



京都大学 総合人間学部 広報

特集 総人で行われている実験—日常との接点—

視覚科学研究における実験.....	齋木 潤	2
光る宝石を作る	田部勢津久	6
オンゲストロームテクノロジー	玉田 攻	9
微細藻類に石油を作らせる	宮下 英明	12
だるまさんがころんだ	宮本 嘉久	15
脈拍の“ゆらぎ”と健康.....	森谷 敏夫	18

研究・教育活動紹介

お説教と環境問題	浅野 耕太	21
電池・燃料電池	内本 喜晴	22

特集

総人で行われている実験—日常との接点—

さまざまな分野での研究が共存しているのが総合人間学部の特色です。実験についてもいろいろと興味あるものが行われています。今回は日常との接点という視点でその内容をわかりやすく解説していただきました。

視覚科学研究における実験

齋木 潤 (認知情報学系)



最近「専門分野は何か」と聞かれると「視覚科学」と答えるようにしています。視覚科学というのは少し耳慣れない言葉ですが、*Vision Science* という視覚科学の本格的

な教科書を執筆した Palmer 教授の言葉を借りれば「認知科学の一下位分野であり、認知科学の中で最も成果が上がっているものの一つ」ということになります。「認知科学」の一部門なので、既存の学問分野を横断して、様々な手法を組み合わせることで研究を進めていきます。中核となるのは心理学、特に心理物理学と呼ばれる分野、神経科学、とりわけ神経生理学と機能的脳イメージング、計算論的モデリングですが、認知心理学、発達研究、なども注目されています。

視覚科学のような比較的若い分野の特徴として、実験研究と理論研究の分化があまり進んでいないことが挙げられます。例えば、物理学などでは、理論をやる人はひたすら理論、実験をやる人はひたすら実験というイメージがありますが、視覚科学では、それでは研究になりません。これはひとえにまだわかっていないことが多すぎることによ

るのですが、視覚科学の研究では、自分が研究している問題に関する理論的な考察とそれを検証するための実験を常に並行して進めていくことが求められています。

われわれの研究室で行なっている研究の1つに、ヒトが視覚的な情報を短期間保持するメカニズムに関するものがあります。最近の「定説」としてヒトは4つ程度の物体情報であれば同時並列的に保持できると言われています。ここで「物体」とは、物体が持つ様々な知覚特徴（色、形態、大きさ、テクスチャなど）がきちんと組み合わせられた状態を意味します。この定説の根拠となっている実験は次のようなものです。複数の知覚特徴からなる物体が複数個呈示された画面を短時間（0.1秒くらい）呈示し、その後1秒程度のブランクの後に2枚目の画面を呈示する。2枚目の画面は、1枚目と同一である場合とある物体の属性を変化させているものがあり、実験協力者は2枚目の画面が1枚目と同じかどうかを答える。このような実験をすると、物体数が4個くらいまでは正確に答えられるが、それを超えると正答率が急落する。しかし、われわれはこの実験の妥当性に疑問を抱きました。同じか違うかを問うだけのこの実験課題が本当に正確に物体情報の記憶を調べているの

かという問題です。そこで、われわれは次のような課題を作りました。第1に、変化を2つの物体間での属性の交替に限定しました。これは、2枚目の画面で1枚目になかった色や形を使う従来の実験では、属性の組合せの情報を使わずに課題はできるのですが、属性の交替を見つけるには属性の組合せの記憶が不可欠だからです。第2に、単に異同を答えるのではなく、変化のタイプを聞くようにしました。第3に、動いている物体に対する記憶の保持を調べるために物体が回転する状況を作りました(図1参照)。こうして作成した多

物体恒常性追跡法という実験方法を用いると、変化検出課題の結果とは大きく異なり、実験協力者の課題成績はととも4つの物体を保持しているとはいえないものでした。特に、物体がゆっくりでも動いていると課題は極めて困難になりました。これらの結果は、われわれの直観とは異なり、複数物体の詳細の同時並列的な記憶はきわめて難しく、恐らくわれわれは複数物体の記憶時はその概略情報のみを保持していることを示唆します。変化検出課題で調べているのは、「何かが変わった」ことはわかるけれども「何か変わったか」はわからないようなタイプの記憶ということになります。このテーマについては、行動実験と並行して、fMRIを用いた課題遂行時の脳活動の研究(図2参照)、視覚記憶の計算モデルの研究も行なっています。

では、なぜわれわれはたくさんの物体が同時に見えているように思っているのか?これについては、視覚システムが概略的な外界の表現から重要な情報を持つ位置や物体を効率よく探索し、注意を向けることによって詳細情報を引き出せるためだと考えています。この方向でのもう一つの研究の例として、視覚探索における「探索非対称性」という現象に関するものを紹介します。視覚探索とは、たくさんの物体の中からある決められた標的図形を探す課題で「ウォーリーを探せ」の実験版のようなものだと思います。この時、例えば、たくさんのOの中から1つだけのQを探すのは、逆にたくさんのQの中から1つだけのOを探すのよりもずっと簡単であることが知られており、これを「探索非対称性」と言います(図3参照)。探索非対称性は20年前から現象としては知られていますが、未だにその生起メカニズムはわかっていません。有力な仮説は、「何かがない(この例ではQのバー)」ことを探すのは、ないものの場所を特定することが困難なので、難し

