

理研ニュース

No. 186 December 1996

理化学研究所

2 ● 研究最前線

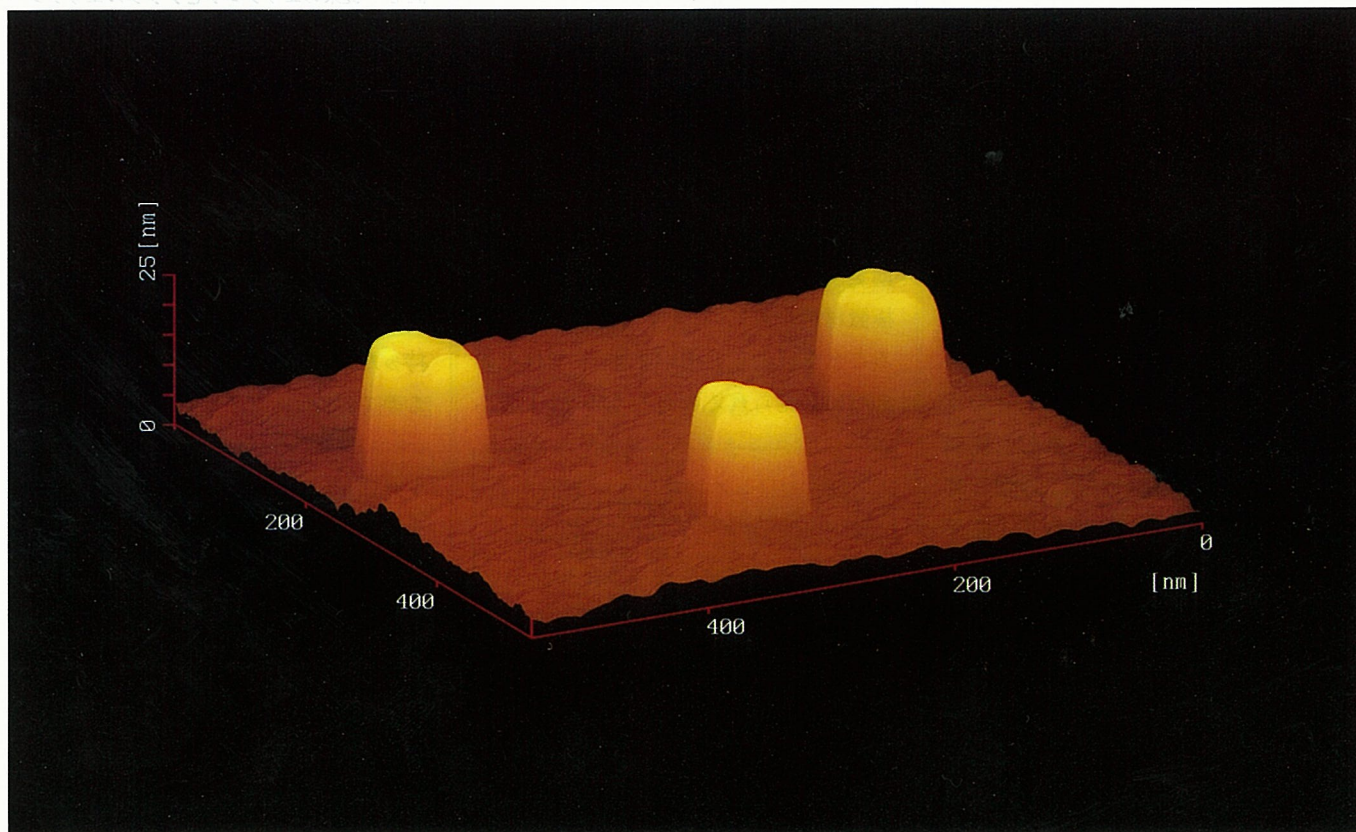
- ・サイエンジニアリング研究者は、『原子層を巧みに操る棟梁』でもある科学者だった！

6 ● TOPICS

- ・第18回科学講演会を和光市で開催
- ・第4回名古屋市・理化学研究所ジョイント講演会を開催
- ・コンピュータ・ビジュアライゼーション・コンテスト
最優秀賞「AVS」大賞を受賞
- ・ディスプレイ産業大賞、ディスプレイデザイン優秀賞を受賞
科学技術館“FOREST”「遊び・創造・発見の森」コーナー
- ・岩手県の高校教諭（化学担当）
理研で体験学習の研修

