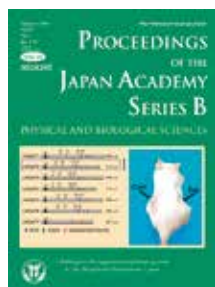


# PJA News Letter

No.8

<http://www.japan-acad.go.jp/pjab> 日本学士院

Proceedings of the Japan Academy,  
Ser. B ニュースレター



## 目次

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 挨拶                                            | 1  |
| インタビュー 梶田隆章氏                                  | 1  |
| Vol. 91 掲載論文紹介                                | 6  |
| トピックス ミュオグラフィと火山学                             | 11 |
| Proceedings of the Japan Academy, Ser. B について | 12 |

## 挨拶

Editor-in-Chief  
大塚 正徳

このニュースレターの6～10頁にはPJA-B Vol.91に掲載されたすべての論文が紹介されています。これを見ると2015年に多くの優れた論文が出版されたと思うのは私だけではないと思います。このことによってPJA-Bは日本の科学の高い水準を世界に向けて発信することでしょう。因みに昨年のノーベル賞受賞者の大村先生、梶田先生も最近PJA-Bに総説を発表しておられます。ここ数年のPJA-Bのインパクト・ファクターの推移を見てもPJA-Bの評価がすこしずつ高まっていることが分かります。日本にとって殆んど唯一の欧文 multidisciplinary journal と言ってもよいPJA-Bの力強い発展を編集委員会は願っています。

2015年のノーベル物理学賞は、「ニュートリノに質量が存在することを示すニュートリノ振動の発見」により、東京大学宇宙線研究所所長の梶田隆章教授に授与されました（クイーンズ大学のアーサー・マクドナルド名誉教授と同時受賞）。その栄誉に敬意を表し、2008年に同賞を受賞した小林誠・日本学士院会員（「自然界において3世代以上のクォークの存在を预言する対称性の破れの起源の発見」に関する業

## インタビュー

梶田隆章

×

(聞き手)

山崎敏光

小林 誠

績で益川敏英博士と受賞）と、原子核研究が専門の山崎敏光・日本学士院会員が宇宙線研究所を訪ね、インタビューしました。

（本インタビューの付録「KAGRAへ拡がる期待」を日本学士院の本誌ウェブサイト [http://www.japan-acad.go.jp/japanese/publishing/pja\\_newsletter.html](http://www.japan-acad.go.jp/japanese/publishing/pja_newsletter.html) で公開しています。ぜひそちらもご覧ください。）

左より山崎敏光氏、梶田隆章氏、小林 誠氏



## ニュートリノは偶然の産物？

**山崎：**このたびは誠におめでとうございます。実は、ノーベル賞発表の日、小林先生と私はソウルにいました。日韓の学士院で共催している学術フォーラムの会議後のパーティーの最中に「今日は物理学賞の発表だ」と思い、持参したパソコンで調べたところ、なんと梶田先生でした。生理学・医学賞を受賞されたのが大村智先生で、お二人ともよく存じ上げているので、その場で祝杯を挙げて大いに盛り上がりました（笑）。

**梶田：**お祝いのメッセージを、どうもありがとうございました。

**山崎：**私は、日本学士院の欧文紀要の編集を担当しているのですが、2010年に梶田先生に論文（Vol. 86, 303-321, "Atmospheric neutrinos and discovery of neutrino oscillations"）を寄稿いただきました。その際、ニュートリノ振動の実験データを表紙にさせていただきました（次頁の図を参照）。色々注文した記憶がありますが、結果的には、その表紙の絵を見せるだけで今回のノーベル賞受賞の学問的中味を説明できるものになりました。

**小林：**梶田さんが日本学士院賞を受賞されたのは、2012年でしたね。ニュートリノの論文を1998年に発表されて、同じシリーズのカンファレンスが14年ぶりに日本に回ってきて、その年の6月に京都で開かれていた。たまたま学士院賞の授賞式と同じ日だったんです。

**梶田：**そうです、そうです。小林先生は京都で講演されていました。

**山崎：**それから3年経って、今回のノーベル賞ですね。そもそもどういきっかけで大気ニュートリノに関心を持たれたのですか。

**梶田：**これは偶然なんです。博士論文を「陽子の崩壊」で書いた後、小柴昌俊先生\*1が、素粒子センターで私を

雇ってくれまして、その仕事をしながらカミオカンデで実験することを認めてくださった。実は博士論文執筆中から、解析ソフトを改良すれば、もっといい結果が出るような感じがしていて、書き終わるとすぐ、ソフトウェアに色々な改良を始めました。そのうちの 하나가、チェレンコフ光\*2が電子かミュオンかを分けるソフトだったんです。それを開発したので、一応、データもあるし、「ちょっと試してみよう」と思って調べてみたら、ミュオン事象の数が全然足りない。「あれ、何を間違えたんだろう、数が合わない……」。そういうところからですね。

**山崎：**本来、カミオカンデは陽子崩壊の発見を目指して始められたわけですが、小柴先生は当初から「ニュートリノがおもしろい」とおっしゃっていました。しかし、陽子崩壊が本命で、ニュートリノは付け足し……と言ったら変だけど、ニュートリノの発見は偶然がもたらしたものだ。こうしてみると、何かを秘めて研究をしていることの大切さがよくわかります。

**小林：**太陽ニュートリノの欠損の研究ができるのではないかと言いついたのは、それより前ですか。

**梶田：**これを小柴先生が言いついたのはすごく早いんですよ。カミオカンデは1983年の7月にデータを取り始めたのですが、その年の秋には小柴先生がカミオカンデを改造して太陽ニュートリノをやると言い始めています。

**小林：**それで、バックグラウンドというか、水に混じった自然放射能を下げるための水の精製を始めたのですね。

**梶田：**そうです。精製法を改良したり、あるいは3,000トンのタンクの外に水を入れてみたり、色々試みました。

**小林：**そうすると、1986年よりずっと前のことですね。

**山崎：**当時、小柴先生は「太陽ニュートリノパズルにもアプローチできるはずだ」と言われていました。それを具

体化する研究がまもなく始まったということになりますね。

**梶田：**そうです。

**山崎：**素晴らしいことですね。東大で行われた国際ワークショップに参加していたドイツの若手研究者は、カミオカンデの発表から、太陽ニュートリノと覚しきものが本当に太陽から来てい

## ニュートリノ

物質のもとになっている最小単位の粒子＝素粒子の一種で、電氣的に+でも-でもないため、「中性（ニュートラル）な素粒子」の意味（1934年、エンリコ・フェルミが命名）。電子型、 $\mu$ 型、タウ型の3種類がある。太陽や地球の大気などで生まれ、地球には1平方cmあたり毎秒660億個も降り注いでいる。電荷を持たず、他の物質とほとんど反応せず、何でも（地球さえも）素通りしてしまうため、観測が難しいが、宇宙の成り立ちの解明に重要な鍵を握ると考えられている。

