

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.4

01

素数が奏でる 数学の謎

数学の女王と
お近づきになろう

村瀬 篤 教授

02

光を自由に 操ってみよう!

操ってみよう!

レーザー光からホログラムまで
可能性の広がる分光学の世界

谷川 正幸 教授

03

豊かなバリアフリー社会をめざして

電動車椅子作りに挑戦

どんなものでも作ることもできる、
情報処理と制御システムの技術を身につける

岡田 憲志 教授

05

脳

にしかない

酵素を発見!

糖タンパク質の解明を通じて
脳が出来上がるまでの過程に迫る

黒坂 光 教授

04

量子力学が 創り出す 不思議な世界

量子テレポーテーション!

外山 政文 教授

私たちは普段当たり前のように数という概念を使っています。
 「37ページから」、「グラウンド3周」、「降水確率40%」などなど。
 もしも数という概念がなければ、
 私たちの日常生活はたいへん不便なものになるでしょう。
 それでは、数とはいったいどんな性質のもので、
 どういう法則のもとに成り立っているのか、考えたことはあるでしょうか？
 数、とりわけ整数やその大元となる素数とは何なのか、
 それらを支配する法則にはどんなものがあるのか、
 といったことを研究するのが整数論と呼ばれる学問分野です。
 理論の美しさや純粋さなどから「数学の女王」とも呼ばれるこの分野について、
 村瀬篤先生にお話をいただきました。

素数が奏でる 数学の謎

素数の不思議な性質

素数とはそれ以上分解することができない、整数の世界の元素と言えます。英語ではprime numberと言われ、素数の位置づけがよく言い表されています。このように言われるのは、あらゆる整数が、どんなに大きな数であっても、素数の積によって表すことができるからです。みなさんも既に習った素因数分解とは、まさに整数を素数の積で表すことなのです。このことから、「数とは何か?」という問いに対して考えるためには、その構成因子である素数の性質を知ることが欠かせません。まずは、素数が持つ不思議な性質を4つ紹介しましょう。

交通安全のお守りにもなる？ リーマン予想

100万ドルの懸賞金がかけられているリーマン予想ですが、この問題の難しさを表すエピソードとして、次のようなものがあります。19世紀後半から20世紀前半のイギリスの数学者ハーディーは、当時まだ事故が多く危険な乗り物だった船に乗る前には必ず、「私はリーマン予想を解いた」という嘘の手紙を書いて友人に送ったそうです。ハーディーがもしも海難事故で死ぬと「リーマン予想を解いた数学者」としてたちまち数学史上の英雄になってしまうから神様がそれを許さない(=死なせない)はずであり、そうならないならば神様はいないということになり、無神論者だったハーディーにとっては自らの信念の証明になります。この手紙は「ハーディーのおまじない」と呼ばれていますが、リーマン予想を解くことが彼の有名な著名な数学者にとってすら困難だということが垣間見える話ですね。

その① 無限に存在する素数

素数が無限に存在することは古くから知られていました。この証明はユークリッドの「幾何学原論」に記されています。

今、 p_1, p_2, \dots, p_n を素数とする。

これらを全てかけ合わせた数に1を加えて、 N とおく。

$$N = p_1 \times p_2 \times \dots \times p_n + 1$$

N を素因数分解し、そこに現れた素数を p とすると

$$p \neq p_1, p_2, \dots, p_n$$

ゆえに p は新しい素数である。

一見まばらにしか登場しないように見える素数ですが、実はどんなに桁が大きくなっても素数がなくなるということはありません。

その② 双子素数予想

(3, 5)、(11, 13)、などのように差が2しかない素数のペアのことを双子素数といいます。(2, 3)のペアを除き、差が1では片方が偶数となるため双子素数にはなりません。また、差が2であっても、(15, 17)などは一方(この場合15)が合成数なので双子素数にはなりません。

さて、このような素数のペアも無限に存在すると予想されています。「予想」というのは、数学では「未解決」と同じことで、未だ証明されていない問題のことを言います。ちなみに差が2ずつの3つの素数の組である三つ子素数は

WANTED!

証明せよ

自明な零点以外で
ゼータ関数が
0になるのは、
 $S = \frac{1}{2} + iy$
のときのみである。

\$1,000,000

数学の女王と お近づきになろう

(3, 5, 7)しかありません。この証明は高校生でも十分に解ける問題なので、挑戦してみてください。

その③ ゴールドバッハ予想

同じように、素数に関連する予想として、ゴールドバッハ予想と呼ばれるものがあります。それは

4以上の偶数は2個の素数の和として表すことができる

4ならば 2+2、6は3+3、8は3+5、10は3+7、というように延々と続きます。2005年の段階で 3×10^{17} まで、コンピュータを使った計算によって予想が正しいことが分かっています。

理学部・数理科学科 村瀬 篤 教授

PROFILE

専攻は多変数保型形式の整数論。講義では暗号についても教えていて、卒業研究では暗号解読プログラムなども指導する。北海道育ち、札幌南高校OB。中学時代の数学の先生から高校の数学を先取りして教わり、数学の面白さに興味を持つようになる。その経験から、高校時代に大学の数学を独学で学んだという。

しかし無限に存在する整数を考える場合には、どんなに計算を積み重ねて、1つ1つの数字について正しいと分かっていても、それだけでは証明されたことにはなりません。数をどんどん大きくしていくと突然当てはまらない例が出てくることもあるのです。現在のところ無限という概念をコンピュータに持たせることはできていません。

その④ 完全数

完全数とは、その数自身を除く約数の和がそれ自身と同じになる数のことです。たとえば、6の約数は1, 2, 3, 6なので、 $1+2+3=6$ で、6は完全数となります。このような数は非常に稀で、6の次は28、その次は496、その次となると8128まで現れません。完全数の性質を見てみましょう。

$$6 = 2 \times 3 = 2 \times (2^2 - 1)$$

$$28 = 2^2 \times 7 = 2^2 \times (2^3 - 1)$$

$$496 = 2^4 \times 31 = 2^4 \times (2^5 - 1)$$

$$8128 = 2^6 \times 127 = 2^6 \times (2^7 - 1)$$

完全数は、 $2^m \times \text{素数}$ というカタチを取っていて、この[素数]に入るのは $2^n - 1$ の形の素数です。そして、 m と n の間には、 $m = n - 1$ と



いう関係が成り立っています。つまり、完全数は、 $2^{n-1} \times (2^n - 1)$ という形をしています。 $2^n - 1$ が素数でない場合には、完全数にはなりません。 $2^n - 1$ で表せる素数はメルセンヌ素数と呼ばれています。

完全数は偶数のものしか見つかっていません。奇数の完全数があるのかどうかは未解決の問題なのです。

素数はいくつあるのか？

数を構成する素という重要なものでありながら、数の中に現れる法則が定かではない素数ですが、ある程度大きなスケールで見ると、現れ方に規則性のようなものが出てきます。しかしながら、この規則性を正確に捉えるのは難しく、1からある任意の数までにいったいどれだけの素数があるのか、という問題も整数論の難問とされています。

1から x までの素数の個数を表す式を $\pi(x)$ と表記します。

$\pi(x)$ については

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\pi(x)}{\frac{x}{\log x}} = 1$$

が成り立つことが分かっています(素数定理)。つまり、 x が十分に大きいとき、 $\pi(x)$ は、およそ $\frac{x}{\log x}$ となるのです。「およそ」と言うのは、 x に有限の数を当てはめた場合、必ず誤差が生じるからです。 $\pi(x)$ を厳密に定義する式は現在のところまだ解明されていません。

ゼータ関数とリーマン予想

ドイツの数学者リーマンは、 $\pi(x)$ と $\frac{x}{\log x}$ のズレ(誤差)を表す公式を発見しました。この公式が成り立つためには、リーマン予想が正しいことが証明されなければなりません。

リーマン予想とは、ゼータ関数と呼ばれる関数についての予想で、1859年にリーマンが彼の論文の中で予想して以来、現在にいたるまで証明されていない問題です。世界の数学界においても難問中の難問とされていて、アメリカのクレイ研究所が2000年にミレニアム懸賞問題として、解決者に対して100万ドルの懸賞金

みんなのパソコンで大きな素数を見つけよう? - GIMPS

$2^n - 1$ の形で表せるメルセンヌ素数は、何万桁にもなる大きな素数を見出す手段として有効で、現在もコンピュータを使ったメルセンヌ素数発見のプロジェクトが進められています。

このプロジェクトの名称はGIMPS (Great Internet Mersenne Prime Search) といいます。世界中のコンピュータに少しずつ分けて計算をしてもらい、トータルで膨大な計算をやっつけようというプロジェクトです。

女王は働かない?

