

# 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.13

01  
コンピュータは  
計算の意味を知っている？

自己参照プログラムから考える自己問題

三好 博之 教授

02  
重レンズで  
より遠くの宇宙を見る

不思議な天然の望遠鏡

米原 厚憲 准教授

03  
「触れる」  
プログラムの実現に向けて

スパイダーが切り拓く可能性

青木 淳 教授

04  
コンピュータと  
カメラが融合する

マルチカメラ・イメージング技術

蚊野 浩 教授

05  
ニューロンの  
発火パターンから意図を読み取る

神経科学とコンピュータ科学が  
融合する未来の技術BMI

高橋 晋 助教

06  
古くて新しいゴルジ体

タンパク質の加工から細胞分裂まで  
かかわる驚異のメカニズム

中村 暢宏 教授

07  
光合成を制御する  
タンパク質の働きを発見

知らないことだらけの光合成—  
その謎を明らかにしてゆく

本橋 健 准教授

08  
ウイルスという微視的なものを  
見つめる巨視的な目

目に見えない微細なものが現実的な脅威になっている

前田 秋彦 教授

### コンピュータは計算の意味を知っている？

自己参照プログラムから考える自己問題



理学部  
数理科学科

#### 三好 博之 教授

博士(理学)  
理論コンピュータ科学、圏論

0011

哲学では古くから扱われてきた自己問題。みなさんも「私とは何だろう」「考えるとはどういうことだろう」と一度は疑問を抱いたことがあるのではないのでしょうか。しかし、何千年と議論がなされながら、誰もが納得のいく答えは見つけ出されていません。

コンピュータにも自己問題と同型の問題が存在します。リフレクションと呼ばれるもので、自己を参照するプログラムのことです。リフレクションにおいてコンピュータがどのように自己問題を内包させながら計算を実行しているのかを分析することで、長らく答えが定まらなかったこの問題に対して大きなヒントを提示できると考えています。

### 重力レンズでより遠くの宇宙を見る

不思議な天然の望遠鏡



理学部  
物理科学科

#### 米原 厚憲 准教授

博士(理学)  
天文学

0022

アインシュタインが予言した通り、光の経路は重力によって曲げられます。蟹気楼や虫眼鏡など身近にある光が曲がる現象とよく似た現象なので「重力レンズ」と呼ばれています。

この重力レンズは文字通りレンズの役割を持っていて、レンズ越しに天体を観測すると大きく拡大されたり、弓状に湾曲したりすることが分かっています。

レンズであるからには、当然、より遠くの天体や小さな天体、暗い天体を観測するために利用できることが期待されていて、クエーサー中心部のブラックホール周辺の観測や太陽系外惑星の発見にも役立つと考えられています。

### 「触れる」プログラムの実現に向けて

スパイダーが切り拓く可能性



コンピュータ理工学部  
コンピュータサイエンス学科

#### 青木 淳 教授

修士(理学:物理化学)  
ソフトウェアの可視化・可聴化・可触化

0033

コンピュータが作り出したものは画面を通して見ることができ、スピーカーを通して聴くこともできます。そんなことは当たり前だと思われるかもしれませんが、登場したばかりのコンピュータには現在のよう表示機能もサウンド機能も付いていませんでした。つまり、コンピュータは常に改良を受けて、見ることができるように、聴くことができるように進化してきたわけです。

その先にあるのは何でしょうか。私は「触る」ことができる機能について研究しています。次にくるであろうコンピュータの進化の可能性を紹介します。

### コンピュータとカメラが融合する

マルチカメラ・イメージング技術



コンピュータ理工学部  
ネットワークメディア学科

#### 蚊野 浩 教授

博士(工学)  
画像処理、コンピュータビジョン

0044

現在、デジタルカメラが広く普及し、旧来のフィルムカメラに取って代わりました。携帯電話などにも搭載され、デジカメ全盛期の感がありますが、いまのデジカメは機能的にフィルムカメラを代替しているにすぎません。

これからのカメラ技術は、デジタル画像データとコンピュータ、ネットワークの組み合わせによって、フィルムカメラでは不可能だった撮影手法や画像・映像の利用技術を可能にしていきます。それらは、カメラに関する常識を次々にくつがえしていくことになるでしょう。ここでは、これまでに私が関わってきた画像処理技術についてお話します。

### ニューロンの発火パターンから意図を読み取る

神経科学とコンピュータ科学が融合する未来の技術BMI



コンピュータ理工学部  
インテリジェントシステム学科

#### 高橋 晋 助教

博士(工学)  
神経科学、ブレイン・マシン・インタフェース

0055

脳とコンピュータとを結ぶことで「思っただけで機械を操作する」技術Brain-Machine Interface (BMI)は新たな局面に入っています。従来のBMIは、運動に関わる脳の信号を読み取ることで機械を操作していました。しかし、これでは手を動かす信号で機械が動いているというだけで、本来の「思っただけで機械を操作する」技術として十分ではありませんでした。

私が取り組んでいるのは「意図」によって機械を動かすBMIです。微細なニューロンの活動から意図を読み取るために、私が開発した方法を含め、さまざまな技術が使われています。

### 古くて新しいゴルジ体

タンパク質の加工から細胞分裂までかかわる驚異のメカニズム



総合生命科学部  
生命システム学科

#### 中村 暢宏 教授

医学博士  
細胞生物学・生化学・分子生物学・発生生物学

0066

名前にインパクトがあり、形も奇妙なゴルジ体。実は、細胞の中でも最も重要な役割のひとつである「タンパク質の加工と品質管理、分泌」を担っています。なぜ、あのような奇妙な形をしているのかは、ゴルジ体が担う役割に由来すると考えられていますが、実際のところ、その形の生理的な意義は謎のままです。

ゴルジ体には細胞分裂時にバラバラになるという性質があります。従来は、分裂後の細胞に均等に分けるためと考えられていましたが、近年の研究によって、バラバラになることが細胞分裂のメカニズムそのものに関わっていると分かってきました。

### 光合成を制御するタンパク質の働きを発見

知らないことだらけの光合成—その謎を明らかにしてゆく



総合生命科学部  
生命資源環境学科

#### 本橋 健 准教授

博士(理学)  
植物生理学・生化学

0077

植物の光合成は二酸化炭素と光から糖を作り出す優れたメカニズムです。非常に精巧にできていて、受け取った光から得られた電子を関連するタンパク質に渡すことで、相手のタンパク質を還元して、その働きを活性化しています。

この一連の電子のリレーにおいて、中心的な役割を担っているのがチオレドキシンというタンパク質です。チオレドキシンは、光がたくさん当たる環境では、標的タンパク質に電子を渡し活性化させることで、光の量に応じて最適になるよう光合成を制御しています。その詳しい仕組みを紹介します。

### ウイルスという微視的なものを見つめる巨視的な目

目に見えない微細なものが現実的な脅威になっている



総合生命科学部  
動物生命医科学科

#### 前田 秋彦 教授

博士(獣医学)  
ウイルス学、環境衛生学

0088

同じ種の間には感染しないウイルスが、突然変異によって他の種にも感染するようになると、大きな被害をもたらすことがあります。また、交通機関の発達によって、遠く離れた場所にウイルスが運ばれ、新たな地で爆発的に流行する、ということが現実起こっています。

発病についての個人差や潜伏期間などから、すべての感染ルート特定することは難しく、また、治療が逆効果になることがあるといった対処の難しさもあります。

このようにウイルスは非常に厄介な存在ですが、その起源には謎が多く、生物の進化の過程に深く関わっているという可能性も考えられるのです。

## 自己参照プログラムから考える自己問題

みなさんも「私とは何だろう」「考えるとはどういうことだろう」という疑問を抱いたことが少なからずあると思います。このような問題は「自己問題」と呼ばれ哲学の分野では古くから議論されてきました。しかし、この問題は堂々巡りのような深みにはまってしまい、なかなか明確な答えに至りません。この難問に「計算とは何か」という切り口から挑む三好博之先生に、コンピュータ科学を通じた「自己問題」へのアプローチを教えてくださいました。

# コンピュータは計算の意味を知っている？

### 「計算する」とは どういうことだろうか？

私たちは普段あまり深く考えずに「コンピュータに計算させる」「コンピュータが計算する」という言い方を使っています。コンピュータとは計算をする機械のことですから、別段おかしい方ではないように感じます。ところが、「計算」とはいったいどういうことなのか、考え始めると、そこに深く大きな問題が潜んでいることが分かります。

たとえば、次のような状況を思い浮かべてみてください。1) 人が暗算する。2) 人が紙と鉛筆を使って計算する。3) 人が電卓を使って計算する。4) Aさんに頼んで計算してもらう。

このうち、どれが「計算」で、どれが「計算」ではないのか、明確に答えを出すことができるでしょうか？ 紙に描いた式は「紙が計算した」とは言いませんが、Aさんに頼んだ場合は「Aさんが計算した」と言えそうです。では、電卓は計算をしたのでしょうか？

「電卓を使う程度の計算であれば紙と同じだから、電卓が計算したとは言わない」というのも一つの意見ですが、近年の電卓は高度な機能を備えたものもあり、関数計算なども行えます。さらに、電卓を現代のコンピュータに置き換えてみると、事情はもっと複雑になってきます。なぜなら、コンピュータが行う「計算」には、文字や画像を表示すること、音楽を奏でること、必要な情報を探し出すこと、一定の条件下で未来を予測すること、など非常に多岐にわたり、紙と同じだと断言するにはあまりにも高度なことが行われているからです。

ここまで話をすると読者の中には「コンピュータがどんなに複雑なことをしていても、コンピュータ自身に“計算をしている”という自覚がないから、計算をしているとは言えない」と考える人も

いるかもしれません。確かに、私たちは暗算であれ紙と鉛筆を使う場合であれ、計算をするときには「計算をしている」という自己認識があります。そのように考えると、「自分自身で計算をしている」と分かっているかどうかは「計算とは何か」を考える場合の重要なポイントになりそうです。

### プログラムの意味論

それでは「計算をしている」と分かっている」とはいったいどういう状態を指しているのでしょうか。ここで問題になってくるのが「意味論」です。自分が何をしているか分かるということは意味が分かっているということですから、その計算が何を意味しているのかを定義できるかどうか最初の手掛かりになりそうです。

コンピュータにとって「意味」とは「どのような動作を行うか」ということです。画面に表示する、プリンタに出力する、データを送信する、言葉を検索する、などコンピュータが行う動作はたくさんあり、それらは厳密に定義されているように思われます。

