

Pure Science

第 7 号
2012.12



熊本大学 理学部

巻 頭 言

理学部長 古 島 幹 雄

この「Pure Science」は数学や理科に関心を持っている高校生や初年次の理系大学生向けに理学分野の最先端研究を出来るだけ分かりやすく解説し、将来、読者の中から理学研究を志す若者が続いて欲しいという思いを込めて発刊してきました。これまで30名の理学部教員がそれぞれの研究や思いを熱く伝えたいという気持ちで執筆に携わってきました。今回発行する第7号も各分野から5名のスタッフにより研究の面白さや最新の話題を分かりやすく解説されています。とはいえ、分野によっては内容的に分からない記述もあるかと思いますが、あまり気にしないで、それぞれの分野の様子や雰囲気を肌で感じながら全ての分野について最後まで読んで欲しいと思います。

Wir müssen wissen. Wir werden wissen.

(我々は知らねばならない。我々は知るだろう。)

これは19世紀～20世紀初頭代表するにかけて活躍した世界的数学者 David Hilbert のとても深い言葉で、ゲッティンゲンにあるHilbertの墓碑に刻まれています。知るということは単に知識を身につけたり知識を増やしたりすることではなく、ものの本質や真理を見極めそれが何であるかを知る事であり、多くの労と長い年月を経た後に私たちはきっとそれらを知ることになるという意味です。理学研究は何の役に立つかとよく聞かれますが、何かの役に立てるために理学という分野は存在しているのではなく、「知るために存在している」まさにそのような学問なのです。今、分からない真実も時間が経てば次第に分かってくることでしょう。過去から受け継いできた理学分野の研究や成果を発展させ未来の人々に繋いで行く事こそ私たち現在に生きる者の使命だと思います。将来、読者の中から理学の基礎研究に携わる研究者がたくさん出る事を期待しています。



1987年8月
ゲッティンゲンにて撮影

未解決問題と数学の夢

数学コース 教授
加藤 文元

数学には未解決の問題がたくさんあります。数学においても、まだまだわからないことがたくさんあるのです。未解決の問題は、確かに難しいから未解決なのですが、その「難しい」は必ずしも〈専門的過ぎる〉という意味ではありません。確かに高度に専門的であるため、難解で複雑だという場合もあるでしょう。しかし、数学における大事な問題の多くは、それが極めて〈基本的〉であるからこそ難しいということが多いのです。基本的なのに難しい。ここに数学という学問の不思議さがあります。

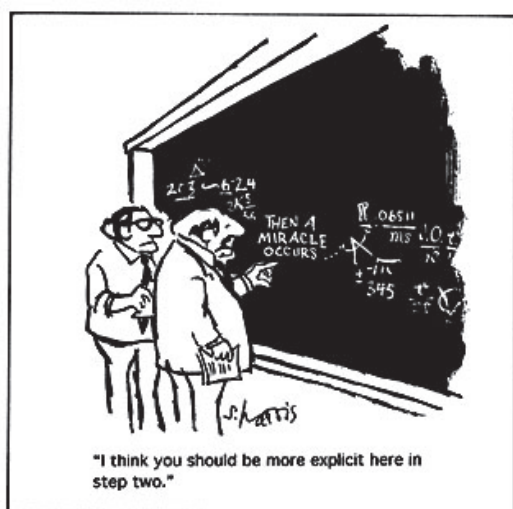
20世紀初頭にヒルベルトという人が『23の問題』と呼ばれる未解決問題を発表しました。20世紀の100年間の間に、それらのうちの多くの問題が解決しましたが、未だ解かれてないものもあります。これらの問題に人々が挑戦したり解決したりする中で、数学は大きく発展しました。ヒルベルトの問題は20世紀の数学をリードしたのです。

そもそも数学において問題を〈解く〉とはどのようなことでしょうか？ 多くの人が考えるように、それは計算によって答えを出すとか、論理によって正しさを証明するといったことを意味します。しかし、だとすると、ここで疑問が生じます。計算や証明によっても立証されていない〈正しさ〉を、人間はどのようにして予言できるのでしょうか？ そして、それが数学の発展のために大事だということを、どのようにして前もって知ることができるのでしょうか？