「数学の女王」と言われる整数論は、数学の最古の分野でもあります。私たち人類は古くから数の概念を持っていました。そのため、古代ギリシャの数学者も素数に関して様々な考察を行っています。しかし、素数について、私たちの知見が飛躍的に向上したのは、比較的新しい数学の他の分野(微積分、関数論や代数学)での発展があったからなのです。これらの分野の成果が整数論の発展にも大きく寄与しています。逆に、整数論の成果は数学の他の分野にあまり貢献していないと思われています。整数論が「数学の女王」と呼ばれる理由には、理論の美しさや純粋さだけでなく、「他の分野の貢献は受けるけれども自分は他の分野に貢献しない」という皮肉も込められているのかもしれない。

を支払うと公約しています。

ゼータ関数とは、18世紀半ばごろにオイラーが特殊な性質があることを見つけ出した無限級数のことで

$$\zeta(s) = \frac{1}{1^s} + \frac{1}{2^s} + \frac{1}{3^s} + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$$

と無限に加算する形の式です。

この関数は s が2, 4, 6などの場合、特殊な値をとることが分かっています

$$\zeta(2) = \frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \dots = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\zeta(4) = \frac{1}{1^4} + \frac{1}{2^4} + \dots = \frac{\pi^4}{90}$$

$$\zeta(6) = \frac{1}{1^6} + \frac{1}{2^6} + \dots = \frac{\pi^6}{945}$$

という値になります。

また、 s が負の偶数のとき、 $\zeta(s) = 0$ となります。この偶数値をリーマン・ゼータ関数の「自明な零点」と呼びます。

リーマン予想とは、この零点に関するもので、
自明な零点以外でゼータ関数が0になるのは、 $s = \frac{1}{2} + iy$ (y は実数)のときのみである。

というものです。ゼータ関数は素数の分布状況を表しており、19世紀末に $\zeta(1+iy) \neq 0$ が証明されています。このことから素数定理が導かれます。

GIMPSには、インターネットに接続されているパソコンがあれば誰でも参加できます。これまでにGIMPSによって発見されたメルセンヌ素数は2006年9月現在で10あり、最大のもは $2^{32,582,657} - 1$ です。この素数は約980万桁です。大きな素数を見出す技術は、暗号技術と深い関係があり、技術発展の促進のため1000万桁を超える素数の発見には10万ドルの賞金がかけられています。

お札も光の力を借りている!?

まちがっても“実験”してもらっては困りますが、今使われている五千円札、一万円札をコピーしても、あのびかびか光った部分はきれいに写りません^{※1}。偽造防止のため、ホログラムといわれる印刷ではない特殊な加工が施されているからです。偽造防止には他に特殊なインクを混ぜて印刷する方法などありますが、受け取った人にも一目でわかるという点からも、このホログラムに勝る方法は今のところないと考えられています。

もっとも、お札に使われているのは平面に型押しをするという一番簡単な方法で、一般的にホログラムといった場合は、もっと複雑で精巧なものを指します。イラスト①②は、コーヒーカップを例にその仕組みを簡単に説明したものです。ホログラムを作るには、まず一本のレーザー光を二本に分け、それぞれを幅の広い均一なビームにし、一方のレーザー光でコーヒーカップを照らします。次にそこから跳ね返ってきた光に、もう一方のレーザー光を重ねて干渉^{※2}させます。それを超微粒子の感光材が着いた写真乾板に焼き付けると出来上がりです(イラスト①)。次は再生ですが、この写真乾板は、ただ見ているだけでは、何かが映っているようには見えません。しかし、広げたレーザービーム、もしくは太陽光線のある方向から板面に当てると、板面が回折格子^{※3}の役目をして、光の回折^{※3}が起こり、コーヒーカップが浮かび上がって見えるのです(イラスト②)。

このようにホログラムでは、レンズを使わずに撮影しますから、板面に記録されているのは像ではなく、コーヒーカップから出た光そのものです。ホログラムのホロは全体、グラムは記録という意味で、文字通り光そのものを記録するのです。従来の写真と違って、明と暗の情報に加えて光の来る方向の情報も含んでいますから、立体的に見え、しかも見る位置によって違って

CLOSE-UP

どんな授業?

卒業研究では、コンピュータを使った光の計測や、ここに紹介したホログラム、半導体レーザー制御装置など、光に関連する機器や装置を製作します。もっとも身近なものでは、指先にクリップのようなものをつけて、血液の中の酸素濃度を計る機器を作ったこともあります。方式はいろいろありますが、研究室ではオレンジ、赤の2色の光を指先に当てて、その跳ね返ってくる光の強さを計り、その結果をコンピュータにつないで計算します。どんな装置の制作でも、電子回路は自分たちで組み立て、プログラムも独自に作りますから、光についてだけでなく、コンピュータについても多くのことが学べます。

光を自由に操る自由な世界

レーザー光からホログラムまで可能性の広がる分光学の世界

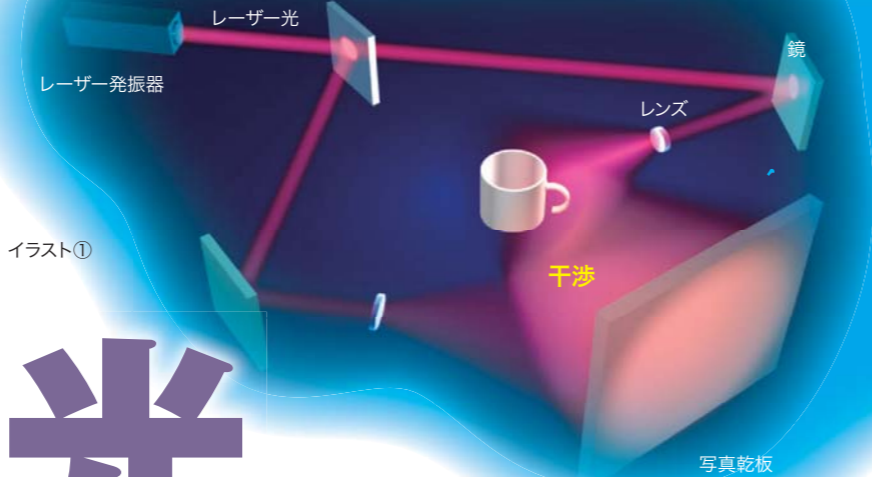
青い空、秋の紅葉、真っ白な雪、これらを私たちに見せてくれる光の働きは、最も身近な物理的な現象の一つといえるでしょう。その振る舞いや性質、それによって引き起こされる多くの様々な現象は、光学、量子力学その他の物理学理論によって明快に説明することができます。私たちはそれを理解して応用することによって、光を上手に操り生活を豊かにする様々な製品や技術を生み出すことができます。物体から出る光のスペクトルを分析し、その物質の構造を原子や粒子のレベルで理解しようという分光学を足場に“光”に取り組んでいる谷川先生に、光を使った身近な製品や技術、またその未来像について解説してもらいました。