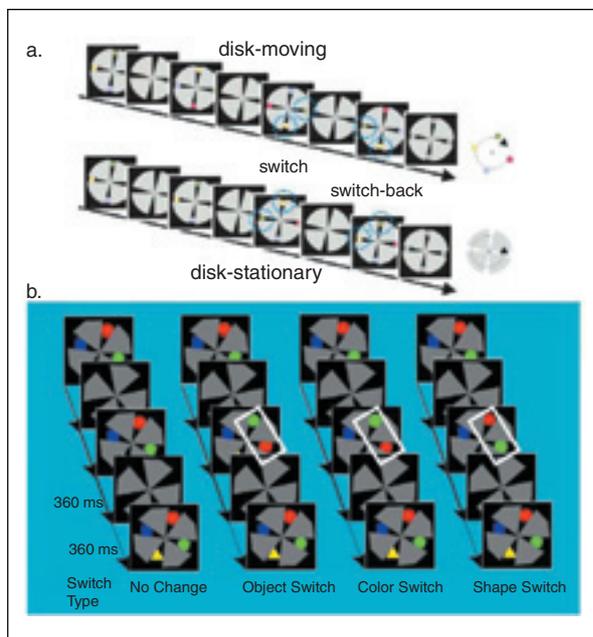


図1 多物体恒常性追跡法(MOPT)
a. 刺激の設定、b. 課題設定と反応のマッピング

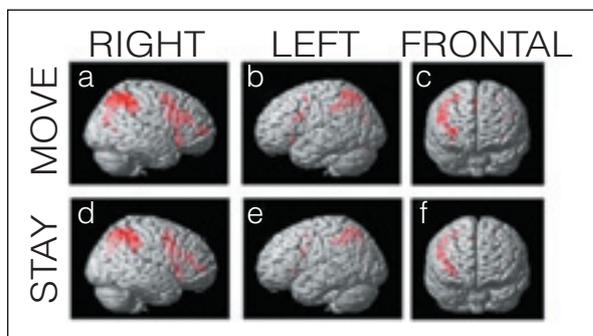


図2 多物体恒常性追跡課題遂行時の脳活動。Move、Stay 両条件とも同じ脳領域が活動するが Move 条件の方が活動レベルが高い。

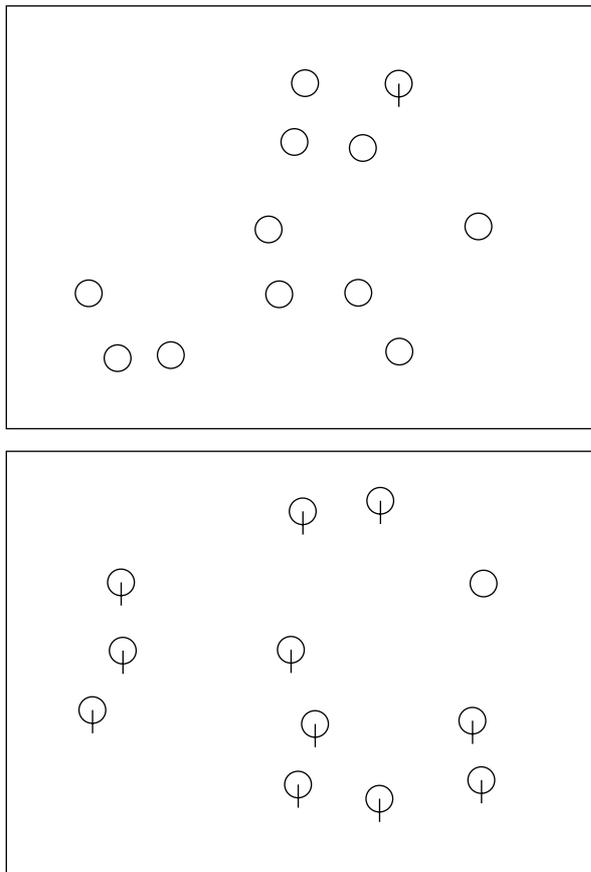


図3 探索非対称性：Oの中からQを探す(上)の方がQの中からOを探すよりも容易である。

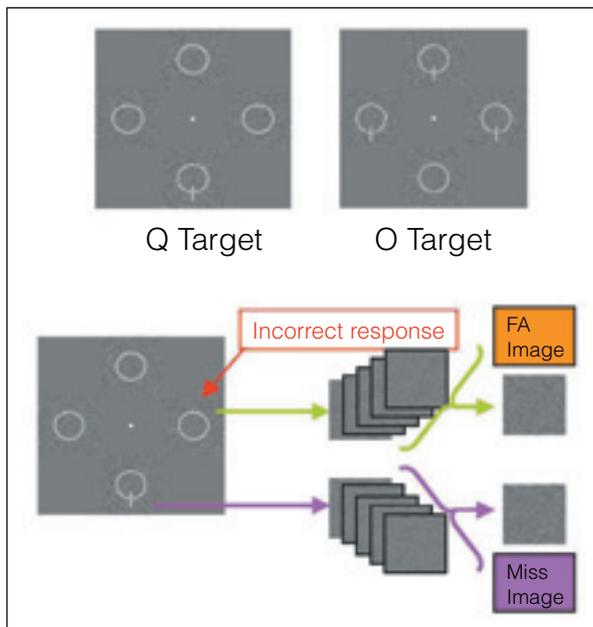


図4 実験刺激と Classification Image 法による分析の模式図

くなるというものです。最近われわれはこの仮説はどうも正しくないらしいことを示す実験を行ないました。このために、Classification Image 法という実験のテクニックを用いました(図4参照)。これは、神経生理学などで用いられる逆相関法を心理物理学に応用したもので、刺激に付加したノイズを観察者の反応に従って分類することで反応を導いた視覚情報を推定します。簡単に言うと、ノイズ画面を使うことで視覚探索の課題でどのような視覚情報を使っていたかを可視化できる方法です。この方法を使うと、まず、Oを探す場合でも、Qを探す場合でも使っている視覚情報は同じ、つまり、バーであることがわかります(図5参照)。実は、探索非対称性の説明としてOを探す場合とQを探す場合では異なる視覚情報を使っている、というものもあるのですが、この結果はこの仮説を否定するものです。不在の探索は空間的な不確実性が高いので難しい、という仮説については詳細は技術的過ぎるので省略しますが、実験結果を数理モデルを用いて解析すると、空間的な不確実性は結果の説明に全く不要であることがわかりました。では、探索非対称性の原因は何かというと、われわれの実験の結果からは「バーがある場合にそれを見逃す方が、バーがない場合にあると勘違いするよりも起こりやすい」ことであるようです。つまり、「ないものが探しにくい」のではなく、「あるものは見逃しやすい」のが理由だということです。少し技術的な言い方をすると、刺激の符号化過程での非線形性が、標的刺激と妨害刺激の数が非対称な視覚探索事態では探索の効率に影響するということになります。

上記以外にも、われわれの研究室では、視覚科学に関連した多くの実験を行なっています。その中にはfMRIを用いた機能的脳イメージングや眼球運動測定、触覚のVRを用いたものなどがあります(図6参照)。しかし、道具や技術に関係な

く、視覚、認知についての極めて素朴な問題から出発し、実験からのデータとそれを説明するための理論、モデルの洗練を繰り返すことによって、視覚を可能にしている脳の計算機構を明らかにする、というスタンスは共通していると思います。また、紹介した2つを含めて多くの場合実験を進めていくとわれわれの直観や「定説」が正しくないことがわかり、これも実験研究の醍醐味だと思います。

最後に、視覚科学では扱っている対象が、われわれ自身の主観的な知覚、認知、意識といったものですから、よい実験を行なうためには、直観が非常に重要です。実際、多くの実験のアイデアは、実際に実験をやっていたり、日常の経験の中で生まれることが多いと思います。視覚科学の研究には、所謂「文系」的なものと「理系」的なものが程よくバランスが取れていることが重要で、その意味で、総合人間学部は日本の中では数少ないこうした研究を進める環境の整った場所であると思っています。

(さいき じゅん)

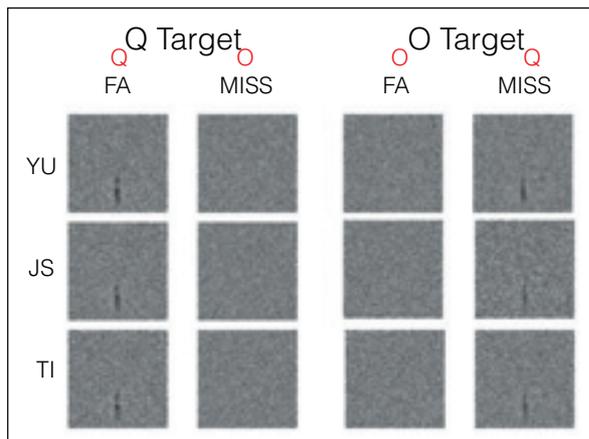


図5 Classification Image 法で推定されたヒトが O と Q の探索で用いる視覚情報。FA は False Alarm を指し、YU, JS, TI は 3 名の観察者のイニシャル。Q target O target 双方の実験で 3 名とも同じバーの視覚情報を用いていることが示されている。



図6 視覚情報と触覚情報の統合メカニズムを調べるための実験装置

光る宝石を作る

田部 勢津久 (自然科学系)



天然に存在する宝石や、教会のステンドグラス、美味しいワインを注ぐクリスタルグラスを眺めて、美しいと思うのに、光物性理論や結晶構造学、無機化学の知識は必要あり

ません。なぜでしょうか？誰にも完全な解答はできません。これらの物質の多くは主に金属酸化物と呼ばれる、金属と酸素の無機化合物から出来ています。今日の情報化社会を実現した、光エレクトロニクスを支える光ファイバも、レーザ結晶も、様々な光学部品材料、光を変調したり増幅したり、偏波面を回転させたり、重ね合わせたりするのに使われる、デバイスの多くもそうです。なぜそんなことができるのでしょうか？この問に対しては解答できそうです。

ところで、今年2005年は世界物理年と言われていますが、これは、Einsteinが物理学史上画期的な三つの論文を1905年の短い間に立て続けに発表して、ちょうど百年たったことによるものです。なかでも彼の最初のノーベル物理学受賞理由になった「光電効果」の論文は、20世紀初頭にPlanckにより提唱された光量子仮説を裏付けるものでありました。電磁波である光が、振動数に比例する（係数がPlanck定数）エネルギー単位を持つ、量子からなることを決定づける実験であります。高校の物理で習う、この実験は物質と光の相互作用の一例で、光検出や固体の電子状態分析など様々な技術に応用されています。また物質

を構成する「原子」の構造モデルを今日にかなり近い形で確立したBohrの業績も、原子が発する光のスペクトル（エネルギー分布）データを如何に矛盾なく説明するかということに取り組んだ結果、成功したものです。

古来地球の生命活動の源は、太陽光エネルギーを光のまま、あるいは色々な形で変換して得られたエネルギーを元にしてきました。遠く離れた太陽で行われている“危険な”核融合の結果得られた、膨大なエネルギーを、地上で光として“安全に”受け取り、全ての生命は、知らないうちに有効利用しているのです。少し端折りますが、19世紀後半になって人類は、そのエネルギー（とりわけ化石燃料）を蒸気機関などでなく、一旦電気エネルギーにすると「使い勝手が良い」ことに気づきました。それを運輸機械、照明（電球）に利用し、そして半導体の発明とデバイス応用を行って、情報処理など究極に発展させたのが、20世紀のエレクトロニクスです。20世紀後半になると、ルビーを始めとするレーザが発明され、非常に質の良い光を使って、通信、情報記録、微細加工、そしてインターネット情報化社会を支える大容量光ファイバ通信に用いられるようになってきました。光エレクトロニクスの始まりです。ここでは電気も使いますが、主役はあくまで光です。そしてその光を自在に操るのが、様々なデバイス、それを構成する半導体や誘電体物質に他なりません。究極はフォトリソグラフィといます。電気の銅線でなく光ファイバを使うと1000倍以上の情報を瞬時に送ることも出来ます。ブルーレイかHD

方式かと紙上を賑わしている次世代大容量 DVD も、中村修二さんの青紫レーザーだけでなく、高機能ガラスレンズがあればこそです。エレクトロニクスを飛躍的に発展させたのがトランジスタであるならば、光通信技術を飛躍的に発展させた(る)のは優れた光増幅器であります。最初に挙げた、美しい宝石ガラス群は、実は広い意味で我々の研究対象です。美術鑑賞対象ではありませんが、研究に取り組んでいると、優れた光機能を発現する材料を作ったときの喜びは、見た目以上に美を発見した喜びと、共通するモノがあります。