ところが、ここで困ったことが起きます。コンピュータの動作を記述するのはプログラムによって行われますが、記述されたプログラムの動作についての意味がさらに問われることになり、その意味を記述するのもまたプログラムで、その意味が求められ、その意味をプログラムで……と延々と終わらない無限後退に陥ってしまいます。

このように続く意味の記述の無限後退は、実際には適当なレベルで妥協されています。これは数学の教科書が日本語で書かれているのと

図1 プロセッサとプログラム

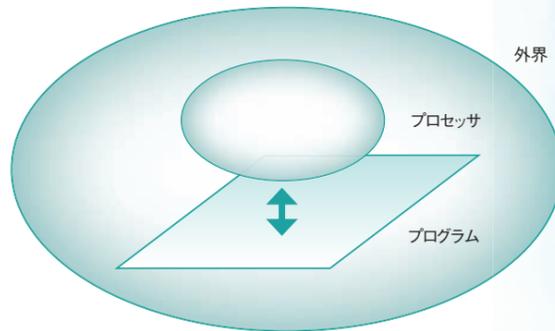


図2 プロセッサは自分自身を計算している

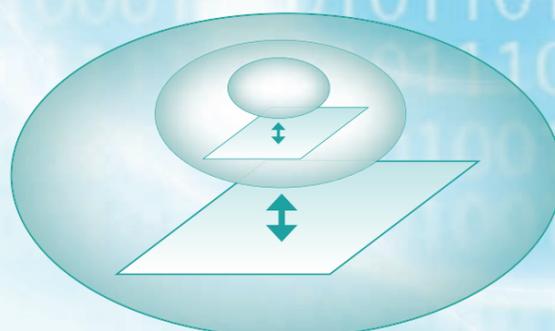
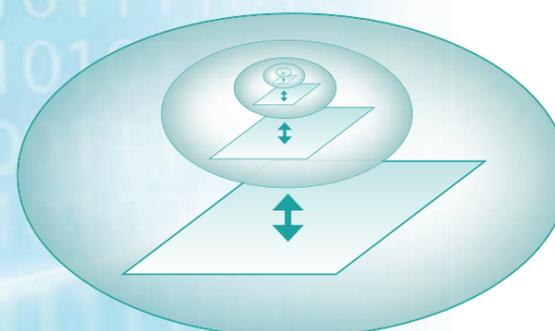


図3 メタ・サーキュラプロセッサ



「数学を理解している」という自覚も持っています。これはいったいどういうことなのでしょう。

コンピュータが自分自身を計算に含める「リフレクション」を詳しく見てみることで、この問題の理解を助けてくれるかもしれません。

コンピュータには「自分自身の電源を切るプログラム」や「自分自身の優先順位を下げるプログラム」といった自分自身に言及するプログラムがごく当たり前に使われています。このように自分自身に言及することをリフレクションと呼びま

す。実は「自己言及命題」は論理学の分野では長年議論されてきたことですが、計算における自己言及は単なる（無時間的な）命題ではなく、（時間の経過を伴う）計算の進行の途中で起こるため、より深刻な問題を引き起こします。

ここでは、リフレクションの極端な例としてメタ・サーキュラ・インタプリタ (MCI) を取り上げます。インタプリタとは人間が書いたプログラム（ソース・プログラムと言います）をステップバイステップでコンピュータが理解できる記号列に翻訳して実行するプログラムのことです。そして、MCIとは、翻訳の定義そのものをインタプリタによって記述するインタプリタのことです。例えるならば、暗号解読の手引きがその暗号で書かれているようなものです。

このようなインタプリタをコンピュータで動かすとどうなるか図を使って考えてみましょう。図1は、コンピュータのプロセッサ（演算処理装置）とプログラムとを模式的に描いたものです。プロセッサはプログラムを読み込んで計算を行います。

ところで、MCIは、プログラムの意味が書かれたものですから、プログラムとプロセッサを含めたすべての挙動を計算することになります。つまりプロセッサが計算しているのはプログラムを含めた自分自身ということ。このことを図に表すと図2のようになります。

さらに、プロセッサが自分自身を計算しているということは、その計算されている自分自身は、“自分自身の自分自身”を計算している状態にあるはず。このように続けていくと、無限に入れ子構造が続くことが分かります。(図3)

プログラムの意味論が無限後退することは先ほど確認しましたから、それを実装したのもまた無限後退するのは想像に難くないのですが、先ほどとの違いは、プログラムの意味論がいかにも形式的な議論であったのに対して、MCIのようなプログラムは実際に存在していて、コンピュータでの実行が可能というところ。

ということはさらにMCIに、そのプログラム自身を操作するメカニズムを取り入れることによって実行時にプログラムにとっての自己操作が可能になります。

これがリフレクションと呼ばれるものです。もちろん、実際には無限に自己操作ができるわけではなく、どこかで何らかのリソース的な歯止めがかけられます。私たちが使う言語や論理で「自己問題」を扱う場合も本質的には同様なことが起こります。

哲学は長らく「自己とは何か」「考えるとはどういうことか」という問題と格闘してきました。私はコンピュータ科学の切り口によって、これらの問題に対する重要なヒントを提供していきたいと考えています。

同じで、どこかのレベルで諦めることで、使いやすさや分かりやすさを得ているということです。

### 自己参照するプログラム

ところが、私たちは日本語で書かれた数学の教科書を読んで数学を理解することができます。

理学部 数理科学科  
**三好 博之** 教授

### PROFILE

博士（理学）。専攻は理論コンピュータ科学、圏論など。日本では数少ない数学としての圏論の専門家として、専門書の翻訳も手がける。大学時代に実験がつまらないという理由から選んだコンピュータ科学だが、その後、日本で初めてのインターネット構築に立ち会い、慶応義塾大学・湘南藤沢キャンパス立ち上げ時に情報環境の構築に関わるなど、常にコンピュータ科学の最前線で研究を重ねてきた。他に計算の哲学プロジェクトを率いており、計而上学、時間論、音楽論と研究対象は多岐にわたる。大阪府立北野高校OB。



### 雲に潜む巨大な計算

クラウド・コンピューティング※が実用的な技術として、さまざまなところで活用されるようになりました。アイデア自体は古く、20年ほど前からあったものですが、コンピュータの性能やネットワーク技術の向上によってようやく現実のものになっています。現代の高度情報社会では、無限とも思えるほどの計算があまねく存在しています。このような環境ではクラウドという技術はむしろ自然なものと言えるでしょう。クラウドを見ていて興味深いのは「計算がハードウェアを超えて存在する」ところです。ネットワークにつながっているたくさんのコンピュータは古くなれば交換されますが、ユーザにはコンピュータの交換も関係なくクラウド越しに計算結果が提供されます。ハードウェアがどんどん入れ替えられてもソフトウェアがそのまま動いているのです。まるで細胞が代謝しても存続する生命のようにも感じられます。このことからコンピュータ科学を生物学に応用することが可能ではないかと考えています。

※ネットワーク上のサービスをサーバの存在を意識せず利用できる仕組み

## 不思議な天然の望遠鏡

私たちは普段、光は直進するものとして景色を見ています。そのため、密度の異なる空気層によって光が屈折する蜃気楼を不思議な光景に感じます。しかし、その仕組みは単に光の経路が曲がったというだけで幻でも何でもありません。地上の蜃気楼と同じような現象を宇宙でも見ることができます。宇宙で起きるその現象は重力レンズ現象と呼ばれ、もっとスケールが大きく、星などの天体の明るさを何百倍や何万倍にもすることがあります。この不思議な現象を天体観測に活かそうと研究している米原厚憲先生に詳しくお話をいただきました。

# 重力レンズでより遠くの宇宙を見る

### 遠くを見ることの難しさ

天文学にとって遠くの天体を観測することは、重要な使命の一つです。宇宙は誕生以来膨張を続けているため、遠くの宇宙を見ることは過去の宇宙を見ることと同じ意味があります。過去の宇宙を見ることで、宇宙の最初の頃の銀河はどんな特徴があるのか、現在の宇宙との違いはないのかなどを調べることが、宇宙の誕生にまつわる謎を解き明かすことにつながるのです。

一方、私たちは遠くの宇宙を見るための資源を無限に持っているわけではありません。例えば、観測できる限界の更に $\frac{1}{2}$ の明るさしかない天体でも、2倍大きな面積のレンズや鏡を持つ望遠鏡を使うか、2倍の時間をかければ、観測が可能になります。極端なことを言えば、直径100メートルの望遠鏡を特別に作って、何年もの長い時間をかけて観測すれば、相当遠くの暗い天体まで鮮明に見ることができでしょう。しかし、これは現実的な話ではありません。

現在、人類が使えるもっとも大きな光・赤外線望遠鏡は地上のもので直径10メートル強（カナリー大型望遠鏡）、宇宙空間に浮かべているもので直径2.4メートル（ハッブル宇宙望遠鏡）です。そして、これら世界最大級の望遠鏡は多くの研究者が使いたいものなので、ひとつの天体を何年も観測するわけにはいきません。現在地上に直径30メートルの次世代望遠鏡の建造が計画されていますが、完成したとしてもひとつの観測に使える時間は限られることでしょう。\*

比較的近い天体でも暗いものや小さなものは、遠くの天体と同じように観測が難しくなります。惑星やブラックホールなど、宇宙には小さく暗い天体や、そもそも光らない天体がたくさんあります。特に惑星については、私たちは近くにあるごくわずかなものしか知りません。私たちが観測できていないだけで、宇宙には私たちの想像を超えた奇妙な暗い天体があるかもしれないのです。

象で、重力によって光の経路が曲げられることを表しています。この重力レンズ現象は後に観測によって実際に起きる現象であることが確かめられました。単に光の経路が曲がるというだけではなく、本物のレンズ同様、天体を10倍～100倍に拡大する（すなわち10倍～100倍明るくする）という効果があります。中には1万倍にも拡大する場合があります。望遠鏡の直径が10メートルから30メートルになっても面積は9倍にしかならない（つまり、それまで観測可能だった天体の $\frac{1}{9}$ の明るさの天体までしか観測できない）ことを考えると、この天然のレンズがいかに優秀な観測装置であるか分かってもらえると思います。また世界最大級の望遠鏡でしっかり

と重力レンズ現象を観測すれば、さらに暗い天体の観測も可能になりますから、まさに「鬼に金棒」ということになります。

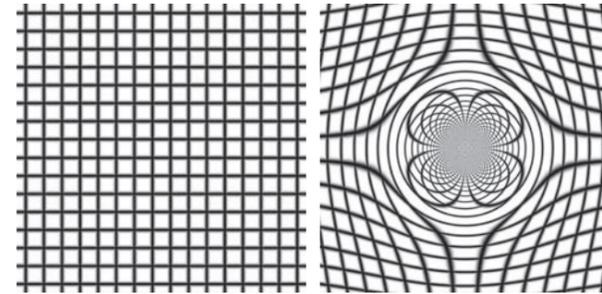
重力レンズ現象によって天体は不思議な姿を見せることがあります。同じようなクェーサー（とても明るい天体。詳細は後述）が2つ近くに並んで見えていたのが、実は重力レンズ現象によって1つのクェーサーが2つに見えていたという「双子のクェーサー」や、1つのクェーサー