8 ● 原酒

- ・山で死にかけた話



GaNの量子ドットのAFM像図（記事は2ページから）

サイエエンジニアリング研究者は、『原子層を巧みに操る棟梁』でもある科学者だった！

微小領域の物質の構造や性質を解明したり、それを応用する研究は最近目ざましい進歩をとげ、今や「極微」の世界に迫りつつある。とくに「極微」と呼ばれる世界では、ものさしの単位がナノメートル（ナノ： 10^{-9} ）で、これは、物質の結晶を構成している一つ一つの原子を相手にしているということになる。その研究成果として、「例えば原子の層を一つづつ積み重ねたり、剥がしたり、あるいは層の横面に違う原子の列をつける……といったことができるようになってきた」と語るのは、半導体工学研究室の青柳克信主任研究員。当研究所は4年ほど前から、極微構造の制御とその物理、化学の研究を行うには、科学（サイエンス）と工学（エンジニアリング）はもはや分離できず、一体としてやらなければならないという意味で「原子スケールサイエエンジニアリング」という新しい概念を作ったが、文末に述べられているように青柳主任研究員もその概念の提唱者の一人であり、物質の極微構造研究で世界的に活躍している。でも、ここではあえて「原子層の棟梁」と命名して、興味深いサイエエンジニアリングの世界を覗いてみよう。

“極微”の世界はエキサイティング

ラッシュアワー時の駅の改札口では、人々は大きな群れになって動いている。しかし目的地の職場に近づくにつれて群れは小さくなり、やがてエレベーターにのり、オフィスの席についたところで一

個人の間になる。「元気な山田課長」や「やさしい鈴木さん」としての表情を発揮する。「物質の世界でも、同様のことが起きている。普段、我々が接するのは大きなマスあるいはバルク（かさばった、の意味）状態です。しかし、もっと小さな世界に入り、電子が動き回る範囲の0.1ミクロン以下、さらに電子固有の波長（ド・ブロイ波長）のナノレベルになってくると、今までとは違った性質や構造が材料に見えてくる。これが『極微』の世界です」とは、半導体工学研究室の青柳克信主任研究員。「今までと違う」とは、どういうことだろうか？

「例えば、極微構造半導体に光エネルギーを与えると、バルクでは光らない材料が光を発するようになる、あるいは半導体的性質から反強誘電体に転移するなど様々な期待があります。だから私たちの研究は、まずこの極微構造そのものを創製する技術を開発し、さらに創製した極微材料の電気的、光学的性質を解明することを目的としています。」ではその応用は考えられるのだろうか？「十分小

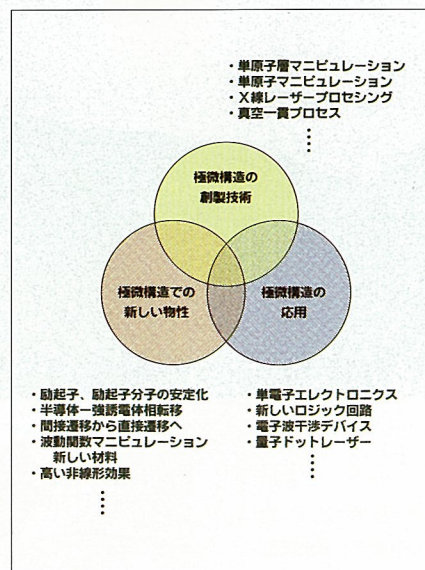


図1 半導体工学研究室の研究概念図

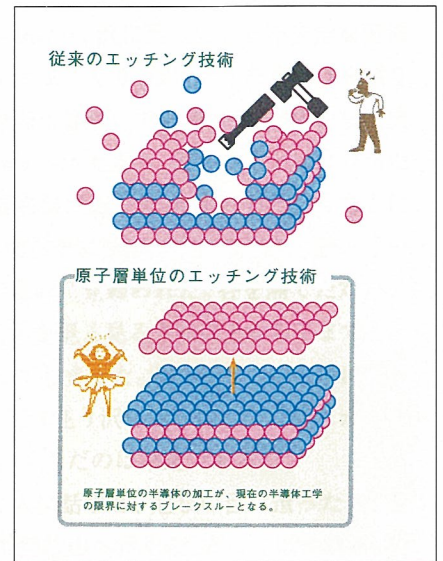


図2 従来のエッチングとデジタルエッチング

さな極微構造を制御して作れるようになれば電子1個づつをやり取りして、機能を発現する単電エレクトロニクスが生まれ、これを新しい電子回路にする。あるいは電子レベルでの干渉波を起こす素子も可能になる」「こういう応用ばかりでなく、やがては自分たちが望む性質を持った微細構造そのものを作り出すことも夢ではない。原子レベルでの操作技術（マニピュレーション）の可能性を追求すれば、新しい機能性材料が開発できますね」青柳主任研究員の研究分野と主なテーマを書き出したのが図1であるが、上の説明にあるそれぞれのテーマは不可分に結びつき、平行して研究されている。

