

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.8

01

ガロアが広げた**数学**の自由

革命を志した青年が起こした数学上の一大革命

山上 敦士 准教授

02

黒い**ダイヤモンド**を作れ

カーボンナノチューブ研究のブレークスルーを目指して

鈴木 信三 教授

03

分子メカニズムで解明される **生物発生**の謎

原がん遺伝子を作るタンパク質の意外な働きに注目

佐藤 賢一 教授

04

新しい**アイデア**で ネットワークの故障を分かりやすく

コンピュータの異常度合いを管理するサーバ

林原 尚浩 助教

05

さりげない**コンピュータ**

生活空間でのコンピュータの新しい使い方を考える

水口 充 教授

06

進化する**プログラム**

遺伝的アルゴリズムは人間を超えるか

岡田 英彦 准教授

ガロアが 広げた 数学の自由

革命を志した青年が起こした
数学上の一大革命



理学部・数理科学科

山上 敦士

准教授

理学博士

p進保型形式とガロア表現の整数論

01

古来 mathematics は magic だった!?
昔は、高次の方程式を解くことはまるで
魔術のように考えられていた。16世紀
に3次・4次方程式の解の公式が発見
されるが、5次以上の方程式では19
世紀、フランスの数学者エヴァリスタ・ガ
ロアの時代を待たねばならない。

不遇の天才ガロア

数学的才能とは裏腹に、ガロアは教
師たちから評価されなかった。論文を
紛失されたり、希望する大学への入学
試験に2度も失敗したり。しかし、彼が
1831年に記した論文は数学の歴史を
変えるほど重要なものだった。

群の性質から方程式の性質が分かる
ガロアが目じたのは、方程式の解の
置換群（後のガロア群）の性質。ある
方程式が解けるのであれば、その方
程式の置換群は一定の条件を満たす。
一般に5次以上の方程式ではその条
件を満たさない。

正n角形を定規とコンパスだけで描けるか?
コンパスと定規で図形を描くというこ
とは、有理数の平方根 $\sqrt{\quad}$ と四則演算を
繰り返し用いて得られる長さによって図
形が表されているということ。図形を表
す方程式の解を調べれば、その図形が
コンパスと定規で描けるかどうか分か
る。

時代を超越する数学

ガロアの理論は、近年の数学史上の
一大事件である「フェルマーの最終定
理の証明」を解くためのカギとなった。
偉大な数学理論は時代を超越する。

黒いダイヤを 作れ

カーボンナノチューブ研究の
ブレークスルーを目指して



理学部・物理科学科

鈴木 信三

教授

理学博士

炭素ナノ構造体の物理化学

02

フラーレンの発見

1985年、アメリカのリチャード・スモーリー、
ハロルド・クロトらは、炭素化合物の一
つで、サッカーボールの形をしたフラーレン
C₆₀を発見し、その業績に対して1996年
にノーベル化学賞が与えられました。それ
は、ディスク状の黒鉛にレーザーを集光し
て瞬間的に炭素を蒸発させ、炭素原子が
数個～数十個程度集まった集合体（「ク
ラスタ」）を真空中に噴き出したもの
の中から、発見されたのです。実は、有機化
合物研究の先進国である日本では、既に
1970年に大澤映二博士がその存在を
理論的に予見していました。惜しくもその
論文が日本語で書かれたものであったた
め、ノーベル賞を逃したと言われています。

世界から注目された日本の研究

フラーレンの大量合成が始まった1990
年には、当時NEC基礎研究所におられ
た飯島澄男博士（現在、名城大学教授）
が、フラーレンを円筒状に引き伸ばしたよ
うなカーボンナノチューブを発見して全
世界の研究者の注目を一気に集めました。
カーボンナノチューブは、医療用、工業
用などの用途に様々な可能性を秘めて
いることから、黒いダイヤとも呼ばれて
います。ただ、実用化のためには、不純
物を含まないカーボンナノチューブの
低コスト大量合成法や、直径やねじれ
方（キラリティ）、長さの異なるカー
ボンナノチューブの混合物から必要
なものだけを取り出す分離精製法の開
発が必要で、そこには従来の方法以外
に新しいブレークスルーが必要です。こ
の記事では、カーボンナノチューブの
基礎研究と応用の現状、そして私が現
在進めている研究の一端を御紹介します。

分子メカニズムで 解明される 生物発生の謎

原がん遺伝子が作る
タンパク質の意外な動きに注目



工学部・生物工学科

佐藤 賢一

教授

博士（理学）

受精や初期発生、および
がんの分子機構

03

生きながら「死んでいく」 生命の不思議

一つの受精卵が60兆個になるには、
2の乗数でいえば2⁴⁷、つまり47回の
分裂が必要です。また成長とともに私
たちの細胞は、それぞれに特殊な役割
を担いながら、約50～60回分裂して
死ぬといわれています。私たちの体は
生きながらにして、常にある程度の数
の細胞が死に、新しく生まれた細胞で
置き換わる、ということを繰り返してい
ます。「私」とは一体何なのかちょっと不
思議な気がしないでしょうか。

がんを引き起こす遺伝子と 発生との関係を研究

私の専門は、遺伝子やタンパク質など
の分子の動きを中心に研究する分子
発生物学と呼ばれる分野です。特に
細胞や個体が成長するもとなる受精
卵のできるまでを研究しています。現
在は、がんを引き起こすと考えられて
いるある遺伝子が、生き物を生かす受
精や発生においても大きな役割を果た
しているのではないかと注目に値して
研究を行っています。地味な研究です
が、将来のがん予防にも必ず役立つ
研究だと考えています。

新しいアイデアで ネットワークの 故障を分かりやすく

コンピュータの異常度合いを
管理するサーバ



コンピュータ理工学部・
コンピュータサイエンス学科

林原 尚浩

助教

博士（情報科学）

分散アルゴリズム、耐故障高信頼システム

04

壊れたときのダメージを 最小限に抑える

今日、日常的に起こるコンピュータシ
ステムの故障からいかにして社会を守
るかが重要な課題。中でも、壊れた時
のダメージをいかに小さくするか、い
かに早く復旧できるようにするかにつ
いての研究を行っている。

常に故障を監視するサーバ

ネットワーク上のあるコンピュータの
状態を調べるには、そのコンピュータ
の通信状況によって判断する方法が有
効。だが従来の方法には欠点も多かつ
た。従来の欠点を補う故障検出サー
バというアイデアを紹介する。

目で見て分かるネットワーク

故障検出サーバが算出した異常度合
いを画面で見て分かりやすいように
するインタフェースも考案。ネットワ
ーク内のコンピュータにそれぞれ温度
計のようなゲージを付けて、視覚的
に把握し、故障の原因を突き止めやす
くする。ネットワーク管理の負担が大
きく軽減されるだろう。

ユビキタス時代の強い味方

故障検出サーバは来るべきユビキタ
ス時代になくならないシステム。家
庭内の家電がネットワークでつなが
る時代になれば、一般家庭でのネッ
トワーク管理をより簡単にすることが
必ず求められるからだ。

さりげない コンピュータ

生活空間でのコンピュータの
新しい使い方を考える



コンピュータ理工学部・
ネットワークメディア学科

水口 充

教授

博士（工学）

インタラクションデザイン

05

ユーザインタフェースとHCI

人とコンピュータおよびコンピュータ
を介した人と人とのインタラクシ
ョンに関する研究を行うHCI（ヒュー
マンコンピュータインタラクション）
。発想を転換することでコンピュータ
の新しい可能性を切り拓く分野だ。

これまでにない

コンピュータを創り出す
最近のHCIでは、ユーザビリティを最
重要としない流れもみられる。ユー
ザは、パッと見て操作方法がわかる
ものよりも、クールなデザインで使
い心地のいいものを好んで使いた
がるのがわかってきたからだ。

Calm Technology

—穏やかな技術に向けて
何気ない存在でありながら、必要
時にはそっと人を支えてくれるよ
うなコンピュータ — “Calm Tech
nology”（穏やかな技術）。先生が
めざすのも、ある意味 “Calm
Technology” に囲まれた社会。研
究例を紹介しながら “一懸命使わ
ないコンピュータ” の可能性を考
える。

進化する プログラム

遺伝的アルゴリズムは
人間を超えるか



コンピュータ理工学部・
インテリジェントシステム学科

岡田 英彦

准教授

博士（工学）

ヒューマンインタフェース、
ソフトコンピューティング

06

ロボカップサッカー —シミュレーションリーグ

研究の題材の一つとして、人工知能
やロボット工学などの研究を推進す
るロボカップサッカーのシミュレー
ションリーグを取り上げている。仮
想フィールドで人工知能プログラミング
された選手同士が対戦するもの。

遺伝的アルゴリズムを 使った自ら強くなるチーム

生物の進化の過程を元に考えられ
た遺伝的アルゴリズム（GA）を使
って、自ら進化するチームを作ろう
としている。強さの評価→交叉（こ
うさ）→新世代作成→突然変異を
繰り返すことで、強いチームが自
動的に生まれるかもしれない。

単目的GA

多目的GA

強さの評価基準が1つだけのものは
「単目的GA」、複数の観点で評価
するものは「多目的GA」と呼ば
れる。実験の結果、どちらの場合も
、世代を重ねることでチームが進
化して強くなった。

チーム単位から選手単位へ より複雑なGAへ

生物であれば何万年もかかる進化
の過程を、コンピュータは計算パワ
ーであっという間にシミュレート
できる。今後は、より複雑なGAに
発展させて、さらに高度なチーム
の進化を目指す。

革命を志した青年が起こした 数学上の一大革命

19世紀前半のフランスは革命の反動で王制へと復古し、政治のあり方を巡って民衆と政府が対立する不穏な時代でした。

この時代のフランスに現れた

数学者エヴァリスト・ガロア (Évariste Galois, 1811-1832) も王制に不満を持ち、王制に批判的な態度を示しては何回か牢獄にも入れられました。

ガロアは二月革命によって樹立する第二共和制(1848年成立)を見ることなく、わずか20歳で若い命を失いました。

しかしながら、彼は数学の世界では大革命ともいえる業績を残したのです。

ガロアが残した成果の一端について山上先生にご紹介いただきました。

ガロアが広げた 数学の自由

古来 mathematics は magic だった!?