我々は様々な方法で、光を発したり、増幅したりする材料を作っています。それがガラスのような原子が不規則なアモルファス構造物質である場合には、調合した原料を白金ルツボに入れて、電気炉で溶かします。硝子工房を見学したことがある人は、当研究室にあるのはもう少し小型版だと思って下さい。花瓶を作るのとはワケが違います。高温で溶かした酸化物の融液を鋳型に流し出して冷やすと、美しい(特定の光を吸収、反射する)ガラスが出来上がります(図1)。原子配列のランダムな構造だけでなく、ルビーやガーネットのような単結晶も作ります。これらの宝石は実は、人工的に高純度でつくとレーザーにもなるのです。



図1 田部研のガラス結晶群：ピンクが光増幅用エルビウムで、紫が赤外レーザー用のネオジウム。背景は白金ルツボ

そのためには、ハロゲンランプを回転楕円体の金ミラーでできたイメージ炉の焦点に位置させて、もう一つの焦点に吊した原料棒をゆっくり溶かしながら移動させて、結晶成長をさせます(図2)。

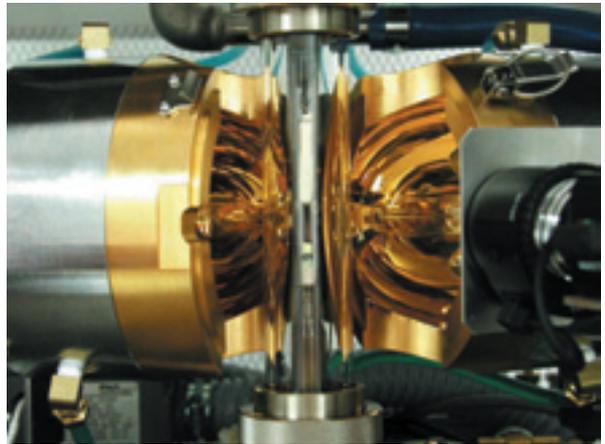


図2 結晶成長用イメージ炉

天然にはない人工構造も作ります。原料の焼結体に、レーザー光を当てて蒸発させ、サファイアなどの単結晶基板に蒸着すると、所望の化学組成の人工物質を作る事が出来ます。レーザーアブレーション装置(図3)は、現代化学の試験管といえますし、薄膜合成装置でもあります。

作ったらどうするのでしょうか? 結晶構造や化学結合の解析をするために、X線を使って原子配列構造を調べます。場合によっては、材料としての熱力学的性質も重要で、熱分析もします。興味があるのは、どの波長でどれだけの効率で光るのか、レーザー発振するのか? 光を増幅するのか? 将来のフォトニクス技術で実用デバイスになれるのか? 様々な波長のレーザーや発光ダイオードの光を当て、分光器や検出器を使って分光をします(図4)。全光エネルギーの絶対値を求めるために、積分球という装置も使います。実はガラスという材料は光ファイバにできるが故に、他の発光材料に比べて、計り知れないメリットがあります。精密なファイバの自作はうちではできないので、民間企業と共同研究することもあります。大型装置を持つ企

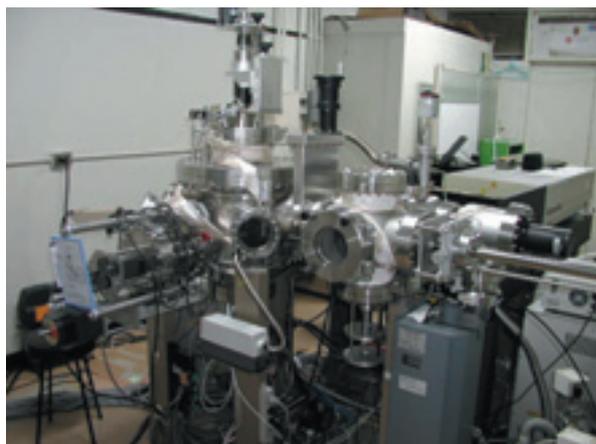


図3 レーザーアブレーション装置

業にアイデアでは負けたくありませんので、特許は重要です。卒業生はNTTのフォトニクス研究所、富士通研究所、旭硝子中央研究所などで活躍しています。材料設計するのに僕はタダの試行錯誤の方法はとりません。優れた光機能を有する物質材料を設計するには、どんな物理的性質を持たせれば良いか？そのためにはどんな原子構造が良いか、化学組成はなにか？物質の反応原理、原子構造や化学結合、固体の電子構造と光機能を支配する様々な法則を理解するための基礎学力は重要です。実は総合人間学部の自然系には、これらの基礎学力を身につける科目がたくさんあります。基礎物理化学、無機化学入門、電磁気学、量子論、物質構造機能論を履修していれば、かなり上出来です。え？勉強より宝石ガラス作りがしたい？2回生ままでに化学系実験と物理学実験を履修した上で、3回生前期で「課題演習：物質の構造と機能」を履修して下さい。後半にピンク色と紫色のガラスとルビーの作成を体験して、持って帰って貰っています。ここまで履修すれば、4回生であなたは即戦力、こんな実験ができる学部は日本で他にはありません。大学院では研究成果を持って国際会議で発表しましょう。ガラス材料、物質科学、光通信、フォトニクスと学際につながる分野故、多くの国際会議で招待されています。自

然を理解したい、美に感動できる諸君の配属を待っています。

(たなべ せつひさ)

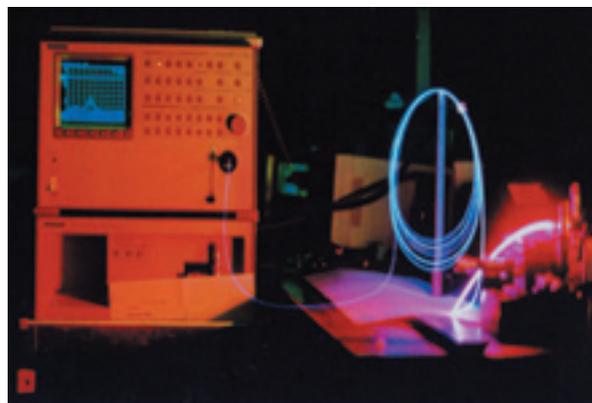


図4 赤色レーザーを青色に変換する光ファイバのスペクトルを測定

オングストロームテクノロジー

玉田 攻 (自然科学系)



最近、ナノテクノロジーという言葉が巷で騒がしい。これは非常に微細なナノの世界を見たり細工をするテクノロジーである。1ナノメートル

(nm) は 10^9 メートルのことを指すが、ここまで小さいと想像がつかない。なあにそんなことに驚くことはない。私たち X 線結晶解析屋さんは、このまだ 10 分の 1 のオングストロームの世界を何十年も前から扱っている。ちなみに 1 オングストローム (Å) は約原子 1 個の大きさである。ラウエが 1912 年に、あの体の透過写真を撮る X 線 (レントゲン線) を結晶に照射すると回折が起こることを発見したのが始まりである。以来、ブラッグ父子などの多くの研究者が結晶 (鉱物) に X 線を照射して、その回折像から結晶構造を見出してきた。X 線を媒介にして科学者たちは原子に手を触れてきたとも言える。しかしこの作業は簡単なものではなく、その為何年もかかって 1 つの結晶の構造を解き明かしてきた。しかも今ほど精度が高くないため、その成果は研究者の栄誉と責任を冠して誰々の構造と呼ばれた。小生の先生の時代くらいまではこの回折像を写真フィルムに写して回折点の位置と強度を定規と目で測定し、紙と鉛筆で神業的に結晶中の原子の並びを見出してきたのである。当時の装置は X 線防護についてはほとんど無防備であり、この実験をすると被爆して毎日階段を上がるのがつらかったと先生が言っていたのを思い出すが、

もうこの先生もこの世におられない。小生の時代になってようやくコンピューターに連動した X 線回折装置が普及し、そこそこの自動化が進んだ。と言っても初期の装置は貧弱なもので、紙テープで命令を伝えて、紙テープにデータを取り出し、色々おまじないをしながらご機嫌をうかがってようやくデータを得ることが出来た。それでもこれが当時の最新の装置であり、人に代わって半自動的に働くため、その性能に感動をしたものである。現在の私の研究室では最新の CCD カメラを装備した装置により数時間でデータが収集でき、当時と隔世の感がある。

