

PJA No.3 News Letter

<http://www.japan-acad.go.jp/pjab>

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	1
寄稿 ムギネ酸を発掘した孤高の研究者—高城成一	8
Vol. 86 掲載総説 (Review) 論文	9
トピックス iPS細胞とセンダイウイルスの出会い—日本発の研究の活用	16
Proceedings of the Japan Academy, Ser. B について	16

挨拶

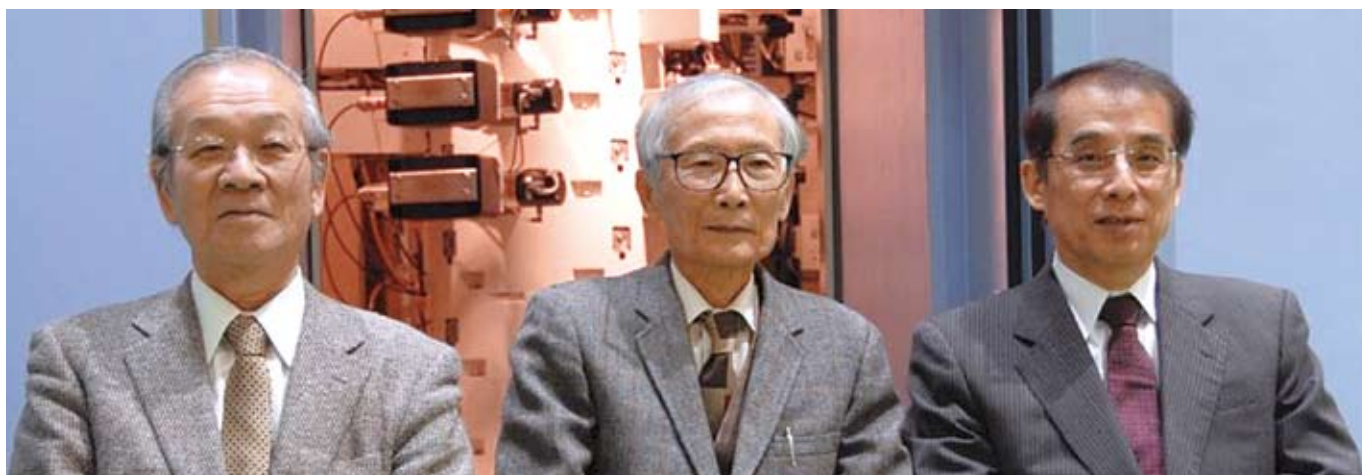
Editor-in-Chief
山川 民夫

今なお第一線で活躍されている方から既に実験室の現場を離れた方に至るまで多くの優れた研究者がこれまでの自信作や研究の回想を纏めて発表する場を提供している英文レビューも200編を越えました。勿論世界の学界をリードするオリジナルペーパーが満載されるような学術誌に育てることは目標ではありますが、それにはそれぞれの分野に存在する専門誌の役割が有り、日本学士院としてはこの数十年に活躍された研究者の仕事アーカイブとして保存することも重要な役目の1つであると考えます。分野は違っても戦後の学問の一時代を築いた学者の仕事がどんなものであったかは後世の研究者の評価の対象となることでしょう。

日立製作所の外村彰氏はホログラフィー電子顕微鏡の開発と実用化のパイオニア。輝度を向上させた電子顕微鏡で磁力線の観察(1978年)や「AB効果」の検証(1982年、1986年)など数々の業績を上げ、「電子の二重スリット実験」は、IOP(英国物理学会)のPhysics World誌で「科学史上最も美しい実験(The Most Beautiful Experiment)」第一位に選ばれました。本誌Vol. 82(45頁~58頁)には、外村氏の総説論文“The Aharonov-Bohm effect and its applications to electron phase microscopy”が掲載され

著者 インタビュー

ています。世界一の分解能を誇る1MVのホログラフィー電子顕微鏡が、構想から17年を経て実現。その開発時の苦労や、現在進められている超高電圧電子顕微鏡に賭ける情熱、後進へのメッセージなどを語っていただきました。聴き手は、「近藤効果」で知られ、金属電子理論の発展に寄与された近藤淳氏(産業技術総合研究所特別顧問、東邦大学名誉教授)と、原子核物理・素粒子ビーム科学におけるリーダー的存在である山崎敏光氏(仁科記念財団理事長、東京大学名誉教授)です。



日立製作所基礎研究所 1MVホログラフィー電子顕微鏡の前で

電子の波を見たかった

近藤：外村さんは日立に入社されて以来、ずっと電子顕微鏡に携わっておられますが、電子顕微鏡のどういったところに魅力を感じたのですか。

外村：いきなり鋭い質問ですね（笑）。僕は物理学科出身で、電子顕微鏡は4年の時に勉強しました。1965年に学部を卒業して日立に入ったのですが、その頃、電子顕微鏡にエネルギー分析器を付けて「ボーム・パイプの理論」を証明した渡辺宏さんという方がいたんです。渡辺さんは、金属薄膜を通った電子線が固体内のプラズマ振動という金属内部の電子の集団運動を励起して、決まったエネルギーを失って出てくることを、さらに出てくる電子の方向によって失ったエネルギーが少しずつ変化する“分散関係”を一枚のきれいな写真に撮ったのです。それを知って「電子顕微鏡で物理ができるんだ」と興味を持ち、渡辺さんの下でこんな実験をしてみたいと思ったのがきっかけです。電子顕微鏡を扱っているうちに、この中には電子線が走っているのだから、「勉強したばかりの量子力学を目でみえるようにしてみたい。粒子だと思っていた電子が「波」だというのがおもしろいなあ。」と思ったんです。入社すると電子顕微鏡の開発部門に配属され、本当は学部を出ただけで中央研究所に入れたことを幸せに思わなきゃいけないんだけど、「渡辺さんの所がいいんだ」と生意気なことを

言って粘った（笑）。そうしたら、「しょうがないな。じゃ、2年ぐらい研修してきなさい」と言われて渡辺さんの所に入れさせてもらったんです。最初は、薄膜を透過した電子線のエネルギー分布を測り、薄膜の中で何が起きたかを研究していましたが、少し自由に研究ができるようになると、波の性質を見たいと思うようになりました。

山崎：日立は、そういった研究を受け入れてくれる、ふところの深い企業だったわけですね。

外村：そうですね。会社に何か儲けをもたらすわけじゃないし、よくやらせてくれたと思いますね。だから、初めはこっそり波の写真を撮っていたんです。でも、平行度を上げないと、波面が見える領域が狭くなる。そのうちレーザーのような電子線を作らなくちゃいけないと確信した。それは、針の先から出てくる“輝度が高い電界放出電子線”で、波の振舞いを見るだけでなく、走査型の電子顕微鏡の性能をもよくするというので、会社としても取り組むようになりました。

山崎：その頃、顕微鏡をつくるメーカーとしては？

外村：日立と日本電子、島津、明石…。初めは、他にもいろいろな企業がやっていたんです。たとえば東芝は、他社が磁界型のレンズに移行していく中、電界型に固執したために撤退しました。海外でも、シーメンス、AEG（アーエーゲー）、フィリップス、RCAなどがいましたが、今ではフィリップス

（FEIとしてアメリカの会社に分離）を除くと、全て撤退しました。というより日本が勝ち残っていったのです。電子顕微鏡を初めて製品化したのは、ドイツのシーメンス社です。戦争中だったので、日本には情報が全然入らず、独自にやった。先人は苦勞はされたと思うけれども、ゼロから自分の頭で考えて開発したことが、よかったんです。その結果、電子顕微鏡は日本のお家芸になりました。

近藤：電子顕微鏡でいろんなものをご覧になったと思いますが、それまで見えなかったものが外村さんによって見えるようになったものには、どんなものがありますか。

外村：おっしゃるように新しいものが見えなくちゃしょうがありません。1980年には電子の波面の等高線を描くと、それが磁力線になることを見つけました。ミクロの磁区構造が磁力線の形で見えるようになって、いろいろな磁性体を見ました。

山崎：超伝導の話は、そこから発しているわけですね。

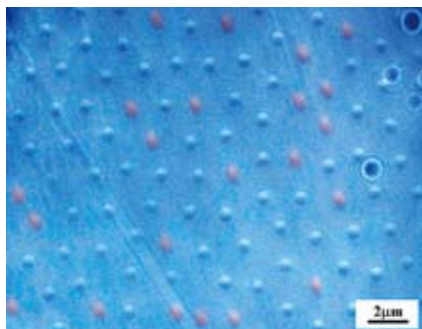
外村：そうですね、高温超伝導体が脚光を浴びるのはその直後のことです。1965年頃、超伝導体中の磁束量子は渡辺さんが観察しようと狙っていました。1992年には、350kV電子顕微鏡を使って、超伝導薄膜“内部”の磁束量子を観察出来るようになりました。輝度が高く、干渉性のよい電子線が実現したおかげです。

