

理研ニュース

No. 182 August 1996

理化学研究所

2 ● 研究最前線

豊穰なる原子核の世界

6 ● SPOT NEWS

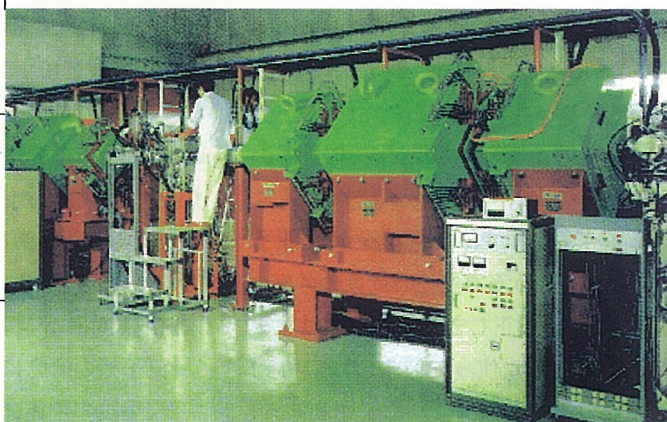
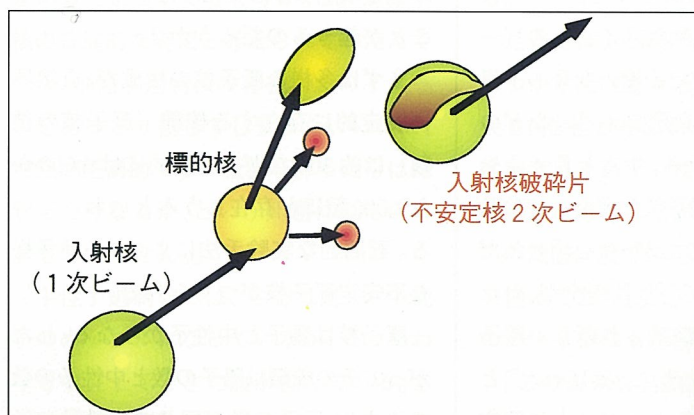
質量分析法を用いたタンパク質の表面構造や高次構造の解析

7 ● TOPICS

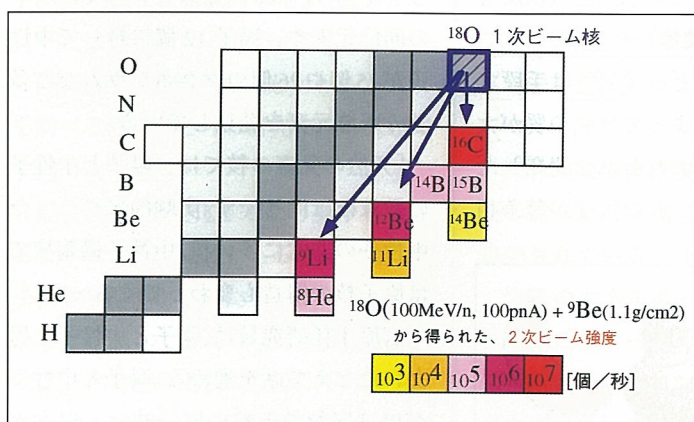
- ・有馬理事長バーミンガム大学より名誉博士号授与
- ・国際親善パーティーを開催

8 ● 原酒

遺伝しない個体の能力



入射核破砕片分装置 (RIPS) とそれを用いて得られる2次ビーム強度。このビーム強度は世界最高で、これにより多種多様な原子核を研究対象とすることができる。(記事は2ページから)