では何故にこのような微小な世界を X 線でみることが出来るのだろうか。私達の目ではせいぜい 10 分の 1mm くらいのもを見ることしかできず、顕微鏡で見てもその千分の一が限界である。私たちは光を通して物を見ており、その波長が原子の 5000 倍もあるために原理的に、心眼以外では (勿論心眼でも) 見えないのである。ところが X 線の波長は丁度原子の大きさと同じだから、良い X 線装置と構造を解き明かす能力があれば原理的に原子を見ることが出来る。簡単に言うと、結晶に照射された X 線は原子の周りにある電子に反射されて、結晶の内部構造の情報をもって出てくる。この X 線の情報を逆に辿ると結晶の内部情報たる原子の並びが取り出される。現在ではコンピューターに制御された X 線装置を駆使して数千点の回折反射を収集し、これをコンピューターに入力して数日間苦闘すると、整然と並んだ原子からなる結晶構造が画面上に現れる。0.1mm

程度の目に見えるかどうか位の大きさの良質結晶をガラスの針の先端に取り付けることができれば、大体は結晶構造を解くことが出来る。しかし人間と同様に結晶にも各個性があり、穴にこもった天照大神さながら、多くの場合簡単にはその姿を人前に晒さない。何ヶ月もの間洞窟からお出ましにならずに、この世を暗闇に置く神様も多数おられる。

顕微鏡の下でこれと思う結晶を選び出し、数10ミクロンの結晶を（球形に成型した結晶が理想的である）ガラスの針の先端に糊付けする（この作業は修練を要する）。これを装置に取り付けて、データを集めて試行錯誤の解析の後に、画面上に整然と原子が並ぶ美しさを見たときの喜びは筆舌に尽くせない。とても眼では見えない原子や電子の微細な造形が、直接自分の手で姿を現したのである。結晶が神業的な対称性と周期性をもってその完全性を表現している。かと思うと結晶中の欠陥や不純物が人間的不完全性をかいま見せる。自然界の慄然たる美と近親感とが同時に襲いかかってくるのである。ましてやこれまで小生が行ってきたように、前時代的に貧弱な装置を何とか使い

こなし、昔ながらのフィルム上の回折像を見ながら（当時の最新のX線装置は何千万円もする高価な装置であり、筆者はこれを直接持つことが出来なかったため装置を借りて研究を続けてきた）回折データと格闘して半年、1年、2年とかけてコンピューターと苦闘の末、原子の並びの図を得たときの喜びは何物にも代えがたい。一般に、構造が解けてとうとうやったという確信がもてるのは、人が大学から去った深夜のことである。暗い大学のF号館の地下で一人歓喜の叫びをあげている馬鹿者を知る人は居ない。

多くの共同研究者のお陰で、これまでにさまざまな結晶や鉱物に関して“世界初”の栄誉をいただいた。その中には小生の研究初期に行った最大のトンネルをもつ二酸化マンガンの構造決定、モリブデン錯体を含む新結晶の構造決定、中国の新鉱物、ライフナイトの構造決定と超構造解析などがある。いずれも1年以上の苦闘の後に解析に成功したもので、それだけにご褒美も大きい。ここで言うご褒美とは誰かが評価したご褒美ではなく、自分自身の喜びのご褒美であることは言うまでもない。

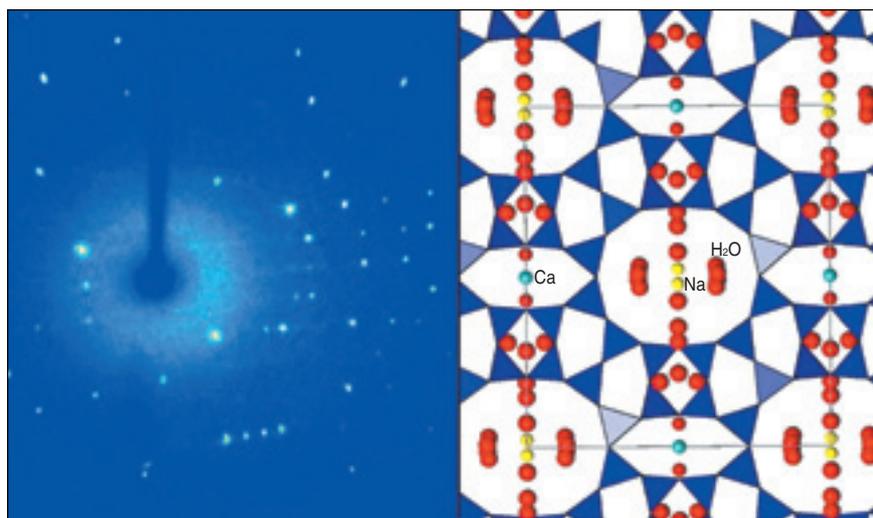


図1 X線をモルデナイトに照射した時にCCDカメラに現れた回折点。右の図は、これらの回折点の位置と強度を解析して決めた結晶構造。(Al, Si) O_4 四面体に囲まれた結晶構造の孔の中に、 H_2O , Na, Caなどの原子が取り込まれているのが観察される。

合成結晶や鉱物の結晶構造は、鉱物学、材料科学、無機—有機化学などの物質科学の基礎となっている。何故なら結晶の示す色、硬度、光学性、電気—熱伝導度などのすべての性質は、その組成と結晶構造で決まるからである。ルビーの赤色はコランダム（ Al_2O_3 ）の構造中に微量のクロミウムが入るからであり、また同じ炭素で出来たダイヤモンドとグラファイトの硬さの違いは、

ひとえに結晶構造の違いに拠っている。

現在当研究室ではゼオライトの構造やその応用の研究を行っている。ゼオライトは1つの鉱物名ではなく、結晶構造中に大きなトンネルや孔をもつ珪酸塩鉱物の総称である。この孔やトンネルは分子やイオンの篩やイオン交換の作用をもつ。まさにオンゲストロームテクノロジーを地でいっている。例えば酸素と窒素の篩を行い空気中から酸素を取り出すことが出来る。またアンモニアなどの分子を良く吸い取るため空気浄化にも使われる。家畜の消臭剤として豚のえさに混ぜられたりもする。当研究室で構造解析をしているゼオライトの1種モルデナイトのX線回折像と、それから決められた結晶構造を図1に示す。 $(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4$ 四面体で囲まれたトンネルの中に水分子やナトリウム原子が取り込まれていることが見られる。また製紙業においては邪魔な廃棄物である製紙スラッジの焼却灰を用いたゼオライトの合成をNTTと共同で研究している。図2はこれを水質浄化の実験に用いている写真である。不純物を水中から取り除くゼオライトの性質を利用した実験である。またゼオライトは洗濯用の粉石鹼にビルダーとして入れられている。これは衣類の汗などの汚れを吸い取り洗濯の水を浄化するために、石鹼の効果を倍加させる。エアコン中のガスの凍結を防ぐため水分を吸収するゼオライトが入っていることは余り知られていない。これらはすべてオンゲストロームテクノロジーを駆使して結晶構造と特異な性質を明らかにして、日常に応用した例である。

(たまだ おさむ)



図2 紙の廃棄物の焼却灰より合成したゼオライトを、エコボールと称するボール状に成型して、これを水路に置いて水質浄化をしている写真。

微細藻類に石油を作らせる

宮下 英明 (自然科学系)



光合成は、地球上におけるほぼ全ての生命を支える最も重要な反応です。食料は、全て光合成の産物あるいは光合成の産物を餌にして育ったものです。また、石油も、石炭

も、ガスも、またそれらを利用した電気エネルギーも、元をたずねれば、光合成によって地球上に蓄えられた太陽エネルギーです。化学繊維、プラスチック、合成ゴムなどの石油関連製品は、光合成によって蓄えられた化学物質を有効に利用したものといえるでしょう。私は、三室守教授、土屋徹助手とともに、光合成の反応メカニズムの解明と、光合成の進化、新たな光合成生物の探索、光合成生物の利用について研究しています。特に私は、微細藻類とシアノバクテリア（ラン藻）などの光合成生物を対象として、1) クロロフィル *d* をつかって生きる *Acaryochloris* の生物学、2) 未知・未分離・難培養光合成生物の探索・解析、3) 地球環境改善技術の開発、をテーマに研究をしています。ここでは、“日常との接点”という視点でということですので、地球環境改善技術の開発研究のなかから微細藻類を利用したエネルギー生産・二酸化炭素回収技術の開発に関する研究について、その背景と実際の実験についてご紹介します。

化石燃料は、すでに我々の生活に欠くことのできない重要なエネルギーであり、現代は、化石燃料の大量消費社会です。化石燃料の大量消費は、我々人類に2つの大きな問題をもたらしています。

1つはエネルギー枯渇の問題です。最近の調査では、石油の採掘可能年数はあと40年、天然ガスについてはあと60年と予測されています。また、石炭については、あと200年程度採掘可能であると予測されていますが、石油の枯渇以降の動向によっては遙かに短縮されることが予想されます。もう1つは地球環境問題とくに地球温暖化の問題です。急速な化石燃料消費は、大気中の二酸化炭素濃度の上昇をもたらし、近年の地球温暖化の原因であると考えられています。これらの予測や考え方が本当に正しいかどうかについては議論の余地が残されているとしても、エネルギー枯渇と地球環境変動をまねく可能性は否定できず、早急な化石燃料消費削減対策の研究・開発が必要になっています。