## 大気ニュートリノ

地球には常に陽子やヘリウム、鉄の原子核などの宇宙線が降り注いでいて、それらが大気の原子核と反応して、 $\pi$ 中間子が出現する。 $\pi$ 中間子是不安定なため壊れてしまうが、その過程で生まれるものをいう。地球の裏側でできたニュートリノも地球を通り抜けてくる。

## 太陽ニュートリノ

太陽は核融合で燃えており、水素の原子核である陽子が4個融合してヘリウムが生まれる際、必ず出現する2つの電子ニュートリノのこと。

## スーパーカミオカンデ

東京大学宇宙線研究所が岐阜県飛騨市神岡町の神岡鉱山の地下1,000mに設置した素粒子物理研究のための観測装置。1983年に実験を開始したカミオカンデの後継機で、検出器の体積は約20倍。直径39m高さ42mの円筒形タンクに50,000トンの純水を蓄え、壁には直径約50cmの光電子増倍管11,200本が取り付けられている。1996年から実験を開始し、ニュートリノ研究や陽子崩壊の探索、ダークマター（未知の物質）の検出など宇宙の謎に迫る。

\*1 小柴昌俊：1987年、自ら提案したカミオカンデにより、太陽系外から飛来したニュートリノの観測に史上初めて成功したことで2002年ノーベル物理学賞を受賞。日本学士院会員。東京大学特別栄誉教授。

\*2 チェレンコフ光：ニュートリノが、水中の陽子や中性子や電子と反応して飛び出てきた荷電粒子が水中を走ったときに放出する光。

ることが分かってビックリしていました。太陽ニュートリノのように捉えようも無い素粒子がどこから来ているか、方向性を確認できたのは偉大なことです。ニュートリノ観測実験に携わっている者にとっては大きな驚きでしたね。

梶田：そうでしょうねえ。

小林：そもそも梶田さんが東大に入れた頃、神岡の建設はもう始まっていたのですか。

梶田：いや、まだ始まっていませんでした。私の2年上の有坂勝史さん（現カリフォルニア大学ロサンゼルス校教授）がカミオカンデの最初のシミュレーション・プログラムを一人で書いて、いろんなことを検討していました。それで、新しく入ってきた修士1年の私に「一緒にやらないか」と言われて、やることになりました。

小林：そのカミオカンデをやりたくて、東大の研究室を選んだのですか。

梶田：ところが、東大大学院募集要項の小柴教授の欄を見ると「陽子崩壊」は入っていなかったんです。電子・陽電子衝突実験のことだけ書いてあって。

小林：じゃ、知らずに入ったんですか？

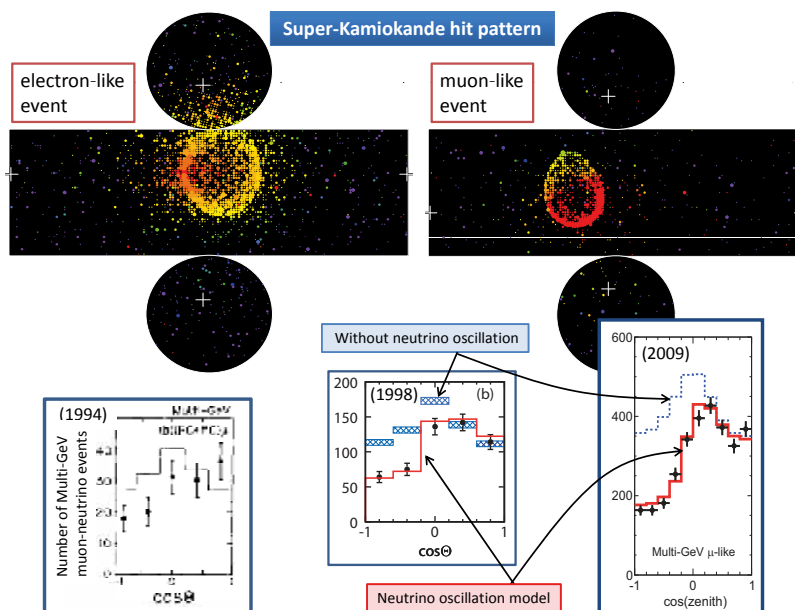
梶田：そうなんです。

小林：では、東大の修士に入る際はどういう基準で研究室を選ばれたのですか。

梶田：宇宙線にいつから興味を持ったかという質問をよく受けるのですが、それは自分でもわかりません。ただ、修士の時には「素粒子の実験をやりたい」ということは決めていて、第一希望に小柴研究室と書きました。

小林：じゃ、電子・陽電子の衝突の実験をやるのかなと思っていただけた。

梶田：そう、そう、実はそうなんです（笑）。当時、小柴研究室はドイツでの実験に参加していました。話を大気ニュートリノに戻すと、小柴先生には最初から本当に支えてもらいました。たとえば、1992年に2番目の論文を書いているのですが、あれは小柴先生がいなかったら、多分世に出なかったでしょう。最初はミュオンニュートリノが減っていると言っただけで、2番



### スーパーカミオカンデで発見されたニュートリノ振動

巨大なタンクに飛来する大気起源のニュートリノには2種類あって、物質との相互作用の結果ミュオンまたは電子が生成される。この2種類の荷電粒子が50,000トンの水の中で発生する極微小なチェレンコフ放射光は、円柱形タンク内壁に張り巡らされた11,200個の大型光電子増倍管によって検出される。図の上部には典型的な2例（左：電子ニュートリノ、右：ミュオンニュートリノ）につき、個々の光電子増倍管の発する電気信号の分布を円柱を切開した面上に表示してある。各事象のパターンの解析から、ニュートリノの種類、エネルギー、飛来方向が決定された。ニュートリノの質量はゼロでその種類が変わることはないかと長らく信じられていたが、有限な質量があると、或る種のニュートリノが飛行中に別のニュートリノに変化し、やがて再び元に戻ることが起こりうる。これをニュートリノ振動と呼んでいる。下の3つのグラフは、観測されたミュオン事象の数を天頂角の関数として示したもので、ニュートリノ振動が無いと仮定した場合と比較されている。左図は初期のカミオカンデのデータ(1994年)で、ニュートリノ振動の兆候が現れているが、スーパーカミオカンデの1998年のデータ(中図)では、ニュートリノ振動を示す理論値(赤い折線)と決定的な一致を見た。さらに続けられている2009年のデータ(右図)では振動の様相が精密化し、素粒子物理に新しい重要な情報を提供している。

