

サイエンス & テクノロジー

京都産業大学

理系学部からの
メッセージ

VOL.16

01

直観を裏切る 逆正弦法則

確率過程への誘い

矢野 裕子 准教授

02

超伝導の ダイナミクスに迫る

NMRで捉える物質の多様な姿

伊藤 豊 准教授

03

並列処理を生かす プログラミング技術

時代はマルチコアからメニーコアへ

新實 治男 教授

04

コンピュータの 誤りを探し出す

ハードウェア&ソフトウェアの自動検証

平石 裕実 教授

05

検索エンジンに コミュニケーションをプラス

リンクとユーザの両面から
webページとユーザを同時に評価

河合 由起子 准教授

06

生命の エネルギーの 作り方、使い方

分子機械の仕組みに迫る

横山 謙 教授

07

動原体の進化に迫る

染色体の構造変化から、
生物進化の根本的なメカニズムを解明したい

河邊 昭 准教授

08

ウイルスと生物の 神秘的な関係

動物の神経を蝕む
ボルナ病ウイルスの謎に挑む

西野 佳以 准教授

直観を裏切る 逆正弦法則

確率過程への誘い



理学部
数理科学科

矢野 裕子

准教授

博士(理学)
確率論、確率過程論

0011

偶然現象を数学によって表す「確率過程論」が確立したのは、確率論が積分論などと結び付いて飛躍的に発展した後のことで、20世紀になってからです。

私たちは、コインを投げてどのぐらい表が出るのか、といった偶然現象について経験的によく知っているかのように思っています。しかし、数学を使って厳密に考えると、私たちの直観には怪しいところがあるのだと分かるのです。

コイン投げのゲームから始めて、確率過程の奥の深い世界へ、みなさんをご招待します。

超伝導の ダイナミクスに 迫る

NMRで捉える物質の多様な姿



理学部
物理科学科

伊藤 豊

准教授

博士(理学)
物性物理

0022

冷却すると電気抵抗がほぼゼロになるという特異な性質を見せる超伝導現象。BCS理論によって、金属や合金で起きる超伝導についてはその仕組みが解明されました。

しかし、近年になって、銅酸化物などのセラミックスの中にも超伝導の性質を示す物質があることが分かりました。これらは、金属や合金と比べて高い温度で超伝導の性質を示すことから「高温超伝導」と呼ばれ、幅広い応用が期待されています。

しかし、なぜこれらの物質が高温での超伝導現象を見せるのか、BCS理論だけでは説明できません。NMRという観測装置を使ってその謎に迫る研究を紹介します。

並列処理を生かす プログラミング技術

時代はマルチコアから
メニーコアへ



コンピュータ理工学部
コンピュータサイエンス学科

新實 治男

教授

工学博士
並列コンピュータシステムの
構成方式

0033

コンピュータの計算速度は年々高まり、単独のプロセッサを高速化させる方法では、すでに限界が見え始めています。スーパーコンピュータはもちろんですが、家庭用のパソコンでも、複数のプロセッサを搭載するマルチコアは当たり前になり、さらには何十個ものプロセッサを使うメニーコアによる並列処理の時代が目前になってきました。

現在の状況は、ハードウェアが並列処理になっているにもかかわらず、プログラミングがそれに十分には追いついていません。プログラミング技術の課題も含めて、並列処理技術の現状と展望をお話します。

コンピュータの 誤りを探し出す

ハードウェア&
ソフトウェアの自動検証



コンピュータ理工学部
ネットワークメディア学科

平石 裕実

教授

工学博士
論理システムの設計検証

0044

私たちは、コンピュータやそれが制御するシステムは問題なく動くことが当たり前のように思いがちです。しかし、ハードウェアには回路の故障が、プログラムには無限の計算が、システムには仕様上あってはならない状態が、それぞれ起こり得るものです。

それを事前に検出するのが、設計検証と呼ばれる分野。コンピュータの高度化によって、ハードウェアやプログラムの故障を検出したり、設計のミスを探し出ししたりすることは、人の手だけではとても対処できない規模の作業になっています。コンピュータを使った最先端の設計検証を紹介します。

検索エンジンに “コミュニケーション” をプラス

リンクとユーザの両面から
webページとユーザを
同時に評価



コンピュータ理工学部
インテリジェントシステム学科

河合 由起子

准教授

博士(工学)
情報工学

0055

検索エンジンを使っていて、思うような検索結果が出なくて困った経験は、多かれ少なかれ誰でもあるでしょう。今ある検索エンジンは便利なものですが、まだまだ改善の余地があります。

現実の世界では、情報を得る際に、人との“コミュニケーション”が大きな役割を果たしています。このコミュニケーションをサイバー空間に取り入れることで、情報と人との多様なつながりを分析し、これまでになかった情報と人とを同時に検索できる次世代の検索エンジン「つながる検索」を開発しました。すでに公開もしている「つながる検索」について紹介します。

生命の エネルギーの 作り方、使い方

分子機械の仕組みに迫る



総合生命科学部
生命システム学科

横山 謙

教授

理学博士
生化学、構造生物学、
生物物理学

0066

私たちは日々、ATPという小さな分子が加水分解する際に生み出すエネルギーを使って、生命活動を維持しています。このATPを作り出すのがATP合成酵素という、回転する複合タンパク質です。半世紀以上続くATP合成酵素の研究は、生物にめずらしい“回転”によってATPが合成される過程についての研究がほとんどでした。そこで、私たちは回転によって生み出された回転力がATP合成酵素内をどのように伝わっていくのかについて焦点を当てて研究を進めることにしました。また、個体レベルでの研究も積極的に行っていて、個体老化とATPの関係についても研究しています。

動原体の 進化に迫る

染色体の構造変化から、
生物進化の根本的な
メカニズムを解明したい



総合生命科学部
生命資源環境学科

河邊 昭

准教授

博士(農学)
集団遺伝学

0077

細胞分裂の際、染色体の中でもとくに重要な働きをする動原体。その働きによって次の世代に正確に遺伝情報を伝えることができます。

この動原体は、働きや構造はさまざまな生物で保存されていますが、塩基配列は大きく異なっています。「重要な機能を持つものは変化しない」という進化の大原則には従っていないのです。

私は、アブラナ科のシロイヌナズナの近縁種・ハウサンハタザオの動原体で、この進化の過程ともいえるべきとても珍しい現象を発見しました。染色体の構造変化につながる、動原体の進化の謎に迫ります。

ウイルスと 生物の 神秘的な関係

動物の神経を蝕む
ボルナ病ウイルスの謎に挑む



総合生命科学部
動物生命医科学科

西野 佳以

准教授

博士(理学)
ウイルス学、免疫学

0088

ボルナ病ウイルス(BDV)は神経症状を引き起こすウイルスで、人間のうつ病にあたるような症状を示すのが特徴です。

ボルナ病が広く知られるようになったのは、19世紀にヨーロッパ、特にドイツで流行したことがきっかけでした。当初、馬に特有のウイルスと考えられましたが、その後、非常に多くの動物種に感染することが分かりました。

人間に感染した場合には、精神疾患を引き起こす可能性が考えられます。しかし、まだまだ分かっていないことが多く、それだけに研究の意義がある対象なのです。

コイン投げゲームをやってみよう

はじめに、簡単なコイン投げのゲームを考えてみましょう。持ち点0からスタートし、コインを投げて表だったら勝ちで+1点、裏だったら負けで-1点とします。この簡単なコイン投げのゲームを繰り返して行います。

結果を見やすくするために、簡単な式で書いてみます。

n回目のコイン投げの結果を X_n で表すことにします。このとき X_n は $\frac{1}{2}$ の確率で+1か-1をとります。これに対し、 $S_n=X_1+X_2+\dots+X_n$ とすると、 S_n がn回目の持ち点となります。持ち点が正の値であれば、勝ちの回数が負けの回数を上回っていることになります。要するに、勝ち越しの状態です。何度かコインを投げて、x座標がnでy座標が S_n の点をプロットして直線で結んだグラフを描くと、図1のようになります。この線がx軸より上側にあるときを勝ち越しの期間、

下側にあるときを負け越しの期間としましょう。このゲームを繰り返すとき、これらの期間は一体どのようになるのでしょうか。

勝ち越し期間、負け越し期間のいずれの期間も、全体のおよそ半分くらいになることがもってもらいたいと思う人が多いのではないのでしょうか。

しかし、実際に何度かやってみると、予想外の結果が出てきます。コイン1枚で実験できま

すので、皆さんで試しにやってみてください。結論を言います。図2は、このコイン投げゲームを何度も繰り返したときの結果のひとつです。実は、勝ち越し期間と負け越し期間が同じくらいになることよりも、「ほとんど勝ち越し期間」か「ほとんど負け越し期間」のどちらかになることの方が起こりやすいのです。図2のようなグラフが現れることは決して珍しいことではないのです。

このことを数学的に説明するのが、私の研究している「確率過程」です。

直観を裏切る 逆正弦法則

確率過程への誘い

簡単なゲームから、物理学や経済学まで、時間とともに移り変わるものを表すための「確率過程」。確率と微積分が結び付いたことで生まれたこの数学は、20世紀に始まったばかりですが、さまざまな分野で応用されています。偶然現象の中には、私たちの直観とは異なるものがあります。このような現象を直観を排して数学的に説明するのが確率過程です。中でも奇妙な「逆正弦法則」が今回のキーワードです。さまざまな確率過程の研究を第一線で行う矢野裕子先生と一緒に、単純なゲームから確率過程の世界を眺めてみましょう。

確率過程の誕生

コイン投げのゲームから話を始めましたが、実際に確率論の起源のひとつは賭け事の問題であったと言われています。17世紀に活躍し、さまざまな結果を残したパスカル (Blaise Pascal, 1623-1662) とフェルマー (Pierre de Fermat, 1607あるいは1608-1665) は、手紙のやりとりを通じて、途中で止めたゲームの賭け金の配分はどうしたらいいのか、などの問題に取り組みました。その後、確率論は、微分積分学やルベーグ積分論という数学と結び付いて飛躍的に発展しました。そして現れたのが、確率過程です。

皆さんも中学、高校の数学で確率を習うと思いますが、確率過程という言葉はあまり馴染みがないかもしれません。確率過程とは、簡単にいえば「時間とともに変動する量を表現するもの」です。重要なのは、「時間」による移り変わりを見るという点です。

確率過程は、20世紀にマルコフ (Andrey Andreyevich Markov, 1856-1922) らによって定式化されてきました。確率過程は物理学とも結び付いています。花粉を水に浮かべると観測される予測不可能な動きをブラウン運動と呼びますが、これも確率過程で表現することができます。

さらに、日本の数学者・伊藤清 (1915-2008) が伊藤の公式や伊藤解析といった手法を導き出すと、それに影響された多くの数学者が確率論を発展させて、経済の分野への応用も広がっていきました。今日では、伊藤解析は数理ファイナンスにおける重要なツールになっています。

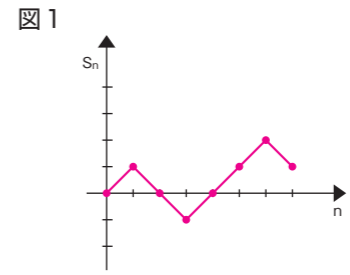
株価の動きから分子の運動まで、さまざまな分野で登場する確率過程。次では確率と微分積分がどのように関係するのかを見てみましょう。

微分積分と確率をつなげた先に

高校では別々に習う微分積分と確率ですが、確率論を学ぶ上で微分積分学は極めて重要です。たとえば、最初に紹介したコイン投げで、試行を何回も繰り返すということを考えると、これは試行回数 $n \rightarrow \infty$ の極限を考えるとになります。このように確率論では極限を扱いますから、微分積分学は欠かすことができません。また、確率論では測度と呼ばれるものが使われますが、この測度とは、面積のように大きさを表した概念で、積分と深い関係があります。お馴染みの「期待値」も、実は積分そのものなのです。

