

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.7

01
フーリエが拓いた
関数の新たな世界

単純な三角関数で複雑な波を表す 柳下 浩紀 准教授

02
X線を使って
ダークマター
の正体を探る

銀河と銀河団の観測から見えてくるもの
三好 蕃 教授

03
ポストゲノム研究が
バイオの未来を開く

免疫学と分子生物学を基礎とするがん治療薬の開発
中田 博 教授

04
並列処理技術で
コンピュータは
もっともっと速くなる

新實 治男 教授

本格的なマルチプロセッサ時代の幕開け

05
設計の正しさを
確かめる
論理の力

速く確実に設計ミスを見つけ出すために
平石 裕実 教授

06
ユビキタス社会の
パートナーは“気の利く”
ロボット

対話型ロボットで人間の知性と
ロボットの知性の共生を目指す
上田 博唯 教授

フーリエが拓いた関数の新たな世界

単純な三角関数で複雑な波を表す



理学部・数理科学科
柳下 浩紀
准教授
数理科学博士
非線形拡散方程式の数理的研究

01

時代が求めた数学理論

産業革命以降、熱現象を説明する数学理論が科学・数学界の最重要課題となった。この時代の要請に応えたのは、フランスの数学者ジョゼフ・フーリエだった。

フーリエの法則

フーリエは観測事実から熱伝導の理論「フーリエの法則」を発見する。それは「熱の伝わり方は温度勾配に比例する」というものだ。熱の伝わり方に関する数学理論が大きく進展する。

関数は無数の三角関数の重ね合わせ

さらにフーリエは熱の分布状態を表す曲線を無数の三角関数の重ね合わせとして表現できないかと考える。この章では、三角関数の基礎に立ち返って、色々な波の表し方を紹介する。

熱の動きを解析する

どんなに複雑な熱の分布状態も単純な波の重ね合わせとして考えることで、その時間変化を簡単に求めることができる。現在では熱現象だけではなく様々な拡散現象にも当てはまる考え方だ。

現代でも応用されるフーリエのアイデア

フーリエの解析学は、私たちの非常に身近なところでも活用されている。この章ではその例を紹介する。

X線を使ってダークマターの正体を探る

銀河と銀河団の観測から見えてくるもの



理学部・物理科学科
三好 蕃
教授
理学博士
宇宙物理学、X線天文学

02

ほぼ解明されてきた全宇宙の組成

73:23:4、これは現在一般的に考えられている宇宙の総エネルギー（質量）の構成比だ。左からダークエネルギー、ダークマター、地球や星などを構成している物質の順で、なんと96%が謎のままだ。

銀河のダークマター

ダークマターとは、現在では未知の素粒子であると考えるのが一般的だ。まず銀河の中で、その存在がどのように確かめられたかを解説する。

銀河団のダークマター

ダークマターが最初に見つかったのは銀河団の中。銀河団の全質量から銀河の質量と星やプラズマ（ガス）の質量を引くと、ダークマターの質量が算出できる。ダークマターと星やガスの質量比は約6:1で、宇宙全体における23:4にはほぼ等しい！

X線を使って、銀河団のダークマターの質量分布を測る研究の究極の目的は、ダークマターの粒子質量を決めること。それは素粒子理論にも大きなヒントを与えるだろう。そのためにはまず、X線天文衛星の性能をさらに向上させてダークマターの質量分布の計測精度をあげることだ。そして宇宙の総エネルギーの96%が正体不明という異常事態から一刻も早く抜け出さなければならない。

ポストゲノム研究がバイオの未来を開く

免疫学と分子生物学を基礎とするがん治療薬の開発



工学部・生物工学科
中田 博
教授
薬学博士
免疫化学

03

若い日の抗体研究が今また新薬開発の鍵を握る
がんが作り出すムチンという糖タンパク質は、40年以上も前からがんの腫瘍マーカーとされてきた。それに反応する三種類のモノクローマ抗体を作ったのが研究人生の出発点。今またそのムチンが、がん治療薬開発の鍵を握る。

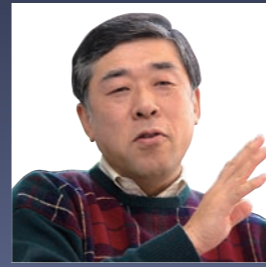
最初の成果、ムチンがプロスタグランジンE2の産生を高める
免疫系の細胞・マクロファージは、ガン細胞を攻撃すると考えられている。しかしムチンの研究から、マクロファージとガンの間に未知の分子機構の介在を予想。ムチンを対象として、免疫とガンの中間という世界でも研究者が少ない領域の研究を開始した。そしてムチンが生理活性物質プロスタグランジンE2 (PGE2)の産生を高めることを突き止めた。

成果2、スカベンジャーリセプターとCOX2
マクロファージが異物であるムチンを捕らえる際、スカベンジャーリセプターという受容体が働く。そこにムチンが結合すると、シクロオキシゲナーゼ2 (COX2)という酵素が誘導され、PGE2が産生されることを次に突き止めた。PGE2はマクロファージの免疫力を弱め、がんの増殖に有利な生理作用をもたらす。

様々な応用に夢は広がる
遺伝子操作で作ったスカベンジャーリセプターの断片を、がんに近いマクロファージの手前にばら撒き、先にムチンと結合させるのは一つの有力な方法だ。応用に夢が膨らむ。

並列処理技術でコンピュータはもっともっと速くなる

本格的なマルチプロセッサ時代の幕開け



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
超並列コンピュータシステムの構成方式

04

1台より2台の方が速い
コンピュータの計算速度を向上させるには、プロセッサを複数個つなげて計算させる「並列処理」という方法がある。

クラスタシステムとマルチコア
クラスタシステムとは、コンピュータ同士をネットワークでつなぐ並列システム。マルチコアは、複数のプロセッサをひとつのマイクロチップの中に搭載する。

スケーラビリティで優位のクラスタシステム
クラスタシステムでは、一台一台のパソコンの交換も容易であり、つなげる台数も簡単に増やすことができる。

プログラムがそのままでも使えるマルチコア
マルチコアでは、複数のプロセッサが一つのメモリを共有しているため、従来のプログラムでもとらええずそのまま動かすことができる。

日本が世界に誇る並列コンピュータ
文部科学省が開発を進める世界最速のスーパーコンピュータ「汎用京速計算機」のプロジェクトを紹介する。

並列処理のこれから
複数のプロセッサを搭載したコンピュータが普及し、並列処理が一般的なものになった。並列用の開発環境も整備されつつあり、今後はマルチプロセッサの時代がやってくる。

設計の正しさを確かめる論理の力

速く確実に設計ミスを見つけ出すために



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

05

ますます困難になる設計検証
システムの複雑化・大規模化に伴い、設計に間違いがないかの検証もより難しくなっている。具体的な事例を挙げて、設計検証の難しさを考えてみよう。

従来の設計検証の限界
どうして設計の検証は難しいのか、それは、ユーザの使い方を想定して、シミュレーションをするという従来の検証方法に限界があるからなのだ。

論理シミュレーションによる設計検証
従来の設計検証の主な方法「論理シミュレーション」が実際にどういものか、簡単なシステムを例にとって見てみよう。この方法の限界を体感できるかもしれない。

数学的に設計の正しさを証明する
新しい設計検証の方法は従来の限界を打ち破る可能性を秘めている。それは、システムの設計の正しさを数学的に証明しようというものだ。

論理関数を使った設計検証
設計検証では論理関数が用いられる。この章では、論理関数とは何なのか、論理演算の基礎から紹介し、具体的な設計検証の方法の一端にも触れる。

数学が支える安心できる社会
論理関数を使った新しい設計検証は、コンピュータ関連の企業を中心に使われはじめています。数学の力で、私たちの社会がより安全で信頼でき、創造性を生かせるものにできる。

ユビキタス社会のパートナーは“気の利く”ロボット

対話型ロボットで人間の知性とロボットの知性の共生を目指す



コンピュータ理工学部・インテリジェントシステム学科
上田 博唯
教授
工学博士
画像認識、マルチメディア処理とヒューマンインタフェース

06

ユビキタスな生活環境での通訳者
近未来のユビキタスな生活環境では、人間と音声による会話ができ、身振りや仕草でノンバーバルなコミュニケーションをすることもできるロボットが、高度化した家電機器や情報機器と生活者との間の通訳者として活躍するようになるだろう。それを実現することが人間とロボットの共生という研究テーマ。

人とロボットの対話に新しい関係作り
人がいま何をしているのか、いま何を欲しているのかを、察知して実行したり、何かを実行した時にその理由を、分かり易く説明したりすることのできるロボットの開発、いうならば、それは人とロボットの対話の中に新しい関係を作り出すという試みだ。

対話型ロボットの開発
目指すは気の利くロボット
人が本人自身ですら気がついていない、あいまいな意図をも汲み取っていきける「気の利く」パートナーとしてのロボットの実現のために、ロボットが、説明の仕方や説明する時の仕草を変えると人間はどう感じるのか、どう説明の仕方が人間にとってわかりやすいのか、などを実験しながら研究を進めている。

ロボットを通して見える人間の不思議
リモコンの代わりに対話ロボットが家電製品を賢く制御する生活実験によって、人はロボットが生き物ではないとわかっていながら、愛着や喪失感を感じるのだということが見えてきた。人間やロボットには、不思議なことがまだまだ一杯残っている。人間の得意な部分と、ロボットの得意な部分とをうまく補い合っとう伸ばしていくのが、これからの時代の大きな課題なのだ。

単純な三角関数で複雑な波を表す

すべての関数は三角関数の無限の重ね合わせで表すことができる—こう言われると、みなさんはどう思いますか？「そんなの嘘だ」と思う人もいるでしょうし、「それはすごい」「その方法を知りたい」という人もいることと思います。18世紀後半から19世紀前半にかけて、この問題に取り組んだのがフーリエというフランスの数学者でした。アイデア自体は以前からありましたが、その方法を確立させたのがフーリエだったので。現在では「すべての関数」という部分が否定されていますが、それはほんの一部の例外的な関数で、高校生のみなさんが習うような関数であれば「すべての関数」を表すことができるのです。そのフーリエの解析学を、彼が取り組んだ熱現象の問題にも触れながら、柳下浩紀先生に、わかりやすく説明していただきました。

フーリエが拓いた関数の新たな世界

時代が求めた数学理論

18世紀後半、イギリスを皮切りにヨーロッパで産業革命が起こりました。蒸気機関の発明を中心とする新しい文明社会の中で、数学を取巻く環境も大きく変動します。産業革命以前の数学は、天体の運動法則など、どちらかといえば人々の日常生活からは遠く離れたところで使われる学問でしたが、この時代を境にして私たちの生活に密着する場面が必要とされる学問分野へと変貌していくのです。

蒸気機関は、蒸気を利用して熱エネルギーを機械を動かすためのエネルギーへと変換する動力機関です。イギリスで確立したこの技術に対して、科学者たちは熱という現象を理論的に説明することに関心を集めます。フランスでは熱現象を解明するための数学理論が公式に求められました。1811年に、パリ科学アカデミーが「熱伝導の法則の数学的理論を示し、その理論の実験結果との比較を求む」という問題を提出しています。このように熱現象を解明する数学理論は当時の科学・数学界にとって最重要課題だったのです。というのも熱現象は当時の最先端の物理理論であるニュートン力学では説明できないものだったからです。

