

PJA News Letter

No.5

<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
著者インタビュー 佐藤勝彦氏	1
寄稿 思わぬ授かり物	7
Vol. 88 掲載総説 (Review) 論文	9
Proceedings of the Japan Academy, Ser. B について	12

挨拶

Editor-in-Chief
山川 民夫

毎年一度発行しているこのニュースレターも5回目になりました。元来PJA-Bは日本学士院の自然科学系会員自身の寄稿や会員が紹介した研究業績の発表の場でありましたが、その方針では時代とともに運営が困難になったため、広く国内外からの優れた論文を受け付け、特にあの研究者はどんな仕事をされたのが周知できるようにライフワークを英文総説の形で掲載して参りました。そのために必ずしも最新の仕事には限らず、古くても後進にとって有益な示唆に富む内容を期待したために、批判もありましたが、栄誉機関である学士院の立場からアーカイブの性格の雑誌として発行してきました。

従って学術誌の水準を示すとされているインパクトファクター (IF) は低くても構わないと思っておりましたところ、それまで1.0以下に低迷していた本誌のIFは2010年から2012年までの間に1.145、1.733、2.773と上昇し、日本のこの分野の諸雑誌では最上位を占めたとのこと。本誌編集委員会の喜びとするところです。

アインシュタイン以来およそ100年の間に、宇宙の歴史をひもとく理論の構築と、地道な観測・実験の成果によって、その謎が次第に明らかにされつつあります。宇宙が指数関数的に膨張したという「加速的宇宙膨張理論」(インフレーション理論)で日本学士院賞を受賞した佐藤勝彦博士(自然科学研究機構長、東京大学名誉教授)は、宇宙物理学の分野から宇宙と人類の関係を探求してきた第一人者。ニュートリノの観測で2002年にノーベ

インタビュー

佐藤勝彦

×

(聞き手)

古在由秀

ル物理学賞を受賞した小柴昌俊氏や、2008年に同賞を受賞した南部陽一郎、小林誠、益川敏英の3氏とも関係が深く、近年はアインシュタインから始まる宇宙論を著書やテレビなどでわかりやすく伝えていきます。果てしない宇宙に迫る研究の魅力と新たな謎について、天体力学の分野から宇宙を見つめてきた古在由秀会員(東京大学、国立天文台名誉教授)がインタビューしました。



「神様」ではない方法で 説明したい

古在:「宇宙論」は、やはりアインシュタインから始まるのでしょうか。それから、宇宙が膨張しているという「ハッブルの法則」になり、「火の玉理論」が出てくる。

佐藤:おっしゃる通りです。アインシュタインの「相対性理論」で、宇宙が膨張していることは数学的な計算式では出るのですが、それを観測的に示したのは、アメリカの天文学者のハッブルです。彼の観測は、宇宙にある銀河が私たちの住んでいる天の川銀河から遠ざかっているように見える、つまり遠くにある銀河ほど距離に比例する速度で膨張しているというものでした。これは本当に世界観を変えるほどの、ノーベル賞を束にしてさしあげてもいいような大発見だったと思います。これで宇宙が一点から始まったことが認められ、後にジョージ・ガモフが「ただ単に小さな一点から始まったのではなく、熱い火の玉だった」という説を唱えます。それは、私たちの身体を作っている元素の起源を説明するため、宇宙の始めに核融合反応が起こり、ウラニウムまで含む全部の元素を作るという理論でした。後に、ウラニウムや鉄のような重い元素は星の中で作られ、ガモフの言うビッグバンで作られる元素はせいぜい水素、ヘリウム、リチウム程度だとわかったのですけれども、宇宙が火の玉であるということ、その証拠として現在の宇宙にマイクロ波が満ち溢れているはずだと予言したのは素晴らしいことだったと思います。

古在:ガモフは啓蒙書も書いた人で、第二次大戦直後には日本語にも翻訳され、よく出回っていたので、当時僕らはよく知っていました。

佐藤:私も中学生の頃に読みまして、宇宙の研究を始める大きなモチベーションになりました。特に『不思議の

国のトムキンス』は、相対性理論のすぐれた解説書で、「速く運動していると、時間の進み方が遅くなる」といった説明の仕方は上手でしたね。そんな不思議な世界に憧れたものです。

古在:ではなぜ、火の玉が起きたか。それを説明したのが、佐藤さんですね。

佐藤:確かにビッグバン理論では、宇宙が火の玉だと仮定して後の進化を計算すると、熱いガスの温度が下がって固まり、銀河団ができ、星ができ、地球ができ、私たちが現在いる宇宙の歴史をうまく説明することができます。しかしよく考えると、なぜ火の玉で始まったのかわかりませんし、もっと根本的に、相対性理論で計算すれば宇宙が膨張したことになっていますが、それは神様か何かが初期条件として宇宙を投げ上げた膨張理論なんですよ。どうして投げ上げたのか。そりゃ、神様ならなんでもできるでしょうけど、物理学者としてはやはり、神様ではない方法で説明したいという欲望がありました。

ワインバーグ・サラム理論との 出会い

古在:佐藤さんは京都大学の助手だった30歳代の時、北ヨーロッパの研究所^{*1)}に客員教授として招聘されましたね。

佐藤:ええ。超新星の研究が評価されて招聘されたのです。修士の学生の時に、湯川秀樹先生の客員としてハンス・ベテさんという、星の中の核融合反応を発見したことでノーベル賞を受賞した学者が来られまして、本当にラッキーだったんですが、超新星の爆発で作られる中性子星の共同研究をする機会を得ました。その爆発のメカニズムは、真ん中のコアがものすごい高温になってニュートリノが飛び出してきて、そのニュートリノでコアの外側のガスを押して星を爆発させるというもので、今も標準理論としてうけいれられています。実は超新星爆発

の研究のためにニュートリノを勉強したことが、宇宙の始まりの理論につながっていったわけです。その当時、1970年代はあまりニュートリノの物理学、つまりニュートリノと物質がどんなふうに出会うかがはっきりわかっていませんでしたので、益川敏英先生に相談したことがありました。