数学という学問においては、論理や計算だけでなく、〈直観〉が重要な役割を果たします。数学とはとても直観的な学問だとも言えるのです。〇〇と××が関係ありそうだ！とか、△△の方法を使えば解けそうだ！という感覚は、決して理屈では説明することのできない数学の醍醐味です。そして、〈わかってしまう〉ときには、霧がすっかり晴れて突如としてすべてのことが明快になります。難しいことを簡単に。明快でなければ数学ではありません。明快さのために直観と論理をバランス良く動員できることが、数学という成熟した学問の魅力です。



ダーフィット・ヒルベルト



「この第2ステップのところは、もう少し明快にするべきだと思うよ…」

特に、一見関連のなさそうな素朴で基本的な対象の間に隠されたリンクが見出されることがあります。それは数学の一分野の基礎をも揺るがす大発見につながる可能性があるのです。だからこそ、基本的なものほど重要で難しいことがあるわけです。

今世紀初頭にはクレイ研究所から『ミレニアム問題』として7個の問題が発表されました。そのうちの一つ(ポアンカレ予想)は、すでに解決されましたが、残りの6個は未解決です。これらの問題も今世紀の数学をリードするのでしょうか？ 22世紀にも影響を残すのでしょうか？…数学とはまだまだ夢の尽きない学問です。

放射光を使った科学

物理学コース 教授
細川 伸也

X線をドイツ人物理学者Wilhelm Conrad Röntgenが発見したのは、1895年のことなので、たった110年あまり昔のことではかないのですが、人類に非常に有益な発見であることは非常に早くから認められ、彼は1901年に第1回ノーベル物理学賞を受賞しました。詳しく述べるまでもなく、その後X線は、自然を理解するため、また人の健康を詳しく調べるためなど、多くの分野でその力を発揮しています。

X線を発生するには、これまでは医療用に使われているような、高電圧で加速した電子を金属に衝突させるX線管球を用いることが一般的でした。ところが30年くらい前から、光速に近い速さの電子の方向を、磁石がつくる磁場で曲げ、そのときに出てくる放射光を光源として使うことができるようになりました。その優れた特徴として、次のようなことがあげられます。

1. X線管球と比べて5ケタをはるかに超える強い光が出る。
2. レーザーのように、指向性が強く、光が広がらない。
3. エネルギーが連続的で、赤外線から可視光、紫外線、X線、 γ 線の全てが出てくるので、研究に必要な光を選択することができる。
4. 強く偏光しているばかりでなく、さまざまな種類の偏光を選ぶことができる。
5. 光源が非常に小さいので、集光して1ミクロン以下のサイズの小さな光を作れる。
6. ピコ秒台のパルス状の光である。

このような放射光の優れた性質を使うことにより、物理、化学、生物、地学の広い分野で、さまざまな物質の中の原子の並び方や電子の性質と働き、原子や電子が短い時間で動くようす(ダイナミクス)を観察するなどの基礎的な研究ばかりでなく、応用工学あるいは医学、薬学など、幅広い分野でそれを応用した開発研究がなされています。まさに、物質科学の革命が現在起こっていると言えます。

さて、放射光を発生する施設ですが、日本は「放射光列島」と呼ばれているほど、世界でもその施設数が多い国です。写真は、兵庫県西播磨にあるSPring-8の航空写真ですが、その直径は500 m、周長が1500 m近くもあって世界で最も大きく、主としてX線、 γ 線に力を入れている施設です。また、熊本大学の近くにも佐賀県鳥栖市に県営のコンパクトな放射光があり、こちらは主として紫外線、軟X線を使った研究が行われています。