目はそれを一歩進めて「ニュートリノ振動」だと解釈したらどうなるかということについて、もっと定量的な解析をしたものです。それが書けたのは小柴先生がいたからなんです。背中を押してくれたところか、小柴先生の家に行って論文の編集をしているような感じでした。

山崎：それで、本来の陽子崩壊自体の今後の見通しはいかがでしょう。

梶田：陽子崩壊の見通しですか……。これは難しいですね。素粒子の間に働く力は、強い力と電磁力と弱い力があって、この3つはそれぞれ独立した理論なので、それらを統一する理論が欲しいと科学者はみな望んでいるわけです。もし力の統一が起こるとすれば、陽子が必ず崩壊するだろうと思われる。このコンセプトは今でも正しいので、陽

子崩壊が見つかることは非常に重要だと思います。

山崎：我々の世界を構成している粒子がいつかはなくなってしまうということだから、大問題です（笑）。陽子崩壊といっても、例えば水の中には陽子がいっぱいあるので、それが崩壊するだろうと考えます。しかし、水の中の陽子というのは水が $H_2O$ だから自由な陽子とは18分の2で、あとは酸素の原子核の中に入っているわけですね。原子核の中に入っている陽子は自由な粒子と大きく異なるとしたら、それで陽子崩壊を探そうと思っても有意なシグナルがみつからない恐れもあるのではないかと心配したこともあるのですが、赤石義紀さんとの研究から、神岡で行われている方法論は正しくて、やはり崩壊が起きていないから見えていないの



だ、ということがはっきりしました。

**梶田：**神岡のシミュレーションでは、山崎先生たちのお仕事の効果はちゃんと入っていますよ。でも、やっぱり原子核は難しいのでしょうね。色々なことを考えれば考えるほど、少しずつ検出効率が落ちていっているような気がします。

カミオカンデを始めた頃の陽子の寿命の予言が、おおざっぱに言って10の30乗年±10の2乗という感じでした。10の30乗年といった時は、陽子が $e^+$ と $\pi^0$ に壊れると考えた場合の数だったのですが、それが今ではもう10の34乗年を超えています。1980年頃あったような明確な理論のガイドラインがなくなったと思いますから、どの寿命まで探索すればよいかを見きわめるのは厳しいですね（苦笑）。もちろん物理的な重要性は全く落ちてはいないと思いますが……。

**山崎：**みんながあまり注目しなくなって忘れた頃に起こるかもしれません。

**梶田：**私も、そう思います。

## カミオカンデから スーパーカミオカンデへ

**小林：**大気ニュートリノの問題を最初に論文にされたのは1988年で、それから高山で開催されたニュートリノ国際会議で発表されるまでの10年間はどんな心境でどんな研究をされていたのですか。最初は、ニュートリノ振動を遠慮がちに書いておられるんですけど、段々自信を深めていったのですか。

**梶田：**1988年の時は、とにかくそういうデータが見えたので報告しておこうと思いました。当時の宇宙線のデータは誤差が大きかったので、ミューオンニュートリノが少ないといっても、「本当はミューオンニュートリノは予想通りで、もしかしたら電子ニュートリノが多いのかもしれない」とか、いろんな解釈があったので、ニュートリノ振動だっ

た時に予想されて、ほかの効果では予想できないようなものを見る必要があると思ったんですね。特に気にしたのは、やはり「方向性」です。最初の論文の時には、陽子崩壊のバックグラウンドのサンプルを使っていたので、イベントのエネルギーが低くて、ニュートリノの方向と出てきた電子とかミューオンといったレプトンの方向にほとんど相関がないんですね。これでは多分、次の証拠はなかなか出てこないなと思いました。それで、今まで見ていなかった高いエネルギーのサンプルを見ると、ニュートリノの方向と出てくるレプトンの方向が段々揃ってくるので、方向から何か言えるのではないかと考えたわけです。つまり、上から来るものは飛行距離が短いけど、地球の反対から来るものは距離が長い。ということで、エネルギーの高いニュートリノをすぐに見始めました。ところが、カミオカンデは小さかったので、ある程度意味のあるデータになるまでに6年かかってしまいました。

**小林：**そこで、スーパーカミオカンデに移行したのですね。

**梶田：**1994年に論文にしたところで、スーパーカミオカンデを建設し、早く次のデータを見た方がいいだろうと思いました。

**小林：**スーパーカミオカンデの提案の中で、大気ニュートリノは必ずしも最優先ではなかった、とも聞きましたが。

**梶田：**それは絶対、そうだと思います。スーパーカミオカンデを提案していた1980年代後半だと、大気ニュートリノの問題についてはあまりポジティブには受け止められていなかったと思うんです。それを前面に出したら、なかなか建設案は通らないですよ（笑）。でも、ありがたいことに、超新星爆発<sup>\*3</sup>が起こったし、かつ太陽ニュートリノ欠損の問題は、もう十分に意義づけられていたから、それをきちんと解明することはおそらく、方針として正しい

のだと思います。

**山崎：**大気ニュートリノの場合も太陽ニュートリノの場合もそうですけど、欠損をもたらすニュートリノ混合が、当時は、カビボ角だとか、それまでクォークで知られていることが頭にあって、ニュートリノになったら、もっともっと小さいと考えるのが常識だと思うんだけど（笑）。だから、大きな欠損が初めから見えてきたということに対しては、「信じがたい」という気持ちが強かったと思うんですね。それを本当かどうか極めていかれたのはすごいことですね。小林先生は、ニュートリノが振動するという可能性は考えていらっしやいましたか。

**小林：**いや、振動の大きさよりも、どちらかといえば、振動の周期というか、振動長が都合よすぎるというのが第一印象でした。太陽ニュートリノが、ちょうど地球と太陽の距離の値で振動したり、大気ニュートリノが地球のサイズで振動したりするのが、角度以上に都合がよすぎるということが、にわかには信じられない気持ちでしたね。

**梶田：**うん、うん（と頷く）。

**小林：**ただ、ニュートリノの質量とか混合自体は、宇宙論ではむしろ以前から可能性として議論されていました。私も1970年代に佐藤勝彦<sup>\*4</sup>さんと、宇宙論からニュートリノの質量や混合にどういう制限がつくかという議論はしていたので、可能性についてはそれほど驚かなかったんですけども。