もう一歩踏み込んで考えてみましょう。先ほど確率 $\frac{1}{2}$ といましたが、これはどういう意味を持っているのでしょうか。

確率論の最も重要なテーマのひとつに「大数の法則」と呼ばれるものがあります。簡単にいうと、ある試行を行ったときに事象Aが起こる



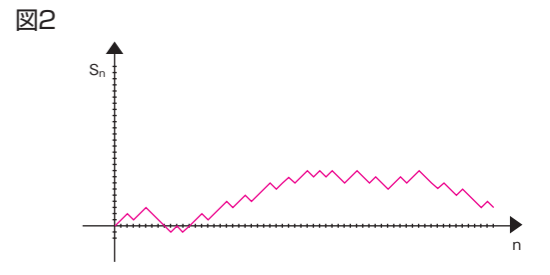
比率は、試行を何度も繰り返すと事象Aが起こる確率に近づくという法則です。コイン投げの例でいえば、2、3回投げた程度ではすべて表だったり裏だったり偏っているかもしれませんが、何度も繰り返すほど、表が出る比率は $\frac{1}{2}$ に近づいていきます。何回も投げれば2回に1回の割合で表が出るというのが確率 $\frac{1}{2}$ の意味なのです。

この法則を私たちは経験的に知っています。ここで注意したいことは、いま述べた法則は数学の定理としてはまだ不完全であるということです。先の法則の中で「近づく」という言葉を使いましたが、この「近づく」の意味があいまいです。これをはっきりさせないと数学の定理と呼ぶことはできません。確率論では、あいまいなこの法則はきちんと定式化して証明され、明瞭な数学の定理へと姿を変えます。確率論や確率過程論は、微分積分学などの解析学を駆使して偶然現象をうまく定式化した数学なのです。

逆正弦法則の不思議

コイン投げゲームで S_n の点を結んで出来たグラフ (図1、図2) は、確率論ではランダムウォークの道と呼ばれるものです。ランダムウォークは、日本語では酔歩や乱歩などと呼ばれます。名前の通り、酔っぱらいが千鳥足でふらふらと歩いたときの足取りのように見えます。

ランダムウォークは、マルコフ過程と呼ばれる確率過程のひとつです。マルコフ過程は、現在の状態で条件付けたときに過去と未来とが独立であるという性質 (マルコフ性) を持っています。たとえばコイン投げのモデルで、10回投げた10回表が出たら次は裏が出やすいかというところではなく、次の表裏もやはり確率は半々で



す。過去の情報を一切覚えていない、というのがマルコフ性の意味です。

さて、逆正弦法則の詳しい説明に入りましょう。ランダムウォークの道がx軸よりも上側にある時間、下側にある時間をそれぞれ正側滞在時間、負側滞在時間といいます。先ほどのコイン投げゲームのときには勝ち越し期間、負け越し期間と呼んでいたものです。これらは、黒字の期間、赤字の期間と考えることもできますね。x軸を利益と損失が拮抗するラインだとすれば、正側滞在時間は「儲かっている時間」の合計だとみなせます。

ランダムウォークの道を描いたとき、正側滞在時間と負側滞在時間は半々になりそうな気がしますが、最初に紹介したように、このような私たちの予想は裏切られてしまいます。実際には、正側滞在時間の割合は、ちょうど半分 $\frac{1}{2}$ になるよりも、0か1に近いことの方がもってもらいやすいのです。

この現象は「逆正弦法則」に関係しています。1939年にフランスの数学者レヴィ (Paul Pierre Lévy, 1886-1971) によって示されたこの結果は、厳密には極限定理として定式化されます。ランダムウォークの時間と空間を縮めると、ブラウン運動に収束します。確率過程の収束にはいろいろあって、ここでいう収束は正確には分布収束と呼ばれるものです。ランダムウォークの滞在時間も同様にブラウン運動の滞在時間に収束します。ブラウン運動の滞在時間の分布関数が逆正弦関数 (正弦関数 $\sin(x)$ の逆関数) を用いて表されることから、逆正弦法則という名が付いています。

私の研究では、この逆正弦法則を一般化して、確率過程のどのような性質がこの法則の本質的な部分に関わっているのかを明らかにしようとしています。これまでに行った研究では、一次元拡散過程と呼ばれる確率過程に対して正側滞在時間を考え、その分布に関するいくつかの極限定理を発見し、証明しました。拡散過程というのは、ブラウン運動の道の連続性とマルコフ性に着目した拡張クラスです。

確率過程には、道が連続ではないものもあります。たとえば、加法過程と呼ばれるものがそれです。加法過程のような道が連続でない確率過程の正側滞在時間を考えるためには、拡散過程のような道が連続な確率過程の場合とは異なる手法が必要です。そのような方法を探ることに興味を持っています。

理学部 数理科学科
矢野 裕子 准教授

PROFILE
高校時代から数学に興味を持っており、大学の数学科へ進学。確率論の面白さに魅かれ、特に逆正弦法則の直観を裏切る不思議さに感銘を受ける。その後、大学院生のときに逆正弦法則の一般化に取り組んだ論文を読み、それから一般化逆正弦法則の研究に取り組む。確率論は偶然現象をうまく定式化している点が面白いと語る。国際基督教大学高等学校OG。

ADVICE

私たちは学校で数学の定理や公式を習います。まるで当たり前のこのように教わることもありますね。「こんなことも分らんのか」なんて先生に呆れながら言われたこと、ありませんか? (私もあります。) しかし本当は、定理や公式というのは、人間が何度も間違え、正すという数多の紆余曲折を経て、作られたものなのです。数学はとても人間らしい学問だと、私は思っています。微分積分学や確率論が発展していったときも、多くの数学者がいろいろな挫折や失敗を積み重ねています。その繰り返しの結果として、私たちには整理された綺麗な数学が見えているのです。不思議なもので、それまで難しく思えたことも、分かってしまった後では驚くほど簡単に見えてしまいます。でも思い出してください、分かるまでは難しかったのです。本当に理解するまでは、誰でも難しさを感じるものです。それから、難しさを感じる点は人によって違います。ですから、他人と比較することには何の意味もありません。数学を学ぶ上で重要なことは、分かるまでの自らの努力を怠らないということです。すぐに分からなくても構いません。悩んで苦しんでも、少しずつでも重ねる努力は、何ものにも代え難い自身の財産になります。



ブラウン運動

花粉を水に浮かべて顕微鏡で見ると、その花粉から出た微粒子があちこちでたために動き回るという現象が見られます。このような不規則運動は、花粉のような生物由来のものに限らず、微細な粉末に普遍的に見られることを、植物学者・ブラウン (Robert Brown, 1773-1858) が発見しました。この現象は、発見者の名前をとってブラウン運動と呼ばれています。それまでのニュートン力学では解析できないような、偶然的な運動です。この運動は1905年に相対性理論で有名なアインシュタイン (Albert Einstein, 1879-1955) により数理モデルが提唱され、1923年に数学者ウィーナー (Norbert Wiener, 1894-1964) によって、数学的に厳密に定式化されました。

超伝導のダイナミクスに迫る

NMRで捉える物質の多様な姿

発見以来、さまざまな応用技術が期待されている超伝導。単に工学的な利用の可能性が広いだけでなく、低温下の物質が見せる不思議な性質を調べることで物理学の発展にも大いに貢献してきました。NMRという観測技術を使って、謎が残る高温超伝導のダイナミクスを解き明かそうとしている伊藤豊先生にお話を伺いました。

幅広い応用が考えられる 展望の技術

超伝導とは、1911年に初めて発見された物質の性質で、極低温下で物質の電気抵抗がほとんどゼロになる、というものです。最初は鉛やスズなどの金属で発見され、その後、金属と金属の化合物(合金)や銅酸化物などのセラミックスでも超伝導が起きることが確認されています。

電気抵抗をなくす技術は、非常に幅広い応用が期待されています。たとえば、現在の技術では、発電所からの送電には、送電線の電気抵抗によって、必ず一定のロスが生じます。そこで、送電線に超伝導体を利用することで、送電ロスをほとんどゼロにすることが考えられています。この技術は「超伝導ケーブル」と呼ばれ、すでに実用化に向けた開発競争の段階に入っています。

その他にも、超伝導には磁場を通さない、という性質があるため、磁場を超伝導体の中に閉じ込めて、強力な磁石を作ることができます。超伝導磁石は、リニア新幹線の浮上・走行への利用が決まっています。

このように、多岐にわたる活躍が期待される超伝導ですが、金属や合金を超伝導状態にするには、たとえば水銀では、4.2K(約マイナス269度)まで冷やす必要があります。そのため、

液体ヘリウム(沸点約マイナス269度)を使って冷やすのですが、ヘリウムは地球上では希少な元素であるため、高価であるという欠点があります。

ところが、1986年に、35K(約マイナス238度)で超伝導の性質を示す銅酸化物系の物質が発見されました。その後、次々とセラミックスの超伝導体が発見され、1987年には、窒素の沸点(約マイナス196度)を超える温度で超伝導の性質を示す物質が見つかりました。これらは金属や合金に比べて高温で超伝導になるため「高温超伝導」と呼ばれています。窒素は地球上に豊富にあり、価格もヘリウムの10分の1程度と安価なため、さらなる応用が期待されています。

進む応用に対して いまだに残る謎

金属や合金に関しては、超伝導が起きる仕組みがBCS理論によってよく説明されています。BCS理論は、理論の構築に関わった3人(Bardeen, Cooper, Schrieffer)の頭文字から名付けられた理論で、3人はこの成果によって1972年のノーベル物理学賞を受賞しました。

固体中の原子は、常温では熱によって激しく振動しています。この振動が電子にとって障害となり、電気抵抗のもとになっています。そし

て、固体をどんどん冷やしていくと、熱による振動も弱くなっていきます。ところが、原子の熱振動がほとんどゼロになったとしても、超伝導状態を説明するには不十分でした。超伝導はある温度で突然状態が変化する相転移※1ですが、物質の構造が変化しているわけではないので、電子のエネルギーが突然低くなったとしか考えられません。しかし、電子はフェルミ粒子※2なので低いエネルギーの状態を取れる数は限られていて、そのままでは超伝導を起こすような低エネルギーにはならないのです。

そこでBCS理論は、原子の振動を逆手に取り、電子と電子の間の引力を説明しました。固体中の原子は、自由電子を放出してプラスの電荷を持つ陽イオンになっています。プラスの電荷を持っていますから、マイナスの電荷を持つ電子が近くを通ると、その影響で電子に引き寄せられます。熱による振動がほとんどないため、電子が近くを通ったことによる振動の方が大きく現れて、あたかも電子が陽イオンの雲をまとったかのように振る舞います。すると、プラスの電荷の雲が引力として働き、別の電子とペア(クーパー対)を作ります。電子のペアはボース粒子※3として考えることができ、低いエネル

ギー状態を取れることが説明されました。

超伝導の仕組みを見事に説明したBCS理論でしたが、この理論では40Kぐらいまでの超伝導しか説明できません。銅酸化物などで見つかった高温超伝導の仕組みには、上記で説明された引力以外の力が働いてクーパー対が作られると考えられ、いまだに謎が残っています。