この時代の要請に応えるように登場したの

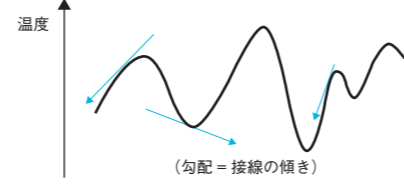
数奇な運命をたどった天才

フーリエが生まれたのはフランス革命直前という激動の時代でした。そのため、フランス革命とナポレオン時代に、彼の人生は大きく揺さぶられます。1789年、ベネディクト派の学校の修練士だったフーリエは、パリ科学アカデミーに方程式の解の個数についての論文を送っています。しかし、この論文は同年に勃発したフランス革命によって、うやむやのままになってしまいます。革命の影響で修練士を辞め、故郷で教師になったフーリエでしたが、1795年、エコール・ノルマルが開校すると、第一期生として入学します。続いて、エコール・ポリテクニクへと移り、助講師を務めるようになります。1798年には、ナポレオンのエジプト遠征に随行する科学者に選ばれ、エジプト研究所の終身幹事に任命されます。しかし、イギリスとの協定によりフランスはエジプトから引き揚げられてしまいます。フーリエは、エコール・ポリテクニクへの復帰を希望しますが、ナポレオンに政治手腕を見込まれて、フランス南部のイゼール県の知事に任命されます。1808年、ナポレオンからは男爵の爵位までもらい受けます。しかし、皮肉なことにナポレオンの失脚後、パリの統計局の幹事時代に、数学の研究に集中できるようになるのです。数学以外にも多彩な才能を示したフーリエを、激動する時代はなかなか自由してくれませんでした。しかし、最終的には数学者として多大な功績を残しました。

入ってくる熱のほうが多くなり、温度が上がっていきます。横軸を位置、縦軸を温度として図にすると次のようなイメージになります。

(図1) フーリエの法則

熱の流れは温度勾配に比例する



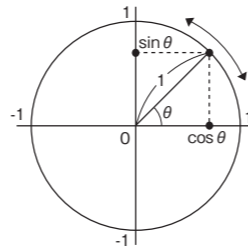
フーリエはさらに、このような複雑な形をとる熱のグラフ（温度分布）の時間的な変化を解析するための方法を確立します。それが複雑なグラフを三角関数の重ね合わせとして捉える方法「フーリエ展開」でした。

関数は無数の三角関数の重ね合わせ

フーリエ展開を紹介する前に、その基礎となる三角関数を復習しておきましょう。

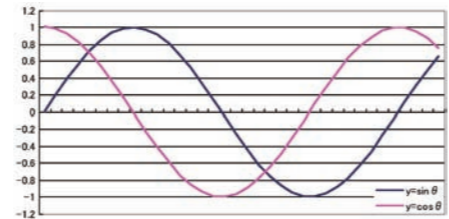
三角関数は、 $y = \sin \theta$ 、 $y = \cos \theta$ などと表され、原点を中心に持つ円を考え、その円周上を移動する点と原点とで与えられる三角形の正弦 (sin) あるいは余弦 (cos) の値をとります。

(図2) 三角関数の作り方



正弦、余弦とも-1から1の値をとります。1周360°で元の位置に戻り、そこからまた同じ値を繰り返す「周期関数」です。

(図3) 三角関数のグラフ $y = \sin \theta$ $y = \cos \theta$



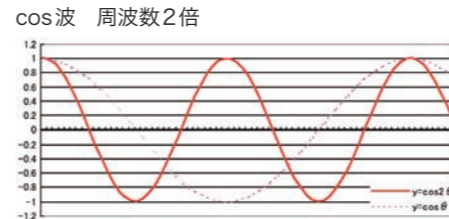
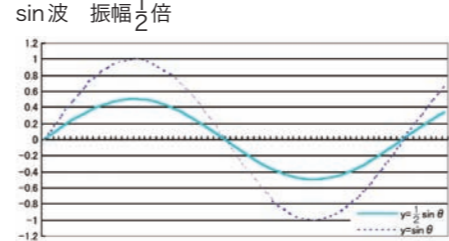
理学部・数理科学科 柳下 浩紀 准教授

PROFILE

数理学博士。専門は非線形拡散方程式の数理的研究。「非線形」とは文字通り「線形ではない」という意味で、原因を2倍にしても結果が比例して2倍にならないような現象を言う。自然界に存在する多くの現象は非線形。「拡散」とは、熱の伝わり方など、偏って分布しているものが「偏り」がより少ない安定な状態へと変化していくこと。非線形でかつ拡散する現象としては、伝染病の広がり方や2種類の状態を取り得る金属における状態の境目の移り変わりなどが挙げられる。ご自身の研究分野については「数学者から見れば応用的な分野であるが、物理学者・生物学者から見れば理論的分野」と数学と科学とのちょうど境界上にある分野とのこと。

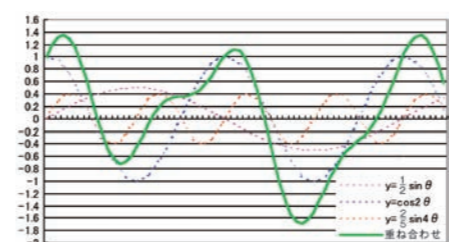
次に、周波数（振動数）と振幅を変化させる方法を見てみましょう。周波数とは波の繰り返しの回数のことでグラフでは波の横幅の狭さに対応します（周波数が大きいほど1つの波の横幅は狭まります）。振幅とは波の大きさのことでグラフでは波の縦幅の大きさです。いくつかの例を図示します。

(図4) 様々な周波数、振幅のグラフ



このようにして、あらゆる周波数、振幅を持つ三角関数を作ることができます。そして、次の図のように、それらを重ね合わせれば様々な複雑な波を表すことができるのです。

(図5) 三角関数の重ね合わせ $(y = \frac{1}{2} \sin \theta + \cos 2 \theta + \frac{2}{5} \sin 4 \theta)$



上のグラフは先の2つ ($y = \frac{1}{2} \sin \theta$ 、 $y = \cos 2 \theta$) と $y = \frac{2}{5} \sin 4 \theta$ を重ね合わせたものです。もちろん、表すグラフによっては、より多くの波を重ね合わせるようになります。フーリエが確立させた方法では無限個の足し合わせまで想定されていますが、どれだけ複雑な波であっても、いくつ足し合わされようとも、基本となる波は $y = \sin \theta$ と $y = \cos \theta$ から変形した単純な波なのです。

フーリエの影響を受けた数々の数学・物理学理論

フーリエが熱現象を関数として捉え、その関数は三角関数に分けることで表すことができると主張したことは、その後の数学・物理学の発展に大いに寄与することになります。フーリエの「すべての関数は三角関数を無限個足し合わせることで表すことができる」という主張は、当時の数学界にとって重要な問題提起となります。それまでの数学では「すべての関数」とは何か、また「無限個の足し合わせ」とは何かが厳密に議論されていませんでした。フーリエの問題提起をきっかけにして、後の集合論、積分論、確率論といった多くの分野が発展していくことになります。また、無限の周波数成分に分けられる関数の長さという考え方から、関数を作る無限次元の空間という概念が生まれ、ヒルベルト空間という量子力学の数理的基礎へとつながったり、量子力学の不確定性原理が数学的にはフーリエ解析の不等式として表されたりするなど、物理学の発展にも多大な影響を及ぼしました。

このようにして、フーリエは様々な形の波を単純な三角関数に分けることができると示しました。これにより、熱現象を三角関数を用いて表すことに成功したのです。

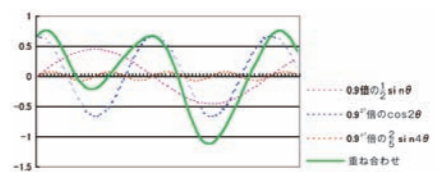
熱の動きを解析する

「フーリエの法則」と「フーリエ展開」を用いることで、固体でも液体・気体でも、小さな金属から地球表面の熱にいたるまでの、様々な熱の動きを計算により求めることができます。

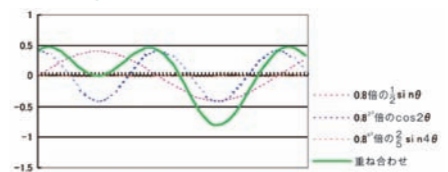
全体の熱の状態が、時間が経つにつれてどのように変化していくのかを知りたいときには、先ほどのフーリエ展開が活躍します。まず、熱の分布状態を曲線で表したものをフーリエ展開します。要素に分けられた一つひとつの三角関数は振幅が時間とともに形を維持したまま小さくなっていきます。その小さくなる速度は、周波数が大きいほど速くなります ($\sin \theta$ が r 倍になるときに、 $\sin n \theta$ は r^n 倍になる)。

一つひとつは単純な三角関数なので熱の時間変化も簡単に求められます。そして、ある時刻における熱の状態を表現するには、時間に伴って振幅が小さくなった各々単純な三角関数を再び重ね合わせればよいのです。図6は、図5を初期状態とした場合の熱の伝わり方を図にしたものです。

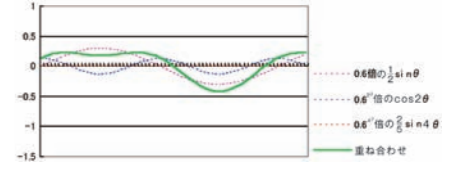
(図6) 熱の移動の図解



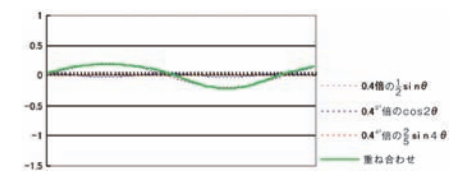
$\frac{1}{2} \sin \theta$ が0.9倍になると $\cos 2 \theta$ は 0.9^{4^2} 倍 (約0.66倍) になり、 $\frac{2}{5} \sin 4 \theta$ は 0.9^{4^2} 倍 (約0.19倍) になる。3つの要素の中で周波数が最も大きい $\frac{2}{5} \sin 4 \theta$ が最初に目立って小さくなる。



$\frac{1}{2} \sin \theta$ が0.8倍になると、 $\frac{2}{5} \sin 4 \theta$ の波はほぼなくなる ($0.8^{4^2} \approx 0.03$)。



次に $\cos 2 \theta$ の波が目立って小さくなる。



$\frac{1}{2} \sin \theta$ が0.4倍になると、 $\cos 2 \theta$ もほとんどなくなり ($0.4^{4^2} \approx 0.03$)、全体の波が $\frac{1}{2} \sin \theta$ の波の動きと重なってくる。

このような考え方は熱現象だけではなく、自然界に見られる様々な拡散現象の説明にも用いることができます。

現代でも応用されるフーリエのアイデア

フーリエの解析学は、私たちの非常に身近なところでも活用されています。たとえば、遠く離れたテレビ塔などから送られてくるテレビやラジオの電波は、データの周波数を変換して送り出されています。そして、受信した側でその電波からデータを復元して画像や音声を再現しているのです。

また、コンピュータなどで画像や音声を送受信する際に用いられるデータ圧縮の技術にもフーリエのアイデアが生かされています。たとえば、画像データ圧縮の場合、圧縮する前の画像データは、画像の点一つひとつについてそれぞれ色の3成分 (赤、緑、青) の濃淡のデータが含まれています。そのため一般にデータ量が大きくなってしまいます。そこで、各色の濃淡分布を位置の関数とし、その関数に対してフーリエ変換を行うことなどでデータ量を小さくしています。

