

# 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.15

01

## 数列からゼータへ

オイラーの手計算、ザギエの数値計算、そして…

田中 立志 准教授

02

## 小さなゆらぎが作り出した 宇宙の大規模構造

銀河の分布から見えてくる宇宙の全体像

原 哲也 教授

03

## 誰も挑戦しなかった 地中電磁波による地震予知

地上の電磁波研究から、地中の電磁波パルスを検出へ

筒井 稔 教授

04

## 通信速度向上から 垣間見えるコンピュータ技術の 開発動向

今起こりつつあるシステム全体の変革

安田 豊 講師

05

## ユビキタス住宅に 詰め込まれた 未来のコンピューティング

テクノロジーと共に変貌する生活スタイルを考える

平井 重行 准教授

06

## 細胞分化の謎に迫る

1本の消化管から複雑な消化器官へと  
分化するメカニズムを解明

八杉 貞雄 教授

07

## 植物はどこで 環境変化を 感知しているのか

環境によって姿を変えるニューベキアを用いた  
表現型の可塑性についての研究

木村 成介 准教授

08

## 動物の健康を守り、 人間の健康にもつなげる

“メラミン”によるペット大量死  
—そのメカニズムの解明

村田 英雄 教授

### 数列からゼータへ

オイラーの手計算、ザギエの数値計算、そして…



理学部  
数理科学科

**田中 立志**

准教授  
博士(数理学)  
応用代数系分野

0011

高校数学で習う数列では、その面白さをあまり実感できないかもしれませんが、実は数列にまつわる問題は、身近なところで役立つものから、未解決の超難問まで数多く存在しています。

数列に関連したパラドックスの話、一般のべき和公式導出法、数列の反転という一歩進んだ数列の話から始めて、オイラー、ザギエが築いてきた多重ゼータ値の世界へとご案内します。

### 小さなゆらぎが作り出した宇宙の大規模構造

銀河の分布から見えてくる宇宙の全体像



理学部  
物理科学科

**原 哲也**

教授  
理学博士  
宇宙物理学、天体核物理学

0022

私たちがいる銀河系には、太陽のような恒星が数千億個あります。さらに、観測可能な宇宙には、このような銀河が数千億個あるといわれています。

想像もつかないような広さの宇宙ですが、宇宙空間には銀河のたくさん集まっているところと、ほとんど存在しない場所があって、まるで泡状かハチの巣のように分布していることがわかっています。この「宇宙の大規模構造」と呼ばれる不思議な分布の起源や謎について、ご紹介します。

### 誰も挑戦しなかった地中電磁波による地震予知

地上の電磁波研究から、地中の電磁波パルスの検出へ



コンピュータ理工学部  
コンピュータサイエンス学科

**筒井 稔**

教授  
工学博士  
電磁波計測工学、  
宇宙空間プラズマ物理学

0033

大きな衝撃のある地震も電磁波を発生します。その電磁波パルスを捉えて、その強さや発信源の位置を知ることで、これまでにない地震予知ができるのではないかと研究を重ねています。

これまで誰もやったことのない研究ですから、検出装置も手作りです。地上の電磁波の影響を受けない観測点も見つけることができ、最新鋭のセンサーも完成しましたので、最新の成果をご紹介します。

### 通信速度向上から垣間見えるコンピュータ技術の開発動向

今起こりつつあるシステム全体の変革



コンピュータ理工学部  
ネットワークメディア学科

**安田 豊**

講師  
理学士  
ネットワークシステム

0044

通信速度の向上やCPUの処理能力向上が、ユーザの使い方を変化させました。その変化がさらにシステム全体の構造を変化させ、数万台のコンピュータを一カ所に集めたデータセンターで、世界中のユーザから集まる大量の処理要求をさばくサービスも現れるようになりました。

ユーザにとっては「ちょっと処理が速くなった」と感じる程度のことでも、背景ではシステム全体に及ぶ大きな変革が起きているのです。最近のコンピュータシステム全体の変革についてお話します。

### ユビキタス住宅に詰め込まれた未来のコンピューティング

テクノロジーと共に変貌する生活スタイルを考える



コンピュータ理工学部  
インテリジェントシステム学科

**平井 重行**

准教授  
博士(工学)  
ヒューマンコンピュータインタラクション

0055

歯磨きをしながら、鏡に映るニュースをチェックしたり、トイレで自動的に尿検査ができたり……いたるところに埋め込まれたコンピュータが、その存在を意識させることなく豊かな生活をサポートしてくれる、そんなユビキタス住宅の研究をしています。

最先端の設備を備えた実験住宅を使った生活実証実験では、ユビキタスコンピューティングを実現する新しいシステムの検証をしています。ユビキタスコンピューティングの実現と可能性についてご紹介します。

### 細胞分化の謎に迫る

1本の消化管から複雑な消化器官へと分化するメカニズムを解明



総合生命科学部  
生命システム学科

**八杉 貞雄**

教授  
理学博士  
発生生物学

0066

食道、胃、小腸、大腸などの消化器官は、発生の初めの段階では1本の単純な管（消化管）でしかありません。上皮と間充織からなる消化管がいつ、どのように分化するのかについて、主にニワトリの胃を使って研究しています。

これまでの研究で、分化の際、上皮と間充織が互いに作用しあっていることを、それぞれで重要な働きをする因子を見つけることで明らかにしました。

今後は、私たちの体の中にある組織幹細胞の発生について研究を重ねて、再生医療などにも役立てられればと思っています。

### 植物はどこで環境変化を感知しているのか

環境によって姿を変えるニューベキアを用いた表現型の可塑性についての研究



総合生命科学部  
生命資源環境学科

**木村 成介**

准教授  
博士(理学)  
植物環境応答学、  
植物分子発生生物学

0077

環境によって生物の表現型が変わることを「表現型の可塑性」といいます。私は表現型の可塑性のメカニズムや、なぜこうした変化が起こるのかについて研究しています。

現在研究しているのは、ニューベキアという水生植物。温度や光が変わるとまるで別の植物のように葉の形が変化します。発生学的なアプローチで、葉の根元で変化が起きていることがわかりました。

今後、膨大な数の塩基配列を読むことのできる次世代シーケンズを使った遺伝子解析で、葉の形を変えるのに重要な働きをしている遺伝子を同定できればと思っています。

### 動物の健康を守り、人間の健康にもつなげる

“メラミン”によるペット大量死—そのメカニズムの解明



総合生命科学部  
動物生命医科学科

**村田 英雄**

教授  
博士(獣医学)  
応用獣医学、畜産学

0088

北米で起きたペットの大量死事件や中国では粉ミルクに混入していたことで問題になった“メラミン”の害。食器などのコーティングに使われる物質で、それ自体の毒性は低いのですが、シアヌル酸と結びつくと不溶性を持つようになり、腎障害を起こすことがわかっています。

メラミン自体が謎の多い物質のため、腎障害を起こすメカニズムについてもまだ解明されていません。再発の危険性も心配されますので、一日でも早くこのメカニズムを明らかにしたいと研究を重ねています。

## オイラーの手計算、ザギエの数值計算、そして…

高校数学で習う数列では、並んだ数の間に成り立つ規則性を見つけたり、数列の和を求めたりします。計算問題は解けても、一体どのように発展していくのかわからないという人もいます。実は、そのように高校で慣れ親しんだ数列にも、興味深い話題がたくさん存在します。数列にまつわるパラドックスから、多重ゼータ値やザギエの次元予想といった最先端の話題まで、その幅広い魅力について、数列に詳しい田中立志先生にお話をいただきました。

### 数列の魅力

数列とは言葉の通り、数を並べた列のことです。一つひとつの数に着目することはとても大切なことですが、一方で、数列といういくつかのまとまった数を眺めたときに見える規則の数々も、大変興味深いものです。たとえば、11, 8, 5, 6, 4, …と続く数列があれば、次の数が何なのか気になりませんか。

高校数学では、数列の一般項の求め方や、等差数列・等比数列、数列の和などを学ぶと思います。証明などでよく使う数学的帰納法も数列の応用の一つです。しかし、実際に数列の問題を解いていても、その面白さをあまり実感できない人もいるかもしれません。

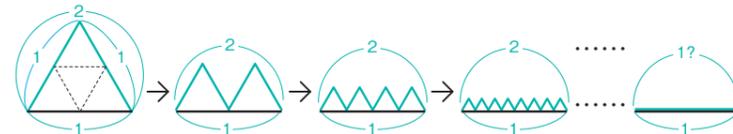
数列にまつわる問題は、日常的なレベルから、未だに解決されていない超難問までたくさん存在します。江戸時代の和算家吉田光由が記した『塵劫記』に登場する「ある期間にどれだけねずみが増えるか」というねずみ算の問題や、利息が将来どこまで膨らむかという複利計算は、身近なところで役立っている数列の例です。

ここでは、高校で習う数列の知識をもとに、一歩進んだ数列の面白い世界をいくつか見ていきましょう。

### 数列とパラドックス

まずは、数列に関連したパラドックスを二つ紹

図1



介しましょう。一つ目は数学的帰納法に関連した話です。

『髪の毛が一本もない人はハゲである。ハゲの人に髪の毛を一本追加してもハゲである。したがって世の中のすべての人はハゲである』もちろんそんなはずはないのですが、議論の仕方を見ると一見間違っていないように見えます。nで成り立つと仮定して、n+1でも成り立つならば、任意のnで成り立つというのが数学的帰納法です。その考え方からすればこの主張は正しいのですが、明らかにおかしいですね。

実は、「ハゲ」という言葉の定義が数学的に明確ではないため、このようなパラドックスが生じてしまうのです。これは「ハゲ頭のパラドックス」として古くから知られているものです。

二つ目は目の錯覚によるパラドックスです。図1を見て下さい。

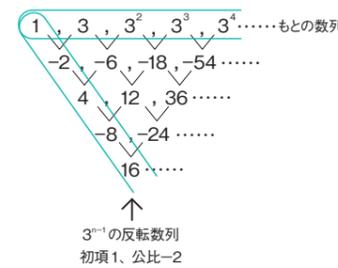
この図は、一辺の長さが1の正三角形の頂点を折り曲げる操作を繰り返した結果です。折り返したただけですので、もちろん辺の長さが変わることはありません。この図で並んだ図形は、底辺以外の辺の長さの和は2, 2, 2, …とどこまでいっても2です。しかし、この操作を無限に行った後の一番右の図では、底辺とそれ以外の長さが一致しているように見えます。つまり、

2, 2, 2, …という数列が1に収束してしまうかのようです。もちろん、数学的にそのようなことが起こるわけがありません。さてこの真相はどこにあるのでしょうか。

実際には、いくら折り返していっても高さが0になることはありません。その極めて小さな高さを考えれば、これは2に一致するのです。

このようなパラドックスに直面した時も、数学的に思考して真実を見つけられる力を養いたいものです。

図2



右辺の各係数はパスカルの三角形を作る二項係数と呼ばれる数です。右辺の $k^5$ を左辺に移すと、  
 $(k+1)^5 - k^5 = 5k^4 + 10k^3 + 10k^2 + 5k + 1$   
 となります。両辺 $k=1$ から $n$ までの和を取ると、

$$\begin{aligned} 2^5 - 1^5 &= 5 \cdot 1^4 + 10 \cdot 1^3 + 10 \cdot 1^2 + 5 \cdot 1 + 1 \\ 3^5 - 2^5 &= 5 \cdot 2^4 + 10 \cdot 2^3 + 10 \cdot 2^2 + 5 \cdot 2 + 1 \\ 4^5 - 3^5 &= 5 \cdot 3^4 + 10 \cdot 3^3 + 10 \cdot 3^2 + 5 \cdot 3 + 1 \\ &\vdots \\ (n+1)^5 - n^5 &= 5 \cdot n^4 + 10 \cdot n^3 + 10 \cdot n^2 + 5 \cdot n + 1 \end{aligned}$$

$$(n+1)^5 - 1 = 5 \sum_{k=1}^n k^4 + 10 \sum_{k=1}^n k^3 + 10 \sum_{k=1}^n k^2 + 5 \sum_{k=1}^n k + 1 \quad \text{……式①}$$