“デジタルエッチング”って何？

微細構造を自在に扱う「原子層の棟梁」ぶりを、いかに発揮する研究成果として「デジタルエッチング」がある。これは半導体工学研究室が提唱した

「アトミック・レイヤー（原子層）・マニピュレーション／ALM」と称される技術の一例だ。

半導体の回路製作などに用いられる通常のエッチング技術は、金属に描かれた回路の形状を酸などで腐食することによって行う。しかし、その精度はせいぜいサブミクロンどまりで、極微の世界からみれば荒っぽいものである。ALM技術では、結晶構造の層を部分的にはがしたり堆積させることによって、望みの回路を構成することができる。前者の従来方式が、結晶表面の連続的変化で形成される「アナログ」であるのに対して、後者は原子層や原子線を単位としてそれがいくつあるかないかの不連続な絶対値＝「デジタル」で形成される。これが「デジタルエッチング」と名づけられるゆえんである（図2）。

「原子を1個単位で操作する技術も研究されていますが、実用性を考えると層や列（線）で扱える方が効率がいい。これがALMの考え方です。では、どうやって層単位で扱えるようにするか、が問題

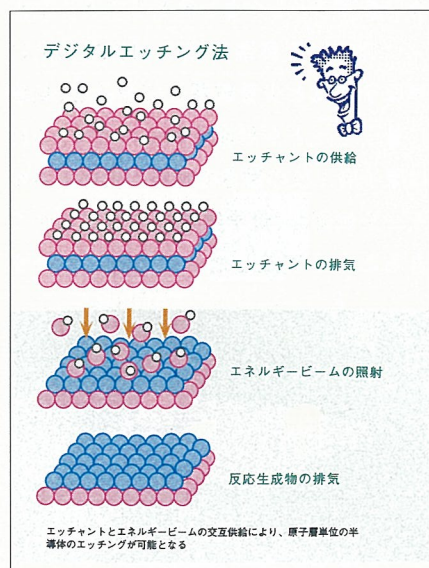


図3 デジタルエッチングのプロセス図

です。理研のサイエンジニアリング研究グループには原子スケールのメカニズム研究室やマテリアルの研究室もあります。また私自身も主任をしていたことがあるレーザーの研究室も密接な協力関係にあります。これらで分業し、また成果を結集することで、この手法が可能になってきたのです。例えば、層を引き剥がすために、エッチャントと呼ぶ反応ガスを表面に供給する必要があります。そして次に一定のエネルギー・ビームを照射することで、エッチャントと表面の原子層が反応して離れていく。こういうことも、原子表面層のふるまいを調べたり、あるいはレーザー制御の技術を研究してきたから応用できたのです」（図3）

言い換えれば、理研の研究協力グループという体制はその成果をそれぞれの分野に還元しているのである。

原子の線を描く“短パルス超音速ビームエピタキシー”

細い原子線（量子細線）の作り方もエッチング同様に巧妙なものだ。

「これは、まず傾斜させて結晶成長させた基板を作ります。表面の層は、結晶の成長が1原子層で自動的に停止する自己停止機能が働いてこれ以上同じ原子がつかなくなっている。しかしその側面に別の原子を置くことはできる。こうして望む幅の原子線を作ります。何本も原子細線を並べることで寸法や密度を制御できるのです」（図4）

実はこのプロセッシングで、カギをにぎっているのが

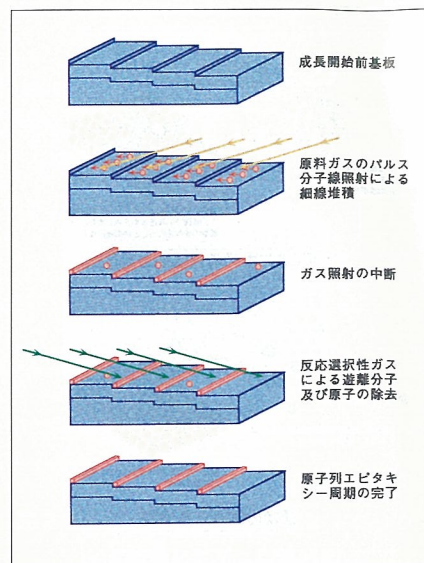


図4 短パルス超音速ビームエピタキシーによる量子細線の製作概念図

「短パルス超音速ビームによるエピタキシー（Short pulse Super Sonic Beam Epitaxy）成長法（略してSSBE）」である。（写真1）結晶成長を止めた原子の側面（階段状に並ぶ）に、別の原子をくっつけるプロセスにおいて、原料となるガスはただではつかない。そこで、短パルスの超音速ビームで打ち込むのである。（図5）

