

理研ニュース

4

1998 No. 202
理化学研究所

2 ● 研究最前線

・量子デバイスは、有機分子1個に始まる

6 ● SPOT NEWS

・失明を治す人工の眼

7 ● TOPICS

・国際フロンティア研究システム長就任
あいさつ

・「理研、化学者の群像—片山正夫研究室
の人々—」展のお知らせ

・新理事に小川主任研究員が就任

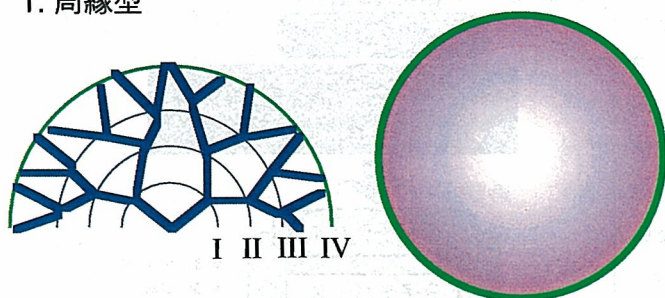
・前田雄一郎氏、新主任研究員に

・前田進主任研究員逝去

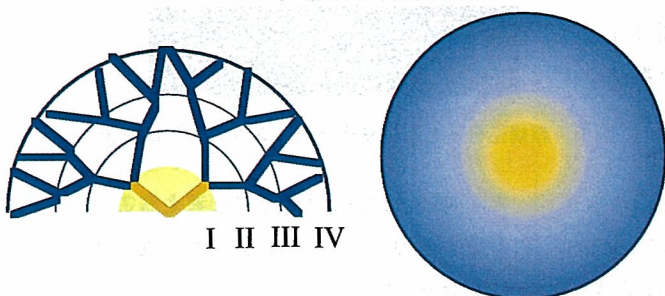
8 ● 原酒

・理研の自然 — 春 —

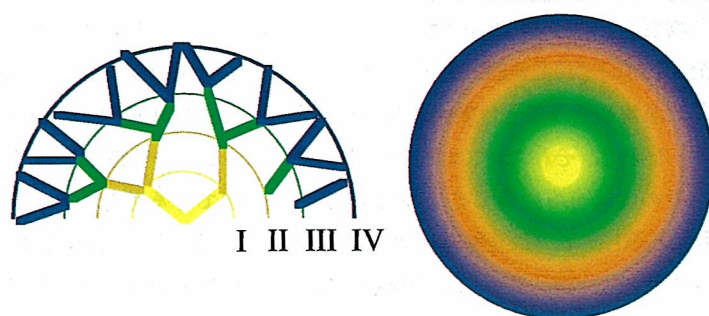
1. 周縁型



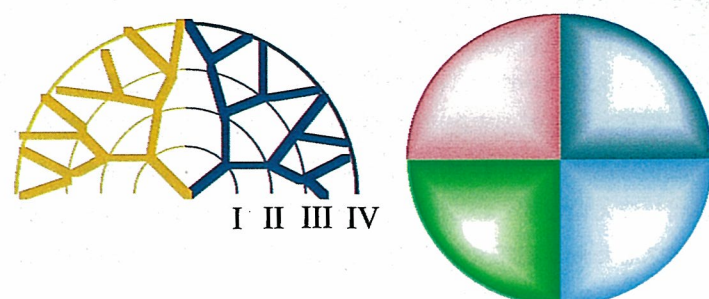
2. コア型



3. 階層型



4. 分割型



量子デバイスは、有機分子1個に始まる

分子デバイスという言葉が登場してから、かなりの年月がたつ。微小加工して作る半導体デバイスに対し、分子デバイスには有機分子を組み立てて作るというイメージが強い。しかし、生体高分子物理研究室の雀部博之主任研究員は、「そういう従来の考え方では、どうもうまくいかない。そこで我々は発想を転換してみました。分子を組み立ててスイッチやメモリ機能を発現させるのではなく、単体でそのような機能をもつ分子を作ろうと考えたのです」と語る。

この新しい方法論は科学技術振興事業団のプロジェクトとして認められ、「超構造分子の創製と有機量子デバイスへの応用」という名のもとに平成8年度から本格的な研究活動が始まっている。いったいどのような研究が進められているのだろうか。

超構造分子をつくる

物質合成は有機化学の基本だ。実際、分子の原子配列（1次構造）を設計し、それを実現することはかなり自由にできる。しかし、それだけでは分子に望みどおりの機能をもたせることはできない。「ちょうどアミノ酸配列を決めてタンパクを合成しても、思い通りの機能を得られないのと同じで、原子配列だけでなく、最終的な分子の形（2次および3次構造）が機能と密接に結びついています」と雀部主任研究員。

タンパク質の分野では、その構造と機能の関係を解き明かす研究が、構造生物学という名称のもとに80年代半ばから非常に盛んになっている。一方、分子デバイスをねらう雀部主任研究員たちは、

