

サイエンス & テクノロジー

京都産業大学

理学部 & 工学部
からのメッセージ

VOL.3

01 鉄球の温度と 不思議な曲面

最新の物理学を支える数学

石田 久 教授

02 太陽系誕生の謎と 生命の起源に迫る

ディープインパクトで
解き明かされる彗星の正体

河北 秀世 助教授

03 プログラムの 安全性を高めるために

今注目を集める関数型言語に迫る

三好 博之 教授

04 コンピュータが 匠の技を再現する

選針装置制御システムと
そのグラフィカルインターフェイス

黒住 祥祐 教授

05 テナンシウムからトキまで 生物の環境への 適応について考える

希少動物の保護、増殖は21世紀の課題

野村 哲郎 教授

鉄球の温度と不思議な曲面

最新の物理学を支える数学

数学と聞くと、「いったい何の役に立つのか分からない」と考えている人もいるかもしれません。

確かに、純粋に数学的な世界というのは、一部の頭の良い人が数字を使ってパズルをしているように見えるのかもしれませんが。

ところが、純粋な数学者の興味が、後に人々に大きな利益をもたらす例は少なくありません。石田久先生にお話いただくのはその一つの例。

鉄球内部の温度を求める「ディリクレ問題」の解き方が、現代物理学にも応用されているのです。具体的な解き方をやさしく解説してもらいました。

ランダムに移動するとどの辺にたどりつくか

次のようなゲームを考えます(図1)。まず、将棋の盤面のどこかのマスを選んで、そこにコマを置き、適当に前後左右に動かして行きます。前後左右どの方向に動くかは1/4の

確率で決まり、指し手には決められません。盤面の端まで行って、外に出たらそこでゲーム終了です。あらかじめ、4辺ある盤面の端のどこに出るのかで点数を決めておきます。前に落ちたら1点、それ以外に落ちたら0点とすると、どのマスからスタートしますか？

おそらく、多くの人が盤面の前辺ぎりぎりのところを選ぶと思います。では、選ぶことができるマスを制限して、3三(右から3列目、前から3行目)のマス、5六のマス、9一のマスの3つからスタートす

るとしましょう。どのマスが一番得点できそうだと思いますか？9一は1/4で1点ですが、下手をすれば第一手で0点に落ちてしまいます。5六はほぼ真ん中だから0点になりにくそうですね。

確率が分かっていて、点数も決まっているときには期待値を使って計算をします。1一のマスの期待値は(1一の期待値) = 1/4×1点+1/4×0点+1/4×(1二の期待値)+1/4×(2一の期待値)と表せます。

この式をすべてのマスについて作ると81の式ができます。すべての式を連立させるとそれぞれの期待値を求めることができます。

先ほどの場合ですと、3三の期待値は約0.40、5六が約0.18、9一は約0.49となります。この結果を見ると、9一からスタートするのが一番得点できそうということになります。5六はもっとも低い結果しか期待できませんでした。

鉄板の温度を求める

将棋盤のゲームで期待値を求める計算方法は「ランダムウォーク」と呼ばれるもので、先ほどのようなゲームの得点を計算する以外にも、様々なものを計算するときに便利な方法なのです。

得点を温度に置き換え、将棋盤を鉄の板に置き換えると、4辺の温度が分かっているときの鉄板上のそれぞれの箇所の温度を計算することができます。前辺を100℃に保った湯に浸し、他の3辺を0℃に保った氷水に浸した鉄板の場合では、3三の箇所は約40℃、5六が約18℃、9一は約49℃と、将棋盤ゲームの期待値とまったく同じ結果が得られるのです。

さらに、平面の鉄板だけではなく、立体の鉄球にも応用することができます。鉄球の表面

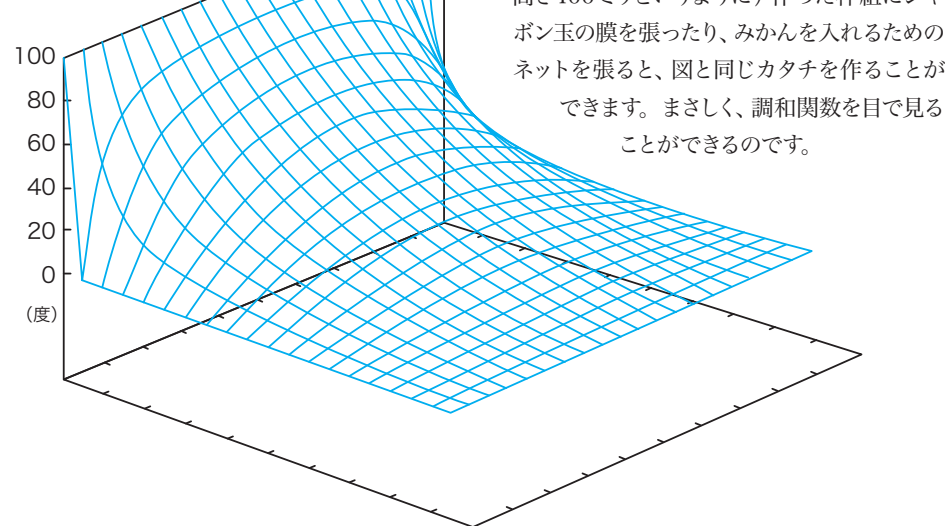
の温度が分かれば、鉄球の中心の温度も計算から求められるのです。温度計を差し込むことができない鉄球の内部もこの方法で温度が分かるのです。

純粋に数学の問題として、立体内部の温度が計算できると発見したのは、19世紀、ドイツのディリクレという数学者でした。このことから、立体内部の温度や平面の温度を求める問題を、彼の名前をとって「ディリクレ問題」と呼んでいます。

ディリクレ問題を厳密に解くには微分方程式を用います。その解は「調和関数」と呼ばれる関数になります。

「ディリクレ問題」はランダムウォークによっても、その近

図2



純粋数学と宇宙物理学との出会い

ディリクレ問題の解である調和関数について、少し話しておきましょう。

ディリクレ問題の解法を含む、調和関数の理論は私の専攻する複素解析学という分野に属します。調和関数の理論は非常に応用範囲が広い理論です。先ほどの鉄板や鉄球のように物体内部での熱の問題を数式で表すことができるのはもちろん、「熱」を「エネルギー」や「重力」に置き換えることで、電磁場における磁力