斜線を引いた項が相殺され、式①が出てきますが、 $\sum k^4$ 以外の項はすでに知っていますね。よって、 $\sum k^4$ という形に変形して、残りの部分には公式を当てはめると、

$$\sum_{k=1}^n k^4 = \frac{1}{30} n(n+1)(2n+1)(3n^2+3n-1)$$

という答えが出てくるのです。このような公式は、一般に「べき和公式」と呼ばれており、ベルヌーイ数という興味深い数とも密接に関連してきます。

### 数列の反転

図2は初項1、公比3の等比数列{1, 3, 3^2, 3^3, …}からスタートして、左の数から右の数を引くという操作を繰り返したものです。この図の左端には新たな数列{1, -2, 4, -8, 16, …}が現れていますが、これは初項1、公比-2の等比数列になっています。この左端に並ぶ数列を、元の数列の反転といいます。

反転にはさまざまな性質があります。例えば、反転させた数列を再び反転させると元の数列に戻ります。図を逆から見ればこれは明らかでしょう。また、少し煩雑になりますが、反転させた数列の和の数列をさらに反転させて和をとると元の数列に戻ります。

反転数列の例を見てみましょう。たとえばフィボナッチ数列※1の反転はまた(ほぼ)フィボナッチ数列になります。また、数列{1, 1/2, 1/3, 1/4, …}の反転はそれ自身になります。数列の反転にはさまざまな興味深い性質や応用があるため、いろんな数列の反転を求めてみると面白いでしょう。

※1 フィボナッチ数列  $a_0=1, a_1=1, a_{k+2}=a_{k+1}+a_k (k \geq 0)$  という形で表される数列のこと。

### リーマンゼータ値と多重ゼータ値

ここからはゼータの話をしていきましょう。まず、リーマンゼータ値というものをご紹介します。名前だけ聞くと難しそうですが、式で書いてしまえば単純です。

$$\zeta(k) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^k} = 1 + \frac{1}{2^k} + \frac{1}{3^k} + \frac{1}{4^k} + \dots$$

(kは2以上の自然数)

k=1のとき、この無限級数は無限大に発散してしましますが、2以上であれば何かの値に収束することが知られています。このリーマンゼータ値に関しては、次の驚くべき事実が成り立ちます。

$$\zeta(2k) = (\text{有理数}) \times \pi^{2k}$$

この式を約300年も前に手計算で見つけた人物こそ、最も名前の知られた数学者の一人、レオンハルト・オイラー (Leonhard Euler, 1707-1783) です。オイラーが解き明かしたのは、この偶数点での値の公式です。では、奇数点におけるリーマンゼータ値はどうなるのでしょうか。これに関しては今なお未解決な部分が多く、一般には大変難しい問題だろうと思われています。

私の研究対象は、リーマンゼータ値を発展させた「多重ゼータ値」と呼ばれるものです。多重ゼータ値に関しては、ザギエ (Don B. Zagier, 1951-) の次元予想という大きな予想が立てられています。ザギエは人並み外れたプログラミングの能力によって、コンピュータで上手い数値計算を行いこの予想を立てました。ここでは詳細に立ち入ることはしませんが、多重ゼータ値に関して多くの関係式が成り立つことなどを示唆した予想です。この予想はかの有名なリーマン予想※2にも匹敵する、あるいはそれ以上に難しい問題かもしれません。

オイラーは手計算で、ザギエは数値計算で、それぞれゼータに関する大きな成果を打ち立てました。技術の進歩と同時に、数学も次々と新しい成果が生まれています。ゼータに関しても、今後の発見が楽しみです。

※2 リーマン予想については「サイエンス&テクノロジー vol.4」『素数が奏でる数学の謎』村瀬 篤 教授 (バックナンバー [http://sgc.kyoto-su.ac.jp/s\\_t/index.html](http://sgc.kyoto-su.ac.jp/s_t/index.html)) を参照。

# 数列からゼータへ

### べき和公式

皆さんは高校数学で、

$$\sum_{k=1}^n 1 = n, \quad \sum_{k=1}^n k = \frac{1}{2}n(n+1),$$

$$\sum_{k=1}^n k^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1),$$

$$\sum_{k=1}^n k^3 = \left\{ \frac{1}{2}n(n+1) \right\}^2$$

という数列の和の公式を学んだと思います。それでは、 $\sum_{k=1}^n k^4$  や  $\sum_{k=1}^n k^5$  など求めるにはどうしたらいいでしょうか。

試しに  $\sum_{k=1}^n k^4$  を求めてみましょう。まず  $(k+1)^5$  の展開式を考えます。

$$(k+1)^5 = k^5 + 5k^4 + 10k^3 + 10k^2 + 5k + 1$$

理学部 数理科学科  
田中 立志 准教授

### PROFILE

博士(数理学)。専門は整数論の中でも特に多重ゼータ値や多重L値。生まれは福岡県。幼少(1歳10ヵ月くらい)のころは積み木遊びが大好きな子どもだった。小中高と、算数・数学の先生に恵まれて育ち、高校数学の中では数列が特に好きだったという。趣味は囲碁(アマ5段程度)。私立東明館高校OB。

### ADVICE

#### 「好きこそもの上手なれ」

高校までは成績の良し悪しがとても大切な要素であり、競争社会で生き抜こうとするならば大学以降もずっとそうかも知れません。しかし、それがすべてではないと思います。成績はあくまで節目ごとの評価であり、その人の持ち味はいつどこで発揮されるかわかりません。

実は私は学部時代から代数学は苦手で、解析学のほうが得意でした。しかし、実際にやっていると面白く感じたのは代数学のほうでした。好きな事であれば続けられます。普段何気ないときにふと考えたり実際に計算してみたり。今こうして代数学の専門家になっているのも好きなことをやっていた延長線上だと思っています。



### オイラーの公式

数学をやっていると、必ずと言っていいほどレオンハルト・オイラーの名前をどこかで聞きかするでしょう。オイラーの公式やオイラー定数、オイラー方程式にオイラーの多面体定理などなど。オイラーが生涯に書いた論文は850本を超えます。これは、50年間研究を続けたとして、およそ3週間に一本のペースで論文を書き続けたことになりま。この数字だけ見ても、彼の並々ならぬ偉大さが伝わってきます。

彼は解析学や幾何学、代数学で多くの業績を残し、更に物理学者・天文学者として活躍した幅広い才能を持った人物でした。

そんな彼の初期の仕事の一つが、リーマンゼータ値に関するものです。彼が手計算でこの事実を導き出したのは今からおよそ300年前。計算機もない当時の人たちにとっては、とても驚かされる結果だったでしょう。今では、この公式は彼の功績をたたえて「オイラーの公式」と呼ばれています。オイラーの公式という多くの人が思い浮かべるのは  $e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$  のほうですが、このリーマンゼータ値におけるオイラーの公式も、代数学ではとても重要なものなのです。

## 銀河の分布から見えてくる宇宙の全体像

みなさんは宇宙の広さを想像することができますか？ 私たちの地球は太陽系の惑星です。その太陽系は私たちの銀河系に数千億個ある恒星の1つです。そして、宇宙には銀河が数千億個あると言われています。このように広大な宇宙ですが、銀河がたくさん集まっている場所とそうではなく、銀河がほとんど存在しない場所がありはっきりとしたコントラストを描いているそうです。宇宙の大規模構造を研究されている原哲也先生にお話を伺いました。

### 銀河はバラバラに存在する？

夜空を眺めるとたくさんの星が隣にいます。たくさんの星は何の規則性もなく、ランダムに配置されているように見えます。しかし、星の分布は、全体ではほぼ楕円形でかつ渦巻いている、私たちの銀河系という秩序をもった構造を形作っています。

それでは、私たちの銀河系、隣にあるアンドロメダ銀河、その他のたくさんの銀河たちはどうでしょうか？ 言い換えれば、銀河の位置というのはどうやって決まっているのでしょうか？ たくさんの星の集まりである銀河は、とても明るい天体です。しかし、地球から遠く離れているため（一番近いアンドロメダ銀河まででも250万光年）観測は容易ではありません。それでも多くの研究者が根気強く観測を行い、宇宙の銀河の分布はある程度分かってきました。

### 銀河の地図を作る

望遠鏡で遠くの銀河を捉えたとしても、そのままでは私たちの銀河系からの距離は分かりません。小さく見えるから他の銀河より遠いかな、と思っても、単にその銀河が小さいだけかもしれません。

そこで、銀河までの距離を測るために、宇宙が膨張していることを利用します。宇宙が膨張していることから、近くにある天体ほど私たちからゆっくり遠ざかり、遠くにある天体ほど速く遠ざかっているのです。そのため、それぞれの銀河から届く光の波長に差ができます。速く遠ざかる光の方が波長を長く引き延ばされるので、

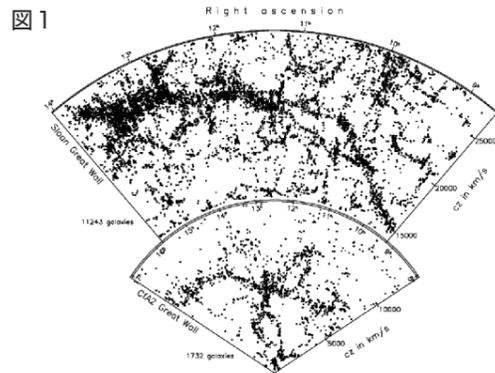


図1 約20億光年までの銀河分布（巨大な壁が見える）

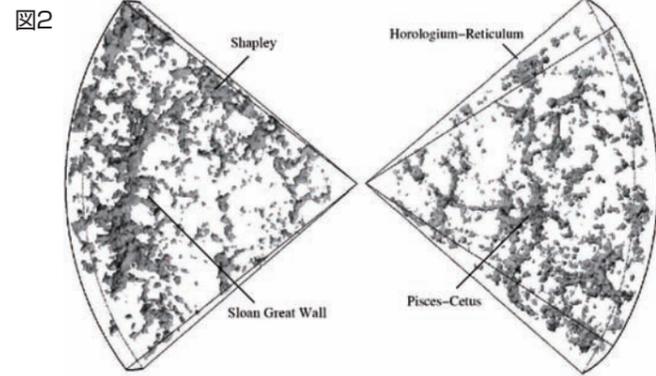


図2 我々の銀河を中心とした銀河分布（スローンの巨大な壁や、銀河団が見える：左半分が図1にほぼ対応）

# 小さなゆらぎが作り出した宇宙の大規模構造

形成されたのか、というのは私の研究対象のひとつです。

そのメカニズムは完全に解明されたわけではありませんが、現在もっとも有力な説は、宇宙が誕生したころの小さな「量子ゆらぎ」が宇宙の膨張に伴って、数億光年という気の遠くなるスケールにまで成長したとするものです。

宇宙の誕生直後は、高温、高エネルギー状態で、光すら真っ直ぐに進めませんでした。誕生から約38万年、宇宙が膨張し十分に冷えて、光が自由に進めるようになります。これを