原子配列だけでなく最終的な形をもあらかじめ決めることのできる分子の設計・合成法の研究を進めているのである。そして、原子の配列と構造とをコントロールされた分子を「超構造分子」と名づけている(図1)。

超構造分子にもいろいろあるが、雀部主任研究員と和田達夫副主任研究員たちが特に目をつけているものの1つが、 dendrimer という多分岐高分子である。図2からもわかるように dendrimer は、結合の手のついたユニットを同心円状につないでいったような形をしている。

中央のユニットを“コア”、その他のユニットを“ dendron ”とよぶ。そしてコアのすぐ周りを同心円状に囲む dendron 群を第1世代、さらにその周りを囲む dendron 群を第2世代、その次を第3世代とよんでいる。

「 dendrimer はコアを何にするか、 dendron を何にするかによって、いろんな原子配列の分子ができるのと同時に、その構造も予測でき、望む機能を実現できる可能性が高いのです。」

“レゴ”のようなブロックとそっくりな構成をもつ dendrimer だが、その作り方もレゴ遊びと同様に、コアから伸びた結合の手に順々に反応基をつけて dendron を作っていく方法と、あらかじめ dendron を作っておいてコアにくっつける方法とがある。また、図3のように、周辺部に機能をもたせる、あるいは中心部に機能をもたせる、さらには世代ごとにまたは部分的に機能をかえる、といったことが原理的に可能である。「つ

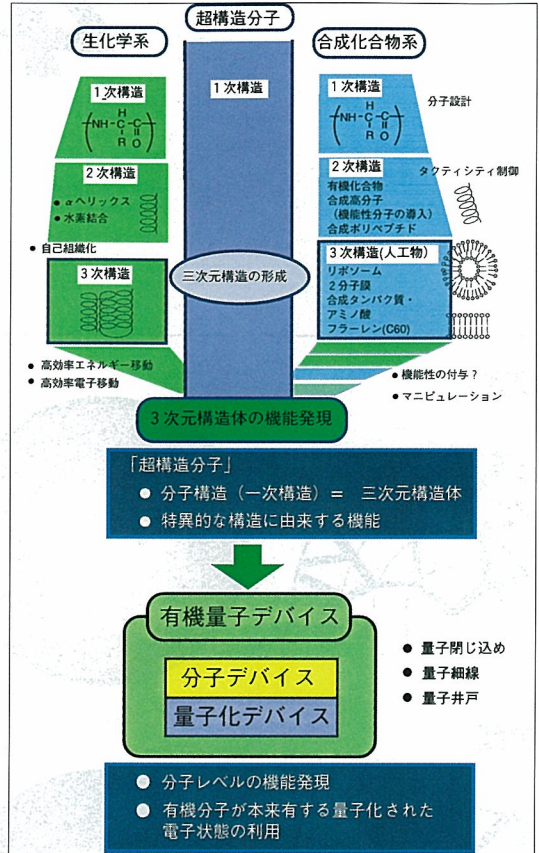


図1 超構造分子と有機量子デバイスへのアプローチ

まり、非常に組織的な合成を考慮することができるのです。でも、実際の合成自体はかなり難しい…。」

dendrimer が注目されはじめたのは

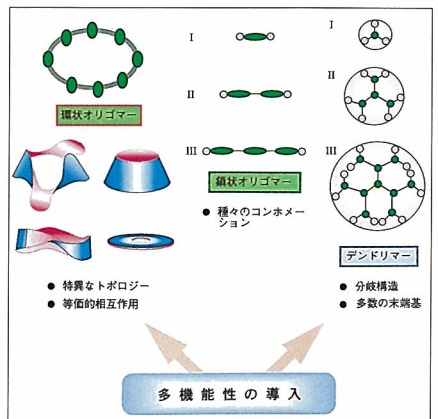


図2 超構造分子： dendrimer および環状オリゴマー

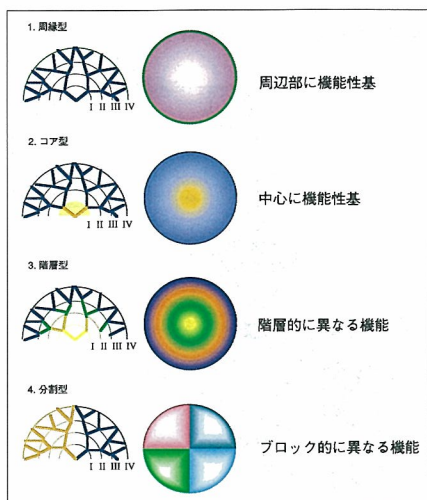


図3 超構造分子の機能発現

10年くらい前のことだが、合成が難しいゆえに「こんな複雑なものができた」とか、「第何世代まで合成できた」といったことが研究の中心であり、機能と結びつけてとらえられることはほとんどなかった。それが少し前から、ドラッグデリバリーのような医薬機能や生化学機能に目が向けられるというようになってきた。