豊穡なる原子核の世界

原子核と聞いてどんな姿を思い浮かべるだろうか？

まるい陽子と中性子が球状の空間に集まって、見るからに重たそうだが、面白みのない世界といったところだろうか。

今や産業の中心に居座り、インターネットを通じて世界中を飛び交っている電子に比べて地味な感は否めない。ところが、「いやいや、手をつけるのが難しかっただけで、新しい手法を使ってその世界をのぞいてみると、構造も性質もまことに多種多様です。形だってミカン型、レモン型、葉巻型、だるま型、クロワッサン型と多様に変形したものに出会えます」(図1)と放射線研究室の石原正泰主任研究員は、豊かな原子核の世界に私たちがいざなう。

世界のトップを走る

理研といえば仁科芳雄博士、仁科博士といえばサイクロトロンと連想する人はけっこう多いのではないだろうか。原子核の研究を行う石原主任研究員のグループも、この由緒正しきサイクロトロンを使う。もちろん使っているのは昭和12年完成の第1号機ではなく、昭和61年にできた直径13メートルの巨大なリングサイクロトロンだ。

サイクロトロンは、電気を帯びた粒子に磁場をかけて回転運動させ、さらに高周波をかけてそのスピードをどんどんあげるとい装置である。石原主任研究員たちが扱っている粒子は、軽いところでは酸素(原子量16)、重いところではアルゴン(原子量約40)の原子から電子をはぎとった重イオンとよばれるものだ。重イオンは、イオン源という装置によって天然の元素からつくられる。酸素ぐらいの軽さなら電子はすべてはぎとられ、原子核そのものになるそうだ。

イオン源でつくられた重イオンのビームをサイクロトロンで光速の3分の1程度にまで加速して、金属フォイルなどのターゲットにぶつける。すると重イオンはターゲット中の原子核と衝突して破碎されることになるのだが……、「それだけでも面白い現象がみられますが、われわれの眼目は、この破碎され新しい原子核となった重イオンを“二次ビーム”として扱い、これをまたターゲットに衝突させて、そこでの反応を探るところにあります」と石原主任研究員は語る。二次ビームの利用を可能にしたのは、1988年に完成したRIPSという装置(核反応入射核破砕片分離装置)だ。(図2)

「原子核の研究にとって装置は手段ですが、手段の性能によって研究の質が大きく左右されます。われわれの開発したRIPSでは、二次ビームの強度が競争相

手より100倍も強かった。」

その成功の秘訣は明確な戦略性、つまり絶対に二次ビームを利用するという強い意志のもとに開発・設計を行ったことにあるという。腰の座りがフランスやアメリカの競争者とは一味違ったわけだ。

原子核の多様性

さて、二段構えの高速衝突によってどんなものができるのだろうか？ どんなことが起きるのだろうか？

まずは多様な原子核の生成だ。自然界に安定的に存在する核種(原子核の種類)は約300だが、理論的には6,000から8,000種ほど存在しうるといわれている。画期的な実験手法により、多種多様な不安定原子核がつけられる。

原子核は陽子と中性子からなる。したがってその種類は陽子の数と中性子の数で決まる。陽子の数が同じで中性子の数が違う場合は元素としては同じであり、同位元素とよばれる。石原主任研究員たちのグループも、陽子13個に対して中性子が27個や28個もあるアルミニウムの同位元素や、陽子12個に対して中性子が25個や26個のマグネシウムなど多数の同位元素を発見している。

「天然の元素の核では、陽子と中性子の数はほぼ同じです。実験的につくった中性子の非常に多い核、中性子過剰核では原子核の構造も変わってくる……。」

石原主任研究員は、陽子と中性子を男女にたとえて話を進める。陽子と中性子がほぼ同数の天然の原子核は、男女がカップルになった安定な世界で、どの原子核でも密度は同じだし、原子核のどこをとっても一様だそうだ。