2次よりも大きい高次の方程式は単純な係数を持つものであっても、簡単に解ける※1 には見えないと思います。3次方程式と4次方程式については解の公式が知られているため、公式を使って解くことができます。3次や4次方程式について解の公式が発見されたのが16世紀。それ以前は高次の方程式といえばパズルのように難解なものでした。友人やライバル同士で方程式を出題し合い、どちらが先に解くことができるのかを知的なゲームとして楽しむことも行われていました。

高次の方程式を解くことは、当時の一般人にとってはまるで魔術のように感じられていて、数学は魔法のような不思議なものだと思われていました。現代のみなさんが、数学の教科書を携えて16世紀以前のヨーロッパに行くことができれば、立派な魔術師になれるかもしれません。

16世紀以降の代数を研究する数学者にとって、5次以上の方程式を解く公式の発見は大きな関心事となっていました。4次までの方程式には解の公式があるわけですから、5次以上の方程式にも解の公式があるに違いない、と多くの数学者は考えていました。

この問題に結論が出たのは、19世紀に入ってからのことです。フランスの数学者エヴァリスト・ガロアが提案した理論によって、新たな展開もたらされました。ガロアは5次以上の方程式に解の公式がないことをより洗練されたかたちで証明し、どんな場合に方程式が解を持つのかを示しました。※2

不遇の天才ガロア

ガロアは若くして亡くなった数学者でした。恵まれた数学的才能とは裏腹に、教師たちはガロアを高く評価しませんでした。17歳のときに書いた

た素数次方程式の解き方についての論文はフランス学士院に提出はしたものの審査官に紛失されてしまい、希望していたエコール・ポリテクニクへの入学試験にも2度失敗します。1831年に記した論文(後の「ガロア理論」)は、当時の一流の数学者たちにとっても難しい内容だったため、数学の歴史を変えるほどの価値があるにも関わらず、書き直しを求められています。このように、ガロアは正当な評価を得ることがないまま、翌32年に決闘によって命を失ってしまったのです。※3

もちろん、現在ではガロアの業績は正しく評価されています。短い人生の間に綴ったいくつかの論文の中に、現代数学にとってたいへん重要な成果が詰まっていた。中でも最大の業績は「群論」の導入です。群論はその後の科学の発展になくてはならない理論で、相対性理論や量子力学にも必要不可欠なものでした。

群の性質から方程式の性質が分かる

ガロアが目じたのは、方程式の解を互いに置き換える操作(置換)を群※4として考え、この置換群(後のガロア群)の性質を調べることで方程式が係数の四則演算とべき根だけで解けるかどうかを判定できるのではないかと、いうことでした。

たとえば、3次方程式の3つの解 x_1, x_2, x_3 を考える場合、この3つの解を置換する方法は最大で6通りあります(下図)。このように、n次方程式の可能な置換はn!通りあることになります。調べる方程式の種類によって、また解にどこまでの数を含めるのか(たとえば有理数に加えて $\sqrt{2}$ も許すなど)によって、n!通りのうちのどれを元とした置換群になるのかが変わってきます。

ある方程式が解けるのであれば、その方程式

(図) 3つの解 x_1, x_2, x_3 の置換

- ① $x_1 \rightarrow x_2, x_2 \rightarrow x_3, x_3 \rightarrow x_1$
- ② $x_1 \rightarrow x_3, x_2 \rightarrow x_1, x_3 \rightarrow x_2$
- ③ $x_1 \rightarrow x_2, x_2 \rightarrow x_1, x_3 \rightarrow x_3$
- ④ $x_1 \rightarrow x_3, x_2 \rightarrow x_2, x_3 \rightarrow x_1$
- ⑤ $x_1 \rightarrow x_1, x_2 \rightarrow x_3, x_3 \rightarrow x_2$
- ⑥ $x_1 \rightarrow x_1, x_2 \rightarrow x_2, x_3 \rightarrow x_3$

ADVICE

必ずしも解けなくてもいい
取り組むこと、質問することを大切に

数学を苦手だと言う人には、苦手だという気持ちばかりで練習問題に取り組もうとしない、周りの人に質問しないという場合が多いように思います。できても、できなくてもまずは挑戦することが大切だと思います。

特に数学の道を志すならば、先生が「何番と何番の問題をやっておきなさい」と言ったとしても、問題集に載っているすべての問題に食欲に取り組もうという姿勢を身につけてください。問題文の文中にも別の問題がかくれていることがあります。そういったものを無視せずに積極的に取り組んでください。そして、数学の得意な友人や先生に質問をぶつけて、常に聞く癖を持つてください。必ずしも解けなくてもいいのです。この繰り返しが必要成長の糧となるのです。

の置換群は一定の条件を満たすのですが、一般に5次以上の方程式は、その置換群が条件を満たさないことが分かっています。※5

群の導入により、数学は解そのものではなく、「解の置き換え」のような操作をも扱えるようになりました。この新しい考え方によって数学の世界はより自由になり、大きく広がったのです。

正n角形を定規とコンパスだけで描けるか?

方程式が解けるのか解けないのかを判別することで、わたしたちは、ある図形をコンパスと定規を使って描くことができるのかどうかを知ることができます。

長さ1が決められれば、コンパスと定規とを使うことであらゆる有理数の平方根 $\sqrt{\quad}$ と四則演算を繰り返し用いて得られる長さ(たとえば、 $\sqrt{1+\sqrt{2}}$)を描くことができます。言い換えれば、コンパスと定規で図形を描くということは、有理数の平方根 $\sqrt{\quad}$ と四則演算を繰り返し用いて得られる長さによって図形が表されているということと同じなのです。

このことから、図形を表す方程式が有理数の平方根 $\sqrt{\quad}$ と四則演算を繰り返し用いて得られる解を持たないと分かれば、その図形はコンパスと定規では描けないということが分かるのです。

正三角形、正四角形、正五角形、正六角形などは、ガロアの理論を持ち出すまでもなくコンパスと定規で作図可能だと知っていると思います。では正七角形は? 正十角形は?

実はガロアの理論から導かれる結論を言うと、コンパスと定規で作図可能な正多角形は以下の3通りだと分かっています。

- α 正 2^n 角形
- β 正 2^m+1 角形(ただし素数のみ)
- γ 正 $2^m(2^m+1)$ 角形(ただし、 2^m+1 は素数)

β が $m=1$ のとき3、 α が $n=2$ のとき4、 β が $m=2$ のとき5、 γ が $n=1$ かつ $m=1$ のとき6...と続いていきます。この3つの式から7は出てこないため正七角形は作図不可能ですが、正十角形は γ が $n=1$ かつ $m=2$ のときに10となり作図可能と分かるのです。

この計算を続けていくと、なんと正十七角形は作図可能ということになります。正十七角形の

作図方法はドイツの数学者・物理学者カール・フリードリヒ・ガウス(Carl Friedrich Gauss, 1777-1855)が1796年に発見しました。正素数角形の作図は正三角形と正五角形しかできないと考えられていましたから、何世紀かぶりの快挙でした。朝目が覚めたときに作図方法を閃いたそうです。ガウスが19歳のときのことで。

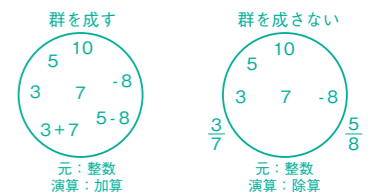
時代を超越する数学

話をガロアに戻しましょう。ガロアの理論は彼の死後、数学や物理学の世界でその重要性を高めていき、ついには近年の数学史上の一大事件である「フェルマーの最終定理の証明」を解くためのカギとなりました。

フェルマーの最終定理とは、 $X^n+Y^n=Z^n$ という式において、 X, Y, Z が0以外の整数のとき、 $n \geq 3$ (n は自然数)では解が存在しない、という定理です。この定理の証明は「 X, Y, Z に解が存在すれば矛盾する」ことを示す方法で行われました。解 $X=a, Y=b, Z=c$ を仮定し、 a, b, c を用いて作られる楕円曲線に付随するガロア表現を深く考察することで、矛盾が導かれることが証明されたのです。

この問題をフェルマーが書き記したのが1637年頃。ガロアの没年は1832年。そしてイギリスの数学者アンドリュー・ワイルズ(Andrew Wiles, 1953-)により証明がなされたのは1995年。300年以上もの年月を超えて、数学の天才たちが協力し合った結果、人類は新たな証明を手に入れました。偉大な数学の成果は容易に時代を超えるのです。

- ※1 ここで「解く」というのは、その方程式の係数たちの四則演算とべき根(平方根 $\sqrt{\quad}$ や3乗根 $\sqrt[3]{\quad}$)によって表された解を見つける、ということ。
- ※2 5次以上の方程式が一般に解の公式を持たないことを最初に証明したのは、ガロアと同時代のノルウェーの数学者、ニールス・アーベル(Niels Abel, 1802-1829)。
- ※3 決闘の原因については「ある男性と一人の女性の奪い合いになったため」とも「政治活動をする陰謀」とも言われている。
- ※4 群とは、数や記号の操作などを元(構成要素)として持ち、元に何らかの演算をほどこすことのできるグループのこと。たとえば「元は整数、演算は加算」は群を成すが、「元は整数、演算は除算」は演算結果が整数とは限らないため群を成さない。置換群の場合「元は置換、演算はある置換に続けてさらに置換を行うこと」になる。



- ※5 群の中にはその一部分がそれ自体で群となるものがある(部分群)。そのうち極大不変部分群とは、もとの群を除いた群(真部分群)の中でそれより大きなものがなく(極大)、もとの群の元によって変換しても部分群全体が変わらない(不変)もの。(不変部分群は正規部分群とよばれることもある。)群Gの極大不変部分群Hをとり、またHの極大不変部分群Kをとり、というように、極大不変部分群の元の個数が1になるまで、極大不変部分群をとる作業を繰り返したときに、それらの元の個数をそれぞれ小文字で、 g, h, k, \dots として、 $g+h, h+k, \dots$ がすべて素数である場合、群Gは可解群と呼ばれる。ある方程式の置換群が可解群となる場合、その方程式は係数の四則演算とべき根により解くことができる。