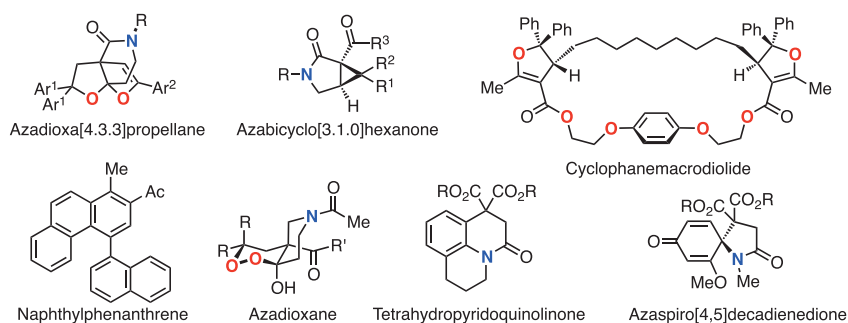
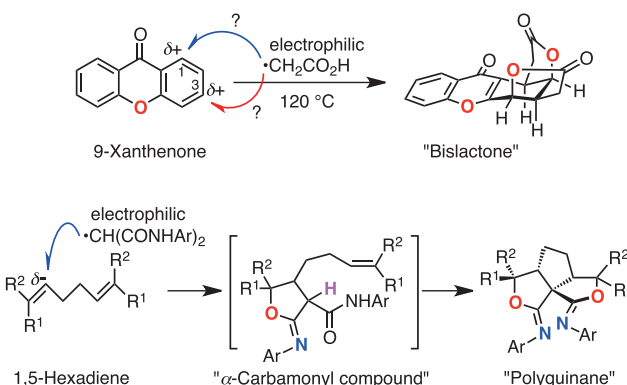
放射光を用いた科学は、上のことから想像できることですが、物理、化学、生物、地学の分野にあまりこだわらず、分野を横断した研究を広く行っていることです。熊本大学理学部は、一学科制で、入学後すぐには専攻分野を決めず、まず自然科学全体を広く学んでから、進路を決めるという、学部スタイルをとる全国でも非常に珍しい理学部です。それは、放射光を使った自然科学を学ぶために、非常に適した学部であることを示しています。いっしょに放射光を使って、次の世界を切り開きませんか？



大型放射光施設SPring-8の航空写真。
(提供: 独立行政法人理化学研究所)

生物学者(博物学者)の研究フィールドが野外にあるように、化学者のフィールドは化学実験室にあります。とりわけ、有機化学者のフィールドはフラスコの中にあり、反応後に使うカラムクロマトグラフィーや薄層クロマトグラフィー (TLC) で用いるシリカゲルの中にあります。話は極めてミクロな分子の世界です。フラスコの中で化合物(基質)を様々な反応条件下で試薬と反応させると、生成物たちができます。この生成物たちに到達するための反応経路はたくさんの素反応から成り立っています。すなわち、一つ一つの素反応からそれぞれの生成物たちができてくるので、得られた生成物は必ず混合物であり、私たちはその中から必要な化合物だけをクロマトグラフィーとう分離操作法で単離しなければなりません。有機合成という観点からすると必要な化合物だけを取り出せばそれで良いのですが、有機反応という観点からすると、ある条件下の1回の反応でどのような生成物たちが得られるのか? すなわち、すべての生成物たちを一つ一つ分離精製して構造決定を行い、基質からそれぞれの生成物がどのような反応経路でできてきたのかを検証しなければなりません。理学の研究の中で唯一、新しいものを自分たちの力で作り、自らその構造を決定し、それらの化合物に名前も付けることができるのは化学という学問だけです。残念ながら私たちがフラスコの中で見ることでできる有機化学反応は、素反応の中で最も遅い反応だけです。しかし、反応混合物を分離精製する時に使うクロマトグラフィーのシリカゲルの中には、比較的速い素反応からできた不安定な反応中間体も含まれています。これらの反応中間体を細かく調べていくと、私たちがこれまでに経験したことのない隠れた反応がフラスコの中で自然に起こっていて、見たことも無い新しい化合物が生成していることに気づくのです。まさに、「未知との遭遇」です。例えばそれがマイナーな反応であっても、生成物が化学的に有用であるならば、それをメジャーに変えるべく、また新たな研究がスタートします。