理学部・数理科学科
石田 久 教授

PROFILE

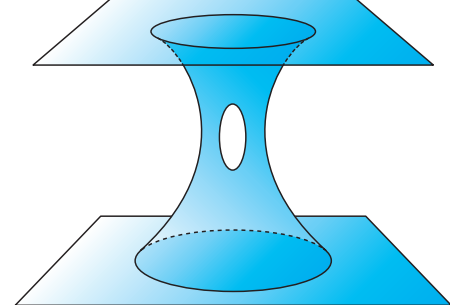
専攻は複素解析学。特に、等角写像論、リーマン面の理論。京都大学在学中、複素解析学という分野に「目に見える」面白さがあると感じたのが、現在の分野に進むきっかけになった。現在でも講義では「目に見える数学」を心がけている。左の写真の「しゃぼん玉で作った曲面」もその一例。私立高槻高等学校OB。

の強さや、大きな質量によって複雑に歪んだ宇宙空間での重力など、様々な場面に応用されています。まさに現代物理学にはなくてはならない数学の成果なのです。

最新の宇宙論のひとつである「超ひも理論」^{※1}においても複素解析学は大活躍をしています。超ひも理論では、粒子の相互作用をひもの動きとしてとらえます。ひものが動いた軌跡は面となり、たとえば図3のような複雑な立体図形となります。このリーマン面とよばれる面の解析を行なうのに複素解析学の理論が使われます。以前にはリーマン面の理論は物理学と縁もゆかりもない理論と思われていました。しかし、現代では、最新の宇宙論において大いに応用されているのです。

もともとは純粋な数学的な興味から出発した調和関数の理論ですが、物理学の発達に伴って、具体的な対象のある研究になりました。これは、数学者の整然とした論理を求める探究心が結果として実際の物理学に応用されたひとつの例となっています。

図3



※1 超ひも理論(超弦理論)
物質の基本的な構成物である素粒子を「点」とせず、ある種の「ひも」とする理論。宇宙に存在する4つの力(強い相互作用、弱い相互作用、電磁力、重力)を統一的に説明する理論として注目されている。

ADVICE

恩師との出会いから数学の世界へ

実は、中学2年生ごろまで数学はあまり好きな教科ではありませんでした。中学3年生のときに尊敬できる数学の先生と出会い、そこから数学が急速に好きになっていきました。その先生は数学の授業もおもしろかったのですが、それ以上に人間的な部分が素晴らしい、体育祭など学校行事のときの面倒見のよさなど、非常に生徒思いの先生でした。今考えると授業の内容よりも、先生の人間性の部分ばかりが思い出として残っています。

私はこうして数学の分野に進むきっかけを得ましたが、大学の研究者になるような人は、どこかで必ずいい先生に出会っています。そういう意味では、先生の役割というのは非常に大切ですね。

みなさんも高校・大学での先生との出会いは大切にしてください。そこから新しい世界が開けるかもしれません。

数学にも実験がある？

高校生のみなさんに知っておいてもらいたいのは、高校と大学では数学の学び方が大きく変わるという点です。

高校では、すでに検証された定理・証明を習います。もちろんすべて大切な内容で、大学で数学を学ぶ上での基礎となります。そして大学では、特に4年から大学院に進むと、自分たちで課題を見つけ、新しい定理を発見するという学びが中心になります。1年生から3年生では、そのための基礎知識を身につけ研究の仕方を学ぶのです。

数学というと、実験とは無縁のように思われるかもしれませんが、今みなさんが高校で習っている数学の定理の多くは「先人」たちが繰り返

返し実験を行った成果です。数値計算や物理的な実験を重ね、仮説・予想を立て、そしてそれを検証して、証明を行い、新しい定理を生み出してきたのです。一つひとつの学習内容に過去の数学者の研究結果がつまっているのです。

現在では、数値計算や実際の物理実験のかわりに、コンピュータを使って数値計算やシミュレーションなどの実験を行ないます。いろいろ条件を変えながら繰り返し計算を行うという実験の中から、新しい定理を探すのです。これは「実験数理」と呼ばれている数学の手法で、本学科の基本方針にもなっています。

大学では、みなさんが「先人」の一人となり、新しい定理の発見に挑戦することになるでしょう。そんな大学での数学を楽しむにしておきたい。

地球に生命を運んだ!? 彗星

私たち人類をはじめ地球上の生命はいつ、どこからやってきたのでしょうか。それは今から約38億年前、“原始の海”深く、海底火山のすぐ脇で発生したとされるのが一般的です。そして、そうした生命の元になった有機物は、原始の地球大気中で作られたり、また、地球外から彗星などによってもたらされたと考えられています^{※1}。確かに地球の創世記には、たくさんの彗星が直接地上に落下していたと考えられており、研究が進むにつれ、彗星の中には有機物の基となる炭素、水素、窒素の化合物がたくさん含まれていることが分かってきたのです。

太陽系の化石、彗星

私たちの太陽系は、今から約46億年前に誕生したとされています。宇宙空間にあるガスや塵が集まり、中心には太陽が、そしてその周辺に地球などの惑星ができあがりました。この時、惑星を作る基になった小さな塊を「微惑星」と呼びますが、太陽から比較的遠くにあつて氷と塵を含んだ微惑星のうち、惑星になりそこねた残りが、現在の彗星です。そのため彗星は“汚れた雪玉”^{※2}と呼ばれ、太陽系創成期の状態をそのまま閉じ込めているという意味で“太陽系の化石”とも呼ばれています。

彗星は、ふだんは太陽から遠く離れた場所にいますが、時折、太陽に近づくことがあります。多くの彗星は、非常に細長い楕円形の軌道で、ほんのひと時だけ太陽に近づくのです。彗星が太陽に近づく、その熱で表面の水が蒸発してガスとなり、塵と共に外へ噴出します。普段は暗くて見えにくい彗星も、この時ばかりは光り輝き、多くは長い尾を引いた姿を見せてくれます。この形から彗星は「ほうき星」ともいわれ、元の塊は尾と区別して核と呼ばれます。