カーボンナノチューブ研究のブレークスルーを目指して

黒いダイヤモンド、ナノテクノロジーの代表格などといわれるカーボンナノチューブ。

20世紀最後に発見されたこの不思議な炭素化合物は、炭素材料の仲間で、

すでに工業用として活用されているダイヤモンドやグラファイト にはない

様々な特色を持ち、またナノサイズでの加工も可能なことから、21世紀の新素材として注目されています。

日本で最初の発見からほぼ20年、研究の一段のブレークスルー（自然科学における飛躍的な前進）を目指して、

日夜その生成の仕組みの解明と、効率的な生成及び分離精製法の開発に取り組まれている鈴木先生に、

現在の研究とその将来展望をお聞きました。

基礎研究と応用の現状

一見、単なる黒いススにも見える薄膜状の集まり（写真②）をごく微量だけサンプルとして取りだして電子顕微鏡で覗くと、その中には炭素原子が六角形の網目状に規則正しく集まってできたナノサイズのチューブ状構造体が入っていることが分かります。1mの 10^9 分の1という世界（1ミリメートルは、 10^3 の1メートル、1マイクロメートルは 10^3 の1ミリメートル、1ナノメートルは、 10^3 の1マイクロメートル）に展開するこのカーボンナノチューブは、少し以前に発見された炭素ナノ構造体の仲間であるフラレン（写真①）とともに、新素材として様々な応用が期待されています。

先端が細いため痛みを感じないナノスケールの注射針から、軽く、縦方向の力に強いことから静止衛星と地球とを結ぶ宇宙エレベーター構想まで、幅広い分野からの熱い視線を受け、研究・開発競争にも一段と拍車がかかっています。

先端が細いだけでなく、熱伝導性が高いことからテレビなどのディスプレイに光を当てる電子銃（電子線源）が、また導電性の（電気を通しやすい）透明な膜（フィルム素材）、ナノレベルのダイオード、現在のシリコンを原材料とする半導体に替わるナノメートルスケール配線などにも期待が

集まっています。またナノチューブ内部の中空の空間は、微粒子や分子を取り込むのにも最適で、グラファイトに替えて電池の負極材料としてリチウム電池の中へ入れておけばバッテリーの寿命が伸びるといわれていますし、水素をこれまで以上に吸蔵できると予想されることから、画期的な燃料電池パネルへの期待も高まっています。

医療分野では注射針だけでなくカテーテルの素材として、また薬を患部にまで運ぶ（ナノキャリア）のに活用する研究も進められています。

もちろん、これらの用途で応用するにはまだまだいくつかのブレークスルーが必要です。一つはまず、均一なものをいかに大量合成してコストダウンをはかることができるかです。現在までのところ、先輩格であるフラレンでも燃焼法という方法が出てきたために、大量合成が可能となりましたが、その用途としてどのようなものが考えられるかは、これから調べられていく、という段階です。さらに、思ったものを高純度で作ることも必要ですが、できたものをその後に必要なものだけ分離精製することも求められています。そのためには生成の仕組み、生成過程についても理解しなければならな

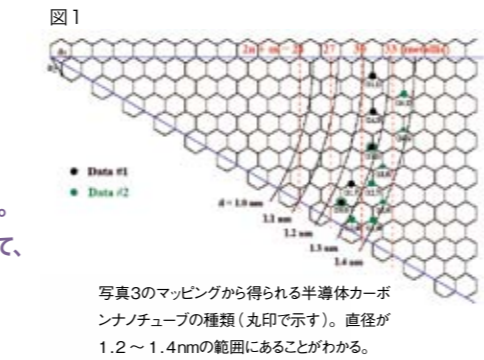


写真3のマッピングから得られる半導体カーボンナノチューブの種類（丸印で示す）。直径が1.2～1.4nmの範囲にあることがわかる。

いことが数多く残されています。また今後生体中で使うということを考えた場合には、標準物質を定めて、使われる量についても指針を定めるなど、人体に対する安全への配慮や、ナノリスクへの備えも怠ることはできません。

カーボンナノチューブのABC

炭素原子は、他の原子に比べて σ 結合、 π 結合や二重結合、三重結合といった、多様な化学結合をすることが知られています。最近の高校の教科書では、代表的な同素体※として、ダイヤモンド、グラファイト、それにサッカーボール型をした C_{60} 分子に代表されるフラレンが紹介されています（写真①右頁コラム）。

カーボンナノチューブは一枚のグラファイトシートを丸めて円筒形にしたもので、単層のものや、多層になっているものがあります。先端がドームのように閉じているチューブだけでなく、開いているもの、フラレン同様に中に金属粒子を入れたもの、さらには C_{60} などのフラレンを入れたもの（“ビーポッド”と呼ばれています）などもあり、実

理学部・物理科学科

鈴木 信三 教授

PROFILE

父親が化学系の会社に勤務していたため、小さい頃から化学は比較的身近な分野でした。高校の理科（物理・化学）担当の先生が、授業に実験を積極的に取り入れていたことから、更に興味を持つようになりました。京大大学院（修士課程）修了後、愛知県岡崎市の分子科学研究所へ文部技官として就職し、その5年後に東京都立大学（現在の首都大学東京）理学部へ移りました。ちょうどその年（1990年）、クレッツマー博士らによる C_{60} の大量合成法の発見があり、それがきっかけでフラレンやカーボンナノチューブなどの、炭素ナノ構造体の世界に足を踏み入れることになりました。2006年4月から現在の職場（京都産業大学）です。愛知県立旭丘高校OB。

FUTURE

どんな進路 京都産業大学理学部の物理科学科全体としてですが、大学院（修士課程）進学率は現在10～20%程度、他は4年生で卒業して企業（電機や機械メーカー、SEなど）への就職や、教員・公務員などを目指します。

写真②

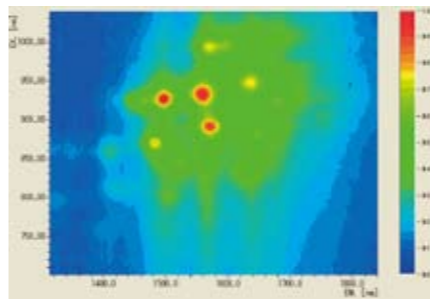


に様々なバリエーションがあります。

一枚のグラファイトシートを丸めて円筒状のナノチューブの構造を作る方法には、実は色々な可能性があります（図1）。その丸め方の違いによって、得られるナノチューブの直径やねじれ方（“キラリティ”と呼びます）が変わり、そのために、できたチューブが金属的性質（電気を通す）や半導体的性質など、異なった性質を持つようになると言われています。このことは、カーボンナノチューブの発見直後に、日本も含めた複数の研究グループによって理論的に予測され、現在では実験によっても確かめられています。また単層カーボンナノチューブは、その直径に比べて長さが長い（アスペクト比が大きい）ため、繊維とよく似た性質を持ちます。実際、純度の高い単層カーボンナノチューブを集めて黒い”折り紙”をつくり、それで折り鶴を折った人もいます。こうした様々な性質をもつカーボンナノチューブをなるべく高純度に、できればその直径や、ねじれ方や、長さをそろえたものを作ると、世界中で大勢の人々が、一所懸命に研究しているわけです。

カーボンナノチューブの作製法には大きく分けて3種類の方法がありますが、その原理はいったって簡単です。おおざっぱに言うと、炭素を供給する材料と、ナノチューブが成長するための金属微粒子（ニッケル・コバルトや、その他の金属原子）があればできます。アーク放電法では、炭素源は黒鉛（グラファイト）電極に金属原子をあらかじめ入れたものを用いて、不活性ガス中で放電させてつ

写真③



ADVICE

高校時代は何を 高校の教科書を見ると、例えば C_{60} の分子構造は、化学の教科書に「炭素の同素体」としてきちんと紹介されています。ところが、『自分は生物のみで受験するから、化学は必要がない』などと思うと、そこまで目が届きません。高校では『この範囲（受験科目）を勉強すればいい』となりがちですが（私も覚えがあります）、大学では基本的に『ここまで勉強すればいい』という範囲がありません。その範囲を決めるのは、皆さん自身です。

理学部物理科学科では、1～2年次で物理や数学の基礎を学びます。それは、これらの科目を学ぶことで、他の分野（高校の科目でいえば化学、地学、生物分野など）の理解をより深めることができる、と考えているからです。例えば、高校で習っている行列やベクトルは、大学では「量子力学」という物理の大きな分野を学ぶ上で、非常に役立ちます。

くります。高温レーザー蒸発法では、同様の材料に、パルスレーザーという極めて短い時間幅（10ナノ秒程度）の光を集光して試料を瞬間的に蒸発させ、あらかじめ高温に保たれた不活性ガス中を通過させながら作成します。生成したチューブは、電気炉内（実際にはその中に入れてある石英管内）にススとして付着するので、それを後で集めます。この他には、予め触媒となる金属微粒子を作っておいて、そこへアルコールなどの炭化水素を原料として入れるACCV法があり、装置が簡単なと大量に生成できることで、現在では多くの研究室で採用されています（右コラム）。

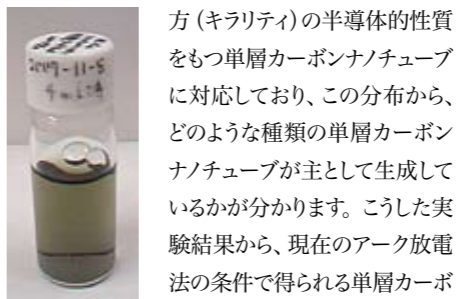
※同素体：同じ元素だけからできていて形の違うもの。

独自の生成法と分散法でチャレンジ

私が現在、実験室で単層カーボンナノチューブの作成に主として使用している方法は、かつて C_{60} などのフラレンの生成によく使われていたアーク放電法です。これまで、ごく一部の研究者をのぞいては、この方法では得られるススに含まれる不純物が多い、ということであり使われていませんでした。高温レーザー蒸発法を用いて、単層カーボンナノチューブの生成過程について分かってきた知見をもとに色々と試行錯誤した結果、実はアーク放電法でも実験条件をうまく制御すると、単層カーボンナノチューブの純度をあげられる、ということが最近わかってきました。とりわけ、フラレンの作製には良く用いられていたヘリウムガスから窒素ガスに切り替えることによって、単層カーボンナノチューブの純度が高温レーザー蒸発法と比較できるくらいまでにあげられそうだと、ということも分かってきました。

写真③は、アーク放電法で生成した単層カーボンナノチューブを界面活性剤溶液中に孤立分散させて（写真④）、その発光マッピングを測定したものです。図中に見られる明るいスポットは、そ

写真④



れぞれが決まった直径やねじれ方（キラリティ）の半導体的性質をもつ単層カーボンナノチューブに対応しており、この分布から、どのような種類の単層カーボンナノチューブが主として生成しているかが分かります。こうした実験結果から、現在のアーク放電法の条件で得られる単層カーボ

