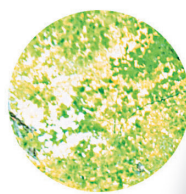


Pure Science

第9号
2014.12



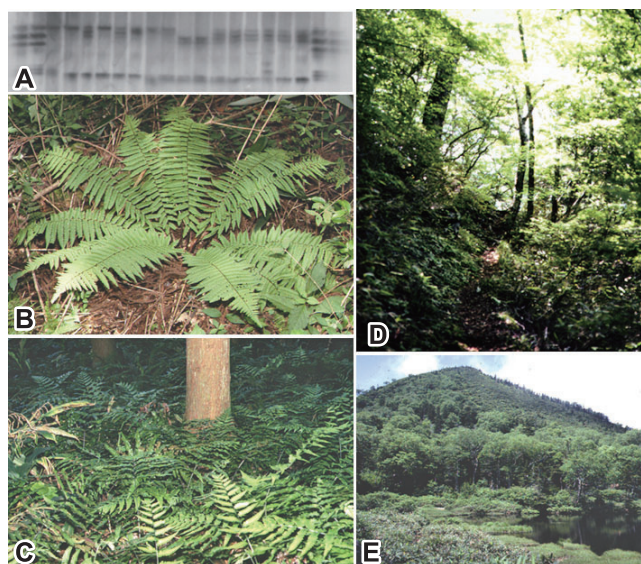
熊本大学 理学部

巻 頭 言



理学部長 高 宮 正 之

皆さんは「生物多様性」という言葉を聞いたことが有るでしょう。今では当たり前に目にするこの言葉は、1990年代初頭に作られた造語です。政治的な意味合いも濃い言葉ですが、生物学的な定義は研究者によって多少とも異なるものの、生物の豊かさを包括的に表す概念です。具体的な生物多様性は、遺伝的多様性、種多様性、群集・生態系の多様性などの異なるレベル（階層）の豊かさからなり立っています。私はシダ植物の研究をしているので、図で実例を示します。個々の生物種が様々な階層の中で、自分の生活域を占め、お互いの関係を維持しながら、全体的にまとまった独特の生態系を作りあげています。



生物多様性の階層構造

- A, B.
同じ集団内に生育するオシダ(B)の個体間での遺伝的多様性。Aは、縦の1列ずつが別々の個体を示し、横縞(バンド)の違いが遺伝的違いを示す。
- C.
林床には多種のシダ植物が生育し、林内の種多様性を示す。
- D.
ブナ林の構造。林は、高木層、中木層、低木層、草本層などからなり、それぞれに多くの生物種が生育している。
- E.
森林、湿地、沼などの様々な生態群集を含んでいる。D, Eは群集・生態系の多様性を示す。

理学部の研究は、様々な分野の研究に個々の先生が挑戦している点で多様性に富んでいます。一見バラバラに見えますが、それらが組み合わさって、分野ごとにまとまり、互いに関係しながら全体として理学研究が成り立っています。それぞれの先生は、対象とした自然現象に対し、「なぜ？ どうして？」と疑問を持ち、思索を繰り返してきました。疑問を解明するため、各々が自然界や数理の世界で生じる現象の仕組みを探り、論理的に解明することを目指してきました。そして、小さなことでも発見できた喜びが、次の研究へと意欲を駆り立てるのです。

ここに「Pure Science」第9号をお届けします。掲載された5つの研究分野の紹介は、先生方の疑問から始まった純粋な学問研究の一端です。各々の研究は何も関係がなさそうですが、真理の追究に魅せられた一貫性を持ち、全体として多様な理学研究の姿を築き上げています。文章の中には専門用語が使用されているので、高校生の皆さんには難しい所が有るかも知れません。難しい所は読み飛ばしてもかまいませんので、知へ挑戦する先生方の意欲を感じ取ってください。