古在:益川さんが名古屋から京都大学に来られたんですね。

佐藤:そうなんです。当時、京大の雰囲気はとてもよくて、院生であろうと隣りの研究室の助手に平気でいろいろ質問できました。それで益川先生から「ワインバーグ・サラム理論を勉強しろ。これを使って超新星の研究をやれば、誰もやっていない優れた超新星爆発の研究になるぞ」と言われたことがあって、今日「素粒子の標準理論」と呼ばれているワインバーグ・サラム理論を勉強したんです。私が興味を持ったのは、この理論が「真空の相転移」を起こすことを予言していたからなんですね。「真空の相転移」は、もとを正せば南部陽一郎先生の「自発的対称性の破れ」という理論で、要するに真空が相転移して別の状態に移るという意味です。後にヒッグスが南部先生の理論をわかりやすく拡張し、「真空は相転移を起こすと、もともと重さのなかった素粒子が質量を獲得する」という理論を作ったわけです。

古在:余談ですが、南部さんは僕らが学生の時に助手で、力学だか物理数学だかの演習担当で、ずいぶん難しい問題を出されていました（笑）。

佐藤:すごい秀才で通っていらしたんですね。私の恩師である林忠四郎先生とは同級生。ネットワークって面白いものです。超新星の研究は東京に来てから、ちょうど同じ物理学教室におられた小柴昌俊先生が超新星からニュートリノを発見された。私は何重にも幸運にめぐまれていました。

古在:小柴さんの発見で理論の正しさ

*1 デンマークの北欧理論物理学研究所に客員教授として赴任（1979-1980）、一般相対性理論と力の統一理論という素粒子の理論を融合した研究を行い、今日「インフレーション宇宙論」として知られる論文を提唱した。

が証明されたんですね。

佐藤：ワインバーグ・サラム理論に基づいた私の超新星爆発理論では、ニュートリノが中心に10秒程度閉じ込められていて、その後バーツと出てきて外へ押し出すという話でしたが、小柴先生の発見では、ニュートリノのシグナルはだいたい13秒だったかな。

古在：カミオカンデの発見。

佐藤：そうです。私はもともと宇宙の始まりに興味を持っていましたが、実際に研究できるようになったのはやはり「真空の相転移」についてワインバーグ・サラム理論で知ってからですね。この理論を使うと、宇宙の初期で何かの相転移が起こったことになるはずだと。

古在：物理の研究者は、真空でもエネルギーがあると考えるんですね。

佐藤：そうなんです。ヒグスさんが作った理論を応用したわけですが、ワインバーグ・サラム理論はヒグス・メカニズムを使って、電磁力と弱い力を統一して一つの理論にまとめ上げる理論だったんですね。その後、さらに湯川先生の「強い力」を統一する理論が作られ、「大統一理論」と呼ばれました。私はこれに着目し、大統一理論の相転移が宇宙の初期に起こったとすれば、宇宙が指数関数的に「倍々ゲーム」で膨張する時期があったはずだと考えたんです。

古在：「大統一理論」というのは、もともと一つだった「力」が、重力とか電磁力とか強い力とか弱い力に分かれたというものです。そう言えば、佐藤さんの論文の共著者が小林誠さんなんですね。

佐藤：そうなんです。宇宙論からニュートリノの質量や寿命を推測できるのだぞという論文を小林さんと一緒に書きました。やたらと後でノーベル賞をもらう方がたくさんおられまして… (笑)。当時、益川さんから、「僕は最近、クォークの世代が3世代あるというような面白い理論を作ったんだ

よ」と自慢話を聞かされたので、「益川さんの先生の坂田先生^{*2)}は、『無限階層論』とおっしゃっているじゃないですか。クォークの世代も無限にあるんじゃないですか？ 3個なんて、どうしてそんなケチなこと言うんですか」と冗談を言った覚えがあります (笑)。年長の方にもそんなジョークが言えるほど、いい雰囲気がありました。

インフレーション宇宙論について

古在：佐藤さんの提唱した理論について、説明していただけますか。

佐藤：統一理論に基づいて宇宙初期の真空の状態をしらべるとエネルギーの高い状態にあることがわかります。さらに一般相対性理論を用いて計算をすると、このエネルギーの高い真空状態は空間を指数関数的に、つまり倍々ゲームで急激に膨張させることがわかりました。始めの宇宙が素粒子より小さかったとしても、倍々ゲームが100回も続けば何百億光年以上もある宇宙に瞬時に広がってしまいます。また相転移がおこって真空のエネルギーが高い状態から低い状態へ落ちこちると、倍々ゲームは終わりますが大きな熱エネルギーが生まれる。水が氷になる時、「潜熱」が解放されるのとおなじです。

量子論的な微小な宇宙でも瞬時に巨大な宇宙となり最後に火の玉になってしまう。あとは普通の緩やかな膨張に変わってしまうんですね。こうなると後はもうガモフのビッグバン理論に素直につながっていくんじゃないかと考えたんです。

古在：同じことを考えた人がもう一人^{*3)}いて、論文の提出は佐藤さんより半年後でしたけど、科学論文に「インフレーション」という言葉を使ったんですね。

佐藤：そうです。経済用語を宇宙論の業界に持ってくるなんて、私たちにはできなかったでしょうね。

古在：「インフレーションの理論」というのは、ほかにはなかったのですか？

佐藤：世界中でよく似た考えはたくさん出てきました。たとえば一昨年、暗黒エネルギーの研究にノーベル賞が贈られましたが、ノーベル委員会の説明に、インフレーション理論の提唱者として4者挙げられていました。最初がロシアのスタロヴィンスキーで、私が2番目、それからグース、リンデの順でした。スタロヴィンスキーのモデルは、私やグースとは違い、一般相対論を変形すると宇宙の始めに加速膨張が起こるという理論です。また、リンデはインフレーション理論の改良版を



統一理論の描く宇宙の相転移と力の進化

力の統一理論は、生命の進化と同じように、基本的力も真空の相転移で枝分かれを起こし、4つの力が生まれたことを示唆している。(佐藤勝彦、インフレーション宇宙論、講談社(2010)、80頁より改変)

