

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.6

世界の多様な
現象を解析する
コンピュータ

時代の**数学**

森 隆一 教授

シミュレーションが広げる数学の世界

光を使って
物の**性質**を
調べてみよう

波動光学入門から
コロイド結晶の仕組みまで

愿山 毅 教授

インターネットに眠る
莫大な**資源**

みんなのパソコンをつないで
スーパーコンピュータを超える

安田 豊 講師

細胞はなぜ
増えるのか?

分子細胞生物学レベルで
解明する驚異のメカニズムと
ガン撲滅へのシナリオ

瀬尾 美鈴 教授

遺伝子銃で
葉緑体を狙い撃ち!

寺地 徹 教授

オルガネラゲノムの
遺伝子組換えを究めるために

コンピュータの発達は数学の世界にも大きな影響をもたらしました。コンピュータがなかった時代には、複雑な現象やランダムな現象は、数学のモデルとして考えることはできても、答えを具体的に求めることは難しいものでした。簡単な微分方程式でも解の値を求めるには膨大な計算が必要となります。もともと、コンピュータはこのために開発されたものといえ、数値解析は現代の産業において不可欠なものとなっています。コンピュータの性能が向上するとともに、以前は難しいものだったさまざまな現象が、数学の問題として扱えるようになったのです。そして、数学とコンピュータとの新たな展開において重要な役割を担ったのが、確率論の分野でした。確率論がご専門の森隆一先生に、コンピュータを使って解く数学の世界を、さまざまな応用例を交えながらお話をいただきました。

世界の多様な現象を解析する コンピュータ シミュレーションが 広げる 数学の世界 時代の数学

現実世界と数学とを結ぶ

私たちの身の回りには、「答え(解)があることは明らかなのだけでも、それを具体的に求めることは非常に難しいもの」や「仕組みが複雑で分からないもの」が数多くあります。後者の多くはランダムな現象として扱われています。

答えはあるが求めることが難しいものとしては、「将棋や囲碁の次の一手」のように膨大な可能性の中から最適な1つを選び出すような問題があり、ランダムな現象としては、天気、人口動態や売り上げ予測、株価の動向などがあります。

このような問題や現象を扱うとき、確率論が役立つ例をいくつか挙げるすることができます。

数の知識で秀吉を慌てさせた知恵者

安土桃山時代の職人でも豪傑でもあった曾呂利新左衛門は機知とユーモアに富んだ人物として有名で、数の性質を利用して、時の権力者・豊臣秀吉を慌てさせたという逸話が残っています。

ある時、曾呂利新左衛門の功績に対して、秀吉が「何でも褒美をあげよう、何がよいか？」と聞くと、新左衛門は「今日は米1粒、明日は米2粒というように、前の日の2倍だけの米粒を将棋盤の目の数(81)の日数だけもらいたい」と答えました[※]。最初、秀吉はたったそれだけでいいとは思っていませんでした。

最初は本当にわずかな褒美でした。2日目2粒、3日目4粒、4日目8粒、10日経っても

モンテカルロ法

数学的な仕組みが難しいものやランダムな現象を、実際に確率モデルとして計算するとき、コンピュータで乱数を発生させ、それを用いてシミュレーションを繰り返します。このような方法を「モンテカルロ法」と呼びます。モンテカルロ法は「コンピュータの父」と言われる数学者ジョン・フォン・ノイマン(John von Neumann 1903-1957)が考案した方法です。中性子が物質の中を動き回る様子を研究するために考え出した方法に「モンテカルロ」という暗号名を付けたことが起源になっています。

2⁹=512粒にしかありません。ところが、さらに日が経つにつれ、褒美の米粒は膨大な量になっていきました。20日目は2¹⁹=524288粒。米1000粒が約23グラムなので、約12キログラムになります。一ヵ月後(30日目)には2²⁹=536870912粒で約12.3トン。一人の人間が一年間に食べる米の量が約60キログラムなので、200年間以上食べ続けられる量です。

そして、81日目には、約2.8×10¹⁶トン。世界人口65億人が7000万年間食べ続けられる量となります。豊臣秀吉といえどもこの褒美を与えることはできませんでした。

^{※3} 一ヶ月分とも百畳間(秀吉自慢の大広間)の畳の数である100分とも言われる。ちなみに100日目は、約146×10²⁰トン。重さで地球2つ分より多量の米が必要となる。

実際に、シミュレーションを使ってどのように数学の問題が解かれるのか、その具体的な手順を「巡回セールスマン問題」と呼ばれる問題を例として見てみましょう。

巡回セールスマン問題の解き方

「巡回セールスマン問題」は「解の存在は明らかであるけれども、その値を求めるには膨大な計算が必要となるもの」の典型で、N個の町を重複なく訪れ出発点に戻ってくるセールスマンの最適な(移動距離とか費用などのコストが最小となる)経路を求める問題です。私たちは日常、この種の問題を直感的に解いています。たとえば、京都を出発地点として、札幌・仙台・東京・名古屋・大阪・福岡の6都市を巡回する場合、札幌の次に福岡に行き、それから仙台に行くというルートは、距離や費用がかかると直感で分かるのではないのでしょうか。ところが、この問題を解く確実な方法は、すべての可能なルートに対してそのコストを計算し、最小値

を求める方法です。したがって、訪れる都市の数が増えれば増えるほど、計算に時間がかかります。(経路の総数がN!個となることは組み合わせで習います。)

このような問題では、モンテカルロ法の1つである、シミュレーテッド・アニーリングと呼ばれる方法により、最適な解に近づくことができます。初めは適当な経路を選びます。その後、以下の操作を繰り返します。まず、訪れる順序を少し変えた経路をランダムに選び、新しい経路のコストを計算します。そして、新しい経路のコストが、前のものより、低い場合は新しい経路に変更し、新しい経路のコストが高い場合には、コストの差により、確率的に変更します^{※1}。この、「ランダムに選ぶ」→「比較する」→「低コストであれば変更、コスト高であれば確率的に変更」を何度も繰り返すと、求める最適解に近づけます。

^{※1} 「比較してコストが高い場合にも、コストの差により確率的に変更する」という手順に疑問があるかもしれない。この手順がなぜ必要かということを分かりやすく言うと次のようになる。コストの高い経路から、よりコストの低い経路に変更しながら答えを探す、という作業は、高い山の上からより低いところへと降りていく行為に似ている。山が1つしかない場合には、ただ単純に降りていけば一番低いところまでたどり着けるが、現実の問題

理学部・数理科学科 森 隆一 教授

PROFILE
数学博士。専門は確率論。確率論とは大学4年生で卒業研究に選んで以来の長い付き合い。最近は確率論の研究からは少し離れて、確率の応用と計算可能性理論の研究を進めているが、いつかは確率論に戻るつもりだという。サラエボ大学で数学を学んだオム氏(サッカー-日本代表監督)の「考えるサッカー」が日本のサッカーに与える効果を期待している。考えるサッカーとは各選手が場面々々と状況判断をできることと理解している。



では、山も谷もたくさんあるような状態が一般的だ。このような場合、1つの谷に降りてきて、周囲にそれ以上低いところがないからといって動くのを止めてしまうと、他にももっと低い谷があっても、決してその谷にたどり着けない。一番低い谷に降りるためには、ときには山に登りなおすことも必要となる。そのため、コストの高い経路へもいくことを可能にすることが、この方法のポイントであり、「確率的山登り」という名前がついている。

さまざまな現象への応用

モンテカルロ法を用いた応用例は、実に多種多様で、巡回セールスマン問題以外にもさまざまな現象に応用されています。以下にそのユニークな例を紹介しましょう。

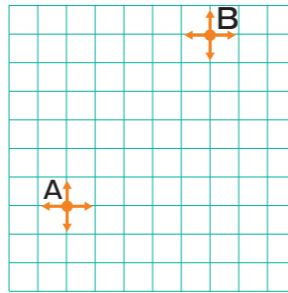
1. デパートではくれたときの再会確率

(この問題は、あるスーパー・サイエンス高等学校において、生徒が自ら課題としてとりあげたものです。)

デパートや百貨店で買い物をしているときに、友だちや家族とはぐれてしまったという経験はありませんか? そういう場合、一方が一箇所にじっとして、もう一方が探して動き回るのか、それとも、お互い探して動き回るほうがいいのか、みなさんはどちらが早く再会できると思いますか?