近藤：高温超伝導体の磁束量子を見るためには、どんな苦勞がありましたか。

外村：高温超伝導体の磁束量子は、金属超伝導に較べて、桁ちがいに太く、サンプルがそれより薄いと、さらに広がり、よく見えなくなる。厚いサンプルを見るために、電圧が高く透過能のいい電子顕微鏡が必要でした。開発に4年ほどかけて、2000年に1MVの電子顕微鏡ができ、高温超伝導体が見えるようになりました。おもしろかったのは、超伝導体は層状に重なっているから、縦方向の渦なら丸い渦ができるんですが、横方向の渦を作ると、層と層

外村 彰氏





ビスマス酸化物中の磁束量子ピンク色の像は傾いた柱状欠陥に捕捉された磁束量子の像

の中を扁平になって通り抜けるんですね。なかなか見えなかったんですが、やっと見えるようになりました。また、少し斜めに磁場をかけると、渦が竜巻のようにうねるなど、おもしろい現象も見えます。

近藤：なるほど。そのために高電圧の電子顕微鏡をつくられたわけですね。

外村：そうです。でも、開発は大変でした。

山崎：立地条件を綿密に調査した結果、ここ（埼玉県比企郡鳩山町）に決めたと伺いましたが。

外村：ええ。ここは岩盤がむきでいます。瓦礫っていうのかな。だから揺れない。また高圧線などがあると、浮遊磁場があって困ります。国分寺の中央研究所にいた頃は大変苦労しましたが、ここは地盤がいいし、電車も人も滅多に通らないからいいんです。

山崎：地磁気は影響しないのですか。

外村：地磁気のように時間的に変化しないものなら補正できるんです。交流磁場でも不可能ではないはずですが、電子線の場所場所によって、磁場の値や位相が異なるので、大変なんです。浮遊磁場が少ない、辺鄙な所が適しているんです。家族には文句言われましたけどね（笑）。息子の学校も小金井に住んでいた頃は近くだったのに、ここへ来てからは自転車を漕いでヘルメットをかぶって通わなくちゃいけなくなった。だけど、おかげで息子たちは丈夫になりましたよ。空気もいいですね。

近藤：1MVの電子顕微鏡をつくるのに、どんな技術的な問題や苦労がありましたか。

外村：電界放出電子顕微鏡には高圧放電が禁物です。大きな放電を起こすと、電子源の尖がった針先が丸まってしまう。避雷針なので、放電が起こると大電流が流れて、先端が丸まってしまう。周囲からは、放電しない超高压電子顕微鏡はありえないので「不可能だ」って言われていたんです。実際、シカゴ大学のA. V. クリュー先生（電界放出電子銃を初めて実用化した開発の天才）も、フランスの電子顕微鏡研究所のB. ジュフリー所長も失敗した。出来上がるまで心配していましたが、昨年12月に亡くなられた松井功さんがそれを実現してくれ、自分でもびっくりしました。

その次に、電子源の動きに一番苦労しましたね。電子源は50Å—原子を20個並べた大きさで、とても小さいため、電子源がほんのわずかでも動くと、せっかくの点光源が揺れて、電子線の輝度が台無しになってしまうんです。交流磁場が侵入すると、電子線を揺らし電子源が揺れたことになります。加速管の電極も放電を防ぐだけでなく、磁場のシールドのためにパーマロイで作ります。自分自身の電源からも磁場が出るので、それをシールドするために電子顕微鏡を3台並べたようなものすごい格好の装置になってしまいました。

近藤：縦に長いと、むしろ振動しやすいんじゃないんですか。

外村：振動はします。でも1m半ほどの長さですから縦にした方が、重さが縦に加わって、ぎゅっと締め付けられるので、いいんです。でも、何しろ問題になる振動の量が50Åと小さいので、心配でした。「一度試してみよう」ということになったんですが、加速管の上と下で振動しているかどうか見るには、何がいいのかといえば、「やっぱり電子顕微鏡がいいだろう」ってなるんですよ（笑）。電子顕微鏡を作っちゃったら、試すも何もないでしょ（笑）。仕方がないから、電圧の低い200kVの電子顕微鏡を借りてきて、それを下につけて、拡大して電子源の動きを見た。すると「問題になるほど揺

れていない、スポット（電子源の大きさ）より小さい」ということがわかって、本番の開発に入れたんです。計画段階から数えると、実に15年もかかってしまいましたが、出来た時には大喜びしました。

山崎：加速管の材料は何ですか。

外村：セラミクスです。セラミクスの円筒がドカンとあるだけだったら堅いんですよ。でも30段もの円筒が銀鍍けしてあって、そこに電極が付いています。薄い金属で溶接してあるから、振動に弱い。それで、振動実験をして試したのです。

近藤：1MVの電子顕微鏡では、どのくらい小さいものまで見えるんですか。

外村：線状のもの、点とで違うんですけども、この電子顕微鏡では0.5Åの線まで見えるようになりました。結晶は原子が規則正しく並んでいるので、結晶面を示す線状の像が観察できます。「格子像」と呼ばれていますが、これが分解能性能を示す指標でした。サンプルが0.5Å動いても、色収差で0.5Åボケても見えなくなります。我々は格子分解能の世界記録をここ40年間維持してきました。

「点分解能」はまた別です。原子1個を見る時の性能なんです。それはレンズに「球面収差」があるといけません。電子顕微鏡のレンズはビー玉みたいなもので、ボケボケなんです（笑）。光学レンズは、無収差レンズが出来ますが、電子顕微鏡はそれができなかった。でも僕たちが干渉性の良い電子線の開発に夢中になっている最中に、ドイツで無収差レンズが実現されたんですね。だから、次は、このレンズを備えた電子顕微鏡を作り、さらに位相検出感度を1桁上げれば、「波動関数」を捉えることによって原子の世界が立体的に見えてくるだろうと期待しています。

AB 効果の検証

近藤：ところで、AB効果とはどんなもので、どのように検証されたのですか。

外村：AB効果は1959年に理論的に予

測された効果で、従来「電子は電場や磁場を通ったら物理的な影響を受ける」とされてきたのを、アハラノフとボームが「電場や磁場に触れていなくても、物理的な影響を受ける」と言い出したのです。ボームは先ほど話したボーム・パイプの理論を考案した有名な人で、アハラノフはその学生でした。AB効果は、電子の波が電磁場と相互作用するときの基本原則です。量子力学の基礎であるだけでなく、ゲージ理論という統一理論の基礎であることもわかってきました。もっとも量子力学は世の中全体の基本だから、いろんなところに関係してくるんですね。今後、生物などにも関係してくるかもしれません。

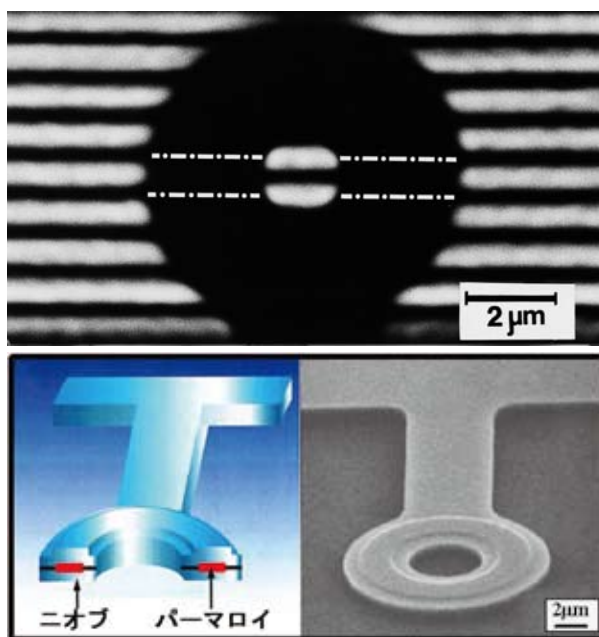
コイルを巻いて電流を流すと、両端にN極とS極ができて電磁石ができますね。でも無限の長さにすると、周りには、電場も磁場もなくなります。それなのに、電子をその両側を通すと、両側の波面がズレるんです。始め、「そんなことはありえない」と反論する人が多かったけれども、量子力学の方程式を解いてみると、そうなんです。その後、統一理論が現われ、そこでも重要な役割を果たし、注目を浴びるようになり、そうすると、またまた「AB効果、おかしいんじゃないか」という人が出てきたんですね。アハラノフとボームは「そこに、電場とか磁場を越えた“ベクトル・ポテンシャル”とか“ゲージ場”とかがあって、それこそ本当の実在なんだ」と主張したんです。それに対して、「電場と磁場で話はずんでいる」と批判する人が結構いました。僕たちは、実験で「無限」はつくれませんから、棒磁石をぐるっと曲げて両端のN極とS極をつなぎ、ドーナツ状にして実験をしました。これなら、有限の大きさで理想的な実験ができる。その穴の中に電子を通し、穴の中を通過してきた波面が外部の波面に対してズレるのを見るわけですが、電子の波長はすごく短いから、小さなサンプルをつくらなくちゃいけない。髪の毛1本一僕のは細いから30 μm くらい