「私たちは分子デバイスの開発が目的ですから、電子機能性、光機能性、磁気機能性などの実現がターゲットとなります。これらの物性を標榜している研究グループはほとんどなかったのですが、最近になって急激にふえはじめています。」

雀部主任研究員たちの先見性が明らかになったといえるが、今後は厳しい競争にさらされることになるのだろう。

雀部グループが超構造分子として研究の対象としているのは dendrimer だけでなく、図2のように、オリゴマーの端をつないだ環状オリゴマーのような中央に空間のある円盤状の分子、カリックスアレーンのような円錐状の分子、さらには円

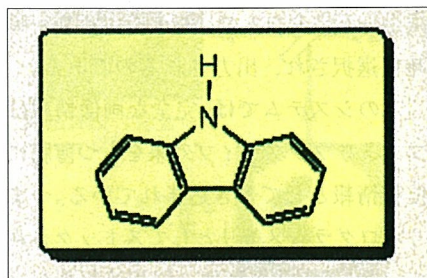


図4 カルバゾールの構造

錐の一部が折れ曲がって鞍のような形になった分子やメビウス環のような形の分子などに着目している。中でも環状オリゴマーは、 dendrimer と並んで雀部グループが当面の開発目標としている。

導電性機能と非線形光学機能

電磁気特性、光特性の発現をねらう雀部グループが、 dendrimer や環状オリゴマーの重要なユニットとしている物質がカルバゾール ($C_{12}H_8N$) だ。反応が容易で、かつおもしろい電子および光特性をもっているからだ。

カルバゾールの構造は図4のようにになっている。真ん中の五員環の窒素 (N) の部分は非常に電子を出しやすい (ドナー)。そのためベンゼン環のちょうど窒素から対角線の方向位置に電子を引っ張りやすい基 (アクセプター) を導入すると、容易にドナー部分からアクセプター部に電子が流れ、分子が電気双極子をもつようになる。

また、アクセプターとなる基の種類によっては、光を照射すると電気双極子がより大きくなり、非線形光学効果を生じるものもある。波長を変えたり、屈折率を変化させたり (フォトリフレクティブ効果) ということが起こるのである。

さらに、光導電性を生じるものもある。事実、複写機において有機材料として最初に感光ドラムに使われたのはカルバゾールの化合物であった。

このようにカルバゾールをユニットに超構造分子をつくと、光導電性と非線形光学効果との組み合わせが可能になり、ユニークなデバイスを考えることができる。次に雀部グループのさまざまなデバイスのアイデアを紹介しよう。

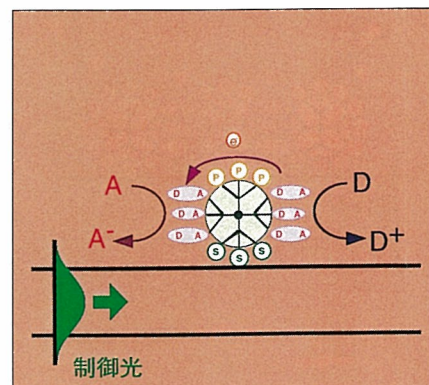


図5 超構造分子の光化学反応

有機量子デバイス

カルバゾールをユニットとする dendrimer を作る時、部分的に機能を変えらる。例えば、図5のようにドナー性の強い部分、アクセプター性の強い部分、光に対して活性化しやすい部分、基板に対して安定して接する部分の4つの機能に別れた dendrimer を作る。するとこの dendrimer は光によって電子の流れを制御する単体の分子デバイスとなるわけである。

さて、つぎに超構造分子を3つ集めてつくるデバイスを紹介しよう。雀部主任研究員たちは超構造分子をいくつか寄せ集めたものを「超分子」とよんでいる。最初は超分子による EL (エレクトロルミネッセンス) の発光素子だ。図6のように、アクセプター性の強い超構造分子とドナー性の強い超構造分子とで、蛍光発光性をもつ超構造分子を囲んだ超分子を作る。そしてアクセプター性の強い方に電子を、ドナー性の強い方にホールを注入すると、ホールと電子は中央の超構造分子に集まって再結合し、光を出す。