この問題は、確率のモデルとして考えることができ、シミュレーションは次のようになります。デパートの1フロアを基盤の目のように区切られた矩形と考え、その矩形上に2つの点A・Bを配置します(下図)。点の動きは乱数によって、上下左右それぞれ $\frac{1}{4}$ の確率で決めます。2つの点が同じ座標になるとプログラム終了で、終了するまでの移動回数を測定します。最初は、一方が一箇所にじっとしている場合、つまり、点Aだけを動かすシミュレーションを行い、次に点A・Bの両方を動かすシミュレーションを行います^{※2}。

実は、このシミュレーションの結果は、点Aだけを動かした場合と、点A・Bの両方を動かした場合とでほとんど差が出ません。つまり、探す方向をランダムに決めるのであれば、一方がじっとしても、お互い



答えとは答を書くだけではない

高校生みなさんに、ぜひとも身に付けてもらいたいのは「考える習慣」です。問題を解いた後、すぐに答を見るのではなく、あっているかどうかを自分で考えてみることも大切なことです。記述式の問題の採点では、解答があっているか間違っているかだけを見ているわけではありません。どう考えて、どう解こうとしたのかも見ています。最後まで解けていなくても、方針があれば、部分点がつかます。ですから、答えとは単に「答を書くもの」ではなく、問題に対して「自分はこう考えた」というレポートだと思って取り組んでください。身近な手本は教科書などの例題です。例題の説明文が必要かどうかを考えれば、

さらによい練習になります。適切な説明を自分の言葉で書くことができる、あるいは、書く努力をする学生は伸びています。考える習慣を身に付けるためには、常に、「何故」と問いかけることが大切です。考える努力をしていれば、自然と考え方が身に付きます。コンピュータの計算能力がどんどん向上している今日、単純な計算はコンピュータが行うようになります。実際、数式処理ソフトといわれるものを用いれば、大学レベルの計算問題のかなりのものを解くことができます。大事なことは、どんな計算をどんな手順で行うかを考え、さらに、その手順を説明できることです。

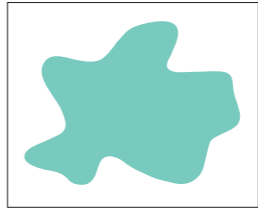
探し回っても再会する確率は同じになるのです。矩形の辺に到達した場合の処理は問題となります。

^{※2} ロール・プレーイング・ゲームはこのモデルを自茶苦茶複雑にしたものといえるが、確率を計算することは殆ど不可能である。しかし、シミュレーションは可能で、実際、多くの人がシミュレーションを実行している(ゲームで遊んでいる)。この場合は、1回のサンプルを得るのに時間がかかり過ぎる。

2. 複雑な図形の面積を求める

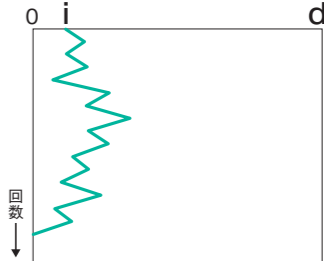
図形の面積もコンピュータによるシミュレーションで求めることができます。もちろん、三角形や長方形といったシンプルな図形であれば、辺の長さや角の大きさから簡単な計算で求められるので、わざわざシミュレーションするまでもありませんが、複雑な図形の面積を求める場合には有効な方法です。

具体的には、面積を求めたい複雑な図形を含む矩形を考えます(下図)。そして、2つの一様な乱数をもとにx, yの2つの数値を作り、その(x, y)から1つの点を決めます。この点(x, y)が図形の内側にあるのか、外側にあるのかを判定します。この手順を何度も繰り返せば、全体の点の数と内側にある点の数の比が、矩形の面積と求めたい複雑な図形の面積の比となり、そこから図形の面積が求まります。でたためにダーツを投げて図形に当たった回数を数える方法と考えれば分かりやすいでしょう。



自分の所持金をi、胴元(ギャンブルの運営側)の所持金をdとし、自分または胴元の所持金が0となるまで続けるとします。多くの場合、圧倒的にdのほうが大きい。1回1回の勝敗が確率によるもので、iの位置からスタートしてdに行き着くことはまずありません。ほとんどの場合、0に行き着いて終わりとなります(下図)。

つまり、大きな胴元が運営するギャンブルは、ある一時期はiを越えている(勝っている)時があったとしても、それは一時的なものであり、何回も繰り返すと必ず0に到達する(負ける)ゲームなのです。(このモデルでは、自分の所持金が0となる確率は $\frac{1-i}{(d+i)}$ となります。)



現実と理論を結ぶ実験数学

コンピュータの登場により、数学が扱える現象は飛躍的に増えています。従来、ランダムな現象を数学的に取り扱うことは、現実的なモデルでは困難でした。また、星の軌道計算のように、自然や社会における現象を微分方程式系で表し、その解をもとに現象の解析も行われています。この場合も、解を具体的に求めるには膨大な計算が必要となり、コンピュータによる計算が必要不可欠になります。これまで見てきたように、答えを具体的に求められない現象であっても、シミュレーションという形で数学の組上に乗せることができるのです。これによって、フラクタル(部分と全体が自己相似となるような図形)のように、新たな理論が展開されることも少なくありません。このような数学の手法は「実験数学」とも呼ばれています。今後、実験数学はさらに広い分野に応用されていくことでしょう。

3. ギャンブルは必ず負ける

高校生のみなさんはまだギャンブルをしてはいけません。法律上できる年齢になっても、しないほうが賢明だということがシミュレーションの計算結果から分かっています。

ギャンブルの1回1回の勝敗を乱数によって確率 $\frac{1}{2}$ で決めるとします。通算して考えると「負け」とは、自分の財産が0になるときで、「勝ち」とは、自分の財産が0にならないで最初の所持金を越えている場合と考えることができます。

波動光学への誘い

物の性質を調べるのに有力な方法として光を使う方法があります。光を調べたい物質に当て、その波の性質によってもたらされる干渉や回折の様子からその物質の構造を解析するのです。もちろん使うのは目で見える光だけではなく、音や電波、そしてレントゲン撮影に使われるX線などの電磁波など、波の性質を持っているものはすべて同じように使えます。このうち音だけは波の振動する方向が、その進む方向と一致している縦波ですが、他はすべて進む方向とは垂直な方向に振動する横波と同じ仲間です。ただ波長の違いで調べるのに適した対象が分かれるだけです^{※1}。

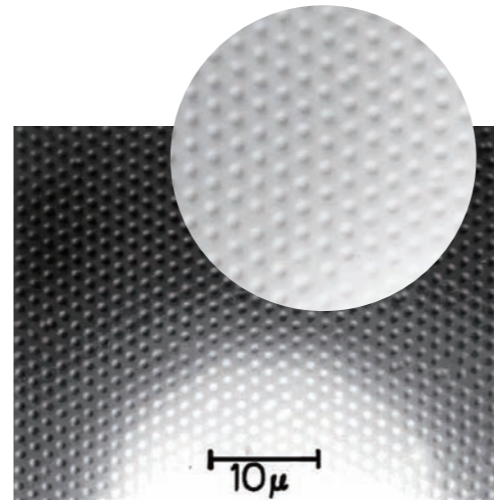
光についての学問や研究はたいへん古くから行われてきましたが、光が波の性質を持つことがわかった19世紀以降は、波動光学と呼ばれてきました。時代が進むにつれ、目に見える光だけでなく、様々な波が発見され扱う対象も広がってきました。しかし光についての研究でそれまでに得られた知見は、新しい波の理解にもそのまま当てはまったり、そのための基礎になったりしてきたのです。光はその後、波であると同時に粒子でもあることがわかり、伝統的な波としての光の理解は、ニュートン力学とともに20世紀物理学の最大の成果の一つである量子力学の成立にも、大きく貢献したといわれてよいでしょう。

波動光学はこのように伝統的な学問ですが、同時に時代の最先端の学問であり、またその技術を支えるものでもあります。X線の発見、レーザー光の発明のように、新しい波、新しい光源が出現すると、それを使って、これまではわからなかった物の構造や性質が明らかになったり、そこから新しい研究分野や新しい技術が生まれてきたりしたからです。宇宙からの微弱なX線や電波をキャッチできる観測装置が作られると、観測技術が進化し、新しい宇宙像が描かれるようになりました。最近では、X線SORと呼ばれる、これまでとはケタ違いの強さのX線を発生させ