テレビの電波にも送られてくる映像にもフーリエのアイデアがかかっているのです。私たちが日頃テレビを楽しんだり、インターネットで画像や音声を受信したりできるのは、実はフーリエの発見があったからこそなのです。

銀河と銀河団の観測から見えてくるもの

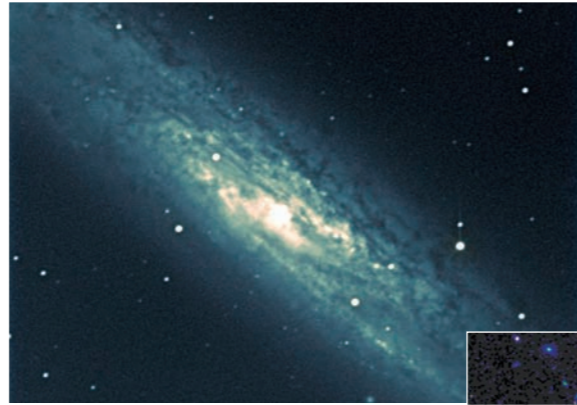
大気に包まれた地球から一歩外へ出れば、そこには地上で実現できる「真空」よりもはるかに物質密度の低い世界が広がっています。どこまで行っても、星やガス以外に出会うものはなさそうです。しかし現代宇宙物理学は、そこには明らかに何か得体のしれない目に見えない物が充満していることを突き止めています。その見えない物をどうやって確かめ、測定するのか。X線による観測でそのダークマターと呼ばれる物質の正体をつきとめようとしている三好蕃先生に長年に亘る取り組みの一端をお聞きました。

ほぼ解明されてきた全宇宙の組成

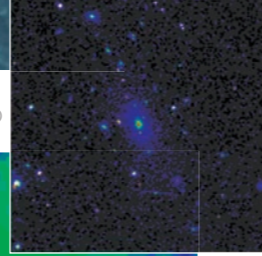
宇宙空間が得体の知れない物で満たされている、こんな衝撃的な事実が分り始めたのが1980年代。宇宙の始まりやその全体の仕組みが様々な観測によって明らかになるにつれて、物質や光(電磁波)しか含まないと考えられていた宇宙が、実は真空エネルギーとダークマター(暗黒物質)というものでほとんど満たされていると結論付けられたのです。このうち真空エネルギーの方は、いろいろと紆余曲折を経て、今はダークエネルギーと呼ばれています。一方、ダークマターはその真空の中を自由に動き回る物質粒子です。このダークマターという名称は、光をはじめとする電磁波では直接観測ができない、すなわち“見えない”ことから来ています。最新の宇宙物理学の成果として、宇宙を満たす総エネルギー(質量)のうち73%がダークエネルギー、23%がダークマターで占められているのに対し、私たちの地球や太陽、そして銀河に含まれる星や塵やガス、それから近年話題になっているブラックホールや、中性子星、さらにはクェーサーなどを構成する物質(バリオン物質)がわずか4%にすぎないことも分ってきました。ダークマター粒子の正体解明は、質量の起源、さらには究極の物質の究明にとって非常に大切なのです。

銀河のダークマター

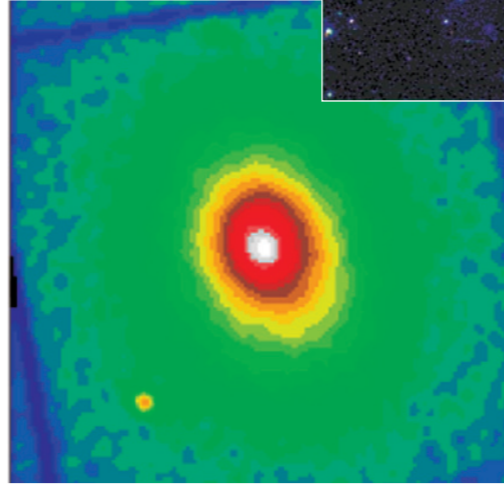
ダークマターが何であるかについて、当初はブラックホールや暗い星ではないかとか、また最近では小柴博士のノーベル賞受賞にもつながったニュートリノではないかなど、様々な予想がされてきました。しかし今日では、ダークマターの大部分は私たちがまだその正体を知らない未知の素粒子であると考えられています※1。ダークマターの存在が最初に確認されたのは、銀河団です。次いで、銀河団の構成要素である個々の銀河にもこの見えない質量が大量に存在することが分ってきました。ケプラーの第2法則をご存知でしょうか。惑星の公転(回転)速度は太陽から遠いほど遅い、というのですが、これは太陽系の中心にある太陽に質量が集中しているために引き起こされる現象です。全体が平たい構造の渦巻き銀河も、見た目には中心近くに質量が集中しているように思われる(写真①)ため、やはり



写真① (提供・国立天文台)



写真②



写真③

X線を使ってダークマターの正体を探る

銀河団のダークマター

銀河団はたくさんの銀河の集団で、各メンバー銀河は銀河団の中を動き回っています。それらがバラバラに飛散してしまわないためには、それらをつなぎ止めておく強い重力が必要ですが、これについては、銀河たちの全運動エネルギー T とポテンシャルエネルギー U の間に $2T+U=0$...①の関係式が成立しなければならないという定理(ピリアル定理)があります。 T と U は、それぞれ $T \sim \frac{1}{2} M_g \bar{V}^2$, $U \sim -\frac{GM_g}{R}$...②で与えられます。ここで、 M_g は銀河団に含まれる銀河の質量の総和、 M は銀河団の全質量、 \bar{V}^2 は銀河の速度分散(個々の銀河が銀河団の中

FUTURE

卒業したら

これまでかなりの人たちが一流の会社へ就職しています。公務員や高等学校の先生になった人もいます。大学院の博士前期課程を終えて大手電機メーカーの宇宙開発部など、学んだことが直接活かせる仕事についている卒業生もたくさんいます。博士後期課程を修了して博士となり、今は大学の先生になっている人もいます。

理学部・物理科学科
三好蕃 教授

PROFILE

物理が好きで、湯川博士がおられた京都大学理学部へ。3年次の冬に「宇宙線の起源」と題する集中講義に来られた名古屋大学の早川幸男教授(宇宙線研究の世界的権威で、日本におけるX線天文学やγ線天文学の創始者。晩年は名古屋大学学長を務める。1992年没)に惹かれ名古屋大学大学院に進み、X線天文学を専攻。はじめ銀河系内の点状X線源を相手にしたが、後に研究対象を銀河、銀河団、さらには宇宙全体にまで拡げ、クェーサーや宇宙X線背景放射の研究などにも取り組む。1990年1月に発表した、吸収を受けた遠いクェーサーからのX線の重ね合わせで宇宙X線背景放射を説明した論文(M.J.ReesやA.C.Fabianとの共著)は多くの論文に引用され、その後の宇宙X線背景放射の起源に関する研究の方向付けに貢献した。

で動き回っている速度の2乗の平均値)、 R は銀河団の半径で、 \sim は「およそ等しい」ことを表します。式①、②から

$$M \sim \frac{\bar{V}^2 R}{G}$$

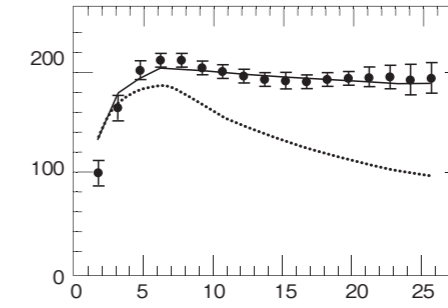
となります。各銀河の視線方向の速度はその赤方偏移※2の観測から求められ、 \bar{V}^2 はそれから求まる視線方向の速度分散の3倍に等しく、 R は銀河団の天球上における拡がりの角度の半分に、われわれから銀河団までの距離を掛けることによって求められます※3。

こうして求められた銀河団の全質量を各メンバー銀河の質量(先程述べたように回転曲線から求まります)の合計と比べた結果、銀河団の全質量が、光で見える銀河の質量の総和の数十倍から数百倍も大きいことがわかったのです。つまり、光や電波で直接観測できないけれど、質量を持ったモノ、すなわちダークマターがそこに確実に存在するということです※4。

X線を使って、銀河団のダークマターの質量分布を測る

このようにその存在が確実視されているダークマターですが、今後、X線天文学の方からその粒子質量を決めることができれば、素粒子理論に大きなヒントを与えることができます。もちろん、他にも様々な検出実験がなされたり計画されたりしていて、それぞれに得意とする粒子質量範囲があります。いずれにしろそう遠くない将来に、どなか

グラフ① NGC4157の回転曲線



の方法でダークマター粒子の質量も決まることと思いますが、その時まで私たちの研究も続くこととなります。

写真②と③は同じ銀河団A2029の光とX線によるイメージです。物質は何千万度にもなるとX線を放出しますから、写真③の白から緑で示された(X線の強い)領域は、熱いプラズマが大量に充満しているところです。温度が高いということはプラズマ粒子の運動エネルギーも大きく、物質の動きも早いことを意味しますから、それを引き止めておくには強い重力が必要で、その重力の源となる質量も大きくなければなりません。

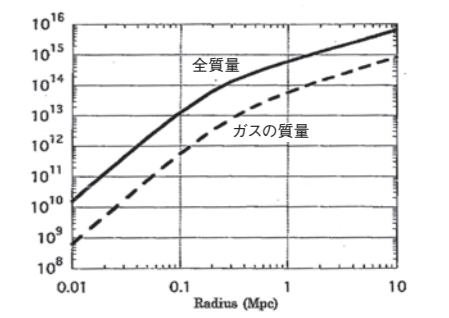
さて、その質量の実際の分布を知る方法ですが、まず写真③のような銀河団のX線像をできるだけ細く輪切りにします。そして各リングのX線スペクトルから温度を、X線の明るさ(表面輝度)からガス密度(ρ_g)を導出します(実際にはかなり手の込んだ解析が必要ですが、ここでは省略します)。こうして求めた温度とガス密度の積から、それぞれの半径(r)ごとのプラズマガスの圧力がわかります。その圧力は中心ほど高く、外側へいくほど低いので、半径方向外向きに勾配を持ち、この圧力勾配がプラズマのガスを外へ押し出す力になります。

この力に拮抗して、銀河団全体の膨張・飛散を妨げるのが重力で、この両者の釣り合いから、重力加速度の大きさ = $\frac{\text{圧力勾配の大きさ}}{\rho_g}$ となります。重力加速度の大きさは $-\frac{GM(r)}{r^2}$ で表されますから、

$$M(r) = r^2 \cdot \frac{\text{圧力勾配の大きさ}}{G\rho_g}$$

となつて、右辺の圧力勾配の大きさと ρ_g にX線観測から求まる値を代入して、半径 r の中にどれだけ質量があるかがわかります。グラフ②は銀河団A773についてこれを各半径ごとに対数グラフで表したものです(1Mpc $\approx 3 \times 10^{24}$ cm)。もちろん、今はまだ観測誤差が大きすぎ

グラフ② 半径 r までどれだけ質量があるかを示したグラフ(縦軸の単位:太陽質量)