**山崎：**そうですね。太陽ニュートリノが本当たとしたら、かなり大きな混合でないと成り立たない。

**梶田：**でも、私が見ていた感じだと、皆さんが太陽ニュートリノの問題を「ニュートリノ振動」と本気になって考え始めたのは、MSW<sup>\*5</sup>の論文があったからですね。

**小林：**そうですね。

**梶田：**小さい混合でも全部が別のニュートリノになっちゃうのが自然だ

\*3 超新星爆発：1987年、カミオカンデは大マゼラン星雲で超新星爆発ニュートリノの観測に成功した。

\*4 佐藤勝彦：「インフレーション宇宙論」の提唱者。東京大学名誉教授、大学共同利用機関法人自然科学研究機構長、明星大学理工学部客員教授、日本学士院会員。

\*5 MSW：Mikheyev-Smirnov-Wolfenstein効果。太陽ニュートリノ問題をニュートリノ振動で説明する有力な理論として注目された。

といったことになって……。結局、答えはその考えの通りではありませんでしたけどね。

**山崎：**スーパーカミオカンデという巨大な検出器の建設が始まるわけですが、2001年に光電子増倍管が連鎖反応のようにして壊れる不幸な事故に見舞われました。そこからよく早期に復興することができましたね。

**梶田：**あの時、我々は本当に戸塚先生<sup>\*6</sup>に救われました。事故の後、戸塚先生は短時間のうちに皆さんの気持ちを聞いて、早々に再建を決断され、前面に出て復興へ突き進んでくれたので、我々は心から救われた気持ちでしたね。

**山崎：**そうでなければ、今のような輝かしいデータは得られなかったかもしれません。私が神岡を訪問した時、戸塚先生は第一線で作業員みたいに復旧作業をやっておられました。あれだけ巨大なものを皆さんが一丸になって直されている姿は感動的でした。スーパーカミオカンデになって、国際的な協力も大きくなったのではないですか。

**梶田：**非常にありがたいことに、カミオカンデの頃のアメリカのIMB<sup>\*7</sup>の実験の研究チームの本体がそっくり入ってきてくれて、テクノロジー、ソフトウェア、すべてわかっている人たちが加わったので、チームとして強化されたと思います。

**山崎：**神岡に行くと、小さな建物だけど、外国の研究者がたくさんいらっちゃって、色々な解析を行っており、「国際的なラボなんだな」と感じます。

**梶田：**スーパーカミオカンデの研究者は常時110～120名はいると思います。日本人が6割くらいで、あとはメジャーな国はアメリカですが、韓国、スペイン、カナダ……。最近、英国が入ったし、ポーランドも、中国もいる。色々な国が入っています。宇宙線研の神岡施設のスタッフは、サイエンティストが20数人、カブリ数物連携宇宙研究機構の人もいますので、30人くらい

でしょうか。スーパーカミオカンデのスタッフが多いのですが、ダークマターのXMASSの実験を集中的にやっている人もいます。

**山崎：**梶田さんは研究に打ち込むため、神岡に近い富山市に住居を移されました。そういった生活態度もすごいなあと感服しました。

**梶田：**宇宙線研は、そのあたりはわりと自由にできるんです。1995年に現場での建設が本格化しようという頃には、当時いた田無にそのままいたのでは仕事にならないと思ったので。

**山崎：**外国の方たちは宿舎で生活していて問題はありますか。

**梶田：**外国人は多分、それなりに大変なんだろうと思います。たとえば韓国の人は、「やっぱりキムチが食べたくなる」と言いますし……。笑)。皆さん、富山の方に買い物に行ったりして、適宜、気を抜きながらやっているのでしょう。

**小林：**梶田さん自身は、現地にはどの程度いらっしゃるのですか。

**梶田：**滞在確率は恥ずかしくて言えないくらいです（苦笑）。本当に、年に10回も行けなくなりましたね。

## ノーベル賞授賞式

**小林：**ところで、ノーベル賞の授賞式の印象はいかがでしたか。

**梶田：**何をコメントしたらいいのでしょうか……。笑)。

**山崎：**ダンスはなさったのですか？

**梶田：**それは、「やらない」と公言していた通り、やりませんでした。

**小林：**私（2008年ノーベル物理学賞の授賞式で）は疲れましたね。梶田さんはまだ若いから大丈夫……。

**梶田：**私は胃が参りました。後半はずっと胃腸薬を飲んで、どうにか過ごしましたが……。笑)。アルコールは確かに毎日でした。小林先生もそうですよね。

**小林：**そうですね。毎日何かの会食が用意されていたから。

**梶田：**受賞の感慨などはまだ感じる余裕がありませんが、授賞式のリハーサルで青いカーペットを見た時、「ああ、これか……」とは思いました。

**山崎：**私たちにとっても本当に嬉しい受賞で、やはり「探究しよう」という態度が大切なのだとあらためて感じました。

**梶田：**もちろん「物理が好き」ということもあるのですが、ある段階まで行くと、この問題を科学者としてきちんと研究して突き詰めていかなければいけないんじゃないかという気持ちも湧きました。

**山崎：**なるほど……。大発見というのは何を考えたから起こってくるというわけでもありません。でも気になっていることを探求しようとするバイタリティが大事ですね。本当にお忙しい中、貴重な時間をありがとうございます。

梶田 隆章（かじた たかあき）

1959年、埼玉県生まれ。埼玉大学理学部物理学科卒業。東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。東京大助手、助教授を経て、1999年、教授に就任。2008年から東京大学宇宙線研究所長を務める。朝日賞（神岡観測グループ、スーパーカミオカンデ観測グループ）、日本学士院賞、ノーベル物理学賞、文化勲章、パノフスキー賞を受賞。

小林 誠（こばやし まこと）

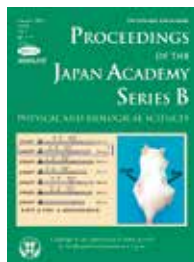
1944年、愛知県生まれ。名古屋大学理学部物理学科卒業。同大学院理学研究科修了。京都大学理学部助手、高エネルギー物理学研究所教授、高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所長を経て、同研究機構特別栄誉教授。名古屋大学特別教授。総合研究大学院大学名誉教授。1985年アメリカ物理学会J.J.Sakurai賞、日本学士院賞、2007年欧州物理学会高エネルギー・素粒子物理学賞、2008年ノーベル物理学賞、文化勲章。