*2 坂田昌一博士(1911-1970)。1941年から名古屋大学教授。湯川秀樹、朝永振一郎とともに日本の素粒子物理学をリードした。坂田学派と呼ばれる多数の弟子の中に、小林誠、益川敏英両氏もいる。

*3 アラン・グース(1947-)。同様のモデルを米スタンフォード大学で発表した。

作っ方です。互いに論文を出して議論し合っているわけですから、同じような考えを持つ人が世界に何人もいても不思議ではないとは思えますよ。

古在：インフレーション理論がいろいろな問題を解決したのは事実ですね。後に、宇宙背景放射を観測するために打ち上げられたCOBEやWMAPという衛星が、佐藤さんたちの論文をいわば検証したことにもなっていますね。

佐藤：「インフレーション」に関してコペンハーゲンで3つ論文を書きましたが、主な論文と考えているのは、イギリス王立天文学会誌に出したものです。素粒子とは無関係な学術誌ですけど（笑）、宇宙の構造を説明することが大事だと考え、そちらへ出しました。相転移が起きると、どこかに「揺らぎ」というか、凸凹ができる。その凸凹がインフレーションとともに引き伸ばされると、スケールの大きな揺らぎも同時にできる。小さな揺らぎから大きな揺らぎまで、いろいろな揺らぎができるのではないかと理論です。

古在：全部一樣になっているわけじゃなくて凸凹。凹はないかもしれないけど（笑）。

佐藤：そうですね（笑）。凸の部分で成長して銀河ができる、あるいはその中で星が生まれる構造ができるということで、天文の雑誌に出したんですが、グースの論文はアメリカの物理学会誌に出ましたから、彼は物理の世界ですぐに知られるようになりました。でも古在先生がおっしゃったように、NASAが1990年に打ち上げたCOBE

背景放射探査機）という衛星が撮った、生まれてから38万年頃の宇宙、今から見れば136億年以上昔の宇宙ですが、その地図を作ると、インフレーション理論が予言している凸凹のようなものがちゃんと見えたとです。

古在：地上で観測している限りでは凸凹は見えなかったけど、衛星で差を取っていったら、凸凹のようなものが見えたとですね。

佐藤：ええ。2つの望遠鏡を使って、違う方向から来る電波で常に比較しながら衛星が空全部を差を取りながら回っていくと、揺らぎの山の大きさとか、いろんな分布がインフレーション理論の予言するものと同じでした。ただその凸凹は、私は単純に相転移で起こる凸凹だと言っていたんですが、後にいろんな人が凸凹の作り方の理論を述べた中にあった「量子揺らぎ」とすると、まさにぴったりと合うんです。

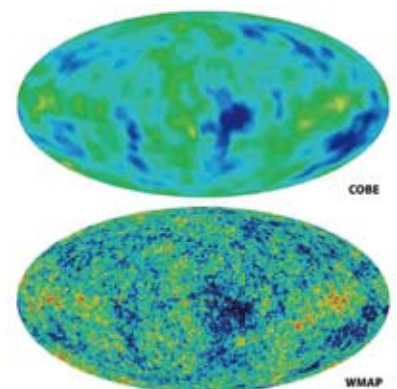
古在：「不確定性原理」ともちょっと関係あるんですね。

佐藤：そうなんです。「不確定性原理が予言する揺らぎ」と言ってもいいかもしれませんが。メカニズムはちょっと違いましたが、インフレーションが起こることによって、その揺らぎが引き伸ばされ、次から次へ大きくなっていくということには寄与できたんじゃないかと思います。

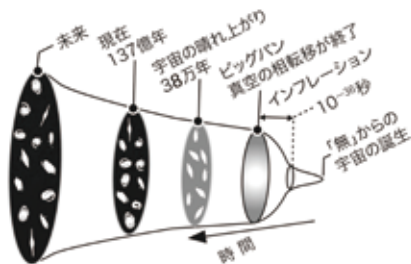
古在：非常に急激に膨張したので、全体としては均一になっているけれども――。

佐藤：ええ。因果関係がないと思われる反対の方向でも、全く同じような電波の強さになっていたりするので、「無関係なものが完全に一致するなんておかしいじゃないか」と言われていたわけですね、普通のビッグバン理論では。だけど、インフレーションが最初に起こっているとすれば、実はこちらと反対側とで同じように見えるのは、インフレーションが起こる前に因果関係があって互いに連絡をとれていた。だから

均すこともできた。急速に膨張してしまっただけで、今から見ると因果関係がなかったように思われたんですが、そうではなかったということです。インフレーションの細かい起こり方を研究すると、真空のエネルギーがたくさんある領域や、もう既に相転移が起こって真空のエネルギーが下がった領域もありますから、宇宙が凸凹になる。それをアインシュタインの「一般相対論」で議論すると、「きのこ型のワームホール」ができます。真空の相転移が終わった現在の宇宙の領域から、まだ相転移の起こっていない小さな丸い領域を見ますと、見かけ上はブラックホールのように見えるんですが、そのブラックホールに入っていくと、中に大きな世界が広がっていたという、まるで中国の「壺中の天」*4) のようなことが一般相対論では起こることも見つけました。ワームホールの中の宇宙は、もとは私たちの身体の一部だったんですけれども、因果関係が切れて別の宇宙になっていることから、「チャイルド・ユニバース」（子供の宇宙）と名付けたんです。チャイルド・ユニバースでもグランド・チャイルド・ユニバースでもよくて（笑）、要するにたくさんできる。



COBE衛星とWMAP衛星の描き出した宇宙開闢38万年頃の姿
全天からやってくるマイクロ波背景放射の揺らぎを疑似カラーで示す。インフレーション理論の予言する揺らぎと統計的に良い一致を示す。NASA提供



宇宙創生とインフレーションの描く宇宙膨張

*4 『後漢書』方術伝の故事。後漢の費長房が市中で薬を売る老人が実は仙人で、壺の中に入っていくのを見て、一緒に入れてもらったところ、中には美酒・佳肴が溢れた広大な世界が広がっていたという話。

