



# 自然科学のことなら お任せ下さい

## ～ 理化学研究所(和光本所・和光研究所)～

### 1 はじめに

「理化学研究所」ってどんなところなのか？実際に何をしているところなのか？そんな素朴な疑問とちょっとした不安を胸に、今回の取材班は、理化学研究所(和光本所・和光研究所)へと向かった。そこでは、われわれの想像をはるかに超える研究が行われていたのである。

### 2 理化学研究所って？

1917(大正6)年の創設以来、80年以上の歴史を持つ日本で唯一の自然科学に関する総合研究所として、物理学、工学、化学、生物学、医科学などの分野で基礎から応用まで幅広く研究を行い、研究成果を広く社会に普及させる活動を行っている。それが「理化学研究所(以下、理研)」である。

理化学研究所は大きく分けて五つの研究所から構成されている。和光本所・和光研究所、筑波研究所、播磨研究所、横浜研究所、神戸研究所である。筑波研究所には「バイオリソースセンター」があり、バクテリアやかびの研究を行っている。播磨研究所では、大型の電子シンクロトロンを使ってX線解析などの研究を行っている。また、横浜研究所の「ゲノム科学総合研究センター」では、これまでのゲノムの研究から、最近ではポストゲノムの研究へと移行している。同研究所には、「遺伝子多型研究センター」や、「免疫・アレルギー科学総合研究センター」などがある。最後の神戸研究所では人間のES細胞を使って、心筋や肝臓の研究を行っている。

今回われわれが訪問させていただいた、和光本所・和光研究所は約50研究室から構成されていて、原子核から脳科学までさまざまな研究所があるという。このように総合的に研究できるメリットを有効利用すべく、理化学研究所では分野を越えて研究を進めていこうとしているのだ。研究室の壁を低くし、相互に情報交換しあって、より高い成果を上げようとする。これは理化学研究所の大きな特徴と言ってよいだろう。

また、この特徴を活かし、フロンティア研究システム、中央研究所の研究者が集い、今後のナノサイエンスの方向性を決め、従事する「ナノサイエンス研究プログラム」があるという。このように、理化学研究所は常に先を見据えた「先端的研究」を進めているのだ。

### 3 さあ！見学へ！

それでは皆さんを、理化学研究所へのご案内いたします。今回の見学先である、「リングサイクロトロン」、「脳科学総合研究センター」、「情報基盤センター」、「生体分子学シミュレーション」の順にご案内しますので、迷子にならないように、しっかりついてきてください。

見学1. 加速器研究施設

「リングサイクロトロン」

まず、われわれは白衣と靴用ビニールカバーを着用し、加速器研究施設のリングサイクロトロン(Ring Cyclotron、以下:RC)を見学した(図1)。ここは、放射線管理区域のため、入場者は服と靴を着替え、入退室も個人名バーコード入

りフィルムバッジで管理されている。加速器研究施設の大部分は地下11mにあり、2~4mのコンクリートで囲まれている。これは、放射線を絶対に施設外に出さないように、遮へいしているのだ。RC本体はさらにコンクリートで囲まれており、本体室に人が入るとき再度記録される。人が入室したとの記録が残っていると、本体は起動ボタンを押しても稼働しないという、フェールセーフティーが掛けられているという。

5号機となる現在のRCは重イオンが発生でき、リチウムからビスマスまでの全元素を加速することができる。1号機が作られた1937年から今日まで、日本はサイクロトロンの研究を継続している。加速器技術はすべて国産だそうだ。

RCは四つの磁石、二つの高周波電場(交流)を発生する空洞共振器、イオンを加速する真空箱から構成されている。つまり、磁場、電場、真空、イオンとできています。理研では、アルゴンより軽いイオンについてはAVFサイクロトロンとRC、それより重いイオンについては線形加速器(リニアック)とRCを併用する二段階加速を行っている。

