

東京大学 理学系研究科・理学部ニュース

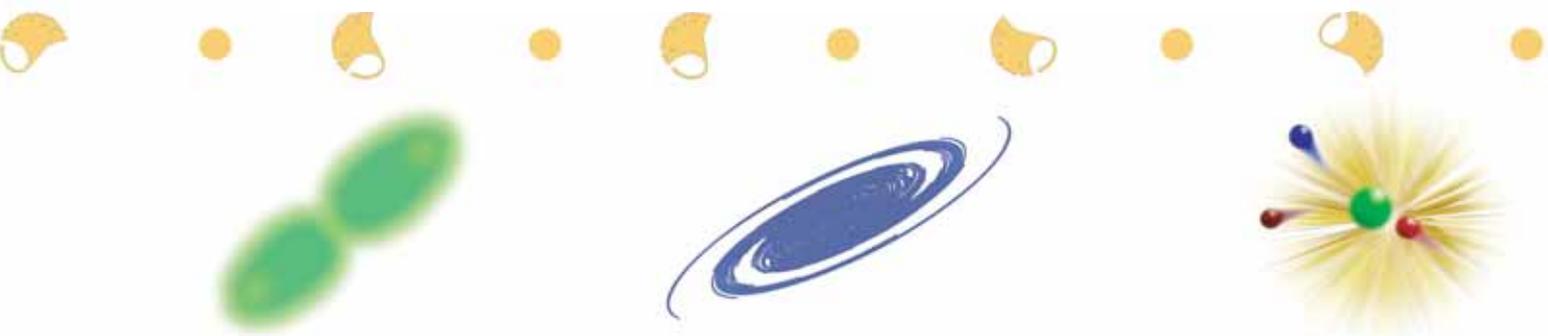
36巻3号 2004年9月20日発行

<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/>

理学系研究科・理学部ホームページ
<http://www.s.u-tokyo.ac.jp>
と連携しています。



長野県の国立天文台野辺山構内に設置してある60cmサーベイ望遠鏡。現在は受信機換装中のため中断しているが、天文学科の学部学生の演習に用いることもある。実際に研究に使用している望遠鏡を用いて観測するので、観測データの限界がどのようなものなのかを体験することは教育的にも重要である（詳しくは本文 p.15 参照）。



目次

トピックス

第5回公開講演会開催される…………… 3

第1部

分子レベルのものづくり — 化学者の新しい挑戦 — 塩谷 光彦 (化学専攻 教授)

タンパク質と核酸の働き 横山 茂之 (生物化学専攻 教授)

第2部 パネルディスカッション「理学研究って何？」

生物情報科学学部教育特別プログラム公開シンポジウム

バイオインフォマティクス教育の現状と課題 — 新しい教育システム“ダブルメジャー”に向けた試み —

南 康文 (生物情報科学学部教育特別プログラム 特任教授)…………… 10

オープンキャンパス 2004：理学部の取り組み

岡野 俊行 (生物化学専攻 講師)…………… 12

研究ニュース

望遠鏡ものがたり 5 天の川銀河の地図を作る — 60cm サーベイ望遠鏡 —

半田 利弘 (天文学教育研究センター 助手)…………… 15

化学の未来をかんがえる 4 生体ナノマシン — 生物から学ぶ分子設計 —

塩谷 光彦 (化学専攻 教授)…………… 18

シリーズ：科学英語を考える「the ってどういう意味？」

2. the は相手が知っていることを表す

トム・ガリー (翻訳家・辞書編纂家、化学専攻・化学英語演習講師)…………… 20

お知らせ

ベールを脱ぐ理学部Ⅱ期棟

利根川 伸一 (施設係 係長)…………… 22

あとがき

…………… 23

第5回公開講演会開催される

去る4月23日、駒場キャンパスの数理科学研究科大講堂で、第5回公開講演会「理学研究の現場から」が行われた。第1部では、化学専攻の塩谷光彦教授と、生物化学専攻の横山茂之教授が、最新の研究成果を通じて理学研究の現在を講演した。また、第2部のパネルディスカッションでは、地学、天文学、数学、化学の各分野で研究を進める若手研究者4人が、研究の苦労や楽しさを語り合った。以下にその模様を報告する。

第1部

分子レベルのものづくり — 化学者の新しい挑戦 —

塩谷 光彦 (化学専攻 教授)

化学者の大きな夢の一つは、「分子を思い通りにデザインすること」であるという。分子は100余りの元素からつくることができ、そのサイズ、形、性質は、元素の組合せと並べ方によって決まる。さらに、時間軸と環境を設定することで、生き生きと動きだし、時には思いがけない変身もするのである。本講演で、化学専攻の塩谷光彦教授は、「分子レベルのものづくり」という観点から、金属錯体という分子の化学合成を中心に、分子デザインの楽しさとその将来性を語った。

元素の特徴を生かして分子をデザイン

化学的に物質をつくることを、化学合成という。化学合成をするための基本となる材料は元素である。理論的には2000種類の元素が考えられるというが、化学合成に安定した材料として利用できるのは、周期表に載っている109種類の元素である。

それぞれの元素は、大きさも性質も異なる。そこで、化学合成では「それぞれ特徴のある元素を、どうつなげて、どれくらいの大き



さの分子を作るか、というデザインが重要になってくる」(塩谷教授)という。自然界では、たとえば水分子は、酸素原子1個に水素原子2個が結合しており、この水分子が 6×10^{24} 個集まると、ペットボトル1本分の水になる。

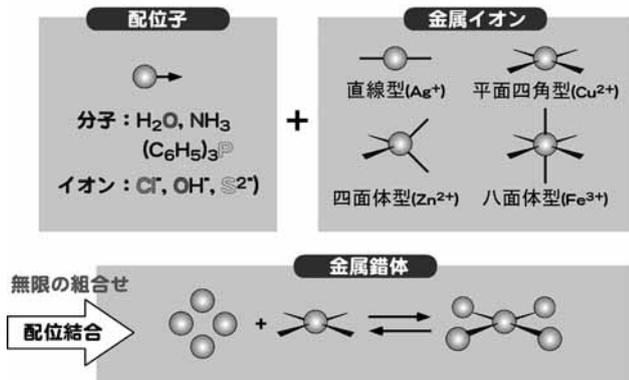


図1 金属錯体って何？

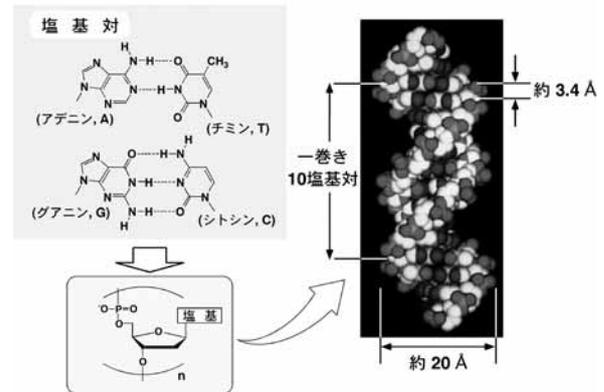


図2 DNAの二重らせん構造

また、生体には、核酸塩基をもつヌクレオシドという分子の単位から成る DNA *1 という分子があり、たとえばわれわれ人間では、この核酸塩基対が 30 億個集まることで 1 セットの遺伝情報を作っている。この DNA 分子は、炭素、水素、窒素、酸素、リンから成る、ひも状の大きな分子である。