このように、太陽に近づいて明るくなった彗星の発する光から、核に含まれる成分を分析するのが現在の私の研究の大きなテーマです。

理学部・物理科学科
河北 秀世 助教授

CLOSE-UP

どんな授業？

学部では宇宙・天文に関係した理論的な勉強も行いつつ、実際に天体の観測も行います。今年5月には話題のシウスマン・ワハマン第3彗星を観測し、現在、成分分析を行っています。観測のためには、ハワイのマウナケア山頂へ赴き、すばる望遠鏡などを使って観測することもあります。

太陽系誕生の謎と

生命の起源に迫る

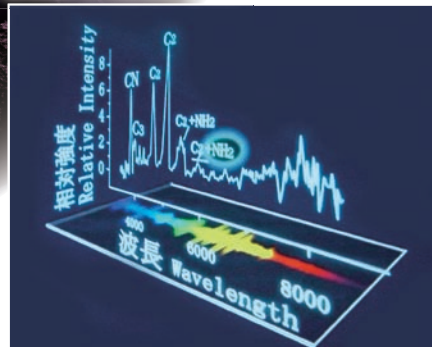
ディープインパクトで 解き明かされる彗星の正体

昨年7月、世界中が見守る中、NASA（米国航空宇宙局）の彗星探査機ディープインパクトから発せられたインパクト（衝突機）は、見事に標的であるテンペル第1彗星を捉えました。NASAによるこの大胆な計画の目的は、彗星がどんな物質でできているかを調べるためです。その瞬間をハワイのマウナケア山の山頂で、世界一の巨大望遠鏡で観測していた河北秀世先生に、太陽系誕生の謎と、生命の起源にも迫る彗星研究の興味深いお話を伺いました。

PROFILE

大阪府出身、大阪府立高等専門学校OB。キレイな夜空の下で育たなかったから、余計天体好きになったと冗談めいて話す河北先生。高等専門学校、大学、大学院、社会人と情報工学の道を歩むが、幼い頃からの天体への夢は捨てきれず、平日の夜や、週末には天文学者に変身。何度も書き送った論文がついに認められ、28歳で群馬県立天文台の職員に採用される。その後は水を得た魚のように次々と業績を重ね、'04、'05年の三賞の受賞につながった。「自然科学の分野は、まだまだ謎に満ちている」天文学にかける熱い思いをこう語る河北先生。会社勤めという制約の中で、人が注目する研究を行ってきた経験を振り返って「夢をあきらめてはいけない」とも。

■彗星からの光のスペクトル



提供：認定NPO法人千里アーカイブスステーション

ADVICE

高校時代には何を 学んで来て欲しい？

とにかく数学が大事です。特に微分、積分、それにベクトルですね。数学は理系に進む人にとってはまさに道具。料理でいえば包丁みたいなものです。うまく使えないと何一つ作れません。逆にいうと、使えて損をすることは決してありません。あとは、もちろん物理や化学。天文学、中でも観測では、遠くを見てそこから何を引き出すかがポイント。その際には、様々な知識を総動員することが求められます。高校時代から天文の勉強をしておく必要はありませんが、その時に備えて数学、物理、化学などについての基礎的な力はしっかり身につけておいて欲しいと思います。ただ、最近の高校物理では微分や積分を使わないで教える傾向があるので、むしろ分りにくくなって、物理を嫌いになる人もいるかもしれません。大学では微分、積分を使って非常に分りやすく物理が記述されます。これは、大学でのお楽しみ、といったところかもしれませんね。

彗星のできた温度は？

この画期的な研究を行ったのは他ならぬ河北先生。先生はこの研究で、若くて将来性のある天文学者に贈られるゼルドビッチ賞（COSPAR・宇宙空間研究委員会、'04年7月）、日本惑星科学会'04年度最優秀研究者賞（'05.5.24）、日本天文学会研究奨励賞（'05.3.28）の三賞を受賞されました。河北先生は、彗星のスペクトルの中でもアミノ基（NH₂）に着目していました。これは彗星にあるアンモニア（NH₃）が姿を変えたもので、アンモニアよりも明るく観測しやすいのが特徴です。

光のスペクトルから その成分を分析する

私たちは、巨大望遠鏡を使ってこの光を集め、分光器を使ってその成分を分析します。彗星から噴出するガスの原子や分子の光には、それぞれ固有の波長があります。そのスペクトルを分析し、どの波長が強いかわかりかなどを調べることで、直接行かなくても彗星に含まれる成分やその量、また、分子が出来た時の温度なども知ることができます（左図）。

核には様々な物質が含まれていますが、中でも私が今注目しているのは、アンモニア（NH₃）などの窒素化合物や、メタン（CH₄）、エタン（C₂H₆）などの炭素化合物です。これらはいずれも生命を作る材料として重要なものなのです^{※3}。

もちろんこれらは、宇宙空間の雲の中にも含まれていますが、ここ10年の研究で、彗星の中にもかなり多量に含まれていることが分かってきました。しかも最近になって、彗星のできた温度が従来よりも正確に分かるようになってきましたから（コラム上）、約46億年前にどのような温度のガス塊から太陽系が誕生したのかが、次第に明らかになりつつあります。太陽系の元になったガスの中に、どれくらいの有機物が存在したのか、それが分かる日も遠くないと思います。

ディープインパクトと今後の計画

天文学者にとって、宇宙は天然の実験室といえるものです。私たちは、光の速度で行っても何十万年も（場合によっては何十億年も！）かかるはるかかなたの情報を、地球にいながらにして調べることができます。これはこの学問の醍醐味といってよいかもしれません。しかし思い通りに行くことばかりではありません。とく

アミノ基には、2つある水素の向いている方向によって、オルソとパラと呼ばれる2つの種類が存在します。説明をものすごく簡略化すると、この2つの比率を決めるのはアミノ基の基になったアンモニアが出来た時の温度ということが出来ます。そのため、アミノ基のオルソとパラの比率を割り出せば、元のアンモニアができた時の温度、つまり彗星ができた時の温度が分かるといわけです。この方法を使って河北先生は、彗星のできた時の温度を約-240℃であると特定したのです。

に彗星研究では、いつ現れるかわからない彗星を待っていないからなんです。

NASAのディープインパクト計画は、彗星にこちらからインパクトを打ち込み、その衝撃で噴出するガスやできたクレーターを、衛星と地上の双方で観測するのですから画期的です。観測のチャンスをこちらから作ったのです。しかもこれまで少ない情報しかなかった彗星研究に、今までにないたくさんの情報をもたらしてくれました。