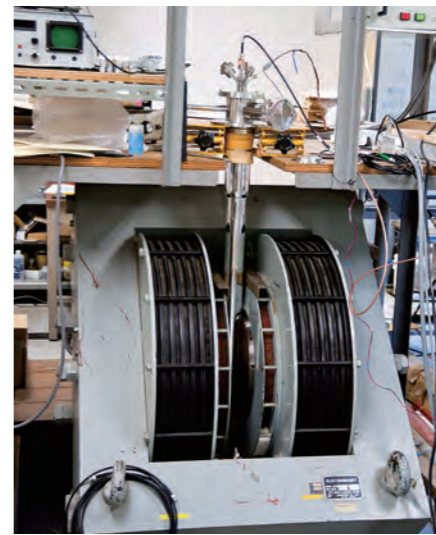
- ※1 もっとも身近なものでは、水が氷になったり水蒸気になったりするような変化のこと。
- ※2 スピンが半整数($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$ など)の粒子。1つの体系内で2個(以上)の粒子が同じ量子状態を取ることができない。
- ※3 スピンが整数の粒子。いくつもの粒子が同一の量子状態を取ることができる。

NMRで超伝導体の ダイナミクスを見る

私の研究は、NMR(nuclear magnetic resonance、核磁気共鳴)という観測技術を使って、実際に高温超伝導体の内部で、何が起こっているのかを、電子の動きを追って明らかにすることです。

NMRは、磁気を使って原子核の持つ磁石の成分を震わせて、その震え方から、周囲の電子などの状況を観測する技術で、医療への応用であるMRIは、見たことがある人もいるのではないのでしょうか。

NMRの長所は、ラジオ電波(並み)の低エ



水冷式の常伝導マグネット

ネルギーで物質の内部を調べられるため、内部の状態に影響を与えないことです。そこで、温度を変化させながら、高温超伝導が起こる前後の物質内部の様子を連続的に調査しています。

調べているのは電子の「素励起」と呼ばれる状態です。素励起というのは、エネルギーの低い状態から、エネルギーが高い状態へと移る、エネルギーの最小単位のことで、超伝導の場合は、クーパー対の一方の電子がホール(正孔)になった状態です。超伝導状態から温度を高めていくと、クーパー対が切れ始めます。すると、電子とホールの対が最初に現れます。温度が一定以上になり、素励起が十分に増えると、超伝導から常伝導状態へと移り変わります。

物性の統一理論を目指して

物性の分野では、絶縁体や半導体については、非常によく分かっています。一方で、超伝導や強磁性については、まだ謎が残っています。この謎が解明されれば、物性の理論が一気に進展して、絶縁体・半導体・超伝導体について統一的に説明する理論が作り出せるのではないかと考えています。まさに、物性の統一理論というわけです。

超伝導体に関しては「これで出尽くした」と思っている研究者はほとんどいないと思います。多くの研究者は、まだ見つからない組み合わせが必ずあるはずだと考えています。近年でも、二ホウ化マグネシウムという物質が39Kで超伝導の性質を示すことが明らかになりましたが、この物質は試薬として誰でも買える物質です。そんな身近な物質が実は超伝導体だったということで話題になりました。物理学者が思っていたよりもずっと物質は多様で豊かな表情を持っているのです。

物理学には、より小さな部分に分かればそれよりも大きい部分は説明ができるという考え



高分解能NMR用の超伝導マグネット

方があります。超伝導についても量子力学の簡単な応用で説明されるだろうと言われた時代もありましたが、今では、超伝導は物質の多様性が見せる現象で、要素に還元することからは想像も出来なかった現象と考えられるようになりました。

高温超伝導体の中には、室温あたりから、超伝導の前駆現象である「擬ギャップ状態」※4が見られるものがあります。このことは、室温での常伝導状態です、すでに異常な状態になっていることを意味します。物性の統一理論が完成されれば、私たちがまだ気づいていない方法や材料によって常温での超伝導も決して夢物語ではないのです。

- ※4 超伝導状態では、特定のエネルギー帯の中に電子が存在しなくなる(エネルギーギャップ)。擬ギャップ状態でも電子の存在しないエネルギー帯が観測されるが、超伝導状態ではないため「擬ギャップ状態」と呼ばれる。

物性は地道な努力が 報われる分野

物性物理学は、少数の天才が活躍する世界と比べると「努力が報われる」分野だと言えます。

それは、物性物理学が天才的な閃きだけでは、決して進歩しない世界だからです。

この分野で成果を出すには、ねばり強さや地道な努力が必ず必要になります。たとえば、高温超伝導体になるセラミックスや液体窒素といった実験材料は、高校レベルの実験設備でも作ったり、使ったりできるものですが、本文でも紹介したように、誰でも入手できる物質が超伝導体だという可能性もあります。極端な話をすれば、試薬のカタログに載っている物質を1つずつ順番に試していけば、そのうち新たな超伝導体を発見できるかもしれません。

もちろん、やみくもに研究を進めるのが良いというわけではありませんが、常識に捉われない自由な発想さえあれば、天才でなくても学問の発展に寄与できるところが物性物理学の良いところだと感じています。



理学部 物理科学科

伊藤 豊 准教授

PROFILE

博士(理学)。専門は、物性物理。NMR(nuclear magnetic resonance、核磁気共鳴)という観測技術を使って、高温超伝導体の構造や電子の動きを研究している。1996年には、高温超伝導に特有の「擬ギャップ現象」が1層の銅・酸素でも成り立つことを実証した。また、コロイドがどのような凝集体を作るのか、水素を取り込んで貯蔵できる金属・水素吸蔵合金などの実用材料の研究にも取り組んでいる。私立海星高等学校OB。

素粒子から物性へ・物性から素粒子へ

超伝導の基本的な仕組みを解き明かしたのはBCS理論ですが、BCS理論は素粒子の分野から大きな手掛かりを得ています。

超伝導を説明するためには、マイナスの電荷同士であり本来反発し合うはずの電子間に引力が働く必要がありました。プラスの電荷同士であり本来反発し合うはずの陽子がいかに原子核を作っているのかを説明した「中間子」や、相転移をうまく説明する「くりこみ群」といった素粒子物理学の成果が役に立ったのです。

その一方で、超伝導の理論は、後にノーベル賞を受賞する南部陽一郎先生に「自発的対称性の破れ」へのヒントをもたらしました。

素粒子の理論からヒントをもらった超伝導の理論が、再び素粒子の理論へと貢献したのです。それぞれの分野がお互いに貢献し合いながら発展した、非常によい例だと言えるでしょう。

40年以上も前にアポロ11号は月まで行って無事還ってきた

他の技術と比べると、コンピュータ技術の進展には目覚ましいものがあります。1969年、アポロ11号は月面まで人間を運ぶことができました。それから40年以上が経ちますが、まだ人類は火星に人を送り届けることもできていません。

一方、コンピュータはこの間に凄まじい進歩を遂げました。アポロ宇宙船の船内コンピュータの計算速度は、今街中で数百円で売られている電卓よりも劣っているでしょう。また、1980年代のスーパーコンピュータと比べると、みなさんが使っているパソコンの方が計算速度で10倍は勝っているのです。

1980年代にスーパーコンピュータを巡る日米の貿易問題がありました。当時、日本国内でアメリカのスーパーコンピュータがなかなか売れず、困ったアメリカ政府は日本政府に働きかけて、「ある性能以上のコンピュータを政府が購入するときには一般競争入札を原則とする」という取り決めがなされました。

このときの基準とされた性能が300M（メガ）FLOPS（フロップス）※1。これが、スーパーコンピュータの一つの基準とされたのです。

現在、みなさんがゲームやウェブを閲覧するのに使う家庭用のコンピュータでも、計算性能だけを見れば数G（ギガ）FLOPSはあります。スーパーコンピュータともなると、P（ペタ）※2 FLOPSレベルの争いに突入しているのです。

※1 FLOPS (Floating-point Operations Per Second)とはコンピュータの演算能力を表す指標。1秒間に何回、浮動小数点数での演算ができるかを示す。浮動小数点数とは、 1.23×10^8 のように、小数×10のべき乗で数を表す方法で、大きな数を効率的に扱える。
※2 P（ペタ）はT（テラ）の1000倍で 10^{15} を意味する。ちなみに、Tは1000G（ギガ）、Gは1000M（メガ）、Mは1000K（キロ）、Kは 10^3 。

変わらない課題 ハードウェアの性能を引き出す プログラミング

スーパーコンピュータの基本設計として、かつて日本の主流となっていたのは「ベクトル型」と呼ばれるものでした。現在では、ほとんどのメーカーがベクトル型から撤退してしまいましたが、並列

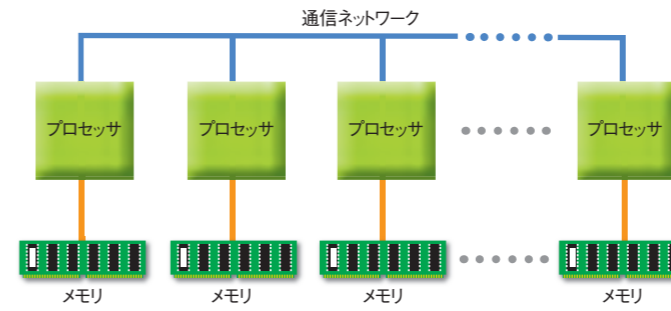
処理と密接な関係があるので、ここで話しておきましょう。

ベクトル型と呼ばれるのは、いくつかの数値の組を一つのベクトルとみなして、計算を行うことに由来します。同じ計算を繰り返すときに威力を発揮するタイプのコンピュータであるため、膨大な数値計算を行うスーパーコンピュータの基本設計として採用されてきました。ベクトル同士の演算に含まれる複数の計算を時間軸方向に分散させた一種の並列処理と考えることができます。大勢の人を上下に運ぶのに、エレベーターではなくエスカレーターを使うと効率がいい、とえば分かりやすいでしょうか。

ただし、ベクトル型コンピュータには、専用のコンパイラ※3が必要です。プログラマが書いたプログラムから、コンパイラが自動的に繰り返し計算を見つけ出して、ベクトル型コンピュータが速く計算できるように変換するわけです。

ところが、コンパイラはプログラマの意図をすべて読み取ってくれるわけではありません。「この繰り返し計算の部分はベクトル型に変換できる」といった判断は、人間にしかできない場合があります。

分散メモリ



そのため、ある程度は自動化されているとはいえ、人の手で変換をするかどうかを指示する必要があります。ベクトル型コンピュータの性能を最大限に引き出すためには人の手が欠かせないのです。

この状況は最新の並列処理技術にも共通するところ。市販のパソコンやゲーム機のほとんどがマルチコア型の並列処理を取り入れている現状を考えると、スーパーコンピュータのような特殊な用途だけではなく、商用のソフトウェア開発の現場にも並列処理を意識したプログラミングが求められる状況になっています。

※3 プログラムは、プログラマが書いたそのままの形で直接的にコンピュータで実行されるわけではない。プログラマが書いたものはソースコードと呼ばれ、人間が読んでも分かるように自然言語（一般には英語）の単語などが使われている。ソースコードをコンピュータに実行させるためには、コンパイラと呼ばれる翻訳プログラムによって機械語に翻訳する必要がある。

分散メモリと共有メモリ

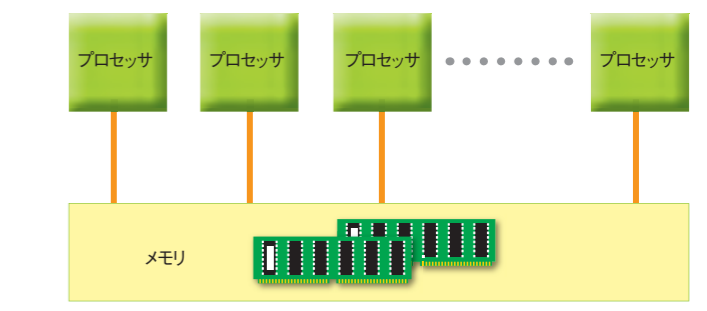
並列処理の方式には大きく分けて二つの方法があります。

一つは分散（distributed）メモリ、もう一つが共有（shared）メモリです。（上図を参照）

分散メモリは複数のコンピュータを通信ネットワークで一つにつなげた構成を、共有メモリは1台のコンピュータに複数のプロセッサが搭載されている構成を、それぞれイメージしてもらえばいいでしょう。

