

## 研究会・学会スケジュール

### ゴールドシュミット会議 2016

Goldschmidt 2016  
 開催日：2016年6月26日(日)～7月1日(金)  
 開催場所：パシフィコ横浜  
 主催：ゴールドシュミット会議2016組織委員会  
 問い合わせ：山本銅志 環境学研究所 教授  
 yamamoto@eps.nagoya-u.ac.jp / 052-789-2522  
 http://goldschmidt.info/2016/

### 2016年線虫神経生物学国際集会・ 名古屋大学神経回路国際シンポジウム合同集会

CeNeuro2016 & Nagoya BNC Symposium  
 開催日：2016年7月27日(水)～30日(土)  
 開催場所：名古屋大学豊田講堂  
 主催：CeNeuro2016 & NISNC Joint Meeting組織委員会  
 問い合わせ：森 郁恵 理学研究科 教授  
 ceneuro2016@bio.nagoya-u.ac.jp / 052-747-6346

### Infinite Analysis 16 サマースクール

「可積分階層とその先」  
 “Integrable Hierarchies and Beyond”  
 開催日：2016年8月29日(月)～9月1日(木)  
 開催場所：名古屋大学多元数理科学棟 509号室  
 主催：IA16SS 実行委員会  
 問い合わせ：中西知樹 多元数理科学研究所 教授  
 nakanisi@math.nagoya-u.ac.jp / 052-789-5575  
 https://sites.google.com/site/ia16summer/

### 分子磁性プレ・コンファレンス 2016

「分子伝導体および磁性体のニュー・リサーチ・クロスロード」  
 Pre-ICMM2016 in Nagoya.  
 “New Research Crossroads in Molecular Conductors and Magnets”

開催日：2016年9月2日(金)・3日(土)  
 開催場所：名古屋大学物質科学国際研究センター  
 主催：分子磁性名古屋プレ・コンファレンス2016組織委員会  
 問い合わせ：阿波賀邦夫 理学研究科 教授  
 pre-icmm2016@sci.nagoya-u.ac.jp / 052-789-5869  
 http://advmat.chem.nagoya-u.ac.jp/preicmm2016/index.html

### 関数型プログラミング国際会議

International Conference on Functional Programming (ICFP 2016)

開催日：2016年9月18日(日)～24日(土)  
 開催場所：奈良春日野国際フォーラム  
 主催：ACM SIGPLAN  
 問い合わせ：ガリグ・ジャック 多元数理科学研究所 准教授  
 garrigue@math.nagoya-u.ac.jp / 052-789-4661  
 http://conf.researchr.org/home/icfp-2016

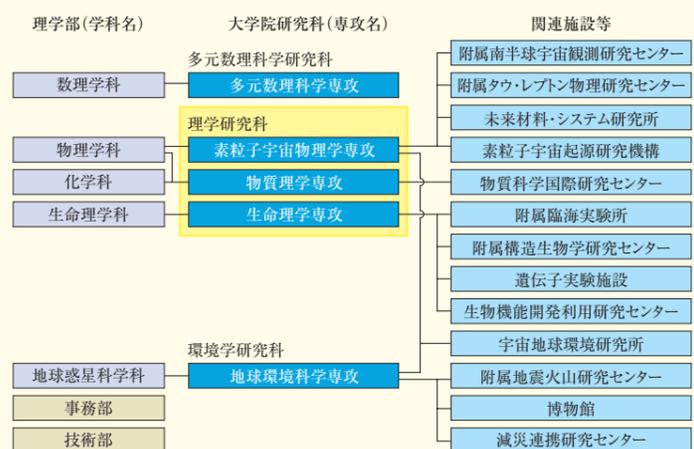
### 「星間水素」国際ワークショップ II

International workshop on the interstellar hydrogen II

開催日：2016年9月26日(月)～28日(水)  
 開催場所：名古屋市  
 主催：名古屋大学大学院理学研究科附属南半球宇宙観測センター  
 問い合わせ：日本学術振興会科学研究費特別推進研究  
 「星間水素の精密定量による新たな星間物質像の構築」  
 立原研悟 理学研究科 准教授  
 k.tachihara@a.phys.nagoya-u.ac.jp / 052-789-2837

## 組織図

理学部・理学研究科・多元数理科学研究所・環境学研究所(地球環境科学専攻)

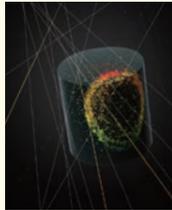


## 編集だより

節目となる30号の特集は、2015年のノーベル物理学賞で話題となったニュートリノ振動に関するものである。身近な事柄からの類推が困難な素粒子現象をデフォルメせずに解説しているのが、物理の解説は少々難しく感じるが、世界の競争の中でどのようにニュートリノ振動が発見されたのか、日本や名古屋大学の研究グループが世界中のニュートリノ研究にどう貢献してきたのかが、よくわかる特集記事になっている。熾烈な「国際競争」の中でノーベル物理学賞を受賞した2人の先生の研究成果が秀でていることはいうまでもないが、世界中の研究者による「国際競争」と「国際協力」がこうした偉大な成果の礎になっている。その中で、名古屋大学が重要な役割を果たしてきたことを誇らしく感じる。私たちの研究グループも大規模な国際共同研究を進めている。世界中の優秀な研究者との「国際競争」に苦しみ、「国際協力」を楽しみながら、偉大なる発見の当事者になろうと日々研究に励んでいる。(戸本誠)

## 表紙説明

スーパーカミオカンデ検出器(円筒)に降り注ぐニュートリノ(直線)と、捕らえられたチェレンコフリングのイメージ図。直線の色の変化は、ニュートリノの種類が飛行とともに変化していくさまを表し、ニュートリノ振動の存在をイメージしている。



## 理 philosophia

No.30  
 spring - summer 2016  
 2016年5月20日発行

広報委員 松本邦弘(研究科長)  
 杉山 直(副研究科長・評議員)  
 阿波賀邦夫(副研究科長)  
 栗田英資(数理学科)  
 福井康雄(物理学科)※委員長  
 戸本 誠(物理学科)  
 加藤祐樹(物理学科)  
 萩原伸也(化学科)  
 杉山 伸(生命理学科)  
 瀧口金吾(生命理学科)  
 林 誠司(地球惑星科学科)  
 齋藤勝行(事務長)

編集発行 名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報委員会  
 〒464-8602 名古屋市千種区不老町

ご意見、ご感想をお待ちしています。  
 本誌の原稿執筆や取材などにご協力いただける方を求めています。  
 広報委員会までご連絡ください。  
 なお、ご投稿などの採否については当委員会にお任せください。  
 次号は2016年10月頃発行の予定です。

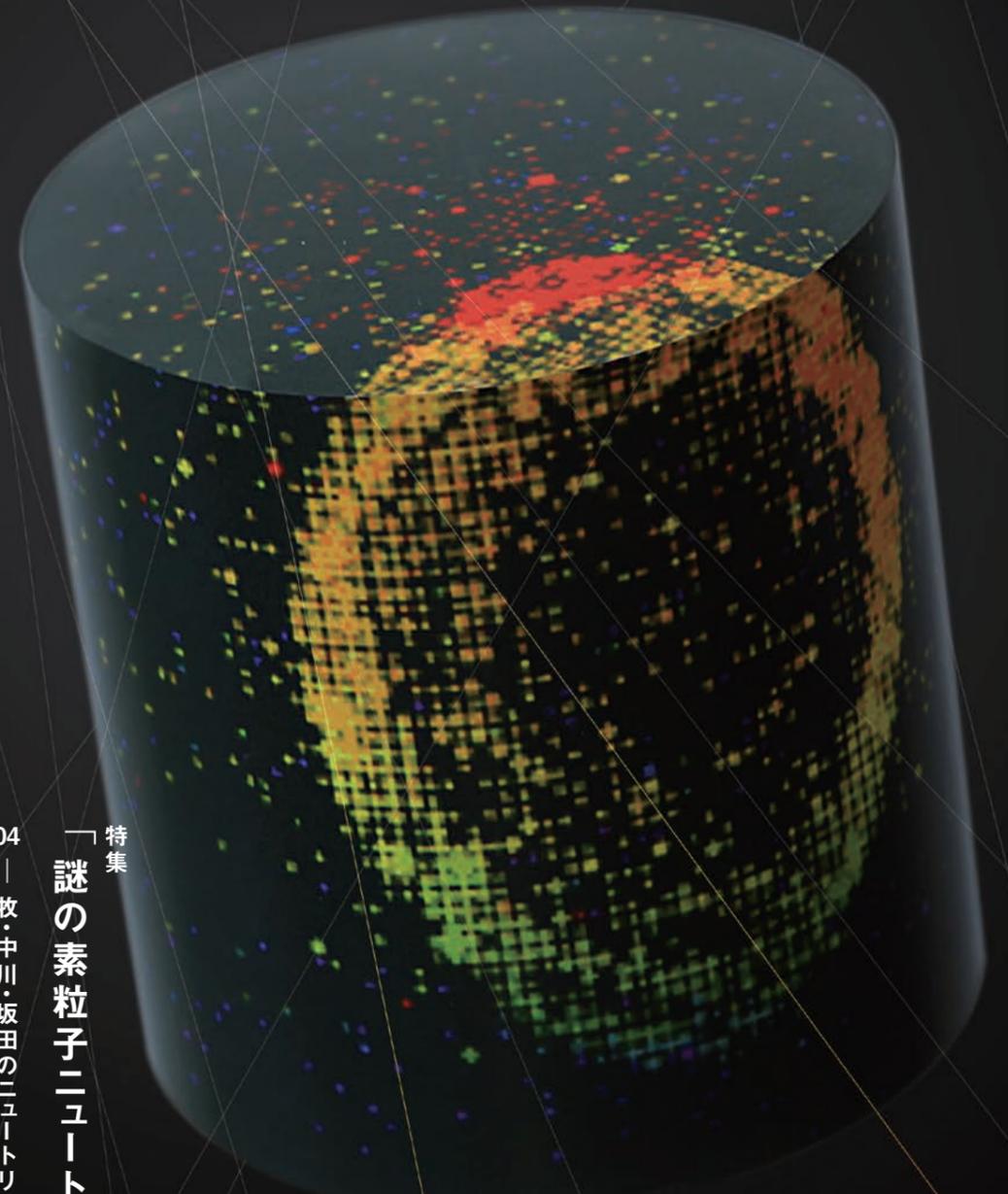
制作 株式会社電通  
 編集協力 株式会社コニエ  
 デザイン 株式会社ティ・エム・シー

・本誌記事、写真等の無断複写、転載を禁じます。 ISSN 1884-8486

TEL 052-789-2394 FAX 052-789-2800 E-mail kouhou@sci.nagoya-u.ac.jp URL http://www.sci.nagoya-u.ac.jp/kouhou/

22 理学部交差点  
 18 30号記念企画『理 philosophia』30号によせて  
 16 理学研究科・発 名古屋メダルセミナー  
 12 理の先端をいく 吉田英二 森島邦博  
 03 理のエッセイ 小田洋一  
 02 時を語るもの(能代 清博士) 松本幾久二  
 08 ニュートリノ振動発見の光跡をたどる 伊藤好孝  
 04 牧・中川・坂田のニュートリノ振動理論 棚橋誠治