プロセスの裏側にはさまざまな創意工夫や発見の応用がたくさんある。うっかりするとそのことを見逃してしまうが、注意深い人なら次のような疑問を持つだろう。

例えば、斜めの基板上にどうしてきれいに階段を作れるのか？（写真2）超音速ビームノズルの仕組みはどうなっているのか？原子の瞬間的なふるまいが、ど

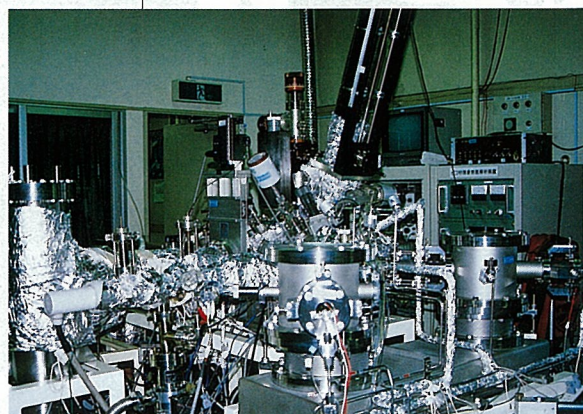


写真1 短パルス超音速ビームエピタキシー装置

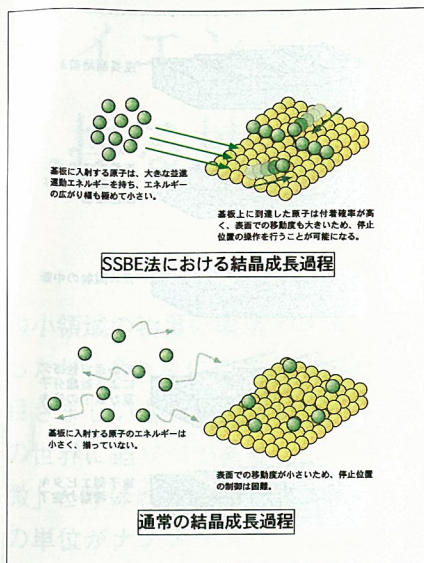


図5 短パルス超音速ビームエピタキシーの概念図

うして制御できるのか? 等等。おもしろいことの裏には、謎があり、ワザがある。

これはウデのいい職人が、さらりとやっけてのける仕事に似ている。材料の性質を良く知り、加工に最適の手順を考え、場合によっては新しい道具さえ開発してやり遂げるのだ。手慣れた仕事を再



青柳主任研究員

現する熟練のワザだけでなく、新しい現象を自分のワザの一部にしてしまう能力とか、知識を自在に組合せる発想力がな

いとおもしろいことはできない。「道具」に関して、少し余談がある。青柳主任研究員は、レーザー科学研究グループ時代に小型X線レーザーや可変波長深紫外レーザーなども開発した。前者は、従来だと建物1棟分も必要だったX線レーザーを、「理研方式」の新しい方法を開発し1000分の1の大きさ、つまりテーブルにのる大きさにまで小型化したもので、これを応用した小型X線顕微鏡も実現されている。また、後者は「全固体方式」を採用したもので、深紫外線領域でしかも波長を変えられる。これは前出の「デジタルエッチング」のメ

カニズムを解明するのに大変役立ったという。

大きさも自在の“量子ドット”製造法

さらに最近の成果も紹介してもらおう。その前にこの新聞記事を写しておく。

「理化学研究所の研究グループは、量子箱と呼ばれる半導体の極微細構造を作る新しい方法を開発した。量子箱は半導体レーザーの発展に必要な構造で、新製法は大きさや密度を自在に制御できるのが特徴。(以下略)」(日経産業新聞、96年9月4

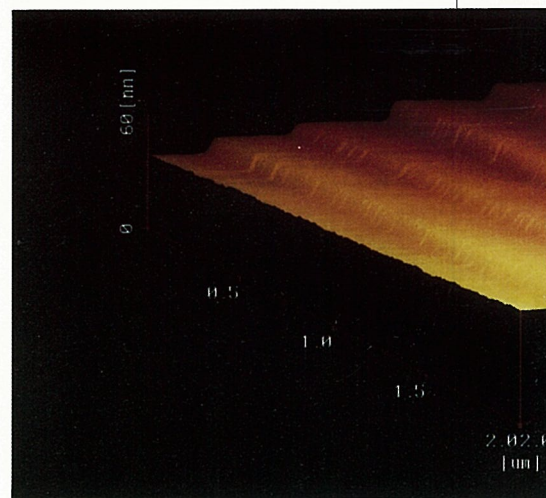


写真2 結晶のステップ

日付け)