て、こうしたグラフからダークマター粒子の質量を特定するまでの精度はありません。今後は観測誤差が小さくなるのを待つとともに、観測結果と比較してダークマター粒子の質量を正確に求めるための理論モデルの整備も急がれます(まだ十分なものがないので)。

他方、真空のエネルギーであるダークエネルギーの起源も不明のままです。どちらが先に解決されるか分かりませんが、宇宙の総エネルギーの96%が正体不明という現在の異常事態から、私たちは一日も早く抜け出すことを目指して研究を続けて行こうと思っています。さいわい、X線天文衛星や大望遠鏡はどれも世界中の研究者が利用できる仕組みになっているので、こうした研究を続けるのにまったく不自由は感じていません。京都に居ながら、常に世界の最先端の研究を続けて行くことができるのです。

※1 当初は、直接観測にかられないという理由で、不可視質量(missing mass)と呼ばれたり、あるいは、そういう得体の知れない物質の導入を避けたいという立場からニュートン力学そのものを変えて観測結果を説明しようとするMOND(修正ニュートン力学)が提案されたりと、様々な動きがありました。MONDは今も議論の渦中ですが、かりにMONDが正しいとしても、MONDだけで銀河の回転曲線を説明するのは無理で、ある程度のダークマターが必要であることが明らかになっています。

※2 現在私たちが見ている銀河も銀河団も、そのほとんどすべてが私たちが遠ざかっています。これを光学望遠鏡で観測すると、各原子や分子に固有のスペクトル線の波長がドップラー効果(*)によって長くなり、赤色のほうにずれています。これが赤方偏移と呼ばれる現象です。音のドップラー効果は、「音源や観測者の運動によって、音の振動数が変化して聞こえる現象」(啓林・物理I)。光についても同様の効果があります。

※3 波長がどれだけ赤のほうへずれたかは、 $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ (λ は観測された波長、 λ_0 は実験室で測った波長)で表されます。星が私たちが遠ざかっているスピードは、そのスピードが光速 c に比べて十分小さいときは、 $v = cz$ で表されます。またハッブルの法則によればそのスピードは私たちと星との間の距離に比例し、 $v = H_0 D$ (D は星とわれわれの距離、 H_0 はハッブル定数)と表されますから、 $D = \frac{v}{H_0} = \frac{cz}{H_0}$ と求まります。また銀河団の広がり角度 α (ラジアン)は観測でわかりますから、 $\frac{\alpha}{2}$ に D を掛けることで、 R が求まります。

※4 全体の質量から銀河(星)の質量とプラズマ(ガス)の質量を差し引いた値がダークマターの質量となる。ガスの質量は星の5~6倍あり、ダークマター対(星+ガス)の質量比はだいたい6:1で、宇宙における23:4にはほぼ等しい!

ADVICE

高校時代は何を

高校の理系コースに置かれている数学や理科(とくに物理)を勉強しておくことは、大学で物理を学ぶためには必ず必要です。でも、もっと大切なのは物理が好きという気持と、その好きな物理を究めるためにはどんなに苦しい勉強でも頑張るぞという熱い心です。ハッブルは最初、弁護士をしていましたが、ほどなくして大学院へ入り直し天文学の道を極めました。高校時代にはスポーツ万能選手で、ボクシングもプロ並みに強かったと聞きます。天文学への情熱に加えて、その強靱な体力も彼の精力的な観測を支えたものと思われれます。今度の学習指導要領の改訂では理数の授業時間が増えると聞きますが、大切なのは、教えられることで終わりとせず、自分から意欲をもってどれだけ勉強するかということです。

免疫学と分子生物学を基礎とする がん治療薬の開発

高齢化社会を迎え、今や日本人の死亡原因の3分の1となったがん。昨年には、その予防や早期発見・治療、緩和ケアの充実、専門医養成、積極的ながん登録などを盛り込んだ、がん対策推進基本法が施行されました。もちろん世界的にも、がんに対する取り組みは様々な分野、領域で急速に進められています。治療薬や治療方法の開発はビジネス的にも大きな市場であるからです。免疫学と分子生物学の境界で、新薬開発のための研究で世界と鎗を削っている中田博先生に、これまでの成果と今後の展望を(研究の面白さとともに)語っていただきました。

若い日の抗体研究が、 今また新薬開発の鍵を握る

大学院生の1君が、ムチンという糖タンパク質(図②参照)の刺激を受けると、免疫系細胞の一つであるマクロファージの中で、プロスタグランジンという生理活性物質を合成する酵素、シクロオキシゲナーゼ(COX)2の量が明らかに増えていたと、笑顔で報告に来たのは5年前、2002年の春のことです。この成果で、私の研究室は、科学技術振興機構による戦略的創造研究支援事業の拠点に選ばれ、この5年間は国の支援を受けて研究を続けてきました。

みなさんの中には病気に罹って血液検査を受けたことのある人もいますが、ムチンはがんなどを発見するための腫瘍マーカーの一つとして検査項目の中に顔を出します。

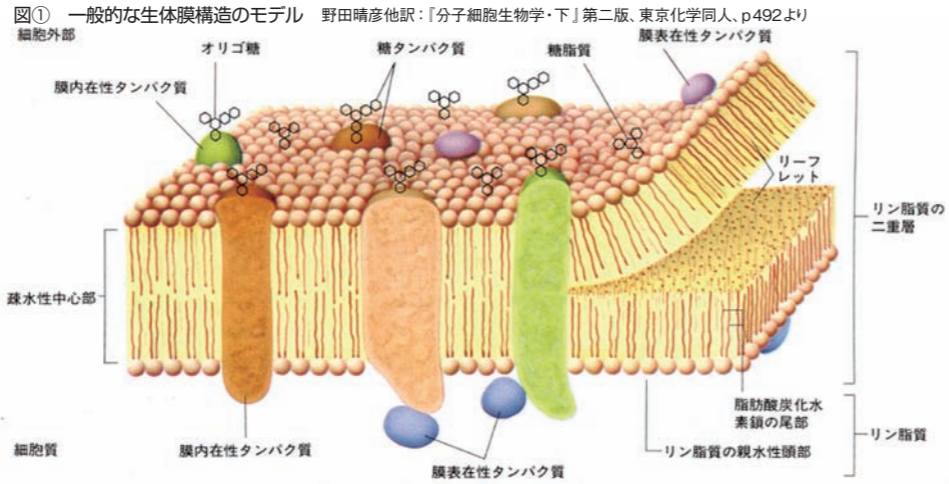
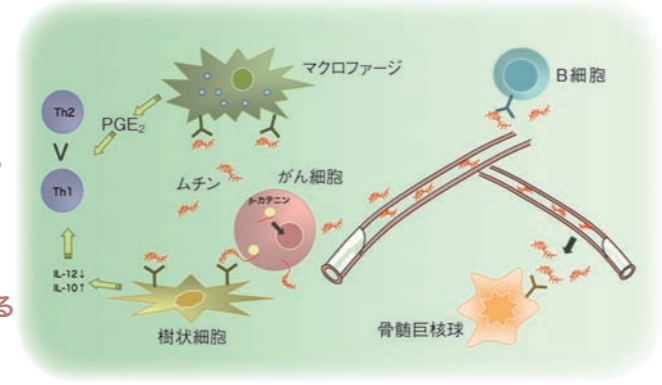
ムチンは通常、気道や消化管などの上皮細胞表面(図①参照)に分泌されたり、それを覆ったりして、外からの異物に攻撃されやすい上皮細胞を守る役目をしています。上皮細胞内で作られたムチンは、一定の輸送ルートで表面へ送り出されるのが普通ですが、がん細胞によって上皮細胞が壊されると(がん細胞も上皮細胞からできる)、がんの作ったムチンはがん組織全般へ分泌され、中には血液中に出てくるものも現れます。こうしたムチンは先端の糖鎖※1が質的に変化していることから、がんに関連した糖鎖抗原の一つと見なされ、腫瘍マーカーの一つとなっているのです。

腫瘍マーカーに対しては、それに反応する抗体として、モノクローマ抗体という、単一の性質を持ち量産できるものが使われていますが、実はこのモノクローマ抗体を作るのが私の研究人生の出発点だったのです。当時私はがんが産生するムチンを識別する三種類のモノクローマ抗体を作ることに成功し、がんの早期発見に貢献するという、大きな夢を描いていたのです。

最初の成果、ムチンがプロスタグランジンE2の産生を高める

しかし、ムチンが血中に出てくるまでにはかなり時間がかかりますから、腫瘍マーカーでがんを発見しても早期に発見することはなかなか簡

図② がん細胞の作ったムチンが、マクロファージ、B細胞などに作用するイメージ図



ポストゲノム研究が バイオの未来を開く

単ではありません。がんの早期発見や治療に対してもっと有効な方法はないのかと、私は模索し始めました。そして血中に出てくるムチンそのものが、もしかしたらがんの進行に関連しているのではないかと、漠然と考えるようになりました。

そんな私が最初に注目したのは、20数年前から知られていたデータで、ムチンなどのがん関連糖鎖抗原の血中濃度が高い患者は、それが低い患者よりも5年生存率が低いというものです。そもそも、ムチンそのものがどこかで免疫力の低下に関係しているのではないかと、それも体のどこかががん化して初めてその接点が出てくるのではないかと、私はこのデータの背景をこのように考えてみたのです。これが免疫とがんの中間という、世界でも研究者の少ない領域を自分の研究の足場にするようになった原点です。

FUTURE

卒業したら 現在、研究室には6人の大学院生がいますが、私のゼミでは半数ぐらいの学部生が大学院へ進みます。学部生、大学院生ともに就職先としては製薬会社や食品会社が多いですね。バイオ産業はまだ発展途上ですが、ips細胞(万能細胞)の利用など、今後、飛躍的に伸びる可能性があります。本学科は、このような産業に対応できる技術を修得できますから、将来このような方面で活躍したい人にはピッタリだと思います。大学院長の立場から一言。面倒見のよいのが本学大学院の特徴です。

PROFILE

幼い頃から、勉強の成績は悪くはなかったけれど体が少し弱かった中田少年。早く大人になって、体の健康や薬について研究したいと夢を描いていた。高校時代、新聞に連載されていた大阪大学のバイオの草分けである故赤堀先生の新聞記事に触れ、その思いを一層募らせる。当時は医学部を出て研究者になるイメージがなかったため、薬学部(京都大学)へ。岡山県立総社高等学校出身。

がんが起こると、まずマクロファージや、T細胞、樹状細胞などの免疫系の細胞がこの異物に対してそれを取り除こうと行動を始めます。本来、これでがんは消滅するはずですが、実際にそうはなりません。原因はいろいろ考えられますが、一つには各種の臨床データからも、マクロファージなどが、がんに対して本来の力を発揮できていないことが考えられます。というよりも、がんによって死に体にされ、逆にうまく利用されている節さえあるのです。そもそもマクロファージは、免疫系の機能以外にも生理活性物質などの因子を出す宝庫です。逆に利用されればがんが自らを増殖させる

にはもってこいです。マクロファージ、がん、ムチンの間に、これまで誰も考えなかったような分子機構が働いているのではないかと。そんな仮説を立てて、私は、7、8年前にすでにその合成機構や機能、産生する酵素について明らかにされていたプロスタグランジンE2(PGE2)という生理活性物質を調べてみることにしました。この物質には免疫抑制やアポトーシス(細胞の自殺)を抑制する機能、さらに血管新生を促進させる機能などがあって、がんが増殖するのにこの上ない環境を整えることができます。