フラレン

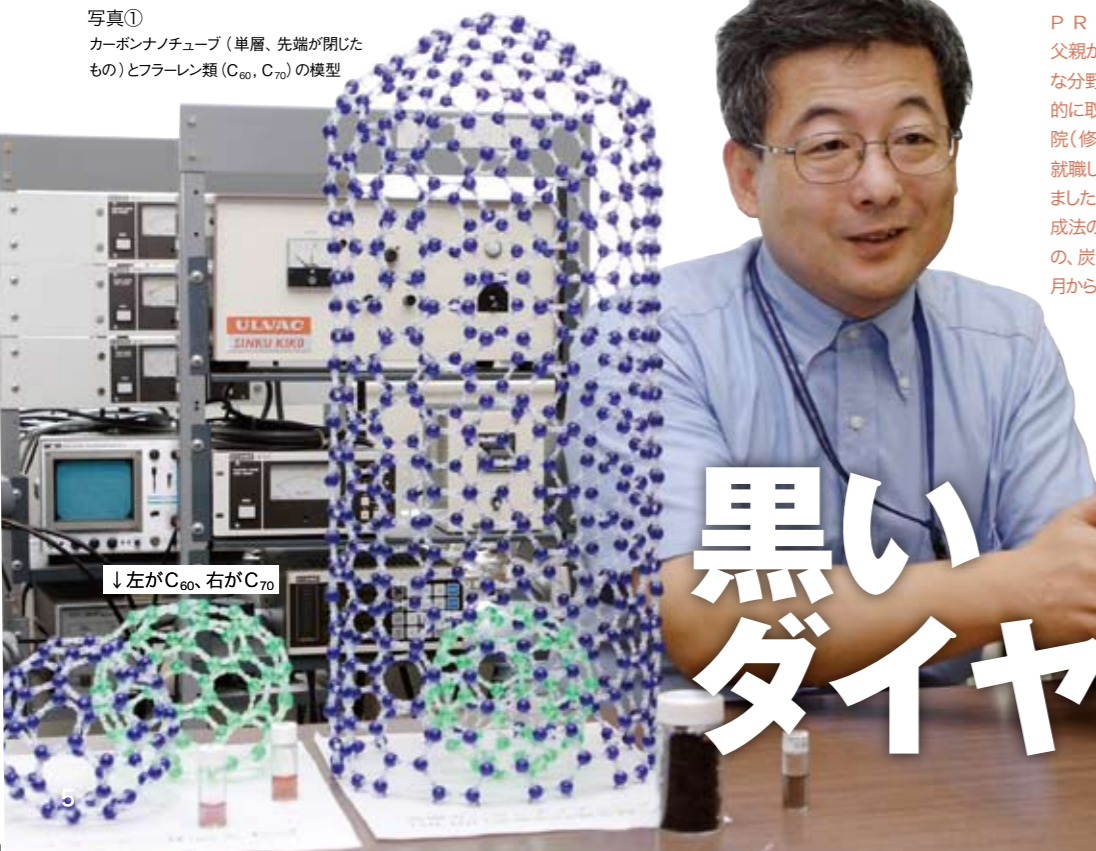
その代表格である C_{60} は、1985年アメリカのリチャード・スモーリー、ハロルド・クロトーらがディスク状の黒鉛にレーザーを集光して瞬間的に炭素を蒸発させ、炭素原子が数個～数十個だけ集まって結びついた状態（“クラスター”と呼ばれる原子の集合体）のまま真空中に噴き出したものの中に発見しました。その業績に対して、1996年にノーベル化学賞が与えられました。ところで、日本は伝統的に有機化合物の研究では先進国であり、既に1970年には大澤映二博士がその存在を理論的に予見していました。惜しくもその論文が日本語で書かれたものであったため、ノーベル賞を逃したと言われていす。更に、フラレンの大量合成が始まった1990年には、当時NEC基礎研究所におられた飯島澄博博士（現在、名城大学教授）が、カーボンナノチューブを発見したことで、全世界の研究者の注目を一気に集めました。

ンナノチューブで、孤立分散したものの直径分布が、約1.2～1.4 nm（ナノメートル）となっていることが分かりました（図1）。この分布は、高温レーザー蒸発法で得られた単層カーボンナノチューブの直径範囲とよく似ています。このくらいの直径をもつ単層カーボンナノチューブは、内部の空間に色々な分子を入れる、あるいはナノチューブの表面を別の分子で修飾することで、新しい機能を持つようになると期待されています。（ごく最近、ナノチューブの親戚ともいえる「ナノホーン」と呼ばれるコーン状の炭素ナノ構造体と光感受性物質の複合体が、がん細胞の治療に効果がある、という研究報告が新聞等で紹介されました。）

このように、現在ではまだ得られた単層カーボンナノチューブには、直径のばらつきやねじれ方の違いによる分布、更に、金属的・半導体的な性質の違いによる分布があり、まだ完全に分離精製できていません。しかしながら最近、こうした孤立分散化の方法と、密度勾配遠心分離法という、密度の違いを利用して核酸（DNA）を分離精製する方法との組合せにより、金属・半導体的特性の違いによる分離精製ができる、という報告が出てきました。また、タンパク質や核酸を分離精製するのによく用いられる、電気泳動法による分離精製の可能性も出ています。 C_{60} などのフラレンもそうですが、単層カーボンナノチューブという新しい物質を扱うには、物理化学の範囲だけでなく時には生物化学的な実験方法も有効になってくる、というのは面白いことだと思います。現在私たちが、自分たちが作製したナノチューブの分離精製に向けて、これらの方法を試しているところです。

カーボンナノチューブは日本で発見され、お家芸ともいえるべきもの。目的のものを高い効率で生み出す生成法の確立と、できたものを孤立分散する方法をいち早く確立して、次のブレークスルーを起こしたいものです。

写真①
カーボンナノチューブ（単層、先端が開いたもの）とフラレン類（ C_{60} 、 C_{70} ）の模型



黒い ダイヤモンドを作れ

↓左が C_{60} 、右が C_{70}

不死の細胞と恐れられるがん細胞。しかし人間をはじめ、有性生殖を行う生物にはもう一種類、違った意味での不死の細胞があるのではないかと、こう言われるのが分子生物学を研究する佐藤先生。生殖を司る卵と精子は、命を受け継いでいくという意味において不死の細胞ではないかと言われるのです。さらに、佐藤先生はこの生命の誕生にかかわる生殖細胞と、死にかかわるがん細胞とに共通に働く分子機構、すなわち遺伝子やタンパク質の働きがあるとも指摘されます。最新の研究成果をお聞きしました。

原がん遺伝子が作る
タンパク質の
意外な働きに注目

生命誕生の不思議

人間の体は、約60兆個の細胞から成り立っています。しかし次の世代を作るための受精・発生の際には、たった一つの精子または卵に全てを託します。高度な機能を備えた多細胞生物が、なぜ単細胞生物と同じような原始的な状態に戻り、そこから体を作り直すのか、生物学者ならずとも不思議に感じるのではないのでしょうか※1。「受精」は有性生殖を行う多細胞生物が、精子と卵という2つの生殖細胞を合体・融合させて子孫を作り出すしくみです。生物が雄と雌、男と女の2つの性別に分かれていることも、当たり前のようにですが、生命科学の研究では大きな謎です。



人もいました。このようなエピソードは、今では笑い話に聞こえるかも知れませんが、ひとは生命誕生の仕組みに神秘性を感じつつ、卵や精子と発生の謎との関係性を追い求めてきたのです。この謎の解明を現代において託されているのが分子発生生物学です(コラム)。

※1 つくりは全く違いますが、がん細胞も条件さえ揃えばいくらでも自己増殖するという点で単細胞のバクテリアと同じです。

きっかけは原がん遺伝子の研究

私の受精・生殖研究との出会いは、がんに関係する遺伝子の研究がきっかけです。

がんの原因遺伝子、別名がん遺伝子は、約100年前に発見されたトリに肉腫を作るウイルスの研究から見つかりました(→1966年のノーベル生理学・医学賞)。ウイルスは、感染した細胞のゲノムの中へ入り込み、ゲノムから再び出る際に近くの遺伝子、あるいはその一部を持ち出してすることがあります。このトリ発がんウイルスも、がん遺伝子を最初から持っていたわけではなく、トリの細胞にもともとあった遺伝子を変異した状態で持ち去ったのだと考えられています。この最初に発見されたがん遺伝子はサークと名付けられました。

分子生物学が急激な進展を見せた1970年代以降、がん遺伝子サークとよく似た遺伝子がヒトなど多くの高等生物の細胞の中にも見つかりました(→1989年のノーベル生理学・医学賞)。この体の中の細胞にあるサーク類似の遺伝子は、細胞をがん化する能力を

持っておらず、区別するために原がん遺伝子サークと呼ばれています。条件次第ではがんを引き起こす原がん遺伝子が、正常な細胞ではどのような機能を持っているのか?それが、どういった変化や変異を起こすことで、細胞ががんになってしまうのか?このようなことに興味を持っていた私は、指導教員の勧めもあって原がん遺伝子サークの機能をアフリカツメガエルの卵細胞を使って調べてみることにしました。そこから受精・生殖についての研究が始まったのです。

細胞の中で情報はどのように伝えられるのか

研究していく中で、受精直後の卵では、それ

分子メカニズムで解明される生物発生の謎

までに知られていない分子機構が働くことがわかってきました。原がん遺伝子サークから作られるタンパク質(サークタンパク質)は卵の細胞膜の内側に存在しています。サークタンパク質はタンパク質を構成するアミノ酸の一つ、チロシン残基にリン酸をくっつける(タンパク質チロシンリン酸化)酵素活性を持っています※2。この活性が精子と卵の接着・融合の瞬間(数分以内)に、一時的に上昇することがわかりました。いっぽう、卵に細工をしてその活性化を予め抑えておくと、精子は卵に接着しても細胞の内部へは進まず、受精の成立に至りませんでした。そこで私は、サークタンパク質の酵素活性が、受精の成否にかかわっているのではないかと考えました。

リン酸化されるアミノ酸には3種類(セリン、トレオニン、チロシン)ありますが、サークが触媒するチロシンリン酸化は、主に細胞膜周辺のシグナル伝達反応に関わっています。タンパク質リン酸化反応は、その発見に対して1992年にノーベル生理学・医学賞が与えられるなど、翻訳後修飾の中で代表的かつ重要なものです。

PROFILE
生物学に進むきっかけになったのは高校1年時のクラス担任の先生(生物)の授業が楽しく、またよく出入りしていた部活部屋にいた先輩からも強く勧められたから。高校入学当初までは自分は文系だと思っていたのが、高校でガラッと変わったから不思議だという。小・中学校時代までは生物中心に理科が好きだった、という話をよく聞か、先生の場合はその反対のようだ。神戸大学理学部生物学科から大学院博士課程を経て助手に。平成19年度から本学准教授、そして平成20年度より現職。北海道立札幌西高校OB。



細胞の外からのシグナルは、細胞膜※3の表面に顔を出しているタンパク質

や糖鎖でキャッチされ、その情報が細胞の中のタンパク質のチロシン、あるいはセリンやトレオニンのリン酸化という反応などを通じて伝達され、細胞の中へ中へと伝えられます。特定のタンパク質の特定のアミノ酸がリン酸化されるか、されないかの違いは、デジタル信号のように働き、最終的に核の中のDNAに伝えられます。そしてDNA上の特定の遺伝子が働くことで、新たな指令が細胞内へ発せられるのです(右下図、コラム「もっと詳しく」)。

※2 細胞が増殖・成長し、組織や器官が形成・維持されていくには、

さまざまな生命情報(シグナル)が細胞の核に伝えられ、遺伝子-DNAからRNAが作られ(転写)、さらにはタンパク質が合成(翻訳)されることが必要です。多くのタンパク質は、その一部のアミノ酸に糖鎖やリン酸などの化合物がつく翻訳後修飾と呼ばれる反応を経て働き出します。

原がん遺伝子の作る酵素が受精を助ける?