分散メモリでは、メモリが別々にあるので、通

共有メモリ



信によって計算結果をお互いに教え合う必要があります。また、通信の部分で時間がかかってしまえば、思ったほど速くなりません。人間の集団において、人数が10倍に増えたからといって作業のスピードが10倍になる（作業の時間が $\frac{1}{10}$ になる）とは限らないのと同じことです。

その点、共有メモリでは、ネットワークを介した通信は不要になります。そのため、従来のプログラムがそのまま使える場合もあり、その点では共有メモリ型の並列コンピュータの方が普及には優位です。ただ、従来のプログラムそのままでは、並列処理のメリットを十分に引き出せない場合が少なくありません。

実は、この分散メモリと共有メモリには、それぞれ「物理（ハードウェアの構造）」的な側面と「論理（プログラムからどう見えるか）」的な側面とがあり、たとえば「物理的には分散だが論理的には共有」しているように見える「分散共有メモリ」方式などが実際に使われています。

マルチからメニーに

チップメーカーのインテルは、パソコンの増設スロットに差し込んで使う、50個以上のプロセッサが搭載されたボードを2012年内に生産開始すると発表しました。

従来のパソコンのマルチコアでは、せいぜい数個のプロセッサが搭載されている程度でした。一気に50個以上のプロセッサを増設できるこの技術は「マルチコア」に対して「MIC（メニー・インテグレートド・コア）」と呼ばれます。

50コアというのは、スーパーコンピュータでは目新しい並列数ではありませんが、パソコンで家庭用の100Vの電源で動かすところは画期的です。

ボード上の各プロセッサが4個のプログラムを同時実行できる「マルチスレッド」の機能を持つため、最高で2TFLOPSの演算能力が実現されます。2002年に世界最速を記録した日本のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」の最高速度が40TFLOPSであったことを考えれば、その凄さが実感できるでしょう。

並列処理の今後

スーパーコンピュータの開発競争は、2000年代初頭のTFLOPSから、2011年に日本の京が

10PFLOPSの世界最速を記録して、本格的にPFLOPSの時代が到来しました。そして、次はE（エクサ）※4 FLOPSを目指した開発競争に突入します。

しかしながら、チップの集積度やクロック周波数を上げる従来の高速化の方法はそろそろ限界が見えてきました。集積度を上げるためには、さらに小さく作らなければならない、小さくするには物理的な限界があります。電子回路は電子より小さく作れませんし、回路が小さくなるにつれて、電子の量子力学的な効果が大きくなり、制御が難しくなるからです。また、プロセッサにとっての最小時間単位を決めるクロック周波数は高いほうが高速化が期待できるのですが、周波数を高くし過ぎるとたいへんな熱を発生します。

これらの課題に対しては、3次元チップや量子回路、無線や光伝送路など、いくつかのアイデアが出されていますが、どれも決定的なブレイクスルーには至っていません。

そうすると、並列化をさらに進めることが当面の有効な方法です。家庭用のコンピュータも並列処理の時代になりました。並列コンピュータの性能を最大限に引き出すためのプログラミングや、従来型のプログラムを自動的に並列処理に最適なものへと変換する技術の必要性はますます高まってくると考えられます。

※4 E（エクサ）はP（ペタ）の1000倍。 10^{18} 。

低電力化も課題

スーパーコンピュータを設計する際には、いかに消費電力を抑えるかも重要な課題です。膨大な数のプロセッサが高い周波数で稼働すると発熱量も膨大になり、冷却のための設備が大掛かりになってしまうからです。実際、スーパーコンピュータでは本体とは別に冷却棟を建てたほどです。

従来に比べると、1W（ワット）当たりの計算能力は向上しているとはいえ、もっとエネルギー効率のいいプロセッサが求められています。そのようなプロセッサを「今話題のチップ」という意味にひっかけた「ホット（Hot）チップ」に対して「クール（Cool）チップ」と呼んでいます。つまり、こちらの方が「かっこいいチップ」だというわけです。

電力をいかに減らすかというテーマだけでコンピュータ科学の一分野となるほどで、プログラムの書き方一つで電力消費を抑えることができるという報告もあります。

並列処理を生かす プログラミング技術

時代はマルチコアからメニーコアへ

家庭用のパソコンやゲーム機にも搭載されるようになり、広く一般的に使われるようになったマルチコアによる並列処理技術。一昔前のスーパーコンピュータを凌ぐ高速コンピュータがみなさんの机の上や膝の上で動かせる時代になりました。しかし、開発者の視点に立つと、並列処理技術はその実力を十分に引き出せているとは言い難い状況もあります。特に、並列処理に適したプログラミングに課題が残されています。並列処理技術がご専門の新實治男先生にお話しいただきました。

人生は2G？

コンピュータの「2038年問題」をご存知でしょうか？現在のパソコン内の時刻は4バイト（=32ビット）で管理されています。1970年1月1日0時0分0秒を起点にして、1秒を1ビットで表すと、およそ68年後の2038年に32ビットで表される正の最大値2G（ギガ）に達します。それを過ぎると時刻が正しく表せなくなってしまうという問題です。2038年までには対策が講じられるでしょうが、面白いのは68年≒28秒ということ。68年というと、最近では延びたとはいえ、おおよそ人の一生の長さになります。みなさんの人生を秒単位で刻むと約2G（ギガ）なのです。普段何気なく使っているG（ギガ）という単位も、このように考えるとまったく違った大きさに感じられませんか？

コンピュータ理工学部
コンピュータサイエンス学科
新實 治男 教授



コンピュータの

誤りを探し出す

ハードウェア&ソフトウェアの自動検証

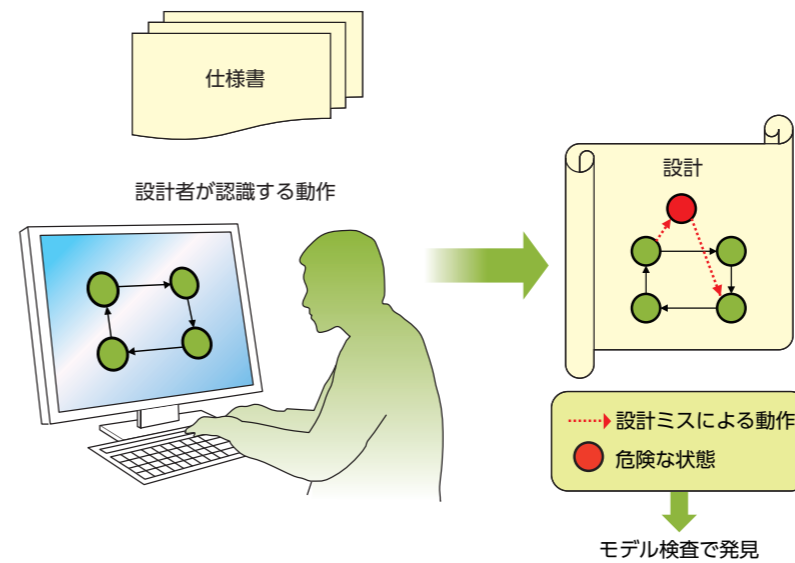
私たちが普段使っているコンピュータは、精密な回路と巧妙なプログラムが組み合わさってできています。もしもその一部分でも壊れていたら、もちろん動くことはありません。では、コンピュータの故障を見つけるには、どうしたらいいのでしょうか？そこで登場するのが、数学や論理学に基づいた「検証」という分野です。回路の故障から設計のミス、プログラムのバグまで効率的に見つける、コンピュータ設計における検証の専門家である平石裕実先生に、最先端の研究内容を伺いました。

起きていないということも仮定します。実用上は1つの故障を発見できれば十分なケースが大半だからです。この仮定の下で、回路に3万の信号線が入っているとすれば、それぞれが0に固定するか1に固定するか2つの故障が考えられますので、全部で6万通りの故障回路を想定することができます。故障検出のアイデアは、この

6万個の故障回路と正常な回路を並列に並べて、すべてに同じ外部入力を与え、正常な回路と異なる値が出たものは排除します。このとき、0000...から1111...まで、すべての外部入力を入れて確かめようとすると、2の100乗（約10の30乗）という膨大な値になってしまいますが、最初のうちはランダムな入力を入れても十分に多くの故障を検出することが

コンピュータ理工学部
ネットワークメディア学科
平石 裕実 教授

PROFILE
工学博士。昔からコンピュータや情報に興味があり、高校では電子にも興味を持っていた。大学に入学後、電子・電気系の専門に進み、オートマトンやグラフィック・ディスプレイなど幅広い分野の研究を行った。現在はハードウェアとソフトウェアの設計検証を中心に研究を行っている。京都教育大学附属高等学校OB。



きますので、これを1000回など適当な回数行います。それによって検出できた故障を取り除いた上で、なお残ったものに対してどのような入力なら検出できるのかそれぞれ数学的に求めることで、最終的にあらゆる故障を発見できるようなテスト入力を手に入れることができます。複数台のコンピュータを相互補完的に動かす並列計算などを適用することで、このようなテスト生成はより高速に行うことができます。

ハードウェアの設計検証

設計検証とは、あるハードウェアが正しく設計できているかどうかを確かめるものですが、故障検出と違うのは「正解」となる回路図が存在しないということです。設計した回路図そのもののミスを見つけなければいけません。ここでモデルとなるのは、ハードウェアの仕様書です。仕様書とは「どんなハードウェアを作りたいのか」が書かれたもので、ある入力を入れたときにどのような出力がなされるのかなど、ハードウェアが満たすべき条件がすべてまとめられています。ハードウェアの回路は、この仕様を満たすように設計されます。この仕様書が絶対正しいと仮定すれば、ハードウェアがその仕様を満たしているかは

ADVICE

自分で興味を持ち、誰かに教えてもらうのではなく自ら考えて答えを見つけていこうという意欲を持ってください。プログラミングをやっていると、おかしな結果が出たときに、「なぜか」ではなく「どうしたらいいか」を直接求めたがる人が多くいます。やりたいことがあるときに、それには何が必要なのかを考えていく。WEBで調べてすぐに答えを求めたり、あるいは答えをそのまま覚えようとするのはやめましょう。「なぜそうなるのか」という仕組み、結果に至るための考え方を理解すれば、結果的に覚えることは少なくなります。ぜひ、自分の頭で考える習慣をつけてください。

数学的に検証できます。このように、論理的な制約条件をシステムが満たしているのかをコンピュータによって判断させる方法をモデル検査と呼びます。

私たちの身の回りにある信号機の設計で例えてみましょう。

信号機の仕様書を見たときに、交差点のどちらの方向でも信号機が同時に青になるようなケースがありえた場合、これは危険なので取り除かなければいけません。両方が赤になるパターンは、それに比べれば危険性は低いかもしれませんが、やはりなくさなければいけないミスです。

これだけ聞くと簡単のように思えますが、最近の信号機はお互いに情報を交換して上手く制御しあうなど複雑に設定されています。そのようになってくると、人間の手だけでは検証が困難になります。複雑で大きなシステムに対して、モデル検査は有効なアプローチです。