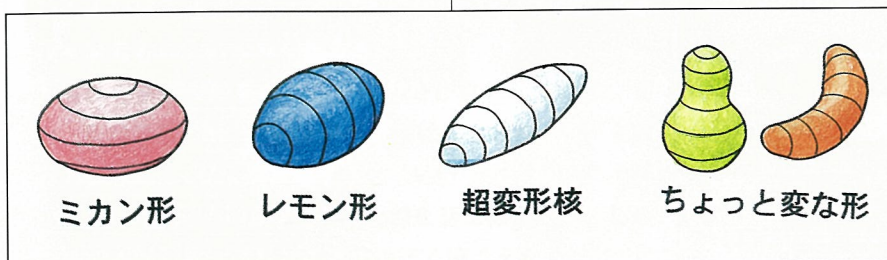


図1 原子核のいろんな変形

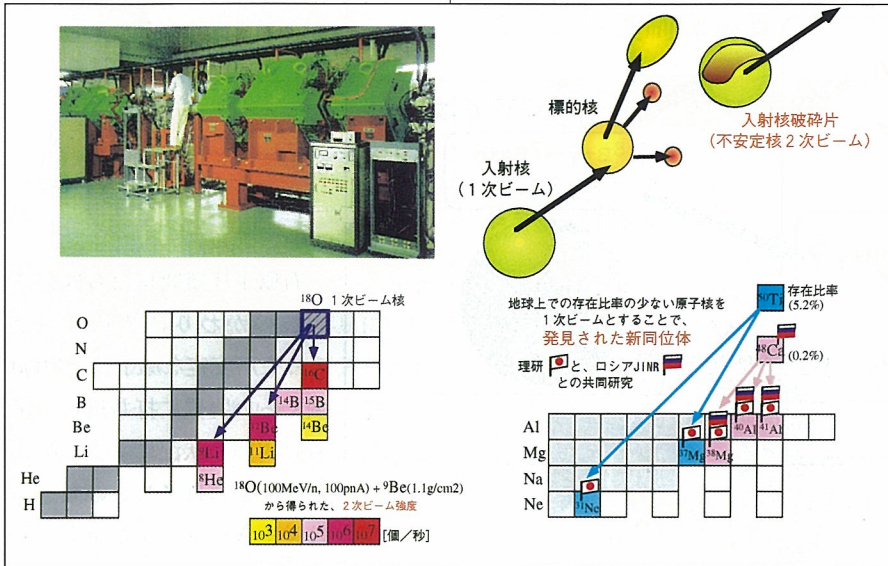


図2 入射核破砕片分離装置 (RIPS) (左上)、不安定核 2次ビームの生成法 (右上)、RIPSで得られる2次ビーム強度 (左下)、最近 RIPS で発見された新同位元素 (右下)

「一夫一婦制で、民主的で平和な世界といったところでしょうか。これが原子核の普遍的な姿だと考えられていたんですが、中性子過剰核の存在がこのイメージをあっさり覆ってしまった。いわば、女性が圧倒的に多い社会を作ったらはたしてどうなるか、という問題に似ているかもしれません。」

中性子過剰核では、中心は陽子・中性子のカップルになっているが、そのまわりを中性子でできた殻が包んでいる。さらには原子核を回る電子のように、原子核の中心部とゆるく結合してその周りを回る中性子まででてくる。この電子の雲ならぬ中性子の雲をもつ原子核は、中性子ハロー核とよばれている。(図3) ハローとは後光という意味だ。

「構造が変われば性質もかわる。これを調べるのが私たちの研究の中心課題です。」

温度、密度を変化させたら原子核のふるまいはどうか。あるいは、他の原子核や中性子などの粒子とどう反応するかなどを調べていくのだが、これらの研究は天体物理学と深く結びついている。

地球上では中性子過剰核や中性子ハロー核は天然にはない。しかし星の進化の過程では普遍的に存在し、核反応の重要な部分をしめると考えられており、星

の反応の地上での再現に期待がかけられる。

たとえば、中性子ハロー核に中性子がぶつかり吸収される反応では、ソフト巨大E1励起と呼ばれている現象のため、従来考えられていた値より5倍以上高い反応率をもつことが確かめられている。この反応は星での元素生成に重要な役割を担っており、反応率の修正は星の一生のシナリオにも影響を与える。