古在：そういう宇宙同士が将来またぶつかり合うんじゃないですか？（笑）。
佐藤：そうですね……。実は一般相対論では宇宙は、三次元の空間と一次元の時間であり別の宇宙はどこにあるかといえば、別に三次元の空間と一次元の時間を持った所があって、その関係がどういうふうになっているかは明確には言えないんです。定義されていない。でも最近は、「超ひも理論」に基づいて「宇宙は本来10次元空間であって、私たちの住んでいる宇宙はその中に浮かんでいる3次元の膜のような世界で、無数にあるのだ」などと言われています。このように考えると、膜宇宙は互いに衝突することも当然、おこります。

宇宙は今も加速膨張している

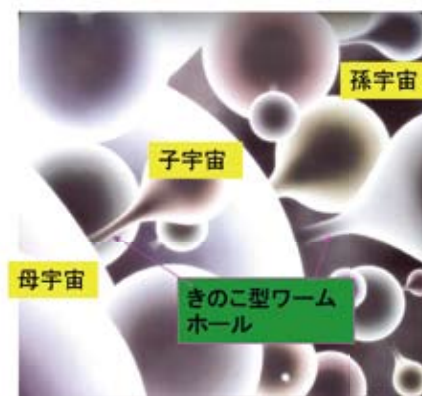
古在：その後、東大に移られて、また面白い仕事をなさったんですね。
佐藤：ええ、当時インフレーションを引き起こすと考えていた大統一理論の相転移の起こり方を詳しく解析しました。相転移の起こり方によっては、電磁力も弱い力も、湯川先生の強い力も全く生まれず、異なった物理法則を持っている宇宙に転がっていく可能性、確率もあるという考えが出てくるんです。宇宙初期の相転移ではエネルギーの高い真空から低い真空へ相転移が起こると言いましたが、低い真空は複数あるのです。例えば高い山からボールが一つの谷に向かって落下するとき、摩擦とかで勢いがなくなればその谷に落ち着いてしまいます。しかし、一旦一つの谷底まで落下しても、落下の速度が速いまま残っていれば隣の別の谷に向かってよじ登り、別の谷底に落下して落ち着くこともあります。谷底によって物理法則は異なりますので、現在の我々の宇宙とは異なる法則の谷に落ちてしまう確率もあるのです。我々の世界とは違う物理法則のある世界が実現するのだと。これも観測では説明できないんですけど……（笑）。
古在：宇宙の膨張が加速しているとい

うと、ワースとどこかへ行っちゃうようだけど、佐藤さんたちの理論だと、宇宙は平坦で、膨張のスピードは減速する。けれどもそれがあつた時から再び加速に転じているのだということが観測から発見され、その時に加速膨張を引き起こすものとして「暗黒エネルギー」などが出てきたんですね。

佐藤：そうです。ソール・パールミュッターと、ブライアン・シュミットを中心にした2つのグループが、遠くの超新星の観測をすることによって、「遠く」とは私たちの宇宙にとっては「昔」という意味があるわけですが、昔と比べて現在の宇宙の膨張の速度が加速していることを、1998年に発見しました。この「加速宇宙」は、アメリカの科学雑誌『サイエンス』が1998年における科学全体の一歩の発見に選び、その記事は「なぜかわからない謎の真空のエネルギーがある」といった表現をしていましたね。「暗黒エネルギー」という言葉は、後に私の同僚のマイク・ターナーが作った言葉です。インフレーションを起こした真空のエネルギーは百桁も大きなエネルギーですが、今の宇宙にも同様の真空のエネルギーが満ち溢れている。これが押し合うことによって、今の加速膨張が起こっているんですが、今起きている膨張は「加速」といっても緩やかで、百億年程度ごとに宇宙の大きさが二倍、二倍という倍々ゲームで起こるといふ話なんです。

古在：そうですね。

佐藤：私は現在の宇宙の加速膨張の研究によって、宇宙初期のインフレーションについての研究も進むと考えています。私やグースが提唱したのは、大統一理論の予言するヒグズ粒子の場がインフレーションを起こすという理論ですが、その後、多様なインフレーション理論が何十種類も提案されて、今はもうどういふ場でインフレーションを起こすかわからなくなりましたので、安易なネーミングなんですけど、とにかくインフレーションを起こす場のことを「インフラトン」



宇宙の多重発生

インフレーション期に宇宙は無限に作られる。(佐藤、佐々木、小玉、前田、1982)。インフレーションによる宇宙の多重発生は、その後、A. リンデ、A. ビレンケンなどによっても提唱されている。

と呼ぼうという状況になっています（笑）。ともかく二つの加速膨張はまだ解明されていない、何らかの共通の物理学によって起こっているのだと考えるのが自然だからです。

さらなる宇宙の謎

古在：私はよくわからないんだけど、「暗黒物質」とか「暗黒エネルギー」というものについてもいろいろな理論がありますね。「暗黒物質」について、佐藤さんはどのようにお考えですか？

佐藤：「暗黒エネルギー」と呼ばれているのは現在の宇宙の正体不明なものの74%程度を占めるもので、その次に正体不明なものとして「暗黒物質」があると言われています。それが22%。そして、我々の身体を作っているような普通の原子で作られている物質はたった4%だということなんですよ。ですから、この二つの謎の物質を解明することが今の宇宙論の大きな課題になっています。暗黒物質は、かつては「質量を持ったニュートリノじゃないか」と言われていました。でも、小柴先生のカミオカンデや後のスーパーカミオカンデで、「ニュートリノ振動」がわかりました。それから予想されるニュートリノの重さを考えると、宇宙にある暗黒物質を説明するには軽すぎる。

古在：非常に軽いものが沢山あるけれども、足し合わせても及ばないという



佐藤 勝彦氏 (左) と古在 由秀氏 (右)

ことですね。

佐藤：それで素粒子の先生方は、我々が今知っている素粒子以外に「超対称性粒子」というものがあり、それが暗黒物質の1つではないかと言っています。それで今は「ニュートラリーノ」という変な名前ですが、それが暗黒物質の正体じゃないかと理論上は考えています。我々としては、CERNの加速器で超対称性の粒子を見つけてもらえば、ニュートラリーノがあるかどうかもあるんじゃないかと期待しています。