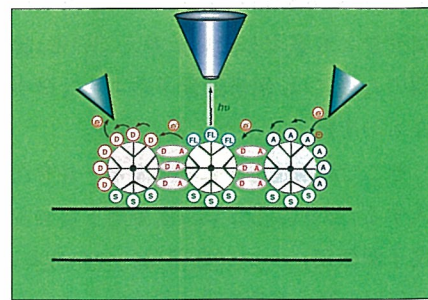


図6 超分子エレクトロルミネッセンス

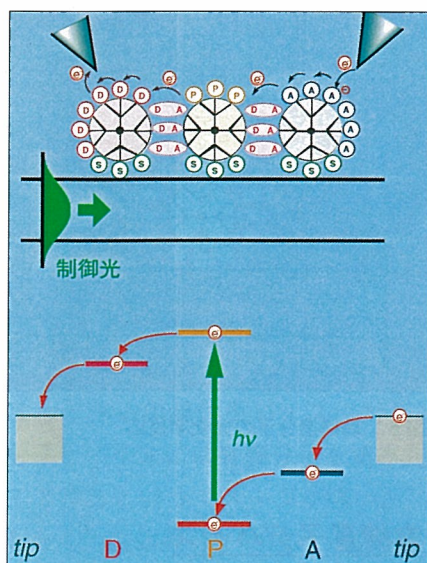


図7 超分子光-電子スイッチ (1)

2番目は超分子による光-電子スイッチだ。図7のようにドナー性の強いもの、光反応性の強いもの、アクセプター性の強いものの順に超構造分子をならべ、電子を入れる。この場合、光反応性の強い中央の分子に光を照射すると励起されて電子が流れやすくなるが、照射しないと電子はほとんど流れない。その結果、この超分子は光-電子スイッチの機能を果たすことになる。図8はスイッチの位置を右端に変えたものである。

「原理的にはこれらのデバイスは、電子やホールやフォトンなどが1個でもあれば動作するものです。つまり、量子単位のエネルギーで機能します。また非常に小さいデバイスなので、量子ドット、細線、量子井戸といった空間で生じる量子力学的効果も当然生じるでしょう。私たちはこの両方の意味合いから『有機量子デバイス』とよんでいるのです。」

このようなデバイスを、あと3年残っている「超構造分子の創製と有機量子デバイスへの応用」のプロジェクト期間内にぜひとも実現したいと考えている。実現のためには、超構造分子のような微小なものを扱う手法が必要である。

そこで超構造分子に電子やホールを注入するために、STM(走査型トンネル電子顕微鏡)チップを開発しつつある。STMの微小電極を分子接点としようというのである。

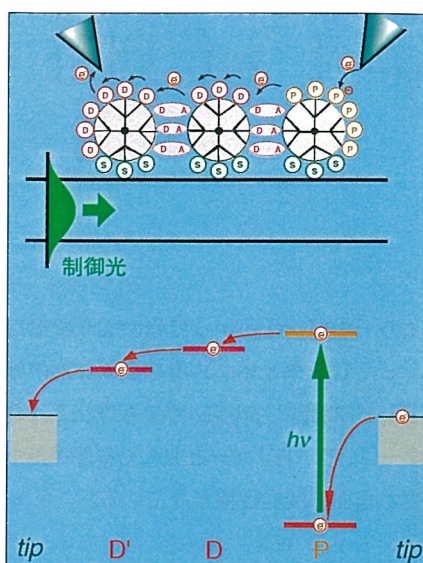


図8 超分子光-電子スイッチ (2)

また、発光現象を単分子レベルで捉えるためにフォトンSTMも開発中である。さらに、このシステムでは超構造分子をアンカリングする基板として光導波路を用い、導波路からわずかにもれる光、エバネッセント光の圧力によって超構造分子の位置をコントロールしようとしている(図9)。

非線型光学効果による画像処理

超構造分子を使った微小な有機量子デバイスの開発はこれからだが、超構造分子の薄膜を使った画像処理システムでは、すでにプロトタイプが作られている。カルバゾールのオリゴマーや dendrimer から作る薄膜で、その非線型光学効果を利用して画像処理を行う。その1つは、薄膜を「光増幅装置」として利用するものだ。

薄膜に2本のレーザービームを当てると明暗の干渉格子ができる。そして薄膜が非線型光学特性をもつために、明るいところには正の電荷が生じ、暗いところには負の電荷が生じて内部電場が発生する。電場が大きいところでは光の屈折率は大きくなり、小さいところでは屈折率も小さくなる。こうして明暗の干渉格子から少しずれたところに屈折率の強弱の格子ができ、フォトリフラクティブ効果が生じる。

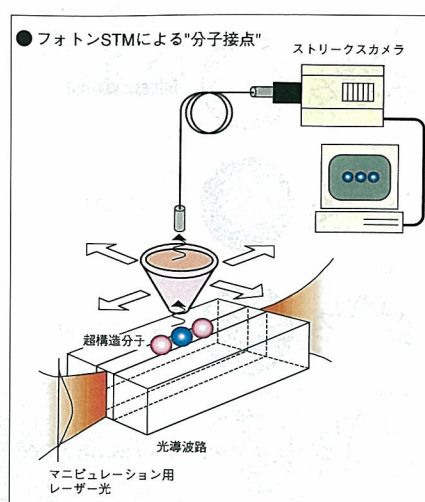


図9 超構造分子への情報入・出力技術の開発

そのため、薄膜に入ってくる光の回折効率が変化し、光の出やすい方向が決まってくる。その結果、この薄膜に2本のビームを照射すると、図10のように、片方のビームの一部を吸収してエネルギーの増したビームと、吸収されてエネルギーの減少したビームとが出てくる。