カード・シャッフルと「群」

数学コース 准教授
千吉良 直紀

トランプを用意してください。リバースとモンジュ・シャッフルと呼ばれるカードの切り方を紹介します。

まずリバース（以後Rと記す）です。数枚のカードを左手に持ちます。カードの数字は下に向け、上から1枚ずつ右手に移していきませんが、その際、2枚目のカードは1枚目の上に、3枚目のカードはその上に、4枚目はさらにその上にと重ねていきます。すべて右手に移してからまとめて数字を上に向けます。

次にモンジュ・シャッフル（以後Mと記す）です。モンジュ（Monge）は人の名前です。数枚のカードを左手に持ちます。カードの数字は下に向け、上から1枚ずつ右手に移していきませんが、その際、2枚目は下に、3枚目は上に、4枚目は下にと交互に重ねていきます。すべて右手に移してからまとめて数字を上に向けます。

例えば、A,2,3,4の4枚のカードを上から順に重ね左手に持ちます。Rをすると4,3,2,Aの順に、MをするとA,3,4,2の順に並べ替わります。この2つの切り方を適当な順番で何度もやってみてください。

例えば、



などとやるといろんな順に並べ替えることができます。

この2つの切り方を適当な順番で繰り返すことで、カードはよく切れるでしょうか。「よく切れる」とは順番がバラバラになるということです。 n 枚のカードを、RとMに限らずいろんな方法で並べ替えれば、全部で $n \times (n-1) \times \cdots \times 3 \times 2 \times 1 = n!$ 通りの並べ替えがあります。 $n=4$ のときは、 $4 \times 3 \times 2 \times 1 = 24$ です。カードが4枚の場合で試してみてください。RとMに限るとどんな順序で何度やっても上の12通りの並べ替えだけができます。カードの枚数を変えてやってみると次のようになります。

カードの枚数	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...
すべての並べ替え	3!	4!	5!	6!	7!	8!	9!	10!	11!	12!	13!	...
RとMによる並べ替え	3!	$\frac{4!}{2}$	$\frac{5!}{2}$	5!	7!	32	$\frac{9!}{2}$	10!	11!	95040	$\frac{13!}{2}$	...

カードが8枚のときには、 $8! = 40320$ 通りのうちRとMではわずか32通りにしか並べ替わりません。RとMではよく切れないのです。しかしそうなるには何かのルールがあるはずで。この不思議なルールは数学を使って説明できます。カードの枚数によって何通りの並べ替えができるかはDiaconis-Graham-Kantorによりきちんと証明されています。カードの枚数が2の累乗（8,16,32,...）のときと6枚、12枚のときにだけRとMではよく切れない、すなわち、半分よりもっと少ない並べ替えしかおこりません。

12枚のカードのときの95040個には他にも面白い性質があります。この95040個の集まりは19世紀にマシュー（Mathieu）という人によって発見された「散在型単純群」と呼ばれるものです。マシューは全部で5つの「散在型単純群」を発見しました。その後、様々な研究がなされ、26個の「散在型単純群」が発見されました。26個の中には日本人が発見したものも2つあります。「散在型単純群」の一番大きいものは「モンスター」と呼ばれていて、808,017,424,794,512,875,886,459,904,961,710,757,005,754,368,000,000,000個の集まりです。26個それぞれについて多くの研究がおこなわれています。

カードを切るという身近なところにも面白い数学が潜んでいます。12枚のカードでマシューの群に出会うことができました。「モンスター」はもっと深い数学の「森」（196883次元の空間）に棲んでいます。あなたも「モンスター」に出会ってみませんか。