塩谷教授らが主に研究している金属錯体という分子は、「配位子」と呼ばれる分子あるいはイオンと、金属イオンとを結合させた物質である(図1)。配位子は、酸素、窒素、硫黄、リンなどの原子をとおして金属イオンに結合する分子で、その種類は膨大である。また、金属イオンには、他の原子・分子を直線型に結合するものもある一方で、平面四角型や四面体、八面体に結合するものもあるなど、その結合形式はバラエティーに富んでいる。こうしたことから、配位子と金属イオンを使ってデザイン

できる金属錯体の種類は、無限に考えられるという。

こうして作られた金属錯体は、大変興味深い機能を持つ。それは、それぞれの金属イオンが独特な性質を持つためだ。つまり、金属イオンは、結合する原子・分子と付いたり離れたりできるという特色がある上、前述したように結合の形式は直線型、平面四角型など多様である。さらに、電子をやりと

りしたり、光に応答したり、磁気を帯びていたり、金属特有の性質を持っている。

金属錯体からできた分子電線やボールベアリング

塩谷教授は、最近、これまでにない構造と機能を持った金属錯体の合成に成功した。

ひとつは、人工 DNA と金属イ

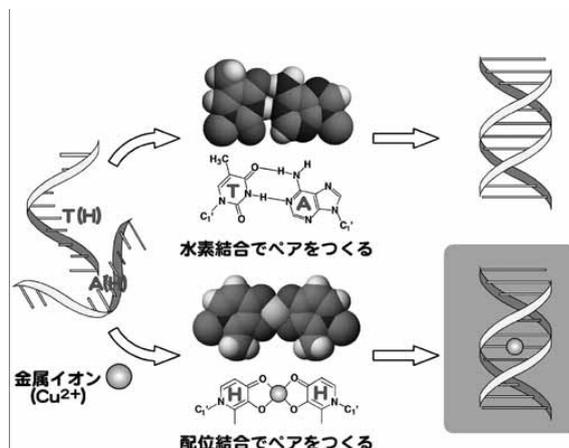


図3 新しい塩基対を使った人工 DNA に銅イオンを組み込んだ新分子

オンを使った「分子電線」である。

DNAは、核酸塩基とリボースという糖からなるヌクレオシドが、リン酸ジエステル結合により鎖状につながった分子である。そして、異なる核酸塩基間の水素結合により二本の鎖が、幅わずか 20 \AA^* の二重らせん構造を形成する。DNAを構成するヌクレオシドは分子数百程度のものであるので、フラスコの中でも自在に作り変えることができるという(図2)。そこで、同教授らは、DNAの塩基対を変えて新しい機能を持った物質を合成しようとした。AとTの代わりに、分子サイズがほぼ同じである金属結合能をもつ人工核酸塩基Hを使い、銅イオンを組み込むというデザインである。核酸塩基Hは1個の銅イオ

ンを挟み込む形で塩基対を作り、二重らせんの中に銅を組み込む(図3)。このHを使った二重らせんには、ひも上の核酸塩基Hの場所を変えることで銅イオンが入る場所をコントロールできる、という利点がある。

この分子の合成方法は比較的簡単である。核酸塩基Hと銅イオンの濃度をきちんと決めて混ぜるだけで、銅イオンが自発的に二重らせんの中に入り込み、しかも収率は100%であるという。構造を調べたところ、合成された化合物は、右巻き二重らせん構造をとっていることが確認された。DNA二重らせんの中に5個の銅イオンが並んでいる推定構造も示された(図4)。将来は「分子電線」としての利用

が期待できるという。

また、同教授らは、「世界最小のボールベアリング」とも言うべき分子の合成にも成功している。この分子は、2枚のディスク状分子が、その間に挟まれてボールの役割を果たす3個の銀イオンを介して、自在に回転できるような構造になっている、ということである^{*3}。

最後に、同教授は、「分子の配列は動きをプログラムする機能性分子を使って、自在に原子や分子を並べ、動かし、さまざまな構造や機能を作り出すことに、これからもチャレンジしていきたい」と抱負を語った。今後も、いままで考えることもできなかった分子が次々に生みだされていくことだろう。

*1 DNA: 1953年、ワトソンとクリックは、遺伝情報をつかさどる物質であるDNAは、小さな分子が寄り集まってできた2本のひもが、二重らせん状により合わさった構造をとっていることを発見した。小さな分子とは、窒素、酸素、炭素、水素から成るアデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)という4種類の分子である。2本のひもの上でそれぞれ向き合うAとT、GとCは、水素原子を挟み込むような形で緩やかに結合し、塩基対というペアを作っている。

*2 \AA (オングストローム):

$1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ 。たとえば、 1 \AA を1cmと考えた場合の1cmは、約1000kmとなり、東京から広島までの距離と同じになる。

*3 ボールベアリングについては、p.16の「化学の未来をかんがえる」に詳しく掲載。

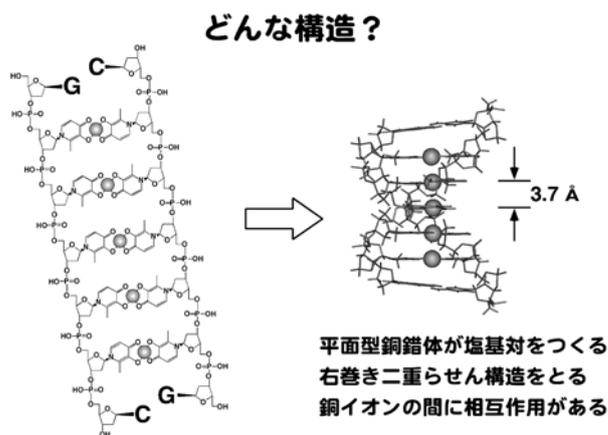


図4 二重らせんの中でひも状に並ぶ5個の銅イオン

タンパク質と核酸の働き

横山 茂之 (生物化学専攻 教授)

生物を構成する、細胞。ヒトでは、その数は一人当たり 60 兆個に上る。細胞は、さまざまな機能を持つタンパク質からできている。一方で、タンパク質の形も多種多様であることが近年の研究からわかってきた。果たして、タンパク質の機能と形には、なんらかの関係があるのだろうか。この問題を追及する生物化学科の横山茂之教授は、その一例として、DNA の修復をする酵素、RNA の合成をする酵素、間違っただけでできた二重らせん構造を壊す酵素について、タンパク質が機能するにはその形が重要な役割を果たしていることを解明。本講演でその詳細を解説した。

形が機能を引き出す

生物の遺伝情報を担うのは、DNA の一部分である遺伝子である。遺伝子はいわば暗号の役割を果たしており、解読されるとアミノ酸になる。アミノ酸の種類は多いが、生体を構成するアミノ酸はたった 20 種類である。このアミノ酸がいくつか結合してできるのが、タンパク質である。

形を見ると、DNA は、2 本の

ひもが二重らせん構造をとりながら 1 次元につらなっているのに対し、タンパク質は、アミノ酸がいくつかつながってできたポリペプチドが、 α ヘリックスと β シートという 2 種類の 2 次構造をとり、さらに 3 次元に折りたたまれた立体構造をとっている。

タンパク質の上には、それぞれのタンパク質独自の働きをになう「活性中心」というくぼみがある。ポリペプチドがまだ折りたたまれない段階では、この活性中心を作っているアミノ酸は、ひもの上で不連続に存在し、何の機能も発揮されないという。つまり、ポリペプチドが折りたたまれて立体構造をとることが、



機能を発揮するために重要なのである。

したがって、タンパク質の機能を知るためには、立体構造の研究が大切である。タンパク質の立体構造を知るには、結晶を作って X 線を照射し、その回折像を解析したり、タンパク質溶液を NMR (核磁気共鳴) によって解析し、得ら