「このような実験研究によって、超新星爆発の仕組みや、爆発後に残される中性子星の実体の一部を明らかにできるのではないかと、夢を大きくもっています。」

太陽ニュートリノの謎を追う

天体現象では、「失われたニュートリノ問題」も追究されている。(図4)

太陽のエネルギー源は核融合だが、一連の反応過程(P-Pチェーンと呼ばれている)を経て最終的には水素4個から1個のヘリウムが生じ、エネルギーが解放される。そ

してエネルギーの一部は反応過程で生成されるニュートリノという粒子によって運び去られる。

ニュートリノは質量がほぼゼロで電荷も持っていない。物質とほとんど相互作用せず検出が非常に難しい。日本では岐阜県神岡の鉱山跡の地中深くに置かれた巨大水槽を使って測定されているが、その値は理論的な予測値の2分の1程度しかない。いったいニュートリノはどこに消えてしまったのだろうか？ これは天体物理学の大問題となっている。

「一つにはニュートリノが途中で観測にかからない粒子に変わるのではないかという解釈があります。われわれのほうは、ニュートリノを生成する核反応率を、実験的に確かめようとしているのです。」

一連の核融合反応過程において、ホウ素の原子核がベータ崩壊という現象を起こして生じるニュートリノが要となる。この時どれくらいのニュートリノができるかは、一つ前の過程による。すなわち、ベリリウム原子核が陽子を吸収してホウ素に変換する反応率がどれくらい

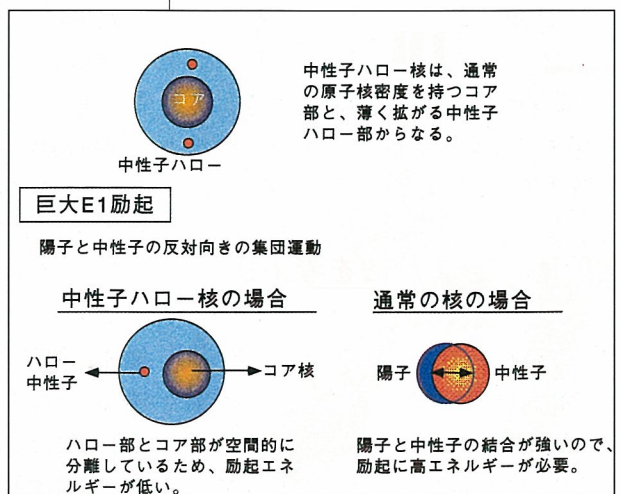


図3 中性子ハロー核と巨大E1励起

陽子のスピン構造

石原主任研究員たちは“閃き”によってスピンのそろった原子核を容易に手にいれることができた。原子核がターゲットにぶつかって破碎され新たな粒子を生じるとき、ぶつかってくる粒子と新たに生じた粒子のどちらの速度が速いかにによって、スピンの向きがまったく逆になることに気がついたのだ。あとは電磁石を使って一方だけを選べばよい。

「余りにも当たり前すぎて、みな長らく気がつかなかったのでしょう。」

スピン研究については、この他にも壮大な実験計画が開始されている。

スピンの起源を探る

原子核は陽子と中性子からなるが、これをもっとミクロなレベルで眺めれば、陽子も中性子も3個のクォークとクォークどうしをつなぐノリのような粒子、グルーオンからできている。したがって原子核のスピンは陽子と中性子のスピンに由来し、陽子や中性子のスピンはクォークのスピンに由来すると考えられている。しかし、クォークのスピンは陽子や