超伝導の本質を知りたい！ ー逆サイドからのアプローチー

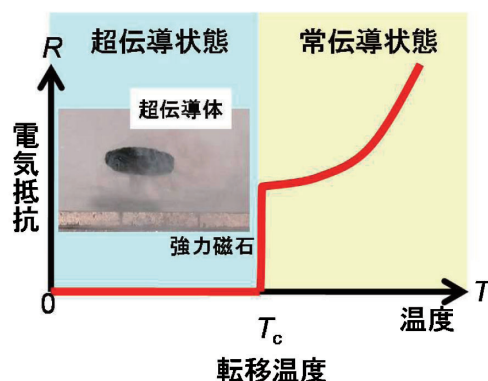
物理学コース 教授
市川 聡夫

私が高校生のとき（30年以上前になりますが）、テレビで温度を下げながら金属の電気抵抗を測定する映像が流れていました。理科の授業で習っていた通りに電気抵抗が徐々に減少していたので、ぼーっと見ていたのですが、ある温度（超伝導転移温度 T_c ）で電気抵抗が急に「ゼロ」になったのです。その瞬間は衝撃を感じました。「電気抵抗でジュール熱が発生し、エネルギーを消費している。その抵抗がゼロになるということは、エネルギーが消費されない。本当にそんなことがあっていいのか？」これが私と超伝導との出会いであり、私が超伝導を研究したいと思うようになった「きっかけ」です。エネルギーを消費することなく電流を流せるということは、少ないエネルギーで運転できる強力な電磁石（超伝導磁石）としての応用が期待されます。実際、超伝導磁石は研究用だけではなく、医療用核磁気共鳴画像撮影（MRI）装置の磁石として利用されています。また、JR東海が建設を予定しているリニアモーターカーの電磁石にも超伝導磁石を利用しています。

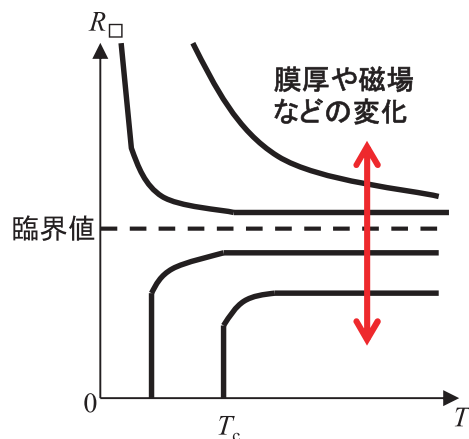
超伝導現象が発見されたのは今から100年以上も前の1911年にさかのぼります。オランダのオネス教授のグループが水銀の電気抵抗が -269°C （絶対温度4.2 K）で急に電気抵抗がゼロになることを発見しました。きっと、すぐには実験結果を信じられず、測定に問題が無かったのか色々と疑ったことでしょう。その後、様々な物質が超伝導になることが発見され、超伝導は一般的な現象であることがわかってきました。また、電気抵抗だけでなく、磁場も侵入できない性質（マイスナー効果）があることもわかりました。磁石の上に浮かんでいる超伝導体の映像は見たことがある人も多いと思います。

一方で超伝導現象を理論的に理解するためには、量子力学という20世紀に進展した新しい物理学が必要でした。1957年に発表されたBCS理論で基本的なメカニズムは解明されましたが、銅酸化物超伝導体や鉄ヒ素系超伝導体などの新しい超伝導体の発見もあり、超伝導発現のメカニズムに関する更なる研究が精力的に行われています。

超伝導物質によっては、薄くするに従って T_c が減少し、ついには、温度の降下とともに電気抵抗が上昇する現象が見つかりました。絶対零度近くで考えると、臨界値より厚いと電気抵抗ゼロの超伝導、薄いとき電気抵抗が無限大に発散する絶縁体です。この現象が超伝導ー絶縁体転移であり、磁場を加えるなど別のパラメータに対しても発現することが知られています。なぜそのような現象がおきるのか、私たちも様々な物質で実験的に研究を行っています。つまり、絶縁体という超伝導体と逆のサイドから超伝導の本質を理解したいと考えています。実験はうまくいかないことの方が多く、日々試行錯誤ですが、実際に物質を取り扱い、新しい現象に驚き、なぜそのような現象が発現するのかに興味を持って研究を行っています。