## 「謎の素粒子ニュートリノ」 特集



# 理

名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報誌

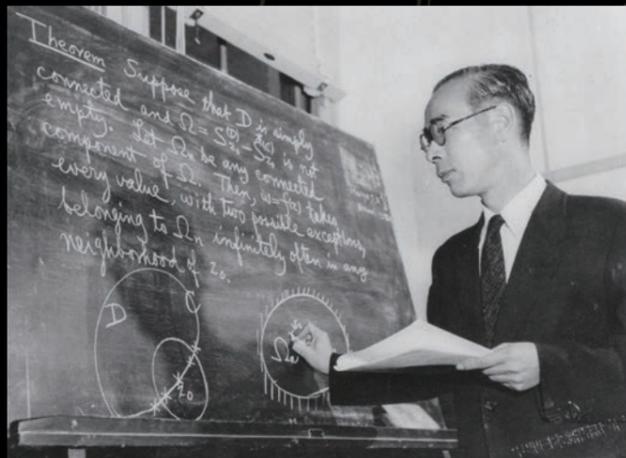
[理フィロソフィア]

spring - summer 2016

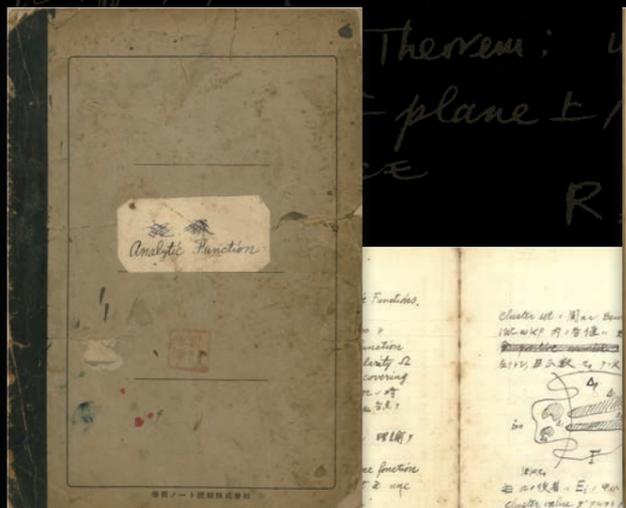
30

philosophia

# 能代清博士 — 函数論の可能性を広げる



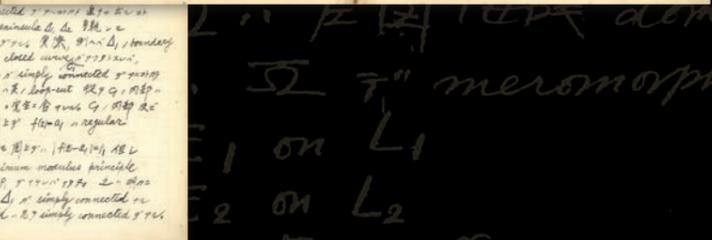
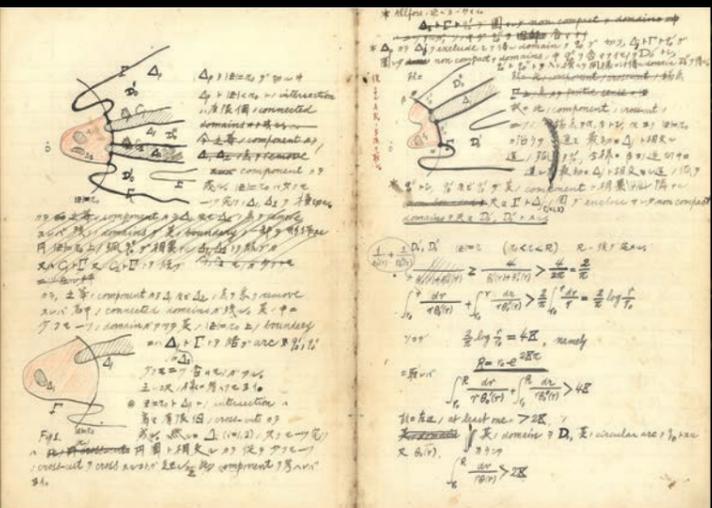
中日文化賞受賞時の能代清博士(写真提供:中日新聞社)



函数を実数の世界だけではなく、複素数の世界まで広げて考えると、とても興味深いことが起こります。たとえば、「ほぼ一般の函数は、その函数の値が決まらないような特異点のまわりで、はげしく振動しており、たかだか2つの例外的な値を除いたすべての値を無限回とる」という、ピカールが発見した重要な定理は大きな刺激となり、函数論に多くの発展をもたらしました。能代先生はそれを拡張したものと一般の状況での函数の値の分布を考え、国際的に活躍され、多くの業績を残されました。

先の戦争の末期、名古屋大学でも多くの研究室が学問を続け、まもるために疎開を余儀なくされました。能代研究室も信州松本に疎開して大変な苦勞をなさいました。このことは名古屋大学平和憲章の反戦思想に通じていると思います。多くの弟子を育てられましたが、学生などからは、「能代先生といえば、函数論、奥さん、お酒、釣」と親しみをこめていわれ、また、九ちゃんの「上を向いて歩こう」が好きな気さくない先生でした。

(松本幾久二 名古屋大学名誉教授)



能代清 (1906-1976)

元名古屋大学理学部教授  
第9回中日文化賞受賞(1956)



### ◇写真の説明

写真は、1947年数学会での発表のための手書きのノート。本文であげた、ほぼ一般の函数とは、(多項式)分の(多項式)を少し拡張した有理型函数というもので、ピカールの定理は、孤立した特異点の近くでの函数の値の分布に関する性質である。集積値集合論は、もっと一般の状況での値の分布を考えるというもので、能代博士は、領域の境界上に特異点がちらばっている状態での値の分布の考察などを行っている。それらは博士の著書、『近代函数論』(岩波書店、1954)やCluster sets, Springer 1960 などでも解説されている。

# わが師・塚原仲晃

小田洋一 名古屋大学名誉教授

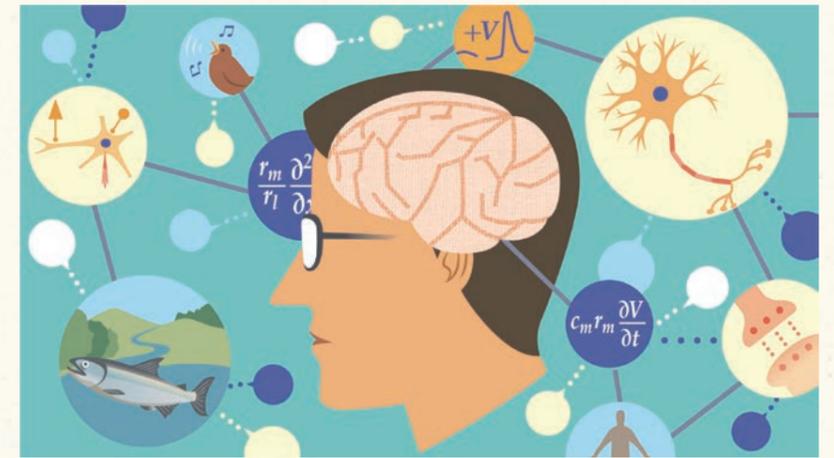


Illustration: Mari Kaneko

今から30年前、我々は一人の神経科学者を突然失った。塚原仲晃(なかあきら)である。塚原は東大医学部を卒業し36歳の若さで大阪大学基礎工学部の教授になって間もなく、脳が損傷するとそれを補償する新しいシナプスが形成される「シナプス新生」を見出し、世界の注目を集めた。神経細胞に新しくできたシナプスを見出す手法が優れていた。当時はシナプスを同定しようとするれば、数千枚の超薄切片(厚さ50ナノメートル)を作成し再構成しなくてはならなかった。塚原は神経細胞の電気的なケーブル特性に着目して、シナプス電位のかたちからそれを生み出すシナプスの位置を推定した。もともと数学科を志望した塚原ならではの手法である。私が受けた講義では、そのケーブル方程式やホジキン・ハクスレイ方程式を資料なしで黒板に書きながら解いて見せた。「シナプス新生」は、その後、学習でも起こることが示され、記憶を形成するメカニズムとして確立した。

日本の生理学が哺乳動物一辺倒の医学志向であった中で、塚原は鳥の歌学習や刷り込み、サケの母川回帰、アメフラシやウミウシの学習など、行動学なども含めた広い視野をもっていた。穏やかである一方、データやその解釈では妥協を許さず、「叱られなくなったら終わり」と厳しく指導されたのが私である。研究の絶頂期、1985年8月12日日航機墜落事故で突然亡くなった。51歳であった。身近に接していたときは、先生の研究手法や論理の組み立てはごく普通のことに思っていた。しかし、数学、システム学、生理学、分子生物学、行動学、生態学など幅広い研究に精通し、それを自分の研究に取り込んだ研究者が国際的にも極めてまれであったことを、私自身が定年退職する今になって痛感している。死後しばらくして書き残された原稿が見つかり、『脳の可塑性と記憶』(岩波現代文庫)にまとめられた。豊富な知識とみずみずしい発想で綴られた文章は新鮮で魅力的である。若い方々にご一読をお勧めする。

Yoichi Oda

1951年生まれ。大阪大学基礎工学部生物工学科、パリのパスツール研究所 招聘研究員、大阪大学大学院生命機能研究科助教授を経て、2005年より名古屋大学大学院理学研究科教授。専門は神経生理学。2016年3月、定年退職。

半世紀前に牧二郎氏、中川昌美氏、坂田昌一氏によって提唱された「ニュートリノ振動」の発見と、それによりニュートリノが質量をもつことを発見した業績により、梶田隆章氏とアーサー・B・マクドナルド氏の2人が2015年のノーベル物理学賞を受賞した。ニュートリノ振動の提唱から発見までのエピソードを振り返りながら、この発見のもつ科学的な意義と今後の新しい挑戦について解説する。

## 牧・中川・坂田のニュートリノ振動理論

棚橋誠治 素粒子宇宙物理学専攻教授



Masaharu Tanabashi

1964年生まれ。1992年名古屋大学大学院理学研究科博士課程修了。博士(理学)取得。高エネルギー物理学研究所日本学術振興会特別研究員、客員研究員、助手、東北大学大学院理学研究科助教授を経て、2007年より現職。専門は素粒子理論とくに素粒子現象に興味をもち、標準模型を超える物理の可能性について理論研究を行う。

### 時間とともに変化する「フレーバー」(香り)

本稿では、ニュートリノ質量と混合(牧・中川・坂田混合)がどのようにフレーバー振動を引き起こすかについて解説し、その背景にあるにも関わらず未解明である素粒子世代の謎とクォーク・レプトン対応の謎について、意義を説明したい。

ニュートリノは中性微子ともよばれ、名前のおとおり、電荷をもたないきわめて軽い粒子である。電気的に中性であるだけでなく原子核との強い相互作用も感じないので、いったんニュートリノが生成されるとまわりの物質にほとんど遮られることなく透過していく。

ニュートリノは3つの荷電レプトン(電子 $e^-$ 、

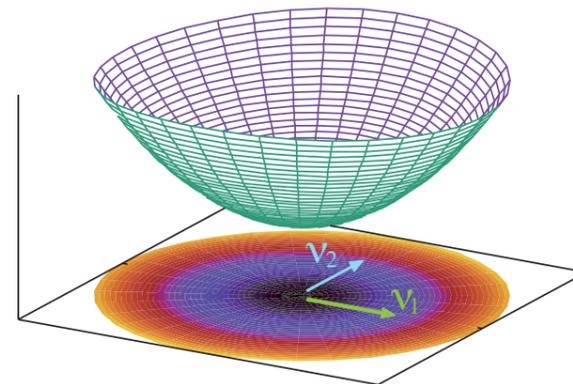
ミュー粒子 $\mu^-$ 、タウ粒子 $\tau^-$ )に対応する3つの区別の「フレーバー」(香り)をもつ。もちろん、素粒子であるニュートリノが五感としての意味の「香り」をもっているわけではない。単に、陽電子(電子の反粒子)とともに生成されるニュートリノを電子フレーバーのニュートリノ( $\nu_e$ )とよび、反ミュー粒子( $\mu^+$ )とともに生成されるニュートリノを $\mu$ フレーバーのニュートリノ( $\nu_\mu$ )と呼ぶのである。 $\nu_e$ が原子核に衝突すると電子に変身し、 $\nu_\mu$ からはミュー粒子( $\mu^-$ )ができる。もし、ニュートリノのフレーバーが一連の素粒子反応の途中で変化することがなれば、 $\nu_e$ はいつでも $\nu_e$ として、 $\nu_\mu$ はいつでも $\nu_\mu$ として観測されることになる。

これに対し、ニュートリノは時間とともにフレーバー振動現象を起こしていることが実験によって明らかになった。つまり、時刻 $t=0$ で $\nu_e$ だったニュートリノのフレーバーを後の時刻 $t>0$ で測定すると、 $\nu_\mu$ に変化する確率がゼロではないこと、さらには、その確率が周期的に変化、つまり振動していることが明らかになったのである。

### ニュートリノ振動の要件

ニュートリノのフレーバーが周期的に変化する現象は、量子力学的な干渉効果によるものであり、その説明には量子力学の言葉が必須である。

図1 わずかに歪んだお碗の内面  
このお碗の内面の高さを着色した等高線として描いた地形図も付けてある。お碗の底から $\nu_1$ 方向に射出した質点は、一直線上に単振動(振動数 $\omega_1$ )する。 $\nu_2$ 方向に射出した質点も一直線上に単振動するが、その振動数 $\omega_2$ はわずかに $\omega_1$ よりも大きい。



前述のように、実際にはニュートリノのフレーバーの区別は3つあるが、ここでは説明を簡単化するために、フレーバーの区別が2つ(電子フレーバーと $\mu$ フレーバー)の場合のニュートリノ振動を考える。ニュートリノにフレーバー振動が起きるための要件は、2種類のニュートリノ $\nu_1$ と $\nu_2$ が存在し、(1)「 $\nu_1$ と $\nu_2$ に質量差があること」と(2)「ニュートリノがフレーバー混合を起こしていること」の2点である。要件(2)のフレーバー混合とは、ニュートリノ $\nu_1$ 、 $\nu_2$ が、電子フレーバーをもつニュートリノ $\nu_e$ と $\mu$ フレーバーをもつニュートリノ $\nu_\mu$ の量子力学的な重ね合わせであることを意味する。量子力学での状態は位相をもって振動しており、その振動数は状態のエネルギーによって決まる。同じ運動量 $\vec{p}$ をもつ状態であれば、アインシュタインの関係 $E^2=\vec{p}^2c^2+m^2c^4$ によって、質量 $m$ が違えばエネルギー(振動数)も異なる。したがって、ニュートリノ $\nu_1$ の状態の量子力学的振動数 $\omega_1$ とニュートリノ $\nu_2$ の状態の振動数 $\omega_2$ とは異なることを覚えておいてほしい。