山崎 敏光（やまざき としみつ）

1934年、東京都生まれ。東京大学理学部物理学科卒業。同大原子核研究所助手、カリフォルニア大学、ニールス・ボーア研究所研究員、東京大学教授を経て、1986年から東京大学原子核研究所所長。退官後は日本学術振興会監事などを歴任。東京大学名誉教授、日本学士院会員。中間子物理の実験的研究により、1987年恩賜賞・日本学士院賞、2009年文化功労者。

\*6 戸塚洋二：小柴昌俊博士の愛弟子で、梶田博士の兄弟子。1988年、宇宙線研究所教授に就任し、スーパーカミオカンデ建設を主導した。2008年、大腸ガンのため逝去（享年66）。  
\*7 IMB：Irvine-Michigan-Brookhaven。1956年にニュートリノを発見したF. ライネスを中心にカリフォルニア大学アーバイン校、ミシガン大学、ブルックヘブン国立研究所の合同計画で建設された実験。

No. 1



## Review

Kiyoshi FURUKAWA: Challenge to the suppression of tumor growth by the  $\beta$ 4-galactosyl-transferase genes . . . . . 1

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.1>

**Cover Illustration**

細胞表面は糖タンパク質や糖脂質の糖鎖で覆われ、癌化で構造が変化する。この時ガラクトースを付加する酵素の遺伝子発現が変化し、発現を元に戻すと腫瘍の形成が抑制される。これらは癌の遺伝子治療に有用である。

## Original Articles

Qinghua HUANG, Hengxin REN, Dan ZHANG and Y. John CHEN: Medium effect on the characteristics of the coupled seismic and electromagnetic signals . . . . . 17

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.17>

地震－電気効果、その逆の電気－地震効果についての数値実験によると、地震波信号と違って電気信号は媒質中の流体の塩分濃度、粘性率によって大きく変動するので、媒質物性の研究には電気信号のほうが有用と思われる。

Masashi HAYAKAWA, Alexander SCHEKOTOV, Stelios POTIRAKIS and Kostas EFTAXIAS: Criticality features in ULF magnetic fields prior to the 2011 Tohoku earthquake . . . . . 25

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.25>

2011年3月11日の東日本大震災の数日前に極超低周波磁界変化が発生していたことを、Natural Time法という新しい臨界解析法を駆使して示した。地震の先行現象の解析での臨界解析の重要性を指摘している。

No. 2



## Review

Yutaka SATOU and Kaoru S. IMAI: Gene regulatory systems that control gene expression in the *Ciona* embryo. . . . . 33

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.33>

**Cover Illustration**

ホヤは脊索動物の中では格段に単純なゲノムと発生様式を持っている。その胚発生の遺伝子調節ネットワークは細胞単位で網羅的に解明されており、脊索動物の発生と進化的起源の研究へ新たな知見を生み出している。

## Original Article

Masaru MIZUGUCHI and Katsumi SEKI: Field observation of morpho-dynamic processes during storms at a Pacific beach, Japan: Role of long-period waves in storm-induced berm erosion . . . . . 52

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.52>

砂浜海岸の汀線（パーム）が高波浪時に大きく侵食される過程を、超音波式水位（兼砂面）計を用いて連続的に現地観測することに成功した。パームの侵食は潮位の上昇と波浪の増大が重なって波がパーム頂に到達することにより始まり、数時間で終了した。なお、その侵食は周期1～2分程度の長周期波によるものと推測される。

No. 3



## Reviews

Strahil Iv. PASTUHOV, Naoki HISAMOTO and Kunihiro MATSUMOTO: MAP kinase cascades regulating axon regeneration in *C. elegans*. . . . . 63

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.63>

**Cover Illustration**

切断された神経軸索の再生機構は、種を越えて保存されている。近年、モデル生物である線虫を用いた解析により、その分子機構の解明が進んだ。本総説では、線虫における軸索の再生機構に関する最近の知見を紹介する。

Eimei SATO: Intraovarian control of selective follicular growth and induction of oocyte maturation in mammals . . . . . 76

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.76>

哺乳動物の卵巣には多数の卵母細胞が存在するが、一部が選抜されて発育し、種に固有の数の卵母細胞が生き残り、成熟し、卵子となる。このような過程の調節メカニズムについて著者らの成果をまとめたものである。

## Original Articles

Ryugo S. HAYANO, Masaharu TSUBOKURA, Makoto MIYAZAKI, Hideo SATOU, Katsumi SATO, Shin MASAKI and Yu SAKUMA: Whole-body counter surveys of Miharu-town school children for four consecutive years after the Fukushima NPP accident ..... 92

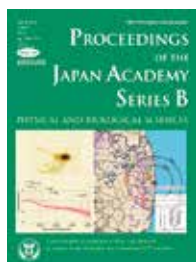
<http://doi.org/10.2183/pjab.91.92>

福島県三春町では2011年秋から4年連続で小中学生全員約1,500人の内部被ばく検査を行っている。多くの家庭で自家米や自家野菜を常食しているにもかかわらず、2012年以降は放射性セシウム検出者が一人も見られていない。

Sumio ISHIJIMA:  $\text{Ca}^{2+}$  and cAMP regulations of microtubule sliding in hyperactivated motility of bull spermatozoa ..... 99

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.99>

ほ乳類の受精にとって重要な精子超活性化の機構を微小管の滑りから解明した。超活性化初期の非対称な大きな運動は高濃度カルシウムイオンにより、後期の対称な大きな運動は低カルシウムイオン下での高濃度cAMPによる。



## Reviews

Hisashi MITSUYASU: Reminiscences on the study of wind waves ..... 109

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.109>

海面上に風が吹くと、細波が発生し、風からエネルギーを効率よく吸収して発達し、海で目にする海洋波となる。この総説は、海洋波の発生・発達の過程を実験的に明らかにした著者らの研究の結果を総括したものである。

Hideo KIMURA: Hydrogen sulfide and polysulfides as signaling molecules ..... 131

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.131>

毒ガス硫化水素 ( $\text{H}_2\text{S}$ ) が生体にとって不可欠なシグナル分子であることと、イオンチャネル活性化や遺伝子転写促進を惹起するポリサルファイド ( $\text{H}_2\text{S}_n$ ) について、その発見の歴史と腫瘍制御効果などの最近の知見を概説した。

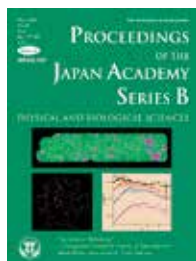
## Original Article

Hiroshi NAKANISHI, Atsushi MORI, Kouki TAKEDA, Houdo TANAKA, Natsuko KOBAYASHI, Keitaro TANOI, Takashi YAMAKAWA and Satoshi MORI: Discovery of radioactive silver ( $^{110m}\text{Ag}$ ) in spiders and other fauna in the terrestrial environment after the meltdown of Fukushima Dai-ichi nuclear power plant. .... 160