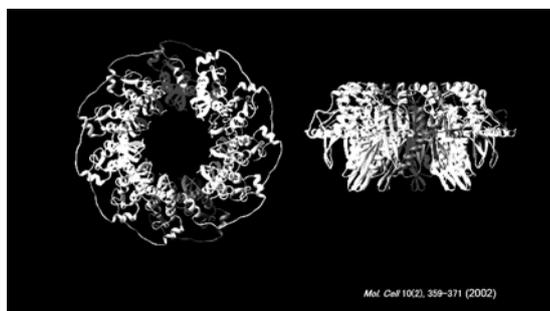


図1 ヒト Rad52。染色体 DNA の傷を修復・保守するタンパク質。二重鎖切断などの重篤な DNA 損傷を修復する際に中心的な役割を果たす DNA 組換え酵素

れたデータを分析したりする方法があるという。

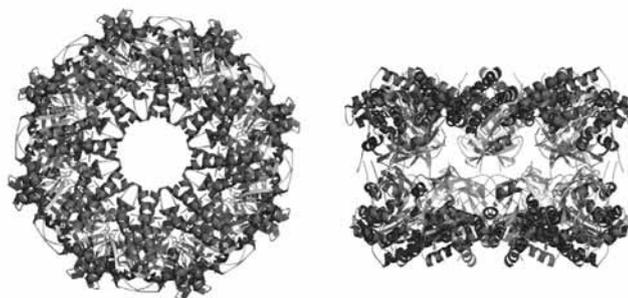
溝の中に DNA を結合して修復する Rad52

横山教授らはこれまでにいくつものタンパク質の構造を決定してきたが、その中から、構造と機能の関係が明らかになった3例についてその概要を紹介した。

ひとつは、傷ついた DNA を修復するタンパク質、Rad52 である。Rad52 は、DNA に結合して、放射線や活性酸素など生体内のなんらかの要因で切断された二重鎖を、相同的対合反応^{*1}によって修復するタンパク質である。

横山教授らは、X 線結晶構造解析を行い、Rad52 は、同じ三次構造を持つポリペプチドが 11 個集まった 11 量体がリングを形成して、まるでキノコのような形をしていることを突き止めた(図1)。また、キノコの傘の外側はマイナスの電荷、内側はプラスの電荷を持っていた。そこでアミノ酸の配列を変えた Rad52 をいくつか作って DNA との結合を生化学的に調べたところ、マイナスの電荷を持つ DNA は、内側の溝の中に結合され、修復されることが確かめられたという。

同教授らは、Rad52 と同じように DNA に結合して働くタンパク質、Dmc1 の構造も明らかにしている(図2)。Dmc1 は、ド



Dmc1は、相同DNA組換え反応において中心的な役割を果たしています。Dmc1の立体構造を解明することにより、今まで不明であった配偶子形成の最も重要な減数分裂期の作用機構の核心部分がわかりました。この成果は、染色体上での遺伝子治療の基礎技術や、農作物や家畜などの品種改良など、医療や産業の分野での応用が期待されます。

Mol. Cell 14(3), 363-374 (2004)

図2 Dmc1 タンパク質のダブルリング構造

ナツが2つ重なったような形をしており、人の生殖細胞(精子や卵子)の減数分裂の際に、真ん中と周囲の穴から DNA が出入りして、組み換えが起きるとい

形を変えて二つの働きを担う RNA ポリメラーゼ

ふたつめは、DNA から RNA を作る酵素、RNA ポリメラーゼである(図3)。

横山教授らが解析したところ、RNA ポリメラーゼは、RNA の転写を開始する σ 因子というポリペプチドと結合してはじめて、RNA を合成し始める仕組みであることがわかった。

この RNA ポリメラーゼには、複数のサブユニットからできているものもあるが、ひとつのサブユニットのみで構成され働いているものもあった。ひとつのサブユニットだけで働いているポリメラーゼは、RNA の合成を開始する形と、合成を継続する形の 2

つを持ち、形をかえることで二つの働きを担っていた。

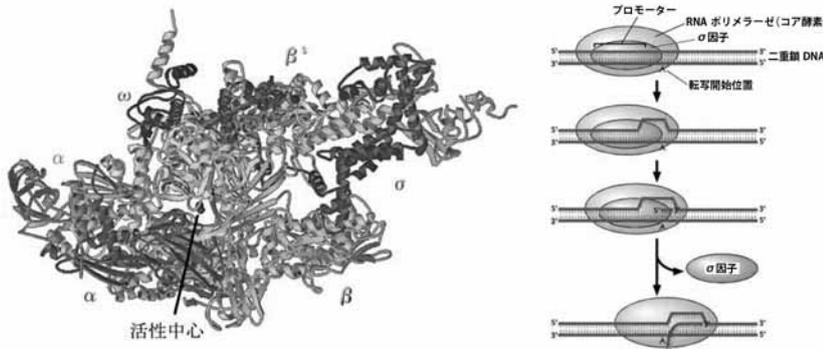
合成を継続する場合、最初 RNA ポリメラーゼは閉じた形をとっていて、触媒部位の外で塩基対が作られている。そして、塩基対ができていることが確認された時点で、途中まで合成されていた RNA がポリメラーゼの内部に入り、塩基対が付加されることも明らかになった。

伸び縮んでらせん構造を破壊する RNA ヘリカーゼ

最後は、らせん構造を壊す酵素、RNA ヘリカーゼである。

RNA が合成される過程で、場合によっては、間違っただけで二重らせん構造が作られてしまうことがある。RNA ヘリカーゼは、RNA の上をモーターのように動いて、この間違っただけでらせん構造を壊すのである。

横山教授らが解析したところ、RNA ヘリカーゼは、2つのドメ



RNAポリメラーゼによる転写は生物の生存・増殖に必須であるため、多くの医薬品の標的酵素となっている。今回決定された立体構造に基づいて、ウイルスや細菌に対してさらに効果の高い新薬の開発が可能になる。また、立体構造に基づいてRNAポリメラーゼを改良し、医薬品などとして利用する様々なRNA分子を効率よく生産することも可能になる。

Nature 417(6890), 712-719 (2002) ホロ酵素
Cell 117(3), 299-310 (2004) ホロ酵素・ppGpp複合体

図3 RNAポリメラーゼ(細菌型)

イン構造から成る。このドメインにATPが結合している場合には、2つのドメインはお互いにくっついた形をとっている。RNA上を動

いていき、らせん構造に行き当たると、RNAヘリカーゼはATPを使ってこれを壊す。ATPが加水分解されると、2つのドメイン

は反発して離れ、ひとつのドメインがレール上の少し先に着地して伸びた形になる。こうして、RNAヘリカーゼは、RNAのレール上を尺取虫のように伸びたり縮んだりしながら進んでいくのである。

以上のように、「たんぱく質は、ダイナミックな形を作ることで、機能を発揮している」と締めくくり、横山教授は講演を終えた。

*1 相対的対合反応：DNAが何らかの理由で損傷・切断されたとき、DNAの二重鎖切断部位と同じ塩基配列を無傷の染色体の中から見つけ出して、二分子の染色体の間でDNAを組み換えるしくみ。

第2部

パネルディスカッション「理学研究って何？」

- | | |
|-------|-------------------------|
| パネリスト | 砂村 倫成 (地球惑星科学専攻 助手) |
| | 本原 顕太郎 (天文学教育研究センター 助手) |
| | 牛腸 徹 (数理科学研究科 助手) |
| | 磯部 寛之 (化学専攻 助教授) |
| 司会 | 須賀 晶子 (生物科学専攻 博士課程2年) |

須賀 今日、理学研究の研究現場でのご苦労や楽しみをお話していただきたいと思います。では、まず始めの質問です。研究を開始する、あるいは進行するにあたって、研究成果の応用を考えると