### 身近な物理法則を使った類推

ニュートリノのフレーバー振動を起こすのに、どうして(1)と(2)の要件が必要なのか、ここでは、量子力学の状態の振動を、よりイメージしやすい古典的な単振動に置き換えて説明することを試みたい。

図1に示されるパラボロアンテナ型のお碗の内面でなめらかに運動する質点を考えてみよう。このお碗の底の点から、図の $\nu_1$ 方向に射出した質点は、お碗を上りきった後にもと来た道を引き返す単振動(振動数 $\omega_1$ )を起こす。このお碗はわずかに歪んでおり、 $\nu_1$ 方向と直交する $\nu_2$ 方向は、斜面の傾きが急に

なっている。そのため、この方向に質点を射出するとわずかに高い振動数 $\omega_2$ ( $\omega_2>\omega_1$ )で一直線上の単振動が起きる。このお碗の歪みが要件(1)の $\nu_1$ と $\nu_2$ の質量差に対応する。このアナロジーでは、要件(2)「フレーバー混合」はどのように表されるのだろうか。お碗の等高線を描いた図2を見てほしい。要件(2)「フレーバー混合」は、図2においてはベクトル $\nu_e$ (ベクトル $\nu_\mu$ )が、ベクトル $\nu_1$ とベクトル $\nu_2$ の合成で表現される。質点を $\nu_1$ 方向や $\nu_2$ 方向ではなく、 $\nu_1$ から角度 $\theta_{\text{MNS}}$ だけ傾いた $\nu_e$ 方向

に射出することでフレーバー混合を表すのである。この記事の冒頭で触れたように、このような重ね合わせの自由度は、1962年に牧・中川・坂田によりはじめて導入された。そこで、角度 $\theta_{\text{MNS}}$ をMaki-Nakagawa-Sakata(MNS)混合角とよぶことにしよう(タウ粒子フレーバーまで合せて3フレーバーの混合を考える場合には、図3の式で示すように3種類の混合角 $\theta_{12}$ 、 $\theta_{23}$ 、 $\theta_{13}$ 、とCP対称性の破れを表す位相パラメータ $\delta$ で記述される3行3列の行列が必要になる。この行列はMNS行列とよばれる)。

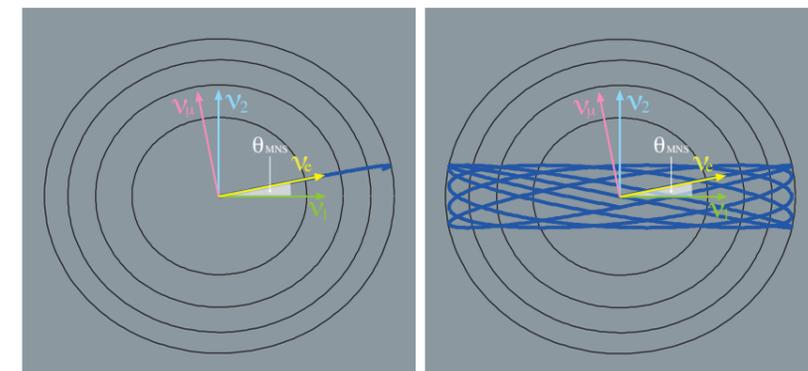


図2 お碗の内面での質点の運動  
図1のお碗の底から斜め方向( $\nu_e$ )方向に質点を射出する(左側図)。お碗の歪みによって、この質点には一直線上の運動からカーブさせようとする力が働き、その軌道はリサージュ図形(右側図)を描く。質点の射出方向 $\nu_e$ が、ベクトル $\nu_1$ とベクトル $\nu_2$ の合成で表されることが、ニュートリノのフレーバー混合を表している。

$$U_{\text{MNS}} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_{23} & \sin \theta_{23} \\ 0 & -\sin \theta_{23} & \cos \theta_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_{13} & 0 & \sin \theta_{13} e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_{13} e^{i\delta} & 0 & \cos \theta_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_{12} & \sin \theta_{12} & 0 \\ -\sin \theta_{12} & \cos \theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{12} \cos \theta_{13} & \sin \theta_{12} \cos \theta_{13} & \sin \theta_{13} e^{-i\delta} \\ -\sin \theta_{12} \cos \theta_{23} - \cos \theta_{12} \sin \theta_{23} \sin \theta_{13} e^{i\delta} & \cos \theta_{12} \cos \theta_{23} - \sin \theta_{12} \sin \theta_{23} \sin \theta_{13} e^{i\delta} & \sin \theta_{23} \cos \theta_{13} \\ \sin \theta_{12} \sin \theta_{23} - \cos \theta_{12} \cos \theta_{23} \sin \theta_{13} e^{i\delta} & -\cos \theta_{12} \sin \theta_{23} - \sin \theta_{12} \cos \theta_{23} \sin \theta_{13} e^{i\delta} & \cos \theta_{23} \cos \theta_{13} \end{pmatrix}$$

図3 3フレーバーのMNS行列  
3フレーバーのニュートリノ混合を表すMNS行列のうち、ニュートリノ振動に関連する部分。3つの混合角 $\theta_{12}$ 、 $\theta_{23}$ 、 $\theta_{13}$ と粒子反粒子非対称性(CP対称性の破れ)を引き起こすパラメータである $\delta$ で書かれるこの行列を用いて、 $\nu_e$ 、 $\nu_\mu$ 、 $\nu_\tau$ の各状態が $\nu_1$ 、 $\nu_2$ 、 $\nu_3$ の量子力学的な重ね合わせであることが記述される。

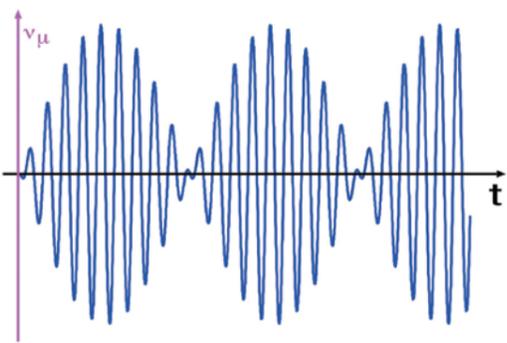


図4 質点位置の  $\nu_\mu$  成分  
図2のように質点を斜め方向に射出した場合の質点位置の  $\nu_\mu$  成分の時間 (t) 依存性ニュートリノが  $\mu$  フレーバーに変化する確率  $P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu)$  はこのグラフの包絡線の二乗で表される。

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) = \sin^2 2\theta_{MNS} \sin^2 \left( \frac{\Delta m^2 c^3}{2\hbar E} L \right)$$

図5 ニュートリノフレーバーの確率変化  
 $\nu_e$  として生成されたエネルギー  $E$  のニュートリノが、距離  $L$  だけ飛行したのちに  $\nu_\mu$  として測定される確率はこの式によって与えられる。エネルギー  $E$  と距離  $L$  を変えて実験することで、混合角  $\theta_{MNS}$  とニュートリノ質量の二乗差  $\Delta m^2$  が求められることがわかる。

では、時刻  $t=0$  で純粋に電子フレーバーをもっていたニュートリノが、その後どのように時間発展するかを考えよう。お椀の歪みによって、この質点には単一直線上の運動からカーブさせる力が働く。図2左側の青線のように射出された質点は、その後、図2右側に示されるリサージュ図形とよばれる複雑な軌道をたどる。リサージュ図形の運動の方向には  $\nu_\mu$  方向の成分も存在するため、ニュートリノが  $\mu$  フレーバーに変化する確率が生じるのである。時刻  $t$  において質点が  $\nu_\mu$  方向のどの位置にいるかを図4に示す。ニュートリノ状態のフレーバーを測定すると、フレーバーである確率が周期的に変化することがわかる。つまり、ニュートリノには、フレーバー振動が起きるのである。

ニュートリノが  $\mu$  フレーバーに変化する確率  $P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu)$  はこのグラフの包絡線の二乗で表される。このようなフレーバー振動がおきる本質は、わずかに振動数の異なる2つの振動 ( $\nu_1$  方向の振動と  $\nu_2$  方向の振動) の重ね合わせで生じる「うなり」に他ならない。ニュートリノはほぼ光速  $c$  で飛行するので飛行距離  $L$  を用いて時間  $t=L/c$  を書き直すことができ、図5の式が得られる。ここで、 $\Delta m^2$  はうなりが生じるために必要なニュートリノ質量の二乗差であり、 $E$  はニュートリノのエネルギー、 $c$  は光速である。この式を見ると、ニュートリノ源からの測定器の距離 (ニュートリノの

飛行距離)  $L$  やニュートリノのエネルギー  $E$  に応じて確率が変化することがわかる。逆にいうと、距離  $L$  やエネルギー  $E$  を変えて実験することによって、混合角  $\theta_{MNS}$  や質量の二乗差  $\Delta m^2$  が求められることがわかる。

### 素粒子の世代構造とクォーク・レプトン対応

なぜニュートリノ質量や混合の有無がそれほど重要であるのか、訝しく感じになる方も多いのではないかと思う。実は、ニュートリノの質量や混合の有無は、素粒子の大統一理論や現在の宇宙の成り立ちに深く関係している可能性が高いのである。

現在の素粒子標準理論に含まれるすべての物質粒子 (フェルミオン) のリストを図6に示す。ここで、u、d、c、s、t、b は「クォーク」と総称される素粒子で、強い相互作用の「カラー」(色) とよばれる量子数と、電磁相互作用の電荷の量子数をもつ。一方、 $\nu_1$ 、

$e^-$  (電子)、 $\nu_2$ 、 $\mu^-$ 、 $\nu_3$ 、 $\tau^-$  は「レプトン」と総称され、こちらはカラーをもたず白色であるため強い相互作用を感じない。

この素粒子の表を見て、だれもが気づくのは A: コピーのように同じカラーや電荷をもつ素粒子が複数 (3コピー) 存在していること。つまり、素粒子に3世代の世代構造があること。

B: 各世代にクォークとレプトンが1対1対応をしていること。つまり、1つのレプトンに対し、カラー (赤緑青) を持つクォークが対応して必ず存在していること。

この2つの性質であろう。ニュートリノ混合のような素粒子の世代間混合が起きるためには、Aの性質 (素粒子の世代構造) が本質的である。また、レプトン (ニュートリノ) の牧・中川・坂田混合に対応して、クォークにも有名な小林・益川混合 (2008年ノーベル物理学賞) があり、素粒子の世代間混合は、Bの性質 (クォーク・レプトン対応) にも示唆を与えている。

|      |   |                  |
|------|---|------------------|
| 第1世代 | <span style="color:red">u</span> <span style="color:red">d</span> <span style="color:green">u</span> <span style="color:green">d</span> <span style="color:blue">u</span> <span style="color:blue">d</span> | $\nu_1$ $e^-$    |
| 第2世代 | <span style="color:red">c</span> <span style="color:red">s</span> <span style="color:green">c</span> <span style="color:green">s</span> <span style="color:blue">c</span> <span style="color:blue">s</span> | $\nu_2$ $\mu^-$  |
| 第3世代 | <span style="color:red">t</span> <span style="color:red">b</span> <span style="color:green">t</span> <span style="color:green">b</span> <span style="color:blue">t</span> <span style="color:blue">b</span> | $\nu_3$ $\tau^-$ |
| 電荷   | $\frac{2}{3} \quad -\frac{1}{3} \quad \frac{2}{3} \quad -\frac{1}{3} \quad \frac{2}{3} \quad -\frac{1}{3}$  | 0 -1             |
|      | <b>クォーク</b>   | <b>レプトン</b>      |

図6 物質粒子のリスト  
カラー (色) の量子数をもつフェルミオンはクォークとよばれ、カラーの量子数をもたないフェルミオンはレプトンとよばれる。この表では、クォーク (u アップ、d ダウン、c チャーム、s ストレンジ、t トップ、b ボトム) は、カラーの量子数に対応する色 (赤緑青) を付けた文字で表し、レプトン (3種類のニュートリノ  $\nu_1, \nu_2, \nu_3$  と、電子  $e^-$ 、 $\mu^-$  ミュー粒子、 $\tau^-$  タウ粒子) は色を付けない文字で表した。電荷は電気素量 (電子の電荷の絶対値) を単位として表している。

素粒子の世代構造は、我々に元素の周期律を思い起こさせる。周期律の背後に豊富な原子物理学の世界が広がっていたように、素粒子の世代構造には、超弦理論のような深い物理が関係しているのかもしれない。クォーク・レプトン対応の起源として、現在もっとも有望視されているのは、クォークとレプトンを統一する大統一模型である。この模型が正しければ、陽子が陽電子 (あるいは  $\mu^+$ ) などに崩壊する現象が予想される。カミオカンデ実験などでの重要な探索テーマであるがまだ実験的に発見されていない。陽子崩壊のさらなる探索、クォーク質量やその混合行列 (小林・益川 (KM) 行列)、ニュートリノ質量とその混合行列 (MNS 行列) の今後の測定によって、クォーク・レプトン対応の起源の理解に、重要なヒントが得られることが期待されている。