## 理学部 物理科学科 米原 厚憲 准教授

**PROFILE**  
博士(理学)。専攻は天文学。大学では人と違った研究がしたいと考えて、宇宙物理学教室で当時まだ誰もやった学生がいなかった重力レンズの分野を選ぶ。ブラックホールには高校生のころから興味を持っていたこともあり、その謎に迫ることができる分野として重力レンズが直感的に面白かった。現在、太陽系外惑星の探索とクェーサーの研究に力を入れている。私立広島学院高校OB。



米原先生が作成した、重力レンズシミュレーターで作った画像  
上:何も格子模様には適用した。曲がり方や拡大率がよく分かる。  
下:神山天文台・荒木望遠鏡で撮影したM51銀河(左)の何をか天体が横切ったときに、M51銀河がどう見えるかを計算したもの(右)。



が重力レンズを中心にして上下左右4つに分かれて見える「アインシュタインの十字架」などの特殊な天体、遠くの天体が重力レンズの縁に沿ってリング状に広がり、湾曲して見える「アインシュタインリング」と呼ばれる現象など、神秘的で美しい天体ショーを演出しています。

また、宇宙全体の質量というものを考えたとき、光の経路の曲がり方には宇宙の質量の分布の有り様が反映されているはずですから、そこから逆算すれば、宇宙全体の質量の分布や構造の進化を知ることのできるのです。

### 暗くて見えない惑星を見つけ出す

近年、太陽系外惑星が次々に見つかっています。私たちの太陽系以外にも地球のような惑星があるかもしれないとわくわくさせられますが、今まで見つかった太陽系外惑星は、実際にその惑星を目や望遠鏡で直接「見つけた」わけではありません。惑星が恒星の手前を横切って恒星がその分少し暗くなったとか、惑星の重力

### ADVICE

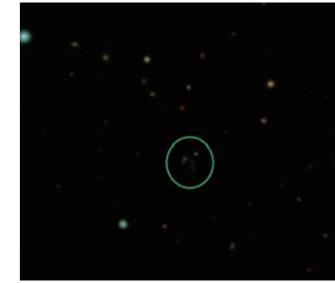
高校生のみなさんには、知らないことに壁を作らずに多くのことに興味を持ってほしいと思います。知らないから分からない、ではなく、知らないから分かるまでやってみよう、分からないなら分かるまでやってみよう、という姿勢が後々の大きな力になります。

私自身、研究をはじめた最初は全く分からないことがいくつもありました。1つの論文を2週間ずっと分かるまで読み続けたこともあります。腰を据えて徹底的に取り組むという経験を必ず一度はしてほしいですね。そういった経験を通して理解できたことはずっと知識として残っていきますし、その経験が自信にもつながります。

天文学を学びたいからといって、必ずしも物理ができる必要はありません。知識は大学に入ってからも十分間に合います。それよりも、論理的に考える力が大切です。答えが出ればそれで終わりではなく、なぜその答えになるのかまで含めた勉強をしてください。



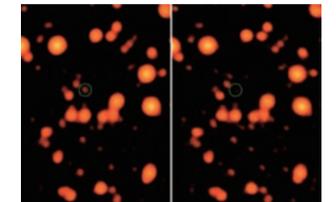
神山天文台で撮影した「双子のクェーサー」



4つの像を持つクェーサー(「アインシュタインの十字架」と同様の現象)



ここに掲載している天体を撮影した荒木望遠鏡・2色同時撮像装置ADLER(黒い部分)



惑星探査に使う重力レンズ現象の一例(神山天文台で撮影)  
惑星の有無はまだ不明だが、緑の丸の中の天体が前を横切る別の天体の重力レンズ効果で増光され、本来右のように見えるものが、左のように明るく見える。

### 神山天文台も活躍

重力レンズは、うまく拡大率が大きくなるように天体が並びさえすれば、1万倍もの明るさになることがあるため、比較的小さな望遠鏡でも新たな発見が十分に可能です。幸い、京都産業大学には、私立大学で国内最大級となる口径1.3mの反射式望遠鏡があり、研究・教育に利用できます。惑星探査やブラックホールの謎の解明に向けて、学生のみなさんにも実際に観測・研究に取り組んでもらいたいと考えています。

強い重力と数百万度もの高温になったプラズマがうずまき想像を絶する世界です。もちろん理論による計算や予測は行われていますが、実際にプラズマがうずまきしている様子を詳しく見た人は誰もいません。

重力レンズ現象では小さい天体ほど拡大率が大きくなります。これは、ゾウの体に虫眼鏡を近づけても皮膚が詳しく見えるだけでゾウ全体が大きく見えることはありませんが、アリの体に虫眼鏡を近づけるとアリ全体が大きく見えることと同じです。従って重力レンズ現象を利用すれば、銀河など外側からの光はそのままに、クェーサー中心部からの光だけを大きく拡大し、その様子を詳細に調べることが可能になります。このような観測から、実際のクェーサーの姿が明らかになり、ひいては謎の多いブラックホールそのものについても多くのことが解明されるようになるでしょう。

\*電波望遠鏡には直径100mのものや、複数の望遠鏡を合成して何千kmにも相当する望遠鏡として使う場合がある。

## コンピュータの発展の歴史

私が研究しているのは、「可触化」という技術です。これはコンピュータの中で「ものに触る」感覚を再現しようという試みです。

実用化されたばかりの頃のコンピュータには、タイプライターのようなキーボードしかついていませんでした。そこから、最初に発展したのは視覚技術です。モニターがつくことで「見る」ことが可能になりました。次の段階では音を作るシンセサイザー、スピーカーを組み込んで、音を「聴く」こともできるようになりました。しかし、触覚については、長い間おざりにされてきました。つい最近、iPadのようなタッチパネル系の「触る」インターフェースが登場しましたが、それまではマウスとキーボードだけに留まっていた。

そもそも、触覚というのは生物進化の歴史でも最初に発達した部分です。生物では続いて聴覚、最後に視覚と発達したことから、コンピュータは生物と逆の歴史をたどっていることとなります。

可触化の技術が今まで出てこなかったのは、その再現の困難さに一因があります。人間の目は、0.1秒程度の差しか感知できません。それより短い時間で連続表示すると動いていると錯覚します。アニメーションの原理ですね。耳はもう少し正確で、0.01秒程度の音の差まで感知できます。テンポが少しずれるだけですぐに違和感を覚えるのは、この正確さによるものです。ところがこれらの感覚に比べて、触覚は0.001秒程度の差さえ感知できると言われています。実際、私たちがものの表面を平らかどうか確かめるとき、目で見ても音を聴いても分からなければ、手で触って確認します。それだけ触覚は正確なものなのです。

ですから、もし触覚を騙そうとするならば、1

### 3D技術の今後

ゲームや映画などで、3D映像がブームになっています。これらは両眼視差を利用した立体視で3Dを実現していますが、「立体」を作る要素は両眼視差ではありません。

例えば、航空機のパイロットは何キロも先を見ているのですが、これだけ遠くのものになると視差はほとんど生じません。それにもかかわらず立体を認識しているということは、視差はあくまでも一部の要素にすぎないということです。実際上空においては、肌理(きめ)の流れを感じる動体視力を始め、様々な要素が重要になってきます。

立体を表現する一番有名な要素は、陰影です。ゲームの画面などで後ろを暗くぼかしていると奥行きを感じることがあります。暗さや影が立体感を表現するために役立つことは、昔から画家が実践してきました。逆説的ですが、明るく全てが見えていると立体感は生まれにくいのです。

## スパイダーが切り拓く可能性

私たちが暮らす情報社会では、あらゆるものが数に置き換えられます。

食品の鮮度も賞味期限という数値に還元され、お金の銀行のコンピュータの中の数値になります。

このことは逆に考えると、数値から世界が再現できるという事実にとどり着きます。

数値で五感への情報を作り出す技術は、モニターでものを「見る」、スピーカーで音楽を「聴く」ことを可能にしてくれました。

それでは、コンピュータの中のを「触る」ことはどうでしょうか。

実は、「触る」技術も身近に広まる一歩手前までできているのです。

今回は、この可触化を実現したインターフェース「スパイダー」について、プログラマでもある青木淳先生に詳しくお話していただきました。

# 「触れる」プログラムの実現に向けて

秒間に2千回ほどモータを動かして微調整し続けると、すぐに違和感が伝わってしまいます。それほどコンピュータにかかる負担が大きいのです。可触化の技術は、コンピュータ技術が発展してきたことで、初めて実現可能になったといえるでしょう。

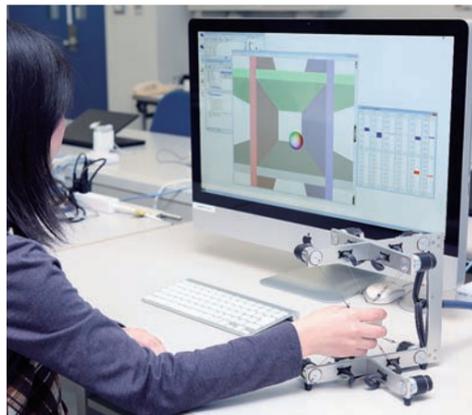
### スパイダー

(SPIDAR: Space Interface Device for Artificial Reality)

皆さんが普段使っているマウスは平面上を動かすだけですが、私たちが研究しているのは立体的に三次元空間を動かせるインターフェースです。私たちはこれをスパイダーと名づけています。スパイダーは8本の糸で釣られた球状のインターフェースで、マウスに相当するボールを上下左右に自在に動かすことができ、ひねることもできます。コンピュータのモニターにはスパイダーのボールに相当するものが表示されていて、手元のボールを動かせば、モニターの中のボールも動きます。モニターの中のボールが壁にぶつ

かれば、手元のボールもそれ以上先には全く動きません。壁沿いにボールを擦りつけられ、手元では摩擦を感じます。

私たちは、スパイダーを仮想の「手」のように使う研究にも取り組んでいます。左上写真のように、画面上にブロックを表示し、画面の中のボールを接触させると、手でつかんだように持ち