ソフトウェアの設計検証

ここまではハードウェアについて話をしてきましたが、最後にソフトウェアの検証についてもお話ししましょう。プログラムが正確に動くかどうかという検証は、ハードウェアの検証よりもさらに難しくなります。ハードウェアは有限の論理回路からできていますので、とることのできる状態数も有限ですが、CやJAVAなどのプログラム言語では、再帰呼び出しといって、何かの手続きAをプログラム中で行うときに、その手続きの中で再び手続きAを呼び出すような操作が可能になっています。この再帰呼び出しを行うと、無限の操作を仮定することができます。つまり、とりえる状態数が無限になりえるのです。無限の状態は、モデル検査のようなアプローチではそのまま扱うことができません。

コンピュータの中では、データは一時的に「スタック」や「キュー」と呼ばれる構造に格納されます。通常、スタックは十分に大きなサイズなので、オーバーフロー（データが収ま

コンピュータの論理回路

コンピュータの中では、情報はすべて0と1に変換されています。そしてこの0と1があるルールに従って操作するのが「論理回路」と呼ばれるもので、すべてのコンピュータの基盤となっています。

たとえば、2入力のAND回路と呼ばれるものは、2つの入力を次のようなルールに従って1つの出力に変換します。

入力A	入力B	出力
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

入力が共に1のときにだけ1を出力し、それ以外のときは0を出力する回路です。

ここで、入力Aの信号線が壊れてしまい、常に0を出力すると、どうなるでしょうか。

入力A	入力B	出力
0	0	0
0	1	0
0	0	0
0	1	0

このように、何を入力しても0が出てしまうことになります。この故障を発見するには、AとBの両方に1を入れてやればよいことになります。正常な回路ならば1を、故障回路は0を出力し、結果が異なるのですぐに分かります。

ところが、それ以外の組み合わせを入力しても、正常な回路と故障回路はまったく同じ出力をしてしまいます。これが、「1回の入力だけでは必ずしも故障を発見できない」理由なのです。

りきらなくなって溢れだしてしまうこと)は起こらないと言われます。ところが、再帰呼び出しによって無限の操作が行われると、スタックがオーバーフローしてしまふことがあります。このオーバーフローは致命的なエラーを引き起こす可能性があり、プログラムを作る際には気をつけなくてはなりません。

これに対処する際には、再帰呼び出しがある部分を別の形で書きなおして有限の範囲で扱えるようにするか、仮にスタックのオーバーフローが起きたときにどうするかという処理を書き足すか、二つの方法が考えられます。今はこのどちらの手法が良いのかを試しているところです。

プログラムが仕様を満たしているかを判断するモデル検査のような方法がソフトウェアでも使えるようになれば、プログラム検証の敷居はとて低くなります。無限の問題を上手くクリアできれば、人間が一から数学的に検証するよりも、コンピュータに判断させたほうが最終的には早くなるでしょう。

どのようにしたら、より良い検証ができるのか。便利で効率的な検証を目指して、私たちは日々研究を行っています。

検索エンジンに コミュニケーションをプラス

よき隣人が良質な情報を 教えてくれる

“検索”というと、インターネット上で検索エンジンを使って調べることをイメージしがちですが、私たちは日常的に生活の中でも必要な情報を探しています。何かを調べるといって、辞書を使う、インターネットを使う、図書館へ行って本を調べると、いろいろな道具を使うことがまず思い浮かぶかもしれません。でも、道に迷ったとき、地図が見つからなくて、近くを通りかかった人に聞いたおぼえはありませんか。欲しい服が見つからないとき、おしゃれな友だちに聞いて、一緒に探しにいったこともあるかもしれません。進路に迷っている人なら、大学案内を取り寄せたりオープンキャンパスに行ったりする方法もありますが、まず先生や先輩に相談の方が一般的ではないでしょうか。

人とコミュニケーションは、あまりに日常的すぎて、情報を得る手段としてあまり意識されませんが、実は私たちはコミュニケーションを通して多くの情報を得ています。これはつまり、現実（フィジカル）の世界で行われている“検索”だといえます。そこで、検索エンジンやSNS、掲示板を使ったインターネット（サイバー）空間で情報を獲得する際にも、フィジカル空間に実在する人とコミュニケーションを活用できるようにしようと、「つながる検索」という新しい検索エンジンを開発しました。

人に聞ける 次世代検索

つながる検索サービスにログイン※2すると、今見ているページ上に自分のアバター（分身となるキャラクター）が表示されます（図参

リンクとユーザの両面から webページとユーザを同時に評価

google やyahoo! などの検索エンジンを使っていて、調べもの関係のないことが検索結果の上位に出てきたり、思うような結果がなかなか出てこなかったりと、不便を感じたことはありませんか？ また、webページの内容で分からないことを、その場で気軽に聞けたらいいのと思ったこともあるかもしれません。こうした今の検索エンジンにはない、新しい機能を持った次世代検索エンジン「つながる検索」※1を開発された河合由起子先生。「つながる検索」とはどのような検索なのか、また今後の展開について話していただきました。

※1 つながる検索は<http://klab.kyoto-su.ac.jp/~mito/index-j.html>で公開されている。共同で研究を行っているNTTレゾナント(株)は「ベチャクチャ検索」という名前でご公開している。

照)。さらに、同じページを別のユーザが見ていれば、そのユーザのアバターも表示されます。チャットバーを開くと、閲覧ページにコメントを残すことも可能です（図中右側のウインドウ）。このチャットバーを使って、たとえば、参考書を調べているあなたが「この参考書のオススメポイントを教えてください」と質問すれば、このページを見ている別のユーザのうち、その参考書について詳しいユーザがいれば「解法がとても分かりやすいですよ」といった答えをすぐにもらうことができるわけです。

※2 つながる検索のサービスには、オープンIDによるログインが可能です。オープンIDは、ユーザが実在することを確かめるための手段のひとつ。googleやyahoo! のIDを持っていれば、新たにアカウントを発行してIDやパスワードを入力しなくてもユーザ認証ができます。

SNSやツイッターと大きく違う点は、もともと所属しているコミュニティではなく、たまたま同じページを見ているユーザ、つまり自分の興味や関心と近いユーザとつながることができ、その場（ページ上）ですぐにコミュニケーションできる場所です。個人的なつながりがないからこそ、

気軽に質問がしやすいという面もあります。もちろん質問をするだけでなく、ユーチューブなどでスポーツ観戦をしながら、あるいはアイドルのコンサートを観ながらと、同じ趣味あるいは興味をもつ、ユーザ同士で感動を分かち合うこともできます。

画面右下に薄く表示されたアバターがいるのが分かるでしょうか。実はこの人は、過去にこのページを見ている人なのです。薄いアバターをクリックすると、そのユーザが現在見ているページに瞬時に移動でき、コミュニケーションをとることができます。また、移動せずとも、今見ているページと、そのページを過去に見てい

コンピュータ工学部 インテリジェントシステム学科 河合 由起子 准教授

PROFILE
博士（工学）。同じ情報でも、人によって感じ方は異なるし、必要な情報も異なる。それにも関わらず、誰にでも同じような情報を提供している現在の情報検索技術の限界を引き上げたいと、personalization（個人適応技術）をテーマに、嗜好（志向）情報に基づく情報推薦や検索を専門に研究している。人を豊かにして、人格形成にも役立つコンピュータを開発するのが夢。鹿児島県立鹿屋高等学校OG。



たユーザが移動したページという2つの異なるページを介しても、過去に見ていたユーザとコミュニケーションできるのです。

また、コミュニケーション（チャットバーのコメント）のログは、後から同じページを見た別のユーザも閲覧できますから、同じ疑問を持ったユーザがいた場合、コメントを見てその疑問を

解決できます。

コミュニケーションがとれるだけではありません。つながる検索のツールバーを使って検索を行うと、通常の検索結果の横にそれぞれの“ページの閲覧度”が表示されます。これは、知識や関心の高いユーザから各々のページが実際にどれだけ見られているかが分かる機能です。また、ユーザのアクセスランキングによる検索結果も見ることができます。

つながる検索の アルゴリズム

検索に必要なウェブページの重みづけは、googleで用いられているPageRank という検索アルゴリズムが主流です。PageRankは、多くの良質なページにリンク（参照）されているページは良質であるという仮定に基づき、ページ間のリンク構造によって、ページの重要度を

決めています。リンク構造を用いるということは、膨大な文書の内容解析を不要とするため、瞬時のランキングが実現できるのです。つながる検索では、このページのリンク構造だけでなく、ユーザの関係性も加えることにしました。つまり、多くの良質なユーザに閲覧（参照）されているページは良質であり、良質なページを閲覧（参照）したユーザは良質である、という仮定に基づいています。

簡単にいうと、各ページは、他のページからのリンクだけでなく、ユーザの閲覧履歴も用いて評価されます。実際には、一定時間が経過したアクセスの評価値を減らしたり、評価値の高いページを多く閲覧しているユーザや、自分と同じページをよく見ているユーザを自分と興味

が近いユーザとして評価するなど、評価方法の工夫が必要になります。もちろん、本サービスの特徴であるチャットのコミュニケーション内容も評価対象とします。

さらに、このようにページのリンクの関係性と、ユーザの閲覧行為やコミュニケーションにより発生した関係性の両方を同時に扱うことで、ページだけでなくユーザも同時にランキングすることができるようになります。たとえば、「AKB48」で検索すると、リンクの関係性とユーザ間の関係性からページがランキングされるだけでなく、AKB48に関して評価値の高いユーザ（アバター）も同時にランキング付けできるのです。

今後の展望

今後は、この研究を応用して、緊急時の情報発信に役立てたいと思っています。つながる検索の技術を使えば、地震があったときに、京都市役所のホームページを過去に何度かアクセスしていたユーザに対して、京都の震度や被災状況、避難場所などの情報を発信するなど、ユーザとページの関係性から、それぞれのユーザにとって必要な情報を配信することが可能になります。ブラウザを見ることができている状態であれば、どのページを見ているとしても、つながる検索のチャットバーに情報を流せば簡単に知ることができるわけです。

授業など、一つの課題に何人かで取り組むときにも役立ちます。メンバーそれぞれのアバターを登録しておけば「いまこのページを見ている」と言わなくても、互いが調べているページを簡単に行き来できますし、チャットで相談もできます。さらに、モバイルへ応用することでさらなる普及を目指しています。



インターネット上での発言の重みを意識してほしい

私たちは、個人が手軽に情報を発信できるネット社会に生きています。ここでは、簡単で自由に書き込みができますが、その発言が全世界に公開され、発言されたデータは“記録”として永久的に残すことができることを、どれぐらいの人が意識できているのでしょうか？ ツイッターやSNSなど、閉じられたコミュニティ内で発言しているつもりでも、コピー&ペーストは簡単です

から、いつどこで誰が全世界にオープンな情報にするか分かりません。公開されれば、検索にもひっかかってきますし、発言によっては思いもよらないことで他者を傷つけるだけでなく、自身も不利益を被る可能性があるということをきちんと考えておく必要があります。こうした点を理解しつつ、楽しみながらインターネットを使って、知識や興味の共有をしてほしいと思います。

生命のエネルギーの作り方、使い方

一本の回転棒で連結された2つの回転モーター

「生命のエネルギー通貨」ともいわれるATPは、生体内でエネルギーを利用したり保存したりする際に必ず使われる小さな分子です。私たち人間だけでなく、動物、植物、バクテリアに至るまで、すべての生物がATPをADP（アデノシン二リン酸）とリン酸に加水分解して生まれるエネルギーを使って活動しています。ATPそのものの性質や役割は分かっているのですが、ATPを作り出すATP合成酵素がエネルギーをどのようにして作り出し、使っているのかは全機構において未解明の部分が残されています。そのため、多くの研究者がATP合成酵素について研究しています。