クォーク・レプトン対応はまた、この宇宙の成り立ちの理解にも重要な示唆を与える。我々の身のまわりは物質ばかりなのに、宇宙に反物質がほとんど存在していないのはいったいどうしてなのだろうか。この問題 (宇宙の物質・反物質非対称問題とよぶ) での宇宙の物質密度・反物質密度は、それぞれ、クォーク数密度・反クォーク数密度と読み替えることができる。一方、素粒子標準理論での宇宙初期の高温環境下では、前述のクォーク・レプトン対応の帰結として、クォークの数とレプトンの数を同時に変化させるスファレロン過程とよばれる過程が頻繁に起きていたことが理論的に解明されている。つまり、もともとクォーク側の非対称が小さくても、ニュートリノ・反ニュートリノの非対称が十分にあれば、宇宙の物質・反物質非対称問題を説明できるのである。宇宙の物質・反物質非対称の起源は、ニュートリノの性質に密接不可分に結びついているものと考えざるをえない。このような理論構築の観点からも、ニュートリノの性質の精密測定は極めて興味深い。



図7 当時の名古屋大学素粒子論研究室  
牧・中川・大貫・坂田らが、坂田模型粒子 p, n,  $\Lambda$  (現在の u, d, s クォークに対応) の SU(3) 対称性と、レプトンとの対応を議論している様子。

### 1962年のニュートリノ振動の予言

1962年の牧・中川・坂田によるニュートリノ振動に関する論文は、1955年の「坂田模型」をベースとして書かれた論文である。坂田模型は、その後、クォーク模型に置き換えられることになるが、有用な数学構造である SU(3) 対称性の発見によって、当時の日本の素粒子論グループは、素粒子の世代構造やクォーク・レプトン対応の性質に世界中の誰よりも早く着目していたといえる (図7)。

1960年には、坂田模型粒子 (現在のクォークに相当) の混合理論がゲルマンとレヴィによって提案されていた。また、1962年にはニュートリノに電子フレーバーと  $\mu$  フレーバーの区別があることを示すことを意図したレーダーマンらの実験 (1988年にノーベル物理学賞を受賞) が実施されている状況であった。このような状況のもと、牧・中川・坂田は、ゲルマン・レヴィの混合理論をニュートリノに適用し、その振動がレーダーマンらの実験で検証される可能性を指摘したのである。成功の要因としては、(1) 独自のアイデア (坂田模型)、(2) 見通しのよい議論 (SU(3) 対

称性)、(3) 外部のアイデア (粒子混合) の導入、(4) 偏見 (ニュートリノが質量をもたないとの思い込み) の排除、(5) 実験計画への展望 (レーダーマンらの実験など実験研究の動向への関心) の5点が重要だったのではないだろうか。牧・中川・坂田のニュートリノフレーバー混合理論は、ニュートリノの質量差が極めて微小だったため、残念ながら1962年のレーダーマンらの実験では検証されなかったが、30年以上のときを経て、ようやく実験的に証明されたことになる。我々が今後研究を進めるうえで学ぶべきことは多い。

この解説では、量子力学的な現象であるニュートリノ振動を、古典力学でのアナロジーを用いて説明した。また、ニュートリノ質量と混合の精密測定が素粒子物理の未解決の謎の解明に資することを論じた。紙面の制約もあり、どのくらい正確にこれらをお伝えできたか心もとないが、今回のノーベル物理学賞を契機に、多くのかたに量子力学や素粒子物理学の未解決問題に興味をもっていただければ幸いである。

# ニュートリノ振動発見の光跡をたどる

伊藤好孝 宇宙地球環境研究所教授

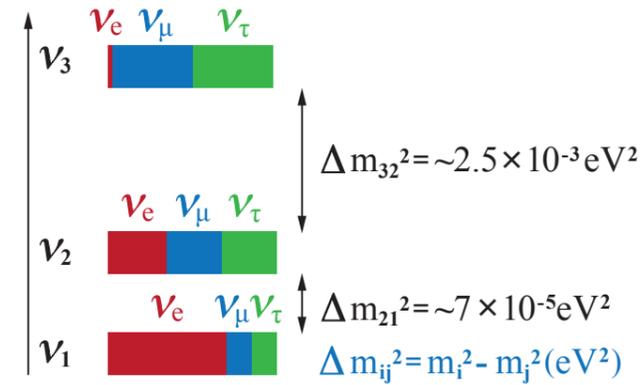


図1 ニュートリノ混合  
3種類のニュートリノ(質量 $m_1, m_2, m_3$ をもつ)が、それぞれ異なる割合で、3つのフレーバー状態、電子ニュートリノ(赤)、ミューニュートリノ(青)、タウニュートリノ(緑)が混じった状態になっている。混合の状態は、3つの混合角と2つの質量差(の二乗)、さらにCP非保存を起こす6個の変数で決まる。

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2 2\theta \sin^2 \left( 1.27 \times \frac{\Delta m^2 L}{E} \right)$$

図2 ニュートリノ振動確率の数式  
ニュートリノ振動長は、ニュートリノのエネルギーに比例し、質量二乗差に反比例する。たとえば、質量二乗差が1 eV/c²の場合に、1GeVのニュートリノ振動長は約2.5kmとなり、混合角 $\theta=45$ 度のときニュートリノのフレーバーは完全に入れ替わる。



Yoshitaka Ito

1965年名古屋生まれ。1995年京都大学大学院理学研究科単位取得退学。東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設助手、助教を経て、2005年名古屋大学太陽地球環境研究所教授。2015年組織改組により現職。専門は宇宙線相互作用、ニュートリノ、暗黒物質など、宇宙と素粒子の境界分野の実験に取り組む。

## ニュートリノとニュートリノ振動

梶田隆章氏のニュートリノ振動発見の原動力となったのは、岐阜県の神岡鉱山地下千メートルにある超純水をたたえたニュートリノ観測装置、カミオカンデとその後継装置スーパーカミオカンデである。筆者は1995年からスーパーカミオカンデ建設に携わり、共同研究者として梶田氏と一っしょに大気ニュートリノの研究を行い、ニュートリノ振動発見の現場に関わる傍観者を得た。本稿では、ニュートリノ振動発見の現場を振り返りながら、この発見のもつ科学的な意味と今後の展開について解説したい。

ニュートリノには3種類の荷電レプトン(電子、ミューオン、タウ)に対応して3つのフレーバー(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)が存在する。一方、3種類の異なるニュートリノは、異なる質量 $m_1, m_2, m_3$ をもつ。ある質量をもったニュートリノが、フレーバーの混じった状態であることを「ニュートリノ混合」とよび、このとき、生成時のニュートリノのフレーバーが飛行中に変化する「ニュートリノ振動」が起こる。

ニュートリノ振動を特徴付けるパラメーターは、3種類の質量(の二乗) $m_1^2, m_2^2, m_3^2$ の間の差 $\Delta m_{21}^2$ と $\Delta m_{32}^2$ 、3種類のニュートリノに対する3つのフレーバーの混合度を角度で表した、 $\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13}$ と、CP対称性(物質と反物質との対称性)の破れを引き起

こすパラメーター $\delta$ がある(図1)。ここで、簡略化するために、質量二乗差 $\Delta m^2$ をもつ2種類のニュートリノが、2つのフレーバー状態、ミュー型とタウ型と混合角 $\theta$ で交じり合っている場合を考える。エネルギー $E$ (GeV)をもつミューニュートリノが $L$ (km)飛行後にタウニュートリノとして観測される確率 $P$ は図2の式のように求められる。

## ニュートリノ振動発見前夜

ニュートリノ振動の最初のヒントは、太陽ニュートリノにさかのぼる。太陽では、4個の水素原子核(陽子)がヘリウム原子核に核融合してエネルギーをつくり出す。その際に大量の電子ニュートリノが放出される。このニュートリノは、1970年頃にデービスらによって初めて検出されたが、その量は期待値の3割しかなかった。これが太陽ニュートリノ問題である。

1983年から始まった小柴昌俊氏率いるカミオカンデは、3000トンの水タンク(有効体積1000トン)の内壁に20インチ光電子増倍管を敷き詰め、水中で荷電粒子がリング状に発するチェレンコフ光を観測する装置で1988年頃太陽ニュートリノの欠損を確認した。ただし、その量は予想の約半分でデービスの観測結果とは微妙に食い違う。カミオカンデは、1987年2月24日に起こった超新星1987aからのニュートリノバーストを検出し、小柴氏は太陽ニュートリノ観測の業績と合わ

せてデービスとともに、「ニュートリノによる天文学の創始」という理由で2002年ノーベル物理学賞を受賞することになる。

一方、カミオカンデ本来の実験目的である陽子崩壊の検出をめざして、そのバックグラウンド事象となる大気ニュートリノ事象の弁別に取り組んでいたのが、当時小柴研の大学院生の梶田氏だった。大気ニュートリノは、宇宙線が大気原子核と反応して生成する荷電パイ中間子から主に生成される(図3)。この時、1個の荷電パイ中間子の崩壊からミューオンと(反)ミューニュートリノが生まれ、さらに続けてミューオンの崩壊から電子、

(反)電子ニュートリノ、ミューニュートリノが生成されるため、ミューオン型と電子型の比は単純には必ず2:1となる。図4に示すように、ミューオンがつくるチェレンコフ光はくっきりとしたリングを描くが、電子の場合は水中で起こす電磁シャワーからの光の重ね合わせになるため、縁がぼやけたリングになる。梶田氏はチェレンコフリングの形状から電磁シャワーとミューオン型リングを弁別する解析手法の開発を進め、その性能チェックのために1リングの大気ニュートリノ事象に適用してみた。ところが、電磁シャワー型(電子型)とミューオン型の数はほぼ1対1になった。

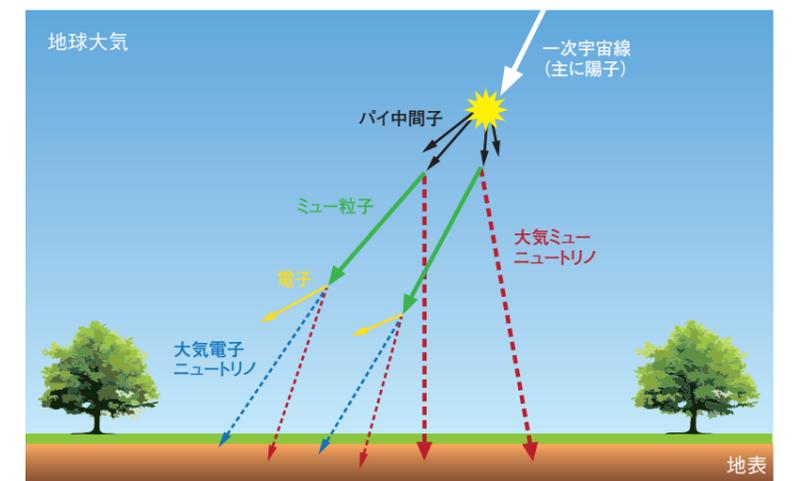
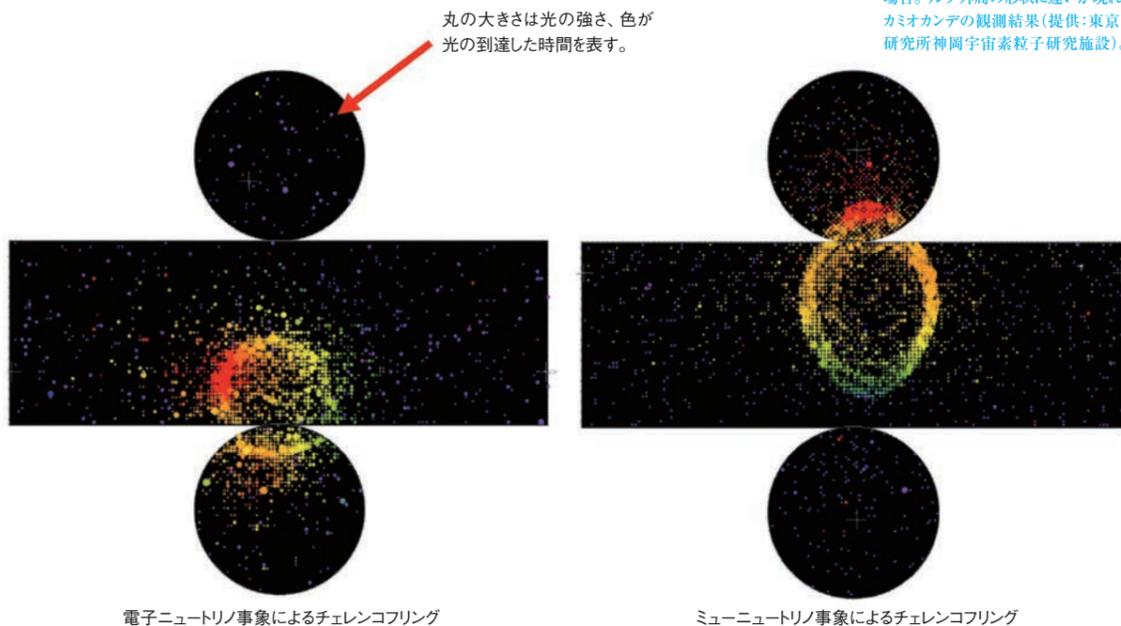