そこで、例えばネガフィルムにビームを当て、これを薄膜に導くと同時に、もう1本ビームを薄膜に当て、後者のエネルギーを前者の画像情報を含んだビームにエネルギー移動させるようにすれば、光増幅されて画像は大幅に明るくなる。従来は、画像スキャナーでフィルムのアナログ情報をデジタル電気信号にかえて取り込み、増幅処理を行っていたが、非線型光学効果をもつ薄膜を使えばアナログ情報のまま一遍に増幅できるようになるわけだ。

もう1つの非線型光学効果を使った画像処理システムは、「連想想起ホログラム光メモリー」とよばれている。このシステムに不完全な画像情報を入力すると、ストックしてある完全な画像情報の中から不完全なものに最も近いものが瞬時に選択され、出力されるのである。

このシステムでは、完全な画像情報はフォトリフラクティブ効果をもつ薄膜に位相情報として書き込まれている。つまりホログラムメモリーとしてストックされている。不完全な画像の位相情報をレーザービームにのせて、これを完全な画像

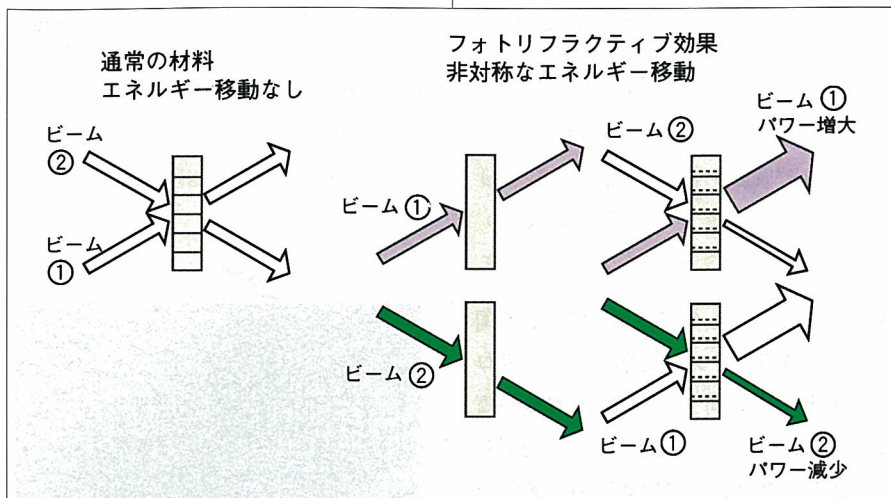


図10 フォトリフラクティブ効果による非対称なエネルギー移動

の位相情報がストックされた薄膜に照射すると、位相どうしの重ね合わせが起こり、フォトリフラクティブ効果によって最も相関性の高い画像の回折効率が高くなり、完全な画像を選択することができる(図11)。

また、このシステムでは画像の光増幅に位相共役鏡というものを使っている。これもフォトリフラクティブ効果によって生じる現象で、この鏡を使えば鏡面で反射された光の反射路は入射路とまったく同じになる。図11中の「PC Mirror」というのが位相共役鏡である。図中の「Carbazole Trimer」と書かれた完全な画像情報のストックされた薄膜に回折された光(選択された画像情報)を、Bの参照光で増幅するためにPC Mirrorは使われている。

このような画像情報の選択も、従来なら画像スキャナーで不完全な画像情報をデジタル電気信号に変換し、ストックしてある画像デジタル情報との相関を計算して出すという過程をとり、時間のかかる作業であった。ところが「連想想起ホログラム光メモリ」を使えば、デジタル化過程も計算過程もなくなるので短時間での検索が可能となる。

また現在、フォトリフラクティブ効果をもつ薄膜の厚み方向に多数の画像の位相情報をストックするという「多重ホログラム」を作る研究が世界的に盛んに行われている。雀部グループのカルバゾール薄膜では、従来の薄膜の8倍以上の効率でホログラム形成することができ、原理的には100ミクロンの厚みに200枚程度のホログラムを作ることが可能となっ