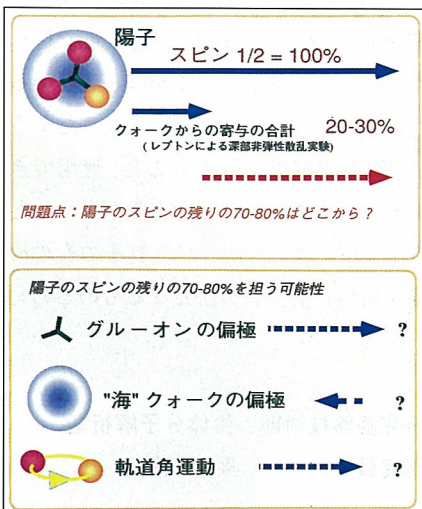


図6 陽子のスピン構造

スピン偏極制御装置



素粒子対検出装置

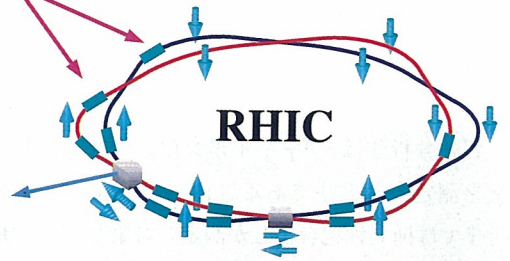
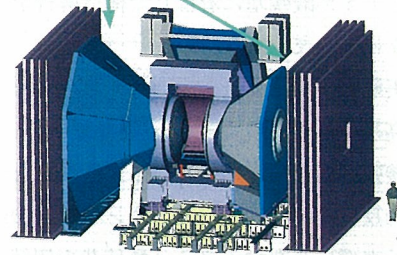


図7 RHICに設置されるスピン偏極制御装置(上)と、素粒子対検出装置(中)、建設中の加速器施設の写真(右下)、衛星写真による同施設(左下)(白矢印の丸い部分がRHIC)

中性子のスピンの3分の1程度しかカバーしていないことが明らかになっている。残りはどこから来るのか?(図6)

この解明を米国ニューヨーク州にあるブルックヘブン国立研究所と協力して行おうとしている。(図7)同研究所では周囲約3.8キロという巨大なシンクロトロン(RHIC)を建設中で、これを使って陽子と陽子を衝突させる実験を行うのだ。実験開始は1999年。

現在石原グループでは、陽子のスピンの向きを自在にそろえることのできるスピン偏極制御装置や、衝突したときに発生する素粒子対を検出する装置を開発・設計中である。

「これはとても大きな計画です。ぜひとも若い人には頑張ってもらいたい。でも個人的には小さなモノや計画に親しみを感じています」という石原主任研究員には、直径160センチの小さなサイクロトロンからはじめて、日本が豊かになる以前の時代を通じ、常に人のやらない分

野を切り開いてきたという自負がある。

「ゲリラのようにやってきたので、この流儀を僕自身は通したいですね。」

物理学の徒には美学も必要だ。

文責：総務部広報室

監修：放射線研究室 主任研究員

加速器研究施設 統括責任者

石原正泰

取材・構成：由利伸子



石原主任研究員

質量分析法を用いたタンパク質の表面構造や高次構造の解析

質量分析法は、分子をイオン化して質量を測定する方法である。1970年代前半までは揮発性化合物しか測定の対象となっていなかったため、主に低分子の構造解析に用いられていた。しかし、近年の種々のイオン化法の開発により、現在では分子量数十万のタンパク質までも測定の対象となってきている。

タンパク質の表面構造や高次構造の解析には、NMR (=核磁気共鳴) や X線結晶解析が主に用いられており、これらの手法によりタンパク質の微細な部分の構造までを決定することができる。しかし、これらの手法を生体由来の微量試料に直接適用することはほとんど不可能で、大量培養で得られる試料(マイクロモル量以上)を用いることが前提となっている。一方、質量分析法で必要とする試料量はピコ (= 10^{-12}) モルレベルで、また、単なる分子量の測定であれば10分程度で行うことができる。このような質量分析法の利点を活かし、分子表面に存在し、タンパク質の機能に大きく関与