図3 大気ニュートリノの生成  
宇宙線が大気に衝突すると、原子核反応により、パイ中間子(実線:黒)が生成される。電荷をもったパイ中間子はミュー粒子(実線:緑)とミューニュートリノ(点線:赤)へ崩壊、さらにミュー粒子は電子(実線:黄)と電子ニュートリノ(点線:青)とミューニュートリノへ崩壊する。合計でミューニュートリノと電子ニュートリノの比は常に2対1となるはずである。

図4 大気ニュートリノによるチェレンコフリング  
電子(左)、またはミュー粒子(右)が生成された場合。リング外周の形状に違いが現れる。スーパーカミオカンデの観測結果(提供:東京大学宇宙線研究所神岡宇宙粒子研究施設)。



これらは大気ニュートリノ中のミューニュートリノと電子ニュートリノの比( $\mu/e$ 比)が予想と合わないことを示していた。1990年代に入り、カミオカンデはニュートリノ振動長が長くなる比較的高いエネルギー(1.33GeV以上)のニュートリノだけを選び、 $\mu/e$ 比の天頂角依存性を調べ、上空から下向きにcomingニュートリノに比べ、地球の裏側から来る長距離を飛んだニュートリノの方が $\mu/e$ 比が小さいことを示唆する結果を示した。これはニュートリノ振動の特徴を示唆しているが、決定的な証拠とするにはまだ統計誤差が大きかった。

### ニュートリノ振動の発見

1996年に50000トン(有効体積22500トン)の巨大な水チェレンコフ検出器スーパーカミオカンデが完成し観測を開始した。スーパーカミオカンデの実現とその後の舵取りを担ったのは、小柴氏の弟子の戸塚洋二氏である。スーパーカミオカンデの有効体積はカミオカンデの約20倍で、壁面の光電子増倍管の密度も倍に加え、高統計で高解像度のチェレンコフリングの観測が可能になった。わずか半年の観測で従来の大気ニュートリノ観測を

凌駕する統計精度に達し、大気ニュートリノの観測精度は飛躍的に向上した。梶田氏をリーダーとする大気ニュートリノ解析グループが立ち上がり、チェレンコフリング形状によるミューオンタイプ/電子タイプの識別により、期待値より小さな $\mu/e$ 比の観測結果はすぐに再確認できた。図5に示すように、到来方向の天頂角分布は、電子ニュートリノでは予想とよく一致するが、ミューニュートリノでは、地球の裏側から来る上向きニュートリノが約半分に減っていることが確認できた。他にもさまざまな観測量すべてがミューニュートリノとタウニュートリノとの間のニュートリノ振動を矛盾なく示していた。これらの結果は、1998年に高山で開催されたニュートリノ国際会議で梶田氏自身の手によって発表された。大気ニュートリノにおいてニュートリノ振動が起こっている証拠となる観測結果を淡々と示し続けた講演が終わると、聴衆のスタンディングオベーションとともに拍手は長く鳴り続けた。

一方、太陽ニュートリノ欠損については、スーパーカミオカンデの高統計のデータでその欠損は確認されたものの、大気ニュートリノの上下非対称性のような、ニュートリノ振動

でなければ説明できない決定的な証拠がすぐに得られなかった。カナダのサドバリー鉱山につくられた、サドバリーニュートリノ観測所(SNO:Sudbury Neutrino Observatory)は、1000トンの重水を使ったスーパーカミオカンデと同タイプの水チェレンコフ検出器を設置している。この検出器の特徴は、ニュートリノと重水中の重陽子(d)との反応を用いるため、電子ニュートリノ( $\nu_e$ )のみとの反応(荷電カレント反応)と、ニュートリノの種類によらない反応(中性カレント反応)を識別して測定できるという点にある。ニュートリノ振動では、ニュートリノのフレーバーが変化するだけで3種のフレーバーの総和は同じなので、荷電カレント反応は予想より少なくなり、中性カレント反応の数は変わらない。2000年に、SNO実験はこの2つの量を比較して、太陽ニュートリノ中に電子ニュートリノ以外のニュートリノが存在すること、また、3種のフレーバーのニュートリノの総和は太陽の核融合モデルの予想とよく一致することを示し、太陽ニュートリノでニュートリノ振動が起こっていることを証明した。太陽ニュートリノで見つかった電子ニュートリノ振動は、KamLAND実験が

原子炉からの反電子ニュートリノの振動として2003年に確認した。太陽ニュートリノ振動の発見をめぐる競争は紙一重だった。

### ニュートリノ振動のその後と今後

1980年代後半の大気ニュートリノ異常の問題に触発されて、加速器でつくった人工ミューニュートリノビームによってニュートリノ振動を探索する実験が世界各地で立ち上がりつつあった。

K2K実験は、つくばの高エネルギー加速器研究機構12GeV陽子シンクロトロンで生成したミューニュートリノを、250km離れたスーパーカミオカンデに打ち込み、2003年に人工ニュートリノビームでニュートリノ振動を確認した。その後継のT2K実験は、東海村に新たに建設された大強度加速器J-Parc陽子シンクロトロンで生成されたミューニュートリノビームを290km離れたスーパーカミオカンデへ打ち込み、2012年にミューニュートリノビームがタウニュートリノへ振動する際、一部が電子ニュートリノへ振動する3種のフレーバーをまたぐ振動を初めて確認し、3番目の混合角 $\theta_{13}$ の値を測定した。 $\theta_{13}$ の測定は、原子炉からの反電子ニュートリノが数kmの距離で数%減少する効果として、Double Chooz実験などにより同時期に行われている。

名古屋大学の基本粒子研究室は、原子核乾板の特徴である高分解能の素粒子飛跡検出を生かして、タウニュートリノがつくるタウ粒子の非常に短い崩壊飛跡を同定する手法を編み出していった。ミューニュートリノビームには存在しないはずのタウニュートリノの証拠が確認できれば、ニュートリノが振動によって別のフレーバーのニュートリノへ変化した決定的な証拠を見つけたこととなる。名大グループは1990年代初頭からスイスのCERN(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)において、振動によって出現したタウニュートリノの反応で生まれるタウ粒子の崩壊飛跡を、原子核乾板で

直接検出するCHORUS実験を行っていた。その後継のOPERA実験は、CERNから730km離れたイタリアの地下観測実験施設Gran Sassoに設置された写真乾板1000トンへ打ち込み、2015年までに5個のタウニュートリノの同定に成功して、ミューニュートリノからタウニュートリノへの振動を確定させた。

まとめると、大気ニュートリノ振動は、ミューニュートリノからタウニュートリノへの振動で、 $\Delta m_{32}^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{eV}^2$ 、 $\theta_{23} = 45^\circ$ が求まった。太陽ニュートリノは電子ニュートリノからミューまたはタウニュートリノへの振動で、 $\Delta m_{21}^2 = 7 \times 10^{-5} \text{eV}^2$ 、 $\theta_{12} = 30^\circ$ とわかった。そして3番目の角度は $\theta_{13} = 8^\circ$ とわかった。これらの研究成果により、ニュートリノ振動の全貌がほぼ明らかになり、2015年のノーベル物理学賞受賞の条件は整った。

残った最後のパラメーターが、ニュートリノ振動にCP対称性の破れを引き起こす $\delta$ である。 $\delta$ の効果は、 $\theta_{13}$ の効果によるミューニュートリノから電子ニュートリノへの振動に現れる。T2K実験やDouble Chooz実験が

発見した $\theta_{13}$ はかなり大きく、ニュートリノにおけるCP対称性の破れが実測できる期待が高まってきた。ニュートリノCP対称性の破れは、宇宙の物質・反物質の非対称性の謎に深く関係している可能性がある。この研究のために、スーパーカミオカンデの10倍以上の体積をもつハイパーカミオカンデ計画が進んでいる。この計画が実現すれば、ニュートリノCP対称性の破れだけではなく、カミオカンデ本来の目的であった陽子崩壊を、今度こそ見つけることができるかもしれない。

ニュートリノ振動の発見は、長年の謎であったニュートリノ質量の有無、また太陽ニュートリノ問題、大気ニュートリノ問題に決着をつけた。そして、ニュートリノ質量は、他のクォーク、レプトンに比べ何桁も小さいことがわかった。これはとても驚くべきことである。さらに、ニュートリノ混合はほとんど最大であることもわかった。このことも不思議である。ニュートリノ振動の発見は次の謎を人間に投げかけている。これらは、次のブレークスルーへのヒントとなるだろう。

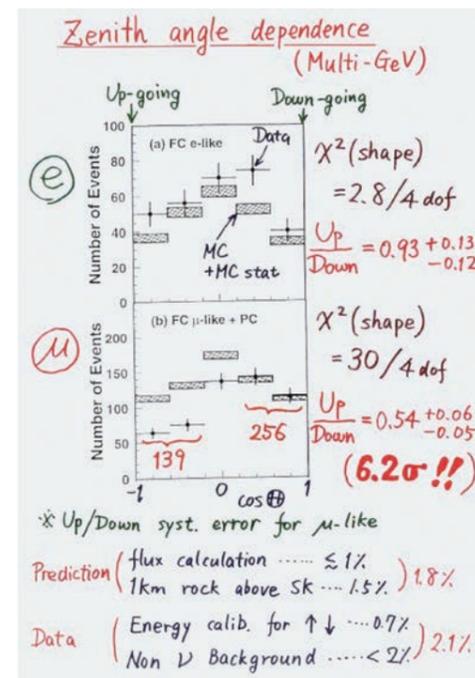


図5 大気ニュートリノの天頂角分布  
1998年ニュートリノ国際会議での梶田氏の講演資料。上図が電子ニュートリノ、下図がミューニュートリノの到来方向の天頂角(鉛直軸となす角度)依存性。上向きとした向きの比を調べると、電子ニュートリノは0.93とほぼ上下同数に対し、ミューニュートリノは0.54と上向きは下向きの半分しかない。これは統計のゆらぎでは説明できない効果(6.2 $\sigma$ )であり、ニュートリノ振動の決定的な証拠である(提供:東京大学宇宙線研究所)。

# 球状コンクリーション形成の謎に挑む

吉田 英一 博物館／地球環境科学専攻教授



Hidekazu Yoshida

1962年宮崎県生まれ。名古屋大学大学院理学研究科博士課程修了。日本原子力研究開発機構主任研究員、名古屋大学博物館資料分析系准教授を経て、2010年より現職（2010～2014年名古屋大学博物館館長）。専門は、応用地質学・環境地質学。地下環境中での元素移動に関する現象理解とその応用をめざしている。

## 球状炭酸カルシウム塊の謎

海底に泥や細かい砂が堆積してできた堆積岩中には、コンクリーションとよばれる炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)の球状塊が普遍的に産出する。コンクリーションは、化石や砂粒等を核として、岩石中の珪酸や炭酸塩などが濃集、沈殿しながら固まってできたもので、ノジュールとよばれることもある。コンクリーションは、非常に緻密で風化にも強く、また保存良好の化石が内部に含まれることも多いことから、地球科学研究の分野だけでなく、化石マニアにとっても必ず割ってみるというほど、古くからその存在が知られていた。とくにこの半世紀では、世界各地のさまざまなコンクリーションに関する研究事例が報告されている。たとえばニュージーランド南島のモレアキ海岸では、直径2メートル近い球状のコンクリーションが産

出し(図1)、中から保存良好なクジラの化石が確認されたこともある。しかし、これらコンクリーションの成因については、なぜ球状なのか、なぜエントロピー増大の法則に逆らうのか、なぜ炭酸カルシウムが一点に集中(濃集)するのか、なぜ保存良好の化石が中心部から産出するのかなど、その成因や化石との因果関係については依然未解明のままだった。

## 謎を解く「ツノガイコンクリーション」

その謎を解くべく、私たち研究グループ(自然科学および工学分野の異なった分野を専門とするメンバーの集まり)では、富山市八尾地域の約2000万年前の地層から産出したツノガイを核に形成された、保存良好な球状コンクリーションを用いて地質学、(古)生物学、鉱物学、地球化学および地球物理学の

観点から多角的分析調査を行ってきた。

ツノガイとは、体長数センチで海底の砂泥中に生息しているツノ状の貝であり、現在も深さ100m前後の海底で現生のものが確認されている。研究では、このツノガイの口にあたる部分にできた、直径1～3cm程度の球状コンクリーションの詳細な分析を行った(図2)。その結果、ツノガイ軟体部の腐敗分解に伴う有機炭素と海水中のカルシウムイオンとの拡散・反応によって、死後、数週間～数か月という非常に早い速度で、ツノガイの口周辺にコンクリーションの形成されたことが明らかとなった。これは、これまで数万年～数百万年にかかるのではないかとする定説を変更せざるを得ない結果である。また、その反応速度と形成との関係について、球状コンクリーションに普遍的に適用できる形成速度ダイアグラムを表した(図3)。このダイアグラムを