見えるわけです。まだまだ実験段階ですが、観客の見る位置によって映像の見え方の違うホログラム映画(動画)の技術もいくつかの方式がすでに考案されています。また、ホログラムは3次元映像の形で大量の情報を貯めこむことができますから、DVDのような記録装置の容量はこれからまだまだ飛躍的に増えることになりそうです。

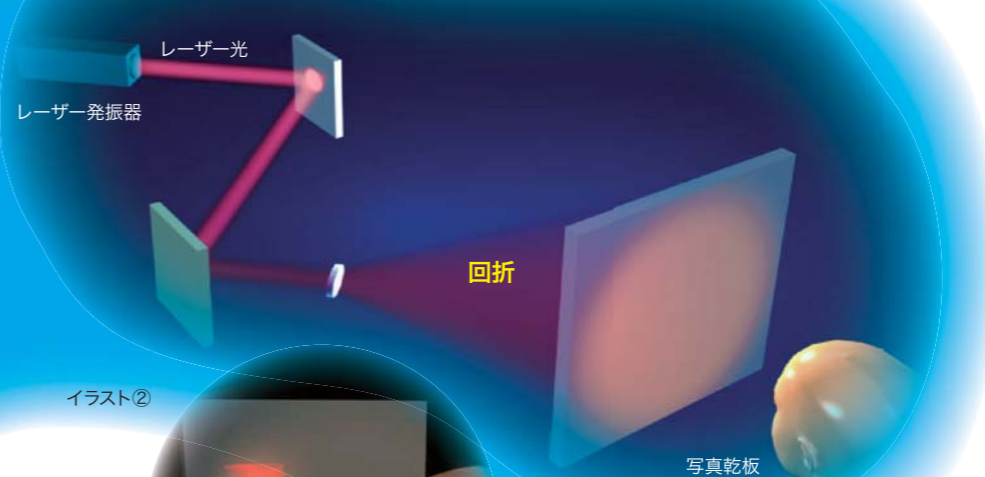
理学部・物理科学科 谷川 正幸 教授

PROFILE

中学、高校時代は、ラジオとか電話とか、とにかくいろいろなものを分解しては、それを組み立て直したり改造したりしていた。趣味のアマチュア無線でも、通信よりも装置の改良に夢中になった。必然的に大学では物理学科に入学。大学生になってもやはり機械いじりがやめられず、当時はやった「マイコン」を使った実験装置を作ったりしていた。自分で英文ワープロを作って改良しながら英文を書いていたのが忘れられない。広島大学附属福山高等学校OB。



イラスト①



イラスト②

光の研究になくてはならないレーザーと、半導体

ホログラムはもちろんですが、私たちにもっと身近なDVDや光ファイバーなどでも、なくてはならない存在がレーザー光です。レーザーは特殊な装置(発振装置)を使って光の向き、波長を人工的に揃えるもので、1960年にアメリカではじめて実用化されました。そもそも光は、そのままの状態では、広がってしまい、一点に収束させることができません。レーザーは、発振装置の中で一方向の光を何度も往復させ定常波^{※4}を作り、その方向が定まった光を極限にまで強めて発射します。そのため光は真っ直ぐに進み、レンズを使えば非常に小さな点にも収束させることができます。現在では光ファイバーの光源、DVDの読み取り、レーザーポインター以外にも、医療現場ではレーザーメス、自動車の加工では板金や溶接に、また精密な測量などにも欠かせないものとなっています。

発振装置に使う材料によって固体レーザー、液体レーザー、ガスレーザー、半導体レーザーなどがあり、それぞれ用途によって使い分けられています。半導体^{※5}というのは電子の動きを外部からコントロールすることができる有用な物質で、コンピュータや携帯電話などに使われる電子部品の材料ですが、中には電気を通すと光るものもあります。LED(発光ダイオード)も半導体レーザーもそのような物質で作られています。

ADVICE

卒業したら?

コンピュータが学べることを知って入ってきて、プログラマーやSEなど情報系へ進む学生が多いが、光学機器や測定器メーカーへ行く学生もいます。

光通信の光源と有機半導体に期待

私たちが日頃研究や実験の対象にしているのは、このようなレーザーや光を出す半導体、またレーザー光を作る際に必要となる光の向きをスイッチする半導体です。実験には主にレーザー光を使い、どんな物質がレーザーに向いているかとか、この物質はレーザーとして使えるかとか、あるいはレーザーや半導体としてもっと効率のよい物質はないのかなどについて調べています。またそのような条件を満たす新しい化合物作りにも挑戦します。

このうち、私がいま最も期待をかけているのが光ファイバーの光源となる半導体レーザーの改良と、プラスチックで半導体の役割を果たすことのできる有機半導体^{※6}の研究・開発です。光ファイバーは、いまやコンピュータネットワークやCATVの回線のほとんどに使われています。非常に純度の高いガラス管を必要としますが、これについては、日本は世界に誇る技術を持っています。しかし光源となる半導体レーザー(発光ダイオード)については、その材料や加工の方法にまだまだ改良の余地が残されています。

一方の有機半導体は、ディスプレイとして使え

ADVICE

どんな勉強を?

とにかく数学が大切です。これが解らないと物理は解りません。ただ、“光”に必要な数学の領域は限られていますし、計算もそんなにややこしいものは必要ありません。たとえば、光の波の性質を計算するために行列をよく使います。行列の計算はめんどくさいだけというイメージを持っている方が多いのですが、実は行列は一見複雑な計算をシンプルにやっつける手段なのです。

もう一つは複素数。高校の物理では波を三角関数で表しますが、大学では複素数を使って計算します。複素数は抽象的な概念で苦手にする人も多いと思いますが、抽象的に考えるというのは、物理を学ぶ上でも基本です。方法論として身につけておけば将来必ず役に立ちま

ば、薄くて軽く、しかも明るい画面が得られることから、壁掛けTV用のディスプレイの最有力候補とされています。すでに携帯電話やゲーム機などの小さなものでは使われていますが、プラスチックですから劣化しやすく、また壊れやすく、しかも熱に弱いという欠点を持っています。TVのディスプレイなどの大きなものとなると、材料段階からの工夫や研究がまだまだ必要です。とくにプラスチックですから、様々な化合物も作りやすく、研究の余地がたくさん残されていてとても楽しみな分野です。もっとも、メーカーではすでに開発競争に入っているようですから、有機半導体で作られたディスプレイがこれまでのプラズマや液晶にとってかわるのもそれほど遠い日のことではないかもしれません。

波であって粒子でもあるという、実に不可思議な存在である光——、しかしそれを巧みに操ることで、私たちの生活はますます豊かになっていくのです。

※1 刑法第16章(通貨偽造の罪)第148条(通貨偽造及び行使等)に「(1)行使の目的で、通用する貨幣、紙幣又は銀行券を偽造し、又は変造した者は、無期又は3年以上の懲役に処する。(2)偽造又は変造の貨幣、紙幣又は銀行券を行使し、又は行使の目的で人に交付し、若しくは輸入した者も、前項と同様とする」とあって、お札の偽造は堅く禁じられている。なお、現行の紙幣のホログラムは、角度を変えると“桜の模様”、“額面金額”、“日本銀行の日を図案化したマーク”が確認できる。偽造防止対策としては、ホログラム以外にも様々な世界初の技術が駆使されているとのこと。

※2 干渉:「2つ以上の波が重ね合わさって、ある場所ではつねに強め合い、また、別の場所ではつねに弱め合う現象」(啓林、物理I)。音の場合は“うなり”の原因となり、光の場合は干渉縞という縞模様によって確認される。