するアミノ酸残基に着目した構造解析を我々は試みている。

実験の概略を図1に示す。タンパク質の高次構造を変化させない条件で、アミノ酸残基側鎖の官能基に対して特異的な修飾反応を行う。この時、タンパク質の分子表面に存在するアミノ酸残基の側鎖は修飾されるのに対し、分子内部に埋もれているアミノ酸側鎖は修飾を受けない。得られた修飾タンパク質を変性させた後、プロテアーゼ (=タンパク質分解酵素) による消化を行いペプチド断片とし、質量分析法により分子量を測定する。修飾反応を施していないタンパク質をコントロールとして同様の操作を行い結果を比較し、修飾されたアミノ酸を含むペプチドを決定する。これにより分子表面に存在するアミノ酸残基(を含むペプチド)を特定できる。また、構造解析を行うタンパク質が活性を保持している場合にのみ他のタンパク質や低分子化合物と結合するのであれば、結合する相手の化合物の存在下で同様の実験を行い、結果を比較することにより、タンパク質の機能に

関与するアミノ酸残基(図1青矢印)を決定することができる。

このようなストラテジー (=戦略) で、情報伝達に参与する低分子量 G タンパク質 Ras (20kDa) (Da = ダルトン) の活性型と非活性型について数百ピコモル程度の試料を1回の実験に用いて解析を行った(細胞情報伝達研究室との共同研究)。

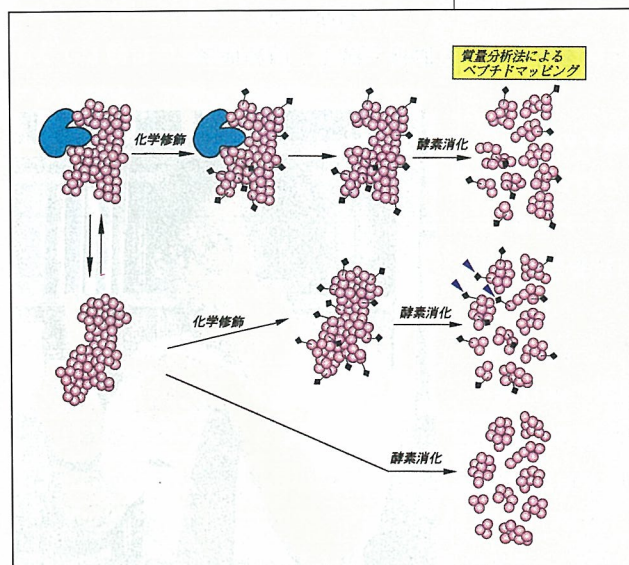


図1 化学修飾と質量分析法を組み合わせたタンパク質の構造解析法の概略

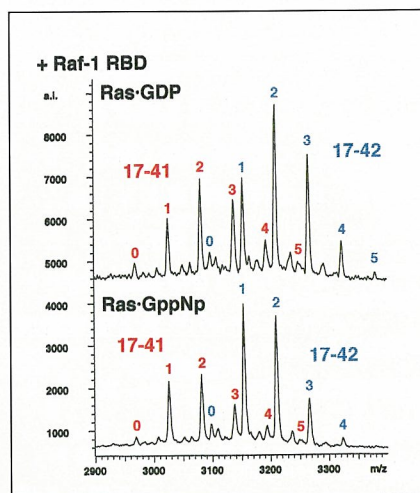


図2 非活性型 Ras (上) と活性型 Ras (下) で分子量分布に差が観測された質量スペクトル。修飾されたカルボキシル基の数 (n) の分布に差が見られる

活性型のみが結合できる Raf-1 RBD (Raf-1 Ras Binding Domain, 12kDa) の存在下においてカルボキシル基を選択的に修飾した場合、活性型 Ras と非活性型 Ras の構造の違いが示唆された。両者を修飾後、トリプシンで消化して得られたペプチド混合物の質量スペクトルを図2に示す。