用いると、モレアキ海岸で見られる直径2mサイズのコンクリーションも、おおよそ数年～数十年程度で形成されたことになる。

これらの研究成果によって、コンクリーションに関する謎の多くが明らかとなった。その1つである保存良好な化石が内包される理由は、生体自らの炭素成分と海水起源のカルシウムによる急速な炭酸カルシウムの沈殿が、「タイムカプセル」のようにその生命体を覆い、周辺環境から隔離させるためである。この緻密なシールドによって、外部との反応が遮断され、地表に露出した後も風化反応が抑制され、生体殻が良好に保存されるというわけである。

## コンクリーション形成に学ぶ

球状コンクリーションから何が学べるだろうか。これまでの研究から、その応用として、実

験による再現の可能性が示唆される。炭酸カルシウムは、地球上に普遍的に存在し、生命活動にも不可欠な物質である。また二酸化炭素の固定物質としても知られる「素材」であり、さらに一度沈殿すると化石を保存するように風化や変質に対する耐久性にも富む。実験による再現が可能となれば、炭酸カルシウムの岩石充填や保存メカニズムを応用し、大規模地下環境利用(エネルギー地下備蓄や放射性廃棄物地下処分など)に伴う、地下環境でのコンクリートの劣化防止や隔離のための長期的シーリング技術への応用が可能と考えられる。

球状コンクリーションは、見かけは単純であってもその形成メカニズムを解くためには多角多面的な解析が不可欠である。私たち研究グループは、今後もさまざまな現象に対し分野横断的な研究を展開して行くつもりである。



図1 巨大球状コンクリーション  
ニュージーランド南島南東部に位置するモレアキ海岸の約5000万年前の地層から産出する巨大コンクリーション群。周辺には数百を超えるコンクリーションが露出する。

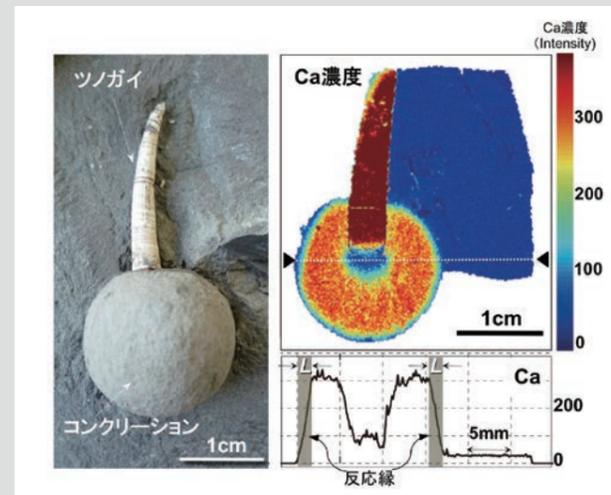


図2 ツノガイコンクリーション  
富山市八尾地域の約2000万年前の地層から産出するコンクリーション。右上は、カルシウムの濃集状態を示すコンクリーション断面分析結果。右下は、断面図での点線を示す測線部分の強度プロファイル。縦軸の数字は、カルシウム反応の強さを示す。(Yoshida et al., 2015, Scientific Reports 5: 14123)

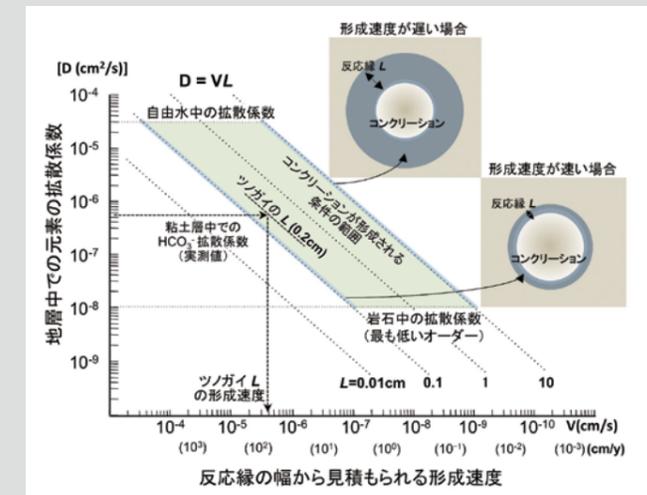


図3 コンクリーション形成速度ダイアグラム  
海底堆積物中の元素の移動拡散係数(L)の幅によって見積もられる形成速度の関係を示す。ツノガイコンクリーションの反応線の幅(L=2mm程度)の形成速度は1週間程度であり、半径1センチのコンクリーションの場合は、1か月程度で形成されたことになる。(Yoshida et al., 2015, Scientific Reports 5: 14123)



Kunihiko Morishima

1980年生まれ。2002年、名古屋大学理学部物理学科卒業。2010年、名古屋大学大学院理学研究科博士課程修了。同年より名古屋大学理学研究科博士研究員。2014年4月より現職。

## 宇宙線観測によりピラミッドの謎に挑む

森島邦博 高等研究院特任助教

### ピラミッドと宇宙線

ピラミッドは、エジプト・ギザの3大ピラミッドに代表される4500年前の古代エジプト文明により建造された巨大石造建築である。その内部には、複雑かつ緻密な空間構造をもつ

が、その目的や建造方法など、ほとんど明らかにされていない(図1)。

このピラミッド建造の謎を解明するために、レーダーや微小重力計等を用いた非破壊検査技術による未知の空間(部屋と通路、

もしくは建造の過程で使用された空間)の調査が行われてきた。しかし、いずれも分解能が低く深さ数メートルまでしか探索ができないため、ピラミッドの奥深くに未知の空間が存在する場合、それらを検知することはできない。唯一、「宇宙線」を用いたレントゲン写真技術(宇宙線ラジオグラフィ)がそれを可能にする。

宇宙空間を飛び交う陽子やヘリウムなどの原子核(一次宇宙線)が地球大気中の原子核(窒素や酸素など)と衝突することで発生する素粒子・原子核(二次宇宙線)はさまざまなエネルギーでつねに地上に降り注いでおり、これらを宇宙線とよぶ。とくに、二次宇宙線の一種であるミュオンは高いエネルギーであるほど厚い物質を貫通できる。ピラミッドの内部に空間が存在する場合、その空間を通るミュオンは周辺部よりも数多く観測されるはずである。ピラミッドの内外に宇宙線検出器を設置してピラミッドを通過してくるミュオンの方向と数を測定し、このミュオンの検出数の濃淡を画

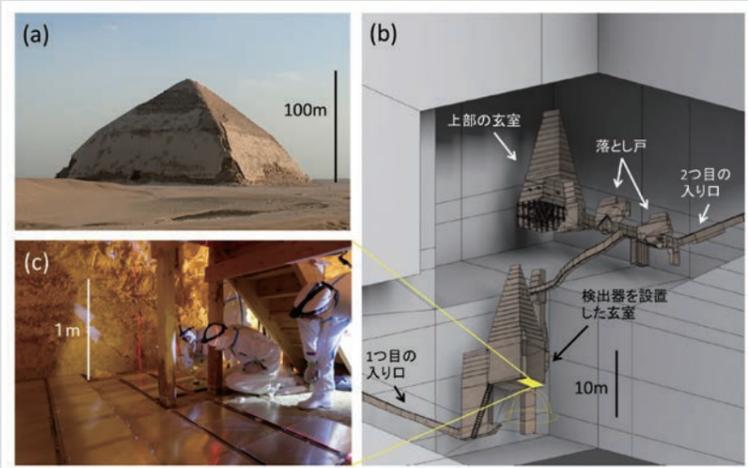


図1 ダハシュールの屈折ピラミッド

(a) ピラミッドの外観。石灰岩の岩盤の上に、切り出した石灰岩の石を組み上げた巨大な石造建築である。(b) 内部構造をCGで示したもの。2つの玄室へとつながる2つの入り口、落とし戸等、複雑な内部構造をもつ。スキャンピラミッド計画では、下部の玄室に原子核乾板を設置して観測を行っている。上部の玄室の方向から飛来する宇宙線は、その他の方向よりも高い頻度で検出器に到達する。このような到来頻度の違いをイメージングすることで未知の構造を探索する。(c) 玄室内にアルミ板に固定した原子核乾板検出器を敷きつめて設置している様子。(写真・CG提供: スキャンピラミッド計画)

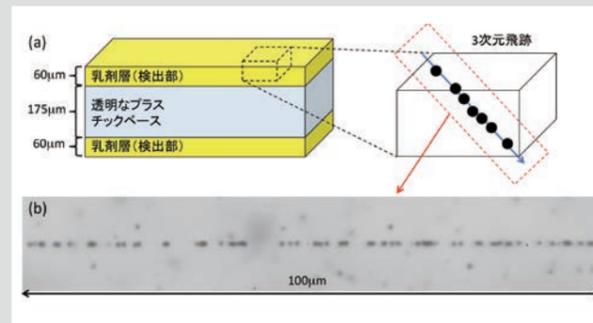


図2 原子核乾板

(a) 原子核乾板の構造。60μmの乳剤層中に0.2μmの臭化銀結晶が3次的に分散されている。乳剤層の拡大図に示す矢印のように荷電粒子が通過すると、その軌跡上に存在する結晶に潜像が記録され、現像により、その潜像は1μm程度の大きさの銀粒子となる。これらの銀粒子は軌跡に沿って並び、光学顕微鏡で観察可能な3次的な飛跡として観察される。(b) 飛跡(黒い点は銀粒子)の光学顕微鏡画像。

像化することでレントゲン写真をとることができる。ノーベル賞物理学者であるルイ・アルヴァレらは、1960年代に、スパークチェンバーという電子式素粒子検出器を用いた宇宙線レントゲン写真技術をギザのカフラー王のピラミッドにはじめて適用したが、何も見つからなかった。

### 宇宙線を検出する特殊な写真フィルム

我々は、ミュオンなどの素粒子の軌跡を1μmの精度で3次的に記録する特殊な高感度写真フィルム「原子核乾板」の開発を進めている(図2)。その高い解像力により短寿命粒子を測定できるため、ニュートリノ振動実験 OPERA では、タウニュートリノ反応から放出されるタウ粒子検出に不可欠な検出器とされた。写真フィルムはまさにアナログ技術の結晶であるが、我々は、写真フィルムに記録された素粒子の軌跡を1μm以下の精度で自動計測する高速デジタル顕微鏡を開発することで最新のコンピューター技術による解析を可能にし、原子核乾板を実用化した。

この最新の原子核乾板技術を用いて、我々は、火山(昭和新山と浅間山)や福島第一原子力発電所の原子炉(2号機と5号機)の宇宙線ラジオグラフィによる内部観測を行った。火山の観測では、従来にない高い解像力での山体内部の密度構造の撮影に成功した。原子炉の観測では、事故により原子炉内部の状況が不明な2号機と健全な5号機の圧力容器内の物質の存在量を直接比較することで、2号機では炉心溶解が起きていたことを裏付けた(図3)。

我々は原子核乾板がもつ「電源不要・軽量・コンパクト」という特徴はピラミッドなどの

考古学遺跡調査に最適であると考え、アルヴァレの調査から約50年ぶりとなる宇宙線による最新のピラミッド調査を提案したところ、エジプト考古省などが組織した「スキャンピラミッド計画」という国際科学調査プロジェクトでの採用が決まり、2015年末より、ダハシュールの屈折ピラミッドやギザのクフ王のピラミッドなどの観測を開始した(図1)。

### 異分野間を横断した研究

ピラミッドの調査は考古学者らとのコラボレーションであるように、宇宙線ラジオグラ

フィの技術開発は、異分野横断的な研究である。その将来展望は、火山や断層などを対象とした地球惑星科学、原子炉や溶鉱炉などのプラント診断、地下空洞調査や盛土・鉄筋コンクリート構造などの密度測定による社会インフラ点検、資源探査など多岐にわたる。さらに、この技術の開発が進んでさまざまな場所で用いられることで、過去にはない大規模かつ精密な宇宙線観測が実現する。このように、宇宙線の理解を深める研究を通して、それを利用する技術を開発し、科学の発展に貢献していきたい。