イオンは原子から電子をはぎ取り、プラスに帯電させることにより作られ



図1 RCを熱く語る鹿取先生

る。イオンは電荷があるため、電場で加速できる。電子を完全にはがした原子核を作れば、サイクロトロンを1台分節約できる。

イオンはまずリニアックで加速される。リニアックでは、真空箱の中に円筒形の電極を何台も置き、各間に高周波電場をかけている。電極間に電場が生じ、イオンが入出端にくるタイミングに合わせて、負正交互に電場を変化させ、イオンの進行方向と電場の方向を揃えることにより、イオンを加算的に加速している。

リニアックで加速されたイオンはRCの中心に入射され、磁場の中で円を描いて加速される。理研のRCは中心に真空箱があり、その周りに四つのC型磁石を配置し、上下方向は対称に作られている。

加速されたイオンは、遠心力を受けローレンス力と釣り合っているが、電場で加速される毎により距離の長い外周軌道に移動する。しかし加速されているので、同じ時間でイオンは電極に到達する（遠周りした距離/加速した速度=時間=CONSTANT：等時性の原理）。円すい振り子と同じ原理で、電極端に到達するイオンは異なった軌道でも一直線に並んでいる。つまり、イオンを加速する過程は1周波数でできるのである。

しかし、光の速度に近づくに従い加速粒子の質量が増える相対論的效果が現れ、電極に到達する時刻がずれてくる。和光のRCは光速の40%程度に達しているため、外側の磁場を強めて粒子の軌道を強く曲げるにより、等時性を保っている。

磁石は常温では1.5テスラで飽和が起こってしまうため、磁場の大きさに限界が生じ、一定以上の粒子加速は不可能になる。そこで超伝導材質を使って磁場を発生させる研究が行われている。コイルを形成する材質に抵抗がなくなり、電流によるロスがなくなるため、超伝導磁石は常温磁石より強い磁場が発生できる。より高エネルギーを持つイオンを加速することができるのである。現在建設中の理研超伝導RCは世界初であるため、すべてを自主開

発しなくてはならない。

RCの研究施設には使用分野別に七つの実験室があり、24時間体制で、実験のスケジュールが細かく組まれている。研究によっておのおの粒子加速条件がちがうので、日替わりで粒子の種類、粒子のエネルギー、イオン強度を使用者に合わせて変えている。

近い将来、超伝導RCを使って元素の起源や元素生成のメカニズムの解明が期待されている。現在、元素は原子番号112番および114番まで見い出されているが、理研は113番をねらっているそうである。見つければ、名前を付ける特権が与えられるので、周期表に初めて日本の名前の付いた元素を加えることができることになるのだ。

また、RCは花の変種を、突然変異を起こすことによって作ることができる。加速された重イオンビームの中で将来花になる部分に、授精時から測って決まった時間に、集中して適切な量のビームを当てると、変種が作れることを見い出した。ビームで種の中の遺伝子に傷をつけると、廻りの環境にもよるがそれを修復し、元に戻ることもあるが、新しい遺伝子に入れ替わるものがある。種のどの部分に「いつ」「どれだけ」のビームを当てるかで形や色のみが変えられる、ということが分かってきている。次の代で戻ることもあるが、一度新種ができると、その遺伝子を持った種が定着するという。その厳しい条件を何千何万の可能性の中から見つけ出さなくてはならないのである（Serendipity）。

パーペナの在来種は花びら数の少ない花であるが、RCによる照射により、花びら数の多い花を一年中咲き続けさせることに成功し、既にサントリーと共同で開発し商品化されている（商品名花<sup>てまり</sup>手鞠）。また、青いバラの花は現在地上に存在していないが、青という色を抑制している（抑制）因子を放射線照射法で取り除くことができれば、人類の夢である青いバラの花を手にするができる、と考えられ

ている。

最後にRC施設を案内していただいた鹿取先生と小山先生から機械系学生に向けてのメッセージをいただいた。

「新しい道具（装置）を作らない限り、新しい研究は生まれない。他人の作ったものを買ったら、そこまでの研究しかできない。それ以上のことをやろうと思ったら、自分で道具（装置）を作らなくてはならない。新しい道具の分だけ新しいことができるからである。だから、“今まで誰も作ったことのない新しい道具（装置）を作りましょう。また、自分たちの研究のために作った装置でも、一度できたものはすべての分野の人々に使わせてあげましょう”。基礎から応用まで一貫して見直し、種々な分野の壁を取り払った環境が、新しい研究を進展させるためには、重要です」。(鹿取先生)