古在：僕らのように天文を勉強した者にとっては、「お前たちが見ているのは宇宙の中の4%だ」と言われると、要するに「お前たちはなんにも知らずにやっているんだ」と言われていることになる(笑)。天文でも、望遠鏡がやっと400年前にできて、それから100年かからない間に赤外線も見だし、電波も紫外線も見たとってはいるけど、それでも足りないということですね。

佐藤：そうですね、小柴先生はさらにニュートリノで宇宙を見ることもできることを実証しましたしね。

古在：それから、ビッグバンの頃には重力波が出ているはずだという話がありました。

佐藤：ええ。重力波の研究が今、日本で盛り上がっています。「KAGRA」という装置の建設が神岡鉱山の中で始まりまして、重力波の測定装置ができると、二つの中性子星とブラックホールが合体するようなことが見えてくるんじゃないか、また将来、宇宙で

観測する装置ができれば、インフレーションの時に発生した重力波も見えるはずですよ。

古在：重力波というのは、アインシュタインの相対性理論から予言したもので、これだけが直接に観測されていないんですね。

佐藤：そうです。夢みたいな話ですが、科学には夢が必要で、重力波が細かく観測できれば、本当にインフレーションの頃まで見えてくるんですよ。WMAPとかCOBE衛星が宇宙開闢からわずか38万年しか経っていない頃の宇宙の地図を作ったのと同じようなものが重力波で作ることができれば素晴らしい。宇宙の初期を本当に直接見たことになると思うんです。

古在：ほかにはいかがでしょうか。

佐藤：昨年6月にヒグス粒子と思われる粒子の発見があり、私はスウェーデンでその発表を聞きました。CERNの元所長が来て説明をされたので、会議もずいぶん盛り上がったんです。なかなか説明の難しいヒグス粒子の発見が、日本でも新聞の一面トップで報道されていたのはちょっと信じがたいことでもありました。私はヒグス粒子があるのはもう常識と考えていましたが、うれしかったのはそれが発見されたことによって、真空の相転移は現実になるのだと断言できるようになったのではないかと思います。インフレーション理論に使ったヒグス場は、大統一理論のヒグス場ですが、今回発見された標準理論でのヒグス場を

発展させたもので同じものではありませんが、真空が相転移するのだと、実験からも言えるような時代になったのですから実に素晴らしい発見です。

古在：私は天体の運動などを調べてきたわけだけど、重力とは何かわからないでやってきました。先ほどの話も、アインシュタインのエネルギーの公式では mc^2 でエネルギーは物質になるというんだけど、その過程みたいなものは誰も説明しなかったですね。それがヒグス理論でわかってきたわけですね。

佐藤：ええ。今回発見されたと考えられるヒグス粒子は、物質粒子や力を媒介する粒子に質量を持つこと、つまり質量の発生を説明します。当然素晴らしい発見なのですが、しかし、理論屋の立場から希望を言うなら、それはいわゆる標準理論のヒグス粒子ではなく、たとえば超対称理論に関係するようなヒグス粒子で、何かちょっと属性が違っているものであってほしいですね。なんでも理論通りだと「当たり前だ」ということになって科学の進歩はなくなりますから、大筋では理論が予言した通りの発見ではあるが同時に、新たな謎も発見してほしいと思いますね。

古在：僕らは「天文学者は夢があって空想力があっていいですね」と言われるんだけど、僕らが考えている以上のことが宇宙では起きているんですよ。

佐藤 勝彦 (さとう かつひこ)

1945年、香川県生まれ。京都大学理学部物理学科卒業。理学博士。デンマークNORDITA(北欧理論物理学研究所)客員教授、東京大学理学部助教授、同大学院理学系研究科研究科長・教授、同研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター長、明星大学理工学部客員教授などを歴任。現在、大学共同利用機関法人自然科学研究機構長・東京大学名誉教授。井上学術賞、仁科記念賞、紫綬褒章、日本学士院賞など受賞。

古在 由秀 (こざい よしひで)

1928年、東京都生まれ。東京大学理学部天文学科卒業。理学博士。東京大学東京天文台助教授・教授・天文台長、国立天文台長、米国スミソニアン及びハーバード天文台客員研究員、国際天文学連合会長、群馬県立ぐんま天文台長などを歴任。現在、日本学士院会員、東京大学名誉教授、国立天文台名誉教授、文化功労者。朝日賞、恩賜賞・日本学士院賞、アメリカ天文学会Brouwer賞など受賞。

寄稿

思わぬ授かり物

日本学士院会員
大村 智

筆者の提案により始まった米国メルク社との共同研究によって発見・開発されたエバメルメクチンとそのジヒドロ誘導体イベルメクチンについて、当事者の一人としてその後の成り行きを見守ってきた。イベルメクチンは医薬として、発見当時には全く予想だにしていなかった記録づくめの成果を挙げている（PJA Ser. B, vol. 87, pp. 13-28 (2011)）。特に医療面では、発展途上国における『公衆衛生上過去最大の成果』とまで言われている（UNESCO (2005) World Science Report, UNESCO, Paris, 198pp. (2005)）。

まず、1981年にイベルメクチンは動物用医薬品として発売されてから今日まで世界中の経済動物に最も多く使用され、食料と皮革の増産に多大な貢献をしたことである。同時に、犬のフィラリア症など、ペットの感染症の治療薬としても多く使われている。次いで、これが思わぬことであったが、人に対する医療面での使用である。重篤な熱帯病オンコセルカ症（写真1）とリンパ系フィラリア症（写真2）のWHOおよび関連機関による撲滅作戦に用いられ、前者は2025年に、後者はそれより5年早い2020年には撲滅を達成することができると、予測されている。

オンコセルカ症の撲滅作戦は1973年、奇しくも筆者がメルク社と共同研究を開始した年にあたるが、国連（UN）傘下の世界銀行のRobert McNamara総裁が西アフリカにおける人々の健康と経済的な見地から、最も重篤な病気としてオンコセルカ症を挙げ、作戦開始を主導した。1974年には世界銀行をはじめとする諸機関が加わり、まず西アフリカにおいてオンコセルカ症撲滅作戦（OCP）が開始された。当初はヘリコプターから同症が蔓