予想は簡単に当たりました。シャーレの中で培養したマクロファージに、ムチンをふりかけるとマクロファージはたくさんのPGE2を産生したのです。

成果2、スカベンジャーリセプターとCOX2

次の課題は、ムチンとPGE2を結ぶ分子機構を解明し、そこからPGE2の産生を抑える、あるいはムチンの刺激をどこかでストップさせる方法を見つけることです。

抗体が抗原を捉えたり、ウイルスが上皮細胞に感染したりするのと同じように、マクロファージも受容体(レセプター)を介して異物を捕えます。異物がムチンの場合、それを捕まえるのはスカベンジャーリセプターであることを私たちはまず発見しました。

工学部・生物工学科
中田 博 教授



がん組織に浸潤した※2マクロファージのスカベンジャーリセプターにムチンが結合すると、その情報が核に伝えられシクロオキシゲナーゼ(COX)という酵素の発現が促され、PGE2が産生されマクロファージの免疫力が弱められます。さらにそれだけでなく、産生されたPGE2は、血管新生など、がんが増殖するのに有利になるような生理作用を周囲にもたらすと考えられます。ちなみにCOXは、アスピリンによって抑制されることが知られていますが※3アスピリンはCOX1(構成的酵素)、COX2(誘導酵素)と二種類あるCOXの両方を抑制するため、COX1も抑制されてしまい胃壁があるなどの副作用があります。

様々な応用に夢は広がる

現在、製薬各社ではこのCOX2だけを抑制する新薬の開発に取り組み、大腸がんなどに著しい効果を挙げているところも出てきています。ただ、私の研究のオリジナルはレセプターとムチンの結合に端を発することから、それを生かした新薬の開発も進めています。そのうちの一つがスカベンジャーリセプターの断片を遺伝子操作で作製し、それをがん細胞に近寄るマクロファージの手前にはばら撒くという方法です。これだとムチンが分泌されていても、先にスカベンジャーリセプターの断片と結合し、マクロファージとは結合できなくなり、その免疫力を低下させることができなくなるからです。もっとも固形のがんに、どのようにこの断片を到達させるかには一工夫が必要で、薬への実用化には多少時間がかかるかもしれません。

しかし、がん以外の炎症性疾患の治療では、もっと早期の実用化が期待されます。リュウマチ、子宮内膜症などの炎症性疾患は、がん同様、組織や細胞の過形成(増えすぎ)が原因ですが、そのいずれにも私はマクロファージの関与を疑っています。もしそうであれば、スカベンジャーリセプターの断片を上手に炎症部位に注入してやれば、炎症を軽減することができるはずです。事実、動脈硬化を起こしたマウスの血中に、スカベンジャーリセプターを投与すると効果が上がったという成果を、外国の研究者が私たちの先を越して発表しました。

現在、私が最も有望視しているのはリュウマチの治療薬への応用です。これは京都府立

+プラスコラム+ B細胞とムチン

がん細胞が作ったムチンによって、免疫系細胞の機能が抑制され、免疫力が弱められているのではないかと。そんな仮説を、免疫系細胞の代表格とも言うべきB細胞についても考え、その機構の分析を行うとともに、それを新しい薬の開発にもつなげていきたいと考えている。

B細胞は自らの表面にB細胞受容体を持ち、それで抗原を捉え、その情報から同じ抗原と結合する抗体を細胞外へ分泌する。抗体が抗原を捉えると、それを目印に集まり、それを食べたり、殺したり、その毒素を中和したりするのがマクロファージだ。ただ、自己免疫疾患のような抗体が作られすぎるリスクを防ぐため、B細胞には抗体の産生を抑制する情報を取り入れるシングル2というレセプターもある。

実験の結果では、がんの作ったムチンはこのシングル2にも結合することが確かめられた。またマウスのお腹に乳がん細胞を作らせて、B細胞の多い脾臓、なかでも濾胞という組織の形成状態を調べたところ、ムチンを作るTA3-Haという乳がん細胞では、脾臓の中で異物を真っ先にキャッチするマージナルゾーンと呼ばれる部分でB細胞が消失し、TA3-St型と呼ばれるムチンを作らない乳がん細胞では、正常のままであることを世界で最初に確かめた(図②参照)。

また、北里大学と共同で胃がん治療のため切り取られた人間の脾臓標本で、濾胞の面積を積算したところ、がん産生のムチン(CA19-9)の血中濃度が高い患者ほど濾胞の面積が減少していることを、これも世界で初めて確かめることができた。

つまり、がんに対する免疫力を高めるには、このような血中ムチンをいかに除くかが重要になってくると考えられる。ムチンの抗体を樹脂に結合させ、その樹脂を詰めたチューブの中に血液を通すことでムチンを除く、あるいは血中に、直接、抗体を注入するなどして、ムチンを抗体に接合させ、それをマクロファージに食べさせることで血中から取り除く方法を開発していきたい。

医科大学の先生と共同で行なっているもので、リュウマチを起こしたマウスに断片を投与することで実際に効果を挙げており、先頃特許申請にこぎつきました。同様に子宮内膜症の治療についても、研究は順調に進んでいて、こちらも特許を取得する方向で進めています。これらの病気で治療薬を完成できれば、本命であるがんの予防、治療にもあと一歩と迫ることができるのではないかと、大いに夢を膨らませています。

※1 糖の分子が鎖のようにいくつもつながったもので(図①の黒丸で示された部分)、たんぱく質の先端に付いてそれが正常に働くのに欠かせない役割を担っているもの。
※2 浸入して広がること。
※3 欧米には、リュウマチなどの炎症性疾患を持ちアスピリンを常用する患者では、大腸がんの発現率が通常の人の40%という統計がある。

ADVICE

高校時代にはどんな勉強を? 人間にとって必要なアミノ酸は20種類しかありません。高校の化学では、私たちの時代もそうでしたが、これを知っておくにはありません。どのような学問分野でも基礎的な知識は必要なのです。受験のためと思うと本当に味気ないですが、大学、あるいは研究室に入ると、この時の知識がすべて役に立つことをしみじみと感じます。ただし、知識を単なる知識に終わらせず、知力に結びつけていくためには、これを生物現象の一つの歯車として理解する必要があります。ただ、こうした理解の仕方は高校ではなかなか難しい面もありますから、大学ではみなさんの持っている引き出しを増やすだけでなく、これらの知識を統合して理解できるように講義をしているのです。その時引き出しは、少しでも多いほうがいいですね。

1台より2台の方が速い

コンピュータを作るときに、至上命題とされるのは「いかに速いコンピュータを作るか」ということです。コンピュータは年々速くなり、一般のユーザが計算速度で困ることは極めて少なくなりましたが、たとえば地球規模の環境変動をシミュレートするといった、膨大な計算を要する課題に対しては、まだまだ十分な計算能力とは言えません。

2002年から日本で運用開始されたスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」は1秒間に約40兆回の浮動小数点数^{※2}の計算ができます。しかし、それでも全地球の気候変動をシミュレートするときには地表を1億個程度にしか分割していないのです。1億個の区画に分割しているという、十分に細かいように聞こえるかもしれませんが、地球の全表面が対象ですから、実は1区画あたり一辺数km～十数kmにもなります。数km四方の中で起こっている気象現象を一つの点で代表させて表すわけですから、十分な精度とは言えないでしょう。

コンピュータの計算速度を向上させるには、一つひとつのプロセッサの性能を向上させることに加えて、プロセッサを複数個つなげて計算させる「並列処理」という方法があります。1台で計算するよりも2台3台…で協力したほうが当然計算は速くなるからです。

クラスタシステムとマルチコア

プロセッサを複数個使って計算をさせる方法のうち、最近よく用いられるものとして次の2通りのやり方があります。ひとつが「クラスタシステム」と呼ばれる方法で、もうひとつが「マルチコア」と呼ばれる方法です。

クラスタシステムでは、システムを構成する複数台のコンピュータのそれぞれにプロセッサが搭載されていて、それぞれは単独でも動かすことができます。そして、そのコンピュータ同士をネットワークで結びつけて、一つの大きなコンピュータとして使う並列コンピュータシステムです。

スーパーニアアクセラレーション

マルチプロセッサによる並列処理では、プロセッサの数を(たとえば)4倍にしたときに計算速度が4倍を超えて速くなるという現象が起こることがあります。この現象のことを「スーパーニアアクセラレーション(超線形加速)」といいます。「超線形加速」というのは、「線形加速」を超えた加速という意味です。プロセッサの個数をn倍にしたとき速度もn倍になるのが線形加速です。多くの場合、実際には線形加速よりも遅くなるものですが、ある条件が揃ったときに線形加速を超えることがあります。コンピュータの性質上、コンピュータのメインメモリを使うよりも、プロセッサのより近くにあるキャッシュというメモリを使うほうが計算が速くなります。プロセッサが増える一つひとつのプロセッサが担当する計算量が小さくなると、コンピュータのメインメモリを使う割合が減少し、より多くの計算をキャッシュだけで行えるようになるため、このような現象が起きるのです。

本格的なマルチプロセッサ時代の幕開け

かつて、スーパーコンピュータと一般のコンピュータとの間で異なっていた構成方法のひとつに、複数個のプロセッサ^{※1}で同時に計算を行い処理速度を高める「マルチプロセッサ」という方法がありました。ところが近年、一般のユーザが使うパソコンや家庭用のゲーム機などでも、かつては考えられなかったマルチプロセッサを搭載したものが登場しています。今やコンピュータは本格的なマルチプロセッサの時代を迎えたのです。マルチプロセッサとはいったいどういう技術なのか、コンピュータの並列処理技術がご専門の新實治男先生に近年のスーパーコンピュータの開発競争なども併せて、お話をいただきました。

並列処理技術でコンピュータはもっと速くなる

一方、マルチコアは複数のプロセッサをひとつのマイクロチップの中に搭載します。みなさんの身近なところでは、ソニーの最新の家庭用ゲーム機がマルチコアのチップを使用していますし、パソコンでも比較的新しい機種にはこのようなタイプのチップが入っています。以下で、クラスタシステムとマルチコア、それぞれの特徴を見ていきましょう。

スケラビリティで優位のクラスタシステム

クラスタシステムは、独自に計算を行うコンピュータを複数台つないで動かすため、従来のプログラムそのままでも並列処理することはできないという短所があります。ただ、90年代後半ごろからパソコンの規格の共通化や価格の低下によって、そのメリットが目立ってきました。クラスタシステムの最大のメリットは、スケラビリティ(大規模化しやすいこと)です。10台でうまくいった並列計算法は100台でもうまく動くことが多く、また、システムを構成する