「若々しい好奇心に輝くメカライフ学生編集委員を理研にお迎えして楽しくリングサイクロトロン、脳科学センターなどに案内することができました。質疑応答は大変知的で活発なものだったと思います。「科学・技術の全体像をしっかりと見据えることにより、専門分野にも通じる重要なキーワードを多く発見できるのでは」という皆さんの共通の認識に強く共鳴するとともに、この認識を生かし豊かな成果をあげられますよう期待いたしましてメッセージとしたいと思います」。(小山先生)

見学2. 見えないものが見える!?

「脳科学総合研究センター」

21世紀の科学は脳である。この言葉が意味するように、脳は人間が人間らしく生きるための根幹をなす器官で、自然科学に残された最大のフロン



図2 松本さんの説明に聞き入る取材班

ティアである。理化学研究所の和光研究所にある脳科学総合研究センターでは、「脳を知る」、「脳を守る」、「脳を創る」、「脳を育む」の四つの領域の研究を推進していると説明する同センター推進部広報の松本さん。(図2)

松本さんに案内され、われわれ取材班は脳科学総合研究センター臼井研究室の見学を行った。臼井研究室では「ニューロインフォマティクス」というキーワードのもと、インターネット上で脳の研究に関する情報のデータベースを世界中の研究者と協力して作ってこうという試みをしているという。ではなぜデータベースを作るのだろうか？それは、研究者は日夜研究し論文を書いているわけで、毎日おびただしい数の論文が雑誌に公表される。従って、何か一つのことについて研究するという事は、それに関するものすごい数の論文を読まなければならない。つまり過去の人をどこまで、どうやって研究したかを改めて見直し、ある程度自分の研究が進んだとしても、さて論文を書こうとする場合、自分の明らかにしたことをきちんと位置づけなければいけないのである。また、研究においては一つのことを知ろうとしても、それを取り巻くさまざまな分野の勉強をしなければいけないのである。そこで臼井研究室では脳科学に関する情報のデータベース構築を試みているのだ。

「脳はシステムとして機能している。」と臼井先生はいう。感覚情報として外部世界の情報を取り込み、その情報を分析・処理し、筋肉を使い行動として出力している。脳がシステムとして機能を果たすべくすべてが脳とつながっている。ここに脳科学情報のデータベース構築の意義と難しさが存在しているのだろう。

例えば、一つの薬を開発するには莫大な費用がかかる。それは動物を使ったさまざまな実験や最終的には治験と呼ばれる実際に人に投与して副作用などがあるかどうかをテストする必要があるからだ。ここで、そうした作用をテストできる数理モデルがあれば、コンピュータ上のシミュレーションに置

き換えることも可能であり、開発費用を削減できる。だから、現在分かっていることだけでも数理モデルで記述することはたいせつなことなのである。たとえば、視細胞など数種類の神経細胞が層構造を成している網膜はその厚みが0.2mm程度であり、視覚情報は視神経を介して脳へ伝えられる。これまで解明されたこうした網膜神経細胞の生理機構を統合して数理モデルとして記述してやると、こういった一連の研究ができるというわけだ。

細胞レベルの研究、網膜レベル、視覚に関する脳の機能などの研究成果を基にした数理モデルを応用し、最近では携帯電話のデジカメなどにも応用されているという。こういった研究のさまざまなデータベースがすでに海外にも存在している。そういった海外の研究者と一緒に、研究を進めようというのがニューロインフォマテックスなのだ。つまり「IT時代の脳科学研究を支援する環境」というわけだ。