現在、新しい事実が次々と明らかにされている最中ですが、今分かっているだけでも、水（H₂O）やメタン、エタンなどの物質については改めてその存在が確認されています。さらにメタノール（CH₃OH）、ホルムアルデヒド（H₂CO）、アセチレン（C₂H₂）、それにアミノ酸との関連が深いシアン化水素（HCN）など、生命の基と考えられる物質がたくさん見つかっています。今後はさらに複雑な物質の存在も明らかにされていき、彗星研究は大きく前進していくに違いありません。

私たちの研究とは別に、彗星の物質を直接調べようという計画も始まっています。今話題のスターダスト計画では、彗星の塵を地球に持ち帰ってきて調べています。また、ESA（ヨーロッパ宇宙総局）によって始められたロゼッタ計画は、すでに'04年に打ち上げられている探査機ロゼッタを、2014年にはチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星に着陸させ、物質を直接採取して、その場で分析調査を行おうという壮大なものです。

もしこの計画が成功すれば、今後はこのような探査から直接得られる情報と、地球での観測から得られるデータとを照合することで、さらに詳しい研究が行われていくと期待されています。

※1 他に隕石説などもある。隕石は石や鉄によってできていて、太陽や地球などと同じ成分を含むが、有機物を含んだ隕石も発見されている。
 ※2 '86年、大接近したハレー彗星へ向けてジョット探査機などが打ち上げられ、彗星の核やガスを調査した結果、このように報告された。ただ、ごく最近ではディープインパクトを観測したロゼッタ探査機から、これまで考えられていたよりも塵の割合が多かったという情報が送られてきており、“凍った泥だんご”と呼んだほうがいいのではないかとという意見も出ている。ちなみにこれまで彗星へ向かった探査機としては、ボレー彗星へ向かったディープスペース1探査機、ウィルト第2彗星へ向かったスターダスト探査機などがある。
 ※3 これまでのところ、水中で水素やメタン、アンモニアなどの分子が反応を繰り返し、アミノ酸やDNAとなり、やがて生命が誕生したと考えられている。

今注目を集める関数型言語に迫る

私たちの生活に欠かせないものとなったコンピュータ。
便利になった反面、金融機関での大規模なシステムエラーなど、
ひとつ間違えば社会全体を混乱に巻き込むような事故もひき起こしてしまいます。
今まで以上に安全性が高いシステムを構築するにはどうすればいいのでしょうか。
その答えのひとつとなる「関数型プログラム言語」が専門の三好博之先生に、
それを使うことのメリット・デメリット、
また現在のプログラムで使う関数や
数学における関数との違いなどをお話いただきました。



プログラムの安全性を高めるために

数学の関数とコンピュータの関数は違う？

みなさんは数学の授業で関数というものを習っていますね。簡単なものは、 $f(x)=x+3$ 、などと表されますが、実は関数と一言で言っても、数学で学ぶものとコンピュータで使うものとは、厳密に同じではありません。

たとえば、 $f(x)=x+3$ の場合ですと、 $f(x)$ が表しているのは、“関数 f の x における値”なのか、それとも、“変数 x に 3 を足すという関数それ自体”なのか区別がつかないのです。それでも私たちに大きな混乱が起こらないのは、理解する側の人間が、ある程度のあいまいさがあっても暗黙の了解によってそれを補いながら運用しているからなのです。

このことを 20 世紀前半、コンピュータが発展する前に論理学者は気が付いていました。アメリカの数学者・論理学者アロンゾ・チャーチは、この両者を厳密に区別するために「ラム

ダ記法」という表記法を提案しています。ラムダ記法では、関数自体を現す場合は $\lambda x.f(x)$ と表記し、単に $f(x)$ と記した場合と区別しています。

その発想は、当初、数学の表記をより厳密にするためのものでしたが、コンピュータの登場後、あいまいさの許されないプログラム言語に応用され、後で説明する「関数型言語」の基礎となったのです。

私たちはコンピュータの副作用を使っている

ところで、みなさんは、現在の一般的なコンピュータを使うとき、キーボードやマウスによってコンピュータに意思を伝えることを「入力」、コンピュータが画面に表示したり、印刷物をプリントしたりすることを「出力」と思っていますか？

実は、現在の一般的なコンピュータのなか

の関数は、私たちが入力や出力と考えているものとはまったく関係のない数値を入力・出力として計算しています。たとえば、キーボードから「Hello!」と打ち込んだとします。このとき「Hello!」という文字の列はコンピュータのなかの関数にとって、ただ副作用として受け取られ、別の副作用を通じて、「Hello!」と画面に表示されます。では、その間、関数は何をやっているのかというと、「Hello!」という文字列とは全く関係のない数値を入力として受け取り、出力としてプログラムの次の手順に引き渡してい

理学部・コンピュータ科学科 三好 博之 教授

PROFILE

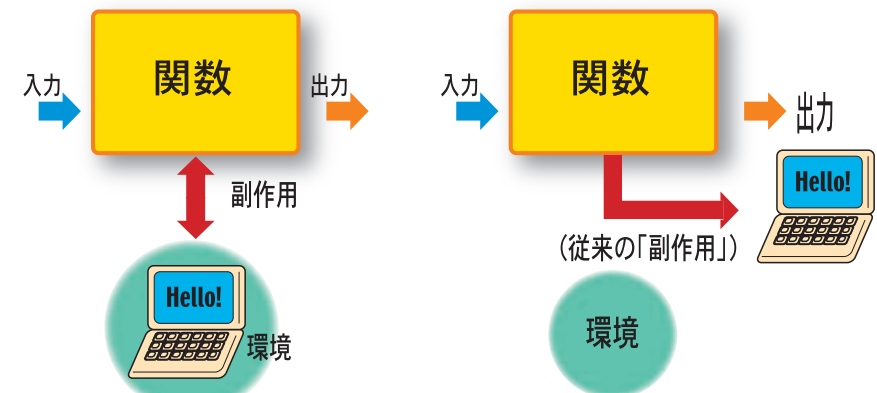
専攻は理論計算機科学、圏論など。大阪府立北野高等学校 OB。大学時代に消去法でたまたま選んだコンピュータ科学だが、その後、理論的な研究を行う一方で、日本で初めてのインターネット構築に立ち会った。慶応義塾大学・湘南藤沢キャンパス立ち上げ時には情報環境の構築に関わるなど、常にコンピュータ科学の最前線で活躍してきた。現在は、哲学、人文系の研究者などと協力して、「計算とは何か」という哲学的な問いに対して、科学と哲学の両面からの探求に取り組んでいる。