### プログラム博物館

私が長年抱えている夢は、プログラムの博物館を作ることです。コンピュータの歴史を見せるようなハードウェアの博物館はありますが、ソフトウェアの博物館はまだありません。私にとってプログラムは見るだけのものではなく、ありありと感じられるものなのです。この感覚をより多くの人に伝えたいと考えています。

プログラムは一見ただの記号列であり、一般の人にとっては、博物館に展示するような、ありありと感じられるものとして受け取られていません。だからこそ、プログラムを「見える」「聴ける」「触れる」ようにして、それを体験できるような博物館を作りたい。「可触化」は「触れられるようにする」という意味ですが、その目的語は、まさにプログラムなのです。

上げることができます。このとき手元にはブロックの分だけ重みを感じられるのです。ブロックを別のブロックにぶつければもちろん抵抗を感じますし、様々な方向に回転させて、本物の積み木のように遊ぶこともできます。コンピュータ内の設定を変更すれば、壁やブロックの弾力や摩擦力も自由に変えることができます。

スパイダーは体験した人の多くが驚きの声をあげるほど精巧にできています。しかし、音楽や映像と違い、一度に大勢で共有することが難しく、一人一人が実際に体験することでしか伝えることができないのです。

### 今後の可能性

スパイダーはコンピュータの中にしかない物体に触れることを可能にします。応用範囲は様々ですが、最新技術はまずゲームに反映されることが少なくありません。近年では、Wiiなどが良い例です。3Dセンサーをリモコンに搭載し、リモコンを握った手を動かすとその動きを読み取

ることができます。この技術を利用してスポーツなどをゲームで再現していますが、この技術にはまだリアルな手応えがありません。これはゲームセンターに置かれているシューティングゲームなどでも同じで、銃を撃っても反動がないのでリアルを感じないのです。これまでは、そういった手応えや反動といったものを単純な振動などで代用していましたが、スパイダーに用いられている可触化の技術を利用すれば現実と変わらない感覚を再現することができます。

遊びだけではなく、教育への利用も考えられています。たとえば、通常私たちが実感することができない万有引力や分子間力といった物理の力を、シミュレーションによって実際に触って体験することが考えられるなど、説明だけでは伝わりにくい分野への応用に大きな可能性がありそうです。

スパイダーは「触る」だけでなく「重み」を感じ

### ADVICE

専門分野を選ぶに際して、メジャーな研究対象ばかりを追ってはいけません。競争相手が多くなり、若い時にメジャーなものは、将来時代遅れになっているものです。是非「Minority is the Best」のポリシーで挑んでください。

そして、大人に馬鹿にされてもいいので、子供らしさを持ち続けてください。「こんなものがあつたらいいな」という思いは、捨てないで大切にしていってほしい。その上で、本当に自分がやりたいことを実現するためにサイエンスがどう役立っていくのかを考えながら、勉強してください。

単に暗記やテクニックに頼るような受験勉強では本物の学力は身につけません。今の受験は「これだけやればいい」という発想が多いようですが、大事なものは「これ以外にどのような方法があるだろう」という考えを抱くこと。それを自分で探していくことが、将来の科学と工学の基礎になるはずですよ。

コンピュータ工学部  
コンピュータサイエンス学科

青木 淳 教授

### PROFILE

修士(理学:物理化学)。専攻はソフトウェアの可視化・可聴化・可触化。高校時代は受験勉強の在り方に疑問を感じたが、大学での学びの自由さから一転勉学に励む。結果、補欠で入学した大学を首席で卒業。学部・大学院と物理化学を学ぶが、就職の際、あえてコンピュータの世界に飛び込む。学部生が4年間かけて学ぶ内容を半年で習得し、株式会社SRA米国コロラド州ボルダー研究所を経て、京都産業大学へ。「Minority is the Best」がポリシー。新潟県立高田高等学校OB。

じられるのも大きな特徴です。これに着目すれば「情報の重み」を「現実の重み」に対応させることもできるので、クレジットカード情報を送信するときにクリックが重くなるなどの仕組みを作ることができます。また、スパイダーをダンベルのように用いれば、自由に重さや抵抗を変えることができますので、医療の現場で個人に合わせたリハビリにも有用でしょう。

さらに、複数のスパイダーをネットワークでつなげば、遠く離れた人同士が握手をすることもできます。違う場所にいながら、同じものを触る感覚を共有することができるのです。

可触化を実現するインターフェースには様々なものが考えられていますが、スパイダーの利点はそのまま巨大化することが容易であるということです。糸を頑丈なワイヤーにして、部屋一杯に張り、中央にぬいぐるみを吊るせば、等身大のぬいぐるみをインターフェースにすることだってできるのです。

スパイダーは、他の可聴化や可視化の技術と組み合わせることで、さらなる可能性を生み出します。たとえば、インターフェースが三次元空間を自由に動いても、モニターが二次元ではうまく奥行きなどが伝わらないことがあります。これが3D技術と結びつけば、さらなるリアリティが生まれるでしょう。また、空間上の様々なポイントに音を割り当てて、スパイダーを動かすことで音楽を演奏することもできます。テルミンのような、従来とは異なる新しい楽器へと発展するかもしれません。

最終的な目標は、視覚・聴覚・触覚の完全な融合です。その実現を探りながら、五感に訴えるものと現代世界との関係を考えていきたいと思っています。

# コンピュータとカメラが融合する

マルチカメラ・イメージング技術

## 画像技術との出会い

私がデジタル画像技術に携わるきっかけとなったのは、1984年企業に就職し、カラー記録装置の開発を担当したときです。それ以前の1970年代、濃淡画像（モノトーン画像）をデジタルプリントする装置は非常に高価であり、その代わり今のアスキーアートのように、文字出力装置を使って擬似的な濃淡画像を出力していました。1980年代になると濃淡画像やカラー画像を出力する技術の開発が盛んになり、私もその一端を担うことになったのです。10年近くカラー記録装置の技術開発を行いました。製品になったものもあり、ならなかったものもありますが、結局、事業としては存続しませんでした。

その頃から、カメラ装置に興味を持つようになりしました。理由は単純なことです。画像情報はカメラ的な装置で入力し、コンピュータによって中間処理を行い、プリンタ的な装置で結果を出力します。私の専門はコンピュータ技術ですが、画像を扱うシステムにおいては、カメラのような入力装置とコンピュータ技術を密接に結びつけることが自然なのです。人間を例に考えると、眼球によって外部世界の光像を入力し、脳がその像を計算して理解します。その結果、外部世界で自由に活動することが可能になります。眼球は単なるセンサであり、脳での情報処理によって意味が生じます。カメラで取得した画像をコンピュータ処理することで被写体の3次元情報を復元することや、被写体の属性情報（人間であるとか車であるとか）を推定する技術をコンピュータビジョンとよびますが、先に述べたように自然な発想から、コンピュータビジョンに関する研究成果を通じて、デジタル画像の新技術開発に貢献しようと決意しました。

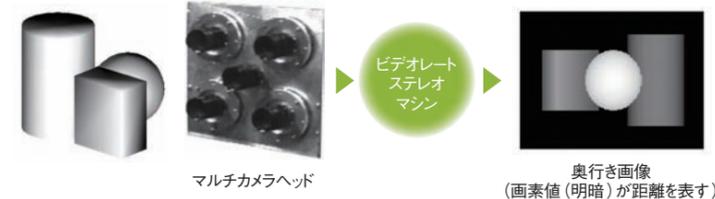
## マルチカメラ画像処理

1993～1995年に米国カーネギーメロン大学の金出武雄教授の指導のもとで開発した「ビデオレートステレオマシン」は、6台のビデオカメラを接続できるステレオ画像処理専用ハードウェアです。図1のように、複数のカメラがコンパクトにまとめられたマルチカメラヘッドを入力部とし、被写体までの距離情報を表現する画像を毎秒30枚出力することができます。この装置は、同大学において距離情報を手掛かりにした画像合成技術（Z-Keyとよばれる）などに利用されました。また直接の関係はありませんが、スバル社の先進運転支援システ

ュビキタスなカメラの時代。

デジタル写真技術の登場で、だれもが簡単に撮影を楽しむことができるようになりました。最近では、デジカメとカメラ付き携帯を合わせて毎年10億台程度が生産されています。しかも、写真を記録するメディアは安価になり、撮影枚数の限界が事実上なくなっています。デジタル技術とコンピュータ技術により写真撮影のあらゆる限界が取り除かれつつあります。両技術をご専門の蚊野浩先生に詳しくお話しいただきました。

図1 ビデオレートステレオマシン



ム「EyeSight」やXbox用のヒューマンインタフェースデバイスであるKinect※1の先駆けになったものと言えます。

ステレオマシンのように複数のカメラを用いて取得した複数の画像、あるいは1台のカメラを用いて取得した複数の画像を処理することが、自然と私の主要な研究テーマになりました。特に、位置的あるいは幾何学的な情報を手がかりにして、複数画像の情報を統合することに特色があります。また、ステレオマシンに続く研究では、ハンドヘルド型3Dスキャナー、手持ちカメラによるパノラマ画像合成技術、複数の車積カメラを用いた全周囲モニタシステムなどに取り組みました。

ハンドヘルド型3Dスキャナーは、合計3台のビデオカメラとレーザースリット光源を用います。図2の装置において、横アームの両端と、手持ちの小型測定部の中にカメラが内蔵されています。そして、形状を入力したい物体のまわりを、手持ち測定部でなぞるようにスキャンすることで立体情報を取り込むことができま

す。この技術は、最終的には、足形の立体形状を入力する装置として製品化※2しました。

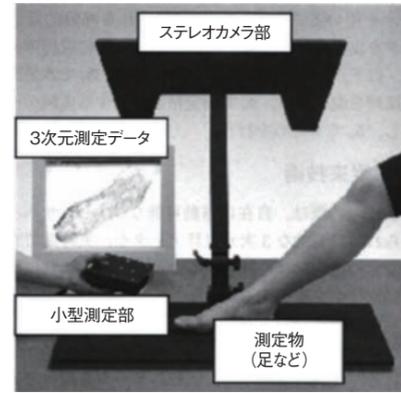
車用の全周囲モニタシステムは、図3のように、トラックなどの車体上部に4台のカメラを設置します。運転手が4台のカメラからの映像を個別に見て、障害物などを確認するのは至難の技です。4台のカメラ映像は、道路面を共通の観察領域として1枚の画像に合成することができます。これは、パノラマ画像合成技術の簡単な応用です。結果としてできる画像は、あたかもトラックを頭上から見たような鳥瞰画像になります。この1枚の鳥瞰画像であれば、周囲の状況を一目瞭然に確認することができ