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.160>

Cover Illustration

主としてジョロウグモをはじめとする陸域の節足動物群に、福島第一原発事故由来の $^{110m}\text{Ag}$ を高濃度に検出した。ジグモで定点観測した結果、 $^{110m}\text{Ag}$ は原発事故3年半後には物理的半減期以上の速度で生体から消失した。



## Reviews

Yoshihiro UEDA: Cosmological evolution of supermassive black holes in galactic centers unveiled by hard X-ray observations ..... 175

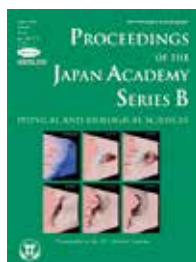
<http://doi.org/10.2183/pjab.91.175>

Cover Illustration

銀河の中心に存在する巨大ブラックホールは、宇宙の進化に多大な影響を与えてきた。日本のX線天文衛星による硬X線を用いた巨大ブラックホールの探査は、その宇宙論的進化の解明に大きく貢献した。

Hirofumi MANO: The *EML4-ALK* oncogene: targeting an essential growth driver in human cancer ..... 193





<http://doi.org/10.2183/pjab.91.193>

本質的な発がん原因分子の機能を抑制することで、有効ながんの分子標的治療薬が開発可能になると期待される。*EML4-ALK*融合型チロシンキナーゼはまさにそのような分子であり、特効薬が医療の場にもたらされた。

## Reviews

Hisashi UTADA: Electromagnetic exploration of the oceanic mantle ..... 203

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.203>

深さ数百kmまでの海洋マントルの電氣的性質の解明は、地球内部の活動や進化の理解のための基本情報をもたらす。それを可能にした深海底における電磁気探査の近年の技術的進歩と、今後に残された問題点を概説する。

Kazuhiro NAKAJIMA: Laser-driven electron beam and radiation sources for basic, medical and industrial sciences ..... 223

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.223>

次世代粒子加速器や放射光源のもとになる新しい加速原理の開発を目指して始まった、高強度レーザーとプラズマを用いる、レーザープラズマ加速研究の最近の進展について概説し、新たな応用への研究の一端を紹介する。

Yoshio OKAMOTO: Precision synthesis, structure and function of helical polymers ..... 246

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.246>

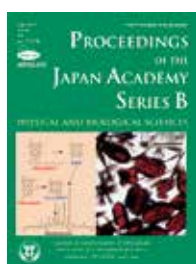
一方向巻の安定ならせん構造を有する光学活性高分子の不斉合成に成功した。この高分子は予期せぬ光学分割能を示し、HPLC用のキラル充填剤として実用化された。これらの成果は、さらに優れた多糖系のキラル充填剤の開発に繋がった。

Shinji SATO: Characteristics of the 2011 Tohoku Tsunami and introduction of two level tsunamis for tsunami disaster mitigation ..... 262

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.262>

**Cover Illustration**

甚大な被害をもたらした2011年東北津波に関して、現地調査と数値解析により、その特性と海岸防護構造物の役割と限界を分析した。これらにより、二段階の津波規模に基づく総合的な津波対策が導入されることとなった。



## Reviews

Naohiko OHKOUCHI, Junichiro KURODA and Asahiko TAIRA: The origin of Cretaceous black shales: a change in the surface ocean ecosystem and its triggers ..... 273

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.273>

**Cover Illustration**

石油の根源岩である白亜紀の黒色頁岩を詳細に分析した結果、シアノバクテリア-珪藻の共生系が主要な有機物源であることと、黒色頁岩生成の遠因として火成活動が深く関わっていたことを明らかにした。

Masaru TANIGUCHI, Michishige HARADA, Nyambayar DASHTSOODOL and Satoshi KOJO: Discovery of NKT cells and development of NKT cell-targeted anti-tumor immunotherapy . 292

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.292>

著者が発見したNKT細胞は、自然免疫系と獲得免疫系を同時に活性化するため、がん再発予防効果の高い新治療として国内で「先進医療B」に認定されるとともに、米国免疫学会で新規分野を開拓した研究として選定された。

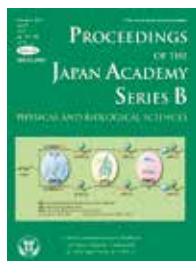
Tomoyuki TAKAHASHI: Strength and precision of neurotransmission at mammalian presynaptic terminals ..... 305

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.305>

様々な脳の働きは神経細胞間の接点、シナプスにおいて調節、維持され、シナプス伝達の強度と精度は神経回路の開閉と電気信号のタイミングを決定する。シナプス伝達細胞分子機構の解明は脳疾患の克服に不可欠である。

Takeyuki WAKABAYASHI: Mechanism of the calcium-regulation of muscle contraction — In pursuit of its structural basis — ..... 321





<http://doi.org/10.2183/pjab.91.321>

骨格筋・心筋の収縮は $\text{Ca}^{2+}$ で制御される。著者はトロポニンのモバイルドメインが低 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度ではアクチンに結合し、トロポミオシンのカルボキシル末端領域をシフトさせ、筋弛緩をもたらすことを明らかにした。

## Reviews

Hiroshi KIDO: Influenza virus pathogenicity regulated by host cellular proteases, cytokines and metabolites, and its therapeutic options. . . . . 351

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.351>

インフルエンザ感染とその重症化は、宿主因子のプロテアーゼ、サイトカイン、体内代謝産物によって左右されている。本総説はその発見に至った経緯と作用機序、さらに宿主因子を標的にした最新の治療薬を概説した。

Ei-ichi NEGISHI and Shiqing XU: Catalytic enantioselective synthesis of chiral organic compounds of ultra-high purity of >99% ee . . . . . 369

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.369>

**Cover Illustration**

先に発見したZr-触媒を用いたエナンチオ選択的C-C結合生成反応と酵素触媒下アセチル化を経て得られる高純度アルコールをCu又はPd触媒下でクロスカップリングすることにより、超高純度 (>99%ee) なキラル有機体の高能率的かつ広範囲な合成が可能となった。

Yasuhiro FURUICHI: Discovery of  $\text{m}^7\text{G}$ -cap in eukaryotic mRNAs . . . . . 394

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.394>

キャップと呼ばれる奇妙な構造 ( $\text{m}^7\text{GpppN}$ ) がmRNAの末端にあり、遺伝情報の発現に必須であることは広く知られている。しかし、これが日本人 (古市・三浦、Nature 1975) による発見であることを知る人は少ない。レビューではその発見の背景・経緯を記す。

