集まりいただきました。



# “哲学”から見た 素粒子実験施設 カムランド

## 現代社会と科学

### 我々は科学といかに関わっていくべきか

皆さん、初めまして。私は、東北大学 GCOE プログラム「物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開」のリサーチ・アシスタントを務める藤尾と申します。とはいえ、私自身は物理学の専門家ではなく、哲学を専攻している大学院生です。こうした専門外の人間が、本 GCOE に参加しているのには訳があります。というのも、本 GCOE の目的の一つには、(物理学、数学といった)個々の研究から生じた知見を社会に分かり易いように適切な言葉で変換した上で、社会に還元することがあるからです。その為には、自然科学全体を見渡せる自然観、社会の営みの一つとして自然科学を捉える観点が不可欠です。従って、こうした観点を提示しうる可能性を有する自然科学以外の分野として、哲学の分野から研究者が参加しているのです。

こうした科学研究が実際に営まれている現場を知る為、そして、広報誌に(「哲学から見たカムランド」という)記事を書く為、今回、

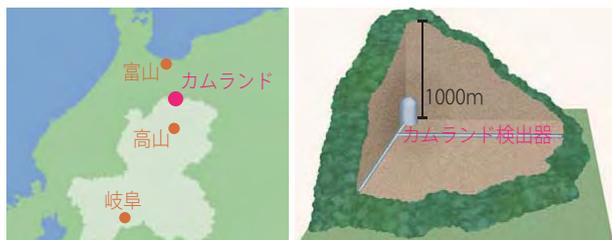
東北大学の実験施設「カムランド」の見学に行ってきました。周知の通り、カムランドは旧カミオカンデの跡地に建設された、ニュートリノ検出施設です。今回初めて現地を訪問しましたが、装置の大きさ(並びにそれを維持するシステムの複雑さ)には驚くほかありませんでした。こうした装置の大きさと、そこで検出される極微細な素粒子ニュートリノの組み合わせは、何か奇妙に思えました。こうした巨大観測装置を維持しつつ、データを収集するために、大学院生を始めとした研究者達が 24 時間 365 日待機しているのです。

この冊子を手取る皆さんは、おそらく、科学者のイメージとして、実験室に籠もって昼夜研究にいそむ白衣の研究者というものを思い浮かべるでしょう。しかし、カムランドには白衣を着た人はいません(無塵服着用の必要がある場所もありますが)。もちろん、研究のスタイルというのは、自然科学の分野において様々ですが、巨大装置とそこに詰めた研究者達という、科学とは(芸術家の創作活動の様な)個人で行われるものと思われる方々は、こうした光景に違和感を覚えるのではないのでしょうか。けれども、現実の科学の世界では、カムランドの様に、多くの研究者達の共同作業によって営まれるケースがあります。また、カムランドの様な巨大な実験設備の建設・維持には巨額の費用がかかります。従って、大規模な研究計画においては、(実験設備の企画、設計、建設、運用にわたって)多くの人間の作業を効率的に営

### カムランドとは？

カムランド(KamLAND: Kamioka Liquid Scintillator Anti-Neutrino Detector, 神岡液体シンチレータ反ニュートリノ検出器)は、岐阜県飛騨市神岡町の神岡鉱山地下 1000m に位置しています。観測しているニュートリノには、太陽内の核融合反応で生成される太陽ニュートリノ、地球内部の放射性物質が生成する地球ニュートリノ、原子力発電所で生成される原子炉ニュートリノなどがあります。宇宙線などは山でシールドされますが、ニュートリノは他の粒子に比べて浸透力が強く、地中深くのカムランドまでたどり着きます。

東北大学大学院理学研究科ニュートリノ科学研究センターのパンフレットより





素粒子物理学・宇宙物理学・地球物理学の最重要課題を究明するニュートリノ科学——  
その世界的実験的研究施設“カムランド”を2人の哲学専攻の大学院生が訪問します。

2人を案内するのは、4人の物理学専攻の大学院生。

ニュートリノ科学と科学哲学が出会うとき、  
新たな科学フロンティアへの道筋が見えるでしょうか。

む為のマネジメントが不可欠となります。それ故、現代の科学研究は、ある意味、社会の企業活動とそれほど変わらないと言えるでしょう。

そして何より、こうした科学研究のあり方として、税金という公費によって維持されているということが、科学と社会の関係を考える上で重要です。もちろん、国家がこうした科学研究に多額の予算を配分するのは、研究成果が社会に還元されることによって、社会の発展、市民生活の福利厚生が増大が見込めるからでしょう。けれども、カムランドで行われているニュートリノ研究の様に、全ての科学研究がこうした実用性に直結するとは限りません。実用性に直結する科学に対して公費から研究費を支給することには、おそらく異論はないでしょう。けれども、そうした実用性に直結しない研究に巨額の公費を投入することは、いかなる理由から正当化されるのでしょうか。

この様に、研究成果の有用性という点以外から見ても、科学研究は社会とは決して縁のない営みではないことがお分かりでしょう。

理想的な科学と社会のあり方という問いに対して、十分な回答をここで提示することは出来ません。けれども、次の様な回答が一応挙げられるでしょう。例えば、一見実用性が見いだせない様な科学知識でも、いつか何らかの形で実用性を発揮することがあります(具体例としては、数の性質について研究する数学の一分野である数論は、インターネット上の通信に不可欠な暗号技術に応用されています)。この様な見地から、科学研究を正当化することが可能と言えるでしょう。また、実用性を考慮せず、ただ科学的真理の追求こそ科学の目的であり、またそれが唯一の目的であるということも出来るでしょう。確かに、これらの主張から科学研究を正当化することが可能かもしれません。しかし、そうした理由だけで、巨額の資金を、いつ実用性を発揮するか分からない研究に投入することが正当化出来るのでしょうか。こうした点から、現代の科学の営為においては、市民の意見を無視しては成立しえないと言えるのではないのでしょうか。

さて、現代社会における科学のあり方について書いてきましたが、科学はもはや個人の関心だけで行える程の、小規模な営為ではなくなっています。つまり、公的資金によって運営される、技術と強固に結合された大事業となっているのです。こうして高度に発達した科学は各分野に細分化され、高度に専門化され、研究者達は自分の研究に専念せざるをえなくなり、その結果、自分の専門以外の分野に関しては非専門家と変わりなくなっています。また、科学の成果は社会に恩恵だけでなく、(チェルノブイリ、BSE、遺伝子組み換え作物に対する不安といった)様々な脅威を社会にもたらす可能性があります。この様な状況にあって、社会における科学研究とはどうあるべきなのでしょう。

こうした、科学と社会の緊張関係を解消するためには、諸科学の専門的知を俯瞰し、問題を適切に定式化し、人々の意見を適切に聞き取ることの出来る専門家が必要とされるのです。それには、自明とされる既存の概念を反省することを、自己の任務とする哲学がまさに相応しいと考えられるのです。

現代の巨大化した科学は、もはや個人的関心や「真理の探究」といった動機だけでは正当化出来ず、かといって、単に実用性だけで評価されるものではありません。こうしたなかで現代社会における科学のあり方を再構築することが、本記事を読まれる皆さん並びに、本 GCOE の活動に参加した私に課せられていると言えるでしょう。