かな（笑）—その数分の1くらいです。
近藤：そういう小さなものをつくる技術は、やはり日立がすぐれていたわけですね。

外村：はい。その頃、半導体メーカーでなければ出来なかったでしょうね。「微細加工技術」といって、半導体の小さな回路をつくる技術を使いました。今では、大学でもできるようになったし、クリーンルームもたくさんありますが、当時はまだなかった。だから同僚の研究者に頼んでつくってもらおうと思ったら、「AB効果って何なんだ」って聞かれてね（笑）。

そのうちに楊振寧（Chen Ning Yang）先生が中央研究所に来てくれたんです。僕の同級生の藤川和男さん（現・日本大学理工学部教授）が楊先生の研究室にいたので相談したら、「理論の本質が分かっている人に相談するのがいいから、楊先生に手紙を書け」って言われてね。楊先生は若くして中国で初のノーベル賞を受賞した人です。「そんな神様みたいな人に手紙を書くなんで…」と思ったけど、勇気を出して書きました。そうしたら、国分寺に来てくれたんです。88歳の今もお元気ですが、当時は60才の盛り。楊

先生が来てくれたから、僕たちも張り切れたし、半導体の人たちも「楊先生が来るくらいだから、重要な研究に違いない」と信用し協力してくれました。それで実験がうまくいき、最初の論文をどこに出そうかと考えた。今ならNatureかScienceでしょうが、当時は物理の歴史的な発見は全てPhysical Review Lettersに載っていたんです。そこへ論文を出したら、「これはAB効果じゃない」と反論され大変な議論になったんですが、結局はエディターの判断で掲載してくれました。それが1982年6月で、その年に仁科記念賞をいただきました。直後に久保亮五先生も興味を持たれて、「そんな議論があるのなら、国際会議を開いたらいい」とご提案いただいたんです。仁科記念財団から支援を受けることになり、量子力学がお好きな中嶋貞雄先生（当時、東大物性研究所長）が組織委員長になって、「新技術の光に照らした量子力学の基礎」という会議の体裁が整い、ISQM（International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology）が発足することになりました。ちょうどその頃、最先端の技術と量子力学の基



AB効果の検証実験。電磁場の全くない空間を通る電子波の波面が穴の内側でズレることが示された。

基礎現象が結びついているということに興味を持たれ、量子力学の基礎研究の錚錚たる先生方が集まりました。それから3年に1回、日立が貧しくなると4年に1回になったりするんですが(笑)、まだ続いているんですよ。

山崎: そのテーマというのは、基礎の基礎の基礎で、それが最先端技術と結びつき、日立がサポートして続けているということが素晴らしいですね。

史上最も美しい実験

近藤: イギリスのPhysics World誌で「科学史上、最も美しい実験」の1位に外村さんの2重スリットの実験が選ばれました。この実験をやろうと考えた動機は？

外村: 1つは、不思議な量子力学の基礎現象を実験的に試してみたかったです。ひょっとして間違いはないかと。光の2重スリットの実験は1807年という大昔にイギリスのT.ヤングが2つのピンホールを使って干渉縞を観察しました。これが「ヤングの実験」で、光の波動説の基礎となりました。その100年後、G.I.テイラーというイギリス人が、光の強度をどんどん弱くしていったら回折パターンが変わるのではないかと考えて実験をしました。でも、露出時間は3ヶ月にもなってしまいました。J.J.トムソンが、「光を極端に弱くすると、いつまでも波のままではなく、いつかは固まりになって回折パターンに変化が出てくるのでは？」と主張していましたが、結果は同じままでした。

電子の場合はどうなのか？ノーベル賞受賞者のR. P. ファインマンは、こう言っています。「間をおいて電子を送ったときの2重スリットの実験は、まさにミステリーであり、古典的には解釈できない。ここに量子力学の真髄がある。しかし、実験は、そのままの形で行うことはできない。」このファインマンの思考実験が、電子1個を検出する高感度2次元検出器や干渉性の良い電子線などの先端技術によって、そのままの形で実現可能になったわけです。

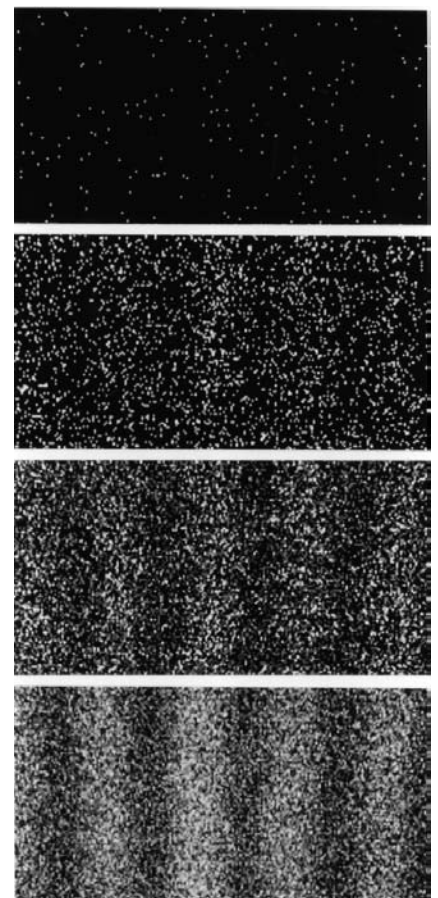
近藤: どんな実験ですか。

外村: 間をおいてやってくる電子を1つ1つ検出して積算すると、ある分布になります。この分布は、シュレーディンガー方程式で決まるんだけど、そこからのズレが出てこないかを見たかったんです。でも、ぴったり合うんですよ。電子が発射されて検出されるまでの時間は、あつという間です。その後ずっと経ってから次の電子が出る。スリットのどちらかを通して来るにちがいない。初め、車の窓ガラスに雨が降ってくるように、ランダムに電子がやって来ます。ところが、不思議なことに、だんだん縞模様が出てくるんです。干渉縞は、スリットの両方を波が同時に通った時に生じるので、そんなことは起こるはずはないと思われませんか。ともかく、不思議なんです(笑)。それをちゃんとやってみたくて、やったんだけど、量子力学の予言通りなんですよ。ひょっとしたら何かがちょっとズレていたりするといいな、そうしたら方程式を変えられる。僕たちの直観と一致するような解釈ができるきっかけになるかもしれない。でも、「ミクロの世界はオレたちの住んでいる世界じゃないんだから、素直に受け入れればいいんだ。計算してみても、結果が合うんだからそれでいい。」と言う人もいます。それでも、ひょっとしたらという微かな望みの第1歩の実験でした。

山崎: 2重スリットで1個1個の粒子が来たという、そのお話を私が最初に聞いたのは先生が日本物理学会で招待講演をされた時ではなかったかと思いません。ムービーを見せていただき、私は大感激しましたね。なんとなく常識では、波というのは水面に何かを落としたりしたら、それが伝わっていくし、変化したりする、大きな集団として起こっているかのような錯覚にとらわれる。干渉縞が生ずるのは、2つのスリットを通り抜けているから起きていると信じざるをえないけれども、到着したのは1個だけであったという極めて衝撃的な事実ですよ。電子は、強度を増や

せばジャンジャン湯水のように走ってくることもできるのに、それをわざわざ1個だけ選ぶというのは大変ですよ。普通たくさん来てしまうのに、1個にしたら、この1個はいったいどちらを通ってきたのかという疑問になるわけですね。だから非常に衝撃的で、そういう感覚を試してみたいという外村さんの思いは素晴らしいと感動しました。

外村: 昔の話ですねえ、10年以上前(笑)。いろいろところで話してるうちにだんだんみんなが興味を持ってきて、本にまでなっちゃった(R.P.クリース教授『世界で最も美しい10の科学実験』日経BP社、青木薫訳、2006年／原著“The Prism and the Pendulum-The Ten Most Beautiful Experiments in Science”, Robert P. Crease, Random House, New York, 2003)。1個1個を見ているとおもしろいですよ。車の窓ガラスに雨が降り始