※3 回折・回折格子:回折は「物体の端から入り込み、物体の裏側へも伝わっていく(現象)」(同上)。回折格子は「板ガラスの片面に1cmあたり数百本以上の細い平行な溝をつけたもの」(同上)で、これに光を当てると、溝の部分は光を乱反射してしまうが、溝と溝のすき間の透明な部分は光を通し、スリットの役割をする…多くのスリットからの回折光が干渉し合うため、鋭く明瞭な干渉縞が生じる(同上)

※4 「振動するが進まない波」(同上)。二つの波が合成されることによって生まれる。「干渉の一例」でもある。

※5 電気をよく通す物質を導体、ほとんど通さない物質を不導体、その中間の物質を半導体という。コンピュータ素子として使われる半導体は、「純粋な半導体にごくわずかの不純物を添加」(同上)したもので、電流の流れ方の違うp型半導体とn型半導体とがある。p型とn型を接合すると電流が一方向にしか流れないダイオードを作ることができる。

※6 ふつうプラスチックは電気を通さないが、材料の組み合わせを工夫することで電気を紫外線を通し、なおかつ電気によって光るものを作ることができる。

豊かなバリアフリー社会をめざして 電動車椅子 作りに挑戦

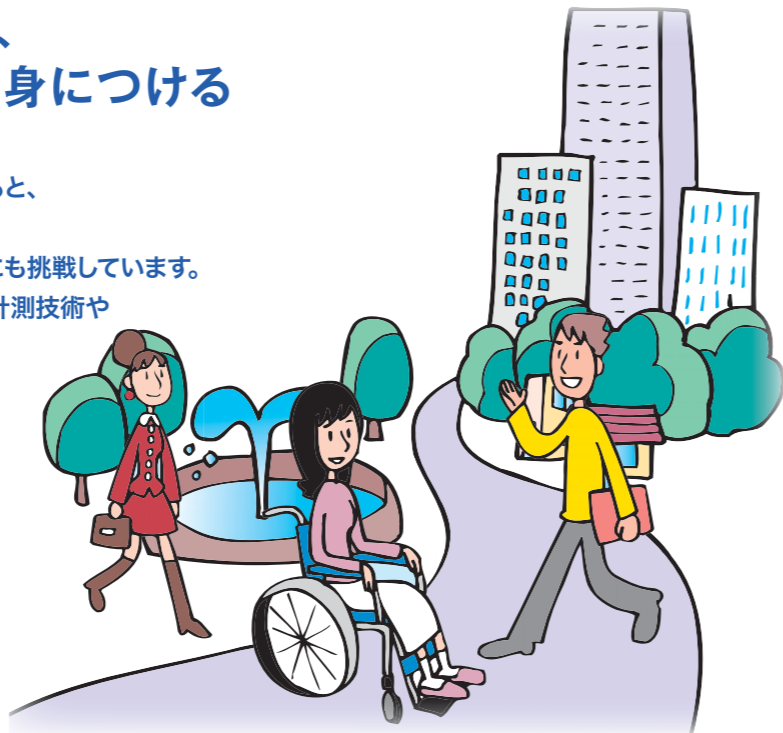
どんなものでも作ることもできる、 情報処理と制御システムの技術を身につける

岡田憲志先生の研究室では、音声や画像、センサーからの情報をコンピュータで処理し、外部の機器を制御するという基本方針のもと、学生たちは卒業研究で様々なモノを開発してきました。最近では、学生の人気が集まる福祉分野で活かされるモノづくりにも挑戦しています。モノづくりのベースにあるのは複雑な原子核物理の実験を支える計測技術や検出装置の開発、膨大な量の情報をやり取りする技術です。コンピュータを接点に、楽しいモノづくりの世界と、原子核物理の一端をのぞいてみました。

近未来の電動車椅子

美術館、博物館の中で、乗った人が話しかけるだけで自由自在に動き回る車椅子——高齢者や障害者に優しい施設や街づくりが、全国各地で進められる中、キャンパスの中やエリアを限れば、こんな車椅子があちこちで見られるのもそう遠い将来のことではないでしょう。この車椅子の仕組みは簡単。まず、あらかじめキャンパス内など限定された施設内で車椅子の通行できるバリアフリーマップを作成します。そしてキャンパスの所要所に超音波発信装置を設置しておき、車椅子に搭載した受信機を組み合わせ、車椅子の位置情報が数cm～10cm程度の精度で把握できるよう

しておきます。(このシステムは、GPSに対して局所エリア内測位システムLPSと呼びます) 車両は市販の電動車椅子を改造して使います。他には車搭載用の小型コンピュータ、人の音声指示を認識するマイク。前方の様子を映し出すカメラ、それを補う赤外線センサーと音波センサー、そして左右車輪の移動距離と速度を個々に計測するフォトセンサーがあれば十分です。システムとしては、音声認識、画像処理および各センサーによる検出システム、それと



不思議だな、と思ったことについては、実際に自分たちで手を動かして実験してみてください。「こんな結果が出たけどどう解釈するとどうだろう?…そうかこういうことだったんだ!」——こんな経験を重ねていくと、物理が楽しくなりますよ。

理学部・コンピュータ科学科
岡田 憲志 教授



CLOSE-UP

どんな授業

岡田先生の授業の真髄が最も発揮されるのが卒業研究。
'04 ビリヤードロボットの開発
'05 点字トレーニングシステム
'06 対戦型サッカーロボットの開発
これが最近3年間の研究テーマですが、テーマのユニークさもさることながら、その研究の進め方に大きな特徴があります。まずテーマを、学生たちが約1か月の話し合いによって決めます。テーマが決まると次に役割を分担します。電動車椅子のケースでは、音声認識、画像処理、センサー部、駆動部といったように各パートごとに担当を決め、5人1チームで作業を行ないました。個人プレイになりがちなコンピュータ研究にあって、社会へ出てから求められるチームワークと協調性が養える仕組みになっています。またテーマはすべてコンピュータを使って制御

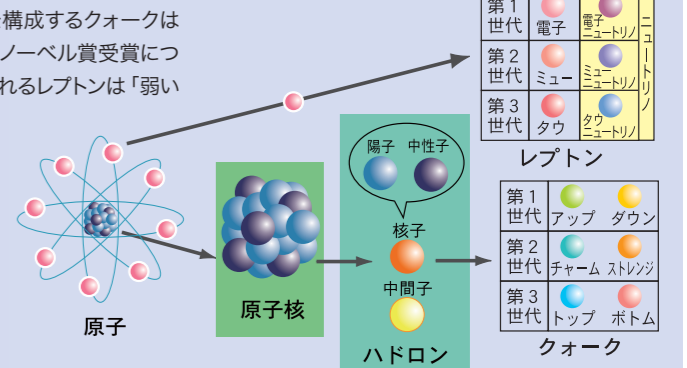
する機器の開発、制作ですから、ソフトウェアやプログラミングを創るだけでなく、施盤などの機械を使って工作を行ったり、電子回路を自分の手で作ったりしなければなりません。まさにモノづくりの発想とそのための手作業が求められます。これも一般的なコンピュータ科学では味わえない経験です。プログラミングばかりを研究するのに限界を感じていた学生にとっては、新鮮で、新たな挑戦意欲をかきたててくれるものにもなります。自分たちで決めたテーマですから、全員少しでもよいものをと必死に作業に取り組みます。卒業を間近に控えた時期などには、作業を続けていて、気がつけば夜が明けていたということもあるそうです。チームワーク、自分の手で何かを作っているという実感——現代社会で失われつつあるものをまさに取り戻すことのできる授業といえるかもしれません。