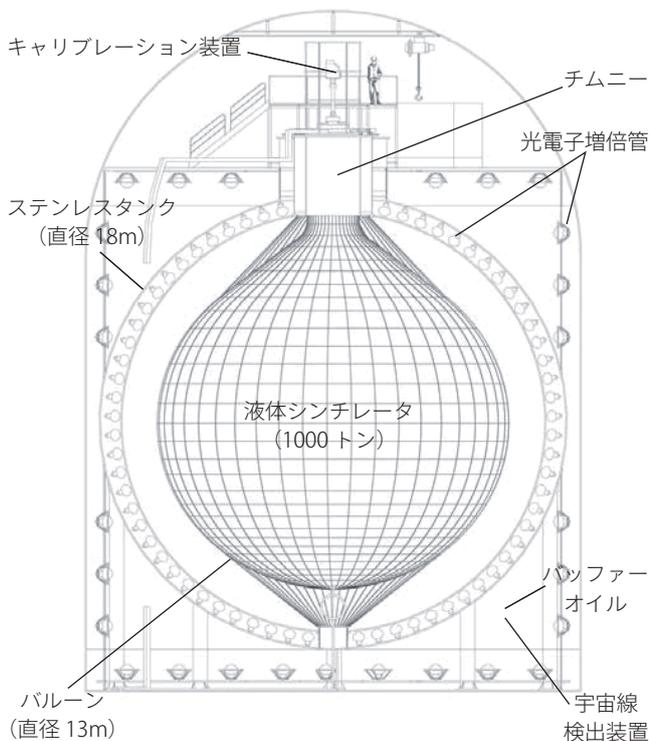
藤尾 靖彦  
(ふじお やすひこ)

東北大学大学院文学研究科  
博士課程後期3年

主な研究テーマ: カント哲学 (主に実践哲学), 科学技術倫理 (脳神経倫理学, リスク論など) 経歴: 福岡県立小倉高等学校, 東北大学文学部, 同大学院文学研究科修士課程修了  
趣味: 読書, 映画・音楽鑑賞

# 地の底から，全天（そら）の果てへ

## 世界最先端をひた走るカムランド実験



カムランド検出器断面図



光電子増倍管



ステンレスタンク内面

ステンレスタンク内面は64個の光電子増倍管がつくる菱形が組み合わされた30面体構造になっている



地下坑道内部



バルーン

物理の研究職，研究者と間くとなにを思い浮かべるでしょう。あちこちにピーカーやらフラスコやらを散らかした狭い部屋ですか？ 白衣を着て，何やら怪しげな色の液体を眺める，髪ぼさぼさで黒縁丸眼鏡の男ですか？

はたまた，いつでもどこでもなんにでも数式を書いてしまう，風変わりな人でしょうか？

似たような事を思った人——一部正解，一部誇張です。

実験する部屋は，常に片付けてあります。机の上に実験道具が散乱してても，それはきちんと自分達のルールに基づいて整理された状態です。……言い訳のようですが。

白衣はあまり着ません。ですが，その代わりに，薄緑色の作業着を着ます。同じ色のヘルメットも装着して，右手には懐中電灯。それが，我が研究室の標準装備です。中にはヘルメットにライトを付ける人もいますが，それは上級者仕様です。

数式を所構わず書き散らす人はいませんが，積分記号や公式にある種の愛を憶える人種はいたりします。自分自身，よく変わっていると言われます。

さて，物理を研究する人達が，どこぞの探検隊みたいな格好をして，時にはトロッコにも乗ったりする，この奇怪な状況。

それには理由があります。

実験施設が地下にあるからです。地下，と言っても単純に地面を深く掘っている訳ではありません。池ノ山という，岐阜県飛騨市神岡町にある山の内側，山頂から約1000メートルの場所に，私達の実験施設があります。

ではまず最初に，この実験施設の説明をしましょう。

名前は KamLAND (カムランド) 実験。Kamioka Liquid Scintillation Anti-Neutrino Detector の頭文字を繋ぎ合わせてネーミングしています。で，このカムランド，半径約6.5メートルの球体です。天然ガスの大きな球形のタンクを思い浮かべてくれるといいでしょう。工場の多い地域でよく見られる，あの丸い，ライトグリーンのやつです。

球の中には，ケブラー紐という強靱な紐で吊された風船のようなものがあります。この風船——バルーンと呼びます——は，極薄のプラスチックフィルムで出来ています。薄さは約135マイクロメートルで，髪の毛一本分の太さと同じくらいです。

風船の内部は，液体シンチレーターと言う，特殊な油で満たされています。その重さは，約千トン。この液体シンチレーターは，色んな粒子と反応して，光を出します。ただそれは雷や蛍光灯みたいな光では

ありません。非常に弱々しい、人間の目ではとても見る事の出来ないほどのものです。

ですが、カムランドの球体、その内側の壁には、その微弱な光を捉える『目』が取り付けられています。光電子増倍管、と呼ばれる光センサーで、キャッチした極弱い光を増幅させ、巨大な電気信号に変換するものです。カムランド実験では、この抜群に視力のいい『目』を、1879本、壁に取り付けています。トンボの複眼みたいなものです。

ちょうどカムランド実験というのは、山の中にぎっしり目の張り付いた球体が鎮座してある、と思ってくれるといいでしょう。かなり不気味なイメージですが、まあそれでおおよそ間違っていないです。

じゃあ、何故そんなけつたいなものを山の中に置いているのか。

当然出てくる疑問ですが、それを説明する前に、まず素粒子について、です。

——素粒子。

広辞苑やウェブで調べてみると、物質を構成する最小単位、などと書かれています。これだけではまいちピンと来ませんから、まず原子を考えてみましょう。原子の中には、陽子と中性子という粒子があり、原子はその集合体です。また原子の周りには、電子という粒子がぐるぐる回っています。電子はこれ以上分解出来ないのが素粒子ですが、中性子と陽子はさらに内部構造があります。陽子や中性子の中には、クォークと呼ばれる素粒子があり、それらが陽子や中性子を作っています。これを大福に置き換えてみると、次のようになります。一番外側は、粉の付いた柔らかい皮。その内側には、黒くて甘いあんこ。さらにそのあんこは、小豆から出来ています。ですので、大福で素粒子に相当するものは、小豆です。もっと分解出来るとか、そもそも皮は米からでは？とかは脇に置いておきましょう。

では、その素粒子とカムランド実験が、どう結びつくのか。実は、このカムランド、ニュートリノと言う素粒子を観測しているのです。

ニュートリノ、といきなり言われても、大抵の人が首を傾げます。疑問符があちこちから溢れているのが分かるくらいです。

でも、ニュートリノは、意外と身近にあったりします。

例えば、太陽。太陽の中では核融合によっていつもニュートリノが作られています。そのニュートリノが地上に降り注いでくるのですが、その量は大体消しゴム半分くらいの大きさに、毎秒 660 億個。凄まじい量です。

またその他にも、人間の身体からもニュートリノは出ています。それも一日に約 3 億個です。

このように言われると、危ないんじゃないか、と思うかも知れませんが。得体の知れない粒子が、自分の周りをふわふわ飛び回っている。あまり気持ちのいいものじゃないのは、仕方ない事です。

ですが、危険はありません。

と言うのも、このニュートリノは、ほとんど反応しない粒子だからです。反応というのは、ビリヤードと同じようなものです。ニュートリノがなにかの粒子にぶつかったりする事を言います。

ニュートリノ振動とは、ニュートリノが飛んでいる間にその種類を

変えてしまう、と言うものです。ニュートリノには、三種類の仲間がいます。この兄弟のような三種類が、ニュートリノが移動している間に、次々と入れ替わってしまうのです。これはちょうど信号機みたいなもので、始めは赤だったものが、時間が経つ——ニュートリノがある距離を進む——と、青になり、また時間が経つと、黄色になる、と言った具合です。

カムランド実験では、このニュートリノ振動を観測しています。もっと具体的には、原子炉から飛んでくるニュートリノを見て、その数が減っているかどうかを検証します。

カムランド実験のある神岡の周りには、多くの原子炉があります。どれも大体 180 キロ付近にあるのですが、世界有数の発電量を誇る柏崎原子力発電所や志賀、敦賀、美浜、浜岡など実に多いです。この、無料で利用出来る上に、正確にニュートリノの生成数の分かる原子炉産のニュートリノは、研究にとても有効です。またカムランド実験では、電子型反ニュートリノと言う種類のニュートリノだけを観測出来ます。この数の減り具合を見て、ニュートリノ振動を調べているのです。