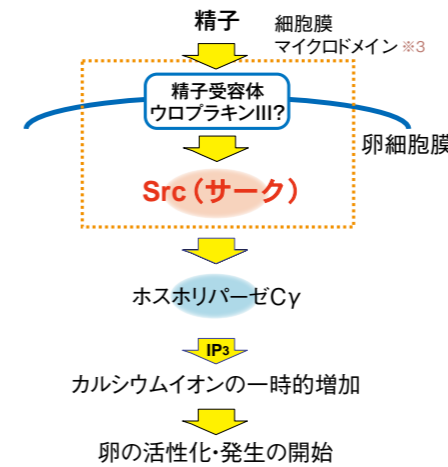
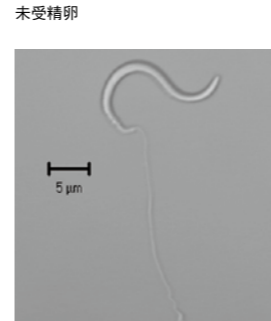
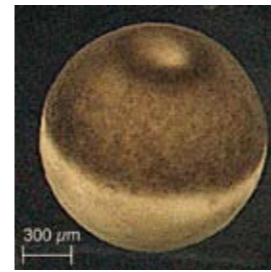
サークをはじめ、発がんウイルスが持つ遺伝子あるいはタンパク質として見つかりました。しかし原がん遺伝子サークから作られるタンパク質のほうには、受精成立に必要な機能があるということがわかりました。同じ、あるいは互いによく似た遺伝子でも、働く細胞が違えばその結果も大きく違ってきます。

現在私は、ヒトのがん細胞を使った原がん遺伝子サークの研究も続けています。あるがん細胞

胞には正常な細胞と違って、酸素や栄養の少ない状態でも死にくい性質があります。しかしサークの酵素活性を抑えると、このがん細胞は速やかに死んでしまうことを発見しました。この場合、サークはがん細胞が正常細胞なら生きることの出来ない厳しい生育環境の中にあっても生存していけるのに大事な働きをしていることになります。生殖・受精とがんとは、一見は正反対の結果をもたらしますから、その分子機構も全く異なるように思われるかもしれませんが、しかし分子・細胞レベルでみれば、がん細胞と卵の両方で同じ原がん遺伝子サークが、細胞の死を避ける働きと、生存する、そして生育するという両方の働きに関わっているという見方も出来るのです。この仮説をさらに確実なものとするためにはがん細胞と卵のそれぞれで、サークとともに働く遺伝子やタンパク質をもっと見つけていかなければなりません。

受精と生物発生の世界は、分子レベルの研究が可能となった現代においても私たちに新しい驚きと新しい謎を与えてくれています。

受精のシグナル伝達メカニズム



工学部・生物工学科
佐藤 賢一教授

FUTURE

卒業したら できてからまだ2年目という私の研究室では、今年度はじめて卒業生が巣立ちます。いま研究室にいる4年生5人のうち大学院進学と就職が半々くらいです。

ADVICE

高校生へのメッセージ

好きなことをプロとしてやっていきたいのだったら、その道を早くから志すにこしたことはありません。もちろん好きなことがなかなか見つからない人もいますでしょう。私もどちらかというとそのタイプ。好きな教科、好きなことが見つかったら徹底的にやります。授業や試験と直接関係がなくても、面白そうなら本を買って読んだりするのが、自分にとっては楽しく効果的でした(まだインターネットのない時代で本しかありません)。もう一つアドバイスしておく、生物学は物理学や化学などの要素を取り込んだ複合的な学問ですから、どの科目の勉強も役に立つということです。受験については、これはある種のトレーニング・訓練だと考えて、しっかりと取り組んでもらい、とにかく早く抜け出すことです。

新しいアイデアで ネットワークの 故障を分かりやすく

コンピュータは科学者や技術者が使うばかりではなく、仕事や家庭でも使われるようになりました。今や私たちの生活になくてはならないものです。生活の中に深く組み込まれているため、いったん故障するとたいへん不便な思いをさせられます。不便だけでなく、実際に損害を被ったというニュースもたびたび聞かれます。だからといって、コンピュータをまったく使わない生活はもはや考えられません。これからは、いかにして故障に対応していくのかが問われる時代となったのです。林原先生はコンピュータの故障に対処する方法を研究しています。実現可能で効果的な新しいアイデアをお聞きました。

コンピュータの
異常度合いを
管理するサーバ

壊れたときのダメージを 最小限に抑える

今日、コンピュータとそのネットワークは現代社会のインフラとなり、世界中にサービスを提供しています。今やコンピュータの故障が社会にもたらす損害は計り知れないほど大きくなっています。それに関わらず、最近でも証券取引所の取引システムの障害や航空機の予約システムの障害など大きなニュースになったものをはじめ、ニュースにならないような企業内システムの故障は日常的に起こっています。

この現状に対して、コンピュータシステムをいかに壊れないようにするかについての研究が進められています。もう一方で、壊れたときのダメージをいかに小さくするか、いかに早く復旧するかも重要なテーマとなっています。私が現在研究を進めているのは後者の分野です。

常に故障を監視するサーバ

単体で使うコンピュータであれば、故障したかどうかはユーザが自分の目で見て分かる場合が多いでしょう。しかし、ほとんどの場合コンピュータはネットワークを経由して、あるいはネットワーク全体としてユーザにサービスを

提供しています。そのため、ネットワークのどこかに不具合が生じて、直接目で見て確かめられない場合やネットワーク管理者に問い合わせないと分からない場合がほとんどです。これらの場合、ユーザがあるコンピュータの状態を調べるには、そのコンピュータの通信状況によって判断する方法があります。

調べたいコンピュータにエコーと呼ばれる信号を送信（エコーリクエスト）して、その応答（エコープライ）が返ってくるかどうかで、コ

ンピュータが故障しているかどうかを判断するのです。^{※1}

従来、エコーを使つての故障検出には大きな欠点がありました。一般的に相手のコンピュータが故障しているかどうかはエコープライが返ってくるまでの時間によって判断されます。しかし、たまたまネットワークやサーバが混雑していたり、信号を送る経路の設定にミスがあったりといった原因によっても応答が遅れることがあります。従来の故障検出ではどんな理由であっても一定時間を過ぎれば全て故障と見なしていました。また、ネットワークやサーバの混雑具合などを考慮して基準となる応答時間を決めるとするのはネットワークを熟知した管理者のいわば職人芸であり、誰にでもできることではありません。

そこで私たちが考えたのが、定期的なエコーリクエストを送り応答時間を記録するサーバを作ることです。この故障検出サーバは、管理下にある全コンピュータの毎回のエコープライ

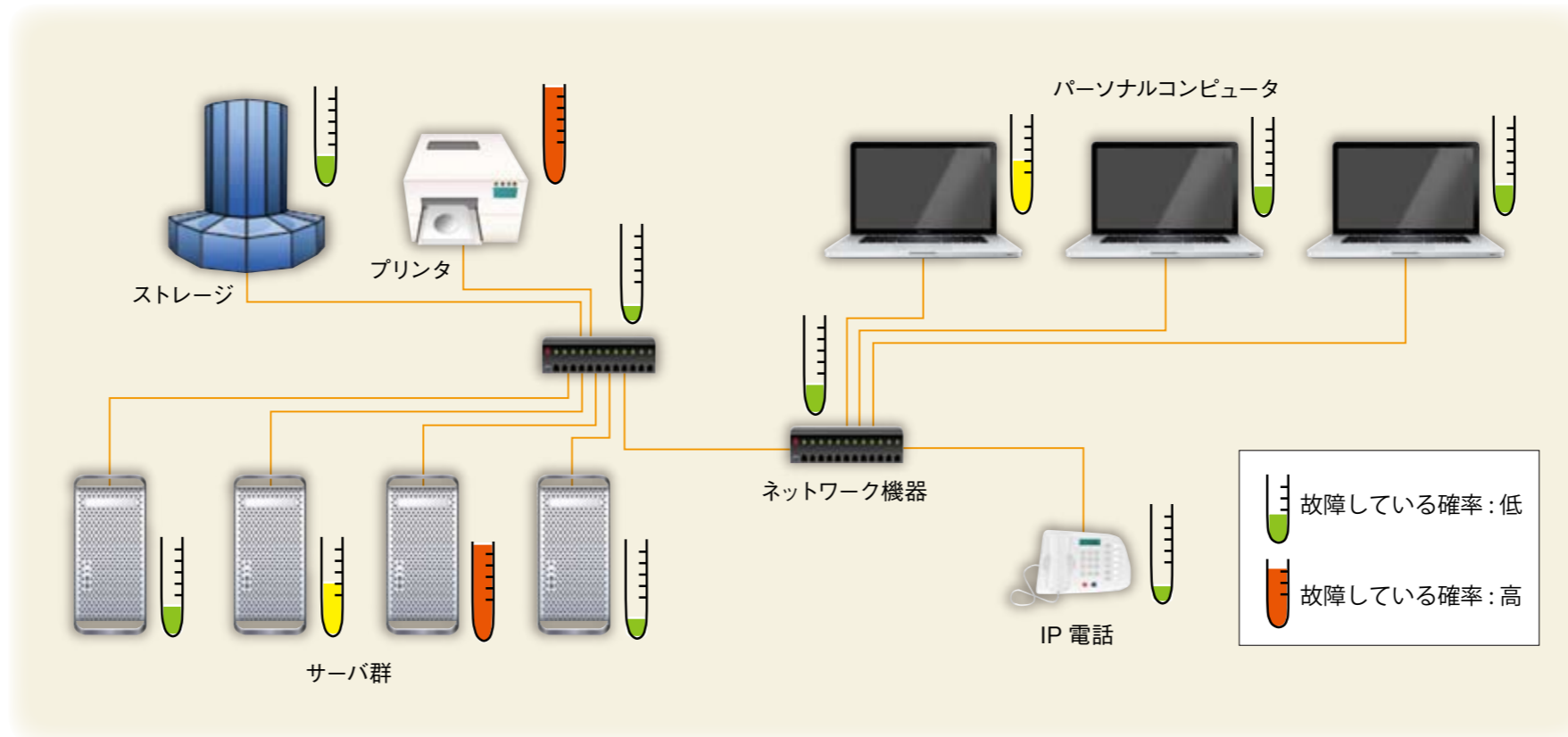
イをもとに、各コンピュータの異常度合いを算出します。そして、他のコンピュータから問い合わせがあればその異常度合いを教えるのです。ちょうどネームサーバ^{※2}のような仕組みです。