はありますか。

砂村 以前所属していた研究所では石油分解微生物を研究していたので、座礁タンカーの流出オイル処理という応用面も考えていましたが、東大での研究で

は考えていません。

本原 天文学者は応用については考えていないといっているでしょう。ただ、天文学の研究に使用するための技術は大変水準が高いため、派生技術が他の分野に用いら



れることはあります。

牛腸 数学者も基本的に応用は考えていません。研究の成果が結果的に応用されることはありますが。

磯部 化学的研究も、必ずしも応用を目指しているわけではありません。

須賀 次に、研究のテーマを決めるきっかけは何でしょうか。突然閃くということはあるですか。

磯部 夜中にぱっと閃く、ということはありません。研究の流れは予め練って考えます。問題を追及する中で面白い現象に行き当たり、次のテーマになることがあります。

本原 天文の場合も、観測している中で新しい発見があり、それを追及していくことが多いです。

須賀 研究分野を決めたきっかけはなんでしたか。

牛腸 最初から数学者になろうと強く思っていたわけではなく、大学2年生までは物理を専攻しようと考えていましたが、実験が苦手だったので数学に進みました。しかし、数学も始めてみると面白い分野でした。

砂村 僕はもともと小さい生き物が好きで、顕微鏡でよく観察していました。大学に進み、変わった代謝系を持つ微生物の研究をしようと決めました。

本原 私の場合は、中・高校と所属していた科学部の友達の影響もあって、天文学、宇宙論・素粒子論に興味があったこと、手を動かして装置を開発するのが好きなこ

と、などがきっかけでした。面白そうだと思う方向に自然に進んできたという気がします。

磯部 私の場合も、絶対化学者になると思っていたわけではありません。自分が好きだと思うことが積み重なった結果、今の選択があるのだと思います。

須賀 研究されている中で、面白いと思うことはどんな点ですか。

本原 「おお」と思う瞬間が一番面白いですね。たとえば、私の場合、スバル望遠鏡にファーストライトを入れ、星を始めて観測し、小さいながらも高品質の画像が取れたときはとても感動しました。

牛腸 「おお」と思う瞬間については、数学が一番答えやすいかもしれません。ユークリッド幾何学などでは、線を一本引いただけで解答が得られることがよくあります。数学の場合、今まで自分がわかりかけていたことがゆるぎない知識になったと思う瞬間があります。それは、実は数学という学問が、最も簡単でクリアになりそうな問題だけ取り出して研究している分野であるせいもありますが。

磯部 化学の場合、思っていたように反応が進む場合は、「自分はこの反応の原理を理解していたのだな」と感心することがありますが、思いがけない反応が進んだときのほうが感動は大きいですね。

砂村 顕微鏡で、美しい対象を観察できたときはうれしいものです。そしてそれが、自分が予想していた結果だったときには、さら

に感動します。逆に、全く予想しなかったことが起こり、その原因を考えるのも面白いです。

須賀 フロアからなにか質問はありますか。

フロア 東大の駒場生ですが、3年進学時に行われる進学振り分けに向けて、特別な準備はしていましたか。

本原 私は大変心配していて、1、2年生の時はよく勉強しました。しかし、今は、必要が生じた際に勉強すればいいとも思います。

砂村 学科の選択についてアドバイスできることは、学科の知名度やかっこよさといったことに捕らわれなければ、似たようなことを研究している学科は、実は複数あるということです。自分のやりたいことさえはっきりしていれば、方法は探せばあります。

フロア 私は環境問題に興味があります。広く勉強しないと問題解決できない分野だと思いますが、苦手な学科も選択しなければならぬのでしょうか。

磯部 環境の研究をする際にどういう知識が必要かということを踏まえたうえで勉強するといいでしよう。また、ひとつ自分の得意な分野をもつ、武器を持つことが非常に重要です。それは境界領域の研究をする際も大事なことです。

司会 以上で、パネルディスカッションを終了いたします。最後までご清聴いただき、ありがとうございました。

*文責・構成：岡田 小枝子(広報室)

生物情報科学学部教育特別プログラム公開シンポジウム

バイオインフォマティクス教育の現状と課題

—新しい教育システム“ダブルメジャー”に向けた試み—

—— 南 康文（生物情報科学学部教育特別プログラム 特任教授）

生物情報科学・バイオインフォマティクスの学部教育を行なうことを目的として生物情報科学学部教育特別プログラムが文部科学省科学技術振興調整費により理学部に設立されたのは平成13年度ですが、昨年、有識者による中間評価ヒアリングにおいて高い評価を得ると共に今後の継続が決まりましたので、一つの区切りとして、これまでの成果を学内外に広く知って貰うことを目的とした公開シンポジウムを開催しました。同時に、新たに生物情報科学科を設立しようという理学部を中心として全学的に推進されている取り組みを紹介するという趣旨から、「バイオインフォマティクス教育とダブルメジャー」と題するパネルディスカッションが行なわれました。詳細は生物情報プログラムのHPで紹介されていますのでご覧下さ

い (<http://www.bi.s.u-tokyo.ac.jp/japanese/symposium.html>)。

ここで、バイオインフォマティクスについて簡単にお話します。この学問分野はゲノムプロジェクトという目標に向けて生命科学と情報科学が集約されて生まれましたが、その大きな成果は、ゲノム解読という当初の目標達成により歩みを止めることを許さず、むしろ当然の帰結として、バイオインフォマティクスが更に深くかつ広く生命現象の解明に関わることになりました。その結果、生命科学と情報科学の融合を超えて新しい学問分野として生まれ変わり、生命科学の研究全体を大きく変革する潮流となりつつあります。20世紀が、生命を物質（分子）として捉えることにより分子生物学の花を開かせたように、21世紀には、生命を情報として捉え直すバイオインフォマティクスが生まれ

ようとしています。そして、バイオインフォマティクスは、基礎科学としての確立と同時に、医学、薬学、農学、工学との連携を通じて医療や産業などの応用分野への浸透も期待されており、それらを担う人材の育成が強く求められ、生物情報プログラムが設立されました。

さて、シンポジウムは平成16年7月27日（火）午後1時から農学部弥生講堂において開催され、関係者など約130名が参加しました。最初に本プログラム



協議会議長である岡村定矩理学系研究科長・理学部長による挨拶の後、プログラム実施委員長の高木利久教授と教務担当の南康文特任教授から本プログラムの設立趣旨と実施概要、教育及び研究の成果がそれぞれ紹介されました。次いで本プログラムの大きな目玉である生物情報科学実験 1 及び 2 を、実験責任者の高橋史峰特任助手と瀬々潤特任助手が紹介されました。その後、参加者に講義を体験して貰おうと、萩谷昌巳教授による「情報システム概論」の講義の様子が録画ビデオにより披露されました。次に、程久美子特任助教授と森下真一教授が共同研究について講演し、学術的成果と学生同士の交流に始まる経緯が紹介されました。

休憩を挟んだ後半は高木利久プログラム実施委員長の司会によるパネルディスカッションが行なわ



れました。最初に三井情報開発常務取締役の江口至洋氏と東京医科大学臨床プロテオームセンター長(現・Sheffield 大学教授)の藤田芳司氏から産業界が求めるバイオインフォマティクスの人材像についての講演があり、次に本プログラム教員の西郷薫教授と萩谷教授がそれぞれ生命科学と情報科学の立場から、東京大学の目指すべきバイオインフォマティクス教育について講演しました。そして昨年