「宇宙の晴れ上がり」と呼びます。このときのいわば宇宙最初の光が137億光年の彼方からやってきて観測されます。宇宙のどの方向を観測しても、同じエネルギー（波長1mm、絶対温度約2.7度）の光が観測されるため「宇宙背景輻射」とも呼ばれます。宇宙背景輻射の存在は、宇宙が元々は密度の高いガス（プラズマ）であったことを強く示唆していて、ビッグバン宇宙論の証拠ともされています。

さらに、1992年、NASAの観測衛星が宇宙背景輻射の温度の「ゆらぎ」を発見しました。「ゆらぎ」は宇宙の物質密度に対して10万分

## 理学部 物理科学科 原哲也 教授

### PROFILE

理学博士。専門は宇宙物理学、天体核物理学。高校生のころは「世界文学全集」など小説ばかり読んでいた。特にロシアの文豪トルストイを好んでいたが、あるとき手にしたアメリカの物理学者ジョージ・ガモフやワインバーグの著書に影響を受けて「宇宙の起源を解き明かしたい」と物理学を志す。大学では湯川秀樹の講義を受け、大学院では林忠一郎（エディントン・メダル受章者）の薫陶を受けた。趣味は庭園めぐりや登山で、登頂した山の石を収集している。私立洛星高校OB。

それぞれの波長を調べれば距離が割り出せるのです。

1980年ごろは、1つの銀河の波長を観測するだけで一晩かかることもありましたが、90年代に入り、デジタル撮像素子の開発などの観測技術の向上によって、一晩に数百個以上観測できるようになり、およそ20億光年までの銀河の分布が詳しく分かってきました。

図1・2の観測結果を見ると、銀河がたくさん集まっているところは川のように筋が分岐したり合流したりしています。一方、銀河のないところは広い空洞になっています。ハチの巣のようだとか、泡のようだとか言われました。巨大な壁（great wall）も見えます。銀河は不思議な形に分布していたのです。これを「宇宙の大規模構造」と呼んでいます。

もし、銀河がランダムに生成されたのであれば、このようなまとまった空洞や壁があることは説明ができません。銀河の配置には、明らかに何らかの仕組みがあったと考えられます。

### 大規模構造の起源は宇宙誕生まで遡る

宇宙の大規模構造が、いつ、どのようにして

うまく成長できなかったからです。

### 普通の物質だけでは重力が足りない

「ゆらぎ」が大規模構造の種となり、この種に銀河や星の主成分である水素やヘリウムが集まって銀河を作る……とやりたいところですが、実はそれでは大規模構造はできないということが分かっています。

銀河や星々を構成する水素やヘリウムは、私たちにとって馴染みのある原子から出来ている普通の物質です。しかし、この「普通の物質」だけでは大規模構造を形成するのに重力が不足しているのです。

最新の理論では「ゆらぎ」が作った種に最初に集まってきたのは、ダークマター（暗黒物質）だと考えられています。ダークマターとは普通の物質の5倍以上も宇宙に存在する正体不明の物質です。正体不明ながら重力源となっているため、存在だけは確認されています。このダークマターが最初に「ゆらぎ」に集まり、その集まったダークマターの重力に引き寄せられるように普通の物質が集まって、銀河や星々を形成したのです。

### たくさんの残された謎

このように説明すると、宇宙がどのようにして出来たのか、すでにほとんど分かっているかのように思われるかもしれませんが、

宇宙の地図はまだ100万個の銀河分布しか分かっていません。それも特定の方位・角度しか観測されていません。137億光年すべてで全天の宇宙地図が出来上がれば、また新たな発見があるかもしれません。さらに、肝心のダークマターはまだ誰もきちんと観測して捉えたことがない物質です。

ここまで触れてきましたが、宇宙には密度でいうと、ダークマターの3倍以上のダークエネルギー（暗黒エネルギー）が存在して、それが現在の宇宙を再び加速膨張させており、現在第2のインフレーションの時代に入っています。このように宇宙物理学にはまだまだ多くの謎が残されています。皆さんにもこの謎の解明に参加してほしいと思います。

### 宇宙ひも理論

宇宙に大規模構造が存在することが分かりはじめたころ、原因について様々な仮説が提出され、そのひとつに「宇宙ひも理論」というものがありました。

「宇宙ひも理論」というのは、大きな質量を持った巨大な「宇宙ひも」が宇宙空間の中を縦横に動くことで、その動いた痕跡に物質が集まり、大規模構造となったというものです。

現在では、大規模構造の原因としては本文にある通り「ゆらぎ」とダークマターというのが有力な候補となっていますが、「宇宙ひも」を使った説明には一定の説得力があります。「ゆらぎ」やダークマターは否定できないまでも、「宇宙ひも」的な発想がどこかで生きてくることもあるかもしれません。

### 宇宙論と素粒子論とが互いを補完する

物理学という分野は、よりミクロなものがよりマクロなものを説明すると考えられがちです。たとえば、素粒子論がうまくいけば、宇宙のことがすべて説明できる、というような考え方です。

しかし、現在の素粒子論の標準理論とされる統一モデルでは、大規模構造の原因となった「ゆらぎ」をうまく説明できません。ここでは、宇宙論が導き出した宇宙初期のインフレーションや観測によって明らかになった大規模構造の存在そのものが、物理学を規定しているのです。

素粒子論のようなミクロを扱う側からと、宇宙論のようなマクロを扱う側からの両方からの実験や観測が、自然界のより深い認識を発展させてゆくのです。

## 地上の電磁波研究から、地中の電磁波パルスの検出へ

あの阪神淡路大震災から17年。昨年は再び、東北地方を巨大地震が襲いました。今後想定される関東大震災や東南海大地震の発生に備え、首都圏や関西圏、中京圏などの大都市圏をはじめ、全国各地でさまざまな防災対策や訓練が行われています。しかし一方で、精度の高い地震予知システムの研究は遅々として進んでいません。そんな中、電磁波についての長年の研究で得られた知見や計測手法をベースに、地中の電磁波を捉えて地震予知につなげようと精力的に研究が続けられているのが筒井稔先生。最新の成果をお聞きました。

### 誰もしていないことを

大きな地震の前兆として、よく電波の異常が報告されます。しかし残念ながら、そのほとんどは大気中の電磁波による雑音を、地震に関連する電磁波の影響によるものと取り違えたものです。しかし、巨大地震であればあるほど、地殻と地殻との間での衝撃により電気を発生させる圧電現象※1も大きく、間違いなく強い電磁波パルス（electromagnetic pulse※2）が出るはず※3。そこで地震波よりも早く伝わる電磁波パルスを捉え、その強さや、発信源の位置を早目に知ることができれば、世界の地震予知に新しいページを刻むことができるに違いありません。

阪神淡路大震災の経験から、私はそれまでの地上での電波の伝播の研究をベースに、地中からの電磁波探索を始めました。圧電現象によって生じ、地中を伝播してくる電磁波パルスを捉え、波源位置を確定するとともに、波源位置と地震発生との位置および時刻との関連を調査するという、世界でこれまで誰一人やっていない取組です。まずは検出装置を作ることから始めなければなりませんからすべては手探り。研究のベースとなる理論や、実験手法はそれまでの地上での電磁波研究と多くは共通しますが、観測やデータ分析の方法などについては試行錯誤の連続です

※1 圧電効果ともいわれる。力学的エネルギーが電気的エネルギーに変換されること。逆に電気的エネルギーによって岩石に歪みを生じさせる事を逆圧電効果といい、クォーツ時計はこの両方の効果の繰り返し（発振現象）を利用している。

### ADVICE

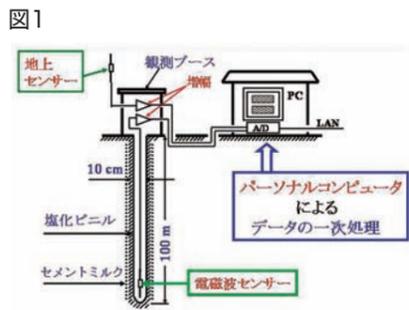
長年、研究を続けてきて、人間として最も大事なものは、やはり「忍耐力」だと思います。かつては当たり前だったこの言葉も、多くの日本人が豊かさを享受する今日では、忘れ去られているようですが、再び必要となる時代がくるでしょう。もちろん人は忍耐力だけでは頑張れません。それを支えるには大きな夢が必要なはいまでもありません。

ところで、私の研究室は、学生に対して厳しいことで知られていますが、企業もこのことを知っていますから、求人への依頼は途切れません。忍耐力があることは、社会へ出てから最も大切な資質の一つだからです。取り組む研究の基本は文字通りの工学。データ集めからすべて自分たちでやるのがモットーで、測定のための機器の多くも手作りしますし、プログラムも自分たちで作ります（コラム参照）。だからこそ、将来、研究者としても技術者としても応用が利き、企業にも評価されているのです。高校時代には幅広い勉強をすとも、さまざまなことを体験してきてほしいと思います。専門で求められるのはもちろん数学と物理、物理では特に力学と電磁気学が大事です。

### PROFILE

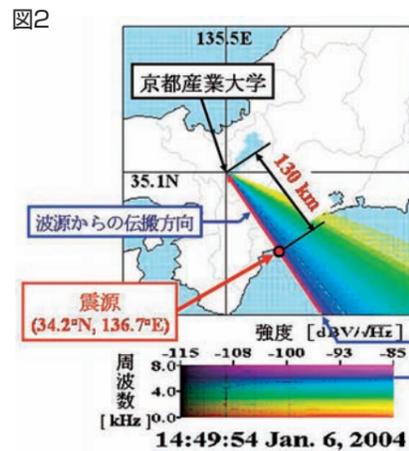
電磁気学を専門にしてきたが、阪神淡路大震災の時に電磁波の乱れが何例も報告されたことから、圧電現象による電磁波を捉えれば地震予知につながるのではないかと考えた。これまで地震学者が行ってきたアプローチとはまったく違う方法として注目を集める。東南海地震への対応を急ぐため、大学と観測点との間を往復する多忙な日々を送る。大阪府立池田高校OB。

コンピュータ理工学部  
コンピュータサイエンス学科  
**筒井 稔** 教授



地上に置いたパソコンでデジタル信号に変換し、周波数や到来方位を時々刻々と観察しやすいように、写真1のようなディスプレイを作りました。

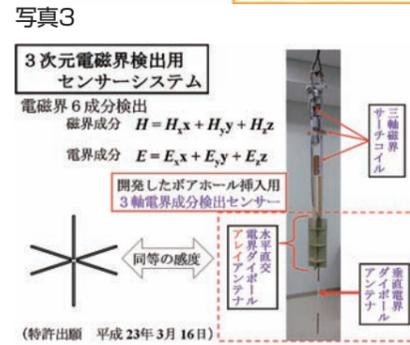
検出で最も苦勞させられたのが地上電磁波の混入でした。家々の電気機器や照明から出るものに始まって、送電線から放射されてくるものなど、地上には実にさまざまな電磁波が飛び交っ



ていますが、その多くは地下100mへも到達します。中でも雷は、広域で見れば至るところで常に発生していて、それが地上に張り巡らされた送電網でピックアップされ、それに沿って伝搬しながら再放射されるため、遥か遠方からでも楽々と観測点にまで到達します。極端な場合、汎地球的に発生している雷放電が電離層と地表との間で跳ね返りながら、長距離を伝わるトウイーク空電という電磁波も頻りに検出されます。そのため、研究を進めれば進めるほど、地下で観測した電磁波が地上で観測した電磁波と波形や振幅が異なっても、それを安易に地中からの信号だとは断定できないことがわかってきました。それどころか、そのほとんどは雷を中心とした地上の電磁波が地中に入って形を変えたものだったのです。