延している地方の河川に殺虫剤を散布し、ベクターであるブヨの幼虫を駆除するものであった。これは、部分的には成果を挙げたが、アフリカ全土で展開するには資金的にも限度があり、何よりも他の生き物たちに与える影響が大きく、環境への負荷に関しても問題であった。そこに登場したのが、動物用医薬品として開発された抗寄生虫薬イベルメクチンである。このイベルメクチン（ヒト用製剤：メクチザン）が、メルク社、WHOおよび国連の下部組織である熱帯病に関する特別研究・教育プログラム（TDR）などの連携した研究によりヒト用に開発され、予防と治療に有効であることが証明された。

これに伴い、OCPは1988年よりメルク社によって無償提供されたメクチザンを用いて、患者1800万人、失明および重度の視力障害者77万人とされていたオンコセルカ症撲滅作戦を遂行している。それは着実に成果を挙げ、2002年には西アフリカ10カ国で新たな失明と感染者はなくなるまでになった。そのようなOCPの成果を受け、1995年にアフリカオンコセルカ撲滅作戦（APOC）が新たに編成され、残るアフリカ19カ国でも事業が展開されている。本剤は副作用も少なく、その投与においては医師を始め資格を要する医療従事者の手を必要としない。それゆえ、2日ほどの簡単な講習を受けた担当者によって、集落ごとに継続的に年に1回、一人当たり200 μ g/Kgが住人に集団投与（CDTI）されている。このことが功を奏し、さらに、世界で1億2000万人の感染者がいると言われていたリンパ系フィラリア症にもアルベンダゾールとの併用による撲滅作戦が展開されている。現在では、本剤が両熱帯病の予防と治療に併せて2012年

に年間2億人余りに投与されると見られる。これにより、新たな感染者は激減し前述の期限内に撲滅される見込みとなったものである。

この一大プロジェクトの成功によって、集落ごとに組織的に集団投与する仕組み（CDTI）は、アフリカ全土におけるマラリア、リーシュマニアなどの熱帯病や、トラコーマなどの他の感染症撲滅作戦に導入されるようになっていく。

遠い国での話ばかりでなく、メクチザンは、毎年世界中で3億人の患者が報告され、我が国に於いても老人施設等で集団感染が問題となっている疥癬症や、東南アジアで3500万人余が感染していると言われ、我が国では九州の一部および沖縄に多くの患者が見られ

る糞線虫症にも、国の認可を得て使用され効果を挙げている。

上記事業の展開を支えているのが我が国で発見された唯一のエバーメクチン生産菌 ストレプトミセス・アベルメクチニウス（*Streptomyces avermectinius*）である。

「求めているなければ授からない」は、華道家勅使河原蒼風が残した言葉である。微生物由来の有用な天然有機化合物を求め続けている中でのエバーメクチンの発見であったが、その後の展開は当初の想像をはるかに越えることばかりで、思わぬ授かり物にただただ驚くのみである。そしてまた、計り知れない微生物の可能性を垣間みる思いがするのであった。



写真1 オンコセルカ症によって失明し、ひどいかゆみのために足の皮膚が剥がれた患者



写真2 リンパ系フィラリア症で足に浮腫が生じた患者（左）、象の足ようになった患者（上）



大村 智 略歴

昭和10年、山梨県生まれ
東京理科大学理学研究科修士課程修了。
米国ウエスレーヤン大学客員教授、北里大学薬学部教授を経て、平成2年社団法人北里研究所理事・所長。北里大学北里生命科学研究所、北里大学大学院感染制御科学府長を歴任。北里大学名誉教授。平成2年日本学士院賞を受賞。平成13年から日本学士院会員。平成24年文化功労者。

No. 1



Yasuoki MURAKAMI: Peculiarity of methoxy group-substituted phenylhydrazones in Fischer indole synthesis.1

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.1>

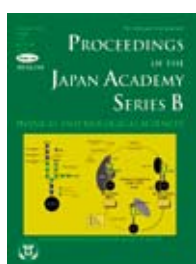
著者はフィッシャーインドール合成において、*o*-置換フェニルヒドラゾンでは、メトキシ基が反応液中の求核剤と反応し、6-置換インドールを与えることを発見した。論文では反応機構とその合成的応用を概説している。

Satoshi ISHII: Pharmacological chaperone therapy for Fabry disease18

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.18> **Cover Illustration**

著者らが開発したファーマコロジカル・シャペロン療法はタンパク質のミスフォールディングに起因する疾患に広く応用しうる技術である。本論文はその開発の経緯と臨床応用の現状について解説したものである。

No. 2



Yukishige ITO and Yoichi TAKEDA: Analysis of glycoprotein processing in the endoplasmic reticulum using synthetic oligosaccharides31

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.31> **Cover Illustration**

糖鎖の付加はタンパク質の翻訳後修飾として重要な位置を占めている。糖タンパク質は小胞体の中で正しい立体構造を獲得するが、著者らは、その過程における糖鎖の機能を理解するために、化学合成を基盤とする研究を行った。

No. 3



Tomohisa KUZUYAMA and Haruo SETO: Two distinct pathways for essential metabolic precursors for isoprenoid biosynthesis.41

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.41>

イソプレノイドの共通の前駆体であるイソペンテニルジリン酸を合成するための新しい反応を司る酵素遺伝子を世界に先駆けて同定し、メチルエリスリトールリン酸経路と呼ばれる新規代謝経路の全容解明に至った経緯について概説した。

Hiroshi MAEDA: Vascular permeability in cancer and infection as related to macromolecular drug delivery, with emphasis on the EPR effect for tumor-selective drug targeting53

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.53>

癌と炎症には多くの共通点がある。その一つは高分子物質の血管内から組織内への漏出性である。この現象は癌組織に顕著である。即ち、高分子型制癌剤を血管内へ投与すると正常組織の20倍以上も腫瘍に選択的に集積する。この現象を前田は1986年にEPR効果と命名したが、それは近年の抗癌ナノメディシンの開発の基本原則になっている。このEPR効果をさらに増強し、制癌効果の増強をすることも可能になった。