2重スリットの実験。初めランダムにやってくる電子を長時間積算すると干渉縞が形成される。

めるのをよく見ていると、ランダムに
来ているはずですが、結構固まってる
んですよ。

山崎：そう、ランダムっていうのは一
様じゃないんです。でも、自分でラン
ダムな事象を作ろうとしたら、すぐ一
様になっちゃう。おもしろいですね。

次世代に技術をつなぐ

外村：最初に電子線の干渉実験をやっ
たのは、メレンシュテットというドイ
ツ・チュービンゲン大学の先生です。
僕が憧れた先生の1人で、電子線のプ
リズムを最初につくり、極めつけの実
験をやっていました。僕はそこに留学
したいと思っていたんです。日立の海
外留学生は全社で60人、原子力の研
究者はほとんど行っていました。僕
はなかなか行けなかった。まず部門で
「将来有望」と推薦してもらえなくちゃ
いけない。それから英語のテストがあ
るの。僕は推薦はしてもらうだけ
で、英語で落ちる。3回挑戦して、最
後はしょうがないから、夜に新宿のリ
ンガフォンまで通った。ヘッドホンつ
けてガンガンやられて、頭が痛くなっ
ちゃってね（笑）。でも、その時だけ
は成績がよくなって受かった。60人中
16番だったの。スゴイよ。だけど、英
語の通じないドイツの田舎町へ行くん
だよ（笑）。当時は原子力の人、アル
ゴンヌ、半導体の人、ハーバードと
かMITとか、カリフォルニアへ行っ
ていて、「チュービンゲン大学って何
なんだ。シカゴ大学のクリュー先生の

所なら出してもいい」って言われたん
ですけど、もうそこは花が咲いてまし
たからね、「そこじゃいやだ」と言っ
て待ってたら、僕の同級生で有馬朗人
先生（元東大総長）の弟子だった中村
道治さんが、僕よりあとで日立に入っ
て、先にファイマンのいたカリフォル
ニア工科大学に行っちゃった。でも、
僕も最後にやっと思行けたんです。中村
さんはちゃんとい論文を書いてきた
けど、僕は何にもしないで帰ってきた
（笑）。ドイツは、ゆっくり着実にやる
んですよ。でも、メレンシュテット
に会えたし、よかった。小高い山の
天文台の人里離れた小屋で実験しま
した。生涯であの1年だけだね、のん
びりできたのは…（笑）。

山崎：今の「フェロー」という称号は、
いつできたのですか。

外村：たしか、1991年に学士院賞をも
らった頃です。IBMなどを真似して、
研究者を厚遇してくれました。「ひょ
っとしたらノーベル賞級の人も出るん
じゃないか」と期待したんじゃないで
すか？ 70歳まで居られるんです。

山崎：素晴らしい制度ですね。ノーベ
ル賞を受賞されたH. ベーテ先生が晩
年、米・ロスアラモス研究所で「フェ
ロー」と言われていました。

外村：よかった、いい例があって（笑）。
田中耕一さんがノーベル賞を受賞した
時に、一緒に文化功労者になって、「あ、
2人ともフェローだね」と言って一緒
に写真を撮りましたよ。

近藤：これから、どんな研究をされる

予定ですか。

外村：現在、内閣府の最先端研究開発
支援プログラムの予算をもらい、原子
レベルの極め付けのホログラフィー電
子顕微鏡を開発しています。収差補正
レンズの発明によって電子顕微鏡は、
0.5Åの点分解能が達成され、原子が
見えるようになりました。飯島澄男さ
ん（名城大学教授、カーボンナノチュー
ブの発見者）が最近、グラフェンの炭
素原子1個ずつを見せてくれました。
でも、原子は透明でピントを合わせて
も、何も見えないから、ボカして強度
で見ているんです。とりわけ生物試料
は、コントラストがないので、大きく
ボカしています。せっかく分解能が高
いから、それをボカさないで位相
で見たい。つまり“波動関数”で見れ
ば、原子から出る波面までもが記録さ
れるので、原子の三次元配列までも観
察できるんです。それには、波長の短
い電子線を使い、収差のないレンズを
使い、位相を詳しく観測する。そうす
ると、周囲の電場や磁場も見える。だ
から僕たちは、どうしても強度じゃな
く、位相で原子を見たいんです。こう
すれば電子回折の情報も得られるはず
です。

近藤：それは何Vの電子顕微鏡ですか。

外村：1.2MVです。ただ、高電圧の精
度が、普通は 10^{-6} （毎分）くらいなん
ですが、 10^{-8} という極限技術を開発し
ないといけない。電子線のエネルギー
幅が小さいのを生かし、色収差による
ボケを充分小さくするためです。この
装置は日立でつくっているんだけど、
応用研究は理研でやっています。電子
顕微鏡をつくるスタッフは常時30人く
らい。下請けはもっとたくさんいます。
理研のグループでは、基本の技術一た
とえば位相を1000分の1波長まで検出
しようということ、さらにその応用研
究を6人でやっています。

僕はずっと日立しか知りませんでした
ので、10年前に理化学研究所に加
わった時は、うれしかったですね。仁
科芳雄先生や朝永振一郎先生、それ
から20代の若さで菊池正士さんが電子の

山崎敏光氏



波動性を実証したあこがれの研究所でした。沖縄科学技術研究基盤整備機構のプロジェクトにも関わっていて、沖縄の研究所でつくった電子顕微鏡を予備実験のために使っています。

山崎:今は、新しいものを開発することに人生を賭けなきゃいけないという気風が希薄になっています。そういう世の中にメッセージをいただければ。

外村:そうですね。何故こんな歳になっても研究しているかといえば、若い人に勇気を持って、思い切ったことに挑戦してほしいからです。だけど、今の日本では、その環境が整っているとは言えません。プロジェクトに次ぐプロジェクトで転身しながらのポストクの人たちには挑戦できない。特に最近「すぐに結果を出そう」という傾向が強くて、プロジェクトが5年あっても、中間評価が必ずあって、評価委員の先生が来て「あ、まだ論文で出ていないね」って言われるんです、絶対に(笑)。「5年かけてやろうと思っているのに、そんなもの出るか！」なんて言ったら殴られちゃう(笑)。でも、こんなことでは、チャレンジングな開発なんかできないよね。だから僕は敢えて「開発はしなくちゃいけない」という姿勢を見せたいんです。開発をして、失敗のリスクがあっても、次世代に技術を残す。こっちはもう、何を言われたっていい歳だから…(笑)。チームに若い人も年寄りも入れているのは、年寄りが持っている技術を、若い人に引き継いでもらいたいからなんです。

山崎:最近のノーベル賞受賞者の業績も、昔から積み上げられてきたものですからね。

外村:そうです。近藤先生も「近藤効果」で超有名ですし、昔の人は新しいことをいっぱいやっているんですよ。この春、近藤先生とワシントンのNational Academy of Sciencesの総会にご一緒した時に感じたのですが、やっぱりアメリカはチャレンジ的な研究をしています。また中国や韓国のポストクはハングリーで、すごいですよ。今の日本は、望ましい環境にないと危



近藤 淳氏

惧しています。

山崎:知らないところに行ってみようというチャレンジ精神が若い人には乏しいみたいですね。大学院へ進む時にも、よその大学へ行ってみようと、あまり考えない。だから、若い人に自分の将来について考える転機がないんですよ。ポピュラーになっているテーマについてやる人は多いけれども、ハイリスクな研究をやる人は少ない。委員会で審査されたらダメになってしまうようなものはやめるといー。今は「3年で成果が出ないと、その先は採用しない」とか言われて大変ですから…。
外村:お金は、ある所には沢山あるので、その分、成果、成果と言われる。10年かかる仕事なんかできないでしょうね。はやりの次のプロジェクトへと転身しながらやっていかなきゃいけない。僕なんか、同じことを50年もやってるけど、こんなヤツいないよ、今(笑)。

山崎:日立はそれを受け入れてくれたんですね。

外村:ええ。それがきっかけでこうした研究所もできたわけです。新しいことをじっくりやらなきゃいけないということで、渡辺宏(元日立副社長)さんが作ったんですよ。若い人たちにもっと元気になってほしい。特に実験は、新しいことをやろうと思ったら、装置から自分でつくらなくちゃ。若い人にだけ言うのは酷かもしれないけど、僕たち年寄りも応援するので、厳しい環境を押しつけてでも、やる勇気を持ってほしいと思います。新しい実験をやろうと思ったら、既成の電子顕微鏡