ATP合成酵素は、回転する不思議な複合タンパク質です。私たち人間はF型合成酵素を持っていますが、V型の合成酵素を持つ生物も存在します。このV型の回転モーターは、ATPの合成または分解で回転するV₁モーターと、水素イオンが通過することによって回転するV₀モーターからなります。2つのモーターは一本の回転棒で繋がっています。これまでの研究で、(1) V₀が水素イオンの濃度差によって回転し、その回転力が回転棒を通してV₁に伝わり、V₁でADPとリン酸からATPが合成されること、(2) V₁でATPを加水分解すると回転棒が逆方向に回転し、V₀部分で水素イオンが輸送されることが分かっています。

回転力はV型ATP合成酵素内どのように伝わるのか

複雑な分子構造を持ち、これまで解析が難しかったV型ATP合成酵素ですが、X線や電子線による結晶構造解析で、V型のATP合成酵素の立体構造もかなり明らかになってきました。

分子機械の仕組みに迫る

私たちは一日に2000キロカロリーほどのエネルギーを食事から摂取しています。食べ物から取り入れたエネルギーは、体内で形を変えて、生命活動を維持します。細胞内でのエネルギー通貨といわれるのが、私たちの身体で、毎日約60kgも作られ、消費されるといわれるATP（アデノシン三リン酸）です。食物のエネルギーは、ATPを合成するために消費されて、一旦ATPに蓄えられます。ATPは筋肉の収縮から脳の神経細胞の活動、タンパク質の合成といった体内でエネルギーを必要とする現象すべてで必要です。「エネルギー」をキーワードに、エネルギー代謝の鍵となるATPを作り出すATP合成酵素の研究を主にされている横山謙先生にお話をいただきました。

V₁部分やF型ATP合成酵素のF₁部分での回転する仕組みや、回転によってATPが合成される過程については世界中で研究されています。車に例えると、力を生み出すエンジン部分についてばかり研究しているわけです。私たちは、エンジンで生み出された回転力がどうやってタイヤに伝わるのか、つまり「V₁で作られた回転力がV型ATP合成酵素内をどのように伝わっていくのか」に焦点を当てて研究を進めることにしました。

V型ATP合成酵素の回転の様子も一分子計測によって、解明が進んでいます。V₁部分は1周（360度）を3回に分けて120度ずつ回転します※1。一方、V₀部分は1周を12回で、つまり30度ずつ回転することが分かっています。つまり、上下のギヤ比が異なるモーターが一本の回転棒で繋がっているのです。もし回転棒が硬ければ、V₁で120度回転するときに、V₀も120度回転するはずですが、しかし、回転を注意深く観察すると、V₀部分が30度ずつ回転していることが分かりました。この結果については、

いくつかの解釈が考えられますが、私は、回転棒が「ねじれ」ていると考えています。「ねじれ」によって弾性力※2が蓄えられて、蓄えられたエネルギーがV₀部分を30度ずつ回転させているわけです。ゼンマイをねじると弾性力がゼンマイに溜まって、手を離すと弾性力が開放されてタイヤが回るゼンマイ仕掛けの車と同じです。つまりV型ATP合成酵素では「ねじれによるエネルギー伝達機構」が起こっているのではないかと考えているのです。

もう一つ、回転棒は回転を伝えるのにも関わらず、その回転棒が簡単に分離するという不思議な構造に疑問がありました。最近の研究で、回転棒の中にマイナスドライバーとねじのような構造があることが分かりました（図2）。回すことはできるが、簡単に離れるわけです。こんな構造がタンパク質の中にあるなんて、長年タンパク質科学をやっている私でもびっくりしました。今は仮説ですが、ドライバーにあたる部分のタンパク質の形を変化させて、それでも回転が伝わるのかどうかといったことを確かめようと思っ

総合生命科学部
生命システム学科
横山 謙 教授

PROFILE

理学博士。研究テーマは、生体エネルギー変換と老化・寿命に関する研究。小学生の頃から、小さな生物がどのように動いているのかに興味があって、水たまりのプランクトンなどを顕微鏡でよく観察していた。一方で、ガリレオやコペルニクスなどの伝記を読んで、宇宙への憧れもあったという。愛知県立春日井西高等学校OB。

図1

左：V型ATP合成酵素の模式図。回転棒を青色で表示。赤丸はプロトン。右：V型ATP合成酵素で観察された30度ステップ。（Nat. Commun. Furuike and Yokoyama, 2011）

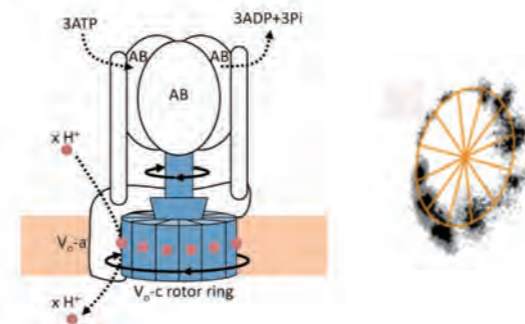
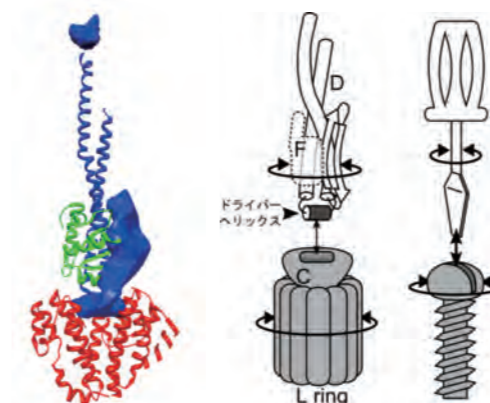


図2

ドライバーヘリックスの模式図。単粒子解析とDFの結晶構造から明らかになったDF-C構造（左）。Dサブユニットの短いヘリックスがCサブユニットにはまりこんで回転を伝える（中）。マイナスドライバーとネジの関係に似ている（右）。



ています。

タンパク質は、思ったよりも私たちの作り出した機械に近い仕組みを持っているようです。これらの予想を丁寧に調べていき、回転分子モーターのみならず、タンパク質の働きを考える新しい概念を提供したいと思っています。

※1 ATPが一つ分解すると120度回転するので、360度回転すると3ATP分解される。

※2 力が加えられることで、変形している物体が反作用として他に及ぼす力。

分子レベルから個体レベルまで

総合生命科学部は、分子レベルから個体レベルまで総合的に生命を扱う学部です。私自身も、「エネルギー」をキーワードにして、上述の分子レベルの研究だけでなく、個体レベルの研究も積極的に行っていきたいと考えています。

エネルギー代謝が狂うと身体にいろいろな問題が出てきます。今後、エネルギー代謝の中心的役割を果たすATPの個体レベルでの研究発展は医学的にも大いに期待されると考えています。がん細胞ではATP合成酵素があまり働きませんし、脳で使われるエネルギーが少なくなるとうつ病になることも分かっています。多くの生物種では、摂取カロリーを制限することで寿命がのびることも確認されています。寿命や老化とエネルギー代謝は、密接に関係していると考えられるのです。

私が興味を持っているのは、個体老化とATPの関係についての研究です。研究には線虫を使っています。個体ごとのATP量と加齢との関係を調べたところ、初めは上昇していたATP濃度が加齢に伴って減少していました。最近になって、常に作られ、常に消費されているATPが、実はさまざまな生体現象でその量を変化させていることが明らかになってきています。この背景には、共同研究者である今村博臣先生らが2009年に開発した、ATPの濃度の違いによって光の強度を変えて蛍光を発するATPセンサータンパク質「ATeam」の功績があります。ATeamによって、理論的に無理だと考えられてきた細胞内のATP量の変化を、リアルタイムで調べることが可能になったのです。

現時点で、私たちはATeamの遺伝子を線虫に注入して、ATeamが線虫の細胞内でうまく働いていることを確認しています※3。これは、個体レベルのATPイメージングとしては初めての成功例で、今後さらなる発展が期待されます。

ATP合成酵素の研究は、すでに半世紀の歴史を持ち、かなりのことが分かりました。働く仕組みが最も解明された（されつつある）タンパク質だと言えますが、すべてが分かったわけではありません。私は、力の伝わり方や、タンパク質間の結合の仕方という人がやっていない切り口から、新たな発見ができなかと考えています。同時に、個体レベルでのエネルギーの使い方の研究を進め、将来的に医療などに繋がる成果が出せればと考えています。

※3 ATeamを遺伝子に注入した個体にATP合成を阻害する酵素を入れた後、ATPの濃度を薄めて、ATeamがそれをセンサーしているかどうかを確認した。

ADVICE

頑張ったものはいつか必ず役立つ

私は天文学にも興味があったのですが、物理がそれほど得意ではなかったのもあって、生物学の道へ進みました。しかし今は、生体内の回転分子モーターを扱う「生物物理」の分野を研究していますから、物理の知識も使っています。こうした経験から、みなさんには、苦手なことでも、最低限頑張っておくことを勧めたい。将来、どんな知識が必要になるかは分かりません。高校生のうちに幅広く基礎を身につけておけば、やりたいことをやるときに、きっと役立つと思います。

ATPには2つの型がある——V型ATPを研究するワケ

私が大学生の頃は、ATP合成酵素の結晶構造がまだ分かっていませんでした。結晶構造を解くためには、一般的に不安定なタンパク質の中でも、なるべく安定的でたくさん取れる良い材料を見つけなければいけません。そこで、熱耐性がある安定的な好熱菌から、それまで知られていたF型のATP合成酵素を取ることにしました。苦労の末、うまく取れたのですが、タンパク質を分類してみると、分子量のパターンがF型とは違うのです。「これはF型とは違うタイプだ！」と直感しました。当時はF型と違うタイプのATP

についてよく分かっていなかったのですが、その後、植物で見つかった液胞型ATP分解酵素（VacuolarATPase）の仲間だということが分かりました。液胞型の英訳から、V型と呼ばれています。数年後、F型のF₁にあるモーター部分の構造が解明されて、ジョン・ウォーカーらがノーベル化学賞を受賞しましたが、実はF型でも全体構造は明らかになっていません。私は、F型よりも材料的に有利なV型で、回転分子モーターの全構造を解明したいと思っています。



動原体の進化に迫る

染色体の構造変化

遺伝学の研究テーマには、遺伝形質の違いをDNAレベルで探ろうというものが多いですが、私が興味を持っているのは、そもそもどのように突然変異が起こるのか、そしてそれがどのような運命をたどり、消失するのか維持されるのか、そして、最終的には種の違いになりうるという進化の根本的なメカニズムです。

現在、着目しているのは染色体の構造が進化に与える影響です。遺伝子の位置が変わるだけで進化の仕方が変わるなど、染色体の構造の変化の進化に与える影響を見ていきたいと考えています。

研究の素材としては、現在は主にシロイヌナズナをはじめとしたアブラナ科の植物を使用しています。シロイヌナズナは早い段階から遺伝子解析が進んだ植物として知られていますが、その近縁種※1についてはあまり解析が進んでおらず、両者の染色体を比較すると、面白い発見がいくつもあります。

一つがその数の違いです。シロイヌナズナは5対の染色体を持っていますが、その近縁種では、一部のものを除き8対を基本形とします。これはシロイヌナズナに至る過程で染色体数が減少したことが原因で、大きな構造変化は、すべてシロイヌナズナで起こっています。シロイヌナズナは自殖性※2ですが、自殖性のもものでは、構造変化が固定されやすいという理論的予想とも一致します。そしてもう一つの特徴は、これらの変化の多くが動原体と呼ばれる特定の領域の周辺で起こっていたということです。

※1 生物の分類で、ある種に対して系統的に近い種。ヒトに対するチンパンジーなど。ただし、最も近い種とは限らない。また比較的大きな分類群の中の種を呼ぶこともある。
※2 主に自殖によって生殖する被子植物。同一個体内での受精(自家受精)による生殖が自殖。