度誕生したばかりの第一期修学生 20 名を代表して高山順さんと洪淳祥(ホン・スンサン)さんから履修の体験談が披露された後、パネルディスカッションに入り、バイオインフォマティクス教育の重要性が確認されると共に、本プログラムの存在意義と新学科設立の必要性が共通認識としてクローズアップされました。最後に、工学系研究科教育プロジェクト室の吉田眞教授からダブルメジャーに関する世界的動向についての講演があり、それを受けた形でパネルディスカッションが行なわれました。フロアからの質問や意見もありましたので大いに盛り上がり、予定時刻を過ぎても熱心な議論が繰り広げられました。



オープンキャンパス 2004：理学部の取り組み

岡野 俊行（生物化学専攻 講師）

去る8月2日（月）、3日（火）に全学オープンキャンパス2004が実施されました。8月2日の本郷キャンパスの公開では、各学部が独自のキャッチフレーズのもとに高校生の見学者を募りました。理学部では、「自然を科学して発見・創造する物語に出会う1日」というキャッチフレーズのもと、6専攻と情報科学科、さらに3つのセンターならびに施設、のべ45グループに協力を頂き、無事公開を終えることができました。なによりもまず、準備・実行にお手伝い頂きました公開研究室の皆様、実行委員・広報委員の

諸先生方、事務部庶務係・理学部広報室の方々、ならびにアルバイトの大学院生の方々にはこの場を借りて御礼申し上げたいと思います。

さて、例年より理学部では、多くの研究室の方々にオープンキャンパスにご協力いただきお入り、その甲斐あって、昨年より自由見学方式が実現されました。これは、講堂での講演会のように見学者に対して一方的に情報を流すのではなく、見学者ひとりひとりがパンフレットをたよりに見たい公開場所を自由に巡って行き、説明者（研究室スタッフや大

学院生）と直接対話しながら説明を聞くことができる画期的な方式です。昨年の見学者のアンケート結果において、この方式が好評だったため、広報委員会での本年度オープンキャンパスの企画にあたって自由見学方式を基本として大勢の見学者を招くことにしました。また、自由見学方式には欠かすことのできない理学部案内パンフレットも、昨年度苦勞の末に完成いただいたものをお手本に改訂版を作製し、当日見学者全員に配布しました。これによって、見学者各自の興味のある研究がどこで公開されているの



かを一目で把握することができたと
 と思います。公開する内容は各研
 究室に一任しておりますが、当日
 はパネルやパワーポイントを用い
 た研究内容の説明に加え、実験機
 器の展示やアニメーション、ある
 いは実験室の見学など、各研究室
 が独自の工夫を凝らしたデモンス
 トレーションに時間を裂いていた
 だけ、見学者の評判も上々だった
 ようです。

このように、本年度のオープン
 キャンパスは基本的には昨年度の
 形を踏襲しました。しかし、昨年
 度の反省点と今後への試みを含め
 て、2点ほど変更を行いました。
 第1点目は、昨年よりも受け入
 れ人数を増やしました。昨年度は、
 本郷キャンパス全体で受け入れた
 高校生1200名のうち400名を
 理学部が担当しましたが、本年度
 はこの枠を460名（前半後半各
 230名）に広げました。その結
 果、欠席者を除いた当日の参加者
 数も400名を越え、他学部と比
 較しても名実ともに最大人数を受
 け入れたことになりました。第2
 の変更点は、公開場所をなるべく
 近くにまとめ、建物間の移動を容
 易にしました。本郷キャンパスに
 おける理学部の配置上いたしかた
 ない面もありますが、昨年度まで
 は公開場所が4カ所以上に分か



れていました。そのため建物間の
 移動が煩雑になり、限られた時間
 内に希望の研究室をすべて見学で
 きなかつた可能性がありました。ま
 た、建物間の誘導にもアルバイト
 人員を多数必要でした。そこで
 本年度は、5号館および3号館に
 おける公開をやめ、その代わり新
 1号館内の教室や会議室を活用し
 てそれぞれの学科に公開してい
 だきました。その結果、1号館を
 中心とするエリア（化学各館、4
 号館、7号館を含む）と2号館エ
 リアの2カ所に公開場所を絞るこ
 とができ、アルバイトによるガイ
 ドを効率的に行うことができたた
 め、移動による見学者のストレス
 も半減したのではないかと期待し

ています。マイナス面として、地
 球惑星科学専攻（5号館）と生物
 化学専攻（3号館）の公開研究
 室の方々には、場所の確保から準備
 や移動にこれまで以上に時間を
 費やしていただくことになり、ま
 た、研究機材を公開できない等の
 不都合もあったかと思えます。し
 かしながら、トータルして考えま
 すとプラス面が大きかったので
 はないかと感じています。

東京大学全体のオープンキャン
 パスにおける新しい取り組み
 として、例年どおりの本郷キャン
 パスにおける公開に加えて本年
 度から、大学本部による新しい企
 画がいくつか設定されました。こ
 れらの企画は、2日目の駒場キャ

ンパスの公開と並行して行われました。それぞれの企画の詳細はここではご報告いたしません、なかでも、学部学生が企画する学生企画の一つ「理系研究者コース」については、本学部内のいくつかの研究室の方々にご協力いただきました。学生企画では、本学の学部学生が数人の見学者（高校生）をつれて公開研究室を廻り、学生生活や研究内容について大学院生（またはスタッフ）から直接話しを聞きながら交流することができました。1研究室あたり約1時間の公開を4回行い、見学者は4つの研究室を見学しました。

学生企画で公開いただく研究室は、実行委員を通して全研究室に希望を募りましたが、理学部では1日目にも自由見学方式にしていることや、企画の立案が遅れて時間的余裕がなかったことにより、「どちらの日に公開すればよいのかわからない」、「両日公開するのは負担が大きすぎる」といったご批判もあったかと思えます。実際には、1日目に機器を公開できなかった地球惑星科学専攻・生物化学専攻の一部研究室に学生企画にまわっていただき、あるいは1日目のポスターを流用して2日目も公開いただくことによって、数十名の見学者を無事受け入れることができました。

この新しい取り組みに対する大学全体における評価はまだ報告されておりませんが、初日に自由見学にしていない学部には特に、見学者との蜜な交流ができる点において意義深かったのではないかと思います。私自身、見学に訪れた10名ほどの見学者と個別に話をする時間を持つことができました。高校1、2年生が多く、研究内容を深く理解できるほどの予備知識はまだ持っていないようでしたので、それなりの説明の仕方を考える必要を感じました。また、個人による興味や熱意に若干の温度差が見受けられるものの、何人かは日本全国各地から夜行バスを使って上京、オープンキャンパス終了後にその日の夜行バスで帰郷するといった強行軍を覚悟

で参加していました。彼らのうち一体何人が実際に本学を受験し、また何人が実際に入学するかは不明ですが、一人でも多くの高校生がこれを機に「理学」に目覚め、将来を支える科学者・研究者を目指してくれば、と願う限りです。

以上、両日含め、ご協力いただきました皆様に重ねて御礼申し上げますと共に、何かお気づきの点、ご批判などございましたら遠慮なくご連絡ください。ひき継ぎ事項として来年度のオープンキャンパスにフィードバックしたいと思えます。どうもありがとうございました。



連載シリーズ「望遠鏡ものがたり」

望遠鏡ものがたり 5

天の川銀河の地図を作る

— 60cm サーベイ望遠鏡 —

半田 利弘（天文学教育研究センター 助手）

天体望遠鏡と言えば「どうやって覗くの？」という質問がすぐに出る。しかし、研究用の望遠鏡には「覗くところ」はない。天文学研究用の望遠鏡は、天体を対象とする測定装置だからである。測定装置であるからには、手段は可視光に限らない。我々が建設・運用している 60cm サーベイ望遠鏡も、観測手段は電波である。