2002 年にスタートしたカムランド実験は、世界で初めてこのニュートリノ振動を観測しました。その時の論文は引用数で世界一位になり、一躍脚光を浴びる事になりました。

またその後も、地球内部から来るニュートリノを観測するなど、世界のニュートリノ研究者を驚かせるような結果を連発しています。

現在は太陽から来るニュートリノを見るために、様々な研究を行っています。近いうちにまたこの結果も報告出来ると思います。

世界最先端から、さらにその先の世界最突端をひた走る、カムランド実験。

地の底から、さらに奥深い地中を眺め、また逆に、遙か宇宙の彼方を見つめる検出器。

まだ肉眼や、小型の天体望遠鏡でしか、宇宙を見る事の出来なかった時代がありました。

そんな時代に、数々の衛星を見つけ、地動説を唱え、または傾いた塔から、大小二つの鉄球を落とした一人の天才。『天文学の父』と讃えられる、その科学者なら、私達の研究を見てきっとこう言うでしょう。

——「実に面白い」と。



## 岐部 佳朗

(きべ よしあき)

東北大学大学院理学研究科  
博士課程後期 2 年

主な研究テーマ：ボロン 8 太陽ニュートリノ観測による物質効果の検証 経歴：私立大分東明高校（大分県）、東北大学理学部物理学科卒、同大学院理学研究科修士課程修了  
趣味：文庫本収集

# カムランド実験と ニュートリノ研究の醍醐味

## カムランドが30年来の謎を解決

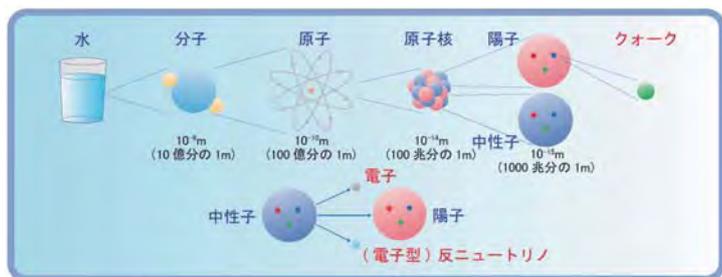
親戚や全く専門外の知り合いに、「どんな研究をしているの?」と聞かれた時に「ニュートリノ研究です。」と答えると、「ああ、あのノーベル賞を受賞した小柴先生の研究ね」と頷いてもらえることがあります。自分のやっていることを、こんなに簡単に相手に分かってもらえるのは願ってもないことですが、そのおかげであの有名なカミオカンデ実験と、私の所属しているカムランド実験がごっちゃになって理解されてしまうのが少し残念な所です。名前が多少似かよっているせいもあるのでしょうか…。ここではそのニュートリノについて、またカムランド実験の特徴について簡単に説明したいと思います。

ニュートリノの存在は、ベータ崩壊におけるエネルギー保存の法則を成り立たせるために、1930年パウリによって予言されました。ニュートリノは現在3種類存在する事が分かっており、質量が非常に小さくかつ中性であるため物質とほとんど反応しません。例えば水中でニュートリノが反応を起こすために必要な平均走行距離は

約20光年にもなります。物質と反応しないということは、すなわち検出する事が極めて難しいことを意味します。実験によってニュートリノの存在が初めて確認されるまで、パウリの予言から実に26年の歳月を要しているのです。この物質とほとんど反応しないという性質は、太陽や地球内部、果ては宇宙初期に生成されたニュートリノがその時の情報を失わずに私たちの周りを飛び交っていることを意味します。これらのニュートリノを検出することが出来れば、太陽で発生する膨大なエネルギーがどの様に生まれているのか、地球内部でどのくらいの熱エネルギーが生成されているのか、そして宇宙初期に何が起こっていたのかという疑問に答えを与えることが出来ると考えられています。

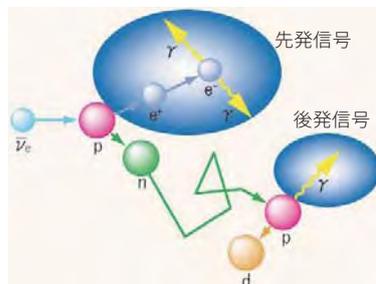
例として、現在私たちが見ることの出来る太陽の光は、内部で生成された光が約20万年の時間をかけてゆっくりと外に放散した間接的なものなのですが、ニュートリノは太陽内部で発生してから地球に到達するまでわずか約8分しかかからないので、ニュートリノ観測によって今現在太陽内部で何が起きているか直接診断が出来るわけです。

## ニュートリノとは?



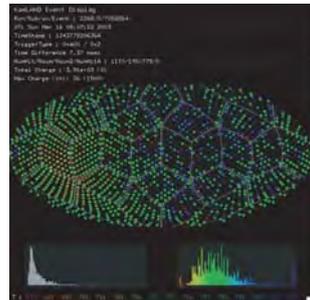
ニュートリノは物質を構成する基本粒子(素粒子)の1つです。原子は中心に原子核があり、その周りを電子がまわっています。さらに、原子核は陽子と中性子からできています。ニュートリノは、陽子が中性子になる反応がおきるとき陽電子とともに発生します。また、反ニュートリノは中性子が陽子になる反応のときに電子とともに発生するものです。(上図) ニュートリノには電荷がなく、物質とほとんど反応しない(1光年以上の厚みの鉛も通り抜ける)ため、その存在を見つけるのは困難です。さらにほかの素粒子より質量が極端に小さく(電子の質量の100万分の1以下)、その値を探る実験が世界各地で行われてきました。

東北大学大学院理学研究科ニュートリノ科学研究センターのパフレットより



反電子ニュートリノを検出する反応の概略図  
先発信号・後発信号、共に液体シンチレータ中で発生した用電子やガンマ線が発行を引き起こす。

カムランドでの  
イベントディスプレイ  
1つの点は光電子増倍管1つに  
対応し、色の付いている点は  
光を検出したことを示す。



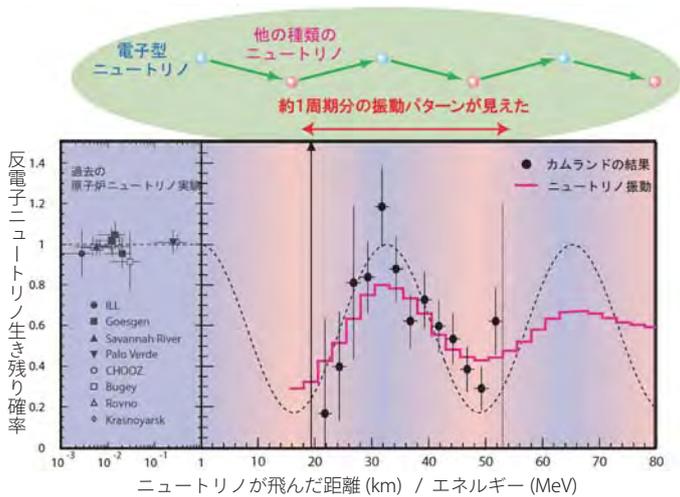
さて、その私の所属しているカムランド実験の特徴について述べたいと思いますが、これはカミオカンデの後継機であるスーパーカミオカンデと比較してみると分かりやすいかと思います。スーパーカミオカンデはニュートリノ標的として5万トンの水を保有しており、荷電粒子が水中の光速を超えた際に放出するチェレンコフ光を捕らえることでニュートリノを観測します。これに対して、カムランドは1000トンの液体シンチレータを用いており、荷電粒子がエネルギー損失を起こした際に発生するシンチレーション光(チェレンコフ光の約100倍の発光量)を測定することでより低エネルギーのニュートリノを観測することが出来ます。具体的に言うと、スーパーカミオカンデの数十分の一のエネルギーを持つニュートリノまで観測する事が出来ます。スーパーカミオカンデで測定するのが困難でも、カムランドでなら観測出来るというニュートリノが私たちの身の周りに数多く存在しています。