化石燃料消費を減らすためには、省エネルギーやエネルギー利用の効率化、エネルギー転換などが重要な課題です。しかし、化石燃料に依存した現代の社会構造では、化石燃料の使用を急速に低減することは難しく、化石燃料消費の削減努力と同時に、代替自然エネルギーの開発と二酸化炭素の回収の努力も必要となります。代替自然エネルギーとしては、太陽光（太陽電池）、太陽熱、風力、地熱、水力、波力、バイオマスなどを利用した発電などが試みられています。また、二酸化炭素の回収には、物理・化学的な方法で回収した二酸化炭素をドライアイスにして海底や地中に隔離する方法や、荒廃地の緑化、熱帯雨林の保全、植林など植物の光合成による生物学的な方法によって回収・固定する方法が検討されています。

私が取り組む研究は、自然エネルギーの開発と二酸化炭素の回収を同時に行う方法の1つで、ボトリオコッカス (*Botryococcus* sp.) (以降ボトリオと略称) という微細藻類を用いて、二酸化炭素からC重油相当の油を効率的に生産するための工夫を考えることです。ボトリオは、クロレラ (*Chlorella*) に比較的近縁な単細胞の緑色藻類です。小さなため池から大きな湖にいたるまで、世界中の淡水環境に分布しています。幾つかの細胞が集まった群体で生活しており (図1-A)、細胞と細胞の間や細胞内に油を生産します。ボトリオの群体を顕微鏡で観察する際、カバーガラスで押しつぶすと溜め込まれた油が飛び出してくるのがわかります (図1-B)。この油は、C重油相当ですので、ボトリオから搾った油でディーゼル機関を動かすこともできます。それもそのはず、ボト

リオはかつて地球上で大量の石油の素を作った生き物の1つで、オイルシェール (油母頁岩) とよばれる岩 (地中に沈み込む深さが足りずに地熱の影響をあまり受けなかったため石油になりきれなかった油を多く含む岩) の中に、化石として数多く見出されることが知られています。つまり、ボトリオによって燃料用の油を作ることは、化石燃料消費によって排出された二酸化炭素を、再び光合成を利用して油に戻し、また使えるようにすることです。

ボトリオを使った油生産の研究は、決して新しい研究ではありません。1970年代のオイルショック後には世界各地で、また、1990年代には日本でも当時の通商産業省によって大きなプロジェクト研究が行われ、その有効性について検討されてきました。それらの研究の結果は、いずれもエネルギー生産に有効であるというものです。しかし、全く実際の生産に至っていません。我々のシミュレーションでも、ボトリオをつかってエネルギー生産は可能であるし、二酸化炭素を減らすこともできることがわかっています。とはいえ、ボトリオによるエネルギー生産コストは、少なく見積もっても石油の6倍程度 (50ドル時代) で、経済的に合いません。しかし、昨今の重油高騰の状況から今後重油価格が上がっていくことも考えられますし、エネルギー枯渇は目前です。今後のさらなる技術開発によって、実現しなくてはならない技術の1つだと考えています。

長い研究の歴史がある一方で、ボトリオの生物学については、殆ど進んでいないのが実状です。ボトリオという生き物にはどのような多様性があるのか、日本のものと外国のものはそもそも同じ藻なのか違うのか、なぜ油をつくるのか、油は何の役割をしているのか、油はどのような代謝経路で作られるのか、どのような状況のときに油をたくさん作るのか、自然界ではアオコのように大量

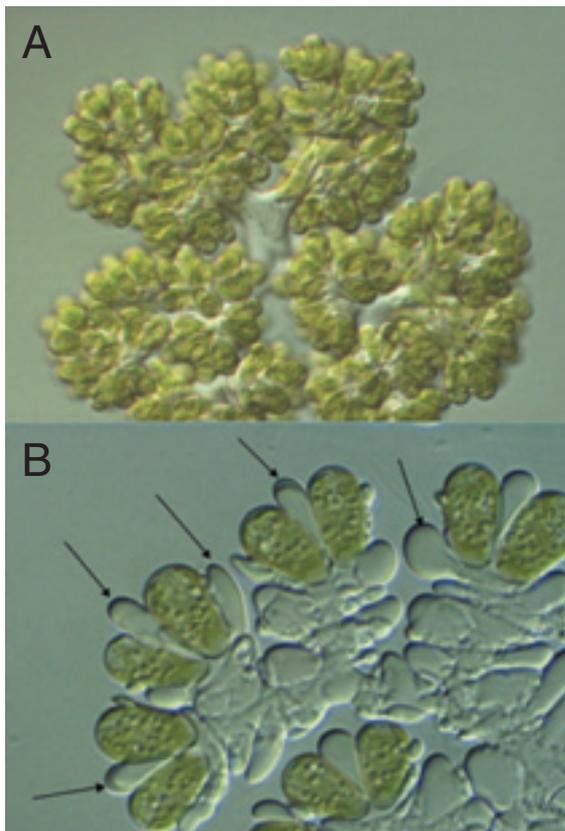


図1 油生産藻類 *Botryococcus* sp. の光学顕微鏡写真
A: 押しつぶす前、B: 押しつぶした後、矢印は油を示す。

に発生することが知られているがどうすればそのような状況が達成できるのか……数えあげたらきりがありません。おそらく、ボトリオ研究については、生物工学的研究が先行し、生物学がおろそかになっていたのでしょう。生物学がついていかなければ、工夫を考える余地ががぎられてしまいますので、生物学的視点あるいは生理学的視点での研究が必要です。

そこで私は、生物学という視点、特に光合成と、ボトリオの生育や油の生産という光合成生理学的な視点で、この古くて新しい研究に取り組んでいるところです。一般に、生物は、環境の変化を感じて、細胞の代謝を変換させます。光合成生物の場合、光の強さ、色、色の組合せ、光を当てている時間、温度、培養液の中の栄養素の組成などが代謝を変える環境因子だと考えられています。実験では、これらの環境因子を変えて、ボトリオを培養し（図2）、生産される油の量を測定します。通常、微細藻類を実験材料とする場合は、光が容器内のボトリオにまんべんなく当たるよう扁平なフラスコを用いて培養します。培養の際には、二酸化炭素の供給源として空気あるいは二酸化炭素を付加した空気を通気します。空気中には、たくさんのバクテリアやカビの胞子があるので、通気する際に空気をフィルターに通すことによって空気中の微生物を除きます。写真（図2）では、



図2 微細藻類の培養風景

蛍光灯の光を当てていますが、白熱灯や発光ダイオード、太陽光などもつかいます（図3）。定期的（例えば1日に1回）に培養液の一部を取り出して、油の量を測定して、油をたくさんつくる条件を探しています。



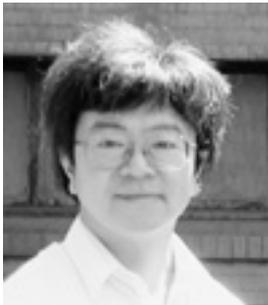
図3 発光ダイオードを用いた培養

今後、ボトリオの生物学的解析によって特徴や特性を明らかにし、さらに工学的な技術開発によって、ボトリオによる代替自然エネルギーの生産性を上げることも不可能ではないと考えています。すでに、生産性を上げるためのヒントも得られています。化石燃料の枯渇が叫ばれる頃までには、他の自然エネルギー生産と比肩するエネルギー生産技術として確立できることを願いながら、培養と油の測定を続けています。

（みやした ひであき）

だるまさんがころんだ

宮本 嘉久 (自然科学系)



ゴムは室温では柔らかくよく伸びるけれど、冷やすとカチカチになる。カチカチの状態であるガラス状態では、その状態になるまでの「歴史」を覚えていることを、ゴム

を用いたガラス転移の実験から以前に紹介した(No.31)。ガラス状態でもつ記憶についても一度解説し、今回は何を思ってこんなことをやっているのかという背景や周辺を書いてみたい。

多くの物質は高温では気体で、冷やすと液体になる。さらに冷やすと融点で原子が規則正しく並んだ結晶状態になることが多いが、温度を速く下げると融点以下でも過冷却された液体のままの場合がある。過冷却液体がさらに冷やされると、どろどろの状態を経てやがてカチカチのガラス状態になる。このどろどろからカチカチになる、またはその逆の状態変化を「ガラス転移」という。温度変化だけでなく、圧力や変形、電場、濃度などを変化させても、ガラス転移が起きる。このような環境の変化をまとめて「操作」と呼ぶことにしよう。

コップなどのいわゆるガラスはガラス状態だし、ペットボトルの透明部分はガラス(状態)で、口金の白いところは結晶(状態)、飴はふつうガラスで、氷砂糖は結晶らしい。発芽は複雑な要素を無視すればガラス転移である。乾燥しているとかかなりの高温でもガラス状態で種子は変化しないが、水分を含むと「ガラス転移する温度」が下がり、