しかしそんな中、2004年1月6日に最初の成果が出ました。熊野灘沖地震による電磁波パルス検出と、その震源を捉えることができたのです（図2）。ただ、よくよく調べてみると、この時は震源が陸地近くにあり、海岸線に辿り着いた電磁波が地上に漏れ出し、それが再び地中で捉えられていたことが判明しました。捉えたと思ったのは、地中の電磁波ではあっても、地中から地上へ漏れ出したものだったのです。

その後、地上の電磁波の影響を受けない観測点を探索し続けましたが、2010年、ようやく最適な場所を見つけることができました（写真2）和歌山県串本町檜野地区（紀伊大島）の雷公

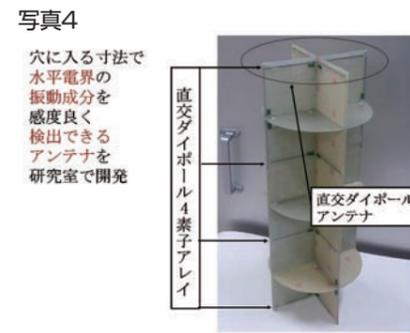


（なるかみ）神社。

### 最新鋭のセンサーが完成

これまでの、磁界は水平の直交2成分、電界は垂直の1成分のデータを用いて水平到来方位を確定する事を行ってきましたが、地中の発生源を求めるには、地上と違って水平方向だけでなく深さ方向を知る必要があることから、電界・磁界ともにそれぞれ、水平直交2成分、垂直1成分の3成分、合計6成分を検出し、3次元到来方位を計算しなければならないことが徐々にわかってきました。そこで開発したのが、三軸磁界サーチコイルと地中電界三軸成分検出用センサーを組み合わせた3次元電磁界成分検出用センサーシステムです（写真3）。

電界3成分の検出では、ボアホールという直径わずか20cm以下の限られた筒の中で、いかに水平電界の振動成分の検出感度を上げるかを工夫しました。地上なら、水平方向にアンテナの長さを長くするだけでいいのですが、筒のなかではそうもいきません。そこでさまざまな工夫をした結果、最終的には直交する同じ長さのアンテナを、一定



間隔で深さ方向に複数組つなげる形を考察しました（直交ダイポールアレイ——アレイは配列という意味——写真4）。電磁波には様々な波長がありますが、検出対象にしている電磁波の波長は長く、深さ方向の配列間のズレはほとんど無視でき、この方法に問題が無い事が判明しました。これにより、水平に長く伸ばしたものと同等感度が得られました。もちろん検出信号の取り出し方には特別な方法が必要で、それについては現在、特許出願中です。ここでは到来方位算出のための計算式だけを紹介するにとどめます。

$$P(f) = P_x(f)\hat{x} + P_y(f)\hat{y} + P_z(f)\hat{z} \\ = \{E_x(f)H_x(f) - E_z(f)H_y(f)\}\hat{x} \\ + \{E_z(f)H_x(f) - E_x(f)H_z(f)\}\hat{y} \\ + \{E_x(f)H_y(f) - E_y(f)H_x(f)\}\hat{z}$$

P: ポインティングベクトル  
E: 電界成分  
H: 磁界成分

現在、観測点は最初に作った大学構内のもの（京都産業大学観測点）、和歌山県白浜町の京都大学フィールド科学教育・研究センター瀬戸臨界実験所の敷地内に2008年から設置させてもらっているもの（白浜観測点）、そして雷公神社境内（紀伊大島観測点）の3カ所です。なかでも紀伊大島観測点は、東南海大地震を引き起こすと考えられている南海トラフに近く、しかもその間には海しかなく、地上からの電磁波は海水中で減衰されて海底まで到来しませんから、地中起源のものだけを捉えられる確率はきわめて高いのです（図3）。

先ごろ、完成したばかりの新型センサーを、白浜および紀伊大島の両観測点に敷設してきました。地震はできるだけ発生しないに越したことはありませんが、日本は地震大国。いつ起こるか分からない次のXデーに向けて、世界初の予知システムの確立を急いでいます。

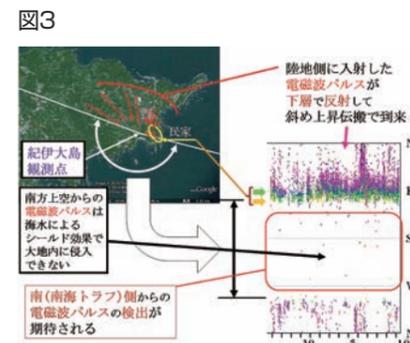
### 研究を支えるもの——オリジナルの研究はすべて手作り

料理の下ごしらえではないが、オリジナルな研究にはオリジナルな機器と独自のデータ収集が欠かせない。最初はアンテナ作りだが、初めの場合はそのための理論から学ぶ必要がある。作ったら検出信号を増幅器に通し、オシロスコープを見ながら、特性がうまく出ているかを調べる。増幅器ももちろん手作り。

次はアンテナで検出したアナログ信号をコンピュータに取り込むが、そのためにはまず、デジタル変換を行う。それもただ変換するだけでなく、さまざまなノイズを除去するためのフィルタに通さなければならないから、電子回路についても理論から勉強しなければならない。回路の設計が決まると実物の部品がボード上に載

るかどうか、多くの部品配列を試行錯誤しながら決めて行く。こういう泥臭いことをしないと本当の工学は「身につかない」。次に必要なのは、コンピュータに取り込んだ信号を解析し、さまざまな画像で表現するためのコンピュータのプログラミング。だからそれも1から勉強しなければならない。

現在は、設計を支援する便利なソフトもあり、文系の学生でもSEが務まる。公開されている他人が作ったソースを繋ぎ合わせるだけでもいいかもしれない。しかしそれでは新しいアイデアに基づいた研究は出来ない。データは自分で取る。その積み重ねがあって初めて人のやっていないことができるようになる。



# 通信速度向上から 垣間見えるコンピュータ技術の開発動向

## 今起こりつつあるシステム全体の変革

コンピュータの歴史においては、通信速度の向上やCPUの処理能力の向上と、それともなうユーザの使い方の変化が相まって、さらなる技術の発展が求められるという、上昇のスパイラルが繰り返されてきました。現在、そのスパイラルがシステム全体にかかわる変革を呼び起こそうとしています。その一端はすでに最先端のサービスで実際に使われ、新しいライフスタイルを私たちにもたらしました。近い将来、もっと身近に利用されることで、生活全般に変革を起こすかもしれません。ネットワークシステムがご専門の安田豊先生に、通信速度の向上がもたらすコンピュータシステム全体の変革についてお話しいただきました。

## 上がり続ける通信速度

コンピュータと呼べるものが登場してからおよそ70年。その間にコンピュータの処理能力は驚くほど向上しました。

それと並行してコンピュータネットワークもまた、その処理能力を上げて続けています。

1960年代の銀行業務を皮切りに、ネットワーク利用の裾野は広まり、今ではほとんどの人がスマートフォンやパソコンから毎日インターネットを空気のように特に意識せず利用しています。

これを実現したのは通信の高速化です。1960年代には一秒間に300ビット※1ほどしか送れなかったのですが、1980年代頃から技術開発によって急速に性能を上げ、いまや国内では毎秒100メガビット(1億ビット)のインターネット接続サービスが普及しています。(この毎秒100メガビット、を以後100Mbps(Mega, bits, per, sec)と書きます)

※1 ビットはデータの単位の一つで、1ビットで0と1の二つの値を持つ。ビット8桁で0～255までの値が表現できるが、これが(皆さんご存じの)1バイト。



Facebookのデータセンター内部の様子  
高さ2mほどのラックにサーバマシンが詰め込まれている  
提供: Technology Review

## システム構造の変化

提供できるデータの量が増えると、ユーザの使い方も変わります。

Webが広まり始めた1994年頃はせいぜい文字と静止画だけでしたが、今では動画、マウスでぐりぐりと移動できる地図、ゲームなどあらゆるものが提供されています。

そしてシステムの構造そのものにも変化が現れます。

2005年頃、この「ぐりぐりと移動できる地図」であるGoogle Mapsを手本として多くのアプリケーションがWebブラウザ上で使えるようになりました。

それまでパソコンと言えば「ソフトウェア」をインストールして使うものでしたが、今ではメール、カレンダーなど多くの作業が「サービス」としてネットワークの向こう側で処理されるスタイルになりました。

## 巨大なコンピュータとしての データセンター

ここ最近、急速に拡大したサービスの一つであるFacebookのユーザ数は8.5億人※2です。

この世界中のユーザから浴びせられる大量の処理要求を、Facebookは数万台のコンピュータを一カ所に集めてさばっています。

Facebookに限りません。同じように大量のユーザを持つGoogle、Amazon、Apple、Evernoteなど、多くの企業が大量のコンピュータを集めた施設、データセンターによって処理を行っています。

いまやデータセンターが一つの巨大なコン



コンピュータ理工学部  
ネットワークメディア学科  
**安田 豊** 講師

### PROFILE

理学士。専門はネットワークシステム。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。京都市立紫野高校OB。

ピュータシステムになったと考えれば良いでしょう。

※2 Facebook社は2012.2のIPO申請書で2011年12月末の月間アクティブ・ユーザ数を8億4500万人と報告している。  
<http://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1326801/000119312512034517/d287954ds1.htm>  
Trends in Our User Metrics, "As of December 31, 2011, we had 845 million MAUs (Monthly Active Users)"

## 10Gbpsネットワークが すぐ近くまで

こうしたデータセンターでは、そこにあるすべてのコンピュータをネットワークで接続して処理を分担しています。

そしていま、処理の高速化のために10Gbpsネットワーク(恐らくあなたのパソコンの10倍速です)の導入が進んでいます※3。

まだまだコンピュータネットワークの高速化は続くのです。しかもこの高速化はあなたがたのパソコンにもすぐ反映されます。つまりとても近い時期に、あなたの机にあるパソコンも10Gbps対応になるのです。

この背景には今のCPU開発の技術トレンドがあります。

※3 2011年12月 EE Times, <http://eetimes.jp/ee/articles/1112/05/news033.html>

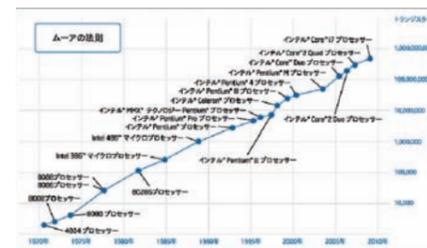
## CPU設計方針の変化: 並列・大量データ処理へ

1970年頃の誕生以来、パソコンのCPUは一貫して処理速度の向上を実現してきましたが、2005年頃にその限界が見えてきました※4。

そこでCPU会社は発展方向を単体速度ではなく並列度、つまり複数の計算を同時にできるだけ多く行う方向に切り替えました。すでにIntelは8コア(並列度では16)の製品を売っています。

## CPU性能の向上

出典: インテル コーポレーション



Intelプロセッサの回路規模(中に含まれるトランジスタ数)増加の歴史(縦軸が対数目盛(一目盛りが十倍を意味する)であることに注目してください)

※無断転載を禁ず

こうした方向性の変化は、ユーザの使い方にも変化をもたらします。

この種の並列プロセッサが最も有効に働く用途の一つは大量データ処理です。画像処理、メディア処理はその典型例だと考えれば、ここ何年かでそれらが前面に押し出されてきた理由が分かります※5。