その一つに原子炉反ニュートリノがあります。原子炉では内部の核分裂反応によって生成した熱エネルギーを電力に変換していますが、その核分裂の際に反ニュートリノが生成されています(反ニュートリノはニュートリノの反粒子)。カムランド検出器は岐阜県飛騨市神岡鉱山内に設置されていますが、そこを中心として平均180kmの距離に原子力発電所が点在しています。原子炉反ニュートリノを観測すると何が面白いかというと、各原子力発電所の稼働状況から反ニュートリノの発生量が正確に計算され、カムランド検出器でどのくらいの反ニュートリノが観測されるか正確に求め、ニュートリノの伝播をきちんと理解出来る点にあります。

話は少し過去に遡りますが、1960年代後半からいくつかの太陽ニュートリノ実験が行われてきました。その中にはあのカミオカンデ実験も含まれています。それらの実験で観測されたニュートリノ反応数は、太陽の明るさから予測されるよりもずっと少ないものでした。そのため太陽のモデルが本当に正しく理解されているのか、またはニュートリノが地球・太陽間の1億5千万kmの距離を伝播する間に何か起きているのではないかと考えられました。ここでカムランドの原子炉反ニュートリノ観測が活躍して来ます。不定性の少ない原子炉ニュートリノ観測の結果、ニュートリノが飛行中に別の種類のニュートリノに変化するというニュートリノ振動を非常に高い信頼度で観測する事に成功しました。つまりニュートリノは飛行中に観測数が変動するという性質を持っていたのです。これによって、太陽ニュートリノの観測数が予測数よりも少ないという約30年長きに亘った太陽ニュートリノ問題に終止符が打たれることとなりました。

他にも地球内部から発生する地球反ニュートリノは、未だカムランド以外で観測に成功した実験はありません。地球内部に存在するウランやトリウムといった放射性物質が崩壊する際、熱エネルギーと一緒に反ニュートリノを生成します。地球内部に内在している熱エネルギーのうち、この崩壊の際に発生する熱エネルギーが多くの割合を占めると考えられており、ニュートリノ観測によって地球内部の熱生成メカニズムに迫ることが出来るのです。地球内部のことを調べようと思ったら、それまでは地震波や隕石の分析から化学組成を調べたり、ボーリングによって地中深くのサンプルを取ったりしていましたが、ニュートリノ観測によって地球内部を観測するという新たな手法がここに確立されたこととなります。

カムランドで観測したニュートリノ振動パターン



カムランド実験は、30年間なぞだった太陽ニュートリノ問題を解決しただけでなく、電子ニュートリノの振動現象を詳細に測定し、振動固有の物理量を精密に決定する事に成功しました。

東北大学大学院理学研究科ニュートリノ科学研究センターのパンフレットより

以上の様に、カムランド実験は世界でも類の無い世界最先端のニュートリノ実験です。現在は太陽ニュートリノの中でも特に低エネルギーのニュートリノを捕らえようと研究が進められている所です。今まで観測されてきた太陽ニュートリノは全体のわずか一万分の一であったので、より詳細に太陽のことを調べようと思ったら低エネルギーのニュートリノを観測する必要があります。日本のニュートリノ研究は世界でも最先端を行っており、東北大学のカムランド実験もその一翼を担っています。ニュートリノはまだまだ分からないことが多く残っており、大変やりがいのある研究ではないかと思っています。興味を持たれた方は、是非東北大学に入ってみて自分の目で確かめて見てはいかがでしょうか。



中島 恭平  
(なかじま きょうへい)  
東北大学大学院理学研究科  
博士課程後期2年

主な研究テーマ:カムランド検出器による低エネルギー太陽ニュートリノの検出 経歴:新潟高校(新潟県)、東北大学卒、東北大学理学研究科修士課程修了 趣味:クラシック音楽鑑賞(特にバッハ)、美味しいコーヒーを飲むこと。仙台のラーメン巡り

# 大学院生の 研究生生活



事務所と宿舎

## カムランド・神岡での研究生生活

カムランド検出器は東北大学がある仙台市から遠くはなれた岐阜県飛騨市神岡町にある池の山地下 1000m に設置されています。データ収集や作業のために神岡町へ交代で出張して研究を行っています。そこで、我々の神岡生活について紹介したいと思います。

そもそもなぜカムランドを地下 1000 m もの深い場所に設置するかというと、ニュートリノを見るのに深刻な雑音となる宇宙線を山で遮断するためです。また神岡にある利点は、各地にある原子炉からの平均距離が約 180 km であることです。このことは原子炉ニュートリノ振動観測に最適な条件になります。

この辺りは亜鉛、鉛、銀などがとれる鉱山町として栄えたそうです。現在採掘はされていませんが、鉱山は様々な活用されています。カムランドや東京大学のスーパーカミオカンデなどの学術研究利用もその一つです。

神岡町は特別豪雪地帯に指定される富山市と接する雪国です。今年の 11 月の初雪でも、早速みんなで楽しく雪かきをしました。カムランド検出器のある坑内には車で入らねばならないので、冬になると毎朝車を雪から掘り出すことが重要な作業になります。この地域はとても山深いところで、立山、黒部を有する北アルプスの西側にあたります。この付近から眺望する立山連峰は感動ものです。神岡町は溪谷になっており、川沿いの景色がすばらしいです。秋には紅葉した山々に囲まれます。また、自然豊かなところなので、猿や熊、天然記念物のカモシカなどに会うことができます。お祭りなどの地域の行事にも参加させていただいています。

現在のカムランドの主なテーマは太陽ニュートリノ観測です。太陽ニュートリノを見るためには、カムランド検出器を構成する液体シンチレータという油を純化して邪魔なゴミを取り除いてやらねばなりません。そこで、蒸留法による油の純化が現在神岡での主な作業です。



嶺川 幸江  
(みねかわ ゆきえ)

東北大学大学院理学研究科  
博士課程後期 1 年

主な研究テーマ：ニュートリノ観測  
経歴：佐賀県立唐津東高等学校卒業、岡山大学理学部物理学学科卒業、東北大学理学研究科物理学専攻修士課程修了  
趣味：読書

また、現地での重要な作業にデータ収集があります。取ったデータは最終的に仙台に送られ解析が行われますが、データが滞りなく収集できるように、カムランド検出器やデータ収集の装置を現地で監視する必要があります。

これら蒸留やデータ収集などの作業は 24 時間態勢で行っています。一日三交代のシフト制で、一シフト三人（うち現地に二人）ずつ従事し、一週間交代です。実験の稼働に必要な装置を毎日点検し、様々なパラメータを見て異常がないかどうか注意を払っています。

鉱山というのは一般にはなかなか入る機会がなく、とても興味深いです。むき出しの岩盤や地層、地下水、坑道の様子なども面白いですし、たまに鉱石を掘り出すための車など、迫力ある重機に出くわすと興奮します。

東北大学の事務所はカムランド検出器のある鉱山の入り口から車で 10 分ほどのところにあります。ここには研究スペースの他、宿舎があります。出張に来た人は、ここやすく近くに借りてあるアパート等で共同生活をしています。よく誰かがご飯を作ってくれたり、差し入れをしてくれたり、たまにパーティーをしたりと、和気あいあいとした生活を送っています。

カムランド実験は海外の研究機関と共同研究を行っており、シフトやその他の作業のために海外の研究者が神岡にやってきます。海外の研究者との交流は研究においてよい刺激になります。また異なる文化や価値観にふれることができ、良い経験になります。

このように、雄大な大自然の中、恵まれた環境において日々研究に勤しんでいます。

神岡町を一望する





坑道から出てくる車



海外からのコラボレータと一緒に



雪景色

## 大学院での研究生生活

私が東北大学理学部に入学してから8年が経とうとしています。大学に入学する際には、普通に企業に就職するか研究者になるかなど何も考えず、ただ漠然と宇宙に関することを勉強したいと思っていましたが、現在は博士課程に在籍し、素粒子の一種であるニュートリノを研究する KamLAND グループで日々研究を行っています。KamLAND 実験がどのような実験で、どのような成果を挙げているかはインターネット等で調べればいくらでもわかると思うので、私は大学院生の研究生生活について紹介をしようと思います。