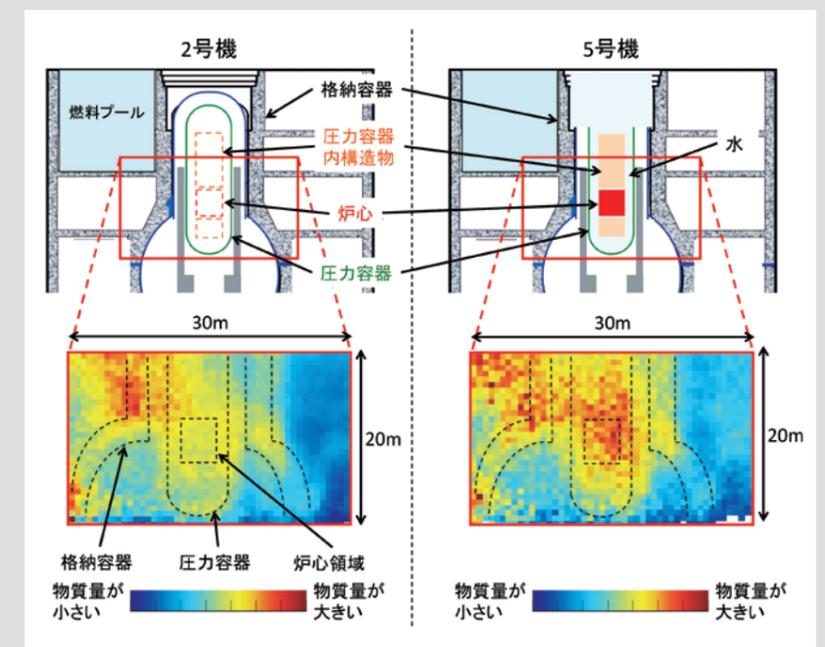


図3 福島第一原子力発電所の宇宙線イメージング

2014年に行った原子核乾板による福島第一原子力発電所2号機および5号機の観測結果。上の図は、各号機の原子炉内部の様子。2号機の圧力容器内部の状態は不明であるため、炉心および圧力容器内構造物を点線で囲い、水で満たされていない場合を示す。5号機の観測時の状態は、圧力容器内部に水と健全な炉心が存在していた。2号機と5号機はほぼ同じ大きさの原子炉であるために両者を比較することができる。下の図は、各号機の宇宙線イメージであり、赤い色ほど物質量が大きく、青い色ほど物質量が小さい。2号機の方が5号機よりも物質量が相対的に少ないことがわかる。これは、2号機と5号機では、圧力容器内部の様子が異なることを示しており、これにより2号機の炉心溶解が裏付けられた。(2015年名古屋大学プレスリリースを改変)

基本粒子研究室ウェブページ <http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/>

# 有機合成化学のさらなる発展を目指して

## — 名古屋メダルセミナー —

宮崎 亜矢子 トランスフォーマティブ生命分子研究所特任助教

名古屋メダルセミナーは、野依良治博士と山本尚博士の発案により、万有生命科学振興国際交流財団のご支援を受けて1995年に創設された。わが国の国際競争力を維持、発展するための鍵となる研究領域は「有機合成化学」であるという両博士の強い考えのもと、将来を担う若人にその可能性と面白さ、奥深さを再認識させるため、突出した成果をあげた研究者にメダルを授与し、ご自身の研究を学生向けにわかりやすく講演していただいている。受賞者は、名古屋近郊の合成化学者からなる組織委員会によって選考される。第20回からは名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所(WPI-ITbM)が共催に加わり、ITbM拠点長の伊丹健一郎博士が組織委員長を務めている。

「名古屋ゴールドメダル」の受賞者には、国際的に著名な化学者が名を連ねる。第3回(1997年)ゴールドメダル受賞者のグラブス博士が2005年にノーベル化学賞を受賞されているほか、いずれのメダリストも毎年ノーベル賞候補に挙がる卓越した研究者である。第1回受賞者の岸義人博士、第11回の



豊田講堂で行われた第21回名古屋メダルセミナー



2015年度ゴールドメダル受賞者シュライバー博士

中西香爾博士のお二人は、ともに名古屋大学理学部のご出身で、天然物有機化学における名古屋の存在感を表している。第21回で受賞したS. L.シュライバー博士は、ハーバード大学の岸義人博士の研究室で博士号を取得しており、名古屋メダルの師弟受賞がなかった。1999年からはゴールドメダルに加え、有機合成化学の分野において大きなインパクトを与えた日本の研究者に「名古屋シルバーメダル」を授与しており、国内の化学の活性化にも貢献している。2010年の第16回セミナーでは、特別企画として歴代のシ

ルバーメダリスト10人に講演していただいた。これまでに20個のゴールドメダルと16個のシルバーメダルを授与し、名古屋メダルとともに「名古屋の有機化学」の国際的認知度は高まってきている。

2016年1月22日、今年度で第21回を迎えた名古屋メダルセミナーが、ハーバード大学のシュライバー博士をゴールドメダリストとして、理化学研究所の侯召民(ほうしょうみん)博士をシルバーメダリストとして迎えて開催され、400人を超える参加者が集まった。

侯博士の講演では、有機金属錯体の歴



記念のメダル。メダルは刀の鐔のかたちをしている。デザインは山本尚博士の発案で、愛知県の県花であるカキツバタが彫られている。

史的背景から侯博士の最先端の研究に至る道筋がていねいに紹介され、研究を志す若手研究者や学生への貴重なメッセージがおりこまれた。シュライバー博士は、「ケミカルバイオロジー」という領域を開拓した先駆者として名高い。受賞講演では、化学と生物学の境界領域におけるユニークな研究成果とともに自身の研究姿勢について語った。今後もこの研究文化を続け、名古屋メダルセミナーを介して、有機合成化学に携わる若手研究者・学生に大いに刺激を与え、多くの新しい芽が育つことを願っている。

# Gold Medal Recipients

名古屋ゴールドメダル受賞者



1995  
岸 義人  
*Yoshito Kishi*



2005  
中西香爾  
*Koji Nakanishi*



1996  
W.C. スティール  
*W. Clark Still*



2006  
S.V. レイ  
*Steven V. Ley*



1997  
R.H. グラブス  
*Robert H. Grubbs*



2007  
L.E. オーヴァーマン  
*Larry E. Overman*



1998  
H.B. カガン  
*Henri B. Kagan*



2008  
B.M. トロスト  
*Barry M. Trost*



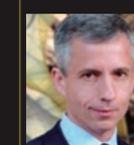
1999  
S.J. ダニシェフスキー  
*Samuel J. Danishefsky*



2009  
J.M.J. フレシェ  
*Jean M. J. Fréchet*



2000  
M.T. レーツ  
*Manfred T. Reetz*



2011  
E.N. ジェイコブセン  
*Eric N. Jacobsen*



2001  
K.C. ニコラウ  
*Kyriacos C. Nicolaou*



2012  
P. ノッセル  
*Paul Knochel*



2002  
D. ゼーバッハ  
*Dieter Seebach*



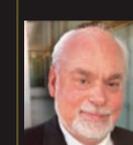
2013  
B.L. フェーリンガ  
*Ben L. Feringa*



2003  
D.A. エヴァンス  
*David A. Evans*



2014  
J.F. ハートウィッグ  
*John F. Hartwig*



2004  
J.F. ストッダート  
*J. Fraser Stoddart*



2015  
S.L. シュライバー  
*Stuart L. Schreiber*



# 『理philosophia』30号によせて

2001年11月に第1号を発刊して以来、1年に2号のペースで発行を重ねてきた『理philosophia』は本号で30号を迎えた。編集に携わった方や科学コミュニケーションに関わる方々にコメントをよせていただいた。

## 創刊直前のうれしいニュース

齊藤真司 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 分子科学研究所教授  
Shinji Saito

『理 philosophia』が30号を迎えることとなり、おめでとうございます。『理 philosophia』の思い出といえば、やはり創刊号です。しかし、単に創刊号だからという理由ではありません。創刊号の発刊準備を進めていたところ、化学科の野依良治先生がノーベル化学賞を受賞されるという大きなニュースが飛び込んできました。これを記事にしない理由はない。委員長の福井康雄先生の判断はとても早かった。しかし、特集記事にすると決めた後は大あらわ。野依研究室も報道対応でてんでこ舞い。研究室の方々に協力していただき、なんとか原稿を間に合わせる事ができた。野依先生のノーベル賞受賞の後、名古屋大学理学部関係では何件ものノーベル賞の受賞が続き、広報委員会はさぞ忙しかったことでしょう。今後も、広報委員会にこのようなうれしい悲鳴が続くことを祈っています。(1号～6号の広報委員)

## 実に楽しい編集プロセス

森 郁恵 生命理学専攻教授  
Ikue Mori

女性教員として、最初の広報委員になった。まず、この広報誌が「科学を、わかりやすく一般向けに解説すること」をめざしていないことを知り、「面白い」と思う。「自然の理(ことわり)を解き明かすために、研究する科学者たちが名古屋大学理学部に集結している」ことを知ってもらうのが大きな狙いと理解した。書いていただいた文章を、広報委員会で入念に検討し「難解でもなく、簡単でもない」という絶妙なバランスを保つ内容にもっていく。せっかく書いていただいた文章を、何度も修正していただくこともあった。しかしながら、このプロセスが実に楽しい。科学者が書く文章の1行1行に、研究理念や哲学が内包されていることに気づかされた。また、福井康雄先生や、特集の対談記事でごいっしょした大峯巖先生との交流を通して、科学者にとって、広い学識や俯瞰力が、いかに重要かを知った。理学の宝物である『理philosophia』のますますのご発展をお祈りしたい。(3号～12号の広報委員を務め、3号では特集の対談企画に登場。そのほか、2号の「講義探検」、9号の「理の先端をいく」、17号の「理のエッセイ」、23号の「特集」を執筆)

# 2001

野依良治博士がノーベル化学賞を受賞



ノーベル賞受賞を知らせる記事(創刊号)

## 現在の研究を具体的に知る

小田春佳 理学研究科 生命理学専攻博士後期課程3年  
Haruka Oda

『理 philosophia』で興味深かった記事は、震災の翌年に刊行された22号の特集「東日本大震災をめぐる理学」である。ここでは、東北地方太平洋沖地震の発生メカニズムについてわかりやすく解説されており、予見に至らなかった原因についても言及されている。このことから、マグニチュード9クラスがいかに稀な規模の地震あったかを改めて知ることができた。記事では、地震研究のあり方にも触れられており、東日本大震災の予知・防災に至らなかった点を踏まえつつ、今後予想されている南海トラフ等の巨大地震に対し、地震による災害の減少をめざす前向きな姿勢が印象的だった。理学部に在籍しているながら、普段の研究生活ではなかなか他の研究科・研究室の研究の話をつくり聞く時間はもてないが、『理philosophia』の誌面を通じて、理学部のさまざまな研究室で行われている研究を具体的に知ることができ、毎号楽しみにしている。(理系女子学生の交流や支援を目的とする「あかりんご隊」で活動。25号の「理学部交差点」を執筆)

## 『理 philosophia』があったからこそ

斎藤 進 物質理学専攻教授  
Susumu Saito

広報委員会で私が活動の機会をいただいたのは、もう8年ほど前。そのなかで『理 philosophia』13号と14号の編集に携わった。特集「ナノの世界のものづくり」のテープ起こしをいかにわかりやすい言葉と図で編集していくか。特集用に事前講演くださった阿波賀邦夫・田中健太郎両先生とともに悪戦苦闘したのを覚えている。その前から名古屋大学の代表的な研究成果を、高等研究院を通じて学外に発信する使命を担っていた私は本学のビジビリティをあげるための宣伝方法に悩んでいた。広報委員長である福井康雄先生にいろいろとメディア活用法などについてご指南を受け少しずつコツを掴んでいったように覚えている。いかにわかりやすく理の先端を専門外の方に伝えるか。そのような心構えをくださった『理 philosophia』や理学の先生方との出会いはかけがえのないものでした。いまま私の人生に大いに生かされています。『理 philosophia』は永遠です。(13号～14号の広報委員を務めたほか、21号の「特集」に登場)

## 数学を可視化する

佐藤周友 中央大学大学院理学研究科教授  
Kanetomo Sato

30号の刊行おめでとうございます。私は2010年度に広報委員を務めさせていただきました。第20回懇話会「未知なる結晶格子の数理」では企画の立ち上げから特集記事の編集まで携わり、濃密で楽しく悩む時間を経験させていただいたことは正に私の財産です。編集で痛感したのは、専門的な数学を可視化(抽象的概念を文章と図で説明)するのは非常にハードルが高いということです。幸いにも講演や原稿をお願いした先生方は「可視化の達人」揃いで、私はその表現力に圧倒されつつ大変勉強になりました。数学という学問は発展すればするほど他者への説明が困難になっていきます。ゆえに専門家が新しい話題の可視化に意欲的に取り組み、非専門家に向けて伝えるということは、数学者自身にとっても大きな意義があると常に考えています。今後も貴誌の豊かな好奇心を一読者として応援させていただきますとともに、毎号を楽しみにしております。ますますのご発展を心よりお祈り申し上げます。(19号～20号の広報委員)