事前に故障している確率が高い箇所が分かれば、その箇所の代わりにバックアップ用のコンピュータに接続したり、最適な通信経路を見つけ出したりといった、より効率的なネットワークの利用ができるようになるでしょう。

目で見て分かるネットワーク

故障検出サーバの開発にともなって、サーバが記録して算出した異常度合いを画面で見たり分かりやすいようにするインタフェースを考案しました。ネットワーク内のコンピュータにそれぞれ温度計のようなゲージを付けて、異常度合いの高さによって温度計を上下させます。（下図）

このインタフェースの長所は、ネットワークが



コンピュータ工学部・ コンピュータサイエンス学科 林原 尚浩 助教

PROFILE

博士（情報科学）。専門は分散アルゴリズム、耐故障高信頼システム。学部時代は3年生まで経済学を学ぶが、当時注目されていたOSウィンドウズとリナックスに興味を抱き、情報学へと転進。「こういうシステムがあればいいのに」をいつも形にしていた。海外で情報系のトップの研究者が必ずしも理科と数学ばかりで済むわけではないのを目の当たりにし、情報系の研究者にとって理科や数学は非常に便利な道具であるが、それを使う人の豊かな想像力が重要と確信する。自身の研究成果の一つである故障検出方式（Accrual Failure Detector）は実際のネットワークサービスにおいても用いられている。オープンソースの分散システムの開発環境Nekoの開発にも参加している（The Neko project <http://ddsg.jaist.ac.jp/neko/>）。



どの程度正常に働いているのかが視覚的に把握できること、故障が起きた場合の原因を突き止めやすいということです。将来的には異常度合いの情報から自動的に故障箇所を推測し、人間に教えてくれるシステムにしたいと考えています。

現在のネットワーク管理、主に企業のシステム管理では、いつ起こるか分からない故障に備えて、24時間体制で監視する必要があります。故障が起きても、ネットワーク全体の問題なのか、一部分の問題なのかを特定できないことも多く、1台ずつコンピュータを調べる必要があり、とても1人では対応できません。

24時間体制で何人も管理者を置くとなると、ネットワーク管理者は常に忙しく、会社としてもコストがかかってしまいます。

見た目にも分かりやすく、しかも故障箇所の推測までしてくれる故障検出サーバがあれば、ネットワーク管理者や会社の負担も少なくなり、作業効率が向上するでしょう。

ユビキタス時代の強い味方

故障検出サーバは今後さまざまな分野での応用が期待されています。

まずは、システムのバックアップが挙げられます。企業の顧客情報や社員情報などの重要な情報は消失させないために通常バックアップされます。複数のコンピュータにまったく同じ情報を記憶させているのです。従来のバックアップはたとえば一定の時間間隔で行うなど完全なバックアップとなっていないままです。故障検出サーバを応用すれば、コンピュータが壊れた時点で正確に把握することができるため、完全な復旧が可能になるのです。

また、将来的な話として、より分かりやすいネットワーク管理は家庭での応用が考えられます。現在でも家電製品のコンピュータ化は進んでいて、近い将来に家庭内の家電の多くがネットワークでつながる日がやって来ます。外出先からテレビの録画予約ができた、冷蔵庫の中身を確認できたりと便利になる反面、ネットワークが故障したときに一般のユーザが対応できるのかが問題となります。そこで、異常度合いを分かりやすく表示するインタフェースが役に立つのです。故障箇所が分かるだけではなく、簡単な故障であればボタン一つで機械が自力で修復してくれれば、誰でも簡単に家電のネットワークを利用できます。来るべきユビキタス時代になくてはならないシステムなのです。

※1 エコーのやりとりはwebやメールのデータ送受信に用いられる層（TCP）とは別の層（ICMP）で行われる。ICMPは接続を確立しなくても信号を送受信できるため高速であり、エコーが返ってこなかった場合は、ネットワークの接続状況に関するさまざまな情報を得ることができるため、故障の検出に向いている。

※2 ネームサーバとは、www.kyoto-su.ac.jpなどのコンピュータに付けられた名前（ドメイン名）を問い合わせると133.101.120.20といった4つの数字で表されたIP（ネットワークにおけるコンピュータの住所）を返すサーバのこと。

地震大国・日本の情報管理

耐故障システムの研究者として、考えるべき極限の状況はカストロフィ（大災害）です。予測不能な故障が起きたときにいかにして復旧するのか、復旧するための最小限の情報をどうやって生き延びさせるのか、これは重要な問題です。万が一システム全体が壊れても、一番重要な情報が別に保管されているならば、復旧することも可能なのです。

特に日本は地震が多い国なので、大地震による物理的な大災害が十分考えられます。仮に首都が大地震に襲われたとき、私たちの情報はどの程度守られるのでしょうか。

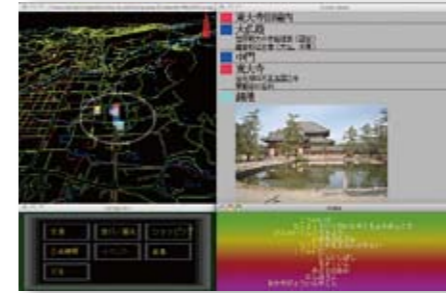
生活空間でのコンピュータの新しい使い方を考える

コンピュータは私たちの生活に欠かすことのできない存在になっています。今後はさらに、多数のコンピュータで一人の人間を支えるユビキタスの時代が来るといわれます※1。いたるところにコンピュータが存在する時代に向けて、便利だけれど自己主張をしすぎない穏やかなコンピュータをどのように創るかを研究している水口先生。これからの人とコンピュータの関わり方や、最近の研究についてお話いただきました。

※1 ユビキタス・コンピューティングの提唱者として有名なマーク・ワイザーはコンピュータの時代を大きく3つに分けた。第一期は大勢の人が一台のコンピュータを共有するメイン・フレームの時代。第二期は一人一台のコンピュータを所有するパーソナル・コンピュータの時代。第三期がユビキタス・コンピュータの時代。



地図情報検索システム WING (1995年)



キーボードを使用せずにマウス操作によるズームインとズームアウトの機能だけで情報を得る地図情報検索システム。地図右には地図上の円内にある施設情報が表示されます。ズームインすると詳細情報が、ズームアウトすると全体を見ることができます。左下のカテゴリウィンドウでは分類から検索が可能。目的の分類をズームインすると下位の分類が出てくるので、該当するカテゴリをさらにズームインして目的地を選びます。右下のインデックスウィンドウはよみがなの途中からでも施設名を検索することができ、名前が一部しか思い出せなくても目的施設を探し出せます。白字になっているところが基準の字で、上からあいうえお順になっています。〇〇ホテルやホテル〇〇を探したければ、「ほ」と「や」の間をズームインしていきます。ユーザの操作に対して連続的かつリアルタイムに反応するズームインインタフェースが特徴的。従来のGUI※2において、ワンクリックという簡単な動作で大きな変化が起こることが使いにくさにつながっているのはという考えから、たくさんひねればたくさん水、少しひねれば少しの水が出る蛇口のように、状態の変化量がユーザの操作量に対応しています。いわば「なめらかなユーザインタフェース」。(シャープでの研究)

情報探索システム Info Globe (1999年)

たくさんの情報をながめて選ぶ「ながめるインタフェース」。Info Globeは仮想本屋システムです。球面にはりついた本がランダムに提示されてくると回り、古いものから消えていきます。興味をひかれたら、ボタン一つを押すことで本が選ばれます。すると選択された本の詳細が画面右に表示され、球面では関連する本が回ります。

天才は1%のひらめきと99%の汗でできている

トーマス・エジソン

エジソンのこの言葉は有名です。ただ、彼が実際に言ったのは「1%のひらめきがあれば99%の努力も苦にならない」という意味。もちろん努力も必要ですが、たった1%の小さなものであれ、ひらめきを大事にしてほしいと言いたかったのです。

HCIの分野では特に、いかに人と違う着想を得るかが重要になります。同じinputであればoutputも同じになります。人と違うひらめきを得るためには、いろいろなものを見聞きして、人と違うinputをたくさん持っていることが大切なのです。ですから高校時代に「自分はこれが得意!」と自慢できるようなものを持っているといいでしょう。バックグラウンドが多ければ、それだけ面白い発想ができますから。もちろん基礎体力として勉強は大切ですが、勉強以外のことでもよいので、何か人と違うことにチャレンジしてみてください。

さりげないコンピュータ

ユーザインタフェースとHCI (ヒューマンコンピュータインタラクション)

HCI (ヒューマンコンピュータインタラクション) は、人とコンピュータおよびコンピュータを介した人と人とのインタラクションに関する研究分野です。ユーザインタフェースがコンピュータの操作をどのようにわかりやすく簡単に効率的に便利にするかを研究する分野だとすると、HCIはコンピュータの使い方そのものに焦点をあてるものです。