ます。コンピュータにとっては、この全く関係のない数値が計算を行ううえで重要なのですが、それは私たちが使いたいコンピュータの機能ではありません。

つまり、私たちはコンピュータの「副作用」を見て、それをコンピュータの主要な働きと見なしているのです。

このようなタイプのコンピュータでは、副作用が主な働きとなるため、関数とは関係のないところで外部からの数値などの代入が許されてしまいます。それにより関数が影響を受け、同じ関数に対して、同じ入力なのに出力結果が異なるという事態が起こってしまいます。

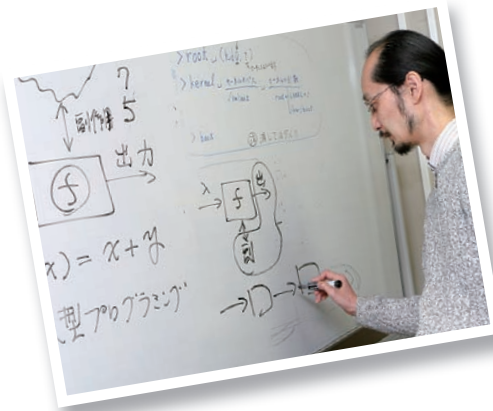
このように外部の環境に依存する要素が多く含まれてくると、コンピュータの挙動が予測しにくくなり、プログラム全体が正しく動くものなのかどうかのチェックが難しくなります。



システムの安全性を高める関数型言語

これらの問題点を解決するものとして考えられるのが、「関数型言語」と呼ばれるタイプのプログラム言語です。

C++などの現在の主流な言語との大きな違いは、同じ「関数」を使うといっても、関数型言語では、ユーザが期待する成果である副作用まで、関数という枠組み、たとえば出力に含めようという点です。この方式をとることによって、プログラム中には関数の入力→出力→入力という連続した動作だけが存在することになります。そのため、すべての計算がプログ



コンピュータが登場したばかりの頃のプログラムは、人の目で欠陥部分を見つけることができたが、現在のソフトウェアはその頃と比較にならないくらい複雑になっていて、もはや人の目では見つけることができなくなっています。

ラムの中で完結し、プログラム全体の挙動を数学的に検証することが飛躍的に容易となるのです。

ただ、実行される関数のすべての場面で外部とのやりとりが行われないと、ユーザにとって使いにくいということもありますから、実際には理論的に扱いやすい程度に制限した副作用を生じさせたり、ある程度外部からの代入も許容したりするようにしています。

このようにして構築されたプログラムは、バグが起きにくく安全性・確実性の高いものとなります。一昔前であれば、安全性や確実性はプログラマーが途方もない労力を使って確保していたものでした。コンピュータの性能が十分に向上し、マシンパワーに余裕が出てきた現在、ようやくそのためにコンピュータ自身の性能を使えるようになってきました。

もちろん、形式的に完全であるということと人間にとって使いやすいということとは両立しにくいものです。そのため、あらゆるプログラムを関数型言語で記述すれば良いというわけではありません。多少のバグが出ても、使い勝手を優先するのであれば、あいまいさを残した言語のほうが向いていることもあるでしょう。しかし、原子力発電所や交通機関の制御プログラムのように、万が一にもエラーが許されないシステムの構築には、関数型言語が威力を発揮するのです。

近年、大手のソフトウェア会社が関数型言語の研究のために多くの人材を集めています。新しく発表されるプログラム言語にも関数型言語の研究成果がたくさん活かされているようです。関数型言語は今後ますます注目されていくことでしょう。

TOPICS

計算するとはどういうことだろう？

コンピュータとは「計算する機械」です。現在ではありふれたものになり、当たり前のように使っていますが、ではそもそも計算とは何なのでしょう？

①数を数えたり、暗算をする。②紙とペンを使って筆算をする、そろばんを使って計算をする。③電卓やコンピュータに計算させる。④人に頼んで計算してもらう。

①や②が計算なのは当たり前のように思えますが、③になると計算している主体が分からなくなってきました。計算しているのは、人でしょうか、電卓やコンピュータでしょうか、それとも両方でしょうか。また、③と④の違いはどこにあるのでしょうか。

さらに、現在のデジタルコンピュータをモデルとした場合の計算と、今後実用化されるであろう量子コンピュータが行う計算とは、計算の概念も大きく違ってくると考えられます。計算とは何なのか、みなさんも一度考えてみてください。



CLOSE-UP

私の高校時代

高校時代はあまりガリガリと勉強するタイプではなく、物理研究部と軽音楽サークルの活動などクラブ・サークル活動に打ち込みました。特に軽音楽サークルについては、軽音楽系のクラブが学校になかったため、自分たちで立ち上げて活動していました。物理研究部では、アマチュア無線を主にやっていました。軽音楽サークルでは、キーボードやシンセサイザーを演奏し、ヴォーカルもやっていました。エフェクターを自作したこ

ともあります。このサークルには、他のクラブの部長や幹部クラスのアクティブで多彩な連中がいて、いい意味での刺激になったと思います。高校生のみなさんにとって、今は大学の序列が昔ほどはっきりとしていないし、そこで学ぶ内容についても選択肢が広く、我々の頃とはだいぶ状況が違います。しかし、高校時代というのは人生の中でも活動的になれる時期ですから、勉強もがんばりながら、課外活動などの高校生活も楽しむスマートさも持って欲しいと思います。

京都の伝統工芸・西陣織―熟練した職人の手で色とりどりの美しい模様が織り上げられています。京都には伝統ある西陣織に代表されるように、世界最高レベルの織物の産地です。しかし、コンピュータを使った情報化は、この伝統産業においても、いまや欠かせないものとなっています。コンピュータ制御を使えば、一度に何台もの織機で同じ図柄の織物をたくさん、しかも短時間で製品にしていけることができます。この分野でのソフトウェアの研究開発に携わってこられた工学部の黒住祥祐先生に、開発の経緯や物作りの難しさ・楽しさ、将来の展望をうかがいました。