記事にある研究グループとは、青柳主任研究員、田中悟基礎科学特別研究員らのことである。またここで発表されたのは、窒化ガリウム (Ga₂N) の量子箱構造である。

量子のドットを自在に作り、その密度も制御できるようにするためのウルトラワザとはどんなものなのか? いきなりドラマのさわりを聞くように尋ねてみた。

「板に水を垂らすとじわっと広がって浸み込むけど、そこに油などの膜があるとどうなる? 弾かれて、表面張力で玉になろうとするでしょ。それと同じように窒化ガリウムの下がレーザー構造に必要なアルミニウム・ガリウム・窒素 (AlGa₂N) だと通常は量子ドットはできないのです。しかし、テトラエチルシラン (TESi) を鼻薬の様に AlGa₂N の上に単原子層ほど少量被覆してやると、見事に量子ドットが形成されるのです。これは原子層1枚の働きで材料の表面エネルギーを制御し、量子構造にすることができることを実証したものと思っています

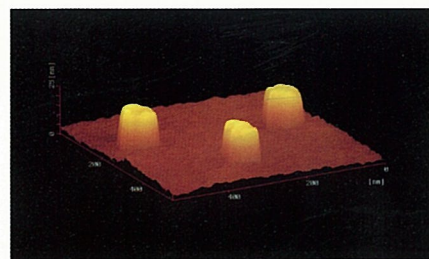
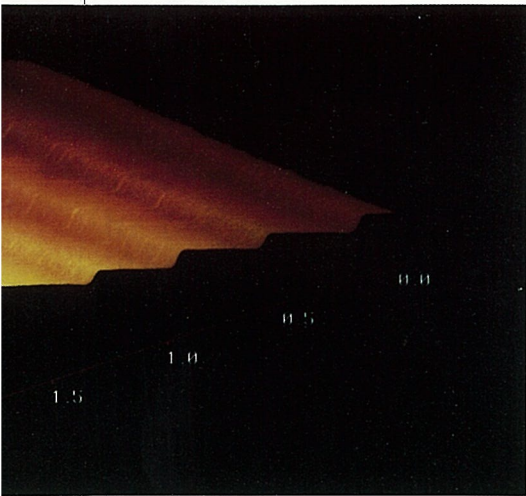


写真3 GaNの量子ドットのAFM像図



す」(写真3)。

試作した窒化ガリウムは話題になっている青色発光素子として期待されているものであり、実際に外部から光エネルギーを投入した結果、波長350ナノメートルの発光現象が起きることも確認済みだ。

極微構造の製作に関しては、この他に真空一貫プロセスの開発、量子ドットのサイズ制御、AFMリソグラフィ、X線ミラーへの応用等も行われているが、これらの研究だけでなく、極微構造の種々の物性測定に応用する研究も理研のフロンティア研究システム・ナノ電子材料研究チームと共同して進められている。一つは量子ドットに強い磁場をかけた時に起こる磁気抵抗の周期的振動を観測し、理論上「クーロンブロッケード振動」と

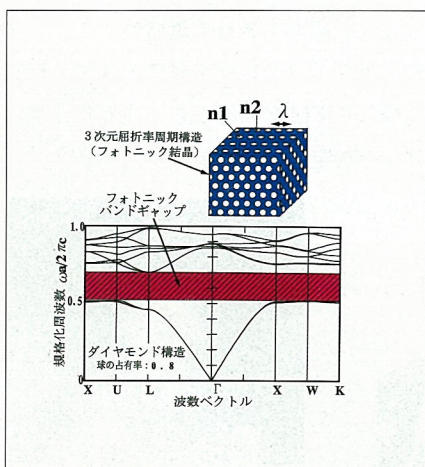


図6 フォトニックバンドの光の禁制帯の計算例

呼ばれるものであることを初めて明らかにした(磁気クーロン振動と命名)。

また、量子ドットの中における電子の振る舞いについても、従来は四角い安定した形状の中ではカオスが生じないといわれていたものを、ドットの入口、出口の形状を制御するなどすれば、電子の軌道をしだいにカオスにすることができることなども明らかにした。

極微の対象を光にも広げていきたい

つきない好奇心の持ち主であり、アイデアマンである青柳主任研究員だが、これからの研究テーマに関しても情熱を燃やしている。「今までの極微構造の研究は、電子、原子という物質に対してでした。しかしこれからは、光の極微世界についても研究してみたいですね」という。その一例が「フォトニック結晶」の研究だというのだ。

これは光の波長が0.4~0.8ミクロン程度で光が伝搬できない「光の禁制帯(オプティカル・バンドギャップ)」を人工的に作りだすもので、(図6)低いしきい値で発振を起こせる半導体レーザーの実現に役立つという。