物質の構造や性質について調べたり、新たな物質を作るための基礎的な研究を行うのが、物理学の中でも最も範囲が広いといわれる“物性物理学”。物の性質を調べるには、目で見ることに加えて、光を当て、その曲りが具合など(干渉、回折)を調べるのも極めて有効な方法です。その際、基礎となるのが中学や高校で習う光学。物理学では極めて大事な分野で、科学の伝統を重んじるヨーロッパでは、ニュートン力学と同等に取り扱われています。長い間、結晶について研究を続け、今はコロイド結晶と呼ばれる不思議な結晶の解明に取り組んでいる愿山毅先生に、光学の大切さと現在の研究の一端をお聞きしました。

光を使って物の性質を調べてみよう

波動光学入門からコロイド結晶の仕組みまで



写真①：電子顕微鏡に写し出されたコロイド結晶

ンが雲状に分布し安定な状態を保っています。自然界でもごく稀に存在していて、宝石のオパールなどがその代表的なものです。固体であるのは長い年月をかけて、媒質である水が乾燥してなくなった結果です。コロイド状物質は、かつては研究材料に使われたこともありましたが、粒子の大きさが揃った状態のものが少なく、長らく見捨てられてい

ました。しかし最近になって、単分散のコロイド粒子からなるコロイド結晶が人工的に作られるようになり、結晶構造や格子定数^{※2}などを研究目的に合わせて制御できるようになってきました。また、コロイド結晶は非常にやわらかい結晶なので、超高圧下での結晶の安定性のような問題が、コロイド結晶では容易に実現できることがわかってきたため、再び脚光を浴びるようになってきたのです。

私がコロイド結晶について研究し始めたのは、それをモデル物質にして原子や分子といった小さなサイズ(ナノスケール)の物質で作られている通常の結晶について、現段階では電子顕微鏡などで、直接、調べることでできない構造や生成の過程について、何らかの手掛かりが得られないかと考えたからです。実際コロイド結晶では、コロイド粒子が原子核に、まわりのイオンの雲は電子(電子雲)に比較できるというように、構造自体が通常の結晶とよく似ています。また直径0.6ミクロンと、原子のおよそ数千倍、原子と日常われわれが肉眼で目にするものとの中間的な大きさと、研究対象としては程よい大きさです。しばらく研究の対象から外されていたこともあって、“見捨てられた(失われた)デメンション”、などとも言われていて、未知の部分が多いことも魅力です。光学顕

CLOSE-UP

どんな研究・進路

レーザー光線を使って、様々な結晶の性質を調べたり、結晶を使った新しい技術の可能性を探ります。就職ですが、ここ1、2年は、電機メーカーへ進む人も増えてきました。大学院へは2〜3割の人が進学します。

コロイド結晶を極める

今見てきたように、物の性質を調べること、光を使うことには切っても切れない関係があります。原子などの超微小なものはもとより、光学顕微鏡などで見ることでできるかなり大きなサイズのものでも、光(波動)を使うことでより正確な構造を知ることができます。現在私が取り組んでいるコロイド結晶という珍しい結晶の研究もその一つです(写真①)。

コロイドというのは、泥水や牛乳のようにある大きさの粒子が溶媒の中に分散している状態のことをいいます。一方、結晶とは原子や分子が周期性を持って規則正しく並んでいるものです。コロイド結晶は、同じ大きさ(単分散性)の高分子などでできたもつと大きなコロイド粒子が、規則正しく並んだ特殊な結晶です。コロイド粒子は水などの媒質の中に半ば浮かんだような状態になっていて、それを取り囲むように反対符号の電荷をもつイオ

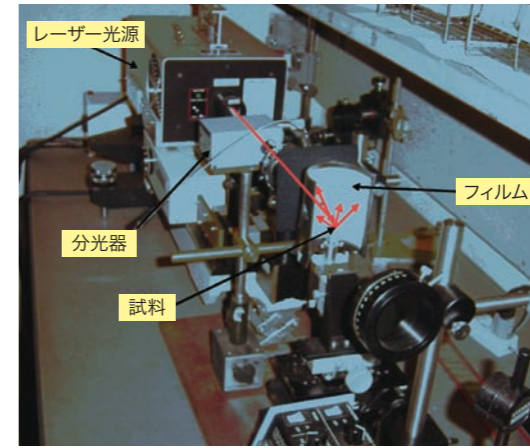
理学部・物理科学科
愿山 毅 教授

PROFILE

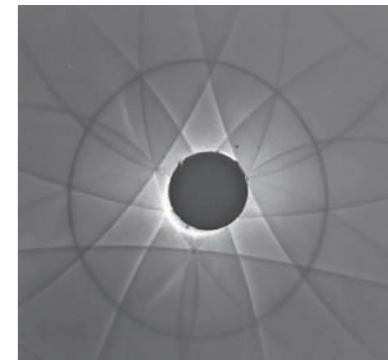
中学、高校と物理が好きで大学は理学部へ。ちょうど電子顕微鏡が日本でもようやく本格的に使えるようになった頃で、結晶物理学が開花した時代だ。一口に結晶といっても、現実の有様は“結晶の乱れ”といわれるように理論上とは違って完全ではない。理想結晶は存在するのか、あるいはどのようしたら作ることができるのか、を追い求めて現在に至る。コロイド結晶の研究もその通過点だ。大阪府立富田高校OB。



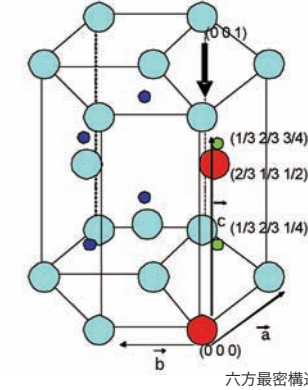
写真②



写真③



写真④：コッセル線回折による光の回折の様子
中央の黒丸はレーザー光線を通すためにフィルムに空けられた穴の跡



六方最密構造

微鏡を使うと、構造自体だけでなく、コロイド結晶を構成する個々の粒子の熱運動の様子についても、直接目で確かめることができ、しかも粒子が大きく動きがゆっくりなため、コロイド結晶が次第に形成されてゆく秩序形成の過程も細かく追跡、記録できます。原子や分子による結晶ではその過程は瞬時に起こるため、観測不能ですが、もしかすると同じような過程を経ていることも十分考えられ、その場合には大きなヒントになるのではないかと私は期待しています。

現在行っている研究では、ポリスチレンなどの合成の高分子の粒子を純水を媒質にして透明な石英光学セル(写真②)に閉じ込め、これに一旦乱反射させたレーザー光を当てその回折の記録から、その秩序形成の過程を調べています。この際、通常の平面波ではなく乱反射によって得られる球面波を使ったコッセル線回折法を用いるのが大きな特色です(写真③・④)。この方法は数学的には難解でいまだに正確な解も見つかっていませんが、精密にコロイド結晶の生成の過程を調べるには最適な研究方法です。これまでのところ、あるコロイド結晶では、コロイド粒子がランダムなブラウン運動をしている状態(融液状態)→二次元の六方最密構造→ランダム層状構造→(準安定状態)→面心立方構造→体心立方構造(熱力学的に安定な結晶状態)といった過程で結晶が作られていくことがわかっています。つい最近には、上の準安定状態の場所に、いままでは確認されたことなかった六方最密構造(図)の存在を実際に確かめることもできました。