匠の技を再現する

コンピュータが



工学部・情報通信工学科 黒住 祥祐 教授

PROFILE

専攻はコンピュータグラフィックス、画像処理、形状処理など。岡山県立操山高等学校OB。大学では当時の最先端の分野となる数理工学科に学ぶ。まだソフトウェアという概念もなかった時代に、これからはプログラムが重要だと感じたのだという。近年はコンピュータグラフィックス、画像処理、形状処理を中心に研究を続ける一方、より具体的な成果を求めて、織物メーカーとの共同研究にも力を入れている。

ADVICE

大学入学までに身につけておくこと

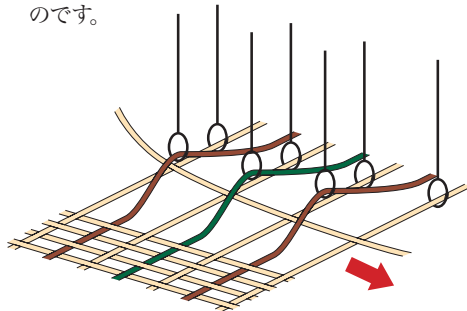
高校生のみなさんに大学入学までに学んでおいて欲しいことは、コンピュータの基本的な操作や仕組みについての知識・技術です。特に理工系であれば、コンピュータ内部のハードウェアの構造や、論理回路からできている動作の原理などを理解したうえで、使いこなせるようになっていて欲しいですね。できれば、自分でパソコンを組み立てたり、簡単なプログラムを組めるようになってください。

教科の学習では、数学の学習はもちろんのこと、英語にも力を入れて勉強しておくとう良いと思います。大学に入って本格的に学び始めると、世界中の資料を集めて目を通すことが多くなります。インターネットを通して世界中の情報が簡単に入手できるようになった今日では、尚更この傾向が強くなっています。

理系だからといって英語の学習の手を抜かずにがんばってください。

相性ピッタリの織物とコンピュータ

織物は縦糸と横糸との組み合わせによりできています。基本的には、縦糸を何本かずつ上下させて、その間に横糸を通し、縦横の糸を組み合わせていきます。このとき、横糸に様々な色の付いた糸を使えば、着物や帯、どんちよう緞帳、ネクタイなどのカラフルな模様を織ることができるのです。



このとき、どの縦糸を持ち上げて、どの縦糸を持ち上げないかを指定する必要があります。従来は紋紙と呼ばれる短冊状の厚紙に穴を開けたものを図柄に応じて何枚もつなぎ合わせて、その指定を行ってききました。紋紙の穴のあいた部分だけにヨコ針が入ると、そのヨコ針につながったタテ針に動きが伝わり、さらにタテ針につなげた縦糸が持ち上げられるという仕組みです。これを行う装置は、針を選択するということから選針装置と呼ばれ織機の最上部に備え付けられています。

この紋紙による図柄の指定の仕方は、0と1だけでデータを伝えるコンピュータの原理と非常によく似ています。紋紙を見るとピンと来る人もいるかもしれませんが、紋紙と昔の計算機に使われたパンチカードはそっくりです。コンピュータで紋紙の穴にヨコ針が通る状態は

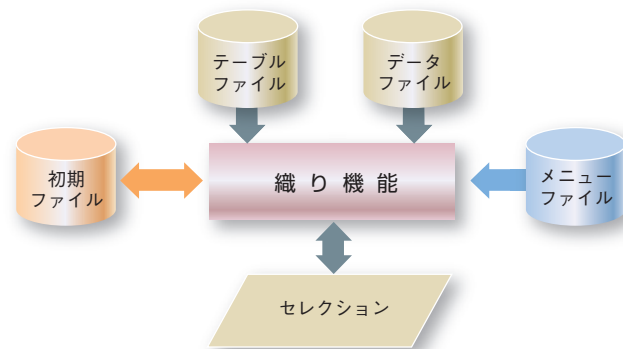
小学生が授業で実際に使っている

黒住先生が共同開発した選針装置システムを搭載した織機は、共同開発者の「有限会社にしむら」から京都市立乾隆小学校に寄贈されている。乾隆小学校は西陣織の産地の中心に立地する学校で、校区内には西陣織を始め、様々な京の伝統産業や文化が色濃く残っている。同小学校では、課外授業として、実際にこのシステムを稼働させ、体験学習を行っている。3年

1で、通らない状態は0と置き換えることができます。選針装置の制御にはコンピュータはたいへん相性がよいのです。

どんなシステム？

選針装置の制御システムは、大きく分けて6つのパーツから構成されています。右の図はその概要を図示したものです。まず、選針装置そのものがあります。基本的な仕組みは先ほど説明した紋紙と同じです。ただ、針を動かすか、動かさないかはデータで指定します。この選針装置にデータを送り、様々な制御を実行するのがソフトウェアの本体です。各種のデータを受け取り、選針装置へと伝える働きをしています。データは、初期ファイル、テーブルファイル、データファイル、メニューファイルからソフトウェア本体に送られます。／



実際に物を作ることの難しさ楽しさ

このシステムはコンピュータを使っているとはいえ、扱う対象がヴァーチャルなものではなく、布地を織るという実際に物を作る作業ですから、理論上では考えにくい現実的な課題にも直面しました。

ひとつの例として開発の初期に起こったこととお話しましょう。選針装置とソフトウェア本体との間を転送するデータの量には物理的な限界があります。そのため、1台のコンピュータで複数台の選針装置を同時に制御しようとすると、実際の織るスピードとデータの転送速度が合わずに装置の動作が不揃いとなり、ときには、止まってしまうというバグがありました。

縦糸を正確に選び、一定の速度で持ち上げて、それを何千回、何万回と繰り返していくという作業は、プログラムの上では問題なく実行できるように思えても、現実には予期しないエラーやバグが起こり得るものなのです。最初から完璧を望むよりも、大切なのは、問題が発生したときに直ちに対応する姿勢です。

このケースでは、装置が不安定になり止まっ

前から、6年生の卒業制作として幡^{ばん}を織り、卒業式で飾ることにしている。子どもたちは、幡の図柄として、昆虫や花などそれぞれ自分の好きなものを自由に描き、スキャナで取り込んで、それをデータファイルに読み込ませる。自分の描いた絵を織りこんだ“自分たちの幡”の制作は、卒業してもずっと心に残る貴重な経験となっている。