※4 理由は熱。1cm四方しかないCPUが100W以上発熱するのだが、これは電気ヒーターと同程度の熱。

※5 GPU(グラフィックスプロセッサ)の高速化も重要な要素であるが紙面の制約もあり、ここでは触れない。

## 再び通信の高速化へ

そして大量データ処理のために、CPUは高速なネットワークを要求しています。

2011年7月、Intelは10Gbitのネットワークチップ(部品)開発で有名なFulcrum社を買収しました※6。

じきにIntel社のCPUと10Gbitネットワークが搭載されたパソコンが(戦略的な価格設定で)店頭に並ぶようになるでしょう。

そしてインターネットの接続速度、実質上の転送速度も、それに呼応してもっと高速になるでしょう。

技術が利用者の欲求を押し、その需要が技術発展の背中を再び押すのです。

※6 <http://www.computerworld.jp/topics/629/ネットワーク基盤/201715/インテル「インテル、次世代通信プラットフォーム「Crystal Forest」を発表」>ここに、IntelがCrystal Forestとして高速ネットワークプロセッサと統合するという記事がある。

## 安価な最高性能品

TOP500というWebサイト※7があります。スーパーコンピュータ(スパコン)と呼ばれる、性能を極限まで高めたコンピュータシステムの上位500をランキングしています。

ランク上位を見ると、最上位の「京コンピュータ」こそ富士通製の(あまり見かけない)CPUを使っていますが、それ以外のスパコンのCPUはほとんどIntelあるいはAMD製の「誰でも普通に買える」CPUです。

F1マシンのように、多額の費用を掛けて特別なエンジンを開発して性能を上げるのではなく、普通のCPUを大量につないで巨大なシステムが作られているのです。

これはいったい何故でしょう。

その理由は、単体性能で見れば「誰でも普通に買える」CPUが、世界で最も高性能なCPUだからです。

性能競争の結果、半導体、特にCPUは数千億円単位の開発投資が必要な状況になりました。

そしてエンジンと違って、半導体は開発投資に較べて製品単品の原価が紙切れのように安いのです。

巨額の投資を大量の製品販売でまかなう必要が生じ、大量に売れる製品にしか性能向上に必要な開発投資が掛けられなくなっています。

最も安価な、最大の量販品こそが最高の性能をもつ。

ちょっと面白い構造ではないですか?

※7 <http://top500.org/>

## システム全体の バランスを感じる

ここまで、幾つかの事について話しました。しかしそれらの話は皆つながっていることが分かるでしょう。

ネットワークの高速化、CPUの高速化によって「ちょっと画像が出るのが速くなった」「ちょっと処理が速くなった」などと喜ぶのは余りに近視眼的で、視野が狭いです。

それより最も大きく変わるのはシステム全体の設計バランスです。

ネットワークの高速化がコンピュータの機能そのものをネットワークの向こう側に移した。それを実現しているデータセンター内での通信の高速化が、再びあなたのパソコンを加速する。

そうした変化の方がよほど面白いことはないですか。

そんな風に今起きている変化の全体を俯瞰し、システム全体を揺るがす設計の根幹をどうすべきか。つまりグランドデザインについて考え、実際にそれに携わる機会が多いことは情報技術分野のとても良いところだと思います。

# ユビキタス住宅に詰め込まれた 未来のコンピューティング

## ユビキタスコンピューティング

私の研究コンセプトの1つは「ユビキタスコンピューティング(Ubiquitous Computing)」です。いたるところにコンピュータがあるという意味ですが、携帯電話の普及などは根本的に発想が違います。

ユビキタスコンピューティング環境の実現においては、コンピュータが身の周りの環境や物に埋め込まれており、ユーザに「コンピュータ」を使っているという意識がそもそも生じないことが大切です。

例えば、鉛筆で文字を書く時、鉛筆の芯が何でできていて、どういう機能を持っているか……ということをいちいち気にする人はいないと思います。同様に、椅子やテーブル、服の中にコンピュータが埋め込まれていても、その存在や仕組みを意識せず、やりたいことを達成できる。これを住宅の中で実現するのが、私の目指す方向です。

そこで研究に用いているのが、実際に人が暮らすことができる実験住宅です。ここに一月くらいずっと住んでもらい、動作や行動、生理指標などを計測することで、人がどのように生活しているのかを分析することができます。またここで、ユビキタスコンピューティングを実現する新しい機能やシステムを動かして、実際に住んでもらいながらその有用性を確かめることもできます。

これまで世の中になかった新しいシステムは、第一印象だけではなく、定常的に使い、本当に役に立つのか、必要なのか、使い続けることができるのか、などを検討しなければなりません。そのためにも、このような生活実証実験の場が重要なのです。

## 実験住宅で探る 最新テクノロジーの可能性

この実験では、新しいテクノロジーを導入してい

## テクノロジーと共に変貌する生活スタイルを考える

私たちの身の回りには、コンピュータがあふれています。

今後コンピュータはますます私たちの生活に深く浸透していくでしょう。

この発展の最終的な目標とされるのが「ユビキタスコンピューティング」という概念です。

身の周りのあらゆる物や場所にコンピュータが埋め込まれており、

しかもそれを意識することなく使うことができる、未来の生活スタイル。

平井重行先生が取組んでいるのは、

住宅の中でそのユビキタスコンピューティング環境を実現することです。

ユビキタスコンピューティングが描き出す少し先の未来について、

実際の実験施設を踏まえながら、お話しいただきました。

く中で、それによって変わる生活スタイルの提案も目指しています。

一例を挙げると少し特殊なメガネをかければ、その人が家のどこにいてどちらを向いているのかがわかる仕組みを導入しています。この位置情報を利用すれば、わざわざテレビやパソコンのモニターまで行かなくても、さらにテレビやパソコンの方向に顔を向ける必要すらなく、プロジェクタによって目の前に必要な情報を投影表示させることができます。

また、壁の一面がタッチディスプレイになっており、触れた場所を検出するマルチタッチ機能が組み込まれています。この壁ディスプレイの応用には「電子書籍の本棚」があります。本棚というのは置いてある本によって話のきっかけが生まれるコミュニケーションツールでもあります。それを電子書籍という形のない本で実現しようというものです。棚の切り替えやジャンルの抜き出し、配置替えや検索が自由自在にできるという普通の本棚ではできない便利さもあります。

## コンテキスト・アウェア

ユビキタスコンピューティングの実現に欠かすことができないのが、「コンテキスト・アウェア(context aware)」という概念です。コンテキストは文脈や話の流れ、アウェアは気付きを意味する言葉で、要は「状況理解・把握」という意味になります。人は誰かがそばで会議をしているときに、自分が参加してなくても声が聞こえてさえいれば、自分を理解することができます。そして、文脈を理解して口を挟むことができる。声に限らなくても、例えばキッチンで晩ご飯を作っているという状況を、「夕方」「キッチンから」「包丁の音が聞こえる」という情報から正確に理解することができたりします。

このように、いつ、どこで、どんなことをしているかというデータから、大枠として今どうい

う状況下なのかコンピュータに理解させることがコンテキスト・アウェアなのです。

すべての状況を理解することはできなくても、「朝学校に向かうため急いでいる」など一部の状況が理解できるだけでも、非常に役に立ちます。

完全に全ての状況を理解するという汎用的なコンテキスト・アウェアのコンピュータ処理は難しいですが、特定の生活に即してよくある状況の処理がまず出来るようになることが第一歩となるでしょう。携帯電話は家の外では肌身離さず持っていることが多いので、その手段として非常に重要視されていますが、自宅の中では外と扱われ方が変わります。ですので、住宅の中では携帯電話をあてにせず、環境側が人を測って理解してくれるものを目指しています。

全を見守るシステムとしても実現できるのです。

もちろん、人によって物の使い方や順序は異なりますので、私たちは実際のお風呂で人々がどのような入浴行動を取るのか100人以上を対象に調査しました。このデータをコンピュータに学習させることで、今では使うものや順序に多少の個人差があっても9割近くは正確に入浴行動が推定できるようになりました。

ポイントは、ユーザは新たに何かを覚える必要がなく、普段どおり入浴すればいい点です。ユビキタスのわかりやすい一例だと考えるでしょう。

洗面台の鏡と一体化したディスプレイも既に実現しています。これは鏡自体がハーフミラーになっており、背後から文字やアニメーションなどを映し



浴室にも様々な仕組みがあります。埋め込んだICタグによって洗面器やシャンプーボトルなどの物の場所が検出でき、使った物が何かわかるのですが、これによって人の行動を推定することもできます。シャンプーが使われ、トリートメントが使われれば、きつと頭を洗っているのだろう、というようにです。同じように、洗い場のものがどのように使われているかを見ることで、少なくとも「濡れてはいない」といった情報が得られます。高齢者などの安

## コンピュータ理工学部 インテリジェントシステム学科 平井 重行 准教授

### PROFILE

博士(工学)。専門はヒューマンコンピュータインタラクションや音楽などのメディア情報処理。ソフトウェア開発をメインの活動としながらも、エレクトロニクスなどの基盤技術のチェックは日々欠かさない。アイデアを分かりやすく提示するためのデザイン的な視点も取り入れつつ、将来的な技術を常に見据えながら今を考えていきたいと語る。大阪府立三国丘高校OB。

## 近未来のお風呂!?

浴室という空間については、今も新しい研究が進行中です。例えば最近女性の間で人気のミストサウナに着目し、霧に光を当てることでオーロラのようなものをお風呂場でつくりたいというアイデアも抱いています。

新しいシステムを組み込む場合、それを操作するリモコンなどが不可欠ですが、壁にリモコンがそのまま張り付いている状況は不恰好ですね。そこで、よりスマートでおしゃれな環境を目指すために、操作パネルを浴槽の縁に組み込みました。浴槽自体がタッチセンサになっており、そこに天井のプロジェクタから画像を投影して操作パネルを表示します。今はピコプロジェクタという携帯電話サイズの高性能なプロジェクタが出てきていますが、数年後には更に小さくなり、防水タイプ

出すことで、色々な情報を表示できる仕組みです。歯を磨きながらニュースのヘッドラインをチェックすることもできるので、朝の忙しい時間などに役立つでしょう。更にセンサと組み合わせれば、化粧したりひげを剃ったりするときに、鏡の顔の位置に重ねて何か情報を表示することもできます。

出かけるときに、玄関に天気の情報を表示させる試みも進めています。ただ傘マークを表示するだけでは面白くないので、雨があたりかもし玄関に降っているかのようなアニメーションを投影するアイデアなどを考えています。このような表現方法も重要な要素の一つです。色々な情報の提示の仕方があるのなら、その中で何が良いのかを考えていきたい。突き詰めていけば、メディアアートと融合するものも出てくるでしょう。

## ユビキタスコンピューティングの展望

今後ユビキタスコンピューティングが一般化していく中で、人々の生活スタイルはどう変わっていくのでしょうか。

研究としては、脳科学系の研究室と共同で、住宅の中で日常生活を送ってもらいながら脳活動を測る研究や、センサで人の姿勢やジェス

も登場するでしょう。このようなプロジェクトが普及すれば、天井や壁に貼り付けるだけで色々なことを実現できます。

タッチセンサだけでなく、浴槽の縁をこすった際の「キュッキュ」という音を検出する仕組みも作りました。これを何かに活用しようとして作ったのが、DJのターンテーブルのスクラッチ演奏になぞらえて遊べる音楽アプリケーション(Bathcratch youtubeにて動画公開中)です。こすった音で何かの入力を行うというのは水場でさえあれば浴槽に限らず壁やテーブルなどでも実現できるため、色々な応用が考えられます。こすり方やこする指の本数などで様々な入力ができるので、多様な操作が可能になると期待しています。