今後は、コロイド結晶の構造や、その秩序形成の過程を調べるだけでなく、結晶としては特異な性質を持ち、しかも様々な目的に使える準結晶と

呼ばれる物質を作ることに力を入れていきたいと考えています。

未来の光学素子、フォトニック・クリスタル

コロイド結晶はその光学的な特性からフォトニック・クリスタルとも呼ばれるように、多くが虹彩色をしている(七色に光り輝く)のが大きな特徴です(写真②)。ちょうど宝石のオパールのような輝きをしていますね。この特徴を生かして、光通信分野において光を制御する高性能の素子として商品化が進められています。私たちの研究室では光の回折を使ってコロイド結晶の構造を解析するわけですが、この場合は分光といって光をコロイド結晶などに当てて、それぞれの色ごとに分ける技術を使います。光の扱い方としてはちょうど逆向きですが、原理はまったく同じです。色の一つ一つに伝えたい情報を乗せてそれをまとめて送信し、受信側で分光して、それぞれの色に乗せられている情報を取り出そうというものです。この方法だと、現在よりも格段に多くの情報を正確にしかも短時間で送ることができずから、分光の際に素子として使えるフォトニック・クリスタルには、世間から熱い注目が寄せられているわけです。また、私たちが今研究しているコロイド結晶では、その構成コロイド粒子は球状ですが、これが楕円状になったものが液晶で、共通する点も多々あります。いずれもこれからの時代にコンピュータや家電製品などの広い分野で、高性能の素材として、またそれを使った新しい技術として、大きな期待が寄せられています。光学はまさに未来の技術を支える物理学でもあるのです。

※1 人間の眼が捉えることのできる波長を持つものを私たちは光一可視光一と呼んでいます。
※2 回折格子のスリットの間隔(隣合う溝の距離)(啓林館・物理I)

ADVICE

自分で考える習慣を身につけよう。

数学や物理の公式はよく覚えていても、応用問題になったとたんに考え込んでしまう人が少なくありません。自分で考える訓練ができていないのかもしれませんが、確かに公式を覚えるよりも自分の頭で考えることのほうが楽ではありません。しかし覚えたことは忘れることもあり、しかも限りがあって発展性がありません。それにひきかえ、自分の頭で考え、一旦理解したことはなかなか忘れません。しかも考えることは、慣れてくると楽しいことでもあるのです。高校時代、入試のために暗記しなければいけないことが多くて物理は面白くないと思っていたけれど、大学へ入ってから面白くなったということもよくあるのです。



単体利用から クライアント・サーバ、 そしてP2Pへ

コンピュータと呼べるものが登場してからおよそ60年、このわずかな期間にその性能は驚くほど向上しました。それに併せて、主流となるコンピュータネットワークの形も大きく変わってきました。

コンピュータが実用的な装置として登場した当初は、ネットワークを結んで利用するという形態はなく、使いたい人はコンピュータが置かれた部屋まで足を運び、プログラムを専属のオペレーターに提出し、自分の順番を待って処理してもらっていました。1台1台のコンピュータが高価で巨大なものだったためです。

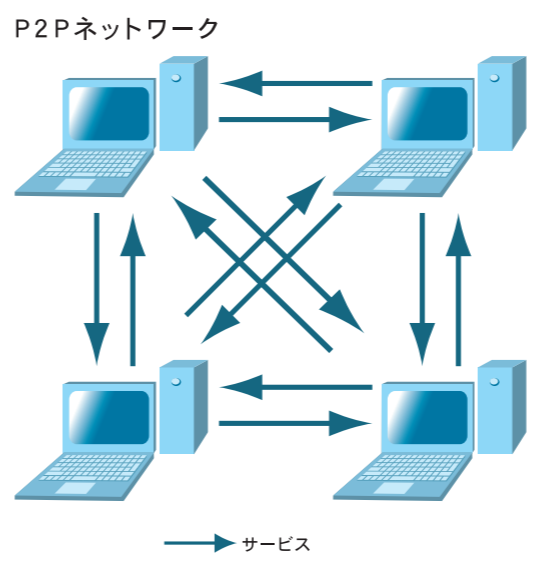
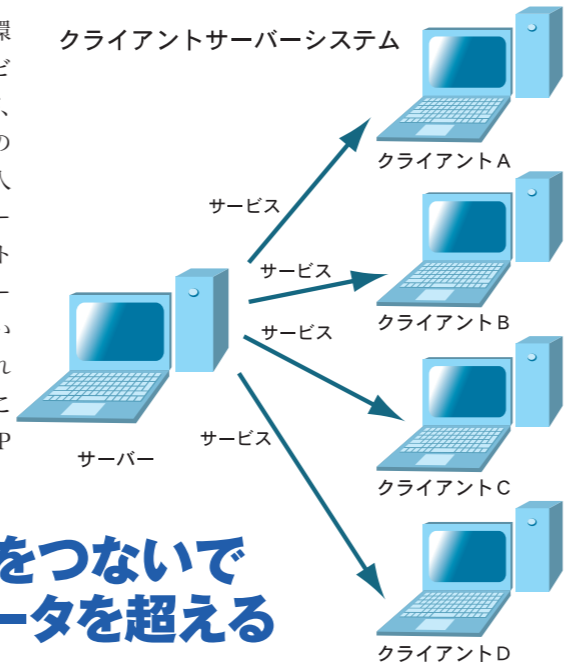
その後、本体となるコンピュータからケーブルを引き、その先に本体を操作するための端末が繋がります。わざわざコンピュータの部屋まで行かなくても、いくつかの離れた場所から利用できるようになりました。また何人もの利用者が同時に1台のコンピュータを利用できるようにもなりました。

その後、コンピュータの数が増えて価格も下がり、複数のコンピュータを接続して仕事を行うようになります。いま使っているコンピュータを通して、遠くのコンピュータを操作する(リモートコントロールする)こともよく行われました。コンピュータネットワーク、いまのインターネットのはじまりです。

インターネットでは初めのころ、サービスを提供できる高性能なコンピュータ(サーバ)の価格がまだ高かったため、少数のサーバに安価で低性能なコンピュータ(サービスを受けるお客さんという意味でクライアントと呼ぶ)が多数アクセスする、という構成が一般的でした。このような構成のことを「クライアントサーバシステム」と呼び、長らくネットワークを構築する際の基本的な考え方となっていました。現在でもこの考え方自体は有効で、Webもこの構成によるサービスです。

さらに、パーソナルコンピュータの普及と、

その性能向上によって、ネットワークを巡る環境は大きく変化しました。これまで主にサービスを受けるだけだった個人用コンピュータが、サービスを提供できるほど高性能になったのです。現在では、世の中にあるほとんどの個人用コンピュータがサービスの提供、つまりサーバとしての役割を担うことができます。ネットワークにつながるコンピュータがそれぞれサービスを出し合い、目的の仕事を成し遂げるという構成が容易にできるようになりました。これをP2P(peer to peer)ネットワークと呼び、このネットワーク上で動くソフトウェアをP2Pアプリケーションと呼びます。



みんなのパソコンをつないで スーパーコンピュータを超える

今日、コンピュータは日々の生活になくはならないものです。パーソナルコンピュータは、研究や仕事のためだけでなく、個人が所有し、趣味やコミュニケーションなどにも利用されています。そして、そのほとんどがインターネットに接続され、世界で5億台を超えるコンピュータが繋がっているとされています。しかし、ほとんどのユーザにとって、自分のパソコンの性能や、5億台以上ものコンピュータとネットワークで結ばれていることを、十分に活かせていないのが現状です。これらの資源を有効に活用できれば、将来のコンピュータの可能性は飛躍的に高まり、アイデア次第で多くのことが実現されていくでしょう。ネットワークがご専門の安田豊先生に、ネットワークの現在と未来をお聞きしました。

代表的なP2Pネットワーク/ アプリケーション

P2Pネットワーク/アプリケーションとしては、例えばグリッドコンピューティングやインターネット電話、ファイル共有、ネットワークゲームなどがあります。

グリッドコンピューティングとは、ネットワークに接続されている多数のコンピュータの計算能力を利用し、全体では膨大な計算を1台1台に少しずつ分割して処理する方法です。ネットワークとそれにつながっているコンピュータ全体を、一つの大きなコンピュータとして使うことで、スーパーコンピュータ並みの計算能力が実現できます。この仕組みを使った世界的なプロジェクトには、電波望遠鏡等で収集した電波を世界中のコンピュータに分散して分析し、地球外知的生命体の探査を行う「SETI@home」や、世界中のコンピュータを使って巨大な素数を探索する「GIMPS」などがあります。

インターネット電話は「Skype」などが有名で、インターネットにつながる特定のコンピュータ同士が直接に接続し合い、メッセージをやりとりする仕組みです。ファイル共有ソフトには「BitTorrent」や「Winny」があります。インターネットを介して多くの人が互いの持っているデータのやりとりが可能になるものです。旅行先で撮影したデジタルカメラの写真を、そこに住んでいる人や、違う季節に訪れた世界中の個人と交換する、といった楽しみ方ができま