初期ファイルには、システムの初期設定が書き込まれています。テーブルファイルは、どの選針装置のどの部分を実際に使うのかなどの管理をします。織物の図案はデータファイルに入っていて、それを変更することで、色々な模様を織るように指示することができます。伝統的な図柄はもちろん、みなさんが自分で考えたオリジナルの絵柄など、どんな図案でも織ることができます。メニューファイルには、操作画面やOSを変更したときに対応するためのデータが保存されています。

てしまう前に、データの流れを監視し、止まりそうになったらそれに対処するようにしました。データ転送が一定量を超えるとシステム自身がそれを検出して、自動的に作業を一時中断し、その後安定した状態で作業を再開するようにしたのです。

このように実際のソフトウェア開発の現場では、必ず出てくる現実の問題に、いかに対応するか、対応した後にどう作業を再開するのか、という観点が必要です。アイデアを出し工夫を凝らし、これらの現実的困難を克服して、実際に動くものが出来上がったときこそ、物作りの本当の楽しさを味わえるのだと思います。

現在、このシステムを改良するために、コンピュータと選針装置との接続形態をLANからUSBという規格に切り替えています。独立したコンピュータ同士の場合はLANでの接続が容易ですが、コンピュータが多数の装置を制御する場合には、USBを使うほうがはるかに速くなります。うまくいけば、1台のコンピュータが制御する装置の数を、現在の8台から一気に100台まで増やすことも夢ではないのです。

テントウムシからトキまで 生物の環境への 適応について考える

希少動物の保護、増殖は21世紀の課題

テントウムシを追って全国を巡る——、こんな壮大なフィールドワークを手がけられているのが野村哲郎先生。元々の研究はコンピュータを駆使した独自の方法による家畜の品種改良。近年は同じ方法で希少動物や絶滅危惧種の保護、増殖のプロジェクトにもかかわっておられます。フィールドワークでの最新の研究成果と、幅広い研究をつなぐキーワード、遺伝的な多様性についてお話をいただきました。

ナミテントウの温暖化対策

春が過ぎ初夏が近づくにつれて、街中の公園でもテントウムシの姿をよく見かけられるようになります。草木の新芽につくアブラムシを食べにやってくるのです。しかし、同じテントウムシでも大きさや背中模様は様々。それもそのはず、国内には約180種類のテントウムシがいるといわれています。

中でも多いのが、ナナホシテントウとナミテントウの2種類（写真上）。ナミテントウにはさらに、右写真「ナミテントウの斑紋型」のように背中の模様（正式には鞘翅の斑紋）によって4つのタイプが認められます。このような違

ナミテントウの斑紋型



いは特定の遺伝子の組み合わせによってできるもので、人間のABO型による血液型と同じようなものです。この違いは変異と呼ばれ、これを引き起こすのが遺伝的な多様性です。

ナミテントウのこの変異について、それが気温に影響されているものであるとした注目すべき研究があります^{※1}。二紋型や四紋型は気候の温暖な南のほうに多く、北へ行くに従って紅型が増え、しかも北海道を除けば同じ産地の中でもこの傾向が見られるということが、膨大なデータを基に明らかにされています（図1）。一般的に動物は北へ行くほど色が白く（明るく）、南へ行くほど黒いというグロージャーの法則というのがありますが、たしかにナミテントウの場合も、二紋型や四紋型は黒い部分が多く、紅型は明るい色をしています。

私たちは現在、この研究の調査地点を追って4つのタイプの分布を調べ、60年前と今との比較を行っています。当時からすると、世界では0.5℃、国内では1～2℃、平均気温が上昇しているといわれています。だとすれば、これは二紋型や四紋型に有利に働き、紅型には不

図1 ナミテントウの斑紋遺伝子の頻度と緯度の関係

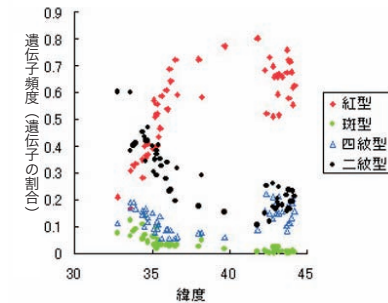
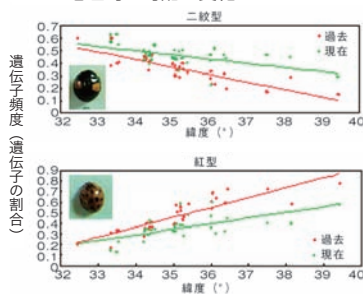


図2 過去と現在の遺伝子頻度の地理的な勾配の変化



利に働くはずですが。はたして結果は、現在までのところ、どの地点でも60年前の調査に比べて、二紋型や四紋型が増加し、紅型が減少しています。また各産地の二紋型と紅型の分布状況を調べ、緯度との関係を直線で表してみても、その傾き（地理的勾配）は60年前に比べると緩やかになっています（図2）。これは明らかに、温度の変化に対する種としての適応だと考えることができます（コラム左）。もちろん個体の単なる移住なども原因として考えられますから、移住が不可能な佐渡でのデータについても詳細に調べてみました。結果は同じです。つまりナミテントウはその遺伝的な多様性を生かして、地球の温暖化に見事に適応しているというわけです^{※2}。

遺伝的な多様性がなくなると絶滅の危機に

この例からわかるのは、遺伝的な多様性が環境に対する適応を促し、さらには小進化を引き起こさせるものということです。しかし生物の中には、この大切な遺伝的多様性を失ってしまったものがあります。希少動物、絶滅危惧種の動物などがそれに当たります。個体数が減少した動物は近親交配でしか子孫を残せなくなり、遺伝的な多様性も極端に減少します（専門的な用語では、遺伝的に有効な個体数が少ないといいます）。誰もが知っている動物でいえばチーターやアムールトラ、それにトキなどがこれに当たります。

遺伝的な多様性がなくなると、環境や気温の変化に対しての適応力は極端に落ちます。また、一つの病気がまたたく間に全体へ感染して、種があつという間に絶滅してしまう恐れさえ出てきます。私たちの計算では、種を維持するのに必要な有効個体数は、種によってももちろん違いはありますが、最低でも50です。絶滅危惧種の保全、繁殖では、残っている個体数や雌雄のバランスを把握しておくことが必ず大切ですが、有効な個体数についても必ず調べておかなければならないのです（関連コラム右上）。