超伝導体の電気抵抗の温度依存性
超伝導転移温度より低い温度では電気抵抗はゼロである。挿入図はマイスナー効果で浮いた超伝導体。



超伝導ー絶縁体転移
膜厚や磁場を変化させることで、絶対零度では抵抗ゼロの超伝導と抵抗無限大の絶縁体に転移する。

分子集合体から新たな電子物性を創る

化学コース 准教授
松田 真生

私たちの身の回りは「有機化合物」を中心とした「分子集合体」で溢れています。私たち自身が究極の分子集合体です。分子集合体の多くは電気を流すことが苦手な絶縁体ですが、私たちの身体の活動が「電子伝達」によって担われており、その機構の詳細は明らかになっていないことが多く残っています。

私のグループでは、主に金属イオンと有機化合物が結合した「金属錯体」の電子物性に注目した研究を行っています。生体内でのエネルギー貯蔵や電子伝達においては、ヘムタンパクが重要な役割を担っていますが、その基本骨格を構成しているのが鉄ポルフィリン錯体です。生体は鉄ポルフィリンの電子状態とスピン状態を器用に制御しており、外部の刺激により同様な応答性をもつ分子集合体を作ることができれば、化学のみならず物理学・生物学的な意義のある情報が得られるかも知れません。そこで私たちは鉄ポルフィリン系錯体からなる分子結晶の電子伝達現象に特化し、分子集合体として非常に高い導電性を示す物質を創ってみました。すると、得られた化合物は外部から磁場を与える（磁石を近づける）こ

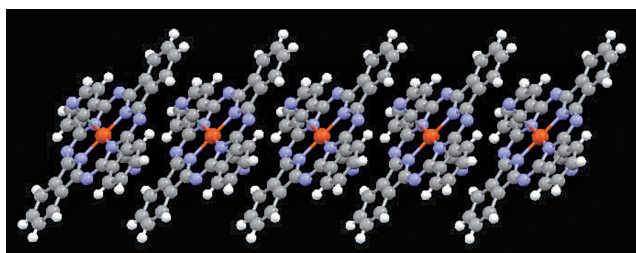


図1
鉄ポルフィリン系錯体からなる分子結晶の分子配列。印加磁場を大きくするにつれて電気抵抗が著しく減少する「巨大な負の磁気抵抗効果」を発現する。

とで電気伝導性が桁違いに増加するという「負の磁気抵抗効果」を見せたのです。その効果は分子結晶の研究分野では世界最大級のものであり、負の磁気抵抗効果を発現させる分子結晶の分子設計に大きな指針を与える成果と言えます。また、ポルフィリン系錯体にはほんのわずかな分子修飾を施すと、分子集合体としての電子物性が劇的に変化することも最近の研究から分かってきました。私たちの創った化合物と生体内のポルフィリン錯体の機能との共通点への興味を抱きつつ、これまでの「導電性」と「磁性」を中心とする研究の枠を飛び出す新しい研究テーマへの挑戦も現在考えています。

一方、最近では有機分子を電気の力で光らせる「有機エレクトロルミネッセンス（有機EL）」が注目されています。私たちは有機ELという現象に、従来用いられることのなかったある機能性金属錯体を導入することで、有機ELのスイッチング効果を創出することに成功しました。分子の軌道エネルギーと電極の仕事関数の相対的な関係がスイッチング現象に密接に関連した、科学として興味深い現象を見出だしたと考えています。

新規・既知の有機分子、錯体分子を自由に選択・設計・合成し、その集合体における分子配列を制御しつつ電子の持つ「電荷」と「スピン」の自由度を利用した新規現象の創出とその機構を解明する。分子内で、また、分子間で、「電子」がどのような振る舞いを見せているのか、それを如何に制御するかを探求する固体化学の研究は、私にとって飽きることのない世界です。