大学の学部は1年の1/3くらいが休暇ですが、大学院はまったく別です。これといった休暇期間もありませんが、逆に就業(学?)時間も特に決められていません(もちろん研究室によって異なると思いますが)。最終的に修士論文や博士論文が書ければいいわけで、日々の時間の使い方は完全に個人に委ねられます。ただ KamLAND 実験は日米仏の共同実験で比較的大規模なので、協力して実験を行う姿勢は必要です。

したがって学生が研究室に滞在する時間帯やその量は人によって違います。一般の会社員のように朝に来て夕方に帰る人もいれば、昼過ぎに来て真夜中まで研究をする人もいます。コアタイムは昼過ぎだと思えます。土日しっかり休む人もいれば、どちらかあるいはどちらも研究室に来る人もいます。ですので研究室は24時間入退出することができ、いつでも研究をする環境は整っており、365日誰かしら人がいます。

幸運なことに KamLAND 実験は研究するための環境がとても整っています。ニュートリノ観測の為に大量のデータを扱いますが、それを処理するのに十分な性能を持った大規模計算機システムを所有しており、誰もがデュアルCPUの112台の計算機を使用してデータ解析を行うことができます。また端末もアップル・コンピュータのiMacが各自の机に1台ずつあり、計算機関係はとても充実していると云えます。修士のうちには大半の人はデータ解析よりも、実際に自分で実験を行うことに軸を置きますが、そのための測定装置やデータ収集系も充実しています。また先述したように KamLAND 実験はグローバルな実験なので、週2回のテレビ電話会議や実験装置が設置してある神岡では英語を使う機会が多々あり、年2回のコラボレーション・ミーティングでは学生でも海外へ行って研究発表を

する機会が与えられます。東北大学で世界レベルの実験ができる研究室ということで現在の研究室に進みましたが、実際に KamLAND 実験で修士以来研究を行っていることは自分にとって非常によい経験になっていると思います。

私の在籍するニュートリノ科学研究センターには複数の研究グループがあり、他の研究室に比べてスタッフ、学生ともに大人数です。その大半は KamLAND グループが占めており、研究を進めて行く上で多くの優秀なスタッフから助言を得ることができ、また週2回の会議では多くのスタッフ、学生の前でプレゼンをするので、自分を成長させる場としては最適だと思います。また研究というものはいま進むときもあれば、停滞するときもあります。そんな時に励まし合う仲間や、ちょっと一息つきたいときに雑談する仲間が大勢いるというのもよい点だと思います。

最後に、この文章を読んで下さっている皆さんが大学院への進学を考えているのならば言うておきたいことがあります。大学生のうちたくさん勉強し、たくさん遊んで下さい。これは私が大学院に進学してから思い続けていることです。大学院に進学してからつづく、学部のときはなんて時間を無駄に過ごしていたのだらうと思えます。大学院に進学してからは、自分の研究に精一杯でなかなかその背景や基礎となる物理の勉強にまで手が回りませんし、遊ぶ時間もとりづらくなるので、ぜひ今のうちにやれることをやっておいて下さい。そして大学院に進学後は研究に邁進しましょう。20代は人生においてとても重要な時期ですが、反面あつという間に過ぎて行くものです。今後研究者になろうとも、それ以外の道へ進もうとも、この大学院での過ごし方というのは今後の自分の人生や価値観に影響を与えそうだなと思っています。そして私は博士課程に進学したこと、KamLAND 実験に参加したことは自分の人生においてよい選択をしたと感じています。



清水 百合  
(しみず ゆり)

東北大学大学院理学研究科  
博士課程後期2年

主な研究テーマ：地球ニュートリノ観測  
経歴：盛岡中央高校(岩手)卒、東北大学理学部卒、同大学院理学研究科修士修了  
趣味：旅行

# “活動中の科学”

## …そして”活動中の哲学”に向けて

なぜ科学者の言葉は  
市民に通じにくいのか？

科学哲学・科学論といわれる分野を勉強中の私ですが、「科学者」と会う機会実はそう多くありません。今回、カムランドを見学させてもらえることになり、「最先端施設の内部に入れる！」という単純な嬉しさももちろん大きかったのですが、同時に、「最先端研究に従事する現代の科学者にじっさいに会う…」という漠然とした不安のようなものも感じていました。

科学論分野では、資金・施設面での巨大化、領域細分化に伴う専門的タコツボ化、といった科学研究を取り巻く環境の変化とともに、科学者の性質も「普遍的真理への公明正大な求道者」タイプから「局所的な新事実占有権をめぐる競争者」タイプへとシフトしたと言われていています。カムランドの中の人たちは、どんなひとたちなのだろう？後者のタイプの典型例ともいわれる『二重らせん』1のなかに描かれた科学者たち——サムシング・ニュー争奪戦に勝つために、ときにはスパイ行為も辞さない狡猾な科学者たち——のような人々だったりするのだろうか。

そんなふうな期待と不安が微妙に入り混じりつつ茂住に入ったわけですが、じっさい実験施設の見学を終えて、いちばんに思い出したのは、実は、『三四郎』2に出てくる「野々宮君の穴倉」の場面でした。（たんに薄暗い鉱山のトンネルの中から、日のあたるところに出てきたからかもしれませんが。）寺田寅彦がモデルとも言われる物理学者・野々宮君は、先ほどの二分法でいうと、前者の古き良き科学者の典型として挙げられることも多いのですが、年がら年中穴倉のような実験室にひとりこもって、光線の圧力の測定に嬉々として取り組み続けています。

もちろん、カムランドは、資金面でも関わっている人間の数でも、「野々宮君の穴倉」とは比べ物にならないくらい「巨大」だし、施設のなかには海外からの研究者も多く詰めているし、国際的な競争状況をリードして見ます。そして、それらの「現代化」の功罪に研究者の側もおそらく決して無自覚というわけではない。でも、案内してくれる先生や学生さんの説明からは、ひとつひとつの部分や機材、あるいは床や壁にさえ愛着を持っている様子が感じられ、巨大な最先端施設ではあるけれども、どこか手作り感覚も残っている印象を受けました。たしかに、科学研究の巨大化・現代化は、研究者の置かれている環境や価値観を変化させてきたかもしれないし、いまや科学の目的を「真理の探求」なり「実用面での応用可能性」なり何らかのものに一元化することも難しいと思います。でも、知識を生成する現場には、「Science in Action (活動中の科学)」3に従事する楽しさというものがある、それは今も昔も変わらないのかもしれない。鉱山のなかに作られた実験装置や、そこで活動する人たちを見ることは、現在進行形の「今、まさに」作られつつある科学的知識を目の当たりにするようで、面白い体験でした。



哲学の道 (京都)



カムランドのタンク



哲学の道の入り口 (ハイデルベルグ)



ところで、私自身の興味は、科学的知識とその他の知識との関係にあります。「素粒子は物質を構成している基本的な粒子だ」ということは科学的に正しいのだろうと私も思っています。でも、例えばニュートリノについて、それがイスやテーブルと同じように存在するのだという実感は（私自身は）いまひとつ持てない…。このギャップはどこからくるのか。目に見えるイスやテーブルの「日常的世界」と、科学が記述する「本当の世界」という2つの世界があるのか、あるいは世界の2つの理解/記述の仕方があるのか。それとも、2つの世界のギャップは様式の違いというよりも、各個々人のそれぞれの知識への親しみやすさの程度の違いからくるのか。（カムランドの中の人々が、日常的に食事や会話もしつつ、ニュートリノも扱っていることは、当たり前ではあるけれど、まるで2つの世界を渡り歩いているようで不思議な感じもします。）こういった直観的疑問のもと、「科学的知識はそれ以外の知識にはない何か特別な性格をもっているのか?」、「科学と常識とは対立するものなのか?」、「科学的知識がじゅうぶんに進歩したら常識的知見は捨てられていくのか?」といったトピックについて、主に20世紀の科学論・科学哲学者の文献を道しるべにしつつ考えているところです。