絶滅危惧種の保全、増殖がこれからの課題

21世紀は共生の時代です。人と人だけではなく、人と自然、人と動物・植物との共生が求められます。これまで人間が自分の都合で絶滅にまで追いやってしまった動・植物は数えきれません。これからはそれらを保護するだけ

霜降り肉の将来

国内でたくさん飼育されている動物の中でも、このような危うさをもったものがあります。黒毛和牛（正式には黒毛和種）です。現在国内では数十万頭が飼育されていますが、そのほとんどは人工授精によるものです。その結果、全体の50%近くが、わずか3、4頭の優秀な雄（兵庫県産）の子孫という驚くべき状況が生み出されています。有効な個体数でいうと実に20頭程度。人間に例えると、男女10組のペアの持つ遺伝的な多様性しかもっていないということになります。

でなく、少しでも元の姿や状態に戻すことが私たちに課せられた大きな使命です。

私の研究は、はじめ家畜の品種改良（育種）からスタートしました。目標とする形質を決めたら、何世代もかけて、他の多くの個体が共有できるようにしていくわけです^{※3}。この時抛り所となるのは、対象となる動物のもつ遺伝的な多様性です。現在たくさんの種類の犬がペットとして飼われていますが、これはその先祖であるオオカミが、実に多くの遺伝的な多様性を持っていたからに他なりません。

一方、種の保全、増殖では、数少なくなってきた個体をどう組み合わせれば、少しでも多くの多様性が得られるかを目標とします。考え方や手法の多くは育種と全く共通するものです。また、絶滅危惧種になると、多くは人工飼育に頼らざるを得ない状況になりますから、家畜で培った育種のノウハウは、この面でも大いに役立ちます。

ADVICE

数学はできるにこしたことはありません。行列やベクトルなど、高校時代には、なぜこんなものをやるのかと私自身疑問に思ったものです。でも大学で専門を学ぶようになった時に、「ああこれはこういうことを研究するのに必要なんだ。勉強しておいてよかった」と気がきました。具体的なものを通してみると数学の見方も変わるんですね。

工学部・生物工学科

野村 哲郎 教授

PROFILE

琵琶湖の東、いわゆる湖東地方の豊かな自然に囲まれて少年時代を過ごす。生き物は何でも大好きで、魚釣りや昆虫採集に明け暮れる毎日。現在の研究の原点はまさにここにある。今でも休日になると捕虫網を持ってあちこちに出没。4月には、あのギフ蝶を捕まえて上機嫌とのこと。滋賀県立彦根高等学校OB。

かつて和牛は、体の大きさ、肉質など、産地ごとに特徴を持っていました。しかし、牛肉の輸入自由化を機に、安い外国産の肉に対抗して、国産ではオイシシ、いわゆる霜降り肉の追求が徹底されるようになりました。その結果、体はあまり大きくはありませんが、肉質の優れた兵庫県産のものに需要が集中したのです。

こうした状況は、いまのところ問題はありませんが、将来消費者の嗜好が変わり、肉質の転換を図らなければならないとなったりすると、大きな障害になるのではないかと危惧されています。

CLOSE-UP

どんな授業？高校時代に学んできて欲しい事は？

専門では、コンピュータを使った品種改良のシミュレーションと、ここに紹介したようなフィールドワーク中心の研究を行います。生物が好きで数学も得意、しかもコンピュータにも興味があるという人にはまずびったりの学問です。もちろん幅はそうとう広いですから、理論が好きな人はコンピュータを使ってそれをどんどん深めていけばいいし、具体的なことがしてみたいという人にはフィールドワークなどの広い世界が待っています。大学へ入ってから、もしかしたら自分は文系だったかもしれないと感じた人でも、自信を持って十分やっていけるとと思います。

京都産業大学の生物工学科では、研究テーマの幅がバイオのようなミクロを扱うものから、ここでご紹介したフィールドワークのようなマクロのものまで広がっていて、入ってからでも自分の適性をいかして専攻を選ぶことができます。

専門科目を理解するためには、高校時代、化学、生物のどちらかをⅡまで学んできてください。また、先端の研究については英文で書いたもののしかありませんから、それを読みこなすための英語の基礎力は欲しいですね。それと、実験データをまとめるための日本語の表現力、あわせて論理的にもの考える習慣も養っておいて欲しいと思います。

- ※1 動物学、遺伝学の権威といわれた胸井卓博士（1886年生まれ、元京都大学教授）は、今から60年も前に全国55箇所（※2）で43,415個体を採集し、4つの斑紋の型の遺伝子型を割り出し、その地理的分布を調べました。図1はそれをまとめた緯度との関係を表したものです。
- ※2 このように何らかの環境の変化でひとつの種の中での遺伝子構成が変化することを小進化といいます。温暖化の影響で南方系の種の分布が拡大しているという報告はいくつかなされていますが、種内の遺伝子構成が温暖化の影響を受けているという調査研究は、これまで報告例がありません。
- ※3 動物の品種改良は植物に比べると、お金も時間も多かります。そこでコンピュータを使って何世代も先をシミュレーションするという手法が有効となります。

多様な領域で可能性を見つけよう!

理学部 & 工学部

自然の真理を
探究

代数学
幾何学
数学解析学
複素解析学
情報系の数学
応用系の数学

数理科学科

天体・宇宙物理
素粒子・原子核
地球・気象と環境科学
物性物理／理論

物理科学科

物性物理／実験レーザー・電波物性
物性物理／実験結晶・表面物性

コンピュータシステム
プログラミング理論
プログラミング実践
科学・工学におけるコンピュータ
コンピュータと数学

コンピュータ
科学科

情報通信
工学科

コンピュータ工学系
情報処理工学系
光・量子情報・電波通信・電磁波工学系
生体・数理情報系

生物工学科

分子機能科学
細胞機能科学
生物保全科学
植物遺伝・育種学

テクノロジーの
最先端に
挑戦

さらに高度な
研究で可能性に
挑む

大学院

数学専攻
物理学専攻

理学研究科

博士前期課程
▼
博士後期課程

工学研究科

情報通信工学専攻
生物工学専攻



お問い合わせ先

京都産業大学 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 TEL075-705-1463

■工学部事務室 TEL075-705-1466

■入学センター TEL075-705-1437