ANOTHER FACE

コンピュータ科学科で教える岡田先生のもう一つの顔は原子核物理学者。世界一の陽子を使った大型加速器を持つあのCERN(欧州合同素粒子原子核研究機構)の国際実験にも、日本チームの一員として参加している。最新の研究は、湯川博士が予測したことで知られているパイ(π)中間子、そのπ+粒子とπ-粒子がくっついたパイ原子とも言うべきものを作り、それが再びバラバラに壊れるまでの時間、理論上は1兆分の1のさらに千分の3秒ともいわれるパイ原子の超短い寿命を測っている。この難しい実験を可能にしたのは、日本チームが開発した直径280ミクロンの髪の毛の太さほどのシンチレーティングファイバーを500列7段重ねて作った高分解能ファイバーホドスコープ。この検出器がとらえる粒子群の高精度の位置と時間それに粒子間の距離情報が高エネルギー陽子と標的の原子核反応で発生する膨大な数の雑音粒子の中からほんの微弱

なパイ原子の崩壊信号を取り出す。世界の総人口65億人の中から1人の人を見つけるような実験だ。現代の物理学は、自然界の現象を「重力」、「電磁力」、「強い力(の相互作用)」、「弱い力(の相互作用)」の4つの力で説明する。原子核やそれを構成する陽子・中性子、その間で力を媒介するパイ中間子、さらにそれらを構成するクォークは主に「強い力」、小柴博士のノーベル賞受賞につながったニュートリノで知られるレプトンは「弱い力」が働き、それぞれ標準理論と呼ばれる理論が正しいとされている。このうち「強い力」は量子色力学(QCD)によって記述されるが、QCDはクォーク同士が接近して自由に動き回っているところで

は正しいことが多くの実験で証明されているが、離そうとした時に働く大きな力の下ではまだ正しいことが実験で証明されていない。このパイ原子の寿命測定実験が最終的に目指すのは、このQCDの正しさを検証すること。2007年春からは同様の手法でπ粒子とK粒子とでつくったπK原子の寿命測定を始める。



コンピュータによるこれらの処理判断を駆動部に伝えるインターフェース回路、それに位置情報確認システム、自動走行システムなどの開発が必要で。

これがそのプロトタイプだ

実はこのような電動車椅子については、そのプロトタイプがすでに出来上がっています。右の写真は2003年度に、卒業研究として当時の4年生5人と一緒に製作したものです。
①がマイクおよび頭脳となるコンピュータ。
②がカメラ。③が超音波センサーで、左右2箇所から超音波を発生し、それが跳ね返ってくるまでの時間から距離がわかります。前方5m先までの比較的硬い物体を検出します。
④は赤外線センサーで、前方80度内の8m

先までの人間や生物を検出します。人間などの生物は表面が軟らかく、超音波をあてても反射しにくいので、ドアセンサーと同様、体温に反応する赤外線を使います。カメラでは2m先までの床面の画像しか視野に入りませんから、それより先の物体については超音波センサーと赤外線センサーとであらかじめ検知しておき、それがカメラの設定した危険ゾーンに入ると制御部に危険を知らせるようにしておきます。



⑤は段差センサーで、超音波センサーと同じ原理で20cm先のくぼみ、段差、溝などを検出します。⑥は移動量センサーと呼ばれるもので、銀、黒の反射板とそれを読み取るフォトセンサーからなります。左右の車輪のそれぞれの速度と移動量を連続的に測り、危険物に接触するまでの時間や、これまでの移動経路・距離、現在のスピードなどを運転席に伝えます。

制御システムの改良が今後の課題

この車椅子では、制御はすべて乗っている人の音声で行ないます。使用される言葉は前進、後退、右折、左折、停止、加速、減速の7種類で、特定の人がトレーニングした場合の認識率は98%ですが、指示する人が不特定の場合は60～70%まで低下します。今後は認識率の向上をはかるとともに、人ごみの中でも雑音に迷わされず指示だけが聞き分けられるようにしなければなりません。また現状ではカメラやセンサーからの情報はコンピュータで処理され、運転者には伝えられますが、直接制御システムには連動していません。ブレーキがなく、「停止!」でモーターが止まるだけです。今後実用に当たっては、画像やセンサーによる情報をいかに制御システムへ組み入れるかも大きな課題です。また、段差センサーの計測到達距離を長くしたり、緊急停止機能の開発も欠かせません。さらにカメラを2台にして前方の障害物を立体的に捉え、それだけで単独に認識したり、動いている物と止まっている物とを区別できるようにすることも計画しています。その上で、衝突を予測したら、単に停止するだけでなく、うまく回避するような自動制御のアルゴリズムも考えていきたいと思っています。

TOPICS

卒業したら?

SE(システムエンジニア)になる人が多いですが、ハードウェアを作る企業からの求人もあり、大手電機メーカー、ゲームメーカーなどへの実績もあります。企業で新しいことを研究・開発する仕事に就きたければ大学院に行くことを勧めます。

PROFILE

中学・高校時代は物理と数学が好き。大学では原子核物理へ進み、そのまま研究者の道へ。実験系を歩み、現在CERN(コラム参照)での国際実験の日本グループの一員。原子核物理実験では体を動かして何でも自分ですることが不可欠。修士を出る頃までは、施盤などの工作機械を使って様々な物を作ったり、電子回路を自分で組み立てたり必要なものはすべて自分で作れるようになっていたとか。放射線シールド作りでは大型クレーンを操作する場面も。また膨大な量の情報をコンピュータと計測器との間でやり取りし得られたデータを解析する技術も不可欠で、その技術が現在のコンピュータ科学との接点になっている。香川県立丸亀高等学校OB。

TOPICS

高校時代は何を

研究を進める上でベースとなるのはもちろん数学。画像処理では微分の考え方、三次元グラフィクスでは行列式がよく出てきます。両方とも考え方をきちんと理解して使い方を覚えなければ、答えはコンピュータが出てくれます。教科の勉強ではありませんが、高校時代にはクラブ活動に参加するなどして、何かに打ち込む経験をしてほしいと思います。なんでも本気で取り組みれば必ず面白さが解るものです。

マイクロ世界と量子力学

みなさんは、物質が分子・原子からできているということは知っていますね。その原子はさらに小さく分けることができます。原子は電子・陽子・中性子からできています。陽子と中性子はさらにクォークという粒子からできています。クォークは物質の最小単位の一つと考えられており、このような粒子のことを物理学では素粒子と言います。他に、我々に最もなじみの深い素粒子として電子と光子をあげることができます。光子は電子と電子との間で交換されて電磁力の担い手にもなります。

このようなマイクロの世界を記述する力学を量子力学と呼んでいます。これに対比するものとして古典力学があります。変な言い方ですがわざわざ量子力学を持ち出さなくてもすむ世界を記述するのが古典力学です。

素粒子を始めとしてマイクロ世界の粒子は、古典物理学では説明ができない不思議な性質を持っています。その一つが、2つ以上の状態の重ね合わせです。いま「状態」といいました。言葉自体は普通の言葉ですが、量子力学では実は難しい概念で、そこに量子力学の不思議が凝縮しています。ここでは、これ以上の深入りをするのはやめて具体例で話を進めることにしましょう。

もつれる2つの粒子 (量子力学の非局所性)

皆さんは電子を負の電荷と極めて小さな質量とを持った実体として教わっていますね。しかし、電子はこの他にスピン自由度というものを持っているのです。このスピンこそ極めて量子力学的な量であり古典的な理解が成り立たないものなのです。スピンは状態という言葉を用いて記述します。電子のスピンは半整数の1/2であることが実験的に分かっている、このスピン1/2をもった電子の基本的な「スピン状態」は2つあり、しばしば「上向き」と「下向き」とい

量子テレポーテーション!