動原体のパラドックス

動原体は、中学や高校でも習うように、細胞分裂期の染色体に出現するくびれの部分(一次狭窄ともいいます)で、そこが紡錘糸によって両極へ引っ張られ、娘細胞に分配されることで、細胞分裂が起こります。有性生殖の場合には、この過程で一对の染色体が2本に分かれ、それぞれが娘細胞に伝わります。このように動原体は、染色体を次の細胞へ伝えるという、遺伝情報を正確に伝えるためのきわめて重要な役割を果たしています。そのためその働きなど、ほとんどのことは調べつくされているのではないかと考えられます。実際に染色体を持つ多くの種で動原体が無いものは無く、染色体の分配

染色体の構造変化から、生物進化の根本的なメカニズムを解明したい

地球上に存在している生物は種によって見た目や生理・生態的な特徴は大きく異なります。

また同じ種でも個体によってさまざまな違いがあります。

遺伝学や分子生物学が発展した今日、髪や肌の色だけでなく、

背の高い、低いといった違いも、遺伝子の違いで説明できるようになってきました。

この違いは、それぞれの遺伝子に起こった突然変異によるものです。

それではなぜ突然変異は起こり、そして進化の過程でどのような運命をたどるのか。

染色体の構造の違い、中でも動原体の変化に着目して

その謎の究明を続ける河邊昭先生のお話を伺いました。

をする機能はすべての生き物で保存されています。また、数10個のタンパク質がすでに特定され、酵母から植物・ヒトまで同じものが使われていることが分かっています。さらに、染色体が形成される過程では、DNAの二重らせん構造のひも状の部分が巻かれて、それがさらに折りたたまれていきますが、その巻き方が動原体では生物の種類に関わらず、他の部分よりぎゅっと詰まった構造(ヘテロクロマチン※3)になっています。このように、多くの生物で動原体はその働きや関わるタンパク質、構造が保存されていることが分かってきました。しかし、その場所を決める要因、言い換えるとDNAの配列として何があれば動原体なのかや、その進化といった最も重要なことについてはまだ何も分かっていないのが現状です。

生物の進化では、「機能的に重要なものは変化しない」という考え方があり、重要な役割を担う動原体は、あまり変化しないものと考えられてきたのです。そんな中で、近年、動原体を構成しているDNAの配列が驚くべきスピードで変化していることが知られるようになりました。私もシロイヌナズナと最も近い近縁種の動原体を比較してみました。その塩基配列の違いは実に20~30%にもなりました。これらの種の間では一般

ADVICE

生命資源環境学科は「生き物」について学ぶ学科ですから、ここを目指す人は「生き物が大好き」なはず。しかし、入ってくる学生の中には、生き物に関する知識が少ない人も見受けられます。私の研究の源泉は、「なぜこんなにたくさんの生き物がいるのだろう」「同じ生き物なのに、なぜこんなに違うものがあるのだろう」という問いです。

家に生き物がいなくても、街中にはたくさんの植物があり、多くの昆虫や鳥たちも目にすることができます。生き物への興味を持ち、名前を知らないものに出会ったらまず図鑑で調べるなど、どんな生き物がいるのか、どのような特徴を持っているのかに関心を持って欲しいと思います。



写真1 生息地でのハクサンハタザオ

総合生命科学部
生命資源環境学科

河邊 昭 准教授

PROFILE

博士(農学)。専門は集団遺伝学。実家が京都の伏見稲荷のそばだったため、少年時代は稲荷山で昆虫採集に明け暮れる。また、両親が生き物好きだったこともあり、鳥や魚、たくさんの植物に囲まれて育つ。やはり生き物に関わる勉強がしたいと、大学では農学部へ進学し現在に至る。東大寺学園高校OB。

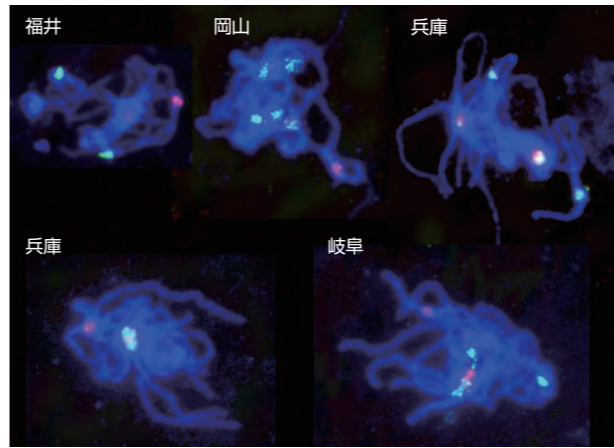


写真2 ハクサンハタザオの染色体(色のついているところが動原体領域)。それぞれの地域ごとに特異性が異なっている

的に、遺伝子は近縁種との間で10%程度の違いがあるので、これは驚異的で、ゲノムの中でも最も早く進化している領域だと考えられます。このことは「重要なものは変化しない」という、進化の根本的な考え方とはまったく矛盾しますから、「動原体のパラドックス」と呼ばれています。

※3 他の部分はもう少し緩いクロマチンの状態になっている。

ハクサンハタザオにみる動原体の進化

この原因を考えるにあたって、一つの仮説とされるのが、細胞分裂の際に、動原体の配列の違いによって染色体の分配の正確さや早さに差が生じ、その違いが染色体を次の世代に伝える場合に差となっていくのではないかと、

ものです。たとえば卵細胞では、減数分裂が終わった段階でできる4つの細胞のうち、一番最初に染色体の移動が終わったものだけが卵細胞になり、残りの3つは次の世代を作るためには使われません。つまり染色体にとってはどれだけ早く確実に分裂を終えるかが大事で、それを確実に早く果たした染色体だけが次世代へと伝えられていきます。そのような機構があれば、染色体の分配の差を生む動原体の配列の違いは非常に速い変化をしていると考えられるのです。

動原体が非常に早く進化していることは、実際には異なる種の動原体を比べることで研究が進められてきました。DNAの進化であれ、染色体の構造変化であれ、その違いは、人であればチンパンジーというように、最も近い近縁種と比較するしかありません。つまり、突然変異がどのように種の違いに関係しているのかは、今あるものを比較して過去に何が起こったのかを推定することしかできないのです。ところが私が研究材料としているハクサンハタザオ(写真1)では、動

原体が進化している途中ともいえるべき、非常に興味深い現象が認められました。

動原体は、基本的にはどんな生物でもすべての染色体がほぼ同一の配列を持っています。しかしこのハクサンハタザオでは、8本の染色体に異なる3種の配列が存在していたのです。もし、動原体が進化している途中であり、すべての染色体が同じものになる前の古い動原体から新しい動原体への置き換わりの状態を見ているのだとすると、異なる個体や異なる集団では違う動原体構成が見られるかもしれません。そこで、兵庫、福井、岐阜などで採集したものを調べたところ、それらの個体も3種の配列が存在していましたが、染色体の動原体の構成が異なるようなものが見つかりました(写真2)。これは、ハクサンハタザオの動原体が進化している、まさにその過程を、われわれが目にしていないのではないかと考えることができます。新しい動原体が古い動原体に置き換わっているのだとすれば、この3種の動原体配列が染色体の分配に差があるものなのかどうかを検証できる可能性が出てきました。私は今、この研究をさらに進めることが、動原体の進化の解明につながり、そのことが、すべての生物の進化のメカニズムの解明にも繋がっていくのではないかと夢を膨らませています。

トランスポゾンとエピジェネティクス

動原体の進化を解明するのに、一つの有力な手掛かりとなるのではないかと目されているのがトランスポゾン(転移因子【解説】)、染色体上を移動する性質を持つ塩基配列で、「動く遺伝子」と呼ばれるものです。トランスポゾンは、自らのコピーを染色体の別の場所に増やしたり、自ら移動して場所を変えたりして、もともとあった場所の遺伝子や、自分の近傍にあった遺伝子の機能を阻害したり抑制したり、逆に活性化したりします。重要な遺伝子が影響を受けると生物の生存そのものが脅かされる可能性もありますから、多くの生物にはトランスポゾンを活性化しないようにする機構が存在しています。染色体の通常の領域では、トランスポゾンが入り込むことで遺伝子の機能が阻害されると有害なのでその個体が死んでしまうことになり、数は多くありません。しかし、動原体領域は遺伝子がそもそも少ないので有害な効果が低く、トランスポゾンが非常に多く存在しています。遺伝子の機能に対する有害な効果の多少が原因なのか、トランスポゾンがそもそも動原体に挿入する傾向があるのかはいまだにはっきりしていませんが、最近、動原体をターゲットにし

ているトランスポゾンが発見されました。このようなトランスポゾンがあると、動原体の配列が染色体を超えて広がっていくときに、異なる染色体の動原体から動原体にある塩基配列を移動させることができるのかもしれませんが。

また、最近では、何らかの要因、特に環境要因でトランスポゾンが活性化され、ゲノム中のさまざまな領域に転移することで、それまでとは異なる遺伝子が発現し、それが生物の表現型の違い※4となって現れる様な現象がみつかってきました。つまり、生まれつき同じ遺伝子配列を持っているのに、トランスポゾンが活性化されることで遺伝子の発現パターンが変わり、姿や形が変わるというわけです。このような、遺伝情報が同じでも表現形が異なるような現象は、エピジェネティクス※5と呼ばれる後天的修飾による遺伝子発現の制御やそれによる変化の一つであり、現在遺伝学上の最もホットなテーマになっています。

※4 同じ遺伝子を持つが姿や形が違うこと。
※5 ジェネティクスは遺伝の意味で、その反対の意。従来の遺伝学では遺伝形質の発現は、DNAの配列だけによると考えられてきた。

解説

1951年、アメリカのマクリントック(バーバラ・マクリントック:1902~1992年、アメリカの植物学者)によって発見された(この業績によりマクリントックは、1983年にノーベル生理学・医学賞を受賞)。ある特定のトウモロコシの系統は、粒の色が、白や黄、オレンジのようにバラつきがあり、中には斑入りの粒もあるものがある。これは赤い色を発色する遺伝子に入り込んでいたトランスポゾンが活性化され外に飛び出し、遺伝子が機能したからだ。トランスポゾンの働きによっては斑の(斑入りの)粒になる。

ボルナ病とは どのような病気か

ボルナ病は、19世紀に中央ヨーロッパ、特にドイツの騎兵馬で流行しその存在が知られるようになった動物の神経疾患です。ボルナとは最初に病気が発見された町の名前で、その後、同定された原因ウイルスをボルナ病ウイルス（Borna disease virus: BDV）と呼ぶことになりました。

当初、ボルナ病は馬特有に発病するウイルス病と考えられていましたが、その後羊、牛、猫、犬、鳥類（ダチョウ）などでも発見され、現在では約20種類の温血動物で感染が認められています。

ボルナ病の特徴としては、歩行できなくなったり、足を引きずるなどの運動機能障害がよく知られています。たとえば猫にBDVが感染すると「ヨロヨロ病」と呼ばれる運動機能障害が起こりますが、これは日本でも見つかっています。その他には、行動異常や感覚異常（味覚異常など）が現れます。人間でいえば気分障害（うつ病）にあたるような症状を示すのもBDVの特徴です。専門用語では「元気消沈」といいますが、動きに活気がなくなり、感情の起伏が乏しくなります。群れで行動しなくなった牛（1頭だけ群れからボツと離れて行動する、あるいは、雨が降っても牛舎に入ろうとしないなど）を調べてみるとBDVに感染している場合があります。