を買ってやったって最新のことは出来ない。そして、とてつもないことをやろうと思ったら、やっぱり10年かかる。歳とったらもう、無謀なことをやる勇気もないし、先もない(笑)。それはもう若い人しかやれない。ぜひ、勇気を振り絞ってやってほしいと思います。でないと、日本の将来はないですね。

外村 彰 (とのむらあきら)

1942年、兵庫県西宮市生まれ。東京大学理学部物理学卒業、(株)日立製作所入社。一貫して電子線装置の開発及び応用研究に従事。1974年から電子線の干渉性を利用した電子線ホログラフィー研究に従事する。工学博士、理学博士。1999年から日立製作所フェロー。(独)理化学研究所グループリーダー、(独)沖縄科学技術研究基盤整備機構代表研究者。米国科学アカデミー外国人会員、米国物理学会フェロー、日本学士院会員。仁科記念賞(1982)、朝日賞(1987)、恩賜賞・日本学士院賞(1991)、ベンジャミン・フランクリン・メダル(1999)など受賞。文化功労者(2002)。

近藤 淳 (こんどうじゅん)

1930年、東京生まれ。東京大学理学部物理学卒業。理学博士。日本大学理工学部助手、東京大学物性研究所助手を経て、通商産業省工業技術院電気試験所(のちの電子技術総合研究所)研究員。東邦大学理学部教授を経て、現在、同大学名誉教授、産業技術総合研究所特別顧問、米国科学アカデミー外国人会員、日本学士院会員。

山崎 敏光 (やまざきとしみつ)

1934年、東京生まれ。東京大学理学部物理学卒業。理学博士。東京大学原子核研究所助手、カリフォルニア大学およびニールス・ボーア研究所研究員、東京大学理学部教授を経て、1986年より同大原子核研究所所長。退官後は日本学術振興会監事などを歴任。現在、東京大学名誉教授、仁科記念財団理事長、日本学士院会員。

鉄は呼吸などの生命活動に不可欠な元素であり、人をはじめとする動物は植物が土壌から根を通して取り込む鉄に全面的に頼っている。その植物の根が土壌中の殆ど水に溶けない三価鉄を吸収するには、大部分の植物が水溶性二価鉄への還元 (strategy I) という手段を取っているのに対して、主要な穀物生産者であるイネ科植物だけは三価鉄をキレートするムギネ酸類を分泌するという全く違う手段 (strategy II) を使っている。今では植物生理学の教科書に必ず載っているこのモデルの土台となったムギネ酸を発見した高城成一先生 (たかぎ・せいいち; 1925~2008) は、研究者としては孤高の経歴を過ごした人であった。

先生は第二次大戦末期に航空士官学校練習生として満州に渡り、半年後の終戦でかろうじて帰国して一旦帰農、盛岡農林専門学校に転入学、次いで高校理科教師という、当時の多くの日本人が共有したであろう波乱を経て、1950年東北大学農学研究所に研究補助員として採用された。入所後も研究者としてはほとんど誰の協力も得られずにイネの水耕栽培実験を繰り返す中から、「水が多いと根から分泌される鉄溶解性物質が薄められて鉄欠乏が起る」という常識を破る現象に気付く。それから長い年月を掛けてこの物質を分泌量の多いオオムギの根から精製し、その構造は東北大学薬学部におられた竹本常松先生らの力を借りて決定されてムギネ酸と命名され、岩手大

寄稿 ムギネ酸を発掘した孤高の研究者―高城成一

東京大学名誉教授 別府輝彦

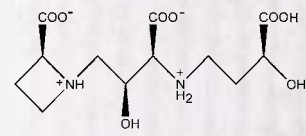
学に移った後の1983年私費参加した米国ユタ大学での国際会議のポスター発表が黒山の人だかりとなって初めて国際的に認知されて、MarschnerとRömheldによる前述のモデル提唱につながったのである。

このように先生のお仕事は長い無名の時間に耐えねばならなかったが、その間にムギネ酸構造決定の原著論文がProceedings of the Japan Academy (PJA-B, 54, 469-473, 1978) に掲載されていたことが国際的認知の支えとなったのは間違いない。最近までにstrategy IIに関わる多数の遺伝子と分子機構の全貌が解明され、鉄欠乏に強いイネの育種など実用的成果も出始めているのは西澤らの総説論文 (PJA-B, 86, 900-913, 2010) に見るとおりである。わが国の研究者が中心的な役割を果たしているこの植物栄養学の重要分野を拓く土台を築かれた高城先生のご貢献を改めて偲びたい。

(この小文は、先生のお仕事に最も早く着目してこの分野を開拓してきた森敏・東大名誉教授提供の資料による)

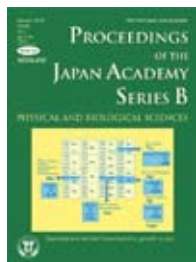


岩手大学在職中の高城成一教授



ムギネ酸の構造式

No. 1



Ryugo S. HAYANO: Spectroscopy of antiprotonic helium atoms and its contribution to the fundamental physical constants 1

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.1>

著者らが発見した反陽子ヘリウムは、通常のヘリウム原子の2個の電子のうち1個を反陽子で置換して得られる準安定な中性原子である。現在ではこの原子のレーザー分光によって反陽子と電子の質量比が9桁の精度で決定されるに至り、基礎物理定数の決定にも大きな役割を果たしている。

Kimitsuna WATANABE: Unique features of animal mitochondrial translation systems –The non-universal genetic code, unusual features of the translational apparatus and their relevance to human mitochondrial diseases–11

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.11> **Cover Illustration**

動物ミトコンドリア翻訳系の顕著な特徴である、非普遍暗号、異常構造を持つtRNA、縮小したRNAを蛋白質が補完するリボソーム等のRNA・蛋白質複合体の実態とtRNA遺伝子内の1塩基変異に起因するミトコンドリア病の分子機構を解説した。

Yoshiaki FUJII-KURIYAMA and Kaname KAWAJIRI: Molecular mechanisms of the physiological functions of the aryl hydrocarbon (dioxin) receptor, a multifunctional regulator that senses and responds to environmental stimuli40

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.40>

ダイオキシン受容体 (AhR) は薬物代謝酵素P450の誘導的発現に係る転写因子として見出されたが、エストロゲン受容体のコアクチベーターやユビキチンE3リガーゼ活性も有し、細胞増殖、生殖、自然免疫、癌抑制作用などに働く多機能因子である事が明らかになった。ダイオキシンの示す催奇形性、発がん性、免疫不全、内分泌かく乱などの生体毒作用もAhRの裏作用として理解されつつある。本総説は著者らの研究を中心にAhR研究の発展についてまとめた。

Kazutomo IMAHORI: The biochemical study on the etiology of Alzheimer's disease54

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.54>

著者は認知症の主たる原因疾患であるアルツハイマー病においてtauタンパクをリン酸化する酵素を発見し、それがピルビン酸脱水素酵素を不活性化すること及び、それがアミロイドタンパク (A β) で活性化されることを通して神経細胞死を引き起こす機序と密接に関連していることを提起している。

Naoki WATANABE: Inside view of cell locomotion through single-molecule: fast F-/G-actin cycle and G-actin regulation of polymer restoration62

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.62>

アクチン細胞骨格は動的な重合・崩壊を繰り返し、細胞を形づくる。著者は、生細胞内での蛍光単分子可視化に成功し、リニアモーター様のアクチン重合機構や、線維の崩壊と重合をつなぐホメオスタシスを捉えた。

No. 2



Tomoyasu HIROSE, Toshiaki SUNAZUKA and Satoshi ŌMURA: Recent development of two chitinase inhibitors, Argifin and Argadin, produced by soil microorganisms85

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.85>

キチナーゼは様々な生物に存在し、多糖であるキチンを加水分解することで生体恒常性の一端を担う。本総説では、カビの代謝物としてまた環状ペプチドでは最初の例となる2種のキチナーゼ阻害剤 Argifin及びArgadinの発見から全合成、さらにはこれら天然物を基に阻害活性の優れた誘導体を得るべく行った分子設計、*in situ*クリックケミストリーの応用について概説する。

Nobuko OHMIDO, Kiichi FUKUI and Toshiro KINOSHITA: Recent advances in rice genome and chromosome structure research by fluorescence in situ hybridization (FISH)103

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.103>

遺伝子の位置を可視的に検出する蛍光*in situ*ハイブリダイゼーション (FISH) 法の精細化により、現在では数百塩基対のDNAもイネの染色体上で検出できる高感度可視化技術が確立された。本総説ではイネ分子細胞学的研究の進展について論じる。