「ヒントはあるんです。フォトニックバンド結晶に光に対する周期構造の位相を部分的に1波長分ずらした位相シフト層をはさむことによって、非常に指向性のいい光出力が出せるのではないかといい仮説を我々は立ててみたのです。理論的にはそれは証明されました。」(図7)

こうしたユニークな発想が生まれてくると、青柳主任研究員が半導体研究ばかりでなくレーザー科学研究でも第一線の研究をしてきたことと無縁ではない

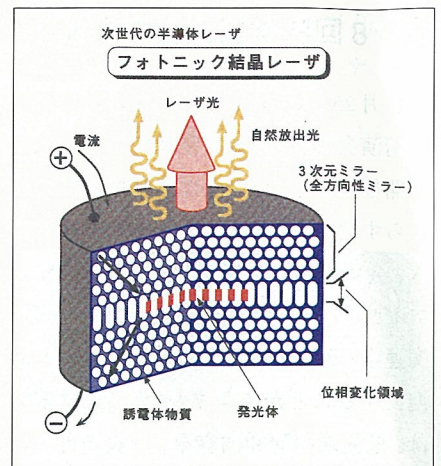


図7 位相シフトを有するフォトニックバンド結晶レーザーの模式図

だろう。豊富な経験が裾野になっているのだろう。今後は極微構造と光の相互作用にも力を入れていきたいという。

最後に、こうした極微構造分野の研究を「サイエンジニアリング」と名付けた理由もうかがってみた。

「大学(大阪大学)時代に半導体を勉強していたのですが、ちょうど基礎工学部というものが設置された時期でした。基礎工学部の初代学部長の正田先生が言うには『これからは工学と物理学の一体化をはからねばならない、エンジニアリングサイエンスの時代だ』と言われた。その影響がありますね。後に実際の研究現場に入り、いろいろな分野の研究をしてみるうち、『工学を科学』するのも大事だが、『科学と工学的手法を一体化させること』が重要になると思いました。それで青野主任研究員(表面界面工学研究室)、川合主任研究員(表面化学研究室)と一緒にサイエンス&エンジニアリングつまりサイエンジニアリングだと言い出したのです。微細構造の研究はまさにサイエンジニアリングの世界、おもしろいですよ。」

文責：総務部広報室

監修：半導体工学研究室

主任研究員 青柳克信

取材・構成：土屋晴仁

第18回科学講演会を和光市で開催

11月25日に理研が主催する第18回科学講演会を、理研の所在地である和光市で開催しました。今回は科学技術庁のみならず地元埼玉県及び和光市の後援も頂き、会場の和光市民文化センター「サンアゼリア」には和光市民をはじめ企業、関連学・協会関係者等の多数の方々をお迎えすることができました。この講演会は、最先端の研究内容を、一般の方々に

も分かり易く紹介し、理研及び科学に対する一般社会のご理解を一層深めることを目的として毎年開催しております。

今年は、理研リングサイクロトロン完成10周年を記念して、理研の加速器研究施設における10年間の研究内容とその成果、今後の展開、がん治療における加速器の応用等について、「重イオン科学への扉を開く」上坪宏道理化学研究所

理事、「がん治療における重粒子線への期待」平尾泰男科学技術庁放射線医学総合研究所長、「理研リングサイクロトロン10年間の歩みと今後の展開」矢野安重サイクロトロン研究室主任研究員、「理研加速器研究施設における研究10年」谷畑勇夫リニアック研究室主任研究員の4人の演者により講演が行われました。



上坪理事



平尾放射線医学総合研究所長



矢野主任研究員



谷畑主任研究員

第4回名古屋市・理化学研究所ジョイント講演会を開催

理研が名古屋市と共同して主催する、「名古屋市・理化学研究所ジョイント講演会」を11月21日名古屋市工業研究所ホールで開催しました。この講演会は理研と名古屋地域の研究者、産業界との交流と連携の輪を広げることを目的として毎年行われているものです。

第4回目となる今回は「高度制御科学技術について」というメインテーマのもとに、田崎京二・フォトダイナミクス研究センター長による「環境と目」、杉江昇・名城大学理工学部教授による「脳による視聴覚情報処理の理論」についての講演が行われ、約180名の参加を得ました。

また、講演後、名古屋市より志段味ヒューマンサイエンスパーク事業の最近の動向について紹介が行われた後、伊藤正美・バイオ・ミメティックコントロール研究センター長より、同研究センターのこれまでの活動状況の紹介がありました。

なお、志段味ヒューマンサイエンスパーク事業は地域の研究開発の拠点の形成を目指して名古屋市が推進している事業で、中核となるサイエンスパーク研究開発センター(仮称)