チャーなどを検出し心拍などの生理指標とも併せて人間の活動を総合的に測定するような研究も進めていきたいと考えています。そしてそれらを活用して医療や健康管理にも役立てていきたいと思っています。

他の例としては、テレビが挙げられます。毎朝テレビでニュースを見る人は多いと思います。しかし、テレビである必要性は本当にあるのでしょうか。今では、携帯電話でもニュースは見られますし、今後は家中の壁や床、テーブルがディスプレイとして機能するとなれば、必ずしも今の形のテレビである必要はなくなるとも考えられます。家でバスの発車時刻を知りたいときに、携帯を開いて調べるより冷蔵庫に貼ってある時刻表を見るほうが早いということもあります。発車時刻を知りたいときにそれが目の前に表示される環境があればいいのです。それがあれば、携帯を操作したり、時刻表をわざわざ見ることも減るでしょう。これこそ、ユビキタスコンピューティングの発想です。情報を得る手段が増えると、行動や時間の使い方が変わり、ひいては生活の質が変化していくでしょう。実験住宅を用いた研究はまだ始まったばかりです。最先端の仕組みの開発を続けながら、人の行動をどう測り、情報をどう提示・利用するのがより良いのか、常に模索していきたいと思っています。

## ADVICE

大学で専門の勉強をする際には、熱中してものに取り組む能力が必要です。

高度な知識を身につけなくてはいけなくなったときに、その勉強にどこまで没頭できるかが鍵になるのです。もう少し時間をつぎ込んで自分で考えれば辿りつける、というところで止めてしまう人が多い。今に始まったことではありませんが、学校や塾、予備校でも、自分で何かをやったり、試行錯誤を重ねたりという機会が減ってきていると思います。

コンピュータの勉強は、最初のうちは体育会系的なところがあります。座学はもちろん、実際にトライアル&エラーを繰り返して、トラブルを乗り越えていった数が実力になるからです。

実際の機械をいじるだけでなく、プログラムを作るということでも、どれだけの時間を費やしたのかという点も大事になってきます。そういう作業を面白いと思って熱中できれば、上達は早いです。

昔はコンピュータも今ほど便利なものではなく、プログラムを自分で打ち込んで使うくらいしかできなかったりありませんでした。だから興味を持って面白いと思う人しか扱うことがなかったのです。そういう人間が頑張ってきたこの分野は発展してきたのです。

研究に限らず、社会に出るにあたって、何かに熱中できることは大事です。自分がアピールできるものを持つために、勉強に限らず没頭できる力を身につけてください。



# 細胞分化の謎に迫る

## 1本の消化管から複雑な消化器官へと分化するメカニズムを解明

私たちが生きていくために必須ともいえる消化器官。食道、胃、小腸、大腸などいろいろな消化器官がありますが、発生の初めの段階でこれらの消化器官は、1本の単純な管（消化管）でしかありません。この消化管の分化の仕組みについて、長年、世界の最先端で研究を続けている八杉貞雄先生に、これまでにわかってきたことと今後の展望についてお聞きしました。

### ニワトリの胃から消化管分化の仕組みを探る

私たちの体にある食道や胃、腸などは、発生の最初の段階ではゴムホースのような1本の管（消化管）からできています。それが発生の途中で、それぞれの器官の間に境界ができて、個々の形へと分化するのです。肺や肝臓なども消化管の一部が分化したものです。私は、この単純な構造である1本の管が、短期間でさまざまな臓器に分化していく仕組みを探る研究をしています。

研究には、ニワトリを使います。鳥類ですが、ほ乳類と基本的な仕組みは同じです。胚がマウスよりも大きいので、発生の早い段階での手術がしやすいといった利点があります。

消化管は、上皮と間充織という2つの組織からできています（図1）。ニワトリの場合、胚の発生後6日ごろから、それぞれまったく異なる臓器へと分化していきます。

私が主に研究しているのは胃です。ニワトリは、前胃と砂嚢（砂肝）という2つの胃を持っています。前胃には胃腺という胃の粘膜に空いた小さな穴のようなものができて、ここからペプシンなどの消化酵素を分泌します。砂嚢は穀粒をすりつぶすための筋肉が発達した臓器で、胃腺は作りません。

発生生物学では、有名な羽毛や鱗の実験<sup>※1</sup>などから、間充織の重要性が知られていました

から、私たちもまず、間充織と上皮の働きを調べることになりました。

前胃と砂嚢の上皮と間充織をそれぞれ組み合わせたものを器官培養<sup>※2</sup>して実験を行うと、前胃の間充織を結合させた場合のみ、前胃の上皮も砂嚢の上皮も腺を形成し、ペプシンを作る遺伝子（ECPg）を発現していました（図2）。つまり、間充織が上皮の発生（前胃の場合は腺を作り、ペプシンを分泌する）を導いていたのです。数十年前に成功したこの実験は、いくつかの高校教科書にも採用されました。

- ※1 ニワトリの背中が羽毛、足は鱗で覆われている。それぞれが未分化の胚期に、分離した上皮と間充織を貼り合わせて培養すると、足の間充織と背中の上皮を組み合わせただけでは、鱗を作り、背中の間充織と足の上皮を組み合わせただけでは、羽毛を生やすようになる。
- ※2 生物の器官などを分離して、寒天培地などを用いて培養すること。

### 総合生命科学部 生命システム学科 八杉 貞雄 教授

#### PROFILE

理学博士。専門は発生生物学。中学校とサッカーに打ち込み、国体へも出場した。高校時代に知ったビッグバン宇宙論に魅せられ天文学にも関心があったが、大学の授業で細胞の分化やガン化に興味を持ち、生物学の道へ。消化器官を対象に選んだのは、分化の研究に適していること、体の真ん中にあるため研究が遅れていて、謎が多かったから。東京教育大学附属高校（現：筑波大学附属高校）OB。

図1 ニワトリ胚前胃

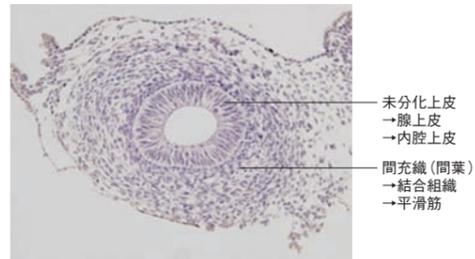


図2 上皮の発生運命は、間充織によって「誘導」される

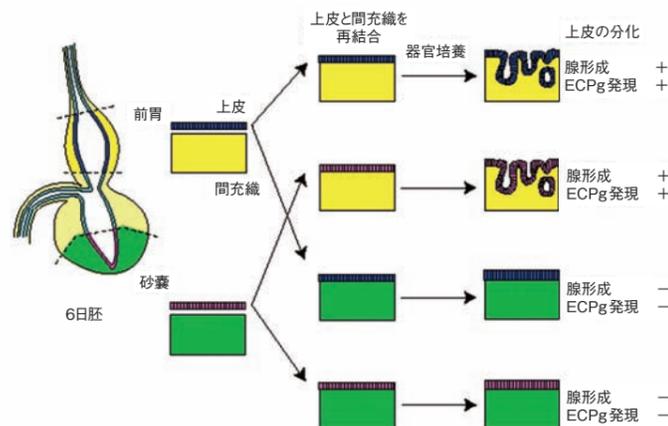
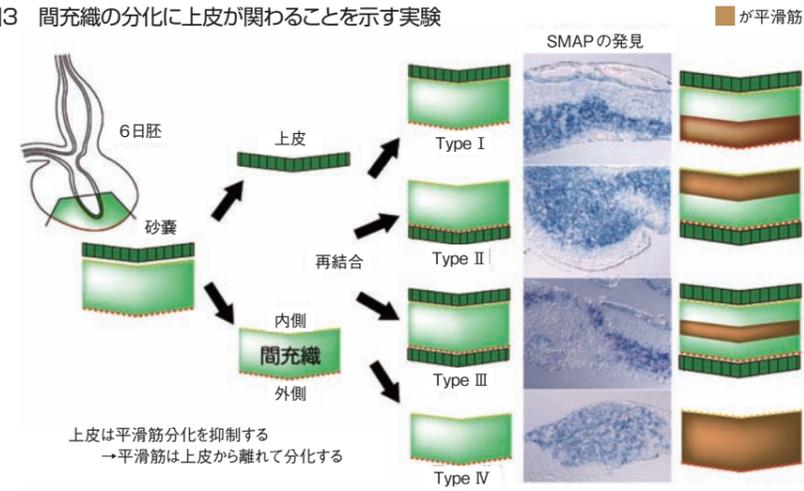


図3 間充織の分化に上皮が関わることを示す実験



これに先立ち、繊維芽細胞などを平滑筋に分化させる働きを持つ因子 SMAP（smooth muscle-activation protein）を発見していたため、この SMAP の発現を見ることで平滑筋の分化を観察することができた。

### 分化の際に間充織で働く重要な遺伝子を世界で初めて同定

では、どのようにして間充織は上皮に働きかけているのでしょうか。

先ほどの実験の対象を広げて、食道や小腸、肺の上皮と、いろいろな間充織の組合せでも上皮が腺を作るか、ECPgを発現するかどうかを確認しました。すると、前胃だけでなく、肺の間充織でも食道、前胃、砂嚢上皮で ECPg が発現しました<sup>※3</sup>。

そこで、何万とあるタンパク質の中から私たちが目つけたのは、前胃と肺の間充織とともに発現している BMP2（骨形成タンパク質と総称されるタンパク質の一種）と FGF10（繊維芽細胞成長因子）という2つの成長因子<sup>※4</sup>です。特に BMP2 は、胃腺が形成される6日胚の前胃間充織では発現していますが、腺形成が進んだ7日胚以降には発現が低下していました。

そこで、BMP2の機能を調べるために、BMP2の働きを抑制するタンパク質を使った“発現抑制”と、BMP2の遺伝子を間充織で

“過剰発現”させる実験を行いました。すると、抑制した場合には腺がまったく形成されず、過剰発現させた場合には通常よりも多くの腺形成がみられ、ECPgも発現したのです。

FGF10も、よく似た働きをしていました。これらの実験で、間充織に存在する少なくとも2つのタンパク質が、前胃の胃腺形成に欠かせないものだということが明らかになったのです。間充織が上皮に働きかけることは、目や皮膚など、体の他の部分でも確認されていましたが、胃の上皮が正常に働くために誘導する重要な因子を特定したのは世界でも初めてのことで、注目を集めました。

- ※3 ただし、肺上皮は ECPg 発現の潜在能力がないため、前胃や肺の間充織と培養しても ECPg は発現しない。
- ※4 細胞の増殖や分化などを促進する働きを持つタンパク質の総称。

### 上皮も間充織に働きかけている

間充織には、卵から雛がかえってから5、6日すると、筋肉（平滑筋）や、平滑筋の収縮をコントロールする神経が分化します。この時、平滑筋や神経が必ず管の外側にできる仕組みに、関心を持ちました。

6日胚の砂嚢を取り出し、上皮と間充織を分離して、上皮を間充織のいろいろな部分に貼り付けて器官培養法で実験しました。すると、平

滑筋は常に上皮から離れたところからできたのです（図3）。このことから、上皮も間充織に働きかけていることが明らかになりました。

さらに、平滑筋ができる時期に上皮で発現する遺伝子を探したところ、発生のあらゆる局面で活躍する形態形成因子の Shh（Sonic hedgehog）にたどり着きました。Shhを発現する細胞を間充織に移植したところ、その近くでは平滑筋の分化が抑えられました。これによって、上皮から離れたところに平滑筋を形成させる因子を特定したのです。