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

PROFILE

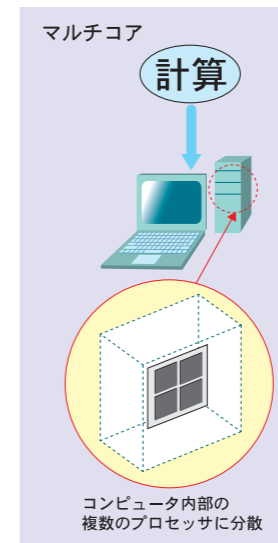
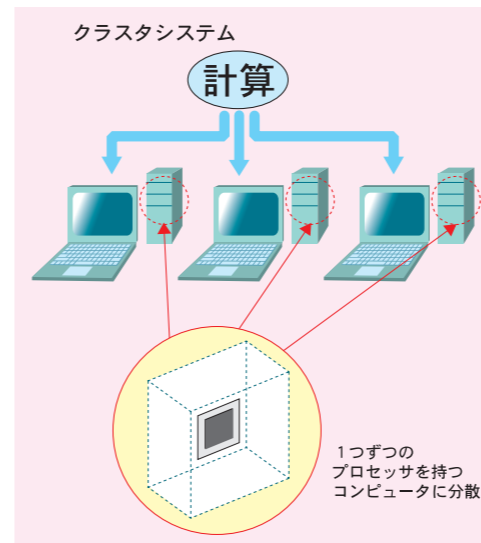
工学博士。専門は超並列コンピュータシステムの構成方式。コンピュータシステムの性能を格段に向上させるために必要不可欠な並列処理の諸技術を研究対象とする。ハードウェアアーキテクチャからオペレーティングシステム、プログラミング言語、各種応用に至るまで、幅広く総合的に取り組む。コンピュータが使い易くなっていくことは、ハードウェアもソフトウェアもブラックボックス化していくこと。しかし、エンジニアはすべての仕組みを理解したうえで設計に臨むべきだという方針のもと、学生の指導にあたっている。

一台一台のパソコンの性能が時代遅れになれば、その一台ずつを交換していくことで常にその時代の技術に見合った計算能力を保つことができます。

この後者のメリットが意外に大きな意味があります。大型コンピュータの開発には一般に長い年月が必要とされます。そのため、5年かけて開発するコンピュータであれば、5年後の技術進展や他のコンピュータの性能を予測しながら設計することになります。設計時点で世界最高の性能であっても、5年後にはありふれた性能ということも少なくありません。しかし、クラスタシステムでは、すでにできあがっているパソコンを使うことで、予測ミスのリスクを避けることができるのです。

プログラムがそのままでも使えるマルチコア

マルチコアでは、一つのマイクロチップの中に複数個のプロセッサが入っているた



内に、地球シミュレータの約250倍の計算速度である1秒間に1京回(1兆の1万倍)の浮動小数点演算ができる性能を目指しています。1京回の計算ができるコンピュータということで「汎用京速計算機」と呼ばれています。

地球シミュレータが地球規模の環境変動を計算対象としたのに対して、京速計算機では、ライフサイエンスとナノテクノロジーの2分野がメインターゲットに設定されています。ライフサイエンス分野では、遺伝子レベルから細胞、器官、骨格、血流など人体の全てをシミュレートできるソフトの開発が目指され、ナノテクノロジー分野では、ナノ材料をそのまま解析できるような環境を整えるとのことでした。

並列処理のこれから

プロセッサを複数個つなげてコンピュータの計算速度を高めようという発想は、実はかなり前からあったものです。しかし、コンピュータが非常に高価なものだった時代には、たくさんつけて使うということがあまり現実的なアイデアではありませんでした。スーパーコンピュータなどの一部例外を除き、コンピュータは一つだけのプロセッサで計算を実行するもの(シングルプロセッサ)というのが一般的でした。そのため、プログラミング言語などの開発環境もシングルプロセッサが前提とされてきました。

ところが、90年代後半ごろからのプロセッサの高性能化・低価格化により、複数個のプロ

と転落します。その後も、アジア最速の座は日本のスーパーコンピュータが占めていましたが、2007年にインドのスーパーコンピュータによりアジア最速の座からも転落してしまいます。

現在、文部科学省では、再び世界最速のスーパーコンピュータを開発するプロジェクトを進めています。計画では2010年度

光の速度も考慮

コンピュータは、計算速度を高めるためには小さく作らなければなりません。なぜかという、配線を通る信号にも、そのスピードに物理的な限界があるからです。たとえば1GHzというクロック周波数のプロセッサがあるとします。クロックというのはプロセッサの基本動作のタイミングを制御する信号のことで、その周波数が1GHzというのは1秒間に10億回タイミングを取るという意味です(これは決して超高速というわけではなく現在のパソコンでも使われている程度の性能です)。光は秒速約30万kmで進みますから、10億分の1秒の間に進む距離は約30cmです。つまり、クロック周波数1GHzのプロセッサにとって、30cm以上の距離というのは1クロックで信号が届かない距離ということになるのです。電気信号はさらにその数分の1のスピードでしか伝わりませんから、30cm以上の長さの配線に信号を流すということは、数クロック分の時間が無駄になってしまうということなのです。このようにコンピュータがどんどん高速になってくると、光の速度までも考慮に入れた設計が必要になるのです。

セッサで並列的に計算を実行させるということが、多くのエンジニア・ユーザに急速に注目されるようになります。現在では、複数個のプロセッサを搭載したコンピュータも簡単に手に入るようになり、並列処理が一般的なものになってきています。

しかしながら、従来までのシングルプロセッサのために整えられた開発環境では、並列処理のメリットを十分に活かさないだけでなく、不都合が起こることもあります。大手CPUメーカーのインテルなどが並列用の開発環境を提案するなど、これからはマルチプロセッサを前提とした時代がやってきます。

ただ、プロセッサをいくつも並べると、並べられたプロセッサが放出する熱量が大きくなるという問題もあり、単純に並べる個数を増やすだけではいずれ限界が来るでしょう。今の形のコンピュータが登場して約60年、私たちは次のコンピュータ技術への転換点に立っているとも言えます。ひょっとすると10年後のコンピュータは、今とまったく異なる仕組みになっているかもしれません。

コンピュータは文系も活躍できる分野

コンピュータを学び、研究するという分野は、どうしても理系というイメージを持っている人が多いかもしれません。しかし、私はこの分野は「文系」の人が活躍できる余地の大きい分野だと思っています。本来、高校で文系と理系に分けることにはあまり意味がありません。入試科目との関係で、どちらのほうがより得点できるかによって便宜的に分けただけの分類に過ぎないからです。専門的な勉強は、高校レベルの基礎さえしっかりとできていれば、入学してからいくらでもできます。情報に興味があるのに単に数学や物理ができない(試験の点数が悪い)という理由だけで文系に進学するのはもったいないように感じます。特に、情報技術はユーザに評価されなければ生き残れない、使う側の視点が重要な分野です。文系的な発想の得意な学生諸君が参加してくれることで、非常におもしろくなる分野なのです。

※1 プロセッサ:コンピュータの頭脳であり、核となる部分で「CPU」とも呼ばれる。
※2 浮動小数点数:たとえば12,300を1.23×10⁴というふうに、1.23(仮数部)と4(指数部)との組合せで表現した数のこと。絶対値の極端に大きな値や小さな値を表現するのに適している。それに対して12,300といった普段の表し方は「固定小数点」と呼ばれる。一般に浮動小数点数の計算の方が固定小数点数の計算よりも時間がかかる。また、多くの数値計算プログラムでは浮動小数点数での計算を行う。これらのことから、コンピュータの計算能力を表す尺度としては、1秒間に浮動小数点数での計算が何回できるかを表すFLOPSという単位が用いられている。

ますます困難になる設計検証

コンピュータの登場により、私たちの周りで働く機械や装置などのシステムが複雑化・大規模化してきました。近年のコンピュータの計算能力の向上が、この傾向をますます強めています。様々な装置が自律的に動くことで、私たちの生活は便利になったりコストが低くなったりとメリットもたくさんありますが、それと同時にシステムの設計に間違いがないかを検証することもより難しくなっています。

また、金融や社会インフラなど、経済活動や日常生活になくてはならないところでコンピュータシステムが使われています。これらのシステムは、一般に規模が大きいためだけでなく、絶対に設計ミスがあってはいけないという点が特徴です。銀行のオンラインシステムに不具合があれば、多くの人に影響が出て、お金の損失も出るでしょう。発電所のシステムが止まってしまうと、最悪の場合、命にかかわる事故につながるかもしれません。

大規模で複雑なシステムやわずかな設計ミスも許されないシステムは今後ますます増えていくと考えられます。この現状に対して従来の設計検証の方法では限界が現れてきました。いくつかの例を挙げてみましょう。

1993年にインテルが製造したあるプロセッサは、特定の数値の割り算で誤った答えを出しました。割り算の計算を高速にするため、あらかじめいくつかの割り算の答えを表にしておいて、その組合せから答えを出すという仕組みを用いたのですが、その表を作成する際に設計ミスが起こったのです。多くのユーザが交換を希望したため、莫大な損失(約4億7500万ドル)となりました。

1996年には、EUのロケット、アリアン5が打上げ後約40秒で爆発する事故が起きました。ロケットの推進能力が一代前アリアン4から大幅に強化されたため、姿勢を制御するプログラムが扱える数値の範囲を超えてしまったからでした。設計ミスとしては史上最も高くついた事例と言われています。

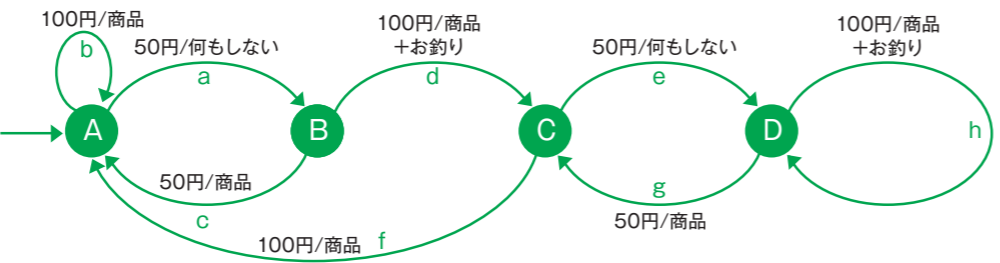
従来の設計検証の限界

それでは、従来の検証方法のどこに限界があるのでしょうか。従来の検証方法のひとつに論理シミュレーションと呼ばれるものがあります。ユーザがどのような使い方をするのかを想定して、その場合の結果を調べる方法です。設計者は様々な使い方を想定してシミュレーションを行います。先述したインテルのプロセッサの場合、間違った答えになるのは2万7千年に1回の頻度で行われる計算だったと言われています。アリアン5の場合は、アリアン4までは問題のなかったプログラムを再利用しましたが、アリアン4では想定されていなかった大きな加

速度が加わり、その計算が正しく行われなかったのです。いずれの場合も設計者が想定していない計算が現実に行われてしまったのです。

論理シミュレーションによる設計検証

論理シミュレーションによる設計検証の方法を、非常にシンプルな例で見ましょう。設計するのは、100円の商品を出る自動販売機で、投入できるコインは50円と100円です。



速く確実に設計ミスを見つけ出すために

現在、私たちの生活や社会の重要な部分で、大規模なシステムがたくさん稼動しています。社会のインフラを支えるような大きなシステムは設計も大掛かりとなり、設計に誤りがないかを調べる「設計検証」も当然複雑なものとなります。また、生活に密接に結びつくシステムでは、たったひとつの設計ミスがあってもたらされる損失が大きく、設計ミスを見落とし無く確実に見つけることも課題となっています。平石裕実先生は、時相論理を用いて設計を検証する方法の研究が専門です。論理で設計を検証するとはいったいどのような方法なのかをお話いただきました。