Ryo KOMINAMI: Role of the transcription factor Bcl11b in development and lymphomagenesis72

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.72>

転写因子Bcl11bはがん抑制遺伝子であり、T細胞急性白血病のモデルであるマウス胸腺リンパ腫のゲノム解析から単離された。この遺伝子欠損マウスの解析から通常のT細胞分化の維持に関与することがわかった。

Yasuo SUZUKI, Noriyuki MIYOSHI and Mamoru ISEMURA: Health-promoting effects of green tea88

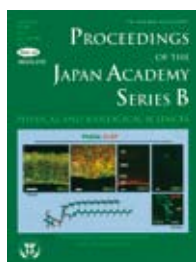
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.88>

緑茶には抗がん、抗肥満、抗糖尿病、などの多様な作用がある。本総説では、動物細胞や実験動物の遺伝子発現に対する作用を調べた著者らの研究を中心に、緑茶やその成分であるカテキン類の作用機構を解説した。

Hiroto OKAYAMA: Functional cDNA expression cloning: Pushing it to the limit.102

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.102> **Cover Illustration**

遺伝子操作技術の創生期であった1980年代初め、最も重要な遺伝情報であるタンパクの一次構造を記したmRNAをいかにしてクローン化するかが大きな課題であった。岡山とバーグは、完全長cDNA発現クローニング法を開発し、遺伝子の構造・機能の解明に大きな貢献をした。



Yoshio HIRABAYASHI: A world of sphingolipids and glycolipids in the brain —Novel functions of simple lipids modified with glucose—129

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.129>

Cover Illustration

動物の細胞膜表面にはグルコースで修飾された糖脂質が複数存在し、多様な生物機能を演じている。新しく見出されてきたホスファチジルグルコシドを中心に、神経系でのグルコース化脂質の重要性を論じた。

Yasuhiko MORIOKA: Initiatives by the government and physician groups to improve awareness of medical ethics: Challenges in Japan.144

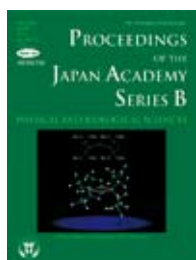
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.144>

倫理は基本的には個人の自覚に基づくものだが医業の倫理の実践では行政が法的規制を行い、また医師会や医学会が自主的規制を行っている。そのあり方について世界先進国の状況と対比しわが国での改善点を指摘した。

Yasuhiro YAMAGUCHI and Yasuyoshi OUCHI: Antimicrobial peptide defensin: Identification of novel isoforms and the characterization of their physiological roles and their significance in the pathogenesis of diseases.152

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/88.152>

抗菌ペプチド defensin の同定、精巢上皮に発現する defensin の発見、新たな機能の探索、過剰な defensin が炎症性疾患に関わる可能性と、defensin研究の大きな流れを紹介する。



Mitsuo KIRA: Bonding and structure of disilenes and related unsaturated group-14 element compounds.167

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.167>

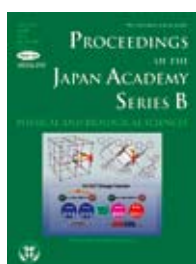
Cover Illustration

環状ジシレン、トリシラレンなどの、多様な形式をもつ重要な安定ケイ素多重結合物を創出し、その特異な構造と性質の解明を通して、炭素とケイ素の作る同種の結合の顕著な差異を明らかにし、原因を考察した。

Teruo KITAGAWA: Hepatorenal tyrosinemia192

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.192>

1957年に著者らは、両親が近親婚の2歳男児に肝脾腫、くる病、チロジン代謝異常があることを報告した。6年後に欧米から追加症例報告があり、1977年にスウェーデングループが病因を解明したが、本例が最初の報告であった。



Osamu SATO: Switchable molecular magnets.213

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.213>

Cover Illustration

光誘起電子移動に基づき磁性がスイッチする分子性光磁石を開発した。また、長寿命電子移動を示す鉄コバルト部位を一次元磁性体に組み込むことにより光に応答する単一次元鎖磁石を開発することに成功した。

Nongluk SRIWILAIJAROEN and Yasuo SUZUKI: Molecular basis of the structure and function of H1 hemagglutinin of influenza virus.226

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.226>

2009年に今世紀初めてのインフルエンザパンデミック（世界流行）が発生した。著者らは、この原因である新型ウイルス（H1N1亜型）の宿主域変異や病原性を担うH1ヘマグルチニンスパイクに焦点を絞り、その構造と機能、特にレセプターシアロ糖鎖結合特異性、膜融合発現、抗原性・宿主域変異の分子機構をまとめた。

Nobuyuki SHIBATA, Hidemitsu KOBAYASHI and Shigeo SUZUKI: Immunochemistry of pathogenic yeast, *Candida* species, focusing on mannan.250

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.250>

病原性Candida属真菌の細胞壁最外層に存在するマンナンは β -1,2-結合マンノースを含有し、菌種ごとに特徴的な抗原構造を持つことを明らかにした。この多糖の構造解析法、生合成系、病原性への関与について解説する。

Susumu ANDO: Neuronal dysfunction with aging and its amelioration.266

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.266>

脳の老化による機能低下はシナプスでのアセチルコリン放出障害によることが分かった。その根底にあるシナプス膜の変化を重水素ラベル化—質量分析法で解析し、カロリー制限で膜代謝の変化が抑えられた。神経の活動性を高めるとシナプス小胞密度が増し、脳機能低下が防げることを証明した。



Fumihiko TAKASAKI: The discovery of CP violation in B-meson decays.283

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.283>

KEKB-Belle実験グループは、B中間子と反B中間子の崩壊の様子に違いがあることを発見し、小林・益川理論の正当性を実証した。これは、宇宙に反粒子が存在しないという謎の解明に道を開くものである。

Nobuhiro YUKI: Guillain-Barré syndrome and anti-ganglioside antibodies: a clinician-scientist's journey. . . .299