室温付近で活動が開始される。

ガラスを鮎詰め電車にたとえてみよう。電車の箱は頭から取り去っていただけるとありがたい。ガラガラで子供が走り回っているのが気体で、ほぼ満員だけれど、楽に動くことができるのは液体だろう。「操作」によってもう少し混んできたとき、まださらさらであるが、みんなの意見が一致し、姿勢も間隔も同じように順序良く並んだとき結晶になる。混むに任せていると過冷却液体となる。もう少し混んで、周りの人の協力を仰いでようやく動けるときがどろどろ状態である。意見の一致がないままついに鮎詰め状態となり、息はしているけれど、振れた手も元に戻せなくなるのがガラス状態である。

ある人にとってガラスになるとは、なにやら身動きを禁じられ、そのまま止まらなければならなくなった、ということになる。これを、楽な姿勢(さらさら状態)で動いていたときに、「だるまさんがころんだ」という操作を受け、どろどろからカチカチになったと考えよう。これはガラス転移と一緒に勉強した学生さんの発案である。操作が「だるまさんがころーんーだ」か、「だーるーまーさーんーがーころんだ」かによって固まった姿勢が異なるだろう。これは「ガラスが操作を記憶している」ことを示しているが、もう少し詳しくみてみよう。

だるまさんがころんだ、と操作の進行につれて、それぞれの音に何かびくっと反応しながら鬼に近づき、同時に動きがだんだん緩やかになり、最後の「だ」では固まってしまふ、と考えよう。「だ

るま」の「だ」(「だ1」とする)を聞いたとき、「だ」に反応するとともに、動きは少しゆっくりとなる。鬼が「だ」で止めていると緊張した姿勢からほぐれていく。「だ」直後の姿勢とだいたい同じ姿勢と、異なる姿勢になる境目の時間を「だ1での固有時間」と呼ぶことにする。「ころんだ」の「ん2」での固有時間は「だ1」での固有時間よりも長いし、「だ2」の固有時間は無限大となる。体の各部分を見て、「だ1」の手の固有時間、頭、胴体、足の固有時間も考えることができる。さらに、物理的な時間経過を固有時間で割った値を固有「時間経過」と名づけよう。固有時間経過は、同じ物理的な時間経過でも「だ1」状態では大きな値となり、「ん2」では小さな値である。また、単位をもたない量で、1より小さいとき姿勢があまり変わっておらず、1より大きいと変わっているという、姿勢変化の目安になる。

ある操作に対応してどのような姿勢で固まるかを考えてみる。「だ1」の音でびくっと反応した姿勢は「だ1」のあとの固有時間経過に応じて変化する。「る」が聞こえると、またびくっとするが、ある時刻での姿勢は「るのびくっ」が同様に变化した部分に加えて、「だ1のびくっ」が「だる」間の固有時間経過と「る」になってからの固有時間経過の和、すなわち、(「だる」間の時間÷「だ1」固有時間) + (「る」になってからの時間÷「る」固有時間)、に応じて变化した部分があると考えることができる。そうすると固まったときの姿勢には、「だ1のびくっ」が「だるま…だ」間の固有時間経過で变化した部分、「るのびくっ」の「るまさんがころんだ」間の固有時間経過部分、……、「ん2のびくっ」の「んだ」間の固有時間経過部分の影響がある。このように、操作が対応する反応の時系列(歴史)としてガラスに記憶されている。

ガラスはその凍結構造に、ある値でなく操作の

歴史、関数を記憶している。この性質を利用して新しい記憶素子ができそうである。しかし、記憶素子として使うには記憶の書込、読出、消去を制御する必要があるが、まだガラス状態を解凍したときにその記憶が読み出せるだけで、記憶を保ったまま読み出すことはできていない。

ここまでの話は修正すべき点が多くあるが、実験と論理の積み重ねによって構成されたものを「だるまさん」に読み替えたつもりである。以下では、どろどろがカチカチになる現象からどんな妄想を広げているか、どういう幻想からガラスを研究対象に取り上げたかを並べてみたい。根拠は希薄であるし、外からの刺激によってこれらの幻想は日々変化していることをお断りしておく。

電車の中の人とはどんなふうに鯨詰めになっているのだろうか。固まる姿勢は人によって違う。「だるまさん」が同じように聞こえているのに異なる反応をしたり、人によって聞こえ方が異なるかもしれない。透明人間になっていた周りの人に再登場願うと、無理な姿勢で固まった人の隙間には、他の人々がほぼぎっちり入っている。これらの人は互いに力を及ぼし合い、ひどく無理な姿勢の人にはとんでもない力が加わっている一方で、意外と楽に本を読んでいる人もいる気がする。鯨詰め集団は、ある場所では強い力を及ぼし合って苦しい思いをしているのに、別の場所ではルンルン状態という、力の貧富の差がひどい社会になる。とすると、そもそもこの力に操作の記憶が蓄えられているはずだから、誰もが似たような固まった姿勢だろうという暗黙の前提に立った、上の説明は早くも矛盾を呈している。力の不均一が見える、もう少し微視的なスケールで再構築をする必要がある。

内では強く力を及ぼしあっているのに、外からすぐには見えない構造というと、地震前の断層があるし、この構造を利用して強度をもたせている

ものにはスポークを強く張ったホイール、ドームのような建築物、強化ガラスがある。太鼓の張り具合を調べるように叩いたりすれば内力の具合はある程度分かるし、可能なら一部を切り開くと、閉じ込められていた記憶が開放され、変形が外に現れることから観測できる。場合によっては全体が壊れてしまうかもしれない。

年齢とともに時間が経つのが速くなる、とつくづく実感する。人が感じる時間経過というのはある時期にどのぐらいのことができたか、すなわち、固有時間経過（の逆数）のようなもの、ではないだろうか。たくさんの出来事があつたり、いろいろなことができる時間と時間がゆっくり経っているように感じるし、何もできないと時間が速く経つ。小学校低学年のときは永遠に続くかと思えた夏休みが（夏休み÷小学生の固有時間）、年をとるとあつという間に終わってしまう。物理的な時間経過が一様だと仮定すると、年をとると固有時間が長くなるということになる。ということは、人間はどろどろ状態でカチカチに向かっていることになる。死んじゃうと固有時間は発散し、（固有）時間（経過）は経たない。

どろどろ状態で外から絶えず刺激があると、記憶の一部を失いながら、新しい記憶を積み重ねていく。忘れる記憶はあっさりモードの記憶、残る記憶は頑固モードとしよう。強い刺激に対する応答は大きく、頑固モードならトラウマになるし、弱い刺激に対する記憶でも、それが頑固モードであれば積み重なると大きな力になるだろう。記憶の喪失と蓄積は、進化、人間関係、社会、言語を表しているように思える。同じように記憶を更新しつづけていても、どこかで異なる頑固な記憶が入り、袂を分けてしまうと、もう別々の道を歩むしかなくなる、という構造は共通しているのではないだろうか。

霊とか魑魅魍魎にはおよそ縁がなく、呪文やお

告げにも筆者はいたって鈍感であるが、ある種の名前や言葉には普段使っているものでもいろいろな思いがこもっているらしい。刺激としての言葉を人間が受けて反応し、ふつうすぐ忘れ去る。ある言葉に対する反応の中に強い力の部分があり、頑固モードに蓄積されて、忘れ去ったつもりでも、無意識下に潜んでいるようなことがあるかもしれない。このような状況で、周りの人間にこの頑固なモードの記憶を開放して顕現させる技術をもっている人が呪術師、というと、物理の世界から追放されそうである。ゴムのガラス転移からこのようなことをほのめかす実験結果を出してみたい。

（みやもと よしひさ）

脈拍の“ゆらぎ”と健康

森谷 敏夫 (認知情報学系)



心臓は超働き者

人の心臓は肺から取り入れた酸素と血液にある栄養を六十兆以上もあるといわれる体の細胞の隅々に運んでいる。このために心臓は1日に約10万回近くも脈打ち、雨の日も風の日も、一日たりとも休むことなく働き続けているのである。ちなみに心臓が1回脈打つと約70ccの血液が心臓ポンプから動脈に排出される。安静時の心拍数が70拍/分とすると、心臓は一分間に約5リットルの血液を排出しており、1時間で300リットル、24時間ではなんと7200リットル、実に1トントラック7台分の重量物を運んだことになる。この心臓ポンプのリズム(心拍変動)を調整しているのが自律神経である。これら一連の心臓洞房結節のリズムの解析による神経性循環調節機能の分析は、冠動脈疾患、心不全、不整脈、高血圧症などの心血管系疾患の病態に対する新しいアプローチとして現在、注目を集めている。特に心臓副交感神経機能の非侵襲的評価が可能な心拍変動スペクトル解析により、副交感神経機能低下が冠動脈性心疾患や突然死の重要な危険因子である事が明らかになっている。