この方法は、反応条件に制限があること、得られる情報は分子表面に存在する官能基についてであること、微量で行うため反応のコントロールが難しいといった問題もある。しかし先に述べたように、微量で解析が行えること、適用できるタンパク質の分子量の上限がないことから、生体由来のタンパク質そのものの構造解析に有力な方法となるものと考えられる。

研究基盤技術部 生体分子解析室
研究員 明石知子

有馬朗人理事長、 バーミンガム大学より 名誉博士号授与

有馬朗人理事長は長年にわたる原子核



バーミンガム大学

物理学における多大な貢献を評価され、7月8日に英国バーミンガム大学より名誉博士号を授与されました。米国ニューヨーク州立大学、オランダ国立フローニンゲン大学、中国科学技術大学等につづいて7度目(英国の大学からはグラスゴー大学に続き2度目)の名誉博士号となります。授与式は学生の卒業式に先立ち行われ、伝統を重んじる英国らしいセレモニーでした。バーミンガム大学は1900年に創立された文理7学部を擁する総合大学です。



有馬理事長

国際親善パーティを開催

梅雨が明け、本格的な暑さを迎える季節の訪れとともに、理研恒例の国際親善パーティが7月19日に和光本所で開催されました。

7月1日現在、理研で研究活動に従事する外国人研究者は37ヶ国231名にのぼっており、その家族を含めると400名を超える人々が日本に滞在しています。これは既に理研が1つの国際社会を形成

していることを意味しており、こうした外国人研究者とその家族との交流の機会を得るために、理研では毎年「国際親善パーティ」を開催しています。このパーティには、理研の関係者はもちろんのこと、外部からも外国人が生活する上でお世話になっている学校、病院、市役所をはじめとする多くの方々に参加しています。

有馬理事長の乾杯で始まったパーティの会場には、大人から子供まで、日本人

と外国人合わせて360人以上の参加者が集まりました。ゆかたや着物、美しい民族衣装などを楽しむとともに、熱気のもった会場では冷たいビールやアイスクリームが人気を集めていました。

日頃の研究や仕事の忙しさを忘れ、国、言葉の垣根を越えた人々が一同に集まり、楽しいひとときを過ごしました。予定の2時間は瞬く間に過ぎ、名残惜しそうに会場を去る参加者の姿に、国際親善の輪のひろがりを感じられました。



挨拶する有馬理事長





遺伝しない個体の能力



筆者近影

私がスズメバチの研究を始めた頃に、厚生省の死亡統計は毎年40名あまりの蜂刺死者を示していた。ママシの2～3名と比べてかなり多い。現在もその数はさほど減っていない。だから毒の研究も必要である。とは言っても材料の毒を集めることは危険と背中合わせの大変な仕事である。初めは「虎穴に入らずんば虎児を得ず」の例えの通り、失明やら失命の危機を乗り越えなければならなかった。その様な中、まずは孫子の謀攻「彼を知り己を知れば百戦殆からず」に倣う内に、自然の生態系の中でその頂点を極めた無敵のスズメバチが単独で生活できない不思議さをその幼虫と成虫の間に見られる食べ物の交換（栄養交換）に見出した（写真1）。

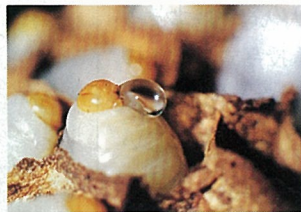


写真1 オオスズメバチ幼虫が分泌する栄養液

実はここに社会生活を営む秘密が隠されていた。社会生活を営むには言葉のようなコミュニケーション手段が必要である。よく調べてみると、それが幼虫からアミノ酸溶液

として成虫に伝えられ、スズメバチ社会全体を調節していることが分かった。つまり、アミノ酸が言葉（伝達手段）になっていたのである。私はこれをアミノ酸語と呼んでいる。スズメバチの幼虫は言葉を料理して、成虫がそれを食べていることになる。その後の研究でこの言葉は脊椎動物や人にも通じることが分かってきた。つまり、細胞の言葉（情報伝達）のような役割をして個体の機能を調節している。早速、その作用をトップアスリートに求め、飲んで頂いたところ、効き目ありの答えを頂いた。その後、明治乳業でスポーツドリンクVAAMとして開発された。（写真2）