切符の券売機を例にとってみると、ユーザインタフェースはどうすれば切符が買いやすくなるか、使い勝手のよい券売機を研究すること。一方、そもそも切符を買わずに電車に乗れたらもっとよいだろうと、プリペイドカードやICOCAなどのICカードを考え出すのがHCIの分野だといえるでしょう。発想を転換することで新しい乗車システムを考えるのです。

いまやコンピュータは机の上で使うだけのものではありません。携帯電話やゲーム機などのように、生活の中のありふれた存在でもあり、コンピュータと人間との関わり方も変わってきています。こうした中で、コンピュータの新しい可能性を切り拓いていくのがHCIの研究分野。もちろん、使いにくいと話になりませんから、ユーザインタフェース、ユーザビリティの観点は基本としては外せませんが。

これまでにないコンピュータを創り出す

HCIの前衛的な分野では、アートやエンタテイメントとの境目はなくなりつつあります。求められるのはクリエイティブな能力です。また、ユーザビリティを最重要としない流れもみられます。iPodを手にとったことがある人はわかると思いますが、iPodはユーザビリティの面では決して優れている

わけではありません。しかし、iPodはヒットしました。デザインや性能、操作感などの面から「持ちたくなる」「使いたくなる」ものであることの方が、ぱっと見て操作方法がわかることよりも重要なのです。繰り返し使うものは直感的に使い方がわからなくても、使い勝手がよく、忘れない程度の操作方法であれば、ユーザインタフェースとして支障はありません。むしろ使っていて気持ちがいいことやクールなデザインを備えていることが、好んで使いたくなる、すなわち使い勝手がよいとユーザには判断されるようです。

こうしたHCIの分野の中で“コンピュータの新しい使い方”を模索するのが私の研究の一つのテーマです。

Calm Technology —穏やかな技術に向けて

ユビキタス社会という言葉は、いつでもどこでもコンピュータに囲まれた社会を意味するものとしてよく紹介されますが、実はこれは提唱者のマーク・ワイザーがいった意味とは少し異なります。彼が思い描いたのは“Calm Technology”に囲ま

れた世界。すなわち、普段は何気ない存在になっていて、必要な時にはそっと支えてくれるようなコンピュータに囲まれた世界のことを意味していたようです。

私がめざしているのもある意味“Calm Technology”で、いわば“一所懸命に使わないコンピュータ”を創りたいと考えています。たとえば、研究中の文字アニメーション(右頁参照)を使って、さりげなくいい情報に気づかせるようなもの。あるいは、ユーザが一所懸命探さなくても面白くて役に立つ情報を提供してくれる、つけっぱなしのテレビのようなものなどです。身の回りを取り囲むコンピュータの便利さは失いたくないけれどコンピュータにしばられない、そんな未来を創っていきたいと考えています。

以下に、こうした研究から生まれたものをいくつか紹介します。

コンピュータ理工学部・
ネットワークメディア学科
水口 充 教授

PROFILE

博士(工学)。専門はインタラクションデザイン。コンピュータが好きで、中学生の頃からプログラミングのできる電卓でゲームを創作していた。雑誌に投稿して掲載されたことも。当時から「人と違う新しいもの」を作ることが好きだった。京都大学工学部工業化学科では化学反応をコンピュータシミュレーションでモデル化する研究をする一方、趣味でコンピュータを触る毎日。修士課程修了後はコンピュータに携る仕事がいりたくてシャープ株式会社へ就職。コンピュータシミュレーションやCADの部署から隣の部署で始まったユーザインタフェースの研究へ異動したことが現在の研究につながっている。東大寺学園高等学校出身。



文字のアニメーション (2008年)



動きのついた文字による視覚的表現。たとえば「snow」という文字が画面をゆっくりと上から下へ移動します。まるで、しんしんと降る雪のように見えます。一方、同じ「snow」が斜めに激しく動くと、吹雪のように感じます。

文字のアニメーションを応用して開発中なのが「Ambient Mailer」。現在の新着メールの通知では、どんなメールが届いたかわかりませんから、重要なメールとそうでないメールとを見分けることができません。Ambient Mailerでは文字情報の特徴を文字自体で表すことで、どんなメールが届いたかわかる仕組みです。また、文字アニメーションを使うことで邪魔にはならない程度に気づきをうながすといった、何気ない存在感を示します。画面左にスクロールされるのが件名。画面中央辺りではメール本文中のキーワードがポップアップする動きとともに、ランダムな色と角度で現れては消えます。生活空間で表示することを想定し、★マークで伏せ字をして本人にだけ気づきをうながします。内容を知らない人にとっては、まるで動くアートのよう。重要なメールではどのような気をひく表現をさせることができるかなど、今後の研究課題も尽きません。

※2 Graphical User Interfaceの略。コンピュータの画面上にグラフィックで表示された情報をユーザはマウスなどで選択する。それまでの主流は命令文を入力して実行する方式(CUI)。GUIでは直感的な操作が可能。

コンピュータの歴史

- 1946年 世界初のコンピュータENIAC完成
- 1964年 世界初の汎用コンピュータ(メインフレーム)発売
- 1971年 世界初の4ビットマイクロプロセッサ開発
- 1977年 パーソナルコンピュータ誕生 Apple II発売
- 1981年 IBM PC発売
- 1984年 Macintosh発売
- 1995年 Windows 95発売 (1990年代 携帯電話の普及)
- 2000年 プレイステーション2発売。DVDが普及していく。
- 2001年 iPod発売
- 2001年 ADSL普及(ブロードバンド元年)
- 2008年 総務省・ユビキタス特区を創設し実証実験を開始

ロボカップサッカー —シミュレーションリーグ

「2050年にサッカーの世界チャンピオンに勝てる、自律型ロボットのチームを作る」ことを目標に、人工知能やロボット工学などの研究を推進しているロボカップサッカー※1。研究の実験・発表の場として競技会形式の国内大会、世界大会が毎年行われています。

このうち研究の題材にしているのは、コンピュータ内の仮想フィールドで人工知能プログラミングされた選手同士が対戦するシミュレーションリーグ。ボールがどの位置にあれば取りに行く、相手選手がどのくらいの位置に来たらパスを出すなど選手ごとにパラメータ※2を自由に設定することができ、強くて賢いチームを作るべくさまざまな研究がなされています。

遺伝的アルゴリズム (GA) を使った自ら強くなるチーム

シミュレーションリーグでの主な研究は、「強い」チームになるように、選手の個人技や選手間の連携などの工夫を考えて、その工夫をプログラム化する手法です。けれどもそれでは人間の発想内にとどまり、サッカーのプロではない我々がチャンピオンに勝つのは難しいでしょう。人は練習や学習を重ねて成長します。プログラムも同じように自ら「強く」なれないものでしょうか。

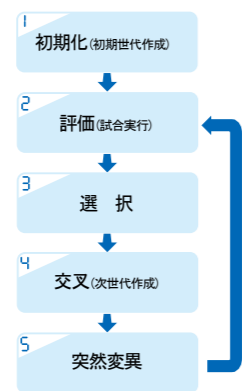
そこで考えたのが、生物の進化の過程をもとに考え出された遺伝的アルゴリズムを使う方法です。生物は親から遺伝子を受け継ぎ、自然淘汰を繰り返すことで環境に適した遺伝子を残します。この進化の過程をヒントにして考えられたGAを使い、チーム1つを生物1匹に見立てて自然淘汰のシミュレーションを行うことで、チームが進化していく（強いチームだけが生き残り、より強いチームを生み出していく）ことができるのではないかと考えたのです。チームのなかには11人の選手がいますので、それらの選手がもっているパラメータをひとまとめにしたものが、そのチームの染色体です。パラメータの値が変われば選手の動作の仕方が変わりますので、パラメータの値の決め方次第で、強いチームにも弱いチームにもなります。

GAの主な流れは図1の通りです。初めに、パラメータの値をランダムに決めたチームを数多く作ります。ランダムに決めるだけですので、この時点では、「どういう値にすれば強くなるか」ということを知っている必要はありません。続いて、淘汰を行うためには、各チームの強さを調べなければなりません。強いチームだけを生き残らせるためです。そこで、人間が考えて作ったサンプルのプログラムをいくつか用意しておき、そのチームと試合をさせます。試合結果の得点と失点を見て、互いのチームの強さを判断します。子を残す

ことができるのは強いチームだけです。親となるチームを選択し、親同士を交叉させることで新しい世代(子)を作り出します。最後に、一定の確率でパラメータをランダムな値に置き換える突然変異を加えます。

突然変異を加えるのは、強い親チーム同士から生まれる子チームが、互いに似たようなチームばかりに偏ってしまうことを避けるためです。別の値が混じることによって、もっとよいチームが生まれる可能性が出てくるのです。この①初期世代作成→②強さの評価→③選択→④新世代作成→⑤突然変異→②～⑤→…を何世代も繰り返してチームを進化させていきます。

図1



単目的GA

簡単な実験も行っています。初期世代を30チーム作り、強さの評価のために、3つのサンプルチームと対戦させました。得点は多く失点は少ないチームほど「強い」と評価します。一方だけがよくてもあまり高くは評価されません。親チームから子チームを作る交叉の方法としては、図2のような「一点交叉」という方法を使いました。親チームは、30チームのなかで上位にいるチームほどより高い確率で選ばれる「ルーレット選択法※3」で選びます。これを30世代繰り返しました。

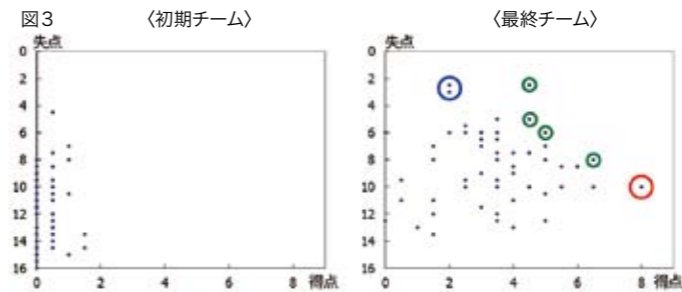
チーム数も世代数も少ない実験でしたが、チームの進化をある程度示す結果が出ました。また、対戦相手であるサンプルチームが攻撃重視型の場合は失点を抑えるような進化が、守備重視型の場合は得点を増やすような進化がそれぞれ見られました。実世界での生物の進化は環境の変化に合わせて進みますが、同じことが、ロボカップサッカーのチームにGAを適用した場合にも起こったということです。