設計の正しさを 確かめる論理の力

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。専門は論理システムの設計検証。設計検証の速度を向上させるための並列コンピュータリング(特にマルチプロセッサ※1)も研究対象。研究室にはプログラムを学ぶ学生も多く、設計検証ソフトのユーザ・インタフェースの改良も研究テーマのひとつ。高校生へのアドバイスをたずねると「一口に数学と言っても、連続的なもの(微積分など)と離散系のもの(組合せなど)とに分かれ、得意分野も人によって分かれる。微積分が苦手でもあきらめずに、論理的に考える習慣を身につけて、きちんと証明するトレーニングを積んでほしい」とのこと。
※1 複数のCPUを使って計算を行うこと。一般に単体のCPUよりも計算能力が高まる。

100円で商品1つ、100円を超えると商品1つとお釣(50円)を返します。

下図がこの自動販売機の設計図です。スタート直後はAの状態になり、矢印が状態の遷移(移り変わり)を表しています。矢印(遷移枝)に書かれているのは、利用者の行動と自動販売機の出力です。「100円/商品」は「利用者が100円を入れる/自動販売機が商品を出す」と

いう意味です。

さて、自動販売機を作動させると、状態Aからスタートします。状態Aで100円を入れると商品を出し、再び状態Aへと戻ってきます。状態Aで50円を入れると何もせずに状態Bへと移ります。

シミュレーションにより設計を検証するには、利用者の使い方を想定し、自動販売機の状態遷移を調べます。たとえば次のような状態遷移を想定すると

A → 50円/何もしない → B…問題なし
A → 100円/商品 → A…問題なし
A → 50円/何もしない → B → 50円/商品 → A…問題なし
A → 50円/何もしない → B → 100円/商品 + お釣り → C…問題なし
A → 50円/何もしない → B → 100円/商品 + お釣り → C → 50円/何もしない → D…問題なし

ここまででは設計ミスが無いように見えます。では、50円、100円、50円、100円、50円と入れるとどうなるでしょう?

A → 50円/何もしない → B → 100円/商品 + お釣り → C → 50円/何もしない → D → 100円/商品 + お釣り → D → 50円/商品 → C

合計350円入れたのに対して、商品が3つとお釣が2回出てきました。つまり350円で400円分出てきたことになります。ここではじめて設計ミスがあると分かりました。この自動販売機は50円と100円しか使えないうえに商品も1種類だけという非常にシンプルなものですが、それでも最初の5通りのシミュレーションではミスが現れませんでした。実際のシステムはこれとは比較にならないほど複雑なものなのです。

現実の複雑なシステムでは、設計が正しいと言うために何通りのシミュレーションをすればいいのか、確実な正解はありません。100万通りのシミュレーションをパスしても、100万1通り目で不具合が生じるかもしれないからです。加えて、実際に運用されるシステムの状態数は100万をはるかに超える場合が一般的なのです。

数学的に設計の正しさを証明する

このような設計検証の難問に対して、ひとつの光明が現れたのは1980年代後半のことでした。システムの設計の正しさを数学的に証明する形式的設計検証の画期的な方法が提案されたのです。

それは、システムの状態や遷移を集合としてまとめて、集合を論理関数(※次章にて詳しく説明)によって表現する「記号モデル検査」と呼ばれる方法です。記号モデル検査では、状態を変数とした論理関数を作り、それを満たす解があるかないかを計算することで、設計を検証することができます。

論理関数を使った設計検証

高校生のみなさんには、論理関数という言葉はあまり聞き慣れないかもしれません。ここでは論理関数による表現とその操作について触れておきましょう。

論理関数とは、論理式で表された関数のことです。論理式には、通常の四則演算とは異なる論理演算が適用されます。主な論理演算には「論理和(or)」「論理積(and)」「論理否定(not)」などがあり、それぞれ「和集合」「共通集合」「補集合」に対応します。1(真、ある)と0(偽、ない)の二進法で表されます(表1)。

表1 論理演算による和・積・否定論理和(or/+)

a	b	a+b
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

論理積(and/・)

a	b	a・b
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

論理否定(not/¬)

a	ā
0	1
1	0

先ほどの自動販売機の例で実際の論理関数による設計検証を見てみましょう。変数xとyを使い状態A、B、C、Dをそれぞれ(x,y)=(0,0)、(0,1)、(1,0)、(1,1)とし、変数zを使って50円を0、100円を1とすると、表2のように各遷移枝を(x,y,z)で表すことができます。

表2 遷移枝の符号化

遷移枝	符号(x,y,z)	表している状態と投入されたコイン
a	0,0,0	状態A、50円
b	0,0,1	状態A、100円
c	0,1,0	状態B、50円
d	0,1,1	状態B、100円
e	1,0,0	状態C、50円
f	1,0,1	状態C、100円
g	1,1,0	状態D、50円
h	1,1,1	状態D、100円

このとき、次のようにそれぞれの集合を表せます。

商品を出した直後の状態集合 X = {A,C,D}

$$X = x + \bar{y}$$

集合Xから出ている50円の遷移枝の集合 Y = {a,e,g}

$$Y = X \cdot \bar{z} = (x + \bar{y}) \cdot \bar{z}$$

商品を出さず遷移枝の集合 Z = {b,c,d,f,g,h}

$$Z = \bar{x}yz + x\bar{y}z + \bar{x}y\bar{z} + x\bar{y}\bar{z} + xy\bar{z} + xyz = y + z$$

いずれの論理関数も集合を現した式です。各遷移枝のx,y,zの値を代入して、1となる枝は集合に含まれ、0となる枝は含まれません。

ここで、集合Y(商品を出した直後に50円入れた)と集合Z(商品を出す)の共通部分Y∩Zを論理演算したとき、必ず0にならないければ正しい設計ではありません。Y∩Zは「商品を出した直後に50円入ると商品が出てくる」を意味するからです。

ところが、この設計ではY∩Z=1を満たす遷移枝が存在します。g(1,1,0)です。確かめてみましょう。

$$\begin{aligned} Y \cap Z &= Y \cdot Z \\ &= (x + \bar{y}) \cdot \bar{z} \cdot (y + z) \\ g(1, 1, 0) \text{を代入すると} \\ (1 + \bar{1}) \cdot \bar{0} \cdot (1 + 0) \\ &= (1 + 0) \cdot 1 \cdot (1 + 0) \\ &= 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \end{aligned}$$

確かにgはY∩Zに含まれています。よって、この設計はgの部分に誤りがあると分かるのです。

記号モデル検査のメリットは、シミュレーションのように「どこまで確かめれば正しいと言えるのか」という問題がなく、論理関数を満たすか満たさないかという数学の問題に置き換えることで明確な解答が得られることです。さらに、状態や遷移枝を集合として扱うことで従来よりもずっと大きなシステムを検証することもできるのです。変数が1000個くらいまでの論理関数の計算は、現在のコンピュータでも十分可能な範囲です。0,1の2通りが1000個ですから、2¹⁰⁰⁰ ≒ 10³⁰⁰程度の状態や遷移枝を計算することができるのです。この計算能力は年々向上していて、今後さらに大きな論理関数も扱えるようになっていくでしょう。

数学が支える安心できる社会

現在、数学的に設計を検証する方法は、コンピュータ関連の企業を中心に実際に使われはじめています。先に登場したインテルをはじめマイクロソフトなどでも実用化や研究が進められていて、今後ますます必要とされるものになっていくと考えられます。当然、数学的な設計検証ができる人材もより求められるようになってでしょう。検証ソフトそのものや、ハードウェア・ソフトウェア・システムの記述言語との連携も大きな研究テーマになっています。

設計ミスを事前にすべてなくすることができれば、安全性と信頼性を確保できるだけでなく、より大規模なシステムを作成するなど私たちの創造性をもっと活かせる社会になることでしょう。それを実現するのが数学の論理の力なのです。

ユビキタスな生活環境での通訳者

私はいま、「人間の知性とロボットの知性の共生」というテーマに1番力を入れていて、対話型ロボットを使って色々な研究を進めています。ここでいう共生とは、人々の実際の日常的な暮らしの中で、人間とロボットが協力しあえるような仕組みを開発して、よりよい生活環境を実現していこうというものです。昨年秋に開催された東京モーターショーでは、「PIVO2」

人とロボットの対話に新しい関係作り

各種センサーやRFID（無線ICタグ）、カメラ、マイクといった機器を組み込んだユビキタスネットワーク環境の整った住居では、常にセンシング※4を行うことが可能です。センシングしたデータは、ユーザの情報として認識されて、新たなサービスに活用されます。そこに生活している人がいま何をしているのか、いま何を欲しがっているのかといったことを、気を利かせて

察知して、実行できるようになります。省エネなど、トータルに無駄を省くこともできるでしょう。

また、見たい番組が始まりそうな時に自動的にテレビを点けたりもするのですが、そんな時に「どうしてテレビが点いたの？」と聞くと、Phynoは「前に楽しそうに見ていた番組と似ているのがもうすぐ始まるからだよ」というように答えてくれます。人間からの質問に対して、自動的に実行されたその時の状況やその理由を説明する能力があるのです。この能力は、人とロボットの対話の中に、従来なかった新しい関係作りを可能にしていくものです。2009年には、京都産業大学にもユビキタス環境を整えた実

験室（キッチン、リビング、バスルームなど）が建設される予定ですから、みなさんが研究室に配属される頃には、より具体的な実験も可能になるでしょう。

ところで、こうしたユビキタスネットワーク環境におけるセンシング技術は、生活を便利で豊かなものにしてくれる一方で、個人の情報を扱い、それらを長期間に渡って大量に蓄積します。そこで、今後新しく生じるであろう種々の問題を的確に予測して、十分な対策を考えておくことも必要になります。個人情報とは、自分自身でコントロールできることが重要なものです。例えば、「さっきの映像は、私以外の人には見せないで」とか、「今の情報はメモリから消しておく」といった要求に応えられるようにしておく必要があるでしょう。現在、そういったプライバシーに関わる分野では、法律の専門家も交えて京都大学などと合同で研究を進めています。

対話型ロボットの開発 目指すは気の利くロボット

Phynoは「通訳者」のような存在であるといいましたが、ユビキタス技術を使ってユーザの嗜好・情報を認識したり、忘れ物をチェックしたり、各人の秘書のようでもあり、かつ「よく気の利く」パートナーのようでもあるといえます。そして、私たちはPhynoが具体的にどういったことができればよいのかということの研究しているのです。

Phynoは、会話の中からその人が何をしたいのかをきちんと理解しようとします。そして今後は、ユーザ自身ですら気がついていない、あまいな意図をも汲み取っていきけるような会話ロボットとして育てていきたいと考えています。

具体的な目標では、将来的に情報機器や家電製品などの取扱説明書がなくてもいいようにしたいと考えています。さまざまなニーズを持ったユーザがいるために、全てに応えようとして、現在の機器は過剰に複雑化しています。その結果、

取扱説明書はどんどん分厚く難解なものとなりました。これでは、ユーザにとって使いやすいものとはいえませんし、性能がいくらよくなって役に立ちません。

私の研究室では、こうした問題を解決する一つの方法として、次のようなことを考えています。システム設計者が世界的に共通化された仕様書を作り、それを読み込んだ対話型ロボット(Phyno)が、ユーザに合わせて必要な使い方を説明したり、機能を提案したりすることができる仕組みを開発するのです。そうすれば、ユーザはもう分厚い取扱説明書を読まなくても済むようになるはずで、「ユーザに合わせて」説明するためには、ユーザである人間のことをよく知らないといけません。いま、研究室の学生たちは、対話型ロボットが、どういう説明の仕方をすれば人間にとってわかりやすいのか、説明の仕方や説明する時の仕草を変えると人間はどう感じるのかといったことを実験するところから、この問題に取り組んでいます。