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.299>

臨床の場に於ける観察データを丹念に解析し、作業仮説を立てて検証して、ヒト組織と病原体の分子相同性によって自己免疫病が発症しうることを実証するに至った。臨床家がどのように研究を進めて来たか、後進に伝えた記録である。

Masahiko ENDO and Ikuko KAKIZAKI: Synthesis of neoproteoglycans using the transglycosylation reaction as a reverse reaction of endo-glycosidases.327

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.327>

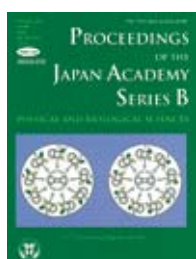
エンド型グリコシダーゼの加水分解の逆反応である糖転移反応を用い、コンドロイチン硫酸の組み換え体を作り、これをペプチドに結合させることにより、ネオプロテオグリカンを酵素的に合成するという道を拓いた。

Ichiro HIRAO and Michiko KIMOTO: Unnatural base pair systems toward the expansion of the genetic alphabet in the central dogma.345

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.345>

Cover Illustration

遺伝子の本体であるDNAに人工的に作り出した第三の塩基対を組み込むことにより、遺伝情報を拡張するバイオ技術の開発が急速に進んでいる。本稿では著者らの研究を中心に人工塩基対の開発とその応用について概説した。



Hideo MOHRI, Kazuo INABA, Sumio ISHIJIMA and Shoji A. BABA: Tubulin-dynein system in flagellar and ciliary movement.397

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.397>

Cover Illustration

ダイニンとチューブリンは、いずれも鞭毛・繊毛で発見・命名された運動関連タンパク質である。鞭毛・繊毛運動のしくみに関して、著者らの仕事を中心に、わが国の研究者たちの貢献を全体の歴史の流れの中で紹介する。

Hideaki TANAKA and Tomitake TSUKIHARA: Structural studies of large nucleoprotein particles, vaults. . .416

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.416>

ボルトは動物細胞中に多くあり、分子量が約1000万の巨大な蛋白質・核酸複合体である。著者らは、ラット肝臓由来のボルトをX線結晶構造解析によって決定し、39回対称を持つお椀が2つ向かい合っさって閉じた構造を作っていることを明らかにした。

Ryoichi HAYAKAWA, Teruyuki HAYAKAWA, Kohsuke TAKEDA and Hidenori ICHIJO: Therapeutic targets in the ASK1-dependent stress signaling pathways434

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.434>

ASK1はストレス応答性MAPキナーゼ経路において酸化ストレスや小胞体ストレスのシグナル伝達を担うが、その機能の変調と神経変性、がん、循環器、免疫、糖尿病など、多岐に亘る疾患との関連が明らかになりつつある。



Shun-ichi TANAKA: Accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Stations of TEPCO — Outline & lessons learned—471

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.471>

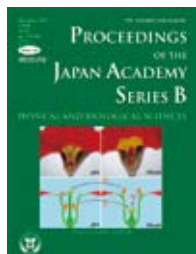
2011年3月11日の東京電力福島第一原子力発電所で発生した過酷事故と事故に伴って環境に放出された放射能に係る住民避難、放射能除染、放射線防護、賠償についての実態を紹介し、そこから導かれる教訓を整理した。

Akira ISHIHAMA: Prokaryotic genome regulation: A revolutionary paradigm.485

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.485>

Cover Illustration

転写装置がゲノムの発現遺伝子を選択することを著者は提唱し、大腸菌RNAポリメラーゼと全300種の転写因子の相互作用による制御標的遺伝子変換を実証した。ひとつの生物のすべての転写因子の制御機能解明の歴史的成果である。



Mei SATAKE and Eishichi MIYAMOTO: A group of glycosphingolipids found in an invertebrate: Their structures and biological significance.509

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.509>

著者らは、シナプス増強のモデル生物であるアメフラシの神経にガングリオシドは含まれないことを示し、約30種の新奇な糖脂質を発見。主なものの構造を明らかにし、これらの糖脂質がcAMP依存性タンパク質リン酸化酵素を活性化することを示した。

Masao WATANABE, Keita SUWABE and Go SUZUKI: Molecular genetics, physiology and biology of self-incompatibility in Brassicaceae.519

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.519>

Cover Illustration

自家不和合性は自己花粉を雌ずいにおいて識別して排除する形質であり、植物の細胞間コミュニケーションのモデルである。その分子機構がアブラナ科植物で解明されつつある。ここでは近年の研究の発展を抄録した。

Yuzuru AKAMATSU: Reminiscence of our research on membrane phospholipids in mammalian cells by using the novel technology.536

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.536>

著者らが工夫を凝らした新しい技術を駆使して、高等動物細胞の膜リン脂質の生合成阻害変異株を世界に先駆け、分離に成功した。それらの変異細胞の性状解析を行うことにより、細胞生物学的にも重要な膜形成機構の一面を明らかにするばかりでなく、更にリン脂質の新しい働きも見出すことが出来た。

Konrad SANDHOFF: My journey into the world of sphingolipids and sphingolipidoses555

<http://joi.jlc.jst.go.jp/DN/JSTJSTAGE/pjab/88.555>

著者は20世紀後半のこの分野を牽引した研究者の1人である。大学院生時代の GM1 ガングリオシドーシスの同定から、テイサックス病に代表される β ヘキソサミニダーゼ系の遺伝性欠損による一連のGM2 ガングリオシドーシスの酵素学的な解明、スフィンゴ脂質活性タンパクとその遺伝性疾患、更には有機化学、代謝、細胞学の見地からの基礎的な貢献までを鳥瞰した貴重な総説である。

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

Proceedings of the Japan Academy, Ser. B: Physical and Biological Sciences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。本誌の対象は、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です。本誌は年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。

本誌は冊子の他、インターネットでもJ-STAGE (<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/pjab>) において全文を無料公開しています。また、PubMedでも検索可能です。

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名による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。投稿について詳しくは、本院のウェブサイト<http://www.japan-acad.go.jp/pjab>より投稿規程等をご覧ください。



PJA Newsletter
[PJA ニュースレター]
No.5

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
発行日/平成25年1月31日