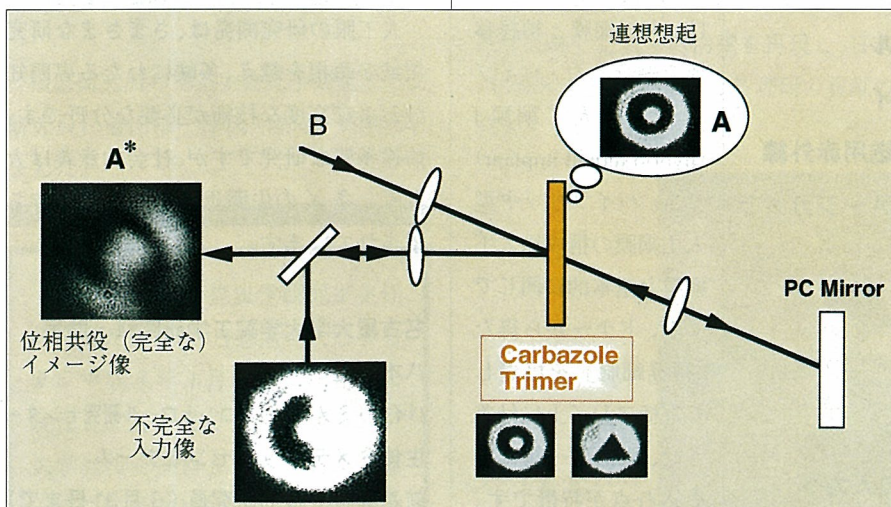


図11 連想想起ホログラム光メモリ



雀部主任研究員

ている。

「米国ではこのような連想想起システムを、指紋の照合に使おうとしています。州や連邦政府がストックしている膨大な数の指紋から短時間で一致するものを探そうということです。日本はこの面ではちょっと遅れているようですね。」

脳型コンピュータへの道

雀部主任研究員と和田副主任研究員たちの有機量子デバイスや、非線形光学特性をもつ薄膜を使った画像処理システム開発の向こうには、まだ誰もおぼろげながらしか描くことのできない「光コンピュータ」の存在があると思われる。

「私自身は“光コンピュータ”という言葉はまだ大げさすぎるように感じているので、極力使わないようにしています。いずれにしろ、私たちの研究の先に見えてくる情報処理装置というのは、現在の計算処理型コンピュータにとってかわるものではなく、脳のように学習したり、判断したりという面で使われるものでしょうね。」

その実現に向けて雀部主任研究員たちは、構造と機能の関係を見定めながら望みどおりの機能をもつ分子を創製し、これを使ったデバイスを考案し、さらに各種デバイスを組み合わせたシステムの開発へと、一歩一歩駒を進めている。

文責：広報室

監修：生体高分子物理研究室

主任研究員 雀部博之

取材・構成：由利伸子

失明を治す人工の眼

眼内や頭蓋内に埋め込んだ超小型の電極を通じて、視覚情報に対応した電気信号で脳神経系を刺激し、失明者の視覚を人工的に回復させようという「人工眼」が、世界各所で研究されています。「光覚（光を感じる感覚）の再生」が当面の目標ですが、形の弁別や色覚を実現できるような人工眼の開発をめざして、研究が進められています。

人工眼は、網膜に電極を埋め込む「人工網膜（網膜埋め込み型人工眼）」（retinal implant）と大脳視覚野に電極を埋め込む「脳内埋め込み型人工眼」（cortical implant）に分類されます。なお視覚情報は2次元的な情報なので、人工眼では多数の電極を2次元アレイ状に配置した「電極アレイ」を用います。図1は米国やドイツで研究開発が進められている人工網膜の概略を示しています。体外に取り付けたCCDカメラで視覚情報を取得して電気信号へ変換し、刺激データを網膜上に埋め込んだ電極アレイへ赤外線通信で送ります。次に、データに基づいて、残存している網膜神経節細胞を電気刺激し、視覚を再生

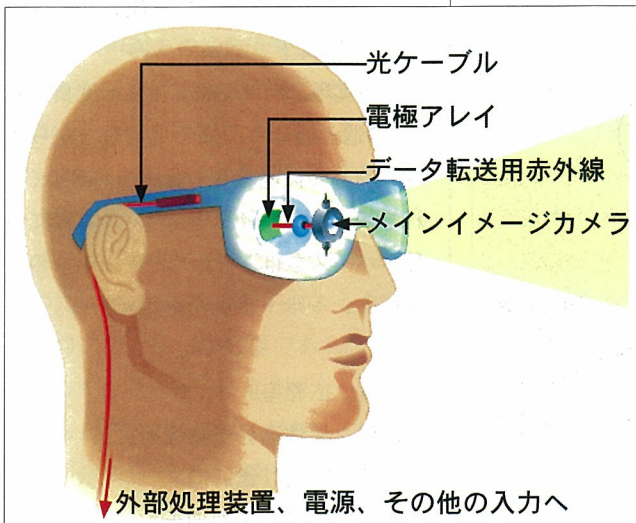


図1 人工網膜（網膜埋め込み型人工眼）

させようというものです。すでに、米国のジョンズホプキンス大学とノースカロライナ大学の共同グループは、電極が縦横5×5に配された電極アレイを失明した「ヒト」の眼球内に埋め込み、光覚を一部回復できたと報告しています。