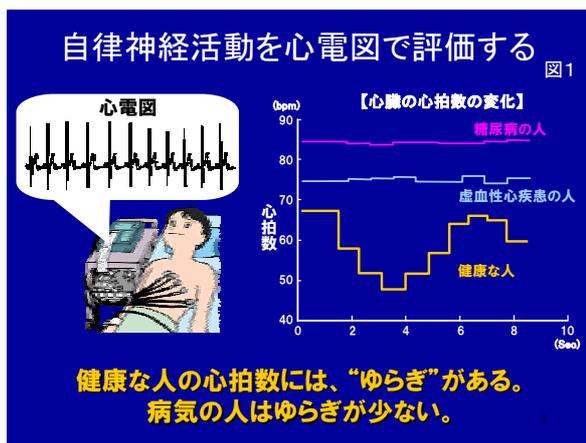


図1 自律神経活動を心電図で評価する

脈拍リズムによる自律神経評価

心拍変動による自律神経機能評価の原理は、交感神経及び副交感神経機能がそれぞれ特定の周波数帯域の心拍変動に反映されることに基づいている。心拍変動のパワースペクトルには低周波帯(0.03~0.15 Hz)と高周波帯(0.15~0.4 Hz)に

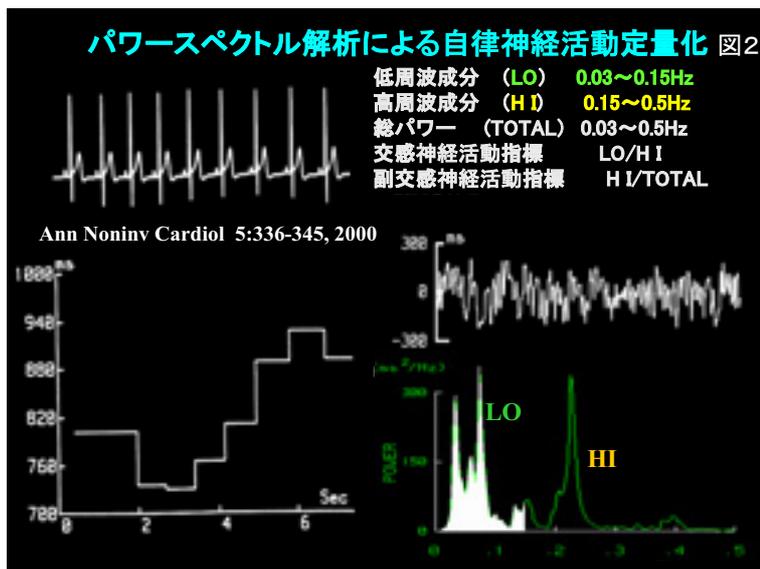


図2 パワースペクトル解析による自律神経活動定量化

ピークが見られ、それぞれ LO 成分、HI 成分と呼ばれている (図 2 参照)。

HI 成分は呼吸によって生じる心拍のゆらぎで心臓副交感神経によって媒介され、その振幅値は心臓副交感神経活動を反映する事が神経系の薬理ブロックや動物実験での神経節切除の実験結果から明らかになっている。一方、LO 成分には交感神経と副交感神経活動の両者が反映されるが、Akselrod らによれば血圧調節がこのスペクトル帯域で行われている可能性を示唆している。我々は、LO 及び HI 成分に加え、交感神経系体温・熱産生調節機構に関与する VLO 成分 (0.007 ~ 0.035 Hz) を特定することが可能な、より精度の高い手法を開発し、肥満発症メカニズムなどの解明に応用している。

図 3 は健康な学生と糖尿病患者の心拍変動スペクトルの典型例である。健康な青年と比較して、糖尿病患者の心拍変動は低下している。この患者は特に心臓の電気的安定性を維持する副交感神経の顕著な活動低下により、自宅で心臓突然死で亡くなった方である。

このように糖尿病や肥満症の患者で心臓自律神経活動が低下していることが明らかにされている。

そこで、我々は生活習慣病のリスクが高く、自律神経活動の低下した肥満者 18 名 (平均年齢 41.6 歳 ; BMI27.3kg/m² ; 体脂肪率 29.6%) を対象に持続的運動トレーニングを 12 週間実施した。その結果、血圧、中性脂肪、HDL 及び LDL-コレステロール、体脂肪率、等々の生活習慣病リスクファクターや心臓自律神経活動が有意に改善した。

つまり、自律神経活動は可逆性を持っており、脂肪代謝や食欲調節機能の中枢である自律神経活動の低下に起因する中年肥満も習慣的な運動の励行によって予防できるのである。先月ヨーロッパ肥満学会に参加したがもっとも衝撃的な基調講演は “Rather Fat and Fit than Lean and Sedentary” で、肥満していても運動習慣がある人の方がスリムで身体的不活動な人たちよりも圧倒的に病気の罹患率や死亡率が低いことが報告された。軽い歩行程度の運動でも、筋肉から免疫強化や生活習慣病の予防・改善につながる多数の遺伝子を ON にするサイトカイン (「生理活性物質」) が放出されることが明らかにされた。中年太りの貴方、運動でこのすばらしい遺伝子を ON にしてはいかがでしょうか。

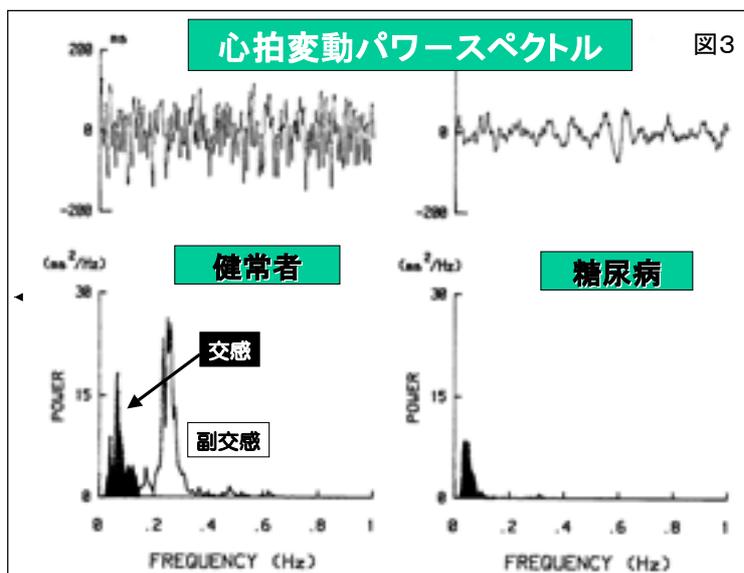


図 3 心拍変動パワースペクトル

自律神経活動と食品

ゴマは古来より健康を増進する食品として広く親しまれてきたが、近年その様々な生理活性が科学的に解明されつつある。中でもゴマに特徴的な成分であるリグナン類の持つ生理活性が注目を集めている。セサミンはこのリグナン化合物の一種であり、ゴマに 0.5 ~ 1% 程度含まれおり、肝臓でカテコール体セサミンに変換され強力な抗酸化活性を示すことが報告されている。セサミンの生理活性としてはこれまでに、肝における過酸化脂質生成抑制効

果、アルコール分解促進作用に基づく肝機能増強作用、癌細胞増殖抑制効果、コレステロールの吸収抑制による血清コレステロール低下作用、ならびに免疫機能への影響などが報告されている。

近年、高血圧の発症要因のひとつとして血管系における酸化ストレスの亢進と血管内皮細胞障害との関連性が注目されている。セサミンは生体内で効果的に働く強力な抗酸化剤であることから、ヒトにおける有効性に期待が持てる。そこで、ヒトへのセサミンの効果を直接検証するために、クリニックに受診に訪れた44歳～59歳の更年期障害の症状を有する女性14名を対象としセサミンが自律神経活動と血管弾性に及ぼす影響について検討した。対象者を無作為に2群に分け、一方の群にはセサミンE[®]（セサミン10mg、ビタミンE60mg/3粒）を、もう一方の群にはプラセボカプセルを1日3粒、それぞれ4週間継続して摂取させた。その結果、セサミンE[®]の4週間摂取により、総自律神経活動、交感および副交感神経活動の亢進が認められ、特に副交感神経活動の亢進が顕著であった。血圧も正常化する傾向が認められ、血管弾性においてはセサミンE[®]摂取群で有意に改善することが明らかとなった。

セサミンと活性酸素

運動は高血圧症を含む様々な疾患を予防・改善する有効な手段だと考えられるが、運動を行っている最中には、活性酸素の発生亢進や、自律神経活動の低下（心臓副交感神経活動の減衰）による突然死の可能性などが指摘されており、その危険性が問われている。これら運動によるデメリットを抑制する機能的食品の利用は、運動処方観点から見ても大変有用だと考えられる。そこで我々は、激運動による脂質過酸化に対するセサミンの抑制効果について男子大学生を対象に検討した。その結果、80%～90%最大心拍数に相当する20