実際の脳研究に関する情報のデータベースには、文献、実験データ、モデルのプログラム、論文などが載っている。インターネット上で検索が可能で、実験データとか数理モデルのプログラムをダウンロードして、みんなのPCで実行できるようにする。現在は、視覚系だけだが、運動系や聴覚系など他の分野にも広め、これを国際的に展開していこうというのがねらいである。

研究というのは、基本的なやり方自体はそんなに変わらないと研究員の方は説明してくれた。まずは視覚に関してデータ管理の手法を確立し、その後、運動系、聴覚系など他の分野へも応用していけるだろうという。

視覚は脳が行っているという話は先ほど述べたが、自分が見えていると思っていても、見えていないものも多く存在し、「普段私たちは、存在していないものも見ている」と臼井先生はいう。その例として、錯視をあげた。つまり、「見えるというのは自分の意識に合致したものしか見えていない。」というのである。自分の意識の

とおり、見たいように見てしまう。そのくらいいい加減なものなのである。

そこで、なぜ錯覚が起こるのか？というキーワードに迫ってみた。網膜というのは二次元のフィルムと考えられる。視覚は網膜に投影された2枚の写真からすべてが処理され知覚や認知がなされている。では、例えばなぜそこから奥行きが分かるのであろうか？二次元の世界の情報に仮説を導入して現実の三次元の世界を再構成しているのである。つまり、変数の数に対して式が足りないために、思込みという仮説を入れるというのだ。こうした人間が勝手に仮定した思込みこそが、錯覚を起こさせる。思い込むから錯覚を起こすのだ。取材班一同この説明には納得の瞬間だった。

最終目標は何なのか？実際に、目を作るということは一つの応用であって、それにはまず見える仕組みを十分に理解することが必要であり、その理解を助ける環境として、「ニューロインフォマティクス」というデータベースを作っているという。

「私たちがやろうとしている、脳が脳を理解しようという試みは恐らく永久に終わらないであろう。しかし、ガウディーのサグラダファミリアのように、われわれ人間が力をあわせていつかは理解できると信じて研究することが科学の進む道なのだ。」とロマンを込めた思いを語ってくれた。最後に臼井先生から機械系学生に向けてのメッセージをいただいた。

「本来学問に境界はありません。今の皆さんは、専門分野にとらわれず、自分なりの興味と好奇心をもって幅広く勉強し、見識を広めることです。楽しく勉強して確固たる自分を築いてく



図3 臼井Labの皆さん(前段)と取材班

ださい。そうすれば未来は自ずと見え  
てきます。21世紀は皆さんの時代で  
す。期待しています。」(図3)。

見学3. 4Dシアタで変化球を体験!!

「情報基盤センター」

スライスして見る?

「生体力学シミュレーション」

姫野龍太郎先生に案内していただき  
最後に見学したのは、「4Dシアタ」と  
「三次元内部構造顕微鏡」の二つの装  
置である。

まず、3-Dスクリーンの置いてある  
部屋に入った。室内は40席ほどある  
ミニシアターようになっており、そ  
こで取材班は立体視用のめがねを装着  
した。まるで、どこかのテーマパーク  
のアトラクションに来たかのような感  
覚で、わくわくする。

はじめに、目の前にあるスクリーン  
から、自動車のボデー回りの空気の流  
れとか、縫い目のあるボールが作り出  
す空気の流れが浮かび上がってきた。  
コンピュータで計算されたデータをも  
とに立体視できるような画像を構築  
し、スクリーンに映し出すことによっ  
て、このような立体像を作っている。  
特に、渦流れなど複雑な現象を見ると  
きに、このように立体的に見られると  
感覚的に理解しやすいな、と実感した。

次に、野球のバッターボックスの視  
点から、変化球の軌道を三次元的に見  
せていただいた。ストレート、カーブ、  
ジャイロボール…といった変化球が、  
次々とこっちに向かって飛んでくる。  
このシステムでは、空間軸に三次元、  
時間軸に一次元で計四次元の情報から  
現象を理解できるので、空間的なボー  
ル軌道の違いだけでなく、球速の違い  
なども体感できて臨場感があった。ま  
た、位置センサの埋め込んだバットも  
作成したそうで、変化球にあわせてそ  
のバットを振ると、その球を打てるか  
どうかを判定できるそうだ。