### 幹細胞は、いつ、どこから、生まれてくるのか

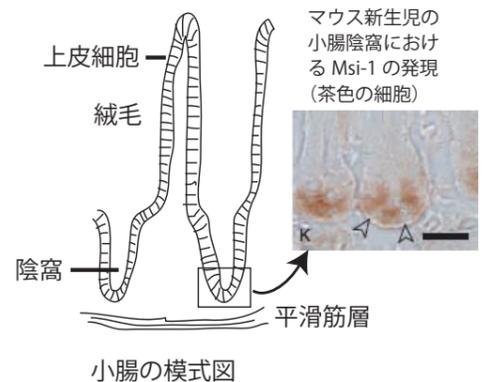
これまで、ニワトリの胃の分化について世界に先駆けた研究をしてきましたが、最近では、消化器官で幹細胞がどのようにしてできるのかということに大きな関心を寄せています。

幹細胞というと、ES細胞やIPS細胞が有名ですが、これらは人が作った幹細胞で、どんな細胞にもなれる全能性を持っています。私たちが扱っているのは、もともと体内に存在する組織幹細胞です。いくつかの細胞に限った多能性を持つ細胞ですが、もともと自分の細胞ですから、免疫や倫理的な心配もなく、再生医療でも大きな期待が寄せられています。

消化器官にも多くの幹細胞があります。たとえば、小腸の上皮にある絨毛の下部では、幹細胞が細胞分裂して新しい幹細胞と分化した細胞を生み出しています。分化した細胞は絨毛の上部へ向かいながら腸の細胞として働き、最上部で死を迎えます。その数は一日何億個ともいわれますから、ものすごいスピードで細胞が入れ替わっているわけです（図4）。

しかし、この幹細胞が発生のどの段階で、どのようにして生まれるのかについては、何もわかっていません。現在、ニワトリやマウスの消化器官で、幹細胞のマーカー遺伝子（Msi-1など）を使った解析を進めている最中ですが、近い将来、幹細胞が発生する時期をとらえて、その働きを明らかにできればと考えています。また、このような研究が、消化器官の再生医療などに貢献できればと、期待しています。

図4 小腸の膜式図



#### ADVICE

好奇心を忘れずに、面白そうなことがあれば、自分なりに調べたり、先生に聞いたりして、物事の核心に一步踏み込んでください。最近の学生を見ていると、近道を選びたがる傾向があるように思います。回り道をするからこそ見えることもあります。受験対策も大事ですが、時間をかけて深く探究するという経験は、大学生になっても、社会人になっても大切です。高校生の間に、1つでも2つでもいいので、何かに打ち込んでください。

## 環境によって姿を変えるニューベキアを用いた表現型の可塑性についての研究

農作物の収穫はもちろん、桜や紅葉の美しさも、天気や気温に左右されます。それほど植物は環境の変化にとっても敏感に反応する生き物なのです。しかし、環境の変化を受け取る「環境センサー」の多くは、まだ謎に包まれています。温度や光、水中で、まるで変幻自在に姿を変える水生植物ニューベキアを対象に、葉の形状変化のメカニズムについて研究されている木村成介先生。最新の次世代シーケンサーを使った遺伝子解析で、植物ではまだ見つかっていない「温度センサー」の発見も夢ではありません。研究内容について、詳しくお話いただきました。

### 環境によって葉の形を変える不思議な植物——ニューベキア

私が研究対象にしているのは、環境によって作り出す葉の形を大きく変化させるニューベキアという水生植物です。ニューベキアは主に北米の川や湖の近くに生育していて、水没すると、針状の細い葉を作ることが知られています。これは水没したときに、葉が水の流れを受け流すのに役立っています。また、陸上でも温度や光の強弱により、まるで別の植物のように葉の形が変化します。

このように環境によって表現型が変わることを「表現型の可塑性」といいます。ニューベキアのように葉の形状を大きく変えるものはあまりありませんが、表現型の可塑性自体はめずらしいものではなく、すべての植物が持っているものです。春になると花が咲く、冬には葉を落とす、というのもそうですし、アスパラやもやしのように明暗で色を変えるのも表現型の可塑性です。動物であれば暑ければ涼しい場所へ逃げることができず、根を張って生きている植物は逃げることができません。表現型の可塑性は、動くことのできない植物が、環境の変化に応じて生き延びるための戦略なのです。

ニューベキアは、温度変化にとっても敏感で、25℃で育つと丸みをおびた葉をつけますが、20℃だとギザギザの葉になります。光の場合は、弱いと丸い葉で、強いとギザギザの葉になります(写真1)。同一の個体でも、途中で温度や光の強弱が変わると、葉の形も変わります。

写真2



ちぎった葉から、新しい葉が生まれる。根も生える。

写真1



20℃で育てたニューベキア

25℃で育てたニューベキア

# 植物はどこで環境変化を感知しているのか

私は、こうした表現型の可塑性のメカニズムを明らかにすることや、なぜこうした変化が起きるのかについて研究しています。

### 変化が起きているのは葉の根元

ニューベキアは、葉をちぎると、その断片から新たに葉を再生させます(写真2)。この新しい葉は、元の葉と同じ遺伝子を持つクローンですから、研究ではこのクローンを用いて実験を行います。

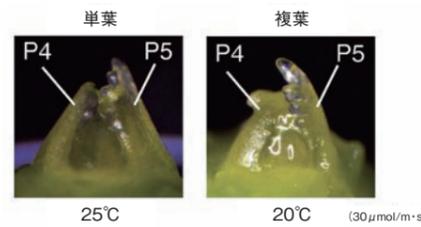
先ほど、丸い葉、ギザギザの葉といましたが、専門的には、前者は丸みをおびた葉が1枚なので「単葉」、後者はもともと1枚だった葉が複数の小葉に分かれているので「複葉」といっ

て区別します(複葉の代表的なものには、クローバーやトマトの葉などがあります)。つまり、ニューベキアは環境によって、単葉と複葉を作り分ける植物だといえるのです。

では、この単葉と複葉は発生のどの段階で決まっているのでしょうか。

成長過程で比較を行う発生的手法で、単葉と複葉の差は葉の発生の初期で決まることがわかりました(図1)。また、複葉のギザギザは、葉の根元部分で生まれていて、次のギザギザに押し上げられるようにして、葉先へ伸びて

図1 葉の形態形成過程の観察



茎の先端から順に出てくる葉の3枚目までは差がなかったが、4枚目(P4)から単葉と複葉の差が生まれた。(30μmol/m<sup>2</sup>s)

いきました。特殊な方法で細胞分裂している細胞を可視化してやると、幼葉の間は細胞分裂が葉全体で起きていますが、成長した大きな葉では主に葉の根元部分(基部という)で盛んで、根元で葉の形が決められていることを裏付けていました。

成長の途中で温度を変化させる移行実験では、中間的な形態をとる葉ができました。たとえば、20℃(複葉)から25℃(単葉)に変化させた場合、葉の上部は複葉で、根元は単葉という葉ができたのです(図2)。

これらの結果から、環境条件が変わると、葉全体ではなく、葉の基部で環境変化を感知して、葉の形を変化させていることがわかりました。

図2 移行実験(20℃→25℃)の結果



### 環境によって発現パターンを変えるKNOX(ノックス)遺伝子

以前携わっていたトマトの研究で、複葉の種と単葉の種では、発生の段階で重要な役割を果たすKNOX遺伝子\*の発現パターンが異なるとわかっていましたから、ニューベキアの複葉と単葉とで、KNOX遺伝子の発現を比べてみました。すると、複葉を作る時にKNOX遺伝子の発現が高く(KNOX遺伝子が作るタンパク質が増える)なっていました。葉の組織を薄くスライスして発現箇所を見たところ、環境変化を感知している葉の基部で強く発現していることもわかりました。

これらの結果からは、ニューベキアでは、環境の変化によってKNOX遺伝子の発現パターンが変わり、それが葉の形態を変えているのではないかと考えることができます。しかし、環境の変化をどこで感知して、どのような仕組みで葉の形を変えているのかは、まだ謎に包まれたままです。

\* Knotted like homeobox遺伝子の略。転写制御因子で、数種ある。

### 次世代シーケンサーを使った遺伝子解析で温度センサーの発見に挑む

そこで現在取り組んでいるのが、次世代シーケンサー(DNAやRNAの塩基配列を大量に読み取ることのできる機械)による網羅的な遺伝子発現解析です。次世代シーケンサーは、第2世代と呼ばれるように、これまでの機械では不可能だったヒトの全ゲノムですら、1~2週間で読めるほどの、膨大な数の塩基配列を読むこと



新しい葉(内側)になるほど、単葉に移行している。

のできるシーケンサーです。日本で広く使われるようになったのはここ数年のことですから、今後の成果が期待されています。

次世代シーケンサーの簡単な使い方を説明すると、まず、ニューベキアのmRNAをとってきて、逆転写酵素を使ってcDNA(相補的DNA)を作ります。こうすることで、実際にタンパク質に翻訳される遺伝子の塩基配列を持ったDNAが手に入るわけです。これを1つが数百塩基ほどの長さになるようにばらばらにして、スライドガラスにくっつけます。次世代シーケンサーでは、5億個ほどのDNAを貼り付けることが可能です。Sequence by Synthesis(1塩基合成反応)という方法を使うことで、1週間程で5億個のDNAのそれぞれの配列を、数十から数百塩基ずつ読むことができます。

ニューベキアは、ゲノムの解読が進んでいるモデル生物のシロナズナと近縁ですから、ほとんどの配列情報を参考にすることが可能です。シロナズナと比べて、ニューベキアに特異的な遺伝子を探すことができますし、統計的な手法を使うと、遺伝子発現の量を比べることもできます。また、さまざまな環境条件下での遺伝子の発現を比較することで、葉の形を変えるのに重要な働きをしている遺伝子を見つけることができるのではないかと考えています。

現在、複葉と単葉を作る条件間で発現量の差が2倍以上あるmRNAを数百個見つけています。遺伝子は互いに関係しあっているため、簡単な作業ではありませんが、この中から、葉の形の表現型可塑性に特に重要な働きをする遺伝子を見つけ出したいと思っています。もしかすると、これまでどの植物でも見つかっていない「温度センサー」のような役割をする遺伝子が見つかるかもしれません。そんな大発見も胸に秘めて、今後も研究に励んでいきたいと思っています。

### PROFILE

博士(理学)。専門は植物環境応答学と植物分子発生生物学。高校生物で学んだDNAの仕組みや遺伝子の機能に魅せられ、大学の生物学科へ。教師を目指していたが、卒業研究で研究のおもしろさに目覚め、気がつくや研究者の道を選んでいた。ニューベキアとは、トマトの種間の葉の形の違いを研究していたアメリカのラボで出会い、京都産業大学に赴任した2年前から本格的な研究を始動させた。神奈川県立麻溝台高校OB。