テレポーテーションという言葉を知ると物理学の研究よりも

SF映画を思い浮かべる人が多いのではないのでしょうか。

しかし、量子力学が記述する量子の世界では、

テレポーテーションも決して夢物語ではありません。

実際に量子の世界ではテレポーテーションの実験が成功したという報告がなされています。

いわゆる量子テレポーテーションといわれるものです。

この不思議な現象を実現するマイクロの世界における物質の性質と、

テレポーテーションを可能にする理論について外山先生に伺いました。

量子力学が創り出す 不思議な世界

ように言い表されます。ここで「上向き」、「下向き」というのは便宜上使っているだけであり、要するに2つの状態にラベルを付けただけのものです。

さて、ここからが話の核心です。実は1つの電子は同時にこの「上向きスピン」と「下向きスピン」の両方の状態を持つことができるのです。これを電子が「上向きスピン状態」と「下向きスピン状態」の重ね合わせた状態にあるといいます。これが量子力学のいう重ね合わせの一例です。観測するまではどちらの状態にあるのかは分かりませんが、観測することで、重ね合わせ状態からどちらかの確定した状態へと変わります。この変化を「状態の収縮」と呼びます。

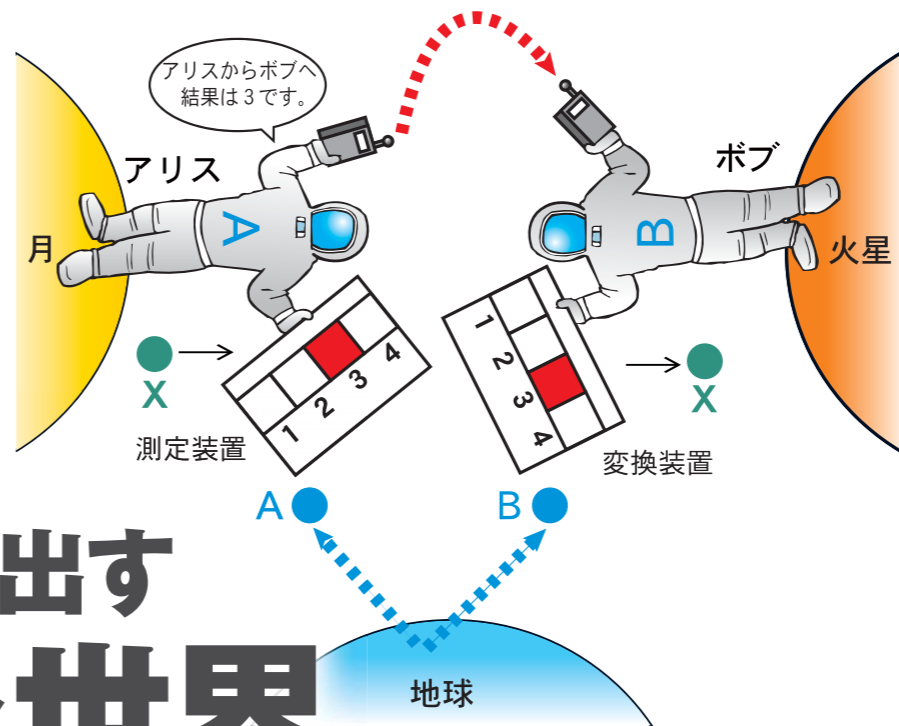
この状態の重ね合わせという概念は理解したいもので、実際、量子力学建設の立役者であったシュレーディンガー自身による「シュレーディンガーの猫」という有名なパラドックスを生んだほどです。さらに、この重ね合わせの真の不思議さは2つの粒子の重ね合わせにおいて決定的になります。それが量子もつれ(量子エ

ンタングルメント)という状態です。これは、先ほどの1粒子の重ね合わせが2つペアになった状態の特別な場合です。たとえば、ペアになった粒子Aと粒子Bのそれぞれのスピンの向きが「Aが上向き・Bが下向き」と「Aが下向き・Bが上向き」との重ね合わせ状態を形成している場合です。このような場合、一方の粒子を観測してその状態が分かれば、もう一方の粒子の状態は観測するまでもなく、決まってしまうのです。たとえば、Aが下向きだと観測されれば、その瞬間Bは上向き状態に決まります。これは状態の瞬間収縮により瞬時に起こります。

エンタングルメントの関係にある2つの粒子は、どんなに離れていても、この性質を示します。しかも、これは一瞬で起きるため、2つの粒子の間に何かの作用を伝達するような粒子がある、というわけでもありません。何光年と離れていても一瞬で伝わるのですから、もしも何らかの粒子が媒介しているのであれば、その粒子は光の速度を超えていることになり、現在の理論では説明ができません。この量子エンタングルメントによる粒子間の遠く離れた相関を予言する量子力学の性質のことを「量子力学の非局所性」といいます。

工学部・情報通信工学科 外山 政文 教授

PROFILE
量子情報通信とその周辺問題および数理物理、量子電磁工学について研究している。量子力学の原理と直結した情報通信に可能性を感じている。



意味のある情報を送るには

このように粒子の状態という情報は、どれだけ遠く離れていても光の速度を超えて一瞬で伝えることができます。ところが、この量子エンタングルメントのみで意味のある情報を遠く離れた相手に送ることはどうしてもできないのです。

今、アリスとボブがエンタングルメントの関係にある2つの粒子を1つずつ持っていて、アリスが月に、ボブが火星に旅行するとします。そして、2人は目的地に着くと自分の持っている粒子の状態を観測する約束をしています。今、アリスが自分の持っている粒子Aの状態を観測しスピン下向きという結果を得たとします。その瞬間ボブが持っている粒子Bの状態は瞬時にスピン上向きだと分かります。ところが、この結果には2つの可能性が考えられます。1つはア

リスが先に月に着いて自分の粒子Aを観測しスピン下向き状態を得た。もう1つはボブが先に火星に着いて自分の粒子Bを観測しスピン上向き状態を得たので、すでにアリスの粒子Aのスピンが下向き状態になっていた。この2つの可能性のどちらが起こったのかを知るには、例えばアリスはボブに古典的な通信手段(現在の通信手段)で連絡をとる必要があります。このように、この問題を解決する鍵は古典通信にあることになります。つまり、量子エンタングルメントだけでは意味のある情報を伝達することはできません。

そこで考え出されたのが3つの粒子を使って量子状態を送る「量子テレポーテーション」というアイデアです。ここでは、有名なベネットの量子テレポーテーションの話をしてしまおう。まず、アリスとボブがエンタングルメントの関係にある2つの粒子AとBを1つずつ持ちます。そして、月と火星とに別れてから、アリスはテレポートしたい第3の粒子Xと自分の粒子Aとでエンタングル測定という測定を行います。これは、AとBのエンタングルメントを断ち切ってXとAとをエンタングルさせるようなものです。このとき、粒子Bはどのような状態を取り得るかということ、エンタングル測定の4通りの測定結果に対応して、やはり4通りの状態のどれかを取ります。ここで、重要なことは、この段階ではボブの粒子Bの状態は特別な場合を除いて必ずしもテレポートしたい粒子Xと同じ状態になっていないということです。つまり、量子エンタングルメントだけではテレポーテーションは完成しないということですね。そこで、必要になるのが古典通信です。アリスが通常の通信手段で自分の測定結果をボブに知らせることで、ボブは自分の粒子Bの状態を100%粒子Xの状態に変換することができます。こうして、古典通信の助けを借

可能性の数だけ世界が存在する 多世界解釈

状態の重ね合わせを前提とする量子力学では、この「重ね合わせ」というものはそもそも何かということがしばしば議論の対象となります。この議論は「量子力学の解釈問題」と呼ばれています。