コンピュータ理工学部  
ネットワークメディア学科  
**蚊野 浩** 教授

## PROFILE

博士(工学)。専門は画像処理、コンピュータビジョン。理科系への進学で、なにを専門分野にするかを考えたとき「コンピュータ=未来志向の新産業」とあまり深く考えずに進路を選択。その後は、コンピュータ分野の中でも基礎的な論理回路に興味を持ってそうだ、自分の適性を考えるとメーカーのエンジニアが向いているのではないかと、少しずつ深く考えた結果、企業のなかでも研究色の強いキャリアを進むことに。大阪府立北野高校OB。

図2 ハンドヘルド型3Dスキャナー

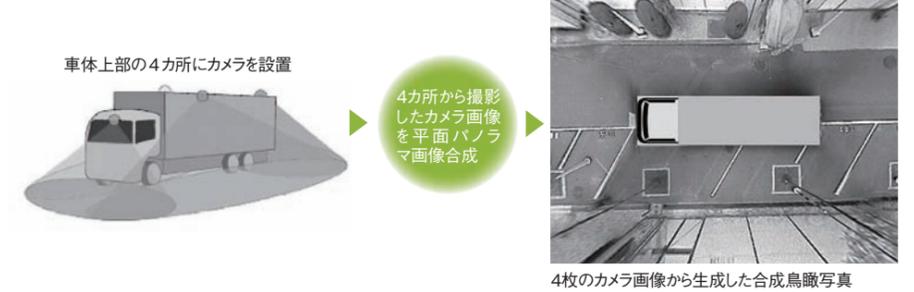


ます。

## デジカメで活躍するビジョン技術

これらの開発を行った2000年前後において、複数台のカメラを使った装置は、コストなど実用化する上で困難なことが多く、残念ながら広く普及するには至りませんでした。一方、2000年代になると、デジカメの技術開発においてコンピュータビジョンに基づく画像処理の重要性が目目されるようになります。そのきっかけは、写真画像からの顔検出技術の実用化です。正面顔を検出する研究は1990年代後半から盛んになり、2000年代に入ると、デジカメに実用化されるのは時間の問題にな

図3 複数の車載カメラを用いた全周囲モニタシステム

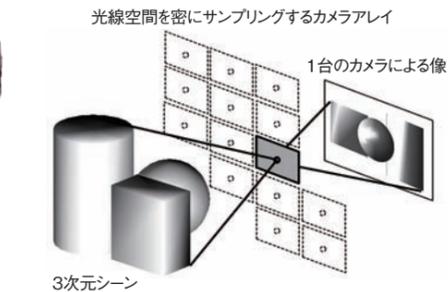


るまでに性能が向上しました。2005年には顔検出が初めてデジカメに搭載され、今日では、必須機能の一つになっています。

私たちのグループでもデジカメに実用化できる画像処理技術を多く開発しました。顔検出も担当しましたが、それ以外にも、パノラマ画像合成、手ぶれ補正などを実用化しました。手ぶれ補正は、手ぶれによるカメラ筐体の動きをキャンセルするように、レンズや撮像素子を移動させる光学式が有効ですが、カメラの大きさやコスト面での制約があり、画像処理による手ぶれ補正にも期待が集まっています。

デジカメに搭載される画像処理のことを、私はデジカメ画像処理と呼んでいます。デジカメ画像処理は、第一に画像のノイズ除去や色信号の補正、階調特性の制御などの伝統的な写真画像処理を含みます。第二に、オートフォーカスやオートアイリス※3などのカメラ制御と融合することでカメラを使いやすくする、画像の

図4 光線空間カメラの概念図



## ADVICE

高校生から大学生、社会人になるまでの10年弱は、人生において最も濃密な時間を過ごすこととなります。自分の適性や限界を深く考えるのもこの時期でしょう。一方で、体力も知力も人格も、この時期に驚くほど成長することができます。その恩恵にあずかることができるのは、正しい努力を継続した人になりますが、正しい努力の身中は人によって異なります。京都産業大学は、皆さんのさまざまな努力に応えることができる大学であると思いますので、ぜひ、一緒に未来の扉を開きましょう。

検出や動被写体の追跡などのコンピュータビジョン技術を含みます。第三に、レンズや撮像素子といった撮像系の工夫と高度な画像処理を融合することで、撮影後に被写界深度（いわゆるピント）をコントロールすることができるなどの、コンピューショナルフォトグラフィ技術を含みます。

## マルチカメラを使ったコンピューショナルフォトグラフィ

コンピューショナルフォトグラフィという言葉は耳慣れないと思います。デジカメの未来技術の一つとして、画像処理技術者の一部が使っている用語です。一つの具体例は、カメラを縦横配列状に多数配置したカメラアレイを用いるものです。その機能モデルの外観は、図1のマルチカメラヘッドをもっと大規模にしたもので、図4のようになります。通常の1台のカメラは、図4中央にある1つのピンホールカメラで表されます。1台のカメラは、3次元空間を満たしている光線の中で、1つのピンホールを通過するものをサンプリングします。サンプリングした結果が1枚の写真画像です。ピンホールカメラを図4のように縦横無数に並べると、光線空間とよばれるものが取得されます。サンプリングが十分に密であれば、取得されたデータ（非常に多数の画像）を用いて、撮像現象を計算によって模擬することが可能になります。その結果、カメラによる像の形成を、レンズ口径、焦点距離など、さまざまなパラメータによってシミュレーションすることができます。実際に設計可能なカメラパラメータだけでなく、実在しないカメラパラメータで撮影した画像を生成することができます。

カメラアレイを用いたコンピューショナルフォトグラフィは、すでにある程度の進展を見せており、図4のカメラアレイ相当の機能を、通常のカメラスケール相当の大きさに収めたものが発表されています。今後、デジタル技術の応用によって、従来あり得なかった撮影を可能にするカメラが続々と発表されていくことでしょう。

※1 Xboxなどに接続して使用する対象の動作を認識するセンサ。  
※2 実物は大きめの靴箱などに置かれている。  
※3 自動絞り。レンズの絞りを被写体の明るさに合わせて自動的に変化させる機能。

## 神経科学とコンピュータ科学が融合する未来の技術BMI

脳とコンピュータとを結び、思っただけで機械を操作するBrain-Machine Interface (BMI)。これまでの、運動に関わる脳の信号を読み取る方法が主流となっていました。

高橋晋先生が目指すのは、さらに大きく進歩させて「意図」を読み取るという、より根本的なテーマです。

いったいどうやって脳から「意図」を読み取るのでしょうか。詳しくお話しいただきました。

### より優れたBMIへ

私の研究テーマは脳とコンピュータとを結ぶBrain-Machine Interface (BMI)で、その中でも特に「意図」を読み取り、機械を操作しようというものです。従来のBMIには「腕を上を挙げよう」という運動に関わる脳の信号を読み取って機械を操作する手法が主にとられてきました。このタイプのBMIは、筋肉を機械に置き換えたようなもので、操作者の意図通りに動か

ない、俊敏な反応ができないといった限界がありました。

この限界を超えられるのは、実は意図を読み取る方法なのです。その理由は脳の情報処理の特徴にあります。脳は手足を動かそうという運動に関わる情報を発するよりも前に、何かをしたいという意図に関わる情報を発しています。また、運動がしばしば失敗するのに対して意図には失敗というものはありません。階段を昇ろうとしてつまずくことはありますが、階段を昇ろうと

いう意図が失敗することはまずありません。意図だけで機械を操作できれば、より正確で反応の早いBMIが実現されると期待されています。

### STEP 1 個々のニューロンの信号を分析する

現在、台車にラットを乗せて、ラットがどの方向に行きたいのかという意図を読み取り、その方向に台車を走らせる、というBMI実験に取り組んでいます。

脳のニューロンの活動からラットの意図を読み取るには大きく分けて2つの段階があります。最初の段階では、12本束ねた極めて細い電極を脳の中に刺し込み、ニューロンが活動する際に発生する微弱な活動電位(スパイク)を計測します。この計測した情報は、そのままでは個々のニューロンの活動を表していません。電極のまわりにある複数のニューロンは一斉に活動することがあるため、スパイクが混ざり合ってどのニューロンからの信号なのか分からないからです。

そのため「独立成分分析(ICA)」と呼ばれる分析方法が有効になります。これは、混ざり

合った信号を、混ざる前の状態へと分離するための技術で、計算によってカクテルパーティー効果※1を実現することができます。実際には、N個の観測点から得られた信号を行列Wで変換したとき、各成分ができるだけ独立になるように行列Wを求めるという計算を行っています。

ICAをニューロンの発火の解析に導入したのは私が世界で初めてです。また、分析のための回路ソフトも独自で考案しました。ICAには、観測点の数よりも混ざった信号の数が多いと正しく分離できないという制約があるため、ICAでの分析に入る前に、従来の分析方法も使い、混ざった信号に含まれるニューロンの個数を少なくする工夫も考えました。

### STEP 2 発火パターンから意図を読み取る

第二段階では、ニューロンの発火パターンから意図を推定します。

ここでは、分かりやすくするため「右に行きたい」と「左に行きたい」という2つの意図が考えられる場面を想定しましょう。計測されたニューロンの発火パターンを「サポートベクターマシン」と呼ばれる機械学習ソフトに学習させることで、「右」と「左」とに分ける境界線(決定面と言

います)を見つけ出しています。具体的には、計測されたパターンを点として描いたときに、どこを決定面にすれば決定面と点との間隔を最大にすることができるかを求めます※2。

図1は1つの点にx,yという2つの要素しかない場合の例です。実際の実験では、1つの点に10ニューロン×計測時間分の要素が含まれるため、より次元の高い図となります。

あらかじめ、ニューロンの発火パターンと「右」「左」という行動とを実験によって照らし合わせておき、決定面を見つけ出せば、以降は発火パターンだけで意図を読み取れるようになります。

### 意図は海馬に潜む

意図を読み取るために計測しているのは「海馬」と呼ばれる脳の中核部です。海馬は記憶を司ることが分かっていますが、なぜ意図を読み取るのに海馬なのかというと、動物は新しい状況に直面したとき、過去の記憶を呼び覚まして、新たな情報と照合しながら、状況判断を行っていると考えられているからです。

これまでの実験結果からも、海馬と意図が密接に関係していることを支持する証拠は出ています。たとえば、迷路をラットに走らせて「右に行き、左に行く」という課題を与えたとします。課題に成功すると報酬がもらえるのでラットはがんばって成功させようとするのですが、最初の角を右に曲がろうとしている段階で「次は左だ」と意図しているのが分かっています。反対に、間違えて「次は右だ」と意図している場合、実際の行動でも「右に行き、右に行く」と間違えることも分かっています。