さて、三四郎は、野々宮君の穴倉生活ぶりに感心はしつつも「野々宮君は生涯現実生活と接触する気がないのかもしれない」と呆然としていました。むしろ、現代の科学(者)は社会と接触しないわけにはいきませんし、社会の側も呆然と見守るばかりではいてくれません。そして、それは現代の哲学についても同じです。私は、科学や哲学の研究の意義が、社会に対しての有用性のみで測られることには反対ですが、道楽でやっているときき直ってしまうのは、知識の生成の現場の「活動中の」楽しさ(もちろん楽しいばかりでもないですが…)も、専門家集団外部の社会に伝わらなくなってしまうように思います。

科学と社会、哲学と社会との接点について、私自身に、いま現在確固たる見通しがあるわけでもないのですが、例えば、「公衆の科学理解/科学者の公衆理解」が求められるとき、それが形ばかりのインフォームド・コンセントにならないためにも、「なぜ市民(非専門家)にとって科学的知識はわかりにくく、縁遠いものを感じるのか」、「なぜ科学者の言葉は市民に通じにくいのか」という点を、常識的知見と科学的知識との関係についての哲学的見地から言語化できないだろうか、などと考えています。

研究スタイルや足どりは科学と異なるかもしれませんが、哲学も現在進行形で前を進み出しています。このGCOEプロジェクトを通じて、活動中の楽しさをぶつけ合いながら、新しい知を紡いでいけたら、と思っています。

- 1.『二重らせん』ジェームス・D・ワトソン、江上不二夫・中村桂子訳、講談社文庫、1986 (\*原書初出は1968年)
- 2.『三四郎』夏目漱石、岩波文庫、1997 (\*初出は1909年)
3. もとは、科学人類学者B・ラトゥールの概念。ラトゥールはすでに出来上がった科学的知識(プロダクト)ではなく、知識が生まれ世界に定着するまでのプロセスに注目した。



カムランドの見学者



実験チーム



## 二瓶 真理子 (にへい まりこ)

東北大学大学院文学研究科  
博士課程後期3年

主な研究テーマ：現代英米系科学哲学、科学論  
経歴：福島県立会津女子高校卒、奈良女子大学卒、東北大学大学院文学研究科修士課程修了  
趣味：読書、散歩、将棋（指すことはあまりないけど）が好きです。

# 東北大学 GCOE プログラム

## “物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開”では、 GCOE セミナー・講義を開催することで 学生の知識を深めると同時に 研究分野を超えた連携研究の促進を目指しています。

9月29日に開催されたGCOEキックオフミーティング以降、数多くのセミナー・講義が本GCOEのもとで開催されています。国外から講師を招いて、国際的な研究活動を推進しているセミナーも多数あります。また、参加者に専門分野の枠を設けず知識交換を活発に行うことで、新たな研究分野の開拓を目指したセミナーもあります。本GCOEでは、新たな学術文化の創出を担い、社会のイノベーションに寄与する人材の輩出を強力に推進しています。

### [物理]GCOE セミナー「ストレンジネス核物理」

日時：12月14日(日) 9:00～10:35  
場所：東北大学百周年記念会館2階会議室  
講師：Avraham Gal氏 (Hebrew University)  
題目：“Topics in Strangeness Nuclear Physics”  
講師：Yasuo Yamamoto氏 (Tsuru University)  
題目：“Hyperon-nucleus systems in G-matrix approach”  
講師：Kazuo Tsushima氏 (Jefferson Laboratory)  
題目：“The latest results, and photoproduction of hypernuclei in the QMC model”

### [物理・天文]GCOE セミナー

日時：12月17日(水) 17:00～18:15  
場所：ニュートリノ科学研究センター2階大会議室  
講師：住貴宏氏(名古屋大学太陽地球環境研究所 助教)  
題目：「重力マイクロレンズによる銀河ダークマター探査」

### [物理]GCOE・サイクロトロン物理セミナー

日時：12月5日(金) 16:00～18:00  
場所：サイクロトロンセンター 研究棟講義室  
講師：日本原子力研究機構 永井泰樹名誉教授(大阪大学)  
題目：「原子核でみる宇宙——元素合成でたどるビッグバン宇宙——」  
講師：理化学研究所 専任研究員 和田道治氏  
題目：「精密測定が切り開く新しい物理  
——光学的分光法によるエキゾチック原子核の研究——」

### [物理]GCOE セミナー・物性コロキウム

日時：12月9日(火) 16:30～18:00  
場所：理学総合棟745号室(大学院講義室I)  
講師：小林亮教授(広島大学・大学院理学研究科)  
題目：「物性コロキウム：計算するアメーバー—真正粘菌変形体—」

### [物理]GCOE セミナー・物性コロキウム

日時：12月4日(木) 16:30～18:00  
場所：理学総合棟745号室(大学院講義室I)  
講師：Prof. Karlo Penc (Research Institute for Solid State Physics and Optics of the Hungarian Academy of Sciences)  
題目：「物性コロキウム：Quadrupolar Phases of the S=1 Heisenberg Model on the Triangular and Square Lattice」

### [物理]GCOE セミナー

日時：11月10日(月) 16:00～18:00  
場所：物理専攻大会議室 総合研究棟7階721号室  
講師：Alexander Vilenkin氏 (Tufts University, Institute of Cosmology)  
講演内容：Measures of the multiverse

### [一般]GCOE 特別セミナー

日時：11月13日(木) 15:00～16:30  
場所：ニュートリノセンター2階大会議室  
講師：竹内正義教授(北陸大学薬学部生体機能薬学系 病態生理化学教室)  
題目：生活習慣病における終末糖化産物(AGES)の関与とその予防

### [物理]GCOE セミナー

日時：11月12日(水) 16:30～18:00  
場所：総合棟7F745室  
講師：Prof. Chuang Zhang (Institute of High Energy Physics)  
題目：「中国における各種粒子加速器とその関連する研究について」

### [物理]GCOE セミナー・物性コロキウム

日時：10月30日(木) 16:30～18:00  
場所：理学総合棟745号室(大学院講義室I)  
講師：大槻純也氏(東北大学大学院理学研究科)  
題目：「物性コロキウム：強相関電子系の遍歴・局在とフェルミ面」

### [数学]GCOE 講義「物質階層融合科学特別講義 B1 物質階層融合科学特殊講義 B1」

日時：10月14日(火) 15:00～17:00  
10月15日(水) 15:00～17:00  
10月16日(木) 10:00～12:00  
場所：理学部II井ホール  
講師：Uzy Smilansky氏 (Weizmann 研究所名誉教授)  
講義内容：Nodal Domains: From Chladni to Quantum Chaos

数学専攻  
上田 好寛  
偏微分方程式論



物理学専攻 佐藤 勝彦 ソフトマター  
生物を対象とした非平衡物理学



物理学専攻 安倍 博之  
素粒子理論

数学専攻 野原 雄一  
微分幾何  
シンプレクティック幾何



天文学専攻 伊藤 洋介  
重力波天文学、一般相対論  
ポスト・ニュートン近似

# 連載 新規採用された 助教へのインタビュー

東北大学 GCOE プログラム「物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開」では  
事業目的達成の一環として助教を公募し、2008年12月までに5名を採用しました。

今号から2号連続で新規採用された助教の皆さんを紹介します。

物理学専攻 助教

佐藤 勝彦 (さとう かつひこ)