写真2 VAAM

2）オリンピックの年であるためか、利用者が増えている。お陰でトップアスリートに交える機会にも恵まれ、最高のパフォーマンスのために身体と心の調和が必要なことを強く感じた。それは一言で才能と呼ばれているが、たゆまぬ身体の鍛錬と研ぎ澄まされた脳の働きである。この様なところにVAAMは作用するようだ。彼らのひたむきな挑戦には我々研究者以上のものを感じる。

有馬理事長が研究の基本は体力だと言われている。また、私が学生の頃、江橋先生が研究は体力8割、頭が2割と力説されていた。御自身すさまじい行動力で研究に没頭されていた。天下の秀才達のこの様な話は体力ぐらいしか自慢できない私にはむしろ皮肉っぽく聞こえた。だが、どうもこれは本当らしい。ヒトと言う個体の属性として究極で発揮される無我夢中、集中力、あるいは無心等と言われ

る身体と心が融合調和した状態への到達はスポーツも研究も変わり

がないのではないのか。それは時間にすればおそらく数秒から数分と思われるが、これを求めて人は生きている。金メダルもノーベル賞もすばらしい芸術作品もこの産物だ。我々は遺伝しないそれらを確実な進歩と認識している。個体の能力は大きさや形そして色を支配している遺伝とは無関係のように見える。個体はあたかも遺伝的制約を超越して何か、世界平和や愛や夢や希望を求めて進んでいる。その属性は誰もが気になる人間の行く末を示しているのかも知れない。このような個体の研究には魅せられる。

ところで、食は命の始まりであり、文明の源でもある。豊かな食文化と高い文明は共存している。この様なことから如何に喰らうかは我々の最大の関心事である。現代の生物学もここから出発している。しかし、ここに一度問題が生じると、事は重大である。最近のプリオンの騒ぎは正にこれだ。我々に肉（タンパク質）は安全な食べ物なのかを問いかけている。消化吸収やタンパク質の更に高度な知識が求められている。恐らく、進化の過程でタンパク質と細胞の間にプリオンのような問題が介在した結果、今日の生き物とその消化器官が出来たと推定される。一方、節足動物の進化の頂点にいるスズメバチはアミノ酸を摂取することでこのような問題を回避している。これはまた、我々の未来の食べ物のあり方について一つの示唆を与えているように思う。

以前、「原酒」には研究を醸せるようなエスプリをと言われて執筆したことがあるが、そんな事は研究にとってあまり重要ではない。科学の導入という近代以降の日本文化は西洋文化の真似の歴史である。その結果、我々が現在抱える多くの社会問題は「仏作って魂入れず」の例えにありそうだ。ではあるが、こと理研に関しては所属する研究室の名前に拘ることなく研究三昧で居られる伝統と共に研究本来を目指す改善も見られる。研究を支える基盤が税金であることに立ち返り、研究に支障のない限り、無駄はしない、公的サービス（ボランティアなど）は積極的に、を理研で研究を始めた時から心がけて実践している。研究は皆様の援助とその成果を還元する輪の中に成り立つものと考えているからだ。

植物機能研究室
前任研究員 阿部岳

理研ニュース No.182 August 1996

発行日：平成8年8月15日

編集発行：理化学研究所総務部広報室

〒351-01 埼玉県和光市広沢2番1号

電話 (048) 467-9272 (ダイヤルイン)

制作協力：株式会社 スリーアイ パブリケーション