近くの人にこそ電話するー通信メディアの不思議

通信技術の歴史を紐解くと、興味深いことに、技術が普及すればするほど、当初の遠隔通信という趣旨から離れて、家族や友人との会話の延長のために使われるようになります。そもそも、電話は遠くの人と話するための技術でした。ところが、電話が一般に普及し、携帯電話まで登場した現代、私たちは遠くの人と話すために電話を使うよりも、今日・明日にでも会うような近くの人、親しい人と頻りに話すために電話を使います。より近い相手との、より密なコミュニケーション

に用いられるように変化したのです。それは情報伝達の何かが変わった、と見るより、そのメディアが日常生活の一部になったからだと考える方がよく理解できます。コンピュータによる通信も同じで、今私たちがインターネットを通じて行っている通信の多くが、生活の一部となるために急速に変化していくことでしょう。SNS(ソーシャルネットワーキングサービス)内のサークルなどを見てください。「生活がネットワークに張り付く」と言えるような現象が起きています。

す。ただ、違法な複製・頒布などに悪用されやすいという一面もあり、改善していかなければなりません。

必要なデータ量は 人間の欲求によって決まる

P2Pネットワークの応用例として研究されているものの一つに、分散ストレージと呼ばれるものがあります。これは作業を分散させるだけではなく、データの保存も分散させようとするものです。

分散ストレージでは、グリッドコンピューティングと同様に、ネットワークにつながる多数のコンピュータの余っているデータ記憶領域を利用者全員で共有し、ネットワーク上に巨大な記憶空間を作り出します。ひと昔前、インターネットの大部分が電話線によって結ばれていた時代には、たとえネットワークの向こうにあるハードディスクが利用できても、データ転送に時間が掛かりすぎて、あまり意味がありませんでした。しかし、回線速度の向上により、分散しているデメリットに対して、データを共有できることや容量が巨大であることによるメリットが上回ってきました。今後、回線速度はますます向上していくため、さらに実用性は高まります。

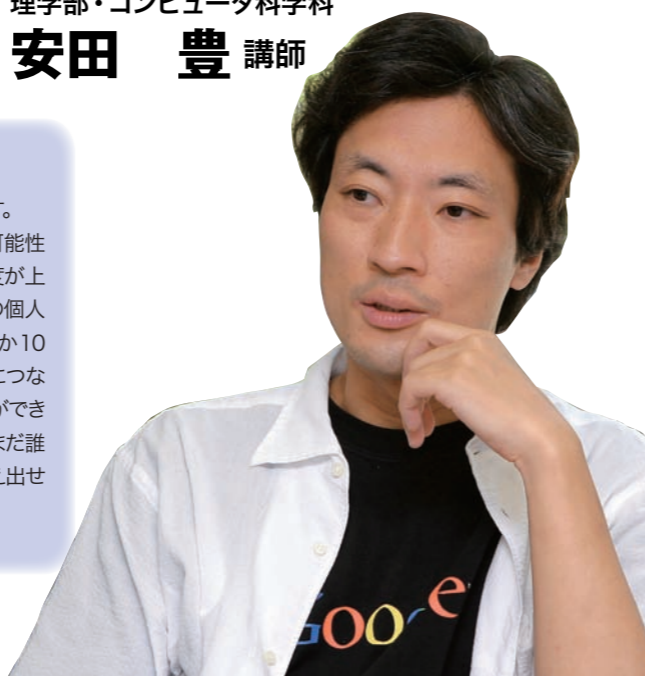
ある時代のコンピュータが利用可能な記憶容量と、同時期にユーザが保存したいデータの量は、面白いことに比例して変化します。つまり、技術の進歩によってハードディスクの容量が増えたと、その容量で十分となることはなく、ユーザはより多くのデータを保存したいと思うようになるのです。人間の欲求に限界がないとすれば、技術的に可能な限り、人はより多くのデータを保存していくでしょう。容量がいくらあっても余るということはないのです。

インターネット博物館

分散ストレージによって、世界中の何億台というコンピュータのハードディスクの空いている部分を活用できるようになれば、いったいどんなことができるようになるのでしょうか。

インターネットに眠る 莫大な資源

理学部・コンピュータ科学科
安田 豊 講師



PROFILE
理学士。専門はネットワーク。インターネットのトラフィック制御について研究している。他にも分散システム、従量課金、電子現金、Thin Serverなど、未来のネットワークに関わる全般に興味を持つ。情報技術に関する若い人のためのワクワクするような紹介記事や読み物が、世間に不足していると感じて、自らシリコンバレーなどで取材、執筆もこなす。

ネットワークの世界は「ドッグイヤー」

情報技術の世界には「ドッグイヤー (dog year/犬の年)」という言葉があります。情報技術の進展はとて目まぐるしく、わずか1年の間にまるで何年も経ったようなダイナミックな変化が起こることから、人間の数倍のスピードで成長する「犬の年」のようだ、という意味で言われている言葉です。

実際にこの分野では、大学に入学する時に4年後は「こうなるだろう」と想像していたことが、卒業する時にはまったく違っていたり、より新しい技術が実現したり、ということが起こります。それだけ、

新しいものが出やすいホットな分野なのです。特に、ネットワークの分野には、まだまだ可能性が大きく残されています。ただ単に通信速度が上がるだけ、例えば個人が1 Gb/sec。(現在の個人向け光ファイバー 100 Mb/sec.のたかだか10倍)を超えるような速度でインターネットにつながるようになったら、何が起るのか? 何ができるようになるのか? 考えてみてください。まだ誰も知らない、誰も見たことがないものを考え出せる分野なのです。

分子細胞生物学レベルで解明する 驚異のメカニズムとガン撲滅へのシナリオ

ガンはなぜ恐ろしい

人類最大の敵の一つであるガン。その恐ろしさについては様々なところで語られていますが、ここで改めて私が関わっている細胞増殖という分子細胞生物学的な視点から、その一般的な特徴をまとめてみましょう。

まず一つは、自己増殖し、しかも転移しやすいということです。通常私たちの体を作る細胞は、発生の初期には分裂と移動を盛んに行いますが、ある程度成長すると、それが止まり、それぞれの細胞は自分の置かれた場所で、それぞれの役割をするようになります(分化)。もはや移動したりある特定の細胞だけが増え続けたりということとはなくなり、その場所で新しい細胞と古い細胞とが入れ替わる、つまり新陳代謝を繰り返すだけになるのです。細胞に組み込まれた増殖プログラムがバランスよく機能し、増えすぎもせず減りすぎもしないわけです。また万一、自分の居場所を離れることがあっても、その場合には死んでしまうのが一般的です。ところがガン細胞は、成長した体の中にあっても自己増殖し、しかも血管などを通して軽々と移動し、移動した先でも新たに増殖することができるのです(これを転移と呼びます)。

ガンのもう一つの特徴は、強い耐性を持つことです。薬などを使って殺しても、少しでもその一部が残っていると、ガンは再び増殖し始めます。しかも今度は、そうした薬などが効きにくいように、その増殖のプログラムを変えてくるのです。ガンは正常細胞が本来持っている、遺伝子の中にある増殖のプログラムに異常や変異を起こさせるものだから、耐性も作りやすいわけです。

すべてを自分の味方につける、 その巧妙な仕組み

なぜガンはそれほど簡単に転移し、耐性を身につけることができるのか。ちょうど私がハーバード大学の附属病院へ留学していた1980年代から90年代にかけては、その増殖プログラムの仕組みについて、たくさんの研究成果が一斉に花開いた時期でした。ガンが様々な細胞増殖因子というものを分泌し、周りの細胞に働きかけることがわかり始めたのです。

その因子の中で代表的なのが、血管内皮細胞増殖因子(VEGF)というものでした。成長した体の細胞はふつう、皮膚や髪の毛、口から肺、消化器官にかけての上皮などの体の表面にある細胞や、骨髄で作られ血液中の細胞以外ほとんど増殖しません。増殖するプログラムは遺伝子の中に残っていますが、それを止める遺伝子も働くからです。増殖するプログラムを止める遺伝子は、ガン抑制遺伝子と呼