主な研究テーマ

ソフトマター，生物を対象とした非平衡物理学。  
複雑液体でのシアバンディング。ベシクルの形状変化のダイナミクス。筋肉の自励振動



# 身近な疑問が学問になる ソフトマター

## 「研究内容を簡単に教えていただけますか。」

物理学には大きく分けて、小さなものを研究する《素粒子》、大きなものを研究する《天体》、ものの物理的性質を研究する《物性》等の分野があります。物性物理学は、平たく言うと、金属にどのように電気が通るかというような身近な物質の素朴な疑問に答える学問で、僕が扱っているものはその中でも触って柔らかいものや、複雑液体と呼ばれるものを含む、ソフトマター（高分子、液晶、コロイド、生体膜、生体分子（蛋白質、DNA など）などの一連の分子性物質群）というものになります。

ソフトマターはまだ始まって50年程度の比較的新しい学問ですが、ソフトマターを研究することは、生物の研究につながります。生物というのは、人間自身の生命にかかわってくる究極の学問だと思うんですけども、そういうところに繋がる物理からのアプローチだと思います。これから学問として生物が盛んに行われるようになっていくと思うんですけど、それとともに、ソフトマターの分野も大きくなっていくといわれています。未来は明るいです。

## 「物理と生物のつながりとは。」

今まで150年くらい、科学のトップはずっと物理だったのですが、次は生物が主役になるといわれています。このとき物理的なことを知っていて、なおかつ生物にアプローチできる人が必要なんですけど、それに一番近いのが、ソフトマター（の研究者）といわれています。今まで培ってきた物理の知恵を生物に応用するための橋渡しをする役目がソフトマターだと思っています。

## 「複雑液体とふつうの液体（単純液体）の違いは。」

単純液体というのは、ニュートン流体といって、速度勾配が急であればある程、面に平行な方向の単位面積当りに働く力が強くなる、単純な比例関係のあるもので、ナビエーストックス方程式と

いう式で表現できるもので、それは確立しています。しかし、高分子、コロイド、液晶などが含まれる液体は単純なルールで説明できない、複雑な動きになったりします。たとえば、複雑液体を円筒状の入れ物に入れて上の蓋をくるくるとまわすような状況を考えると、(こういうのを「液体にずりをかける」というのですが)通常の液体だと速度勾配は上から下に向かって一定なのですが、複雑液体だと速度勾配が急なところと緩やかなところに分離することがあるんです。この現象を、シアバンディングといいます。味噌汁の例でいうと、もし汁が一樣になっていたとしても、ずりをかけると薄い部分と濃い部分に分離して流れが速い部分と遅い部分とに分離するようなものです。

## 「この分野に興味をもったきっかけは。」

研究分野を選んだきっかけは、また新しいということです。まだ確立していないので、やるのがいっぱいあります。

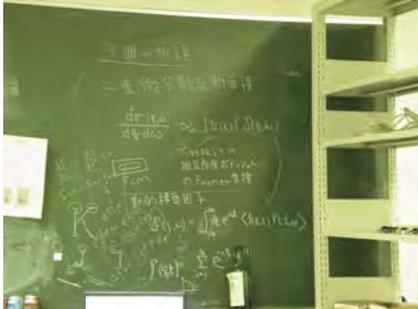
あと、昔から、身近なものがどうしてそうなるかということに興味がありました。例えば典型的なのは、蜂蜜を垂らすとくるくる巻く。何でだ、とか。お風呂に入っていて、泡が上がって来るときにゆらゆら揺れる。何でまっすぐ来ないんだとか。身近だけれど、何でと言われても説明できないことってありますよね。僕は生物にも興味があるんですけど、どうして怪我は治るんだとか。怪我はある程度大きくなると元には戻らないんですけど、どうしてだとか。そういう身近で素朴な問題にかかわりたいということで、最初は高分子の研究をしていたのですが、だんだんそれが広がってきて、生物の分野にも広がってきています。

## 「研究の手法はどのようなものでしょうか。」

メインはモデリングです。ある現象があって、そのキーとなる要素を理解するためにモデルを立てて、モデルから出される結果と現象を比較して、仮説が正しかったかチェックしています。このときに一番大切にしていることは、その現象が持っている何の

経歴 群馬県立前橋高等学校, 京都大学, 同大学院理学研究科修士課程修了, 同大学院理学研究科博士課程修了 (1999年)

趣味 emacs lisp のプログラムを書くこと。



佐藤勝彦先生の研究室の様子

量を見れば一番把握しやすいかということをはっきりとさせる作業です。物理論的に言うと、そのような量はオーダーパラメータというんですけど、それに失敗すると、全然現象を把握できない。

モデリングで工夫している点は、起こっている実験事実をよく集めて、体になじませるようにしています。勝手に頭で考えてこうに違いないって仮説を立てるんじゃなくて、よく現象をみて、なるべく誠実にやっています。そうすると、こうなりたい傾向があるというような、現象の気持ちがあわかってくるので (笑)。

でもこれはあまりメジャーな方法ではなくて、よく確立されている分野では今まで発展してきた式を使って新しい式を作っていくというのが通常です。新しい分野をやる時には、いきなり数式から入ることは難しいので、現象をよく観察しています。そして (現象の) 気持ちが定まってくれば、数式化は物理伝統の手法があるので、難しくない、と。

#### 「研究していて面白かったことは。」

物理も面白いんですが、身近な例で言うと、生物は教わることが多いです。5年前に大阪大学の生物の実験の研究室と一緒に研究したことがあります。生物を勉強していくと、日常の事務処理 (一度使ったものを使いまわす・一度作ったものを修正してつかう・分解したりくっつけたりして考える) のようなことを生物がそのままやっていることが分かるんです。たとえば、体の中のタンパク質は20種類のアミノ酸の組み合わせでできているんですが、これだけで、ありとあらゆる機能を持つたんぱく質を作れる。あるたんぱく質の3つくらいのアミノ酸をちょっと変えてやるだけで、欲しかった機能をもつたんぱく質が作れたり。自然にそうになっているんです。そういうことが分かると、事務処理などでの使い回しや、分解したりくっつけたりして新しいものを作るのがどうしてすっきり気持ちいいのかわかる。全部体内でやっていることなんですね。ものごとの根拠が得られるっていうか、そういう感じですね。学問をやっているだけでなく、自分の日常にフィードバックできるというのがいいところですね。

#### 「最後に、後輩に向けてひとことお願いします。」

未開発分野なので、財宝を掘り当て放題というか (笑)。はじめは僕もソリッド (硬い物質) の分野を勉強していたんですが、伝統的な分野は歴史が長いので、新しいことをやるのは非常に難しい。その点ソフトマターは、まだやれることが多い。だからと言って学問の基礎ができていないとだめなわけですが、でもそういう点はアピールできると思います。また、日常的な物質を扱っているから実感もわくと。さらに、生物というこれからのマジョリティになろうと思われるものとも連携できるので、そういう見方をすると、ソフトマターは、非常にいいと思います。伝統的な物理からは道をそれた感じがするけれど、量子力学なども、はじめは、道にそれた学問が成功したもの。次の世代の分野を作ることになるのではと思います。

#### 「本日はありがとうございました。」

天文学専攻 助教  
伊藤 洋介 (いとう ようすけ)

主な研究テーマ

重力波天文学：パルサーなどからの連続重力波データの解析、一般相対論：相対論的連星系の運動方程式、ポスト・ニュートン近似



# 重力波を使って 宇宙の未知の部分を知りたい

## 『研究内容を簡単に教えていただけますか。』

自然界には、今のところ4つの基本的な相互作用（弱い相互作用・強い相互作用・電磁相互作用・重力）があるといわれています。現在、相互作用というのはすべて有限の速度で伝わる（瞬間的には伝わらない）と考えられています。20世紀前半までには電磁相互作用については有限の速度で伝わるということが知られていたのですが、アインシュタインは重力相互作用、つまり重力の影響も、有限の速度で伝わると言いました。その有限の速度で伝わる重力の影響は波として伝わるんですけども、それが重力波です。重力波はまだ見つかってはいませんが、あると思われています。