が本年末に名古屋市守山区に竣工する予定です。同センターの理研バイオ・ミメティックコントロール研究センター新研究棟に、現研究施設から平成9年2月に移転を予定しております。



杉江名城大工学部教授



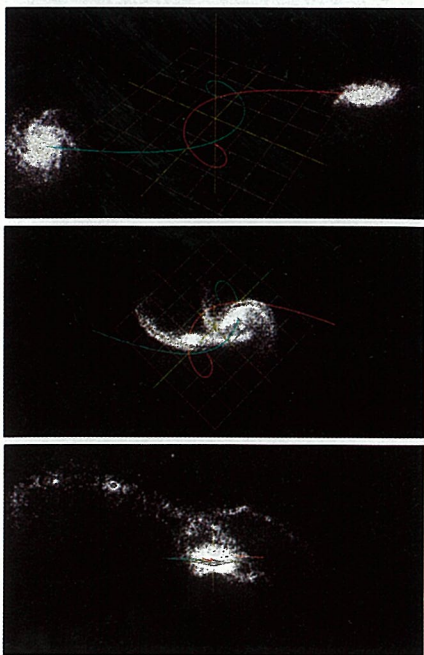
田崎センター長

コンピュータ・ビジュアルライゼーション・コンテスト 最優秀賞「AVS」大賞を受賞

戎崎俊一計算科学研究室主任研究員は、第2回コンピュータ・ビジュアルライゼーション・コンテストで最優秀賞「AVS」大賞を成見哲氏(東京大学)、吉沢明氏(東北大学)とともに受賞しました。同コンテストは、CGや画像処理などの画像生成技術の発達により、教育、観測、計測、集計、統計などの科学技術計算の結果を可視化するビジュアルライゼーションの一層の普及に努め、よりよい研究環境の構築を図ることを目的として開催され、戎崎俊一主任研究員等の作品はその科学的内容に加え、表現方法や編集技術が高く評価されました。

受賞した作品『銀河衝突の再現シミュレーション「車輪銀河」・「アンテナ銀河」』は、科学技術館の新展示品として科学ビデオプロダクションの協力を得て製作したもので、宇宙で頻繁に起こっている銀河同士の衝突についてシミュレーションを行い、その結果、実際に観測されている珍しい形の二つの銀河(車輪銀河、アンテナ銀河)を再現することに成功しました。

なお、この作品は東京北の丸公園内の科学技術館のユニバースのコーナー(4階B棟)におけるプログラムの一部として上映されています。



アンテナ銀河ができるまでのシミュレーション

ディスプレイ産業大賞、ディスプレイデザイン優秀賞を受賞 科学技術館“FOREST”「遊び・創造・発見の森」コーナー

東京北の丸公園にある科学技術館の新展示“FOREST”「遊び・創造・発見の森」の5階のコーナーが、日本ディスプレイ業団体連合会主催、通商産業省・日本経済新聞社後援による「ディスプレイ産業賞'96」の大賞として選ばれ「通商産業大臣賞」を受賞しました。また、(社)日本ディスプレイデザイン協会から、「ディスプレイデザイン優秀賞」も受賞し、贈賞式が12月2日に行われました。

このコーナーは、昨今話題になっている青少年の科学技術離れの対応の一つとして、展示物を目で見せるだけでなく、展示物を実際に操作したり、自然界の現象や、人間の知覚の不思議さが体験できるようになっており、遊びながら自然に科学技術の中の広さや面白さが、実感できるように工夫されています。

なお、科学技術館は年末年始を除き無休で開館しておりますので是非ご覧になってください。



5階ワークス(上)とメカ(下)

岩手県の高校教諭(化学担当) 理研で体験学習の研修

11月7日から8日の2日間にわたり、岩手県内の理科の高校教諭(化学担当)ら理科教育に関係する教員、指導者8名が来所しました。「電気化学センシング」、「光と化学」のテーマについて実験を行い、当所の研究員等による技術指導のほか、「有機金属化学研究の最前線」、「NMRによる有機化合物の分析」、「重イオン科学研究の概要」について説明を受け研究施設を見学しました。後日、参加された先生方からは、有意義な研修ができ、早々に教育の場に生かしたい旨の感想を頂きました。



電気化学センシングの説明および実験

また、11月14日には、埼玉県教育委員会南教育センターのサイエンスインストラクターの皆さん(約30人)が来所され、「微生物が生み微生物が分解するバイオプラスチック」、「光学技術に新しい可能性をもたらすレーザーホログラフィ」、「重イオン科学研究」について説明を受け、関係研究施設を見学しました。サイエンスインストラクターとは、埼玉県の「科学に親しむ教育総合推進事業」の推進者として、それぞれの地域で科学教育に関するイベントの計画や、実行をボランティアで行っている方々です。