このシミュレーションでは、30チームの強さの順位づけを、サンプルチームと対戦したときの得点・失点で決まる1つの数値(得失点差のようなもの)に基づいて行っていました。このように、1つの評価基準で個体の順位を決め、その評価基準の値がよりよくなるよう進化させるGAは「単目的GA」と呼ばれています。

多目的GA

サッカーチームが進化する過程のなかで、「10対11で負けたチームA」と、「2対1で勝ったチームB」の2チームがあったとします。勝敗だけを見ればチームBのほうが「強いチーム」であり、試合に負けたチームAは、生き残れない(次の世代に子を残せない)かもしれません。しかし、チームAは試合には負けましたが10点もの大量点数をとることができています。したがって、チームAの遺伝子には「得点を多くとる」のに有効な特徴が含まれている可能性が大きいと考えられます。このチームAの遺伝子は、次の世代に「もっと得点をとれるチーム」を作ることに役立つかもしれません。

「単目的GA」のときには、得点と失点の両面を平均的に見て強さの順位を決めていたので、Aのようなチームをあまり高く評価できませんでしたが、そこで、Aのようなチームは「得点能力の高いチーム」として、Bのようなチームは「失点防止能力の高いチーム」として、どちらも順位を高く評価する方法を考えました。このように、評価の観点から絞らず複数の観点で評価するようなGAは「多目的



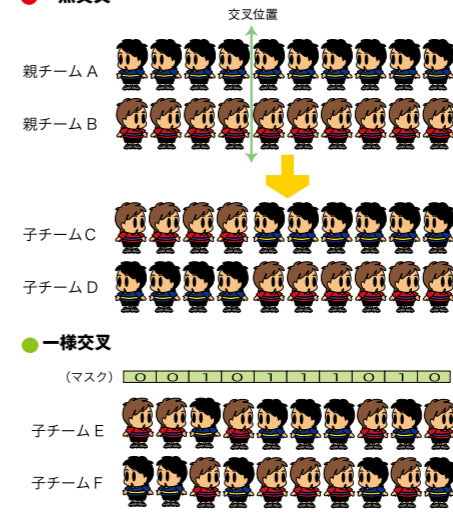
ADVICE

学生のひらめきから新しい研究も

高校生のみならず、大学に入ったら「こんなことを学びたい」「この先生の所でこんな研究をしてみたい」といった将来のビジョンをもって進学してほしいと期待しています。何かを「研究」してみることに興味があってチャレンジ精神豊かな人は大歓迎です。私も学生諸君と一緒に進めることでいろいろな研究ができますし、新しい研究が生まれることもあります。

これまでも例えば、メガネのように装着してコンピュータの画面を表示する「ヘッドマウントディスプレイ(HMD)」を使った研究にチャレンジしたいとの学生のアイデアが、人が見ている視界にコンピュータが情報を重ね合わせ表示する「拡張現実感ユーザインタフェース」を応用したシステムの研究につながりました。トランプゲームへの応用例では、人が自分の手札や卓上のカードを見ているとき、その見ているカードについての情報(カードの強さなど)や、いまとるべき手の情報(どのカードを手札から捨てるべきかなど)を、視界に重ね合わせて表示します。このシステムを使えば、トランプゲームのルールをよく知らなくてもそのゲームを行うことができ、ゲームをしながらルールを自然に覚えられるようになりました。これと同じ技術を使って、英語の文書を読むとき、人が紙面上で見ている単語の日本語訳をその単語の近くに重ね合わせ表示するシステムも開発しました。

図2
●一点交叉



交叉のもととなるランダムなマスクパターンを作成し、それによって遺伝子(ここでは選手にあたる)が入れ替わる。子チームEはマスクパターンが0の位置では親Bの選手を、1の位置では親Aの選手を受け継ぐ。子チームFはこの作業の逆を行う。

GA」と呼ばれます。

今度は、この「多目的GA」を用いてシミュレーションを行いました。対戦相手には強いチームも弱いチームも含めて使いました。チーム数は60に、世代数は100世代以上に増やしました。また、交叉の方法は「一様交叉」(図2)に変更しました。60チームは世代が進むにつれて、得点主義のチーム、失点防止主義のチーム、得点・失点バランス主義のチームに分化しながら進化していきました(図3)。つまり、多目的GAを用いることで、いろんな特徴を持ったチームへと進化させられることがわかったのです。

チーム単位から選手単位へより複雑なGAへ

ひと昔前に人工知能(AI=Artificial Intelligence)がさかんに研究された時の方法

GAを使った他の研究

稼げるロボット——株ロボ

ロボカップサッカーと同じ方法で研究しているのが、株の売買をするプログラム。「株ロボ」と呼ばれています。GAを用いてシミュレーションを繰り返すことで人間が思いつかないような新しい株売買ルールをもったプログラムができるかもしれません。人間を超える稼げるロボットが育つかどうか、目下研究中です。

誰でも作曲家に——自動作曲

音楽は音符の並びで表されます。その音符の並びを遺伝子に見立ててGAを適用することで、人の好みにあうように音楽を進化させることが可能になってくるでしょう。コンピュータがランダムに作った曲を人間が聴いてそのなかからよいと思う曲を選び、「よい曲」を親としてコンピュータが次の曲を生成します。このようなサイクルを繰り返せば、次第に、その人の好みにあった曲へと進化していくことが期待されます。音符、楽譜、楽器などの知識がまったくない人でも着メロやBGMなどを作れるようになれば面白いと考えています。

は、人間のプロから思考や行動のルールを聞き出してそれをプログラムするものでした。このAIは一見プロと同じような優秀な働きをしますが、ルールのなかで想定されていない状況になると応用が利きません。最近のAI研究ではコンピュータが数ある情報から役立つ知識を見つける(=学習する)ことや知識をもとに新しい結論を得る(=推論する)ことに重きが置かれています。

GAも学習アルゴリズムの一種と考えることができます。生物であれば何万年とかかる進化の過程をコンピュータは得意な計算パワーを使って瞬時に繰り返し、最適な結果を導こうとします。ロボカップサッカーでは初期世代を強いチームから始めることもできます。しかし、サッカーのことを何も知らないまま勝手に強くなるチームを作ることができたら他にも応用が利きそうですから、ランダムな値から始めて結果を出したいと思っています。

これまでに行ってきた研究では、まだ、評価尺度は試合結果のみ、対象もチーム単位です。しかし、実際の評価尺度はこれだけではありません。シュート回数、パス成功回数、アシスト回数、パスのインターセプト回数、ボールの保持時間など、多岐に渡ります。これらの観点からも評価を行うためには、対象を選手単位にする必要があるでしょう。評価方法はかなり複雑になりますが、今後進めていければと考えています。

※1 「2050年にサッカーの世界チャンピオンに勝てる、自律型ロボットのチームを作る」ことを目標に人工知能やロボット工学などの研究を推進し、さまざまな分野に応用させることを目的としたランドマークプロジェクト。国内大会は現在、シミュレーションリーグ、マイクロロボットサブリーグ、小型ロボットリーグ、中型ロボットリーグ、スタンダードプラットフォームリーグ、ヒューマノイドリーグにわかれている。

※2 選手の動作を制御するために設定する値。
※3 左のようなルーレットを作成し、ランダムに次世代に残す個体を決める選択方法。強いチームほど幅が広く選ばれる確率が高くなるが、弱いチームであっても選択される可能性がある。

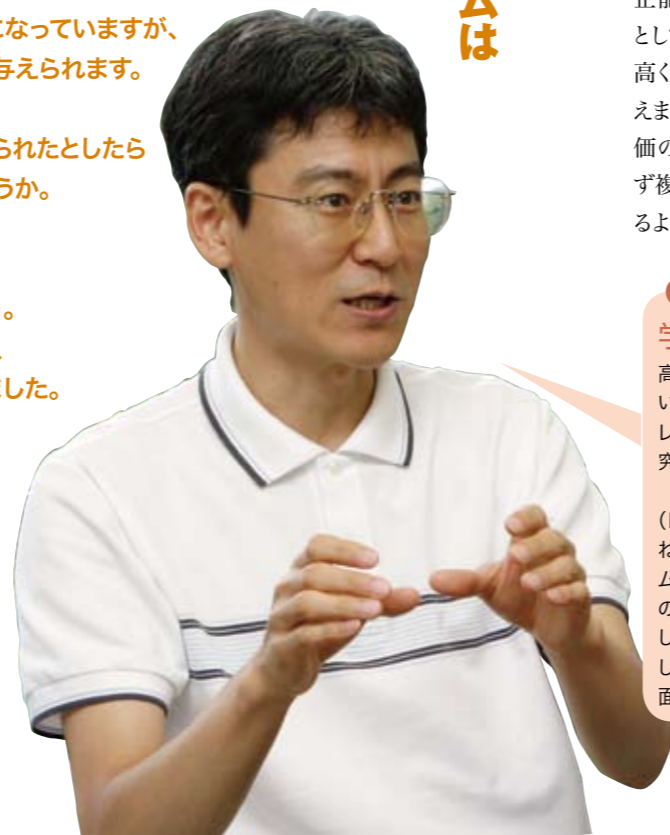
進化する プログラム

人間を超えるか
遺伝的アルゴリズムは

コンピュータプログラムは仕事の手順書のようなものです。プログラムによってコンピュータはさまざまなデータを処理することが可能になっていますが、一般的には人間の手でよりよい手順書が与えられます。もし人間のように自ら学び、自ら問題を解決するようなプログラムが作られたとしたら私たちの世界はどのように変わのでしょうか。岡田先生が研究しているのは、生物の進化を工学的に真似た遺伝的アルゴリズム(GA=Genetic Algorithm)。このアルゴリズムのしくみと応用について、ロボカップサッカーを例にお話いただきました。

コンピュータ工学部・インテリジェントシステム学科
岡田 英彦 准教授

PROFILE
博士(工学)。マンマシンインタフェースの研究や、GAのような知的計算アルゴリズムの応用の研究などに取り組んでいる。



先端領域に広がる理系3学部の学びのフィールド。

理学部

大自然の真理を
明らかにする。

数理科学科

2つのコースにわかれて学び、
数学的思考力と発想力を修得。

基礎数理科学コース 応用数理科学コース
代数学 自然と社会の数理系
幾何学 プログラムの数理系
数学解析学
複素解析学

物理科学科

ミクロの世界から宇宙まで、
物理的現象にアプローチ。

天体・宇宙物理
素粒子・原子核
地球・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。

ユビキタス
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