量子力学が登場するまで、実在は人間の観測とは関係なく客観的なものだと考えられていました。しかし、量子状態の重ね合わせは観測によってある状態に収縮します。では、実在は客観的なものではないのでしょうか。

現在正統とされている量子力学の解釈は「コペンハーゲン解釈」と呼ばれ、多くの物理学者は、その根本的な意味はとりえず棚上げにして、量子力学を使って仕事をしています。それに対して、いくつかの解釈が提唱されています。その1つ「多世界解釈」を簡単に紹介しましょう。

多世界解釈では、重ね合わせの数だけ世界が分岐し並行世界が存在するとされています。観測によって状態が1つに収縮するのではなく、観測により2つの並行世界が出現するのです。観測者自身が観測により分岐し、どちらか一方の世界しか知り得ないため、1つに収縮したように思えるというのがこの解釈の主張なのです。実用的な量子コンピュータが実現されれば、この多世界解釈が実証されることになるという「解釈」もあります。じつは、その目的で量子コンピュータが考え出されたという話もあります。

りることで量子テレポーテーションが完成するのです。

量子テレポーテーションの実用と応用

量子テレポーテーションが、1つの粒子の量子状態だけではなく、もっと大きな物質でも実現されるとすれば、人類が今まで発明してきた輸送方法にとって一大変革になるでしょう。しかし、現在のところ、テレポーテーションの成功例として報告されているもっとも大きな物質は分子です。さらに大きな物質となると量子状態が壊れやすいため、技術的には非常に難しいと考えられます。しかも、ここで「大きな物質」と言っているものも、量子力学が扱う対象として大きいという意味であり、実際にはSTM顕微鏡(走査型トンネル顕微鏡)のようなものを使わないと見えない程度の大きさなのです。

量子テレポーテーションは、物質を運ぶ装置よりもむしろ情報通信処理に役立つでしょう。その1つが量子コンピュータです。実用化には技術的な難問がまだまだ多く残っていますが、量子コンピュータの量子レジスタ上いわゆる量子テレポーターみたいなものを汎用構築することができれば、量子コンピュータの性能を一層飛躍させることができるかも知れません。

天才も困惑した想像を超える世界

量子エンタングルメントによる量子力学の非局所性は、今でこそ実験によってその正しさが確かめられていますが、その概念の基になったアイデアは量子力学を否定する目的で考え出された思考実験が発端というのですから皮肉なものです。

その思考実験は当初「EPRパラドックス」と呼ばれていました。EPRとは、この思考実験を提唱した、アインシュタイン(Einstein)、ポドルスキー(Podolsky)、ローゼン(Rosen)の3人の名前の頭文字をとって名づけられました。

彼らのオリジナルのEPRパラドックスは、本稿で述べたスピンエンタングルメントとは少し違った思考実験にまつわるパラドックスですが、本質的なことは同じです。アインシュタインは、エンタングルメントによる非局所相関が本当にあるとす

れば、エンタングルメントの関係にある2つの粒子が、光速度を超えた相互作用を持つことになり因果律が破れ、また彼自身の相対論と矛盾するので許せなかったのかも知れません。

アインシュタインは、「自然の事象が本質的に確率的である」ことを主張する量子力学の基本的な考え方に対して強い疑問を抱き、「神はサイコロを振らない」と量子力学を否定しつつづけたと言われています。

相対論をはじめ量子論にも多くの業績を残した天才物理学者でも間違えることがあるのです。量子力学が描く世界というのは、それほど私たちの日常感覚からは理解しにくいものだとすることもできます。



脳にしかない、糖タンパク質を合成する酵素(糖転移酵素)を発見!

私たち生物の体を形作り、かつ生体が正常な機能を続けていくのに欠かせない物質であるタンパク質。細胞の中では、遺伝子DNAに書き込まれている遺伝情報が、DNAとよく似た分子であるRNAに転写されます。そのRNAに写し取られた情報が、あたかも翻訳されるかのように、アミノ酸が数珠つなぎにされて、性質の全く異なる分子であるタンパク質が合成されます。しかしタンパク質が機能するにはアミノ酸を連結するだけでは不十分です。タンパク質は、アミノ酸の鎖が正しく折りたたまれ、さらに特定のアミノ酸が化学反応により修飾をうけて(翻訳後修飾)はじめて、機能を持つことができるようになります。この修飾反応の代表的なものに、タンパク質の特定のアミノ酸への糖の結合反応があります。通常、糖は一つだけでなく、糖がいくつも鎖状に連結したもの(糖鎖)がタンパク質に結合しています。このような糖鎖を含む分子を糖タンパク質と呼びます。

糖タンパク質には様々な機能があります。細胞の表面にある糖タンパク質は、その分子上の糖鎖が目印になって、他の分子や細胞が結合することが知られています。白血球が炎症部位の血管内皮細胞に結合したり、精子が卵子を認識するのも糖鎖が関係しています。また唾液などの粘液には糖鎖を多く含むタンパク質が存在します。これらのタンパク質では糖鎖が分子に粘性を与えることが知られています。細胞の表面に粘性を与えるのもこのタンパク質の大切な役割なのです。

ではタンパク質にどのようにして糖が結合するのでしょうか。細胞の中には、糖を順次結合させていくたくさんの酵素が存在します。私たちはこれらのたくさんの酵素の中でも、タンパク質の特定のアミノ酸に、最初に糖を結びつ

ける反応を行うN-アセチルガラクトサミン転移酵素と呼ばれる酵素に注目しました。タンパク質上の糖鎖の合成では、まずこの酵素の働きによって特定のアミノ酸の上の一つ糖が付加します。次にその他の多くの酵素の共同作業により、その上の一つずつ糖が付け加えられて、複雑な構造をもった糖鎖ができあがります。したがって、私たちの注目した糖鎖合成の最初のステップを請け負っている酵素は、このようなタンパク質分子上のどの位置に糖鎖を付加するかを決める重要な酵素であることがわかります。研究を始めた当初、タンパク質に直接糖を結合させるこのような酵素は、一つしかないと考えられていましたが、現在ではそれぞれ性質の異なる20数種類の酵素があると考えられています。私たちが最近発見することに成功したのは、これらの酵素の中で脳にしかないT9、T16という2種類の酵素です。

糖タンパク質の解明を通じて脳が出来上がるまでの過程に迫る

人をはじめ多くの生物の遺伝情報が解き明かされる中、研究者の関心の一つはいま、遺伝子の情報をもとに作られるタンパク質の機能の解明へと向けられています。脳にしかない酵素に着目し、その働きを調べることで脳の発育の過程に迫ろうという黒坂光先生に、その最新の成果と今後の展望についてお話をいただきました。

脳にしかない酵素を発見!