分間の高強度運動に伴い、プラセボ摂取時には血漿過酸化脂質濃度の有意な上昇が観察されたが、運動前のセサミン及びビタミンE経口投与によりその上昇が抑制された。セサミンはビタミンEと同様もしくはそれ以上に激運動による活性酸素の害を抑制する強力な抗酸化剤として有用であることが示唆された。

更に、喫煙による交感神経活動の亢進や酸化ストレスが循環器疾患のリスクを高める可能性があることが指摘されており、喫煙に伴う心臓自律神経活動動態の変化とセサミンの作用についても検討を加えた。実験では、健常な男子大学生9名にセサミンE[®]あるいはプラセボカプセルを摂取させた後、喫煙（マイルドセブン1本）を負荷し、連続的に心電図を記録して心臓自律神経活動の変化を定量化した。また、心臓脱・再分極時間の指標としてQ-T間隔を測定した。その結果、喫煙直後では有意な心拍数の増加と心臓交感神経活動指標の増加、並びに副交感神経活動の顕著な低下が認められた。セサミン投与時では喫煙による顕著な副交感神経活動の低下は有意に抑制された。また、プラセボ試行では喫煙後に有意なQ-T間隔の延長（ $389 \pm 11 \text{msec} \rightarrow 405 \pm 13 \text{msec}$; $p < 0.01$ ）が認められたが、セサミン投与時ではこのQ-T間隔の遅延は認められなかった（ $383 \pm 4 \text{msec} \rightarrow 398 \pm 4 \text{msec}$ ）。以上のことから、喫煙前のセサミンの摂取により、心因性突然死の危険因子である心電図Q-T間隔の遅延や顕著な心臓自律神経活動への影響を緩和させる可能性が示唆された。

（もりたに としお）

研究・教育活動紹介

お説教と環境問題

浅野 耕太 (国際文明学系)



いたずらなどをして他人に迷惑をかけることになってしまったとき、「他人の気持ちになって考えなさい」と説教された経験をお持ちの方は多いのではないのでしょうか。そのような説教を聞かされるたびに、私は子供心ながらにまたかと思っていました。大学に入って経済学を勉強することになり、個人間で効用（幸福感）を比較したり合計したりすることには、何の科学的根拠もないということを知ることになりました。すなわち、1万円をもらって感じるうれしさは、人によって異なり、それを人と比較する根拠を客観的に見つけることは難しいというのです。すると、当然、他人のうれしさを自分のうれしさとまったく別のものとして扱わざるを得ません。直観的にもこのことはうなずけます。また「他人の気持ちになって考える」ことは、自分の気持ちを知っていること（これもしかとはいえないのですが）のみでは不十分で、他人の気持ちがあわっている必要があります。これは本来当人のみが有している情報なので経済学という私的情報のひとつにあたり、他人が容易に知り得ないものです。そうすると自分の感覚はあてにならず、他人ならざる私には、「他人の気持ちになって考える」ことを実現することはなほだ困難で、先ほどの説教がかなり無理をいっていることは明らかになりました。こんなこともあり、なんだか経済学が好きになってしまったようです。

経済学では、個人間の効用の比較や合計を前提にすることなく、また情報が偏在していることを前提に、社会や経済の仕組みを検討します。私が研究している環境経済学では、環境と人間の相互

連環に起因する環境問題を考察の対象としていません。

環境経済学において環境問題の原因のひとつに人間活動のもたらす外部性の存在があげられます。すなわち、個人の目的に沿った活動が、意図しない副次効果をもたらし、環境破壊につながり、最終的に他人に迷惑をかけてしまうというのです。他人への影響を意思決定において考慮するようにしむけることを外部性の内部化方策と呼ぶのですが、これは先の「他人の気持ちになって考える」ことができれば容易に実現できる方策です。しかし、「他人の気持ちになって考える」ことは既に見てきたようにすこし無理な相談です。そうなると、他人の気持ちがあわったようなふりをせずに、あるいはわかっているというお節介な人たちの手を煩わせず、実効性のある内部化方策を、社会や経済の仕組みを変えることも含めて、考えることができないかを調べてみるのが研究課題となります。

仕事後の一杯のビールのおいしさは個人間で比べることはできません。そして、それはあまり意味のないことです。しかし、左党ならそれにおおいに共感を持つことができます。共感も人間の本性のひとつです。共感を何らかの形で経済活動の流れにもっと反映させることができれば、環境と共生する社会が力強く構築できる可能性が拓けるのではないのでしょうか。それが競争市場システムの本来の姿なのだと思います。そんなことを徒然考えながら、今日もおいしいビールが飲めるように、研究・教育をすすめていきたいと思えます。

(あさの こうた)

写真 東北タイで農村調査を無事終えてビールを飲む筆者

電池・燃料電池

内本 喜晴 (自然科学系)



環境・エネルギー問題の解決は、二酸化炭素による温室効果や、昨今の原油高など、社会的に大きな関心事となっています。これらの問題の解決のためには、物質の織りなすエネルギー形態を理

解して、それを高効率で、しかも有害な副生成物なく変換するデバイスが必要となります。そのため注目されているのが、電気化学デバイスであり、物質のもつ化学エネルギーを機械的な運動を伴わないで直接、直流の電気エネルギーへ変換を行うものです。この電気化学デバイスの中で進行している反応のメカニズムを明らかにすることや、新しい材料を開発するのが私の研究テーマの一つです。

電池や燃料電池が電気化学デバイスの代表例です。電池といえば、乾電池（マンガン乾電池・アルカリ乾電池）が最も馴染みのあるものだと思いますが、最近ではリチウムイオン二次電池に代表される充電できる電池の小型・軽量化・高エネルギー密度化が進み、携帯電話などのポータブル電子機器が急速に進歩しています。これにより、「いつでも、どこでも、だれでも」利用できるような技術（情報通信分野に代表される）ユビキタス社会実現が可能となってきています。また、さらに二次電池を大型化して、ハイブリッド自動車の電源や夜間の余剰電力の蓄電装置に適用し、環境・エネルギー問題の解決をはかろうと研究開発が続けられています。

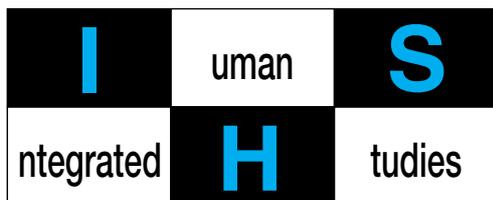
また、燃料電池は、燃料の空気中での燃焼反応によって得られるエネルギーを、直接電気エネルギーに変換でき、例えばいったん化学エネルギーを熱エネルギーに変換する火力発電などに比べる

と、非常に効率の良いエネルギー変換システムです。現在実用化が期待されているものには、大規模発電用の発電装置として、高温で作動する固体酸化物形燃料電池、また、電気自動車用、小型据置用の電源として、低温で作動する高分子固体電解質形燃料電池などがあります。このようなデバイスが広く実用化されると、従来の二酸化炭素やNOxなどを排出するガソリン自動車が、排出するのが水のみである燃料電池自動車に置き換わり、都市ガスを燃料として家庭用に熱と電気を同時に併給する高効率システムが身近なものになります。

もちろん、大学において、デバイスの高性能化の実現・実証を直接のテーマとしているわけではありません。この電気化学系の反応の本質を明らかにすることが必要です。リチウム二次電池はリチウムイオンが電極材料に脱離・挿入することにより作動し、その際の電位は、リチウムイオンの脱離・挿入と同時に脱離・挿入する電子のエネルギー準位に対応しています。電位は、電池の作動電圧を決定する重要な因子ですが、電子状態の変化については不明な点が多く、新規な材料の開発は試行錯誤的に行わざるを得ないのが現状です。そこで、電子分光を用いて、充放電に伴う電子状態変化を明らかにしています。また、この反応は、リチウムイオンのイオン導電相（電解質）から固体内（電極相）へのイオン移動によって進行すると見なすことができ、その界面での相間イオン移動を伴う電極反応機構の解明を行っております。

これらの研究を通じて、電気化学エネルギー変換に関わる反応と物質の本質を明らかにし、人間と自然との共生関係を構築するような新しいデバイスやシステムの実現ができればと願っています。

(うちもと よしはる)



編集後記

◆今回の特集では、総人で行われている実験をとりあげました。これまでも研究内容を個別に解説していた

だくことはありましたが、このようにまとまった企画は初めてです。いずれも興味深く、しかもわかりやすく解説されています。月並みな表現ですがこの特集から見えてくる多様性は総人の大きな魅力だとあらためて感じさせられました。

◆「特集」ならびに「研究・活動紹介」に原稿を執筆くださった方々には、お忙しいなかご協力いただき、厚くお礼申し上げます。

◆本学部・研究科広報に関してご意見がございましたら、当委員会までお寄せください。今後の編集活動の参考にさせていただきます。

(阪上記)

人間・環境学研究科
総合人間学部

広報委員会