ばれるもので、当時p53やRBというのが見つかり、これに欠陥のある人ではガンの発生率が高まることが報告されていました。すなわちガンでは、このプログラムが効かないのです。さらに正常細胞にあつては、増殖因子を必要ときに必要な量だけ作り出しますが、ガンは、それを多量に生産分泌して、周囲の細胞の増殖プログラムを呼び醒ますのです。

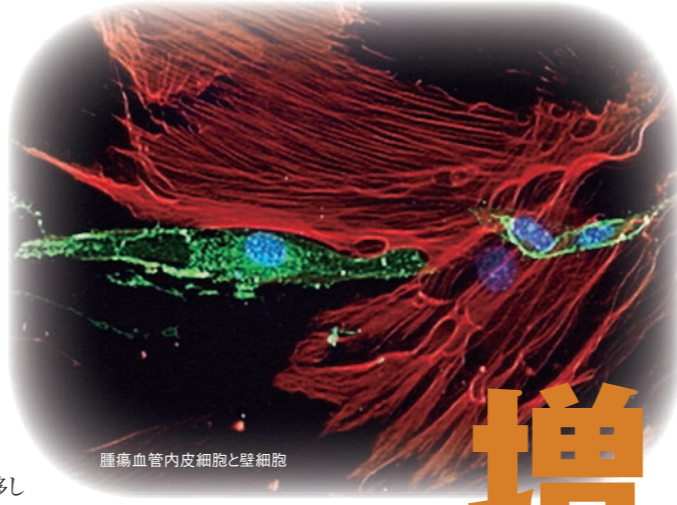
ガンが分泌するVEGFは、周囲の血管、とくに毛細血管を作る血管内皮細胞に働きかけます。すると血管内皮細胞は急激に増殖を始めます。これが血管新生と呼ばれる現象です。そしてガンはその血管を自らに呼び込み、そこからたくさんの酸素と栄養をもらい、一気に大きくなります。しかもその一部は、血流に乗って、他の場所へと移動して行くのです(図①)。

ガンは同時に、血管以外の細胞にもVEGF以外の細胞増殖因子をふりかけて様々な働きかけをすることもわかってきています。詳しい解説は省きますが、自分が増殖し転移し

やすいような環境を、周囲の細胞に働きかけて作らせるのです。これが耐性を簡単に持つことのできる一つの原因です。

増殖の驚異のメカニズム。 増殖因子と受容体

血管内皮細胞をシャーレの中で培養し、これに細胞増殖因子の一つをふりかけると、それがまるで魔法の薬でもあるかのように、細胞は次々と増殖し始めます。この時、因子は情報を伝えたい細胞に直接入っていくわけではありません。因子はタンパク質でできていて、たいいていの場合、細胞膜に遮られて細胞の中へ入ってはいけませ



細胞はなぜ増えるのか?

オトナになるに従って、体重はともかく、身長が伸びなくなるのは、ごく一部を除き体を作っている細胞の増殖が抑えられるからです。人間にとってまだまだ恐るべき敵であるガンは、周囲の細胞の増殖プログラムを呼び起こすことで自己増殖します。分子細胞生物学レベルで細胞増殖のメカニズムの解明に取り組み瀬尾美鈴先生に、これまでの成果と、そこから見てきたガン撲滅のシナリオなど、応用研究の一端についてお聞きしました。

工学部・生物工学科
瀬尾 美鈴 教授

PROFILE

“白い薬を頭の中で考えて作る”、そんなキレイな仕事に憧れて進んだのは医学部薬学科。しかし、ある医学の授業で、病気がわかっているのに有効な薬は作れないことに気付いたのがきっかけで、卒業研究は生理化学教室へ進んだ。さらにハーバード大学附属の小児病院へ留学した際、分子細胞生物学の世界的権威、フォークマン博士に師事したことで本格的に分子細胞生物学の道へ入ることとなった。生物工学科の開設とともに京都産業大学へ着任。「これからは生物工学の技術で新しい薬を作る時代が来る」、当時の恩師の一言は、時代の先端を走る今の研究を予言していたようだ。広島市立舟入高校OG。



図① ガンによる血管新生の誘導



ん。そこで細胞表面にアンテナのように突き出した細胞増殖因子受容体(レセプター)というものに取り付きます。このレセプターは細胞の内側で酵素につながっていて、増殖因子を受け取ると向かい合っているもう一本のレセプターの根元にある酵素を呼び寄せ、レセプター同士を合体(カップリング)させます(二量体化)。この時、それぞれの酵素は、お互いのタンパク質に働きかけ、触媒反応でそれをリン酸化(チロシンリン酸化)します。そして、この反応がその後の細胞の誕生・死、分化・移動などの運命を決めることが90年代に明らかにされたのです。

チロシンリン酸化が起こると、細胞内にあった様々なタンパク質が、それを目印に集まり、順番につながることで、酵素による触媒反応が次々とリレーされていきます。そしてガン遺伝子の産物といわれ、分子スイッチの役割をするRas(ラス)というタンパク質が活性化すると、情報(シグナル)はさらに下流へと伝えられます。最終的には核の中にまで伝えられて、新たな遺伝子発現を促し、細胞の機能が大きく変化します(図②)。ガンの場合でいうと、本来は起こりえない増殖や変異が行われるわけです。またこの一連のシグナル伝達の経路の中で、レセプターや、それに関わるタンパク質などに異常があると、因子が分泌されなくても増殖のメカニズムが働くことがわかってきています。

さらにこの受容体から始まる一連の情報伝達経路は、最近の研究では上皮細胞だけにあるのではなく、その内側の、上皮と臓器との間を充たしている間充織という組織を形成する細胞にもあることがわかってきました*。そしてガンがこの間充織細胞の一つである繊維芽細胞に働きか

ける増殖因子(FGF)を分泌することもわかってきたのです。

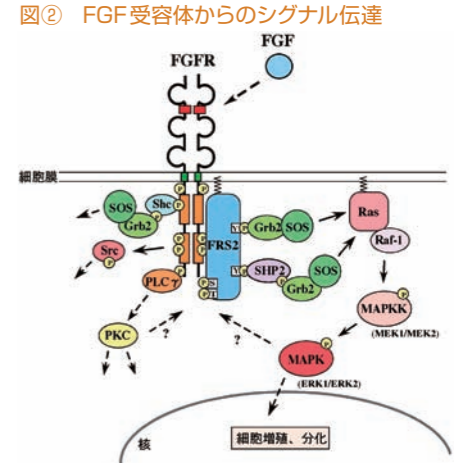
*しかも、四肢の形成過程にみられるように、上皮細胞と間充織細胞とはお互いが作った増殖因子をキャッチボール(情報交換)して相手とは違う因子を作って分化し、新たに違う細胞を作るきっかけを作っていることがわかってきています。

見えてきた新しい治療法

このようにバイオサイエンスの基礎研究の大きな発展によってガンの特徴である増殖と転移、耐性の仕組みが明らかになると、その新しい知識をこれまでとは違った治療法や治療薬の設計に応用することができるようになります。これまでの治療では、とにかくガン細胞の増殖を抑えることが最優先されてきましたから、副作用も激しく、ガンが死ぬのが先か、患者さんが死ぬのが先かといわれることもよく起こりました。ガン自身を抑えようとすると現に増えている正常な細胞にも影響を与え、髪の毛が抜ける、腸の上皮細胞がやられ物が食べられなくなる、骨髄の中にある造血幹細胞がダメージを受けて貧血になる、などの副作用が起こることが少なくないのです。

こうした旧来型の治療法にかわって期待されているのが、分子標的薬などの、ピンポイントで特定の分子に働きかけ、ガンが増殖しにくくなるような環境を作る方法です。低用量の化学療法剤と併用することで、効率的でより副作用が少ない治療が行えると期待されています。たとえば細胞増殖因子からのシグナルを伝達する経路に関与する分子のどれかに、直接働きかけて、その伝達経路を止められれば、増殖を止めガン細胞を生かすのに必要な血管新生を阻めば、ガ