現在は、角に来た時点でライトを当てて、その光の方向へ行くのが正解という課題を与えての実験にも取り組んでいます。この場合には、いったいどんな意図を持つのか楽しみです。

人間でも道順をナビゲーションされている状況と、大きなビルなどを目印にして進んでいる場合では、結果は同じ「右に行く」であっても意図

### 好き嫌いと言意の関係

好きなマンガやゲームの内容なら簡単に覚えらるのに、教科書の重要箇所はいくら読んでも覚えられない、と不思議に思ったことはありませんか? 実はこれには脳の仕組みが関係しています。海馬は記憶を司っていて、入ってきた情報を長期記憶としてずっと記憶しておくべきかどうかの選択をする役目を果たしています。情報は海馬で取捨選択された後、選ばれたものが長期記憶として大脳皮質に蓄えられ、必要に応じて引き出されます。「好き・嫌い」に関係する脳の部位は海馬の近くにあるため、好きなことは記憶されやすいのです。

いくら勉強しても覚えられないのは、努力が足りないのではなく、「好き」が足りないということだったのです。

は異なっていると考えられます。私の研究は意図によるBMIですから、意図の仕方の違いが脳にどう現れるのかはたいへん気になるようなのです。

### 最終的には意図による自動運転システムへ

現在の実験について言えば、「右」「左」だけではなく、前後左右あらゆる方向への意図を分析し、ラットが自由自在に意図だけで台車を操作できるようにしたいと考えています。また、より長いスパンでは、運転手が頭で考えただけで車などを運転できる自動運転システムへと発展させることが最終的な目標だと考えています。

意図から読み取った移動方向が、実際に進みたい移動方向と合致する精度は9割以上という実験結果もあり、実験段階としては十分な成果が出ています。しかしながら、人間への応用を考えた場合、海馬に直接電極を埋め込む現在の方法には難点も少なくありません。そこで、脳への負担が少ない頭蓋内脳波を使う方法にもチャレンジしているところです。

今まさに、かつては空想でしか存在しなかった技術が実現しつつあります。実用化されれば応用分野は想像できないくらい多岐にわたり、世界が大きく変わることでしょう。

※1 人間は、騒がしいパーティー会場でも特定の会話だけを取り出して理解することができる。このように雑音が混じった中から特定の情報だけを取り出すこと。

※2 決定面にもっとも近い点のことを「サポートベクター」と呼ぶ。

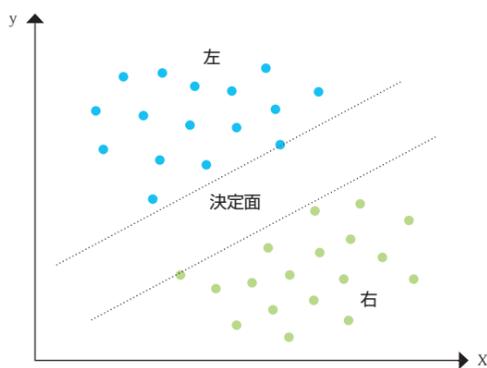
### ADVICE

高校では数学IIIをしっかり勉強してください。私の研究室では、基本となる論理的に考える力に加え、信号処理で必須の行列、機械学習で用いる微分・積分と行列、などが必要になります。

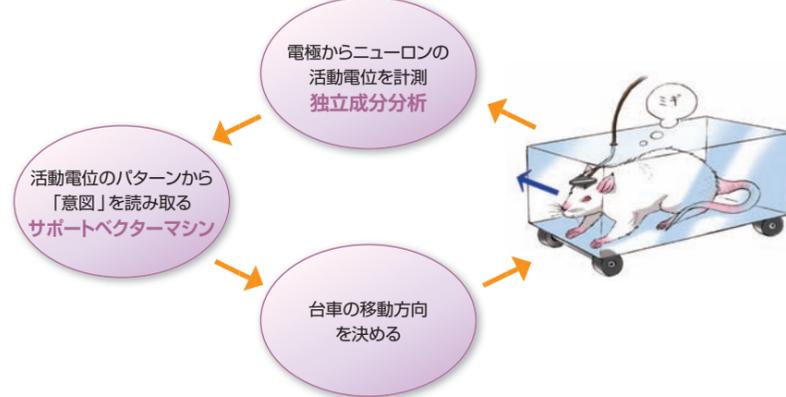
ただ、100点を取るように細部まで完璧にできる必要はありません。それよりも、行列や微積分習った内容はどんなことだったのかを覚えておいてください。大学に入ってから重要なのは、テストで点を取れる力よりも、必要になったときに学んだことを引き出せる力だからです。

# ニューロンの発火パターンから意図を読み取る

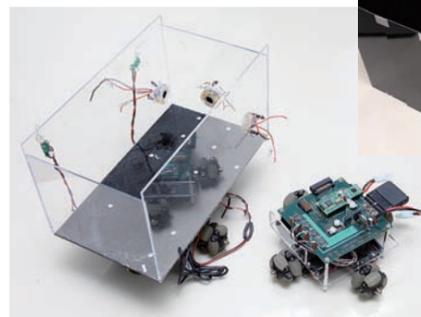
図1 サポートベクターマシンの決定面算出イメージ



ラットの意図を読み取り台車を操作する仕組み



ラットを乗せる台車  
意図した方向へ走る台車。将来的には全方向の意図を読み取るため、台車も全方向へ走行できるように作られている。



実験用の迷路  
モーションキャプチャによって画像からラットの動きを精細に解析、脳の活動との関係性をリアルタイムで比較することができる。

コンピュータ理工学部  
インテリジェントシステム学科  
**高橋 晋** 助教

### PROFILE

博士(工学)。専攻は神経科学、ブレイン・マシン・インタフェース。学部でコンピュータ科学、大学院修士で脳科学、大学院博士で心理学と学際的な経歴を持つ。バックグラウンドにはコンピュータ科学を置きながら、脳・心理の知識を取り入れた研究ができるのはこの経歴があつてこそ。実験装置の自作にもコンピュータ科学の知識が活かされている。私立慶應義塾志木高校OB。

# 古くて新しいゴルジ体

## 意外に古いゴルジ体

ゴルジ体という奇妙な名前は、発見者のイタリア人病理学者カミッロ・ゴルジ (Camillo Golgi, 1843-1926) に由来しています。今から100年以上も前、パヴィア大学でゴルジは銀を用いて神経を黒く染める研究をしていました。その研究を進める中で、細胞の中に奇妙な形の小器官があることがわかったのです。1898年の発表以後長い間、間違っただけという意見も多く、広く認められたのは1950年代、電子顕微鏡の登場を待つことになりました。以来ゴルジ体の研究は進展し、2008年には110周年記念のシンポジウムがイタリアのパヴィアで行われました。パヴィアにはゴルジという地名もあり、パヴィア大学には彼が受賞したノーベル賞の表彰状が飾られています。

## ゴルジ体の機能

ゴルジ体は細胞の中からタンパク質を加工して外に出す、配送センターのような役割をしています。糖尿病の話題で出てくるインスリンは、分泌されるタンパク質の身近な例です。細胞内の小胞体に付属するリボソームで作られた分泌タンパク質は、ゴルジ体で加工され、その後いくつかの過程を経て、最終的に品質管理された状態で細胞外に分泌されます。

ゴルジ体はいくつかの囊(のう)が積み重なった形(層板といいます)をしていて、分泌タンパク質の入口と出口があります。入口側はシス囊、出口側はトランス囊と呼ばれています(図1)。しかし、シス囊に入ったタンパク質が中間囊を通りトランス囊から出て行くまで、どのような経路を辿るのかは様々な説があります(図2)。

90年代の終わりまでは、分泌タンパク質を包む小胞がシャトルのような役割をして、各囊を行ったり来たりするという説が主流でした(A)。他にも、見えていないだけで囊と囊はチューブで繋がっていて、実は分泌タンパク質がそのチューブの中を行き来しているという説もあります(B)。

### バラバラのゴルジ体?

哺乳類などの多細胞生物の細胞にあるゴルジ体の多くは、囊が積み重なってまとまり、皆さんがよくご存知の奇妙な形をしています。しかし、ゴルジ体は必ずしも一塊になっているわけではありません。同じ多細胞生物でも、例えばハエなどはバラバラになっています。酵母などもそうです。一般にゴルジ体は、高等生物になればなるほど発達してはっきりした形を持っています。一説にはそのほうが効率がいいからだと言われていますが、実際のところはまだ良くわかりません。

## タンパク質の加工から細胞分裂まで かわる驚異のメカニズム

ゴルジ体という名前は、生物を習った人なら必ず一度は聞いたことがあるでしょう。とりわけ不思議なその形は、印象に残っている人も多いと思います。しかしながら、その実態はほとんどの人が説明できないのではないのでしょうか。近年の様々な研究によって、ゴルジ体が担う重要な役割が次第にわかりつつあります。ゴルジ体に関連する最新の仮説、更には今後の展望について、この分野の第一人者である中村暢宏先生にお話をいただきました。

今主流なのは、ゴルジ体はエスカレーターのように流れているという説です。分泌タンパク質が小胞に包まれてゴルジ体に運ばれてくると、まずそれらがいくつか集まって合体し、一つのゴルジ体の囊を形成します。次にあとからやってきた小胞が集まって隣に別の囊を形成します。これが繰り返されて、ゴルジ体の層板ができていきます。最初にできた囊は、しばらくすると、小胞に分解されて、細胞膜などの目的地に向かって散っていきます。つまり、ゴルジ体の囊は、絶えず片方の側(シス)で形成され、もう一方の側(トランス)で分解されていて、分泌タンパク質はエスカレーターのように移動する囊に乗ってゴルジ体のシスからトランスへ移動するという説です(C)。

一方、分泌タンパク質を加工する酵素は、ゴルジ体のシス側からトランス側に向けて働く順番に整然と並んでいて、囊の中身のタンパク質はシス囊の中ではじめの酵素により加工されて、次の囊に渡るとまた次の酵素によって加工される、というようにそれぞれの囊にある酵素で順番に加工されていくことがわかっています。もし、酵素が分泌タンパク質と一緒に動いているとすると、分泌タンパク質が囊から囊へ移る際に、酵素も一緒に流れていって酵素が順番に働けません。そこで、酵素は次の囊に移ると輸送小胞に包まれて前の囊に戻っていくと考えられています。ゴルジ体の囊は分泌タンパク質を乗せて下へ動き続け、酵素は下向きのエスカレーターを上り続けている人のように動き続けることで、あたかも囊と酵素が一箇所に停止しているように見えるのです。止まっているようで良く見るとゆっくり動いているというのは、たとえば高速道路における車の渋滞に似ています。ゴルジ体に入出入りする小胞の量が変わると層板が増えたり減ったりすることも、渋滞が車の出入りする量によって伸びたり縮んだりするところと似ています。