- Mitsuaki YOSHIDA: Molecular approach to human leukemia: Isolation and characterization of the first human retrovirus HTLV-1 and its impact on tumorigenesis in Adult T-cell Leukemia.117
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.117>

がんの分子的理解は、がんウイルスから始まった。著者はヒト最初のレトロウイルスであるHTLV-1にその発見当初から関わり、白血病の発症機構を追求した。分子レベルでの研究による白血病の理解、診断、予防への貢献について、最近の知見も含めて概括した。

- Yuji MATSUZAWA: Establishment of a concept of visceral fat syndrome and discovery of adiponectin131
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.131> **Cover Illustration**

内臓脂肪の蓄積が生活習慣病の主役であることを示し内臓脂肪症候群という概念を確立した。機序解明のために脂肪細胞の解析を行いアディポネクチンという脂肪細胞由来蛋白を発見しその生理機能を解明した論文である。

- Akihito: Linné and taxonomy in Japan: On the 300th anniversary of his birth.143
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.143> **Cover Illustration**

平成19年5月、ロンドン・リンネ協会で天皇陛下より行われた基調講演。分類学の体系の基礎である二名法を創始したカール・フォン・リンネの生誕300年を記念し、その業績や日本の分類学の発展が述べられている。

- Toshiki TAJIMA: Laser acceleration and its future147
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.147>

レーザー加速は、強いレーザーの電子に及ぼす相対論的効果を利用し従来型加速の千倍以上の加速電場を生成する方法である。実験的にも確かめられ、X線FEL、高エネルギー加速器などに利用されようとしている。

- Hironari MIYAZAWA: Superalgebra and fermion-boson symmetry158
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.158>

対称とは変換に際し不変の性質を言うのだが、フェルミ粒子とボーズ粒子とは通常の変換群では結ばれないので、両者の対称性を議論出来ない。新しい数学「超代数」の導入により「超対称」が可能となることを解説する。

- Osamu MISHIMA: Polyamorphism in water165
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.165>

水は4℃で密度が最大になる。これは水が2つに相分離し始めるためであると考えられている。本総説は、この考えが生まれる契機になった高密度非晶質水の発見から水の液液臨界点の探索まで、筆者の研究を概説する。

- Kiyoyuki YAMADA, Makoto OJIKI, Hideo KIGOSHI and Kiyotake SUENAGA: Cytotoxic substances from two species of Japanese sea hares: chemistry and bioactivity176
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.176>

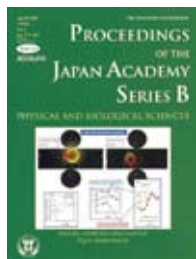
日本産の海洋軟体動物ウミウシ類から、超微量成分として多数の新しい細胞毒性物質が抽出分離され、化学構造が決定された。更に、強力な細胞毒性物質については化学合成により量産され、抗腫瘍性を含む各種生物活性が解明された。

- Daisuke UEMURA: Exploratory research on bioactive natural products with a focus on biological phenomena. .190
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.190>

重要な天然有機化合物は生命現象への深い洞察を導くとともに、新たな機構で機能する制がん剤など医薬資源として注目される。野外での生物現象から直接的に学んだ本分野での著者らの研究を概説する。

- Takeshi OHKUMA: Asymmetric hydrogenation of ketones: Tactics to achieve high reactivity, enantioselectivity, and wide scope.202
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.202>

ケトン類の不斉水素化反応は、医薬原料等として有用な光学活性アルコール類を合成する最も優れた方法の一つである。著者らは独自に開拓したルテニウム錯体触媒を用い、多彩な構造をもつケトン類を高速かつ高立体選択的に水素化することに成功した。本論文では、その基礎研究から実用化までの展開を紹介している。



- Teruo ONO and Shoji ODANI: Initial studies of the cytoplasmic FABP superfamily.220
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.220>

脂肪酸結合蛋白は著者らが明らかにした細胞内脂質輸送にかかわる組織特異的な蛋白ファミリーである。本総説では脂質代謝への関与から核内受容体による転写調節における脂質性リガンド供給の役割へと展開したこの蛋白群の機能研究を端緒から概説した。

- Chihiro SASAKAWA: A new paradigm of bacteria-gut interplay brought through the study of *Shigella*229
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.229>

本稿では、赤痢菌をモデルにして、病原細菌の腸管粘膜感染の基本原則、病原細菌の高度に進化した自然免疫回避の感染戦略とその意義、細菌病原性の新たなパラダイムシフトについて、著者らの研究を基に概説している。

- Masamitsu IINO: Spatiotemporal dynamics of Ca^{2+} signaling and its physiological roles244
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.244>

細胞内カルシウム濃度上昇は細胞機能のスイッチとして、細胞内を波のように伝わったり、ある周期で振動したりしながら、ほとんどあらゆる生体機能の制御に関わっている。カルシウム濃度変化の時空間動態の生理機構について概説する。

- Jaw-Shen TSAI: Toward a superconducting quantum computer. Harnessing macroscopic quantum coherence . .275
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.275>

ジョセフソン接合により構成される超伝導固体素子回路において、量子コヒーレントな現象が見つかった。このような巨視的量子系を使い、量子コンピューターを構成することが考えられている。

- Hiroataka SUGAWARA: My 50 years of research in particle physics293
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.293>

50年にわたる著者の理論物理学における活動について振り返る。パーソナル・レビューのため主観的に記述されるが、個々の仕事の動機、研究のプロセス、他の研究者に与えたインパクト等についてできる限り他の研究者の言説に基づいて述べられる。

- Takaaki KAJITA: Atmospheric neutrinos and discovery of neutrino oscillations.303
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.303> **Cover Illustration**

本論文は、宇宙線が大気中の原子核と衝突して生成したニュートリノを地下の巨大な測定器で観測して、ニュートリノが飛行中にその種類を変えるニュートリノ振動という現象が発見されたことを紹介したものである。

- Shoichi KUSUMOTO, Koichi FUKASE and Tetsuo SHIBA: Key structures of bacterial peptidoglycan and lipopolysaccharide triggering the innate immune system of higher animals: Chemical synthesis and functional studies.322
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.322>

動物の免疫機能を増強することが知られていた細菌細胞成分ペプチドグリカンやリポ多糖の活性最小構造を化学合成的に決定し、それらが自然免疫系始動の鍵分子であることを明らかにした著者らの研究を概説した。

- Shiro KOBAYASHI: Lipase-catalyzed polyester synthesis – A green polymer chemistry338
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.338>

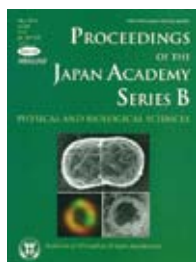
今世紀の化学を貫く鍵概念は持続可能社会実現を目指した環境に優しい物質生産というグリーン化学の思想である。本論文では著者らの開発・先導してきたリパーゼ酵素触媒によるポリエステル合成が、そのような物質生産の諸要件を満たし、グリーン高分子化学推進に貢献することを述べている。

- Akihiro IGATA: Clinical studies on rising and re-rising neurological diseases in Japan –A personal contribution–. .366
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.366>

1970年、著者は奇病SMONが薬剤キノホルムの中毒であることを発見した。1971年に脚気の再燃を発見、また、鹿児島に特異な痙性麻痺がATL（成人細胞白血病）ウイルスに起因することを発見した。これらを介してローカルな問題を世界に大きく発信した。

- Sumihiro HASE: Pyridylamination as a means of analyzing complex sugar chains.378
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.378>

著者らは糖鎖構造や機能の解析を高感度化・簡便化できる糖鎖の蛍光標識法を開発した。この方法を用いて、新しいタイプの糖鎖構造や新しい糖鎖水解酵素を見出した。本論文では、これらの過程を述べている。



- Hachiro NAKAGAWA and Nobuaki OKUMURA: Coordinated regulation of circadian rhythms and homeostasis by the suprachiasmatic nucleus391
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.391>

概日リズムとホメオスターシスはヒトを含めた哺乳動物の生存の基盤となる生命現象である。両現象は一見独立しているように見えるが、環境光を媒介として視交叉上核の背内側と腹外側に局在するそれぞれの調節中枢によって、お互いに協調的に調節されていることを本論文で明らかにしている。

- Takashi MURAMATSU: Midkine, a heparin-binding cytokine with multiple roles in development, repair and diseases410
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.410>

ミッドカインはヘパリン結合性のサイトカインあるいは成長因子であり、細胞の生存と移動等を促進する。癌や炎症性疾患の治療において分子標的として注目される。虚血傷害を受けた心臓や脳の回復への寄与も興味深い。

- Kentaro HANADA: Intracellular trafficking of ceramide by ceramide transfer protein.....426
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.426>