4Dシアタでの最後に、人間の脳内  
の血管を立体化したものを見せていた  
だいた。データ量が相当大きいとのこ  
とだったが、それだけあって、かなり  
細かい血管まではっきりと見ることが  
できた。

このような「生体組織などを立体視

するシステム」が医療現場に  
おいて利用されることによっ  
て、治療・診断を行う場面で  
医者理解を助け、その結果、  
作業の安全性も高められる、  
といった日が来るのもそれほど  
遠くないのかもしれない。

次に、「三次元内部構造顕微  
鏡」を見せていただいた。こ  
の装置は、生体組織や臓器な  
どを薄くスライスしながらそ

の断面を撮影していき、その断面のデ  
ータを積み上げることによって立体的  
な像を構築するといったものである。

現在の医療現場において、画像診断  
の際にはCT、MRIなどが用いられて  
いる。しかし、たとえば「眼球」のよ  
うに幾層もの薄い膜から構成されるも  
のは、CTなどによる細部の可視化は  
難しいようで、そういったサンプルの  
構造を見るときに、この三次元内部構  
造顕微鏡は本領を發揮する。

まず、撮影したいサンプルをきれい  
にスライスするために、冷凍しておく。  
超合金製の刃が一定の周期でサンプル  
をスライスしていき、そのタイミング  
とうまく同期させて、出てきた断面を  
上からカメラで撮影する。サンプルの  
位置はZ(高さ)軸の微動ステージに  
よって、下から上に一定のピッチで押  
し上げられるといった仕組みだ。

こうして得られた一枚一枚の画像デ  
ータを積み重ねることによって、三次  
元の立体像が完成する。CTスキャン  
では、断面方向の分解能は高く、送り  
方向には粗いものが一般的だが、この  
三次元内部構造顕微鏡では、3方向す  
べて、同オーダー(サブミクロン程度)  
の分解能を持っている。たとえば、  
8mm角のサンプルの断片を撮ってい  
く際に、断面方向の画像の最小分解能  
は0.2  $\mu\text{m}$ で、高さ方向の刻みは  
0.5  $\mu\text{m}$ でスライスしていくことが  
できるそうだ。なので、三次元画像のど  
の方向から断面をみても、同じような  
鮮明さを持つ平面図を見ることができ  
るのがひとつのメリットでもあるとの  
ことだった。また、蛍光色素を注入し  
た生体をスライスすることによって、  
遺伝子の働きについて調べるといった



図4 小山先生と鹿取先生(前段中央)と取材班

ことも行うことが可能だそうだ。この  
装置を使って撮影したものとして、眼  
球のほか、カエルやカブトムシの立  
体像を見せていただいたが、内部の構  
造がフルカラーで鮮明に浮かび上がっ  
てきて、迫力があつた。

生体のような、「やわらかいもの」  
や、「膜・殻を持ったもの」の内部構  
造を調べることの難しさを知ることが  
できた。と同時に、医療分野において、  
より正確な診断・治療を実現するた  
めに、生体の内部構造を正確に把握し  
ておくことが重要であるということ  
を再認識した。

## 4 おわりに

今回われわれが見学取材させていただ  
いたのは、理化学研究所の一部であ  
り、まだまだ未知の世界が存在してい  
るはずである。一回の訪問記では伝え  
きれないものが理化学研究所には存在  
する。われわれは理化学研究所に圧倒  
されつつも、またいつか理化学研究所  
の見学取材を行うことを誓い、今回の  
取材に幕を閉じた。

最後に

広報室の小山昭雄先生、鹿取謙二先  
生、脳科学総合研究センターの松本宏  
先生、臼井支朗先生、情報基盤セン  
ターの姫野龍太郎先生、お忙しいところ  
見学取材にご協力いただき、誠に有難  
うございました。この場をお借りして、  
お礼を申し上げます。

(文責 メカライフ学生編集委員)

八木俊太、松原悠子、金子幸生、  
佐藤和生)