天然色素の元となる9-xanthone に求電子的な carboxymethyl radical ($\cdot\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$) を反応させると、どういう訳か2当量のラジカルが電子不足(δ^+)の1位と3位の炭素を攻撃し、しかも芳香族性を壊して、何とベンゼン環に付加反応が起こり、bislactone が生成します。これは私たちが日頃経験することのない反応です。同じように、求電子的な malonamide radical ($\cdot\text{CH}(\text{CONHAr})_2$) を 1,5-hexadiene に反応させると、 α -carbamoyl 化合物が生成するはずなのに、これもどういう訳かこの段階では決して止まらず、さらに分子内付加反応が起こり、複雑な天然物骨格(polyquinane)を与えます。このように、ラジカル反応を組み合わせると、私たちがこれまでに知らなかった生成物がどんどんできてきます。しかし、これがまた不思議なことに、よくよく調べてみると、自然界にはそれらと類似の基本骨格を自ら合成している生き物たちがいることに我々は気づかされます。自然はとにかく不思議であり、奥が深い。これまでの「未知との遭遇」で identify (構造決定) された化合物たちの一部を以下に列記します。



自然科学における「未知との遭遇」は私たち化学者をわくわくさせ、心をかき立たせ、人類の発展につながる発見へと導きます。私たち人類は常に「未知との遭遇」を追い求めなければならないのです。

地球深部過程を読み取る

地球環境科学コース 助教
石丸 聡子

地球の上部マントルは、かんらん石(ペリドット：8月の誕生石)を主要な構成鉱物とするかんらん岩からなっていると考えられています。この上部マントルのかんらん岩が部分融解することで、地表で観察される玄武岩質の初生マグマ(ハワイや海嶺などで噴出)が生成されます。このマントルかんらん岩は存在深度によって構成鉱物種が変化しますし、マグマを生成するに従って化学組成も連続的に変化していくため、存在場(テクトニックな条件)によって異なる性質をもつことが予想されます。また、海嶺で生成された海洋プレートは、日本列島のような沈み込み帯で海溝を通してマントルへと沈み込んでいくため、マントルは局所的には非常に不均質であると言えます。このマントルかんらん岩の物質学的・地球化学的な性質を明らかにすることは、地球におけるマグマ生成プロセスを理解するだけでなく、地球の歴史を解明することにもつながります。

地球深部(海洋地域で約8 km以深、大陸地域で約40 km以深から2,900 kmまで)に存在するマントル物質の入手は容易ではありませんが、上部マントルに由来するかんらん岩は、しばしば火成岩中に礫として取り込まれて地表にもたらされることがあります。それらは「捕獲岩(図1)」と呼ばれます。私は、その捕獲岩の中でも、特に日本列島のような沈み込み帯のマントルに由来するものを野外調査により採取し(図2)、解析をおこなっています。沈み込み帯マントルでは、海洋プレートが沈み込むことによって、強い変形作用や化学組成の改変作用が大規模に起こっていることが、詳細な解析によりわかってきています。

上部マントルや下部地殻などの地球深部物質を直接入手する試みである、深部掘削計画もおこなわれていますが、人類が月へ降り立った今でも、人類が掘削して到達した最高深度は大陸下で約12,260 m(ロシア、コラ半島)、海底下で2,466 m^{*1}(日本の下北半島八戸沖)にすぎず、上部マントルを直接入手できていません。上部マントルへの到達を目指して、地球深部探査船「ちきゅう」を日本が建造し、深部掘削の成果を上げつつあります。現在のところ、マントルへの掘削は、10年以内には達成できると考えられています。是非、一緒にマントルを目指しましょう。

^{*1}これまでは、1993年にエクアドル沖でアメリカのジョイデスレゾリューション号が達成した2,111 mが海底下掘削深度記録でしたが、平成24年9月6日に日本の地球深部探査船「ちきゅう」がその記録をぬりかえ、最終的には2,466 mまで到達しました。