生体膜脂質代謝において脂質分子が特定のオルガネラから他のオルガネラへと移動することがあるが、そのメカニズムはほとんど未解明である。本総説では、セラミド輸送タンパク質を介した脂質セラミドの小胞体-ゴルジ体間輸送モデルを概説する。

- Hideyuki OKANO: Neural stem cells and strategies for the regeneration of the central nervous system ... 438
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.438>

本論文では、幹細胞技術を駆使することにより、長年二度と再生しないと考えられてきた損傷した成体哺乳類の中樞神経系の再生を目指した著者らの研究成果を紹介するとともに、世界的な研究情勢についての概説を行った。

- Tsuneyoshi KUROIWA: Mechanisms of organelle division and inheritance and their implications regarding the origin of eukaryotic cells.....455
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.455> **Cover Illustration**

ミトコンドリアと葉緑体は生命活動に必須なエネルギーを作り出す細胞器官である。著者はこれらの分裂増殖と遺伝の基本機構を、ゲノム解読などを基盤に発見した経緯を述べ、機構の真核細胞誕生における意義を論ずる。

- Masahiro IRIE: Photochromism of diarylethene molecules and crystals.....472
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.472>

特定の波長の光を受けることにより色と形を変え、別の波長の光の照射により元の状態にもどる「ジアリールエテン分子結晶」の卓越した光応答性能と、それを応用した機能を紹介している。

- Akira ENDO: A historical perspective on the discovery of statins.....484
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.484>

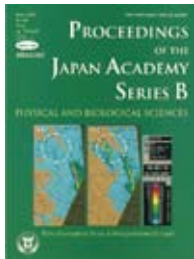
コレステロールは西欧先進国で死亡者の1/3以上を占める冠動脈疾患の主要な原因である。過去1世紀に及ぶ研究で、研究者たちは実験医学、遺伝学、疫学、治療学の4分野でコレステロールを運搬するLDL（低密度リポタンパク）と動脈硬化との因果関係を反論の余地がないほど完璧に立証した。こうした知見を基盤として、1970年代に、我が国で有効な治療薬－スタチン－が発見された。

- Nobuhiro HAYASHI and Koiti TITANI: N-myristoylated proteins, key components in intracellular signal transduction systems enabling rapid and flexible cell responses494
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.494>

翻訳後脂肪酸修飾の一つであるミリスチル化は蛋白質の可逆的膜画分移行を可能とする。細胞内には数百のミリスチル化蛋白質が存在し、生体膜マイクロドメインによる細胞の迅速な応答などにおいて様々な役割を担っている。本総説ではN-ミリスチル化蛋白質に関する知見を概説する。

- Tadaomi TAKENAWA: Phosphoinositide-binding interface proteins involved in shaping cell membranes... 509
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.509>

ホスホイノシタイドはそのものがシグナル分子として働く。これらの脂質に特異的に結合するドメインが多く見つかり、膜でのシグナル発生に関与するのみならず、膜の形を様々に変える活性を持つことが分かって来た。



- Masayuki AMAGAI: Autoimmune and infectious skin diseases that target desmogleins524
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.524>

カドヘリン型の接着因子であるデスマogleインは、自己免疫疾患である天疱瘡、および感染症である膿痂疹、SSSSの標的蛋白である。デスマogleインを通して見えてくる細胞接着機構、病態生理について概説する。

- Sogo OKAMURA and Tomohiro OGUCHI: Electromagnetic wave propagation in rain and polarization effects . .539
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.539> **Cover Illustration**

1950年代末、著者らによるミリ波伝搬実験から降雨による電波の減衰が偏波により僅かではあるが異なることが見出された。この現象の解明は後年の直交二偏波通信、偏波レーダによる雨量精密測定の研究などへ繋がることになる。本論文では現象の発見から現在の研究に到る経緯を紹介している。

- Susumu SEINO, Tadao SHIBASAKI and Kohtarō MINAMI: Pancreatic β -cell signaling: toward better understanding of diabetes and its treatment563
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.563>

本総説では、膵 β 細胞におけるインスリン分泌の分子機構について、cAMPシグナルを中心に著者らの最新の知見をまじえて概説するとともに、膵外分泌細胞からインスリン分泌細胞への分化転換についても紹介する。

- Ikuo YAMASHINA: The trail of my studies on glycoproteins from enterokinase to tumor markers578
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.578>

糖タンパク質の糖とアミノ酸の結合様式を化学的及び酵素的に決定し、次いで糖タンパク質が細胞膜の普遍的成分であることを見出し、糖鎖特異的単クローン抗体作製の新法を考案して、有用な腫瘍マーカーを作成した。

- Toshikazu NAKAMURA and Shinya MIZUNO: The discovery of Hepatocyte Growth Factor (HGF) and its significance for cell biology, life sciences and clinical medicine588
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.588>

肝細胞増殖因子 (HGF) は器官形成、組織修復を司る必須の生理活性物質である。多くの臓器疾患はHGF産生不良によって顕在化する一方、HGF補充療法が病理発生に基づく合理的な治療戦略となり得る。本稿では著者らの研究成果を中心に生命科学におけるHGF発見の意義を概説した。

- Atsushi KUMANOGOH and Hitoshi KIKUTANI: Semaphorins and their receptors: Novel features of neural guidance molecules611
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.611>

セマフォリン分子群は従来発生過程での神経ガイダンス因子とされてきたが、著者らの研究により免疫系で機能する一群の分子群の存在が明らかになるとともに、種々の疾患の鍵分子であることも明らかになっている。

- Hisakazu OGITA, Yoshiyuki RIKITAKE, Jun MIYOSHI and Yoshimi TAKAI: Cell adhesion molecules nectins and associating proteins: Implications for physiology and pathology621
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.621>

接着分子ネクチンはその関連分子であるネクチン様分子やアフアディンと共に細胞間接着のみならず、細胞の運動、増殖、生存などの様々な細胞機能を制御する。これらの分子の異常は、がんなどの病態とも関連する。

- Tsutomu NAKADA: Conversion of brain cytosol profile from fetal to adult type during the perinatal period: Taurine-NAA exchange630
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.630>

哺乳類は誕生による劇的な環境変化を経験する。物理学的変更を主とする呼吸と循環への適合は瞬時に行われるのに対し、血液組織におけるヘモグロビンのように、生化学特性の変換を必要とする適合は新生児期に徐々に達成される。脳もまた例外ではなく、細胞質内の自由アミノ酸の交換を行う。胎児脳特有の酸塩基平衡を支えたタウリンは、高エネルギーリン酸物質の移動を促進する、N-アセチルアスパラギン酸と交換されるのである。



Seiji MIYASHITA: Phase transition in spin systems with various types of fluctuations643

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.643>

スピン系に代表される局所自由度系では、低次元性、相互作用間の競合、ランダムネス、量子効果、格子変形など様々な理由で大きなゆらぎが生じ、多様な秩序化過程、相転移が出現する。それらの現象を紹介し、機構を概説する。

Yasuo KAGAWA: ATP synthase: from single molecule to human bioenergetics667

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.667>

ATP合成酵素は生命活動のエネルギー源であるATPを1日体重と約同量合成する分子モーターである。栄養素の酸化で生じる膜のH⁺流束で駆動される分子内回転、発現制御機構、オミックス等から生理的意義を解明した。

Shukuro ARAKI and Yukio ANDO: Transthyretin-related familial amyloidotic polyneuropathy—Progress in Kumamoto, Japan (1967–2010)—.....694

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.694>

本論文は、1968年熊本大学名誉教授、荒木淑郎教授が、熊本県に家族性アミロイドポリニューロパチーの患者フォーカスを発見して以来、診断、病態解析、治療研究を行ってきた成果を記載したものである。

Akira ICHIHARA: Reminiscence of 40-year research on nitrogen metabolism.....707

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.707>

本レビューは、著者が40年間に行った窒素代謝研究の回顧録である。分岐鎖アミノ酸を中心としたアミノ酸代謝研究から初代培養肝細胞系を用いたタンパク質代謝研究に至るまでの概要と折々に出会った研究者たちとの交歓を綴る。

Toshio HIRANO: Interleukin 6 in autoimmune and inflammatory diseases: a personal memoir717

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.717>

インターロイキン6 (IL-6) は免疫応答や炎症反応に重要な役割を果たしており、その異常は関節リウマチ等の免疫疾患や慢性炎症性疾患と密接に関連している。本総説ではIL-6研究の歴史の概説と、IL-6異常と自己免疫・炎症性疾患発症機構を論じる。

Akira KOBATA: Structures and application of oligosaccharides in human milk731

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.731> **Cover Illustration**