### 細胞分裂を促進する鍵

多細胞生物のゴルジ体は、普段はまとまった形をしています。細胞分裂のときには一旦バラ

バラに壊れ、分裂し終わるとまた集まるという不思議な特性を持っています。これは従来、ゴルジ体をうまく二つの細胞に分配するためのたとえられてきました。しかし、私の考えはこれとは全く異なるものです。ここ10年間で、細胞分裂時にゴルジ体を人為的に壊れないようにするとどうなるのかという研究が行われてきました。その結果、驚くべきことにゴルジ体が壊れないと細胞分裂が行われないことがわかりました。そこで私は、ゴルジ体が壊れることが細胞の分裂・増殖を促進しているの

総合生命科学部  
生命システム学科

中村 暢宏 教授

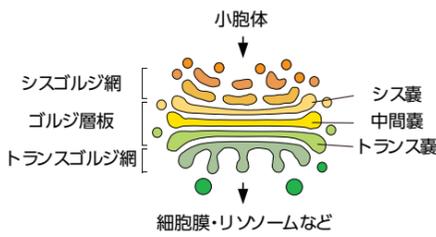
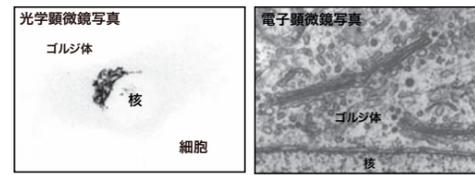
### PROFILE

医学博士。元々、暗記が必要な生物は嫌い、むしろ仕組みや構造を扱う物理や化学が好きだった。分子生物学が一般世間に広まり始めた高校時代に生物に興味を持ったが、実家が書店だったため薬学部へ入学。卒業研究でウイルスを扱う中、薬学分野でも分子生物学を扱えと知って転向。大学院で分子生物学・細胞生物学の研究を進める中、次第にゴルジ体に魅せられ、ロンドンへ留学。帰国後も、細胞の中から個体レベルまでの広いスケールを視野に入れて研究を行う。私立洛南高校OB。

### ADVICE

特別に生物を詳しく勉強する必要はありません。もちろん生物をよく知っているに越したことはありませんが、教科書レベルのことさえ知っていれば、知識は後から詰め込めるので大丈夫です。むしろ大事なのはサイエンスの考え方の基礎です。多くの大学では物理が必修になっていますが、それは物理の考え方や論理がなかなか身につかないからです。同様に化学はとても大事です。生物では、最終的に分子レベルの話をするときは化学の知識が必要になるので、研究で最先端を目指すなら必須でしょう。サイエンスの中で得意なものがあれば、何を勉強してきても構いません。色々な問題意識を持って、広く勉強してください。

図1



はないかと考えました。

そもそもゴルジ体は細胞分裂時にどうやってバラバラに壊れるのか、その仕組みの仮説をお話しておきましょう。

ゴルジ体の囊の表面にはGM130と呼ばれるタンパク質があり、小胞同士、あるいは小胞とゴルジ体囊を結びつけて合体(融合)させ、ゴルジ体の囊を形成・成長させると考えられています。しかし、このGM130がキナーゼ(※リン酸化酵素)によってリン酸化されると、小胞は結合できなくなります(図3上)。すると、新しい囊はできないにも関わらず、トランス側の囊は個々の小胞に分

図2

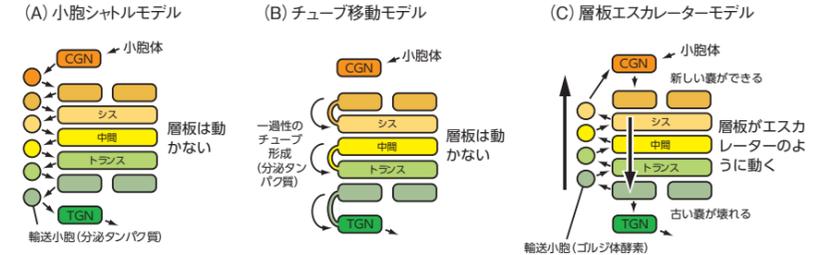
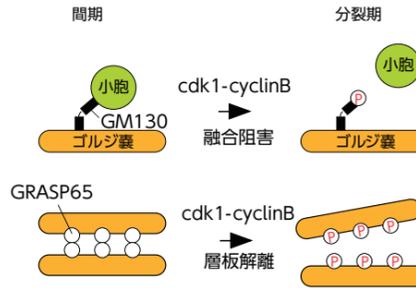


図3



かれて散っていくので、やがては全てのゴルジ体がバラバラになってしまうのです。車が渋滞しているところに新しい車が入ってこないようにすると渋滞が解消されるのと似ています。

更に、ゴルジ体を形成する囊と囊の間には、GM130に隣り合ってGRASP65と呼ばれるタンパク質が存在します。これは、囊と囊をつなぎとめる役目をしていると考えられています。このGRASP65も同時にリン酸化されることで各囊が分かれ、ゴルジ体の分解は促進します(図3下)。

細胞分裂の際には、まずGRASP65とGM130がわずかにリン酸化されます。この時点ではゴルジ体の構造がゆるぐ程度で、これだけではバラバラになりません。しかし、このゆるぎによって、通常時は囊の間に隠れているGRASP65がゴルジ体の外に露出することになります。このGRASP65はCdk1-cyclinB(サイクリン依存性リン酸化酵素)と呼ばれる細胞分裂を促進するキナーゼを活性化します。Cdk1-cyclinBはGRASP65、GM130をリン酸化するので、これによってゴルジ体は一層バラバラになりGRASP65がさらに露出し、Cdk1-cyclinBがさらに活性化して細胞分裂が促進される……というポジティブ・フィードバック構造が生じます。この結果、ゴ

ルジ体は完全にバラバラになり、同時に細胞分裂が行われるのです。この仮説が正しいとすれば、ゴルジ体の分裂は細胞分裂の結果ではなく、実は要因だったという大きな視点の転換が起きるでしょう。

## ゴルジ体研究の未来

ゴルジ体の機能の中でも特によくわかっているのは糖鎖の加工です。関係する酵素も、加工すべき順番通りに整然と並んでいることがわかっています。しかし、何故そんな綺麗に並べることができるのかは、分子的にまだ理解されていません。この順番が狂ってしまうと、当然タンパク質の加工はうまくいきません。糖鎖と病気の関連はまだよくわかっていませんが、例えばある糖鎖がガン細胞において特徴的に多い、あるいは少ないというデータも存在します。酵素自体が異常を起こしているかもしれませんし、あるいは酵素の並ぶ順番がおかしいのかもしれません。根源となるメカニズムがわかれば、ガンなどの病気の治療に役立つはずです。

また、免疫に関わるタンパク質や、細胞に感染したウイルスのタンパク質の多くがゴルジ体を通ります。ゴルジ体の持つ酵素を使うことで、機能を発現したり増殖したりするのです。従って、アレルギーの治療やウイルス感染の防御に関わる免疫分野でも、ゴルジ体研究は重要な鍵になります。

ゴルジ体は物質生成にも役立ちます。例えば、動物のタンパク質を植物でつくる技術も考えられます。動物と植物のタンパク質で、最も大きな違いは付いている糖鎖の種類ですから、ゴルジ体内部での糖鎖の加工の研究が必須です。うまくいけば、酵素を適当な順番に並べたゴルジ体を通すことで、様々な物質を合成することができるようになるかもしれません。

発見から100年以上経ちますが、ゴルジ体はこれからも、新しい可能性を開いてくれるのです。

### 顕微鏡の限界

私たちの研究では、ゼブラフィッシュの遺伝子をゴルジ体が発光するように改良して、卵の細胞分裂を観察しています。光学顕微鏡を使えば、細胞分裂のたびにゴルジ体がバラバラになって再びまとまっていく様子を実際に見ることができます。しかし、光学顕微鏡の倍率では、ゴルジ体から出たり入ったりする小胞や層板構造を観察することができません。そこでより高倍率の電子顕微鏡を使う必要があります。ところが電子顕微鏡で見ると、一旦細胞を殺してスライスしなければならぬので、時間的な動きを見ることはできなくなります。現在、この問題を解決するための技術開発が進められています。

## 知らないことだらけの光合成— その謎を明らかにしてゆく

植物が糖をつくる働きである「光合成」については、教科書で学習することもあって、中学生でもその内容を理解しているように思われます。しかし、例えば植物が、光が強い時や弱い時、寒い時や暑い時など、さまざまな環境のもとで、いかにして最適な状態で光合成をおこなっているのか、など実際にはわかっていないことが多いのです。というのも、光合成の仕組みには、さまざまな制御がかかっている、進化の過程において、それらの中から最適なものが選択され、非常に複雑で精密な仕組みができ上がっていったと考えられているからです。そんな謎の多い光合成の仕組みを、一つひとつ明らかにしていきたい、とおっしゃる本橋健先生に、お話を伺いました。

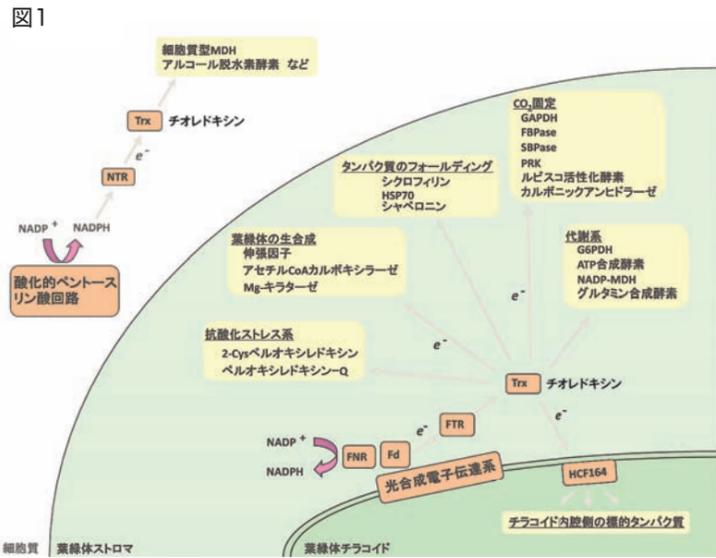
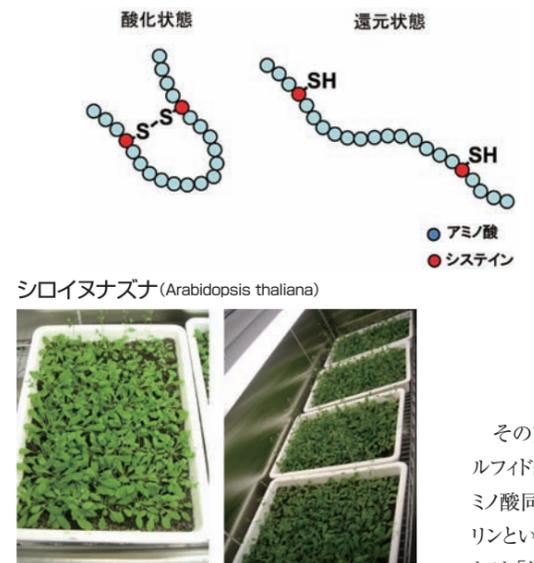