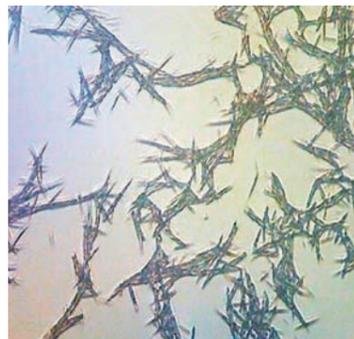
総合生命科学部  
生命資源環境学科  
木村 成介 准教授



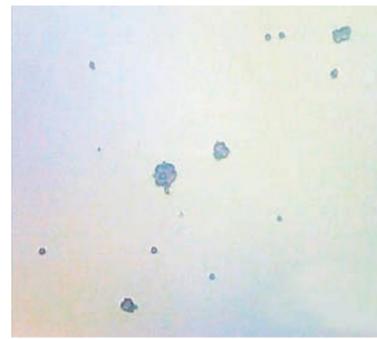
## “メラミン”によるペット大量死 — そのメカニズムの解明

2007年アメリカやカナダで起きた、イヌやネコなどペットの大量死事件。その後の調査で、ペットフードに混入された「メラミン」という物質が原因であることが分かりました。その翌年中国で、メラミンが混入された粉ミルクを飲んだ乳児が死亡する事件が発生。いずれの事件も、早い時期に問題が鎮静化したため、日本ではあまり大きな話題にはなりませんでしたが、食糧自給率が低く、多くの国から農産物や畜産物を輸入している日本にとって、これらの事件は決して他人事ではありません。未だ謎の部分が多いメラミンが害をなすメカニズムを解明し、動物、ひいては人間の健康を守りたいとおっしゃる村田英雄先生にお話を伺いました。

写真1

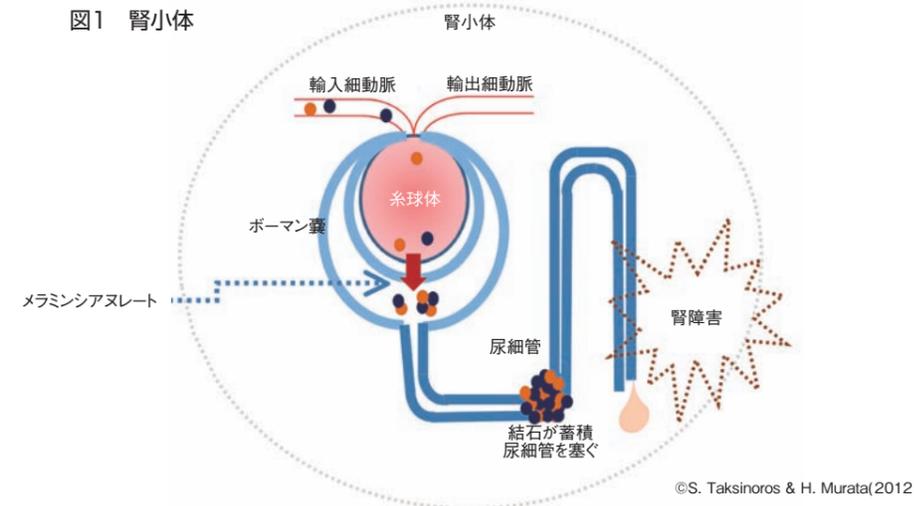


メラミンシアヌレート 針状結晶



メラミンシアヌレート 球状結晶 ×400

図1 腎小体



©S. Taksinoros & H. Murata(2012)

# 動物の健康を守り、人間の健康にもつなげる

### 新たな研究テーマの設定

私は、農林水産省家畜衛生試験場という所に30年近く勤務してきました。その後こうして京都産業大学に移ってきましたが、公的な研究機関では、そこを辞める際、自分が関わった研究テーマや取得したデータなどは持ち出すことができません。ですから京都産業大学に来て、私も言うなれば学生の皆さんたちと同じように、また新たな研究テーマを設定し直すことになりました。

公的な研究機関では、研究のテーマを常に自分の好きなように選べる訳ではありません。しかし、私が在籍した間に関わった研究テーマはすべて「動物の健康」、特に食、つまり飼料の安全性に関することだったという意味では首尾一貫していたのではないかと思います。そこで私が新たに取り組むことにしたのは「メラミン」という物質に関する研究です。

メラミンはおもに食器やデコラ板のコーティングに使われる物質です。なぜこの物質を新たな研究テーマに選んだか、それには2007年～2008年にかけて、アメリカやカナダ、そして中国で起きたある事件について説明する必要があります。

### 突然のペット大量死

2007年、アメリカを中心にイヌやネコなどのペットたちが、尿管結石による腎障害で死亡する事件が相次ぎました。その後の調査で、これらの原因がペットフードに混入されていた「メラミン」という物質であることが判明しました。

メラミンは耐熱性があるため、おもに食器やデコラ板のコーティングに使われています。食器にも使われるくらいですから、メラミン自体の毒性は非常に低いのですが、これが「シアヌル酸」という物質と結びつくと「メラミンシアヌレート」という物質に変化し、これが水に溶けない

性質を持っているため、詰まって尿管結石の原因になるのです。

シアヌル酸は、尿素からメラミンを生成する際に発生する関連物質の一つで、いうなればメラミンの残りカスのようなものです。つまり、メラミンの純度が高ければ、シアヌル酸はほとんど含まれないので、このような問題は発生しなかったはず。メラミンの混入自体許される行為ではありませんが、それに加え、純度の低い劣悪なメラミンを混入したことで、このような事態が引き起こされたのです。

しかし、そもそもなぜメラミンやシアヌル酸がペットフードに混入されていたのでしょうか？ ペットフードに限らず、食品や飼料はさまざまな検査が義務付けられています。ペットフードの検査項目の中に、タンパク質の含有量がありますが、その際の検出方法として、用いられるのが、ケルダール法と呼ばれる方法です。

これは120年ほど前に確立されたかなり古い手法で、私も学生時代に授業で学びました。物質中の窒素の量を測定し、それに一定の係数を掛けてタンパク質量を求めるという方法です。その後、その手法に改良が加わりましたが、安価で容易な割には正確な数値が出るケルダール法が、今でも標準公定法として使われているのです。

メラミン事件は、この手法をいわば悪用したことによって発生したのです。つまり、物質中のタンパク質の量を増やすためには、物質中の窒素の量を増やせばよい訳で、そこで窒素を大量に含み、安価で無味無臭、色も白いメラミンを物質中に混入するということが行われたのです。

総合生命科学部  
動物生命医科学科  
**村田 英雄** 教授

### PROFILE

博士（獣医学）。専門は応用獣医学、畜産学。徳島市で生まれ、父親の転勤で全国を渡り歩く。高校時代に旅行をした北海道が、何となく将来の自分に合っているような気がして、北海道大学獣医学部へ。その後、農林水産省家畜衛生試験場へ入所。平成22年4月より現職。国立大学法人奈良女子大学附属中等教育学校OB（高校部編入生）。高校時代は歴史研究クラブに所属し、日本古代史に傾倒。京都に赴任後、久しぶりに奈良を訪れ、古都で過ごした10代後半の思い出に浸ったとのこと。

### メラミンがなぜ腎障害を引き起こすのか？

先に述べた通り、メラミンとシアヌル酸とが結び付くと、メラミンシアヌレートという物質になります。メラミンシアヌレートは写真1の左の写真のように、“針状”になるはずなのですが、体内ではなぜか右の写真のように“粒状”になります。この原因は未だに分かっておらず、これを現在調べているところです。

粒状になったメラミンシアヌレートが徐々に沈着し、これが集まって結石となり、尿管に詰まって尿が正常に排泄されず、腎炎となり、最悪の場合には死亡へと至ります（図1）。なお、メラミンが体内の他の場所に沈着するという事例は発見されておらず、この反応は腎臓の中で特異的に起こる現象であると言えます。ちなみに、これらの障害を起こしたのは、イヌやネコなどの小動物に限られており、牛や豚などの大型動物での被害は報告されませんでした。これは小動物の場合、餌の管理が人間によってきちんとされている、つまりペットフードという既製品の形で与えられることが多いのに対し、大型動物の場合は、さまざまな飼料が与えられ、特定の製品のみが与え続けられることは少ないからだと考えられます。

### 歴史は繰り返す— 日本でメラミン事件を起こさないために

メラミン事件はその後、2008年中国でメラミンが混入された粉ミルクを飲んだ乳児が腎臓結石を発症したケースが報告され、わずかですが死亡例もありました。しかし、アメリカでも中国でも、この問題は比較的早く鎮静化したこと

もあり、日本ではあまり大きな騒ぎにはなりませんでしたが。

多くの人が、このような問題は日本ではほとんど起きないと考えているのではないのでしょうか。日本では食品の安全性に対する認識が高く、検査体制もしっかりしており、また生産者のモラルが高いと（今のところは）期待できるからです。

しかし、食糧自給率が40%を切っている日本は、世界中の国々から農産物や畜産物を輸入しています。このような情勢下、「日本の食は100%安全だ」といつまでも言い続けられるとは限りません。

このような事件の発生は、生産者のモラルに負うところが大きいと、ほとぼりが冷めればまた繰り返される可能性が高いのです。また、前回は小動物のみの被害でしたが、これが大型動物、ひいては人間に及ぶ可能性は決してゼロではありません。

再発の危険性がある以上、この問題を研究することは非常に重要です。未解明のメカニズムを明らかにすれば、何らかの予防策が発見されるかもしれません。そのためにも、日夜研究に励み、少しでも社会のお役に立ちたいと考えています。

### ADVICE

私は、大学卒業後、大学院での研究の傍ら、家畜病院で臨床医として小動物の診療業務を経験しましたが、この分野は自分に合わないと感じ、恩師の勧めもあって、公務員試験を経て、農林水産省家畜衛生試験場へ入り、農林水産業振興に直結する研究の道を選びました。

公的機関では、自分のやりたいことばかりできる訳ではありません。しかし、私の場合は、当時の上司の配慮で、私の大学時代の研究分野に近い部署に配属され、またその後、自分なりにやりたいこと（動物のストレスに関する研究）に携わることもでき、充実した公務員生活を送ることができました。

このような経験から、学生の皆さんに伝えたいことは、次のことです。たとえ命じられてする仕事でも、その中に何か一つは楽しいことが必ずあるはず。その楽しさを見出せば、自分はその仕事に向いていると言うことができ、もし無ければその仕事には向いていない、ということではないかと思えます。また、どんな仕事や研究でも、問題を解決できた時には充足感を得ることができるはず。それを一つひとつ積み重ねていけば、「自分が選んだ道は間違っていない」と納得できて、またさらに先に進めるのではないかと思います。



# 先端領域に広がる理系3学部の学びのフィールド。

## 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習得。

〈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  
地球科学と環境科学  
物性物理/理論  
レーザー・電波物性  
結晶・表面物性

## 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

## 総合生命科学部

生命科学関連の幅広い領域に  
柔軟に対応する。

### 生命システム学科

総合システムとして生命を捉え、  
最先端の研究・実験に取り組む。

細胞生物学  
生命システム概論

### 生命資源環境学科

21世紀の注目分野、  
食糧・環境問題の解決に向け、  
マクロな視点から探究する。

生命資源環境学概論  
生物統計学

### 動物生命医科学科

食の安全や福祉の分野を支える  
国内有数の実験施設と  
国際ネットワーク。

動物医科学概論  
動物遺伝学

## 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。

### 理学研究科

数学専攻  
物理学専攻

博士前期課程

博士後期課程

### 工学研究科

生物工学専攻

博士前期課程

博士後期課程

### 先端情報学研究科

先端情報学専攻

博士前期課程

博士後期課程※

※後期課程については、2013年4月開設予定。

お問い合わせ先



京都産業大学 連携推進室

〒603-8555 京都市北区上賀茂本山 TEL075-705-2952  
http://www.kyoto-su.ac.jp/  
E-mail:renkei-suishin-jim@star.kyoto-su.ac.jp

■理学部事務室 TEL:075-705-1463  
■コンピュータ理工学部事務室 TEL:075-705-1989  
■総合生命科学部事務室 TEL:075-705-1466  
■入学センター TEL:075-705-1437