図1: 佐賀県唐津市高島に産するかんらん岩捕獲岩

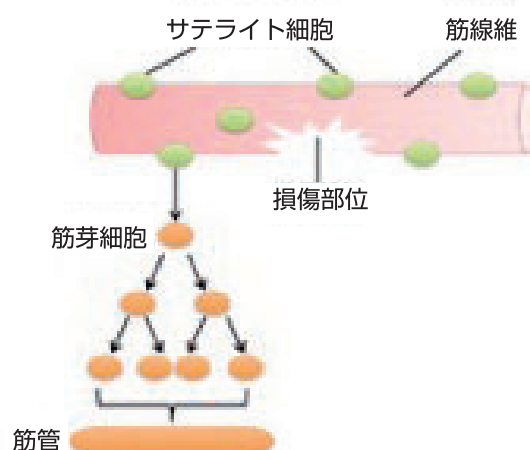


図2: カムチャツカ半島での野外調査風景 (7月)

2021年10月に京都大学 山中先生がノーベル医学・生理学賞を受賞されたこともあり、多くの方がiPS(induced pluripotent stem cell)、人工多能性幹細胞についてのニュースを目にされたことと思います。iPS細胞は様々な組織や器官を誘導できるとされています。ヒト患者からの細胞を材料として用いることで、拒絶反応の問題を解決でき、再生医療の発展に大きな影響を与えています。iPS細胞より卵や精子を誘導することが最近報告され、また、ヒト患者より作成したiPS細胞を用いた難病発症機構の解明や治療薬の開発、骨髄損傷やパーキンソン病の治療など、これからの発展が大きく期待されています。

iPS細胞の様なあらゆる組織や器官に分化する能力を欠いていますが、組織幹細胞と呼ばれる未分化な細胞が私たちの体の中に存在し、組織幹細胞から絶えず新しい細胞が生まれています。例えば、赤血球やリンパ球などは骨髄に存在する造血幹細胞から前駆細胞を経て、多数の異なるタイプの血液細胞が産生されます。また、皮膚、毛髪、腸の上皮も幹細胞から分化した細胞により絶えず入れ替わっています。このように、私たちの体の組織の多くは再生能力を持っています。私たちが本来持っている組織幹細胞を用いた研究も大変注目されています。

私は現在「骨格筋の再生過程」について研究しております。激しい運動などにより筋肉が損傷を受けると、新たな筋肉を再生する機構が私たちの体には備わっています。筋再生を担う組織幹細胞は筋線維上に存在するサテライト細胞(衛星細胞)です。サテライト細胞は損傷刺激により増殖し、筋芽細胞へと分化します。筋芽細胞はさらに増殖し、移動、細胞の融合、筋管を経て、筋線維へと分化し、損傷部位を修復します。この過程にはさまざまな分子が関与することが分っていますが、その詳細は未だ明らかになっておりません。骨格筋の再生過程のメカニズム解明を通して、様々な筋疾患の治療法の開発にいつの日か貢献できればと思います。



【筋再生の模式図】

筋線維が損傷を受けると、その周辺のサテライト細胞が筋芽細胞へと分化し、増殖する。増殖した筋芽細胞は融合して筋管を形成し、損傷部位を修復する。

執筆者紹介



加藤 文元
(かとう ふみはる)

1968年生
京都大学大学院 理学研究科
数学・数理解析専攻修了 博士 (理学)
2011年から理学部に在職

専門分野：数論幾何学



細川 伸也
(ほそかわ しんや)

1955年生
京都大学大学院理学研究科博士後期課程
物理学第一専攻単位取得退学 博士 (理学)
2012年より理学部に在職

専門分野：放射光を用いた物性物理



西野 宏
(にし の ひろし)

1955年生
熊本大学大学院理学研究科修士課程
(化学専攻) 修了
理学博士 (東北大学)
1981年から理学部に在職
<http://www.nishino-labo.jp/index.html>
専門分野：有機化学



石丸 聡子
(いしまる さとこ)

1979年生
金沢大学大学院自然科学研究科
博士後期課程 環境科学専攻修了
博士 (理学)
2011年から理学部に在職

専門分野：マントル岩石学



中山 由紀
(なかやま ゆき)

1973年生
熊本大学大学院自然科学研究科修了
博士 (理学)
2012年4月から理学部に在職

専門分野：発生生物学



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)
U R L : <http://www.sci.kumamoto-u.ac.jp/index-j.html>