しかし人工網膜が機能するには、中枢へ視覚信号を伝達する「網膜神経節細胞」や「視神経」が正常でなければなりません。したがって、それらに異常がある失明疾患の場合には、人工網膜を適用できないのです。この欠点を補うのが、ユタ大学医学部の研究グループによって研究開発されている脳内埋め込み型人工眼です。これまでに同グループは、長さ1.5ミリの針が縦横10×10に配された剣山のような電極アレイ（図2）を開発し、ネコの大脳視覚野に埋め込みました。そして1年以上経過後も埋め込みによる脳へのダメージがないことを報告しています。

いっぽう、私は、名古屋大学大学院工学研究科や愛知県心身障害者コロニー発達障害研究所の研究者らと協力して、他グループとは少し異なる人工眼の開発を

試みています。それは、人工網膜と神経移植を融合した「ハイブリッド型人工網膜」（hybrid retinal implant）です。ハイブリッド型人工網膜の構成は人工網膜と基本的に同じですが、ドナーから得た「神経細胞」を培養して電極アレイ上に付着させ、眼内に一緒に埋め込む点が特徴です。神経細胞の軸索は、末

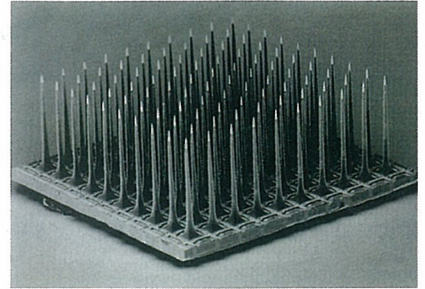


図2 脳内埋め込み型人工眼の刺激電極

梢神経線維から分泌される種々の分子によって軸索の伸長が制御されていることが明らかになっています。そこでハイブリッド型人工網膜では、末梢神経を用いて電極アレイと中枢をつなぎ、培養神経細胞の軸索を中枢へ誘導してシナプスを再形成させようと試みています。すなわち神経細胞を「生きた電気ケーブル」として利用しようというわけです。接続が完了すれば、電極アレイから送られる電気信号に応じて神経細胞は中枢へ信号を伝達すると思われ、ひいては視覚機能を回復できると考えられます。開発には長期を要しますが、このようなハイブリッド化は、失われた神経細胞を補うため、より多くの失明疾患に適用できるでしょう。

人工眼の研究開発は、さまざまな研究領域が垣根を越え、多岐にわたる専門知識および高度な技術が必要な分野です。前途多難な研究ですが、社会的意義は大きく、多くの失明患者に実用化が待ち望まれています。

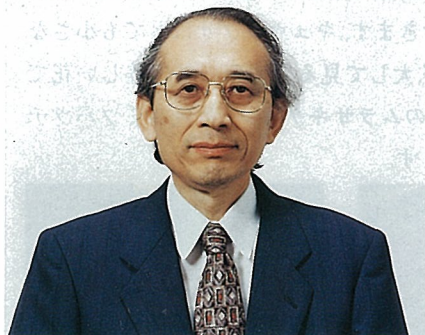
名古屋大学大学院工学研究科・助手

八木 透

バイオ・ミメティックコントロール研究センター
生体ミメティックセンサチーム
前基礎科学特別研究員（3月31日まで）

国際フロンティア研究システム長就任あいさつ

3月1日付けで、国際フロンティア研究システム長に就任しました永井克孝・新システム長の抱負を紹介します。



永井克孝（ながい よしたか）

この度、図らずも伊藤正男システム長の後任として国際フロンティアシステムを承継することになりました。小田稔理事長、久保亮五フロンティアシステム長を始めとする諸先生のお招きでこのフロンティアにかかわることになってから、早くも7年の歳月が流れようとしている

のに今更の如く驚いています。

この間、フロンティアはもとより理研、さらには我が国の研究者を取り巻く環境は一変し、21世紀を目前にして変化の潮流は益々その流れを速めつつあるように見える昨今であります。フロンティアが掲げ、その活力を支えてきた理念や、雇用の時限制などの種々の清新な試みは、今や日本の各地に移植されつつあります。フロンティアはその意味で苗代的役目を果たしてきたと言えましょう。この苗が立派に根付くかどうか、根付いたとしてもどのように育ち、どのような実を結ぶかは、私たち理研人にとって極めて重要な関心事であります。

思考機能研究グループが独立移転し、フロンティアで現在活動している植物ホメオスタシス、糖鎖機能、フロンティアマテリアルの3グループは来年9月にその時限を迎えます。その後には

ニューフロンティア計画の開始が企画されています。この両者をどのように安定的に離陸させ着陸させるかが目下の課題であります。皆様のご助言とご協力をたまわりたく、よろしくごお願い申し上げます。それをふまえてこの課題には前向きに対応し、責任を果たしていきたいと願っております。フロンティアプログラムは、また新たな脱皮と変貌を迫られることとなります。「新しい酒は新しい革袋に」、また「古人の跡を求めず、古人の求めたところをもとめよ」であります。激しい世の流れの中に在って、変わるものと変わらざるものを見定めつつ、ニューフロンティアの為の模索がこれから始まります。0から1を創出すること。1から5を、ましてや、5から10をでなく。これがフロンティアの変わらざる精神かと考えます。