ロボットを通して見える 人間の不思議

現在、コンピュータなどの情報機器や家電製品等の性能は急速に向上しています。けれども、果たして本当に人間にとって使いやすく、よいものになっているかは疑問です。私たちは、ロボットを対話インタフェースとして知的システムと人間との間に入れることで、互いに知性を持つ人間とロボット、そして知的システムとの組み合わせの中から、これまでのシステムにはなかったような可能性を探っていきたいと考えています。せっかく技術が向上したのに、システム設計者もユーザも苦勞が増えているようではもったいない。ユビキタスネットワークなどの新しい技術と従来技術をうまく組み合わせ、 「世の中に役立つ知的システム」を創り出していきたいと思えます。

実証実験では、2週間一緒に生活するうち

落語のできるロボット

学生には、最初は練習問題として、落語の一節をPhynoに演じさせるプログラムを作らせたりしています。ある時はジェスチャー豊かに、時にはほんの小さなしぐさを駆使して聞き手を惹きつけて放さない話術など、落語から学ぶ点が多いからです。話し方や仕草、そしてそのタイミングの変化で、聞く人の感じ方がどう変わるのかということも、試行錯誤して体感してもらいます。そして、その経験を活かして、人を励ましたり、熱中しすぎている人に休憩を促したりするといった実際の応用に結びつく研究課題に取り組んでもらうようにしています。



にPhynoに愛着が湧いて「早く家に帰らなくて」という気持ちになる人や、「悪いことをするとPhynoがいうことを聞いてくれなくなるよ」といつかの子供のしつけに活用した人など、それぞれがPhynoとの関係を築いていました。ロボットというのは、不思議なものです。人間はロボットが生き物ではないとわかっていながら、愛着や喪失感を感じます。これはロボットというより、人間の不思議かもしれません。

人間の得意な部分と、ロボットの得意な部分とをうまく補い合っとう伸ばしていくかが、これからの時代の大きな課題です。質問したら説明してくれる、人の話をきちんと理解できるなど、人間から見て「なるほど」と思ってもらえるような「対話」ができるかどうか、人間のよきパートナーになれるかの大きな鍵を握るでしょう。若いみなさんには特に、従来技術で開発されてきた知的システム（冷たい知性）だけではなく、温かい知性であるロボットのあるべき姿を追求するという研究に闘志を燃やしてぶつかってほしいと思います。

ユビキタス^{※1} 社会の パートナーは 気の利くロボット

という名前のコンセプトカーが展示され、その運転席の前方に人とクルマの楽しいコミュニケーションを実現する小さなロボットがちよこんと搭載されていました。このニュースを見たときには、まさに「わが意を得たり、ここにも同じことを目指している研究仲間がいるのだ」と、とても嬉しかったですね。

研究室では、以前に私が開発した「Phyno (フィノ)」という名前の小型のコミュニケーションロボットを使っています。Phynoにはマイク・カメラ・スピーカーが内蔵されていて、人間と音声による会話ができます。さらに、首や手、胴体を動かして、仕草でノンバーバルなコミュニケーション※2をすることもできます。そして、ネットワーク接続されている家電製品をはじめとする各種の機器を制御することが可能となっています。

このロボットの役割は、「通訳者」のような存在だと考えるとわかりやすいでしょう。最近では、情報機器や家電製品などの機能が増え、操作方法が複雑化していて、ユーザが簡単には使いこなせないことがしばしばあります。そんなときには機械に詳しい人が身近にいて、わかりやすく説明してくれたらなあという気持ちになるものです。その時こそPhynoの出番です。

最近私が携わったプロジェクト※3では、家庭内のユビキタスネットワークによって情報機器や家電製品とPhynoとを相互に接続した生活実験住宅を構築しました。そして、ユーザがいま何をしたいのかということをPhynoに話しかければ、Phynoが機器や製品を制御して、それを実行する仕組みを組み込んだのです。この生活実験住宅の中で、Phynoは情報機器や家電製品などと、そこに生活する人との間の通訳者として活躍しました。「少し暗いね」と言えば、Phynoが部屋の明かりを適切な明るさに調整してくれます。料理の献立を考えるのを手伝ってくれたり、電子番組表の中から面白そうなテレビ番組を探してくれたりもします。リモコンなどの操作が一切不要な生活空間を実現したのです。

対話型ロボットで 人間の知性とロボットの知性の共生を目指す

家に帰ると、かわいいロボットが「おかえり!」と声をかけてくれます。

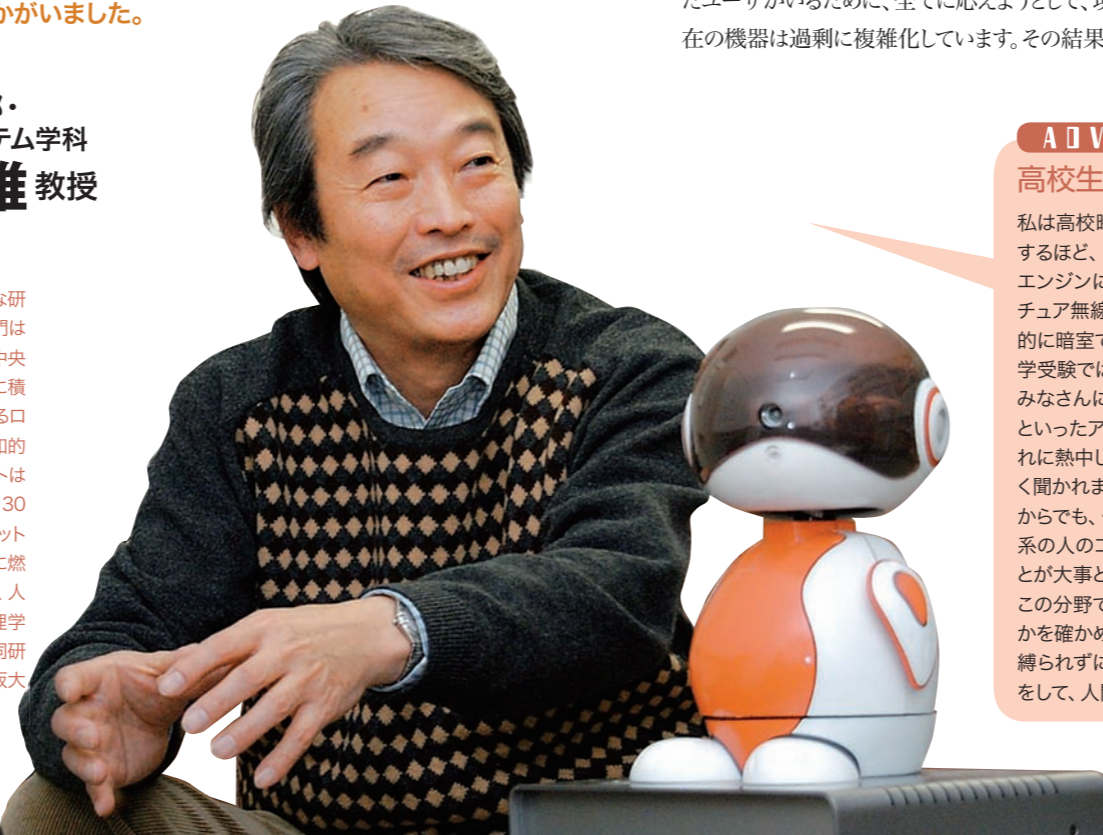
「今日は学校で何があったの?」「明日の朝忘れ物をしないように、覚えておいて欲しいことはない?」といった会話を交わしたり、時にやさしく時に厳しいパートナーとして勉強や調べものを手伝ってくれたりもします。キッチンでは、お母さんがロボットから提供してもらったレシピをスクリーンに映し出しながら夕御飯の支度中です。

お父さんがお風呂から上がると、ロボットが「お風呂が空いたよ」と声をかけます。10年、20年後には、こんな家庭の風景が日常のものになっているかもしれません。家庭環境にロボットを組み入れることで、新しい可能性、人間との新しい関係性を見つけていこうと研究を進められている上田博唯先生に、対話型ロボットを開発していく上で欠かせないロボットの知性と人間の知性の共生についてお話をうかがいました。

コンピュータ工学部・インテリジェントシステム学科
上田 博唯 教授

PROFILE

専門は画像認識とヒューマンインタフェース。大きな研究テーマは「知的メディアシステム」。学生時代の専門は符号理論。しかし、就職活動の際に、日立製作所の中央研究所でテレビカメラで図面を読み、その図面通りに積み木を組み立てる戦略を考え、腕を動かして実行するロボットの開発研究の様子を見て、「コンピュータにも知的なことができるのか!」と興味を持つ。当時のロボットは工場の完全機械化・無人化を目指すものであった。30年を経たいま、人間と対話し「人と共に生きる」ロボット研究に挑戦できる時代となり、ますます知的好奇心に燃えていると自ら語る。人とロボットの共生のためには、人間自身についても深く知らなければいけないと、心理学者や社会学者など幅広い研究者との情報交換・共同研究も積極的に行っている。大阪府立北野高校。大阪大学工学部(修士)。博士号は東大から取得。



ADVICE

高校生へのメッセージ

私は高校時代、物理研究室・放送部・写真部の3つのクラブに所属するほど、クラブ活動に熱心な生徒でした。物理研究室ではバイクのエンジンにプロペラを取りつけてホバークラフトを造ったり、アマチュア無線をしたり。放送部では放送劇をやったり、写真部では本格的に暗室で大きな写真を焼きました。いざさか欲張りすぎたのか、大学受験では浪人することになりましたが、みなさんにも、高校生の間に必ずこの教科をこれだけはやりなさい、といったアドバイスは特にありません。興味のあることを見つけて、それに熱中してください。「プログラミングができないとだめですか」とよく聞かれますが、嫌いでなければ問題ありません。興味があれば、後からでも、何だって勉強できるからです。いまは、むしろ文系の人と理系の人のコラボレーションが大事な時代です。何にでも興味があることが大事ともいえます。この分野での研究とは、まず仮説をたてて、その仮説が正しいかどうかを確かめるということです。何より発想が大切です。既存のものに縛られずに、自由な発想で研究に取り組めるように、たくさんの経験をして、人間とは何なのかということを深く知ってください。

※1 1988年にアメリカのマーク・ワイザーが「生活環境のあらゆる場所に情報通信環境が埋め込まれ、利用者がそれを意識せずに利用できる技術」をユビキタスコンピューティングと定義して、これを提唱したのが、現在の概念としての始まり。「ユビキタス」の語源はラテン語で、「どこにでもある」という意味。
※2 言葉ではなく、顔の表情や仕草などで行うコミュニケーション。
※3 NICT(けいはんなオープンラボ)を利用して2003年度~2005年度に産学官17機関が連携して実施した「ゆかりプロジェクト」。住宅内の情報機器や家電製品等と各種センサをネットワークで統合したユビキタス環境を備えた実験用住宅「ユビキタスホーム」を構築し、生活実証実験等を行った。
※4 センサを使用して計測すること。

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

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

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

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。

コピキタス
知能情報処理
人間科学・脳科学

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

■コンピュータ理工学部事務室 TEL:075-705-1989

■入学センター TEL:075-705-1437