図② FGF受容体からのシグナル伝達



ンを兵糧攻めにし、なおかつ転移も防ぐことができます(抗血管新生療法)。とくにこの方法では、ガンと違って正常な血管内皮細胞は耐性を獲得しないことから、同じ薬を長期間使えます。私たちが製薬ベンチャーと共同研究を始めたのもこの方法です。また最近ではガン細胞は血管だけでなく、リンパ管にも働きかける増殖因子を持っており、リンパ節転移に働いていることもわかってきましたから、同じような考え方、方法でリンパ管新生を妨げる薬の開発も始まっています。いずれのケースも、動物実験では著しい効果が上がっています。また、間充織細胞の増殖を促す因子についても、それを妨げる薬の開発も急がれています。

いずれにしても、レセプターに始まって、遺伝子発現に至るまでのシグナル伝達経路について、そしてそこに関与するタンパク質や酵素一つ一つについては、さらに詳しく解明していく必要があります。課題は山積ですが、システムそのものの全体像が見えてきた今、ガン撲滅へのシナリオにも確かな手応えを感じています。

再生医療ではプラス面が

これまでお話してきたことは、細胞増殖因子の持つ負の側面でした。しかし生体の持つタンパク質や酵素などには必ず二面性があります。ある種の細胞増殖因子には細胞を増殖させるアクセルの面だけでなく、それを抑えるブレーキの側面もあります。またその機能にも二面性があります。ガンなどの場合、増殖因子はマイナス面に働きますが、反対にアルツハイマーなど、脳の神経細胞の一部が変性することによって起こる病気には、増殖因子をプラスに活用する方法が試されています。組織から取り出した幹細胞(すべての細胞に分化することのできる細胞)に増殖因子をふりかけ、神経細胞などの目的とする細胞をシャーレで培養・増殖して、それを必要な箇所へ移植するのです。また重篤な糖尿病と合併する閉塞性動脈硬化症によって壊死した下肢に、バイオテクノロジーで作った増殖因子を投与する、あるいは寝たきりで床ずれの起きた部位に、細胞増殖因子をスプレーするなど、再生医療では増殖因子のプラス面が大いに活用されているわけです。

CLOSE-UP

どんな研究・進路? 生物工学的手法の基礎を身につける

卒業研究では、細胞増殖因子を作るDNAを取り出して検査したり、それを使って細胞を大量に作ったりするなど、生物工学的な知識や手法を使った実験を中心に行います(写真)。最近では、薬が効くのか効かないのかなどを調べるスクリーニングも、かつてのように、いきなり動物実験をしたり、薬学の専門家だけが行ったりするわけではありません。薬の開発の初期段階では生物工学的手法を用いて、調べたいタンパク質などを量産することで時間を短縮するな

ど、たいへん効率的に行われています。これらの研究は、その際のベースとなる、たいへん重要でやりがいのあるものです。卒業生の多くは研究員やMR(医薬品会社の医薬情報担当)として製薬会社やベンチャー企業などで活躍しています。最近では大学院進学も増えていますね。高校時代に生物を学んでいない学生が多いのは気がかりですが、少なくとも化学は学んでほしいと思います。

葉緑体の遺伝子組換え

植物の細胞内では、核以外にも、光合成を行う葉緑体、呼吸をつかさどるミトコンドリアがそれぞれ遺伝子をもっています。オルガネラと呼ばれる細胞内小器官の中で、独自の遺伝子をもつのは葉緑体とミトコンドリアだけです。これらの遺伝子の集まりはオルガネラゲノムと呼ばれています。通常の遺伝子組換えは、核の遺伝子を対象にしたものですが、私はこのオルガネラゲノムを研究対象にしています。主に葉緑体の遺伝子組換えを行っています。現在、葉緑体の遺伝子組換えには核の遺伝子組換えにはないメリットがいくつかあることがわかっています。

1つ目は母性遺伝、すなわち、遺伝子が種からのみ伝わり、花粉から伝わらないというオルガネラゲノム特有の性質です。そのため、組換

えた遺伝子が花粉を通じて他の作物を汚染する危険性がほとんどありません。2つ目は、組換えたもの（遺伝子産物）がたくさんできる点です。核は細胞内に1つしかありませんが、葉緑体は100個もあります。さらに、1つの葉緑体の中に遺伝子の集まりであるゲノムが100個程度ありますから、1つの細胞内に合計1万個もの葉緑体ゲノムが存在することになります。そして、それだけ遺伝子産物が多くできるのです。

また、核では1回に組換えられる遺伝子は原則1つですが、葉緑体では、組換えたい複数の遺伝子を列車のようにABC…と連ねて入れることができます。核の場合、AとBの遺伝子を組換えるために、Aの遺伝子を入れた組換え植物と、Bの遺伝子を入れた組換え植物を交配させる必要があることを考えると、ずいぶん画期的です。

他にも、組換えた遺伝子が思ったように働かなかったり、周りの似た遺伝子の働きまで止めてしまったり（ジーンサイレンシング）という核の遺伝子組換えでよく起きる問題が、葉緑体にはありません。さらに、組換える遺伝子のゲノム上の位置を指定することができるため、同じ組換え植物を何度も作ることができます。

目標1 社会に役立つ作物を作る

遺伝子組換え技術は、人口の急増による食糧難や温暖化など、危機に瀕する地球を救う技術としても注目を集めています。私も、いくつかの目標をもって、葉緑体の遺伝子組換えを行っています。

いま、世界で1番多い栄養障害は鉄分不足です。人口の3分の1にあたる約20億人が貧血の主な原因にもなる鉄分欠乏の状態にあるといわれています。鉄製剤などの薬が配られているのですが、数量に限界がありますし、できれば普段口にする食べ物からとれる方がいいですよね。

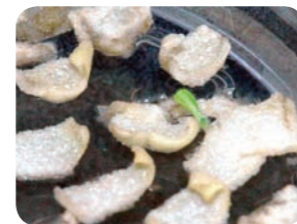
そこで、考えられるのが鉄分を多く含んだ野菜を作ることです。まず着目したのは、鉄を細胞内に閉じ込める働きをするフェリチンというタンパク質です。もともとフェリチンは葉緑体の中で働いていますが、遺伝子は核にあります。そこで、その遺伝子を葉緑体のゲノムに組み入れて大量発現させ、葉緑体の中にフェリチンタンパク質をたくさん作り、鉄を溜め込む仕組みを作りました。現在、大豆の遺伝子を組み込むことに成功しています。組換え後の葉の鉄分含有量は、通常の3倍になっていました。

ストレスに強い植物作りの研究も進められています。みなさんも先生に怒られたり、試験で悩んだりすると、ストレスを感じ、体調が悪くなりませんか。植物も同じです。植物でも、強い光や寒さ、乾燥など、周りの環境からストレスを受けると、酸素が変化してできる活性酸素という有毒な物質が発生します。細胞を酸化させる活性酸素は、ヒトでは「肌の老化」の原因になるといわれますが、植物はこの活性酸素が増えると、枯れたり、成長がとまったりします。そして、その活性酸素が発生する場が、主に葉緑体なのです。

そこで、植物がもともと持っている活性酸素を除去するAPX（アスコルビン酸ペルオキシダーゼ）やGR（グルタチオンレダクターゼ）など5つの酵素の働きをよくしようと考えました。現在、5つのうち4つの



遺伝子銃



シュート(若芽)を形成したタバコの葉

遺伝子銃で金を撃ち込む!?