# 2008

小林誠・益川敏英両博士がノーベル物理学賞、下村脩博士がノーベル化学賞を受賞



益川敏英博士(16号)、小林誠博士(17号)、下村脩博士(18号)の功績を紹介

## 新鮮な融合に感心

ウォリス・サイモン 地球環境学専攻教授  
Simon Wallis

『理 philosophia』をはじめて目にしたとき、違和感がありました。哲学の内容ではないはずなのになぜこの名称でしょうか。また、「Philosophia」はきつとどこかですでに雑誌の名前として使われているに違いないので、著作権はどうしたのでしょうかなどという疑問が頭に浮かびました。よくよく見ると日本語の「理」もついていて、名称の一部になっていることに気がつきました。中国の漢字と古代ギリシャ語由来の単語をたくみに組み合わせて古典的な自然哲学を新鮮に感じさせてくれる名称だと感心しました。本学の国際化も同様に単なる英語化だけではなく、西洋と東アジアの表現とそれぞれの裏にある考えをうまくブレンドすることで今までと異なる新鮮な融合を実現できたらいいと思います。(21号～24号の広報委員を務め、24号では「理の先端をいく」を執筆)

## 科学と言葉

鷺谷 威 減災連携研究センター教授  
Takeshi Sagiya

2006～2008年度の3年間、理学部広報委員として『理philosophia』の編集に関わりました。委員長の福井康雄先生は、大変難解な内容であっても、一般向けにわかりやすい表現をことごとく追求されており、当初はその姿勢にだいたい戸惑いました。理学の研究は門外漢にとって敷居が高いと思われるのですが、その原因の一端は、言葉を吟味してわかりやすく伝えることをサボっている研究者自身にあります。研究内容を整理し明確な言葉で説明することは、実は研究を進める上でも大変重要です。東日本大震災では、地震学者が曖昧にしていた理解の間隙をつかれ、想定外の大地震と大津波が起きました(詳細は第22号の特集を参照)。こうした経験を通じ、科学における言葉の重要性を改めて理解したように思います。また、言葉にこだわるところこそ『理philosophia』の存在意義があると実感しています。(11号～16号の広報委員を務めたほか、21号の「理のエッセイ」、22号の「特集」を執筆)

## 積み重ねられる科学の文化

渡辺政隆 筑波大学広報室教授・サイエンスコミュニケーター  
Masataka Watanabe

『理philosophia』が手元に届くと真っ先に読むのが「時を語るもの」コーナーである。もちろん楽しみにしているからであり、そこが最初のページだからというわけではない。広報誌では、とく現在と未来を語ることに焦点が向けられがちである。しかし科学研究、教育の場としての大学を語るには、歴史をないがしろにするわけにはいかない。まして、科学の成果は積み重ねであり、そこには人のドラマが絡んでいることを思えばなおさらである。当該コーナーの魅力は、ゆかりの品の貴重な写真をバックに、科学者のエピソードを簡潔に紹介している点に負うところが大きい。個人的には、そこで紹介された方々のなかで、大澤省三先生と岡崎恒子先生には、拙著『DNAの謎に挑む—遺伝子探究の一世紀』執筆時の取材でお世話になったことを懐かしく思い出した。若い人は科学史への関心が薄いとされる折、このコーナーはぜひ続けていただきたい。(18号の特別座談会「『理philosophia』を考える」に登場)

## 理学の伝統と時代の切り口

横山広美 東京大学大学院理学系研究科准教授  
Hiromi Yokoyama

このたびは『理philosophia』30号発行、誠にありがとうございます。毎号、美しいデザインと、「時を語るもの」「理のエッセイ」を楽しみにしています。短い文章で、本質を伝えることは難しいものです。しかしページをめくったときに出てくるこの2つの企画は、美しくレイアウトされた写真とイラスト、そしてごく短い文章によって、名古屋大学らしい理学の伝統と、時代の切り口を感じさせるもので、いつも刺激を受けています。削ぎ落した本質的な情報を美しく掲載することは、真理を探究する理学の本質にもつながることのように思います。関係者の皆様のご努力に敬意を表します。『理philosophia』とそれを支える皆様のますますのご発展をお祈り申し上げます。(18号の特別座談会「『理philosophia』を考える」に登場)

## むずかしいことをやさしく

加古陽治 東京新聞文化部  
Yoji Kako

研究者に新聞の原稿を書いてもらうときは要注意です。中には福井康雄さんのような名作家もいますが、しばしば専門用語や論文調の表現に苦労させられます。そんなときは、申し訳ないのですが、読者のために大胆に手を入れることもあります。ふつうの読者に理解してもらうには、井上ひさしが言ったように「むずかしいことをやさしく」伝えなくてはなりません。やさしいことをふかく、ふかいことをおもしろく、おもしろいことをまじめに(後略)。「理」を読んで感じるの、そういう努力をして研究の魅力を読者に届けようとしていることです。写真を多く配した誌面は美しく、読みやすい。大学の雑誌では珍しいことです。でも、まだ私の理解力ではついていけないときがあります。爆笑問題の「探検バクモン」並みのわかりやすさは無理だとしても、たとえば研究内容とともに先生方の人間くさい逸話を紹介するのはどうでしょう。いっそうおもしろくなると思います。

## 伝わってくる研究現場の空気

中島亜紗美 名古屋科学館天文係  
Asami Nakashima

在学時から、エレガントな誌面デザインが気に入っています。中でも、表紙を開いて最初に目につく「理のエッセイ」の読みやすさと、そこから伝わってくる研究現場の空気が好きです。パラパラとページをめくって、出身である物理学科の方々の記事が見つかったときには、学部生のころに聴いた研究室紹介の遠い記憶をたどり、その後も脈々と続いている多様な研究に懐かしさを感じています。近頃はじっくりと腰を据えて読む時間が取れず、長文は読み飛ばしてしまいがちなのですが(すみません…)、29号の「受精をめぐる細胞たちの物語」は非常に楽しく拝読しました。こうした、他分野の人間にも魅力が伝わる内容が増えてほしいと思います。科学館の学芸員として、科学を発信する仕事に就いて丸3年。大学を離れるとどうしても最新の研究の動向に疎くなりがちですが、この広報誌を通して最先端の「理」に触れ続けられたらうれしいです。(2010年素粒子宇宙物理学専攻博士前期課程修了)

## 思い起こし読み返す冊子

村田光男 理philosophia読者・岩手県在住  
Mitsuo Murata

日々報道される多様なニュース記事に、人間の生命に関わる科学や宇宙天体をみつけるとハッとすることがあります。こんなときに、ふと貴学の広報誌『理philosophia』を思い起こし、読み返すこともしばしばです。私の住む岩手は、ILC(国際リニアコライダー: International Linear Collider)の建設候補地として、北上山地が指定されて注目を集めています。ILC計画は、全長約30kmの直線状の加速器をつくり、現在達成しうる最高エネルギーで電子と陽電子の衝突実験を行う計画です。岩手への建設が決まれば、素粒子物理学を通じて名古屋大学とのつながりが強くなることも考えられます。貴学の繁栄発展を願います。

2011

東日本大震災発生



震災の翌年に「地震予知」「原子力」「自然エネルギー」をテーマに「東日本大震災」の特集記事を掲載(22号)

2013

ヒッグス粒子発見



ヒッグス粒子発見についての特集記事を掲載(25号)

## 最先端に触れる

小澤 堯 愛知県立半田高校教諭  
Takashi Ozawa

私は県立高校で理科教員をしている。貴学理学部の卒業生ではないため、『理philosophia』の存在を知ったのは教員となった平成25年からであったが、今やその魅力の虜となっている。『理philosophia』は本校の進路室に全巻設置されており、進路設計に夢をふくらませる生徒のみならず、好奇心旺盛な教員が発刊を心待ちにしている。私もその1人であり、自分の探究心を満たす研究誌として、そして質の高い教材研究資料として大変重宝している。特に毎号の「理の先端をゆく」は、今の高等学校理科の教科書には発展内容として扱われる研究の最新情報が紹介されており、高校生が教科書を超えた『今の最先端』に触れるきっかけにもなっている。分野融合型のトランスフォーマティブ生命分子研究所の稼働に伴い、今後も夢のある研究の魅力、そして『新たな最先端』に私たちを触れさせてくれることを期待している。

同窓生から

やってみなくちゃ、わからない

NHK編成局 チーフプロデューサー  
森 美樹 (Miki Mori)

NHK・Eテレで放送中の「大科学実験」は、基本的な科学の原理を大規模な実験で描く科学教育番組である。およそ7年前、中東の放送局アル・ジャジーラ子どもチャンネルと共同制作する機会に恵まれた。おかげさまで番組は好評、海外20カ国以上で放送され、昨年は南アフリカなど海外放送局と一緒に実験を行うなど多岐に進化している。

理学部在籍中、映像や番組制作について携わったことはなかった。大澤省三先生に師事し分子進化学を学んだ。普遍であるとされていた遺伝暗号が進化する、という研究テーマの一部に関わらせていただいた。当時、お昼は大澤先生と秘書の方と集まってお弁当を食べるのが習慣だった。この時間が「科学とは何か」について大澤先生から薫陶をいただく貴重な機会だった。分子生物学の創生期や著名な生物学者間の交流など、何気なく語られるエピソードに、研究を楽しむワクワクとした意気が伝わってきた。中でも心に残っているのは、研究にはストーリーがなければならない、という台詞だった。やみくもに仮説を立て研究するのではなく、進化という大きな生命の物語の中で個々のストーリーを組み立てて研究を行うという科学観である。

NHKに入局して高校や小学生向けの科学教育番組を担当することになると、無意識に名古屋大学時代に得た科学観を表現していることに気づいた。番組構成は論理的に考え、事実を魅力的に撮影し、ナレーションと映像で物語を紡ぐよう編集していく。映像と論文作成という表現の違いこそあれ、研究室時代に行っていたことと変わりはない。一方、教育番組は既知の事実を伝え、退屈と思われがちだった。大科学実験はそうしたイメージを払拭するべく従来にない演出に挑戦した。芸能人は出ず、実験の過程を淡々と映像で描くという変わったスタイルである。

「やってみなくちゃわからない」。大科学実験はこの決まり文句で始まる。実験、演出、制作過程すべてがぶっつけ本番。既存の知識と情報でわかった気にならずに、なんでも自分で試して調べて考察する。このスピリットはまさしく大澤研究室で培われたものであった。

情報社会の今だからこそ、好奇心をもって自ら確認・判断し、愛情をもって物語を伝えていくこと。こうした姿勢を子供たちが身につけることができれば世界を平和にできる、私は本気でそう思っている。  
(1992年生物学修士課程修了)



キリンをピンホールカメラで撮影する実験をした「針の穴を通るキリン」。びっくりにしているのが筆者



長さ50mのクジラ型ソーラーバルーンで人が飛べるか挑戦した「空飛ぶクジラ」。吊るされているのが筆者

キャンパス通信

数学博物館を作ろう

多元数理科学専攻准教授  
伊藤由佳理 (Yukari Ito)

小学生の息子と科学博物館巡りを楽しむようになって、展示技術の進歩に感心する一方で、数学の展示がほとんどないことを寂しく感じていたところ、2014年度後期に学部1年生向け講義「数学展望II」の担当になった。

講義では初回到現代数学の入門な内容と数学史上有名な数学者の紹介をし、2回目以降は対称性や方程式の解法に関する古典的な数学から群論やガロア理論などの現代数学までの流れを解説した。受講者の多くは理学部1年生だったが、まだ学科分属前で数理学科に進学する学生だけではなかったため、最終レポートとして「数学博物館を作るとしたら、どんな展示が可能か」という問いに答えるポスターを作成してもらった。

2015年10月初め、講義のレジュメとして描いたマインドマップと、受講生たちの最終レポートであるポスター100枚を教養教育院のギャラリーに展示した。学生たちのポスターの多くは完成度が高かった。不思議なくらい数式が書かれたポスターが少なく、数学の原理を用いた数学の話やパズルなど話題も豊富だったので、会場に来た方たちは文系理系を問わず、高校までの数学とは異なる数学が楽しめたようである。また一度に見きれずに何度も会場に足を運んだ学生も多かったようで、いつか常設の数学博物館が実現できたらいいと思うようになった。



キャンパス通信

『理philosophia』の歴史を一覧する

理学部広報誌『理philosophia』は、今号で通巻30号を迎える。その歩みを一目で感じられる場所が学内にある。

理学南館1階ロビー、坂田・平田ホールの入り口横に、『理philosophia』のバックナンバーコーナーが設置されている。2001年11月に発刊された第1号から昨年10月発刊の29号までがいつでもピックアップできるようになっている。ポケット式の棚には全号の表紙が見えるように収納されており、正に広報誌の30号の歩みが「一覧」できる。

表紙を見ていると、創刊からしばらくは理学や学術から連想される「重厚さ」の感じられるデザインが多いが、少しずつ明るく軽くなっていることに気づく。13号「超弦理論」や15号「地球温暖化」、23号「神経生物学」はかなりポップな印象を受けるのではないかと。

雑誌を手にしてパラパラとページをめくり内容や誌面の雰囲気気が気に入ると、さかのぼってバックナンバーを揃えたいくなることはよくある。『理philosophia』では残部が少なくなると増刷して欠号が生じないようにしている。バックナンバーコーナーで全号が閲覧できるのもそのためである。

『理philosophia』という誌名は、学内で公募し、応募作から当時の広報委員会を選出した。深く真理を究めんとする理学者の心意気が、重ねてきた30号の歴史から伝われば幸いである(K)。