人事異動

新理事に小川主任研究員が就任

4月1日付けで、リングサイクロトロンおよび大型放射光施設 SPring-8の建設等に携わってきた上坪宏道理事が退任し、新たに小川智也・細胞制御化学研究室主任研究員が理事に就任しました。

前田雄一郎氏、新主任研究員に

播磨研究所の構造生物化学研究室主任研究員に前田雄一郎氏（理博）が就任しました。

訃報

前田 進・分子昆虫学研究室主任研究員が3月26日急逝いたしました。平成8年4月に主任研究員に就任し、これまでカリフォルニア大学教授を兼務してきました。謹んでご冥福をお祈りいたします。

「理研、化学者の群像—片山正夫研究室の人々—」展のお知らせ

理研創成期の主任研究員の一人である片山正夫博士は日本の分子科学研究を世界のトップレベルに押し上げることに貢献しました。しかし、理研の片山研の業績は、資料が散逸しているために忘れ去られようとしています。本展示は、所々に散在する資料から、片山博士とその研究室に属した人々の活躍を再現し、日本の化学研究の発展に対する理研の貢献の大きさを示しています。

展示期間：平成10年3月1日～8月14日（金）（土、日、祝祭日休み。臨時休館日あり）

企画：日本化学会 情報専門委員会

協力：化学史学会展示

場所：日本化学会

化学図書・情報センター3階
千代田区神田駿河台1-5

電話：03-3292-6171





理研の自然 — 春 —

このたび「理研の自然—春—」というお題を頂きました。「春」と言えば、やはり「花」とくるのが自然(?!)かな、というところで、和光本所に咲く春の花について書いてみようと思います。春の花というと、まずは桜ということになるのですが、桜は花見の方々におまかせしておいて、ここでは道端などに咲いている、どちらかというマイナー?な野草を幾つかご紹介いたしましょう。和光本所には春の3月から5月頃にかけて花の咲く野草がおよそ70種位ありますが、その中から手持ちの写真のあるものを選んでみました。「なぜあの花を載せないのか!」という方もいらっしゃるでしょうが、その辺はご容赦下さい。



オオイヌノフグリ



ヒメオドリコソウ



ホトケノザ



タチツボスミレ

一番早く咲き出すのはオオイヌノフグリでしょうか。2月ごろから咲き始め、3月になると日当たりの良い地面に小さな青い花が点々と咲いていきます。ピンクの小さな花を咲かせるヒメオドリコソウや赤紫のホトケノザも咲き出します。

4月になると色々な花が咲いてきます。薄青紫のタチツボスミレが木陰などに、道端の草むらには赤紫のカラスノエンドウや黄色いヘビイチゴ、日本産のカントウタンポポが



カラスノエンドウ



ヘビイチゴ



カントウタンポポ



キュウリグサ



筆者近影

咲きます。カントウタンポポは、どこにでもあるセイヨウタンポポ

に比べてちょっと薄い黄色の柔らかい感じの花なので、慣れると見分けることができます。キュウリグサはとても小さな花ですが、ルーペで拡大して見ると薄青の結構美しい花です。林の周囲には赤紫のムラサキケマン、黄色いミツバツチグリなどが咲いています。



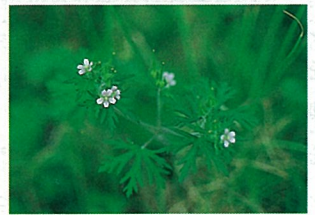
ムラサキケマン



ミツバツチグリ



ニワゼキショウ



アメリカフウロ

5月に入ると緑が濃くなるのとは反対に、少しずつ花は減っていきませんが、ニワゼキショウの小さな赤紫の花が芝生のあいだなどから出てきたり、道端にアメリカフウロの地味な薄桃色の花が咲いていたりします。荒地にはキツネアザミがすくくと伸びてきて白っぽい紫色の花が咲きます。

このあと、季節は梅雨を経て夏へ移っていきます。

理研の和光本所は樹木が多く植えられていて、自然環境はそれほど悪くはないと思われますが、周囲の土地は随分開けてきました。花の種類も少しずつ減っているみたいですが、いつまでもいろいろな花が咲き続けてほしいものです。



キツネアザミ

脳科学研究推進室

今泉 洋

理研ニュース No.202 April 1998

発行日：平成10年4月15日

編集発行：理化学研究所総務部広報室

〒351-0198 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

ホームページ [http://www.riken.go.jp]

制作協力：株式会社 スリーアイ パブリケーション