Kazuhiko YAMAMOTO, Yukinori OKADA, Akari SUZUKI and Yuta KOCHI: Genetic studies of rheumatoid arthritis . . . . . 410

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.410>

関節リウマチは頻度の高い自己免疫疾患であり、複数の遺伝要因と環境要因により発症する。ゲノムワイド関連解析で、その遺伝要因が明らかとなりつつある。さらにその機能と疾病との関係の解析が重要である。

Hiroshi KIYONO and Tatsuhiko AZEGAMI: The mucosal immune system: From dentistry to vaccine development. . . . . 423

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.423>

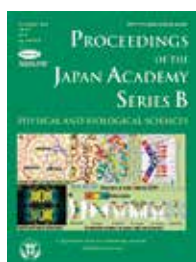
腸管粘膜免疫機構による生体防御の解明を基盤とした農学 (イネ植物学)、工学 (植物工場) との異分野融合により、腸管下痢症を予防する冷蔵保存・注射器不要のコメ型経口ワクチンMucoRiceの開発が進んでいる。

## Original Article

Ryugo S. HAYANO, Masaharu TSUBOKURA, Makoto MIYAZAKI, Akihiko OZAKI, Yuki SHIMADA, Toshiyuki KAMBE, Tsuyoshi NEMOTO, Tomoyoshi OIKAWA, Yukio KANAZAWA, Masahiko NIHEI, Yu SAKUMA, Hiroaki SHIMMURA, Junichi AKIYAMA and Michio TOKIWA: Whole-body counter surveys of over 2700 babies and small children in and around Fukushima Prefecture 33 to 49 months after the Fukushima Daiichi NPP accident . . . . . 440

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.440>

乳幼児専用の内部被ばく検査装置Babyscanを福島県内に3台設置し、2014年に2,700人以上を検査したが、放射性セシウムが検出された子どもは一人もいなかったものの、保護者の内部被ばくのリスクに対する認識には大きな地域差が見られた。



## Reviews

Yoshinori FUJIYOSHI: Development of the field of structural physiology . . . . . 447

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.447>

**Cover Illustration**

独自に開発した極低温電子顕微鏡を活用して、膜タンパク質の構造を脂質膜中で解析し、機能の研究を進めることによって、構造生理学と名付けた分野を創設し、チャネルを中心にこの分野を発展させる努力を行っている。

Kazutoshi MORI: The unfolded protein response: the dawn of a new field. . . . . 469

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.469>

小胞体ストレス応答は、真核細胞において広く保存された恒常性維持機構である。出芽酵母を用いた解析の黎明期における2人の研究者のデッドヒートが如何に機構解明と分野発展に貢献したか生き生きと描写されている。

Tsuguo SUNAMURA: Rocky coast processes: with special reference to the recession of soft rock cliffs . . . . . 481

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.481>

世界の海岸の約80%は岩石海岸である。軟岩で構成される海岸での波浪侵食には古くから大きな関心が寄せられている。このような海岸の侵食プロセスに関する最近の知見をレビューするとともに新たな発見を提示する。

### Original Article

Taro KUSAGAYA and Hiroyuki K. M. TANAKA: Muographic imaging with a multi-layered telescope and its application to the study of the subsurface structure of a volcano. . . . . 501

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.501>

宇宙線ミュオンによる火山内部構造探査（ミュオグラフィ）での背景雑音のうち、鉛直方向から到来する複数の二次電子・陽電子による偶発的同時検出について、多層型観測装置を用いて低減することに成功した。

### Reviews

Tomoko KANEKO-ISHINO and Fumitoshi ISHINO: Mammalian-specific genomic functions: Newly acquired traits generated by genomic imprinting and LTR retrotransposon-derived genes in mammals . . . . . 511

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.511>

**Cover Illustration**

哺乳類のゲノムインプリンティング研究から発見した“レトロトランスポゾン由来のインプリント遺伝子”の機能解明を契機として、哺乳類の胎生・脳機能の進化において“遺伝子獲得”が果たした重要性を明らかにした。

Shigeyuki HAMADA, Shigetada KAWABATA and Ichiro NAKAGAWA: Molecular and genomic characterization of pathogenic traits of group A *Streptococcus pyogenes*. . . . . 539

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.539>

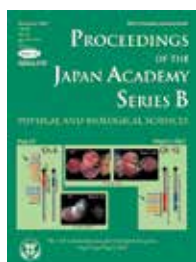
A群レンサ球菌（GAS）は軽度～死に至るものまで多彩な病変を引き起こす。本論文ではGASゲノムの特徴と、同菌の様々な菌体成分や菌体外に産出される酵素・毒素が宿主の細胞や組織に及ぼす作用について解説する。

### Original Article

Sotatsu TONOMURA, Satomi EBARA, Knarik BAGDASARIAN, Daisuke UTA, Ehud AHISSAR, Inbal MEIR, Ilan LAMPL, Daichi KURODA, Takahiro FURUTA, Hidemasa FURUE and Kenzo KUMAMOTO: Structure-function correlations of rat trigeminal primary neurons: Emphasis on club-like endings, a vibrissal mechanoreceptor . . . . . 560

<http://doi.org/10.2183/pjab.91.560>

三叉神経節の1つの一次感覚ニューロンが、ラットのヒゲ洞毛内で1個の棍棒状終末を形成し、中枢では橋から第2頸髄にいたる三叉神経核に広く投射し、毛軸の全ての微細な動きを的確に捉えて反応することを証明した。



# ミュオグラフィと火山学

日本学士院会員 横山 泉

火山を観るに科学的概念を導入した L. V. Buch、A. v. Humboldt に始まるとすれば、火山学の発祥は 18 世紀と言える。18～19 世紀の博物学的考え方が現在でも続いている面もある。19 世紀になって「マグマ」なる概念が導入されてから、現象を解釈する科学へと進んだ。しかし、火山の内部構造の究明は、難しいこともあり、意外に進展していない。

一般に、地球内部を探索するには、地震波、地磁気、電気伝導度、重力などの物理量を、対象とする深さに応じて測定して、構造を解析する手法は地球物理学の特技である。すべての実験科学でそうであるが、革新的な技術、装置が開発されると、研究面で格段の進歩がある。筆者の拙い経験では、戦後の 1953 年、東大地震研究所の故坪井忠二教授が、日本全国の水準点で相対重力値を決めるべく、日本で初めて米国から Worden 携帯用重力計を導入した。元来、重力計は石油探索の目的で、主として米国で開発されたもので、測定精度は 100 万分の 1、当時は最貴重品扱いで、その運搬のために、乗用車オールズモビルが輸入された。筆者は、そのプロジェクトが終了して、重力計が仕舞ってあるのを知って、坪井教授に火山調査への利用を申し出たら、快諾された。1958 年冬、この重力計によって、北海道東部の屈