地球が太陽の周りを巡る惑星の 1 つであることは周知の事実であるが、宇宙では太陽に類した恒星が多数集まって銀河と呼ばれる天体を構成している。そのなかで、太陽系を含む銀河は天の川銀河と呼ばれ、地球上からは天の川として、その姿を見ることができ、天の川銀河には 2000 億個の恒星が属していると言われているが、恒星以外にもいろいろな存在

形態の物質を含んでいる。その 1 つが星間ガスである。星間ガスは電波輝線を放射しているので、それを検出することによって星間ガスの分布や状態を知ることができる。これが電波で観測する理由である。特に、60cm サーベイ望遠鏡の場合、既存のデータも含めて複数の輝線を観測し、それを比較することで、星間ガスの密度分布を知ることが最大の目標である。

最も身近にある銀河でありながら、天の川銀河の全貌はなかなか知ることができない。実は、我々自身がその内部にいること自体が、かえって観測を困難にする理由ともなっているのだ。天の川銀河は大雑把に言って、薄い円盤状に物質が集中している構造をしている。このため、同一方向に様々な距離の天体が重なって見えてい

る。例えば、天の川銀河の中心方向は、いて座の方向にあるが、星座の星として肉眼で見える星がせいぜい 1000 光年程度までの距離。これに対し、銀河の中心までは 2.6 万光年もある。個々の天体までの距離の見積もりができなければ、天体の規模も分からず、その実態をモデル化することはできない。なにより、どれが「個々の」天体なのかを識別することさえ不可能となる。天文学では地球からという 1 つの方向からしか対象を観測することができない。このため、距離の見積もりと天体の性質の解明とは相互に絡み合いながら進んできた歴史がある。星間物質については、この点では未解明の部分が多く、対象までの距離やガスの場所ごとの違いを調べることは、そう容易ではない。

星間ガスの密度と銀河構造との関連を知ることは、長年の課題であり、天の川銀河全体での密度分布を3次元的に描き出すことが我々の夢である。天の川銀河は、最も身近であるために、部分部分は詳細に観測できるのだが、それと全体像との関連がなかなかはっきりしない。この関係を明確に示せば、他の銀河で見られる特徴をよりミクロな過程の理解に基づいて説明することも可能となる。天の川銀河の全体像がつかめてこそ、建設が開始されている次世代大型電波望遠鏡ALMAで明らかにされる他の銀河の詳細観測が活きるのである。

ところで、60cm望遠鏡という名は、その口径が60cmである

ことによる。日本には45m電波望遠鏡もあるし、すばる望遠鏡が口径8mを誇っているのは小学生でも知っているだろう。それに比べれば60cmのアンテナなど取るに足りないほど小さい。家庭用の衛星放送アンテナ程度のサイズしかない、こんな望遠鏡で何ができるのかと訝しむ方も大勢いることだろう。そのポイントは視野にある。

望遠鏡の性能を決めるのに重要なパラメータに、角分解能と集光力がある。この2つは、いずれも口径が大きいほど高い能力を達成しうる。一方で、広い範囲を観測対象とする場合、同時に観測できる範囲がどの程度であるか、つまり、視野がどの程度広いかも大きなポイントである。しかしなが

ら、大口径の望遠鏡ほど広い視野を確保することが困難になる。特に、電波望遠鏡の場合、未だに主流の受信機は同時に1画素しか観測できないため、角分解能と視野とは事実上一致してしまう。ところが天の川銀河の場合、その広がりには全天にわたる。したがって、その全体像を知るためには広い視野で能率良く観測する必要が出てくる。サンプリングを粗くすることで手っ取り早く結果を出す場合もあるが、それでは実質的な分解能がサンプリング間隔以下になってしまい、知りうることに限りがある。視野とマッチしたサンプリング間隔で全天を漏らさず観測することが肝心である。

60cm望遠鏡による天の川銀河のサーベイは建設以来の課題であ

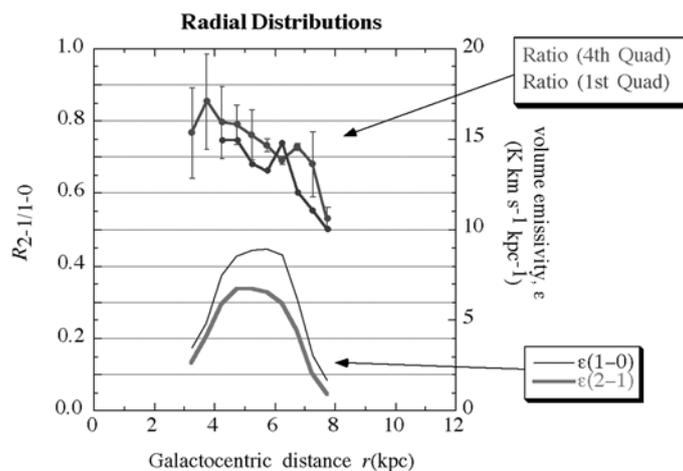


図1 60cmサーベイ望遠鏡の結果の1例。2つの輝線の強度比を測ることで、天の川銀河の中心からの距離によって星間ガスの性質が変化していることがわかる。この輝線強度比の変化は主に星間ガスの密度の違いを反映している

るが、昨年まで使用してきた受信機では予定通りの感度が達成できず、残念ながらサーベイは未だ完了していない。これを改善するために、現在、大阪府立大学宇宙物理学研究室との協力で受信機を新型に換装中である。これが完了すると、受信機の感度が向上するばかりでなく、2つの周波数で同時に観測可能となる。これによって観測能率が著しく向上し、数年以内に念願のサーベイを完了できると期待している。

有名な大型望遠鏡が国際共同利用であるのに対し、60cm望遠鏡は単一研究室の専用装置であり、観測テーマも絞り込まれて

いる。このため、技術開発的な要素にも柔軟に取り組むことができ、大規模で複雑な望遠鏡システムを構築する際のテストベッドとしても利用できる。例えば、望遠鏡の制御と観測の自動化がその1つである。システム全体の制御ソフトを全て自主開発したこともあり、裏も表も通じているのは、大規模システムとなってしまう大望遠鏡では経験できない。これまでも問題点が生じると柔軟に対応し、機能拡張を図ることができた。受信機換装前には、長野県野辺山に設置されている望遠鏡を東京都三鷹市の研究室から遠隔制御して観測していた実績もある。

ここで培われたノウハウは、すばる望遠鏡の一部にも導入されつつある。

観測対象が全天に広がっているために、日本からの観測ではすべてを観測することができない。そこで、60cm望遠鏡の同型機を製作し、南米チリに持ち込んでいた。3年ほど観測を続けていたが、残念ながら受信機が壊れてしまったために現在は運用休止中である。日本の望遠鏡で新型受信機が性能を発揮することが実証できた暁には、ぜひ、同型受信機をチリの望遠鏡にも搭載し、捲土重来を期したい。



図2 南米チリに設置してある60cmサーベイ望遠鏡

連載シリーズ 「化学の未来をかんがえる」

化学の未来をかんがえる 4

生体ナノマシン

—生物から学ぶ分子設計—

塩谷 光彦 (化学専攻 教授)

私たちが日常生活の中で頻繁に利用しているマクロスコピックなマシンと、生体内に見られるナノサイズのマシンは、大きさだけでなく作り方が異なる。前者は通常、大きな固体材料を微細加工してサイズダウン的に作られるのに対して、後者は、原子や分子を最小構成単位としてボトムアップ的に作られた、ナノメートルサイズ ($10^7 \sim 10^9$ m 程度) の分子やその集合体を指す。また、エネルギー源についても、前者は電気やガソリンを使うのに対して、後者は (光) 化学反応や水素イオンの濃度勾配などが駆動力となったりする。