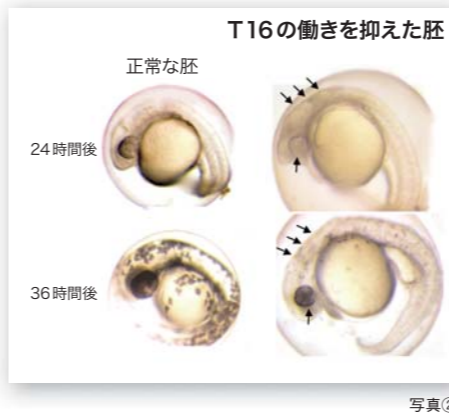
工学部・生物工学科
黒坂 光 教授

PROFILE

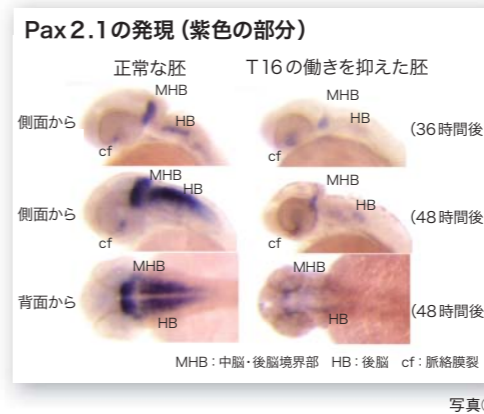
実家が薬局を営んでいたこともあって、大学では迷わず薬学部へ。しかし薬を作ることよりも、細胞内の分子の動きを解き明かす生化学の面白さに魅せられ研究者の道へ。大学院で所属した研究室が、糖タンパク質の研究をしていたのが現在の研究のきっかけ。当時はまだ分析化学といわれる学問が主体だったが、遺伝子工学的手法も取り入れるようになった。'94年~'95年にかけてアメリカの製薬企業の研究所へ留学、以来新しい酵素の発見に取り組む。予め想定した結果が実験によって得られた瞬間の喜びは何ものにもかえられないという。大阪府立市岡高等学校OB。



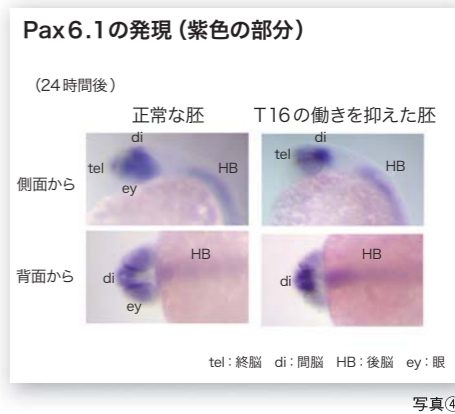
写真①



写真②



写真③



写真④

ゼブラフィッシュで実験

N-アセチルガラクトサミン転移酵素の一群は、どのタンパク質の、どのアミノ酸に、糖を結合するかを決定します。私は、T9やT16が他の臓器に見られず、脳にだけ存在することに注

目しています。これらの酵素は、脳の形成や、脳の働きに必要な脳特異的なタンパク質を見つけて、それに糖を結合させるという重要な働きをしている可能性が考えられます。この酵素の働きを調べれば、脳が形成されていく過程や、脳の様々な機能において、脳に特有な糖タンパク質が重要な働きをしていることを証明できるかもしれません。

私たちはこれらの酵素の働きを調べるために、胚が透明で発生過程の観察が容易であるゼブラフィッシュ(コラム左下)というメダカに似た熱帯魚を使いました。その魚の胚に、T9、T16を作る遺伝子の働きを抑えるRNAの一種(モノホリノアンチセンスオリゴRNA)を注入し、その後の発生における形質の変化を調べてみました(コラム右)。

T9の働きを抑えた胚では、正常のもの比べて目が小さく、また脳においては、後脳と呼ばれる領域に異常が見られます(写真①)。またT16の働きを抑えると影響はずっと大きく、眼、脳ともにより顕著な形態の異常が観察されました(写真②)。

次に私たちはT9、T16の働きを抑制した

時に、どうして眼や脳の形成に異常が起こるのかを調べてみました。脳および眼の形ができあがる過程では、Pax2.1、Pax6.1と呼ばれる分子が重要であることが知られています。そこで私たちは、T16の働きを抑えた胚と正常な胚とで、それらの発現の違いを比べてみることにしました。写真③、④をご覧ください。紫色に見えるのがPax2.1、Pax6.1が発現している部分です。Pax2.1は脳で、Pax6.1は主に眼で、その発現量が著しく減少していることがわかれると思います。原因はPax2.1、Pax6.1が上手に作られないことにあったのです。

それだけではありません。T9、T16の働きを抑制した胚では、正常な胚にみられない細胞死(アポトーシス)*を起していることもわかりました。このことから、T9とT16の正常な発現が脳の形成に深く関わっていることが一層確かめられたわけです。

脳の新たな機能の解明へ向けて

T16については、培養細胞も使ってその働きを調べています。シャーレの中でP19と呼ばれる未分化な胚性腫瘍細胞を培養します。この細胞に、神経細胞への分化を誘導する試薬(レチノイン酸)を加え、さらに細胞同士が接着した細胞塊を作らせて、それを再度バラバラにほぐして培養を続けると、2日から4日ほどで神経突起が現れてきます。すなわち、試薬を加え、処理することで、細胞が神経細胞に変化してきたことがわかります。面白いことに、細胞がこのように変化する過程で、T16の量を測定すると、細胞が神経細胞に変わる

ADVICE

高校では

生物と化学が研究の基礎になりますから、できれば両方を学んできてほしいと思います。数学に関しては、私の研究では基礎的な計算ができれば十分ですが、論理的な思考のトレーニングという広い視野に立って、できればじっくり学んできてほしいと思います。

そもそも、大学受験を含めて、将来役に立つか立たないかだけの判断で教科を絞り込むことにはあまり賛成できません。社会へ出れば、役に立たないことを知っていることが本当の教養なのです。高等学校の勉強というのは幅広く学び、その中に得意科目があるというのが本来の姿だと思います。ですから授業を大切にしてください。授業を真剣に聞くだけでもかなりのことが学べるはず。学校での勉強を疎かにして家や塾でやり直すのでは恐ろしく非効率的です。

CLOSE-UP

どんな授業? 就職は?

4年次の卒業研究は実験が中心。仮説を立て、それを実証していく醍醐味が味わえると思います。マイクロインジェクションは大学院修士課程の2年ぐらいになればマスターできますよ。

卒業後は大学院進学が25%。あとは就職ですが、就職先としては、これまでのところ製薬会社や食品系の企業、それに化粧品関係など化学系の会社が多いようです。

胚への注入(マイクロインジェクション)はまさに職人技

注入するのは、受精卵の1~4細胞期の胚。ゼブラフィッシュの受精卵はわずか1ミリ程度の大きさで、その細胞部分に試薬を注入するのは顕微鏡を見ながらの操作ですから熟練が必要です。しかも一度にたくさんの胚に試薬を注入しなければなりません。あまり時間をかけているとその間にも受精卵はどんどん分裂をし、実験に使えなくなってしまいます。まさに繊細さとスピードが求められる職人技です。

につれてその量が増えていることがわかります。このことから、T16が神経系の形成に重要であることがわかります。また、この細胞でもゼブラフィッシュと同じように、T16の働きを止める実験を行うと、多くの細胞がシャーレからはかれ死に始めました。さらにこの細胞死の原因を調べたところ、ゼブラフィッシュの場合と同様にアポトーシスを起していることがわかりました。

このようにゼブラフィッシュ、さらには培養細胞においても、T9やT16の働きを抑制すると、正常な脳や神経細胞が形成されないことがわかってきました。今後は、脳特異的な酵素であるT9、T16が、脳の中のどのタンパク質の、どのアミノ酸に作用して、糖を付加するかについての解明を急がなくてはなりません。

最近、脳の発育遅延等の特徴とする、ウィリアムズ-ブリューレン症候群という遺伝病が報告されています。この患者には、一部の遺伝子の欠落が認められますが、私たちはその中にT16を作る遺伝子も含まれていることに注目しています。T9及びT16の機能をもっと詳しく研究することで、脳内の糖タンパク質の、脳の形成過程における働き、さらには遺伝病との関連などについて、解明することができるとは思いませんかと夢を膨らませています。

*アポトーシス:発生などの過程で、プログラムされて細胞が死んでいく過程をさす。たとえば、ヒトの発生段階では、指間水かきのようなものができるが、発生が進むにつれて消失する。ゼブラフィッシュの胚の実験では、アクリジンオレンジという試薬を用いると、アポトーシスを起こした細胞だけが染色される。

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

**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

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**

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