斜路湖の凍結湖面で重力を測定して、著しい低異常値を得た。これは世界初の成果であって、これを端緒に火山地域の重力探査が普及した。現在では、この種の重力計は日本の各大学で普通に見られる。

さて、Muography（ミュオグラフィ）とは、宇宙線ミュオンを用いた巨大物体のイメージングである。地球表面では、鉛直方向から、1 cm<sup>2</sup> 当り 1 分間に 1 個のミュオンが飛来することが知られている。同じ厚さなら、密度の高い物質ほど通り抜けにくい。Muography は、物体を通り抜けたあとのミュオンの数を観測することで、ミュオン経路に沿った物体の平均密度を知り得る画期的な方法である。その発端はオーストラリアの物理学者 E. P. George が 1955 年に坑道上部の岩盤量を測定したことに始まり、L. Alvarez (Univ. California, Berkeley) らが 1968 年に、エジプト・ギザのピラミッド内部に隠された玄室の存在をさぐるためにそれを改良したのであった。

ここで、ミュオンが火山内部探索に用いられる理由は、主に次の 4 項である：

- 1) 山体を通過できる程度にエネルギー損失が少ない、
- 2) 山体の密度構造が検出できる程度にエネルギーを失う、

- 3) 検出が容易で、100% にちかい検出効率を達成できる、
- 4) 大気上部で多数生成され、地表に十分な数が到達する。

一方、このようなミュオンの特性から、火山内部の探索には幾つかの制約がある。通過距離が余りに長いと、ミュオンは透過する前に止まる（一般の岩石で約 5 km を通り抜けられるミュオンはごく少数である）。また、透過力の強い（エネルギーの高い）ミュオンを利用するためには、天頂角 0～85 度にセットすることが望ましい。

火山の内部構造の探索を目的として、1993～1994 年に永嶺謙忠教授らは準備観測として、筑波山において、約 2.0 km の山麓から 33 日間の観測によって、筑波山の輪郭映像を得た。1999 年に至り、田中宏幸・永嶺らは検出器系を増強して、3.9 km の距離から、浅間山火口の形状の検出に成功した。続いて 2006 年に田中教授ほかは火口から約 1 km の山麓から原子核写真乾板を用いた Muography 透視により、火口底の下が初めて可視化し、続く 2008 年からのリアルタイム観測により 2009 年噴火による火口内の変動が判った。活動中の浅間山の山頂火口内を観察することなど従来は夢想だにしなかった。この種の観測は将来の噴火活動の予測に有効であろう。

Muography なる新しい手法によ



り、過去の議論の正否が論じられるのは学問の流れである。2000年に筆者は、1944年有珠山噴火で形成された「昭和新山」の形成過程を、マグマの粘性、地殻変動に基づき、新山形成のモデル、すなわち、マグマは上昇して、その頂点に達してから側方へ拡大したと、提示した。2008年に田中・横山はMuographyにより、その頂部の内部構造を解明して、筆者のモデルが承認された。同じように、1910年噴火に際して隆起した「明治新山」、および1977年噴火による「隆起新山」の内部構造がMuographyにより明らかになった。

さらに顕著な成果の一つに、2008年に実施された薩摩硫黄島の活火山、硫黄岳（海拔704 m）の探査がある：この火山の噴気活動は激しく、900

℃に達する火山ガスは硫黄岳頂部に近いマグマからの放出と見なされている。Muography観測の結果を処理して、山頂火口底の直下に密度約1 g/cc、直径約35 mの火道があり、その下に密度が1 g/ccより小さい直径約86 mの火道が続くと解釈された。これは2002年に風早康平ほかが提出した、浅い火道内のマグマの対流モデルを裏付けるものである。

日本におけるこのような火山を対象としたMuographyの発展は海外でも高く評価されて、既に、わが国の装置がイタリアのヴェスヴィアス火山、ストロンボリ火山に設置されて成果をあげている。なお、日伊国交150年記念事業として、“ミュオグラフィ——21世紀の透視図法”なる展示が東京駅丸の内南口のJPタワー学術文化総

合ミュージアムで2016年5月8日まで開催されている。

21世紀に入り急展開したMuographyは、現在までは、先ず、観測を実施しやすい火山を選んできた。今後は、条件の厳しい火山も対象となるであろう。Muographyの結果によって過去の議論を検証するに留まらず、その観測結果から新しい議論が始まることを期待したい。たとえば、火山内部のマグマの動きのリアルタイム・モニタリングが可能になれば、火山学や防災論にとって画期的な知識が得られるであろう。

なお、田中宏幸教授らのオリジナル論文2篇が既にPJA-B(84, 107-116及び91, 501-510)に掲載されている。

## Proceedings of the Japan Academy, Ser. B について

Proceedings of the Japan Academy, Ser. Bは、文部科学省の機関である日本学士院が刊行する英文学術誌で、1912年に創刊されました。本誌は、化学、物理学、天文学、地球・宇宙科学、生物学、工学、農学、医学等、Ser. Aに掲載する数学を除く自然科学全分野を対象とします。年10回刊行し、総説論文（Review）と、原著論文（Original Paper、速報を含む）等

を掲載します。冊子の他、インターネットでもJ-STAGE（<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/pjab>）において全文が無料公開されます。2015年公開のImpact Factorは2.652でした。また、PubMedにも採録されています。

本誌への投稿資格に制限はありません。オンラインシステムによる投稿の他、電子メールや郵便による投稿も可能です。投稿された論文は、各分野の

第一人者2名を査読者として厳正な査読を行っており、アクセプトされた論文は、1カ月程度で出版されます。また、投稿料・掲載料は不要で、別刷を無料で50部進呈します。カラーページは印刷1ページを無料としています。詳しい投稿規程は、本院のウェブサイト<http://www.japan-acad.go.jp/pjab>をご覧ください。事務室まで御連絡ください。



**PJA Newsletter**  
[PJA ニュースレター]  
No.8

発行／日本学士院  
〒110-0007 東京都台東区上野公園7-32  
TEL: 03-3822-2101 FAX: 03-3822-2105  
e-mail: [proc-b@japan-acad.go.jp](mailto:proc-b@japan-acad.go.jp)  
発行日／平成28年3月31日