近年、ナノサイエンスを指向した物作りの手法としてボトムアップ方式が脚光を浴びているが、原子や分子を任意の空間に適切に配置し目的の機能を発現させることを目指している化学の領域においても、達成されていることはまだ初歩の段階である。これに対して、

生物に見られる核酸やタンパク質、多糖などの生体高分子は、整然とした階層性をもとに、ビルディングブロックとなるヌクレオチドやアミノ酸、単糖の厳密な配列化により、ユニークな高次構造を形成し、高い機能を発現している。このような生体高分子の特異的な折りたたみ構造やこれらの集合構造と機能の関係を理解することは、人工的にナノマシンを作るためのヒントを得ることに通じる。

例えば、生体分子モーターと呼ばれている ATP 合成酵素の膜内存在部分であるモーター部分は、プロトンの電気化学ポテンシャルによるプロトン流を利用して回転することが、本学の野地らの研究により明らかにされている。このモーター部分は、単独で ATP を加水分解し回転トルクを発生する。このようなトルク発生機構の理解のために、回転子と固定子間の回転ポテンシャルが、ATP 加

水分解に伴ってどのように変化するのか、大変興味深いところである。

このような分子でできた回転運動素子は、多くの合成化学者の注目を集めてきた。近年、金属配位結合を利用した分子運動素子の開発が進められている。金属イオンは、それぞれ特有の配位様式をもつため、配位子との組み合わせにより多様な構造モチーフを与える。そればかりでなく、配位結合の可逆性は、並進や回転といった分子運動も可能にし、金属イオンに結合した配位子の相対的な位置の変化や、金属 - 配位子間の結合さえも組み変えるようなダイナミックな変化を引き起こすことができる。このような金属 - 配位子交換反応の特性を、分子運動素子の基本動作として利用する研究が報告されつつある。例えば、金属イオンの配位数変化を利用して、筋繊維のように伸縮する分

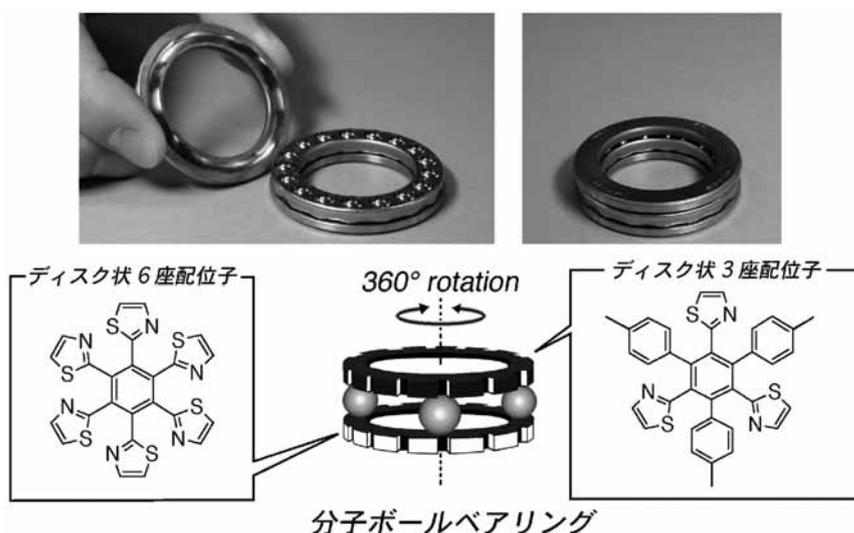
子 (molecular muscle) が作られた (J.-P. Sauvage *et al.*, *Acc. Chem. Res.*, **34**, 477 (2001))。また、一つの金属イオンが二つの環状多座配位子にはさまれたサンドイッチ型金属錯体が、金属イオンを介した上下の配位子の相対回転運動を可能にすることも示されている。例えば、一つの Ce^{4+} イオンが二つのポルフィリンにはさまれたポルフィリンダブルデッカー型錯体では、窒素原子と金属イオンの間の配位子交換により、上下のポルフィリン環が自由に相対回転できる。Ce の酸化数 (III \leftrightarrow IV) を変化させることにより、上下の環の相対回転速度を制御することも可能だ (T. Aida *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, **122**, 7291 (2000))。

筆者らとはごく最近、複数の金属

イオンの協奏的な金属 - 配位子交換反応を利用して、世界最小の分子ボールベアリングを作ることになった (下図)。複数の金属イオンが二つの金属配位子にはさまれたサンドイッチ型錯体において、上下の配位子が自由に相対回転できるようにするには、すべての金属イオンが協奏的に金属 - 配位子交換できる必要がある。このようなしくみを、六つのチアゾール環をもつディスク状6座配位子と三つのチアゾール環をもつディスク状3座配位子、および三つの Ag^+ イオンを用いて構築した。 Ag^+ イオンはボール、ディスク状配位子はベアリングと見なせる。三つの Ag^+ イオンは、3座配位子の三つのチアゾール環窒素と、6座配位子の六

つのチアゾール環窒素のうちの三つに一つおきに結合し、上下の配位子を3点で連結する。二つのディスク状配位子は、分子内の金属 - 配位子交換およびフリップ運動の組み合わせにより、自由に相対回転できる (S. Hiraoka, M. Shiro, M. Shionoya, *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 1214 (2004), highlighted in *Nature*, **427**, 597 (2004))。この分子ボールベアリングとも言える分子は、室温で最高 8000 回転/秒の速さで回転できる世界最小 (直径 1.4 nm、厚み 0.7 nm) の多核金属錯体型の回転運動素子である。

今や、分子の動きをデザインする段階に到達しつつある。



連載シリーズ 「the ってどういう意味？」

2. the は相手が知っていることを表す

トム・ガリー（翻訳家・辞書編纂家、化学専攻・化学英語演習講師）

the は、英語でもっとも頻繁に使われている単語だけあって、一つだけの意味があるわけではない。辞書で the の定義をわざわざ調べる人は少ないと思うが、引いてみたら十数以上の語義が載っているのだ。しかし、ここで検討したいのは the のさまざまな特殊な意味ではなく、もっとも基本的な意味、多くの辞書で第1語義として説明されている意味だけである。

the の基本意味は次のように説明できる。

【the は文脈、状況、既存知識などから相手がそれと分かる名詞に付ける単語である】

今回は、「文脈、状況、既存知識など」のそれぞれについて説明したい。

まず、「文脈」というのは、同じ文章や会話の中に出ている言葉や叙述だと考えればよい。例えば、科学論文の冒頭に次の文があったとしよう。

In this study, we examined a colony of bees.

（この研究では、ハチの群を調べた。）

これは論文の書き出しなので、読者はまだどのハチの群が調べられたか分からない。言い換えれば、ハチの群についての文脈がないのである。そのため、the colony of bees ではなく a colony of bees となっているのだ（a はふつう、読者や聞き手がどれか分からない単数名詞に付ける）。

そして、次のセンテンスで、a は the になる。

The colony was on an island in Okinawa Prefecture, Japan.

（その群は、日本の沖縄県の島にあった。）

読者が前のセンテンスという文脈からどの群なのか分かるようになったから、a colony ではなく the colony と書く（ただ、沖縄県のどの島なのか、読者にはまだ分からないから an island となっている）。例外もあるが、この「一回目は a、二回目以降は the」は the の基本的なルールの一つだ。

文脈の他、どういうものが指されているかは「状況」で分かることもある。その場合も the を使う。「状況」にはいろいろあるが、科学論文の場合は図、表、写真などは「状況」の重要な部分と言える。

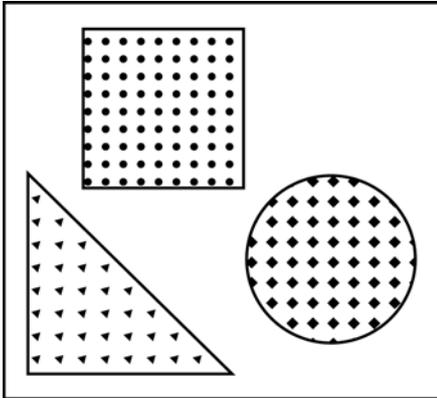


Fig. 1 Three shapes.