神経を蝕むBDV

BDVは動物の体内に侵入し、神経細胞に入り込んで複製を始め、最終的に脳で増殖して脳炎を引き起こします。

BDVのように神経に入り込むウイルスは他にもあります。たとえば水ぼうそう（带状疱疹）を引き起こすウイルスや、口唇ヘルペスを引き起こすウイルスなどがそうです。

これらの神経ウイルスの大きな特徴は、持続感染するという点です。つまり長く生き残るウイルスなのです。

私達は子どもの頃に水ぼうそうになり、高齢になってから带状疱疹を再発症することが多いですね。この場合、高齢になって初めてウイルスに感染するわけではありません。子どものときにかかった水ぼうそうの原因ウイルスが、実はその後体内で長い間ずっと隠れていて、それが何らかの原因によって再活性化し带状疱疹として発症しているのです。

これらの神経ウイルスが長く体内で生き残れる理由として、感染した神経細胞をすぐに殺さない性質であること、神経細胞は体内の他の細胞に比べて寿命が長いこと、細胞内のウイルスも長く存在できることが挙げられます。

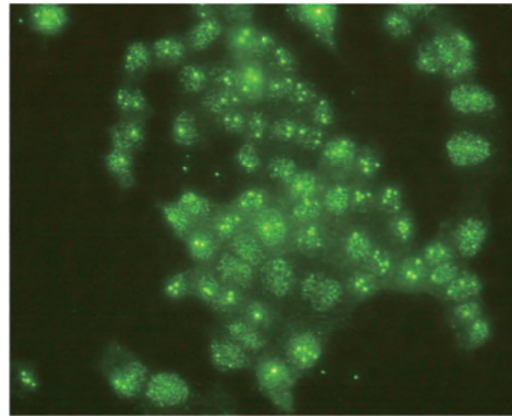
強毒性BDVの発見

ウイルスは非常に単純な構造をしているため、自分を複製するために必要な最小限のものしか持っていません。そのため、他の生物の体内に侵入し、細胞を借りて自己複製をするのですが、侵入された生物がすべて病気になるわけではありません。

ウイルス感染症では、ウイルス側要因（ウイルスの毒性、複製スピードなど）、宿主側要因（生物の種類・系統・個体により異なる要因）、環境要因（日照時間、温度、湿度、ストレスなど）の3つの要因が発症を左右します。

この中で私が関心を持っているのは、ウイルス側要因と宿主側要因です。特にウイルス側の要因については、10年ほど前のアメリカ留学中に強毒性のBDV株を発見して以来、継続して研究を続けているテーマです。

ボルナ病は免疫応答※1に依存する病気だと長い間考えられてきました。なぜなら、ボルナ病は免疫応答が完成している成体では発症するが、生まれたばかりの免疫応答が未熟な個体

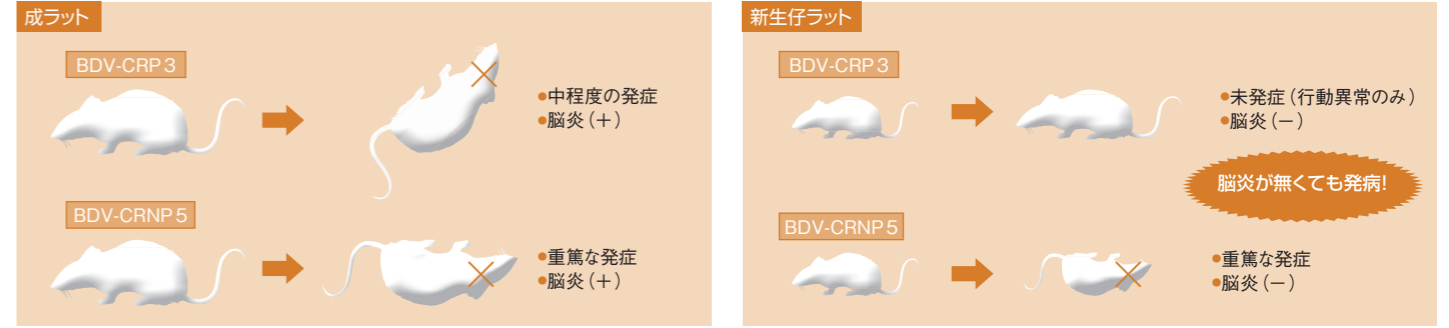


ボルナ病ウイルス（BDV）が持続感染しているMDCK（犬腎株化）細胞。BDV蛋白質は核内でドット状に認められる。

では発症しないということが知られていたからです。ところが、私が発見した強毒ウイルスは生まれたばかりのラットでも発症するのです。

強毒ウイルスが弱毒ウイルスと何が違うのかを明らかにすることが現在の私の大きな目標の1つです。従来のウイルスと強毒ウイルスの遺伝子配列を比較すると、約1万個のウイルス遺

CRP3株（標準株）とCRNP5株（強毒株）の神経病原性の違い



伝子のうちの4カ所が違っていることまでは突き止めました。現在、これら4つの違いのうち、どの組み合わせが原因になるのか検証を進めています。

※1 免疫を担当する細胞が、異物に対して特異的な反応（攻撃するなど）を示すこと。

謎が多いからこそ 挑戦のしがいがある

BDVに携わる日本の研究者はあまり多くありません。その理由は、元来ヨーロッパで発見さ

れた病気で、日本での症例が少ないこと、そしてもう1つは、ヒト免疫不全ウイルス※2のような深刻な人的被害がまだ知られていないことが挙げられます。

どのような病気でもそうですが、目に見える脅威が無いと、多くの労力を使って研究しようという人はなかなか現れません。だからといってBDV研究は重要ではないのかというと、私はそうは思いません。

その理由は、ボルナ病研究において歴史の古いヨーロッパにおいてもなぜ人間を含む多くの動物種に感染できるのか、なぜさまざまな発症パターンがあるのか、といったボルナ病という病気を考える上で本質的なことが明らかにされていないからです。もし今後、ボルナ病が大流

行し毒性の強いウイルスが生まれたら、現状ではまったく太刀打ちできません。ですから、今、流行していないでも、少しずつでも研究を進める必要があるのです。

もう1つの理由は、人間においても、他の動物と同様に気分障害や統合失調症などの精神疾患を引き起こす可能性があるという点です。これまで、ウイルス感染により引き起こされる精神疾患は知られていませんし、これを明らかにするのは、容易ではありません。精神疾患の場合、病気に結びつく原因を同定するのは他の病気以上に難しいからです。BDV感染が原因の精神疾患は、おそらく他の精神疾患と異なりウイルス感染症としての治療法や予防法も効果があると予測されます。従って、現在、さまざまな精神疾患と戦っている患者さんのうちBDV感染が疑われるかたは、治療の選択肢が広がる可能性があります。この他、BDVに感染したラットは自閉症などの脳の発達障害のモデル動物として基礎研究を進める上で役立っています。

このように、BDVに関してはまだまだ解らないことばかりです。またBDVに限らず、持続感染症は発症まで時間がかかるので、実験的に予想できないことがあり、非常に困難が付きまといまいます。だからこそ、チャレンジのしがいがありますし、今現在、日本で大流行していませんが、続けていく意義があるのだと思っています。

※2 人間に感染した後天的な免疫不全症（AIDS）を引き起こすウイルス。



ADVICE

動物生命医科学科には、とにかく動物が好きでもっと知りたい人たちに入学して欲しいと思います。「好き」だからといって、単に可愛がるだけでは将来動物に関わる職業に就くことはできません。そのため、本学科では「動物」をキーワードに化学、生理学、解剖学、分子生物学、微生物学、そして生命倫理などについて総合的に学ぶシステムになっています。また、学問には実践が重要ですから、多くの実習を受講することができるようになっています。本学科がめざすところは2つあります。1つは、実験動物を扱うスペシャリストを育て、ということ。在学中に「実験動物一級技術者資格」の受験資格を得ることができます。これは合格が非常に難しく、ふだん実験動物を扱っているプロたちも目指す資格です。たとえ、合格できなくても、受験をしたという事実は、実験動物に関する専門知識と技術がある程度持っていること企業や各種機関に評価されます。後の進路を考えると有益でしょう。もう1つは、動物あるいは人と獣共通の感染症に関する知識を備えた人材を育て、ということ。今までこのような知識は獣医学部でなければ身につけることができなかったため、慢性的に人材が不足しています。将来的には食品・製薬・飼料メーカーなどへの就職に活かすことが期待されます。

ウイルスと生物の神秘的な関係

動物の神経を蝕む ボルナ病ウイルスの謎に挑む

「ボルナ病」とはあまり聞き慣れない病名ですが、中央ヨーロッパでは、昔から研究されているウイルス病です。馬や牛など、多くの種類の動物に感染していることが報告されています。ボルナ病の原因ウイルスは動物の中枢神経に感染し、元気を失わせたり運動障害を起こします。人間にも感染することから、精神疾患の原因になっている可能性が指摘されていますが、因果関係が明らかでないため、早期の解明が待たれています。日本では珍しいボルナ病ウイルス研究に取り組まれている西野佳以先生にお話を伺いました。

総合生命科学部
動物生命医科学科
西野 佳以 准教授

PROFILE

博士（理学）。専門はウイルス学、免疫学。高校時代に、心をこめて育てたヒヨコが1週間くらいで死んでしまい、無力感を感じたことから獣医臨床の道をめざして獣医学部に進む。卒業研究をしているうちに基礎研究の面白さを知り、外の世界を知りたくて、理学部の大学院へ進み、基礎ウイルス研究の道へと転じる。北海道立札幌北高等学校OG。



先端領域に広がる理系3学部の学びのフィールド。

理学部

大自然の真理を
明らかにする。

数理科学科

2つのコースにわかれて学び、
数学的思考力と発想力を習得。

〈基礎数理科学コース〉 〈応用数理科学コース〉

代数学 自然と社会の数理系
幾何学 プログラムの数理系

数学解析学
複素解析学

物理科学科

ミクロの世界から宇宙まで、
物理的現象にアプローチ。

天体・宇宙物理
素粒子・原子核
地球科学と環境科学
物性物理/理論
レーザー・電波物性
結晶・表面物性

コンピュータ 理工学部

ITのフロンティアを
開拓する。

コンピュータサイエンス学科

基礎から段階的に学び、
コンピュータの先端領域を追究。

情報科学
コンピュータシステム
情報基盤技術

ネットワークメディア学科

ネットワークを自由に構築し、
利用できる実践力を養う。

インターネットの応用
webアプリケーション

インテリジェントシステム学科

脳科学の領域にも踏み込んで
情報処理の世界を探究。

ユビキタス
知能情報処理
人間科学・脳科学

総合生命科学部

生命科学関連の幅広い領域に
柔軟に対応する。

生命システム学科

総合システムとして生命を捉え、
最先端の研究・実験に取り組む。

細胞生物学
生命システム概論

生命資源環境学科

21世紀の注目分野、
食糧・環境問題の解決に向け、
マクロな視点から探究する。

生命資源環境学概論
生物統計学

動物生命医科学科

食の安全や福祉の分野を支える
国内有数の実験施設と
国際ネットワーク。

動物医科学概論
動物遺伝学

大学院

高度な専門領域を探究し、研究者・エンジニアに必須の力を養成。

理学研究科

数学専攻
物理学専攻

博士前期課程

博士後期課程

工学研究科

生物工学専攻

博士前期課程

博士後期課程

先端情報学研究科

先端情報学専攻

博士前期課程

博士後期課程※

※後期課程については、2013年4月開設予定。



Keep Innovating.

京都産業大学

2015年、50周年を迎えます

お問い合わせ先

連携推進室 〒603-8555 京都市北区上賀茂本山

TEL075-705-2952

<http://www.kyoto-su.ac.jp/>

E-mail:renkei-suishin-jim@star.kyoto-su.ac.jp

■理学部事務室 TEL:075-705-1463

■コンピュータ理工学部事務室 TEL:075-705-1989

■総合生命科学部事務室 TEL:075-705-1466

■入学センター TEL:075-705-1437