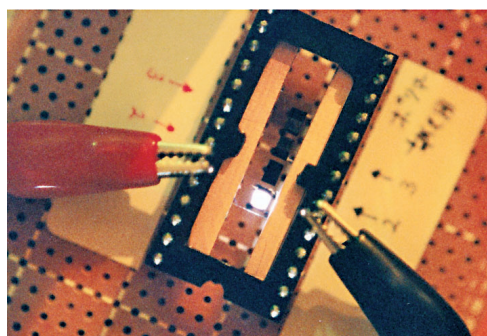


図2
有機EL現象。有機化合物に電圧を印加することで有機化合物が「光る」。

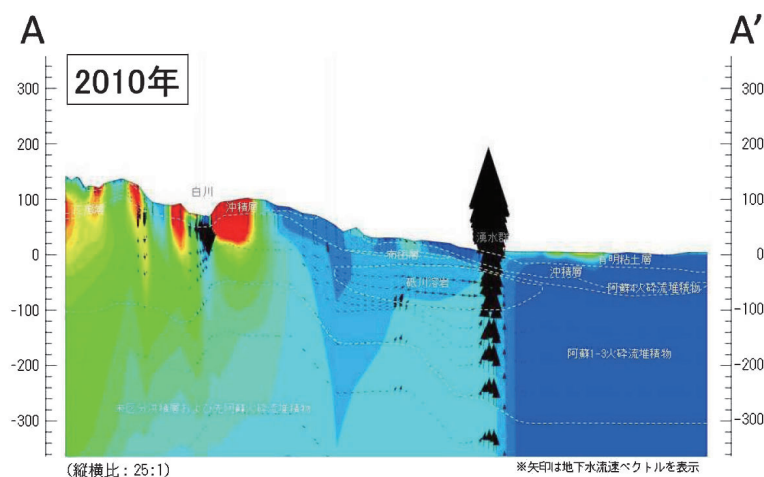
地下水の“すがた”を読み解く

地球環境科学コース 准教授
細野 高啓

水は生命にとって欠かせない重要な存在です。地球上に存在する水のうち、我々が利用できる陸域の淡水は全体の0.8%程度、またその全淡水に占める地下水の割合は30%程度と考えられています。淡水の7割弱が氷河として存在していることから、液体の状態で存在する淡水のほとんどは地下水といえます。河川水や湖水などの地表水は我々の目や手に届きやすい場所にあるため、水量や水質の特徴は良く解っています。一方、“地下”の水は容易には手に届かないことに加え、三次元的な空間に広範に存在するため、その流動や水質変化を捉えることは困難となります。

最近では、こうした目に見えない地下水の“すがた”を読み解く技術や方法が飛躍的に進歩してきています。下図は地下水の流動に沿って溶存する硝酸がどのように挙動しているかを示した熊本における一例です。地下水流動は、細かな三次元メッシュの各セクションに適切な水理地質的条件を与え、地表面から供給される降水が各メッシュからメッシュへと移動する様を統合した結果得られる卓越流を、ベクトルの向き（地下水流動方向）と大きさ（速度）によってある断面において示しています。図中の濃淡分布は、この地下水流動モデルに窒素の負荷源となる農業や畜産活動による面源窒素負荷推定量、ならびに帯水層中における微生物分解条件を組み込んだ場合の、2010年における硝酸濃度分布を色の濃淡で示しています（寒色系ほど小さく暖色系ほど大きい）。

2014年7月1日、国による『水循環基本法』が施行され、地下水の“すがた”の可視化の重要性はますます増してきています。ここでご紹介したモデルはまだ発展途上段階にあり、地下水の保全や利用を目的として一般に活用できる精度に到達するためにはいくつかの壁がありますが、進むべき方向性は見えてきています。地下水研究は現象理解に対する面白さに加え、社会的重要性を含むホットな領域です。熊本地域は人口約100万人が飲用水源の100%を地下水に依存している日本を代表する地下水地域であると共に、地下水研究の先進地域でもあります。是非皆さんの参加を期待しています！