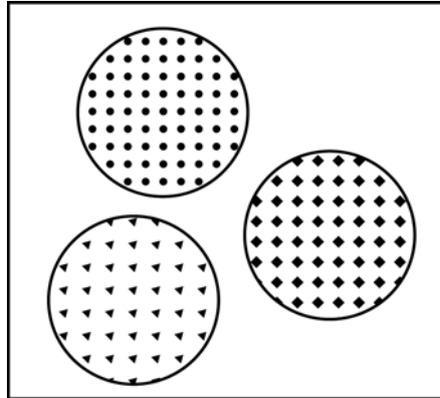


Fig. 2 Three circles.

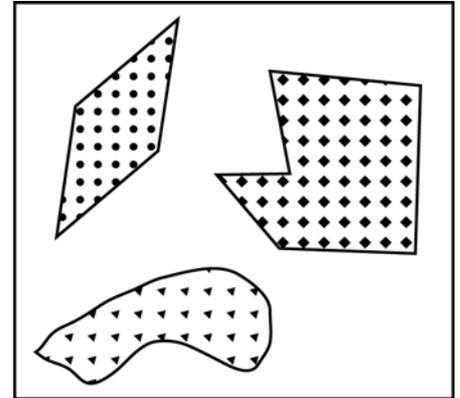


Fig. 3 Three shapes.

例えば、人間がどのように丸や四角という形を知覚するかについての論文には、次のような文と図が考えられる。

In this study, we first examined the circle shown in Fig. 1.

(この研究では、まず図1で示す丸を調べた。)

circle という単語はこの論文で初めて出ているかも知れない。それにも関わらず、the circle となっているのはなぜだろう。それは、図1には一つの丸しかなく、読者はどの丸が指されているか分かるからだ。

図2の場合は、どうなるだろう。もし、

Next, we examined the circle shown in Fig. 2.

と書いたら、読者は混乱するだろう。なぜなら、図2には三つの丸が見えて、どの丸が指されているか分からないからだ。ここでは、circle が単数であることは重要な意味を持っている。しかし、

Next, we examined the circles shown in Fig. 2.

と書けば、図2の三つの丸すべてが指されていると分かるから、混乱は起こらない。

その時その時の文脈や状況の他、読者や聞き手が以前から持っている知識も冠詞の使用に影響する。例えば、次のように circle の代わりにもっと珍しい言葉を使ったらどうなるだろう。

Finally, we examined the rhombus shown in Fig. 3.

rhombus は「ひし形」の意味だが、この単語を知らない人は少なくないと思う。論文の対象読者は rhombus のような専門用語を知っている人ならそのまま構わないが、もっと一般的な読者が対象だったら、Finally, we examined the rhombus shown in Fig. 3. (The rhombus is the shape with four sides of equal lengths.) など、rhombus の意味を説明しなければならない。

以上のように、the は「相手が文脈や状況、または既存知識で分かること」を表すことが多い。「相手が常識で分かること」を表す場合もあるが、それは次回から説明したい。

ベールを脱ぐ理学部Ⅱ期棟

利根川 伸一（施設係 係長）

8月の後半、弥生門を入ると朝日に輝くⅡ期棟に出会う、北側の足場がはずれ序所に姿を見せる建物は、何かわくわくさせるものがある。Ⅰ期棟に比べると背はちょっと低いけどどっしりとしていてなかなかいい。

さて、昨年の3月に工事着工した理学部のⅡ期工事も早、18ヶ月が経過し、現在約75%程度完了しています。

工事も無事故、無災害で順調に進んでおり現在、地下2階から、地上8階までの仕上げ工事もほぼ完了し、難工事であった既存棟と各階渡り廊下の接続も終わり、新築棟への通行も出来る様になっています（工事中は入れません）。

8月の中旬より外部足場の解体に入り、9月中旬頃には建物の外観が南面の一部を除き周囲に姿を

現します。

7月26日にはノーベル賞受賞の小柴昌俊先生と2階のニュートリノをイメージしたレリーフを製作した陶芸家、藤原郁三先生が2階の大会議室（小柴ホール）、ラウンジを見学され、大変喜ばれ施設部長はじめ工事関係者への労いのことばもいただきました。

工事関係者も完成までしっかりがんばろうと新たな誓いを立てました。

Ⅱ期棟にはⅠ期棟にない図書

室、会議室等が計画され、完成後はⅠ期棟と渡り廊下で往来することができます、将来的にはⅢ期棟も計画されていますが、今回のⅡ期棟については理学部の中核となるべき位置と機能を兼ねた建物になると思います。

これから理学部サイドも附帯設備工事、備品の契約、引越しの調整、今後の運用計画等まだまだ、やらなければならないことが、山積みです。どうか皆様のご協力をよろしくお願い致します。



第6回公開講演会が開かれます

今回のテーマは『宇宙への情熱』です。皆様のご来場をお待ちしております。

- ▶ 日 時 平成16年12月3日（金）18：00 - 20：00
- ▶ 場 所 東京大学安田講堂
- ▶ 講演者 土井隆雄（宇宙航空研究開発機構 宇宙飛行士）
佐々木 晶（地球惑星科学専攻 助教授）
佐藤勝彦（物理学専攻 教授）

あとかき

理学系研究科・理学部ニュース 36 巻 3 号をお届けします。先日行われました第 5 回公開講演会の内容について大きく取り上げさせていただきました。オープンキャンパスを含め、こうした一般の人たちに東京大学がどのような研究をしているかを知っていただくことは、単に社会への責任・情報発信というものではなく、国全体の学問レベルの底上げに貢献していくことになればよいと考えています。また、我々にとっても世の中のニーズを知るきっかけともなり得ます。今後とも、皆様方のご協力をお願い申し上げます。

また、新 1 号館のⅡ期工事についてのお知らせも掲載しています。工事期間はご面倒をおかけすることもあるかと存じますが、ご協力お願いいたします。なお、研究室探訪は夏期休暇のために今号ではお休みとさせていただきます。次号から復活の予定にしています。

米澤 徹（化学専攻 助教授）

第 36 巻 3 号

発行日 2004 年 9 月 20 日

発行 東京大学大学院理学系研究科・理学部

〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

email kouhou@adm.s.u-tokyo.ac.jp

編集：理学系研究科広報委員会

牧島一夫（物理学専攻）maxima@phys.s.u-tokyo.ac.jp

佐々木 晶（地球惑星科学専攻）sho@eps.s.u-tokyo.ac.jp

真行寺千佳子（生物科学専攻）chikako@biol.s.u-tokyo.ac.jp

米澤 徹（化学専攻）yonezawa@chem.s.u-tokyo.ac.jp

鈴木和美（庶務係）ksuzuki@adm.s.u-tokyo.ac.jp

岡田小枝子（庶務係）s-okada@adm.s.u-tokyo.ac.jp

HP 担当：

名取 伸（ネットワーク）natori@adm.s.u-tokyo.ac.jp

HP & ページデザイン

田中一敏（ネットワーク）kazutoshi@adm.s.u-tokyo.ac.jp

印刷・・・・・・三鈴印刷株式会社



2004 年度オープンキャンパス

8月2日に本郷キャンパスでオープンキャンパスが開催されました。



▲ 1号館前で資料の配布を受ける参加者



▲ 天文写真を見入る参加者



▲ 研究室で行われた講演は満席