遺伝子組換えの基礎研究は、タバコの葉で行われている。キャベツなどの葉もの野菜とは異なり、葉切片からも芽がたくさん出るなど、分化能力が高く使いやすいからという。実験方法は、組換えたい有用遺伝子を遺伝子銃によって直接細胞内にうち込む「パーティクルガン法」。遺伝子銃の中は真空状態。有用遺伝子を含むプラスミドDNAを、非常に小さな金の粒子に

酵素遺伝子を葉緑体ゲノムに組み入れることに成功して、酵素活性は50倍にも高まっています。

目標2 植物工場で医薬品成分を生産

医療分野で役立つ遺伝子組換えの研究も進んでいます。医薬品の有効な素材の1つはタンパク質です。例えば、抗凝固剤として血栓治療などに使われている「ヒルジン」というタンパク質があります。環形動物^{※2}のヒルが、ヒルジンを出すことで血を固まらせずに動物や人の血を吸うことで知られています。このヒルからヒルジンを作る遺伝子を取り出して葉緑体に組み込むことで、植物の中で「ヒルジン」を大量に生産し、そこからヒルジンを精製することが可能になっているのです。

医薬品の材料となるタンパク質は、自然界から精製する場合はもちろん、現在研究が進んでいるカイコなどの体液中で生産させる方法でも、高度な技術力が求められ、しかもかなりのコストがかかります。しかし、葉緑体内で大量生産が可能になれば（いわば「植物工場」）、コストは下がり、医薬品が不足しがちな途上国でも取り入れやすくなるはず

まぶして、ヘリウムガスの圧力によってタバコの葉にうち込む。この時のスピードは音速に近いくらい。強すぎると細胞が壊れてしまうし、弱すぎると奥まで届かない。微妙な圧力の調整がむずかしい。小さな細胞内にある、さらに小さな葉緑体ゲノムの中に有用遺伝子を効率よく送り込めるようになるまでに、5年を要したという。

今後はさらに、抗原を食べることによって免疫力をつける「食べるワクチン」への応用にもつながりたいと思います。これは人だけでなく、例えば昨年問題になったような鳥インフルエンザなど、動物を介して感染するような病気にも有効かもしれません。広範囲の動物に注射器などで予防接種することは困難ですが、食べるワクチンであれば、より簡単に予防できるからです。ワクチン入りの飼料やワクチン入りの健康レタス、といったものができる日も、そう遠くないかもしれません。

キーワードは「人間の役に立つ」 今後の課題と ミトコンドリアの遺伝子組換え

現在、文部科学省の私立大学学術研究高度化推進事業の1つとして「高等植物のオルガネラゲノム工学」というプロジェクトに関わっています。「植物のオルガネラゲノム（葉緑体ゲノム、ミトコンドリアゲノム）の操作を通じて、人間の役に立つ遺伝子組換え植物を育成する」ことを目標に、これまで説明したような実験に日々取り組んでいます。

ただ、今はまだ実験が、タバコを使った基礎研究の段階です。葉緑体の遺伝子組換えにおける1番の問題点でもあります。これらを実際に「役立てる」ために、他の作物に広く応用する手法を開発することが、今後の大きな課題です。

また、今後、世界的にも成功例がない植物のミトコンドリアゲノムを使った遺伝子組換えを成功させたいと思っています。葉緑体とミトコンドリアはそれぞれ違う働きを担っていますから、ミトコンドリアの遺伝子を組換えることによってはじめて役割を果たすものもあるのです。葉緑体の遺伝子組換えは、私が学生の頃は想像もしていなかった技術です。現在は小さすぎて技術的に大変むずかしいミトコンドリアの遺伝子組換えも、いつかは可能になる日がくるはず。まだまだ未開拓の部分も多いバイオの分野ですが、だからこそ、予期せぬ研究成果が楽しみでもあります。

※1 オルガネラは細胞内に存在する一定の構造と特定の機能をもつ構造物（細胞小器官）の総称。核、葉緑体、ミトコンドリア、小胞体、ゴルジ体など。
※2 体節をもつ無背ついで動物の門。「外骨格をもたず、体節ごとに1対の排出器や神経節がある」（啓林館、生物II）。ゴカイ、ミミズ、ヒルなど。

遺伝子銃で葉緑体を狙い撃ち!

遺伝子銃（別名：パーティクルデリバリーシステム）は、“遺伝子組換え”を行う際に、組換えたい有用遺伝子を直接細胞内へうち込むための重要な器具です（コラム参照）。これを使いこなせないと、遺伝子組換えのスタートラインに立つことができないといえるかもしれません。うち込む植物細胞の大きさは20～40μm（マイクロメートル）ほどです。1μmは1mmの1000分の1ですから、肉眼ではもちろん確認できません。それほどまでに小さな細胞の中にある、さらに小さなオルガネラ^{※1}ゲノムに有用遺伝子を届かせるには、腕と努力と、少しの運が必要なのです。日進月歩のバイオの分野で「オルガネラゲノムの遺伝子組換え」という最先端分野に取り組み、この春、見事、有用遺伝子を葉緑体ゲノムに命中!! させた寺地徹先生に、現在の研究と今後の展望についてお話をいただきました。



遺伝子銃発射の準備にかかる。クリーンルームの中だけでなくクリーンベンチの中で、すべて消毒して行う。

工学部・生物工学科 寺地 徹 教授

PROFILE

北海道から生物の研究者をめざして京都大学農学部へ。父親が高校の生物の先生だったこともあって、昔から自然や生物に興味をもって。研究室では、コムギを中心とした植物の遺伝と進化について研究。自然雑種と倍數化を特徴とする、コムギとその仲間の母系の祖先を明らかにするため、母性遺伝する葉緑体のDNAを調べて以来、オルガネラゲノムに関わり続けている。ここ10年ほどは“葉緑体の遺伝子組換え”に取り組んできた。タバコであれば自由に組換えができる技術力は世界的にも稀少。北海道函館中部高校OB。

研究に使用する植物を栽培するための温室内。左は葉緑体の遺伝子組換えのタバコ。

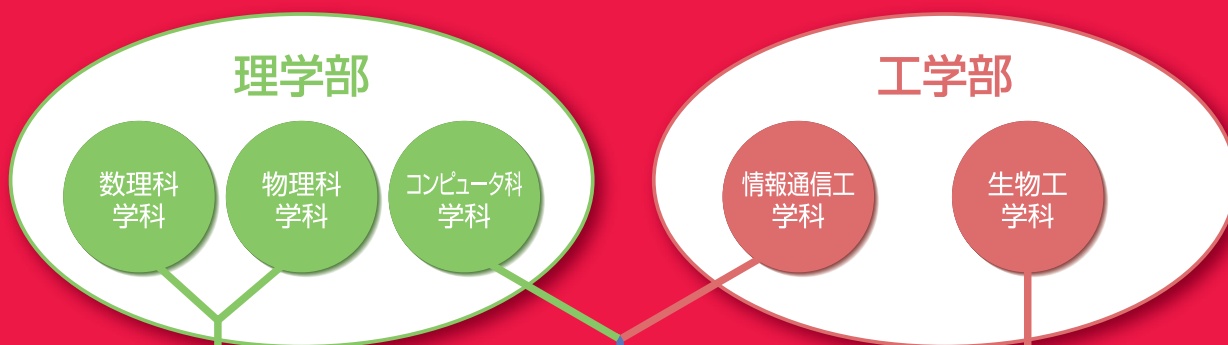
ADVICE

高校生へのメッセージ

高校では、生物、化学、そして英語を重点的に鍛えてきてほしいですね。この3つは、大学へ入ってから役立ちますし、身につけておくと、おもしろい研究にも結びつきます。また、自分の考えをしっかりと伝えられるコミュニケーション能力も必要です。あと1番大切なのは「好奇心をもって楽しく実験できること」かもしれません。研究室に入ると、月曜から土曜まで、毎日長時間、研究室にこもる場合もありますから。

研究室で取り組む研究テーマについては、なるべく学生の意見を取り入れるようにしています。“ストレスに強い植物作り”も学生の発案で始まったものです。学生には、4年次に楽しく卒業研究に取り組んで充実した時間を過ごすためにも、3年次までに卒業単位はほぼとり終えておこう、常日頃からアドバイスしています。就職先として学部卒では食品業界やMR（医薬品会社の医薬情報担当）をめざす人が多く、3、4割の学生は大学院へ進学しています。

先端領域に広がる理系3学部の学びのフィールド。



サイエンスの最新領域を追究する3学部体制へ。

理学部
大自然の真理を明らかにする。

数理科学科
6つの分野に沿って学び、数学的思考力と発想力を修得。

- 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

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・気象と環境科学
- 物性物理／理論
- レーザー・電波物性
- 結晶・表面物性

New

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。

- マルチメディア
- webアプリケーション
- モバイル通信

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。

- ヒューマンインタフェース
- コピキタス
- 知能情報処理

工学部
バイオテクノロジーの最先端に挑む。

生物工学科
バイオテクノロジーのフロンティアをめざす。

- 分子機能科学
- 細胞機能科学
- 植物遺伝・育種学
- 生物保全科学

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。

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

POWER UNIV.

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 TEL : 075-705-1463
- 工学部事務室 TEL : 075-705-1466
- 入学センター TEL : 075-705-1437