基本的に重力波っていうのは、非常に大きくて、質量が大きく、重力場の強いものが、高速に運動すると出てくる。重力波が出ると思われているものには、パルサー（パルス状の可視光線、電波、X線を発生する中性子星という星の一種）というものがあります。1974年に、ハルスさんとテイラーさんが発見した『ハルス・テイラーパルサー』というのもその一つで、彼らが見つけたのは、星が2つあって、互いが互いの周りを高速でぐるぐる回っている連星のパルサー（バイナリパルサー）です。

一般相対論によると、バイナリパルサーがぐるぐる回ると重力波が出る、と予言されています。重力波は間接的には、電磁波でパルサーの軌道を観測していると、軌道の角運動量が失われてくる、要するに、重力波を出したことにより、だんだんエネルギーを失って、星と星の距離が小さくなっていく、ということで分かります。

このように、電磁波で（パルサーの）軌道の変化を観測した実験が20～30年くらい前にありまして、一般相対論で予言されている重力波の放出があるとすると、理論とぴったり合う。それを見て、重力波は、間接的には予言されています。ただ、直接的な検証はされていません。これから僕ら重力波物理学とか天文学とかやりたいと思っている人は、直接重力波を検出して、重力波によって宇宙を見たいと思っています。

## 『重力波の観測方法とは。』

重力波の観測方法は簡単です。基本的には、重力波が入ってくると、空間が伸びたり縮んだりするので、空間の距離を測ればいい。早い話、レーザーをパッと飛ばして、鏡で反射して戻ってくるまでの時間が伸びたり縮んだりする、というのを測ります。

今地上には、アメリカの砂漠の中に一辺が4kmくらいのLIGOという検出器があります。レーザーを飛ばして鏡で反射させて、直行する2方向に分けて、レーザーを干渉させるんですけども、空間の距離が変わったりするとレーザーの干渉縞が見える。そういう原理になっています。

距離をどのくらいの精度で測るかということ、地球太陽間の距離を測ったとしますよね。その時に、その距離を、原子一個分の精度で測るくらいです。もう、ほとんど信じられないくらいの精度です。それで、鏡を置いてあると言ったんですけども、鏡が熱雑音で動くとか、量子的に動くとか、そのレベルで抑えないといけない。だから、熱雑音を抑えるために、20K（-253度）くらいまで鏡を冷やすと。あとレーザー強度や周波数を安定させる。レーザーが鏡をたたくと鏡が揺れますから。あとは地面振動ですよ。地面が揺れちゃうと、鏡が揺れて距離が変わってしまう。たとえば、日本の三鷹にも一辺が300mの観測計があって、そこからちょっと離れた所に病院があるんですけども、そこで井戸水を汲み上げると、地盤が沈下して揺れちゃう。1kmくらい離れた所には味の素スタジアムがあって、ここにSMAPとかがコンサートで来ていると、バラードの時はいいんですけど、ノリのいい曲のときはみんなジャンプするので、重力波検出器を使えなくなるとかいう話があります（笑）。

## 『重力波の観測は難しいのですね。』

今の実験的な予想では、今後10年以内に重力波が観測される確率というのは、10%とかだと思います。基本的に100年に1回のイベントを追っている感じなので、ニュートリノで言えば、超新星爆発を待っているような形です。いつ起こるか分からない。

経歴 東京都立国分寺高校，東北大学理学部物理系，同大学院理学研究科修士課程修了，同大学院理学研究科博士課程修了（2002年）

趣味 卓球，本屋めぐり。図書館に行って目についた本を適当に借りて読むこと。小学生のときからの阪神ファンで，楽天との交流試合を観に行ったり，テレビ中継を見たりしますが，ここ数年，広島との試合は心が痛みます。



Einstein@Home project に参加するともらえるスクリーンセーバー。

Einstein@Home project は，ネットでつながっている世界中の一般家庭のパソコンの計算能力を借りて，アメリカの重力波検出器 LIGO が取得した重力波データ解析し，重力波探索をおこなうプロジェクト（今のところ見つかってはいない）。

同様のプロジェクトとして，地球外生命体探索の SETI@Home が有名。

Einstein@Home は，2005 年から本格スタートし，2008 年 10 月現在，205 の国から 20 万人以上の参加者がいる。詳しくは（英語ですが）<http://einstein.phys.uwm.edu/> をご覧ください。

（私は，このプロジェクトでデータ解析をやっていました。）

ただ，最近パルサーは，観測の精度が上がって，電磁波では非常に観測例は増えています。今確認されているだけで 1300～1400 個くらいになっています。今の世代の重力波観測器というのは，感度はもう頭打ちになりつつあるので，次の世代の観測器の計画があつて，それが 2014～15 年に立ち上がるんですけども，それが立ち上がると，もう 200Mpc（メガパーセク）くらいまで向こうを見られるようになる。そうすると，1年に1回くらい重力波イベントがあるんじゃないか，とは言われています。

#### 「重力波を使って宇宙を捉えると何が分かるのでしょうか。」

分かることは沢山あると思います。普通我々は宇宙を電磁波とかニュートリノで観測しているわけですが，たとえば電磁波で太陽を見ると太陽の表面しか見えないが，ニュートリノで見ると，太陽の内部まで見えるんですよ。重力波というのは，さらに，ニュートリノが出てこれないような非常に高密度な領域からも出てこられるので，高密度領域の物理が分かる。そういう意味で，違う宇宙が見られる。

天文学っていうのは，その昔は目で見ていたんですよ。それが，1930～60年代以降から，観測に X線とか電波を使い始めた。そうしたら，銀河とか，宇宙が全然違う様相を見せ始めた。宇宙って，単に星がぐるぐる地球の周りをまわっているように見えていたものが（日周運動），X線とか電波で見たら，非常に爆発的な現象が起きていると言うのが分かってきた。だから，ニュートリノとか重力波で観測すれば，さらにいろんな事が分かるようになるだろうと思われています。

ひとつ重力波だけでしかできないと思っているのは，インフレーション直後，宇宙のはじまってまだ 10 の 40 何乗秒とかいう，そういう初期からの重力波をもし観測できるとすると，その時の宇宙の状態が分かるといわれています。さっきも言ったとおり，電磁波やニュートリノで宇宙を観測したとすれば，たとえばニュートリノであれば，宇宙が始まってから 1 秒ぐらいとかだと思えますけれど，それから先の歴史しかわからない。つまり，

それよりも前の状態っていうのが分からないんです。

何が出来るのってよく言われるんですけども，実際には，むしろ予想できるものはそんなに面白くなくて，本当の内心としては，新しい，全く考えてもいなかったものが見つかるという期待も強いんです。何か予想と違うものがある，それが一番嬉しいです。

#### 「最後に，後輩に向けてひとことお願いします。」

まず，物理を勉強してください。数学もいっぱい勉強してください。基本的な学力ですから。あと，英語も勉強してください。

重力波天文学自体はまだ生まれてもいないというか，重力波はまだ観測できていないので，そういう意味では，新しい風というか，新しいものが入ってきている分野でもあります。やる事がいっぱいあります。楽しい学問で未来があります。ニュートリノの次は重力波だと思っています。

#### 「本日はありがとうございました。」



## 東北大学

### ■大学院理学研究科

数学専攻

物理学専攻

天文学専攻

ニュートリノ科学研究センター

原子核理学研究施設

### ■サイクロトロン RI センター

### ■原子分子材料科学高等研究機構

### ■多元物質科学研究所

### ■大学院文学研究科

文化科学専攻 哲学講座

〒980-8578

仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3 東北大学理学研究科  
ニュートリノ科学研究センター内 GCOE 科学支援室

電話：022-795-6725

E-mail：GCOE@scienceweb.tohoku.ac.jp

URL：http://www.scienceweb.tohoku.ac.jp/