地下水中の硝酸濃度分布モデル

日本列島は、東アジアの東端に位置し、小さい島国でありながら、コケ植物以上の植物を約7500種も見ることができます。また固有率も比較的高く、日本列島において種分化したグループも数多く見ることができます。一方で、固有科・固有属として扱われるような系統的に古いとされる植物も遺存的に残っています。こうしたことから日本列島は植物のマクロレベルの多様化機構を研究するための格好のフィールドであると言えます。私は現在見られる日本列島の多様な植物相（フロラ）がどのような過程を経て現在の多様化を獲得したのかに関心を持ち、分子系統地理学的手法を用いて研究を進めています。

これまでの研究では主に「高山植物」「シオガマギク属」「ブナ」などに焦点をあてて研究を進めてきました。高山植物の研究においては、日本列島の中に「北方系統」と「本州中部系統」という2つの大きな系統が複数の種において存在していることが明らかになってきました。系統の異なる種においてこうした共通パターンが認識されることは、共通する歴史的な要因が関与したものと想定されます。その要因としては、第四紀更新世における気候変動（氷期と間氷期の繰り返し）が関係しているのではないかと考えています。

またシオガマギク属の研究では、日本列島に分布するシオガマギク属植物を用いて、それらの系統的な位置を推定することによって、どのように種分化してきたのか、またはどのように分布を拡大させてきたのかといった観点から研究を進めています。最新の研究では、アジア大陸北東部に広く分布するホザキシオガマが、本州の白山山系にも遺存的に残っていることを明らかにしました。またホザキシオガマの最も近縁な種は、九州の固有種であるツクシシオガマであることも明らかとなりました。このように日本列島のフロラの成立過程にはアジア大陸に生育する植物と密接に関係していることが分かってきました。こうしたことは長い植物学の研究において想定されてきたことではありますが、客観的なデータから示したことは意義のあることだと考えています。

こうした背景からこれからは日本の中だけでなく韓国や中国などアジア大陸のフィールドにも出かけていって、調査・研究を行いたいと思っています。大陸ではないのですが、先日台湾の高山帯を調査するチャンスに恵まれました（図1）。台湾大学の先生や学生の皆さんに協力して頂いて、標高約3,500mもある高山帯まで登って、タカネシオガマ（図2）という植物のサンプリング調査を行いました。現在卒研生の方が頑張っている実験中なのできちんとした結果はまだ出ていませんが、台湾のタカネシオガマが九州のツクシシオガマにかなり近縁であることが分かりつつあります。言葉の壁を越えて、海外の研究者との交流も大変有意義かつ興味深いものでした。またチャンスを作って海外に飛び出してみたいと思っています。

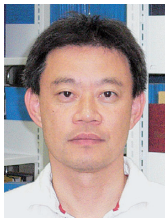


図1 台湾の高山帯を調査



図2 台湾のタカネシオガマ

執筆者紹介



千吉良 直紀
(ちぎら なおき)

1969年生
筑波大学大学院博士課程
数学研究科退学
博士(理学)
2008年から理学部に在職

専門分野: 有限群論



市川 聡夫
(いちかわ ふさお)

1963年生
九州大学大学院総合理工学研究科
情報システム学専攻博士課程退学
博士(理学)
1999年から理学部に在職

専門分野: 物性物理学



松田 真生
(まつだ まさき)

1973年生
北海道大学大学院理学研究科
化学専攻博士課程修了
博士(理学)
2009年から理学部に在職

専門分野: 物性化学



細野 高啓
(ほその たかひろ)

1976年生
筑波大学地球科学研究科博士課程修了
博士(理学)
2014年から理学部に在職

専門分野: 地球化学、流域水環境学



藤井 紀行
(ふじいのりゆき)

1968年生
金沢大学大学院自然科学研究科修了
博士(理学)
2007年4月から理学部に在職

専門分野: 植物系統地理学



Kumamoto University

発行: 熊本大学理学部
編集: 理学部広報委員会
〒860-8555 熊本市中央区黒髪2丁目39番1号
電話: 096-342-3014 (総務担当)
096-342-3321 (教務担当)
URL: <http://www.sci.kumamoto-u.ac.jp/index-j.html>