NMRによる有機化合物の分析



山で死にかけた話

私が山登りを始めたのは中学生の時だったからもう40年以上も昔のことになる。その間何年間かは、山登りのことしか頭に無いというほど夢中になった。山登りでは、どんな注意をしたつもりでも危険と隣り合わせになることがある。

ヒマラヤのキニャン・チッシュ (7852m) という山では友人が死に私が助かった。1965年、私が25才の時である。その時私達の隊はベースキャンプを建設してから2ヶ月間、悪天候に悩まされながら、長くて難しい氷と岩の尾根に少しずつルートを伸ばし、明日はいよいよ頂上を踏めるかも知れない、という最後の段階に来ていた。ナイフの刃の様に切り立った雪の尾根をトップで登っていた私は、もぐる雪と7000m以上の高度とに息を切らせ、すぐうしろの中村岳生さんにトップを交代してもらった。私が立ち止まって荒い息を整えている間、彼はもぐる雪をかき分けながら、ナイフの刃を渡り始めた。その直後事故は起こった。突然彼の足元から雪に亀裂が走り、ナイフ刃状の雪が崩れ、それとともに中村さんも急な雪の斜面を滑り始めたのである。彼はスローモーションの様にもがきながら、10mほど雪面を落ち視野から消えた。その下は3000mほど一気に切れ落ちた絶壁であった。雪の亀裂は私の足元まで来て、そこで止まっていた。一週間にわたって搜索をしたが、広大な岸壁の下はなだれ落ちた雪が厚く積もり、遺体はおろか遺品を見つけ出すことすらできなかった。

それから11年後、私は性懲りもなく再びヒマラヤへ行った。今度はドゥナギリという7066mの山であった。この山では氷河にルートを見つけるべく、セラック帯を偵察している時、突然、大音響とともに高さ30mはある氷のビルディングが頭の上から崩れ落ちて来るという恐ろしい目があった。間一髪のところでその下敷きになるのを免れたが、氷のきしみを察知するのが一瞬でも遅かったら、私達は固い氷のブロックに押しつぶされていた。



沢登りを楽しむ (平成8年 奥秩父東沢)



筆者近影

もう危ない山登りは止めたつもりだった今年の夏、越後駒ヶ岳のオツル水という沢で、技術、体力、気力の限界近くまで追い詰められるという経験をした。体中びしょ濡れになりながら、大きな滝をいくつも登り、沢に残っている不安定な雪渓の下真っ暗なトンネルをくぐり、抜けそうな草だけを頼りに急な土の壁をそろそろと横ばいで通過する。途中から後戻り出来ないサバイバルゲームとなり、何とか頂上に抜け出したのは沢に入ってから3日目であった。体中の力という力を使い果たしたと思った。明らかに自分の体力の衰えの読み違いである。下山の途中で豪雨に見舞われた。谷を隔てた対岸の山に見えていた小さな沢が見る見るうちに上から下まで1本の真白い太い滝になってしまった。沢の中でこの豪雨に遭っていたら、私の体力で荒れ狂う沢を登り切るのは難しかったと思う。そうならずにすんだのは幸運であった。

山へ行って来た、と人に話すと、危ない目に遭ったり、苦しい思いをしたりして何故山へ行くの、とよく聞かれる。いつも答えに窮するのだが、それは当たり前で、自分だってよく分からないのだ。山登りの世界にも歴史がある。ヒマラヤを例にとってみると、私が山登りを始めた頃ヒマラヤは「探検」の時代であった。新しい氷河や、新しい山が遠征隊によって次々と発見された。私の山登り最盛期にはそれが「冒険」になった。当時キニャン・チッシュは未踏峰であったし、私達のドゥナギリは北稜からの初登攀であった。その後、ヒマラヤは「スポーツ」の時代に入った。8000m峰も酸素ポンベの助けを借りず、しかも単独で登られている。このように山が人を引きつける魅力のあり様も時代とともに変化してきている。何故山へ登るのという問いに対する答えはともかく一筋縄ではいかないのである。

私とはいえば、今は探検でも冒険でもスポーツでもない。いつもの仲間から「沢音を聞きながら焚火を囲んで酒を飲もうと思うんだけどどう？」とか、「新雪が降ったから稜線をちょっと歩いてみない？」などという誘いがかかる。そうするともう何の迷いもなく二つ返事で出かけて行く。そんなわけで山との付き合いはまだまだ続きそうである。

素形材工学研究室

主任研究員 牧野内昭武

理研ニュース No.186 December 1996

発行日：平成8年12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) Fax (048) 462-4715

制作協力：株式会社 スリーアイ パブリケーション