人乳に含まれる多様な少糖群に血液型と密接に関連した欠損現象が認められるという発見を糸口に、これら少糖群の構造とそれを作り出すメカニズムの全貌が明らかになった。これらの成果に加えて、近年進展しつつある人乳少糖を使った細胞表面の認識機構における複合糖質糖鎖の機能解明とその応用の研究が包括的に紹介されている。

Hideo SUGITA and Shin'ichi TAKEDA: Progress in muscular dystrophy research with special emphasis on gene therapy748

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.748>

筆頭著者は、50年前、血清Creatine kinase測定が筋ジストロフィーの診断に有効であることを発表し、以降、同疾患の研究を指導・牽引してきた。本総説では、この経緯に加え、最も実現が近いとされるエクソン・スキップ療法についても概説している。

Yoshibumi TOMODA: Gravity at sea —A memoir of a marine geophysicist—.....769

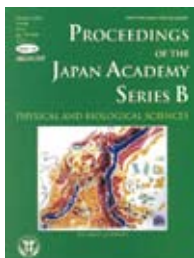
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.769> **Cover Illustration**

重力は、地球の形状と、それを支える地下の構造と運動を示している。地球表面の7割を占める海域の重力測定に1950年代から取り組んできた著者が、揺れる船で精度6桁の測定をする工夫と観測成果を概説する。

Masayuki YAMAMOTO: The selective elimination of messenger RNA underlies the mitosis–meiosis switch in fission yeast788

<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.788>

分裂酵母の細胞周期を体細胞分裂から減数分裂に切り替えるRNA結合タンパク質Mei2の分子機能が、細胞が内在的に持つ、栄養増殖時に減数分裂用mRNAを選択的に除去している分解機構の抑制であると突き止めた。



- Eijiro OZAWA: Our trails and trials in the subsarcolemmal cytoskeleton network and muscular dystrophy researches in the dystrophin era798
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.798>

ジストロフィンの欠失でジュシェンヌ型筋ジストロフィーが起こる。この分子を含む細胞骨格系の分子構築とその細胞膜との関係を解明した。その機能を筋ジストロフィーの危険因子である筋収縮との関連で検討し、分子病態生理を議論した。

- Charles C. SWEELEY: Reflections on my career in analytical chemistry and biochemistry.822
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.822>

著者は糖鎖、糖脂質研究の先達の一人である。この総説では、自身の研究を振り返って、ガスクロマトグラフィ、質量分析などを駆使した新たな解析法の開発、それに基づいた糖鎖研究分野への多岐に亘る貢献、ファブリ病の異常蓄積物質の同定などを総括している。

- Tetsuo NAGANO: Development of fluorescent probes for bioimaging applications837
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.837>

総説では、最近のダイナミックな生命科学研究で有用な研究技術となっているバイオイメージングのプロープについて、その開発原理について詳述されている。原理に基づいて設計・合成されたプロープを用いた生体系への応用例も紹介された。

- Atsushi ICHIKAWA, Yukihiko SUGIMOTO and Satoshi TANAKA: Molecular biology of histidine decarboxylase and prostaglandin receptors848
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.848>

ヒスタミンとプロスタグランジンは細胞で合成され、周辺細胞の受容体に結合して多様な生体作用を発揮することから医薬品開発の標的物質である。本総説は、ヒスタミン合成酵素とプロスタグランジン受容体の構造と機能について、著者らの知見を中心に紹介している。

- Michinori ŌKI: Isolation of rotational isomers and developments derived therefrom.....867
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.867>

室温で回転異性体を単離できる系を見出し、配座がキラルなら、それは光学活性になれること、およびメソ酒石酸で通説であった内部補償の概念が誤謬であることを示した。また、回転異性体の反応性が異なる例を数種記述した。

- Hideo NAKAJIMA: Fabrication, properties, and applications of porous metals with directional pores884
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.884>

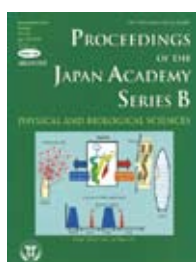
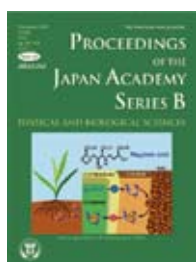
従来のポーラス金属の製法には高圧水素ガス使用による難点があったが、著者はそれを克服した簡単で量産化に適したガス化合物熱分解による製法を発明した。一方向の気孔を有するポーラス金属の弾性、強度、吸音性、熱伝導の特異性や高い冷却能をもつヒートシンクおよび制振材料への応用を紹介した。

- Takanori KOBAYASHI, Hiromi NAKANISHI and Naoko K. NISHIZAWA: Recent insights into iron homeostasis and their application in graminaceous crops900
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.900> **Cover Illustration**

鉄は全ての動植物にとって必須な元素である。本レビューは、主要穀物が属するイネ科植物における鉄の吸収と利用、およびその制御に関する最近の知見とともに、これらに応用した新機能植物の開発について概説する。

- Shunji NATORI: Molecules participating in insect immunity of *Sarcophaga peregrina*927
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JSTJSTAGE/pjab/86.927> **Cover Illustration**

昆虫は、微生物感染に呼応して、複数の生体防御分子を迅速に産生、総動員する優れた自然免疫系を保有している。本総説はセンチクバエの生体防御分子の構造と作用機構を解説すると同時に、その一部が、単に外来異物の排除だけでなく、個体発生の進行に必須な二重機能分子であることを記載している。



日本発の研究の活用 iPS細胞とセンダイウイルスの出会い

最近、本誌でアクセス数が増加している原著論文が、本誌Vo.85 No.8 (2009年10月)に掲載された房木ノエミ博士らによる論文“Efficient induction of transgene-free human pluripotent stem cells using a vector based on Sendai virus, an RNA virus that does not integrate into the host genome”である。

本論文のキーワードの一つは、人工多能性幹細胞 (iPS細胞) である。近年、失われた体の組織や臓器を回復する再生医療が話題となっている。胚性幹細胞 (ES細胞) は、色々な組織や臓器に分化させることができる発生研究や再生医療に有用な細胞であるが、発生初期の胚を破壊して作るという倫理的・宗教的な問題がある。また、再生医療に他人のES細胞を使った場合には、免疫機能による拒絶反応が起こるという問題がある。

そのようなES細胞の問題を解決する方法として開発されたのが、京都大学の山中伸弥博士が2006年に世界で初めて作成に成功したiPS細胞である。iPS細胞は成人の体細胞に4種の遺伝子 (山中遺伝子) を導入し培養すると、万能な細胞 (多能性幹細胞) に変化する。臓器や組織を必要とする本人の細胞を使うという点で、ES細胞の持つ免疫拒絶反応が起

こらず、また胚を破壊しないため、倫理的・宗教的問題もクリアできる。しかし、ES細胞自体が分化後も腫瘍原性を示す場合があるのに加え、iPS細胞は導入する遺伝子によって細胞のゲノムを傷つけるため、がん化しやすいなど、解決すべき問題が残されている。

その解決策の1つとして房木博士らの論文で使われているのが、1952年に東北大学の石田名香雄博士が発見したセンダイウイルスである。センダイウイルスはマイナス鎖RNAゲノムをもつウイルスであるが、永井美之博博士らの作成した相補DNAを用いて、センダイウイルスの遺伝子操作が可能となり、宿主細胞ゲノムを傷つけないRNAウイルスベクターの開発につながった。

房木 (ディナベック社) らは、センダイウイルスベクターに山中遺伝子を搭載し、iPS細胞を作成した。この方法は、染色体を傷つけないだけでなく、作成効率が高く、操作が簡便で、山中遺伝子に含まれる発がん遺伝子を除去できるなどの特徴があり、臨床応用に有望であるという。

これら日本発の研究成果が再生医療の実現につながることを祈ってやまない。

(文責 編集部 協力 豊島久真男)

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

Proceedings of the Japan Academy, Ser. B: Physical and Biological Sciencesは、日本学士院が刊行する欧文論文誌で、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に掲載する数学以外の自然科学全分野を対象とし、年10回刊行しています。本誌は、総説論文 (Review) と、原著論文 (Original Paper、速報

を含む) を掲載し、冊子を印刷するほか、J-STAGE (<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/pjab>) において、インターネットによる無料公開を行っております。PubMedにも登録されています。

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、日本学士院会員を含む各分野の第一人者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ヶ月程度で出版されます。また、カラーページは印刷1ページまで無料としており、別刷も50部無料で進呈します。投稿料・掲載料は不要です。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> を御覧ください。



PJA Newsletter
[PJA ニュースレター]
No.3

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23年1月31日