図2 タンパク質中のシステイン残基とジスルフィド結合



### 標的タンパク質の解析法

チオレドキシンの標的タンパク質を調べるために、次のような方法を用いています。遠目でみると粉末にしか見えなような非常に小さなビーズに、チオレドキシンの（反応に必要な箇所を潰しておいたもの）をくっつけて、水を入れた容器の中に沈めます。この中に、植物から抽出したタンパク質を含む溶液を入れ、その後ビーズを取り出して、実際にチオレドキシんとくっついたタンパク質は何か、ということ进行分析します。テクノロジーの進歩によって、非常に少量で、しかも速く分析できるので、以前では考えられなかった方法です。



その方法というのは、チオレドキシンのジスルフィド結合部分、この場合はシステインというアミノ酸同士で結合していますが、この片方を、セリンというアミノ酸に変える（この操作をわれわれは「潰す」と呼んでいます）のです。こうするといちどチオレドキシンの結合した標的タンパク質はチオレドキシンの結合から離れることができず、チオレドキシンの標的タンパク質を繋ぎ止めておくことができます。

実はこの方法が可能になった10年ほど前に、われわれ研究者にとって幸運なことが2つありました。1つは、2002年にノーベル化学賞を受賞された田中耕一さんが開発した質量分析装置です。これは非常に少量でもタンパク質を同定できるのですが、われわれが開発した技術で抽出できるタンパク質は非常に微量で、20年前には難しかったことが、この田中さんによって開発された分析装置により、少量でも解析が可能になったのです。

もう1つは、2000年に、植物で初めて、シロイヌナズナ（写真）のゲノム解析が成功したことです。これにより、さまざまな実験・観察が容易になりました。シロイヌナズナはその辺にたくさん生えていますから、今も私は多くの実験・観察に用いています。このように、新しい発見は、

多くの先達や他の研究者による発見の積み重ね、そしてテクノロジーの進歩があってこそ、もたらされるものなのです。

### 応用のために まずは基礎研究を

現在、光合成に関しては、農学や環境学など、いわゆる応用の分野からも大きな注目を浴びています。例えば、光合成をもっと促進する方法を考え、大きな農作物を育てたり、あるいは空気中の二酸化炭素を除去する、といったテーマが挙げられます。先にお話したように、光合成にはさまざまな制御がかかっている、ある所で光合成を促進するような刺激を与えても、他の部分で制御がかかって、結果的には望んでいた反応が進まない、という可能性があって、このような応用技術の実現は、そんなに簡単にはいかないように思います。

光合成には未解明の部分が非常にたくさんあるので、まずは基礎研究を積み、その未解明の部分の一つひとつ明らかにしていくことがまずは重要だ、というのが私の立場です。中でも、現在私がもっとも関心を持っているのは、どうして1つのタンパク質が、いろいろな所に電子を渡すことができるのか、同じタンパク質といっても、一つひとつ全く構造が違うのに、なぜそのようなことが可能なのか、ということです。このような地道な研究を積み重ねた先に初めて、応用という形で光合成が新たな脚光を浴びるのではないのでしょうか。

### ADVICE

自分がこの分野に進むきっかけになったのは、大学3年の時に聴いた、分子生物学の講義でした。つまり純粋な興味から、それまでの化学の分野から生物の分野へ転向した訳です。これから私のように研究の分野へ進みたいと考えている方は、1つでもよいので、自分が「これは面白い」というものを見つけてほしいな、と思います。そのためには、まずはたくさんの方に興味を持たないといけませんから、幅広い分野に知的好奇心を発揮してください。

その中から、自分が本当にやりたいことを1つ選び、それを楽しんで学んでほしいですね。そのことによって、自分の未来が開けてくるのではないかと思います。

# 光合成を制御するタンパク質の働きを発見

## 光合成の原動力は 電子の流れ

植物が光の力によって、空気中から取り入れた二酸化炭素から糖をつくり出し、酸素を空気中に放出する。光合成とはそのようなもの、とみなさんも学んだことだと思います。もちろん間違いではありませんが、これは、光合成というものを、非常に大雑把に捉えた見方でしかありません。

そもそも光合成はなぜ起こるのでしょうか。植物が光を浴びると、葉緑体内のチラコイド膜というところで電子が発生します。この電子がその後複雑な動きをし、ATP（エネルギー源）とNADPH（相手を還元させる力を持つ）をつくり出し、ここで作られた2つの物質を使い、カルビン回路の働きによって二酸化炭素が固定され、糖がつくれるのです。光合成反応の前半部分であるATPとNADPHを作りだすところは、光が直接働きかける反応なので昔から「明反応」として知られています。これに対して、ATPとNADPHを使って二酸化炭素を固定するカルビン回路（後半部分）には、一見すると、光は無縁のように感じます（そのため、古くは「暗反応」と呼ばれていた）。しかし、植物の体は巧妙にできていて、光が当たる昼に、カルビン回路も共に活性化される仕組みが備わっているのです。このカルビン回路の調節に大切な役割を果たすのが、チオレドキシンのようなタンパク質です。（図1）

チオレドキシンのように、相手のタンパク質（標的タンパク質）に電子を渡し還元する働きがあります。相手を還元すれば自分が酸化され、酸

化されたチオレドキシンはまた電子を受け取り、ということを繰り返します。

では、なぜチオレドキシンのようなタンパク質を還元することで、カルビン回路のように光と直接関係ないところでも光の明暗で動きの調節を行うことができるのでしょうか。実は、チオレドキシンのように、光合成の明反応から出てくる電子の流れの一部をもらってカルビン回路で働くタンパク質の還元をしているのです。つまり、光が当たるとカルビン回路で働くタンパク質は還元されるのです。

## レドックス制御により 効率よく光合成をおこなう

光合成の明反応をスタートにして、チオレドキシンのようなタンパク質は電子のやり取りをすることで酸化・還元を繰り返しますが、還元されたタンパク質は活性が高くなり、一方酸化されたタンパク質は活性が低くなるという性質があります。

みなさんもご存知のように、タンパク質は、ひも状の構造が複雑に折りたたまれて構造形成されていますが、その中にアミノ酸同士が結合している部分（ジスルフィド結合）があり、そこに電子が入ってくると、結合が切れ活性が高くなるのです。反対に電子をとってやると、元の結合状態に戻り、活性が低くなります。（図2）

活性が高くなれば光合成の後半部分（カルビン回路）が促進され、低くなれば活動が抑制される、つまり植物は光の多い昼と、少ない夜とで活動を自動的に調節していることになります。このことを「レドックス制御」と呼びます。レドックス (redox) とは、reduce（還元）とoxidation

（酸化）の合成語で、つまり酸化と還元により制御するシステムということなのです。

これは、光合成の前半部分の反応である、いわゆる「明反応」が昼に進むのと協調して後半部分の反応も進めることができるので、植物が光合成をするのに非常に都合の良い調節メカニズムなのです。

## 標的タンパク質を同定する 新しい技術を開発

チオレドキシンのようなタンパク質に電子を受け渡すことについては、かなり前から分かっていましたが、最終的な標的タンパク質がどれくらいあるのか、という点は分かっていないことが多かったのです。というのもチオレドキシンのように、

総合生命科学部  
生命資源環境学科

本橋 健 准教授

### PROFILE

博士（理学）。学部時代には工学部で化学を学んでいたが、大学3年生の時に受講した分子生物学の講義に大いに興味を持ち、大学院進学の際に、生物学の道へ。中学で吹奏楽部へ入り、大学でもオーケストラでホルンをやっていたほど音楽に熱中。現在、音楽は聴くだけになってしまったが、「いい音楽に出会った時の興奮と、新たな発見をした時の興奮は、通じる部分がある」と語る。埼玉県立浦和高校OB。



# ウイルスという微視的なものを見つめる巨視的な目

## 目に見えない微細なものが現実的な脅威になっている

日本では、ウイルスの怖さを実感する場面はそれほど多くはありません。しかし、旅行者を中心に、毎年数百人のデング熱患者が発生するなど、それは決して他人事ではなく、また、記憶に新しい鳥インフルエンザの問題など、感染症の発生は、私たちの生活に大きな影響を与えます。獣医という立場から、ウイルス研究やワクチン開発などに携わっている前田秋彦先生にお話を伺いました。

### 日本にはいないウイルスを研究する理由

私は研究者であると同時に獣医でもあるので、その立場から、特に人獣共通感染症、つまりヒトにも動物にも感染するウイルスについて、おもに研究しています。

本来ウイルスは、人なら人、鳥なら鳥と、同じ種の間にしか感染しないのですが、何かのタイミングで突然に変異し、他の種にも感染するようになり、大きな被害をもたらします。しかしこれらの感染の仕組みについては、正直まだ分かっていないことが非常に多いのです。

また感染症には、もともと「風土病」という側面があり、ある特定の地方でのみ発生する感染症だったものが、交通機関の発達によって、人の行き来が活発になり、遠く離れた場所に何らかのルートで運ばれ、新たな地で爆発的に流行する、ということが現実には起こっています。私の研究対象にも、もともと日本にはいないウイルスがたくさんあります。

例えば、もともとアフリカの風土病で、その後アメリカで流行したウエストナイルウイルスや、目や口、腸などの粘膜から出血させ、少ない量でも人を死に至らしめるエボラウイルス、それから日本でも毎年数百人の患者を出すデングウイルスも、本来日本にいる訳ではなく、その多くは東

南アジアへの旅行者によってもたらされるものです（もちろん、日本脳炎ウイルスなど、日本に存在するものについても研究しています）。

なぜ日本にいないウイルスの研究をしているかというと、先述のように人の移動がワールドワイドになると、それまで考えられなかったような感染症が日本で発生する可能性があること、もう1つは地球温暖化の影響によって、今まで日本には存在しなかったウイルスが、少しずつ存在範囲を広めてきているということです。

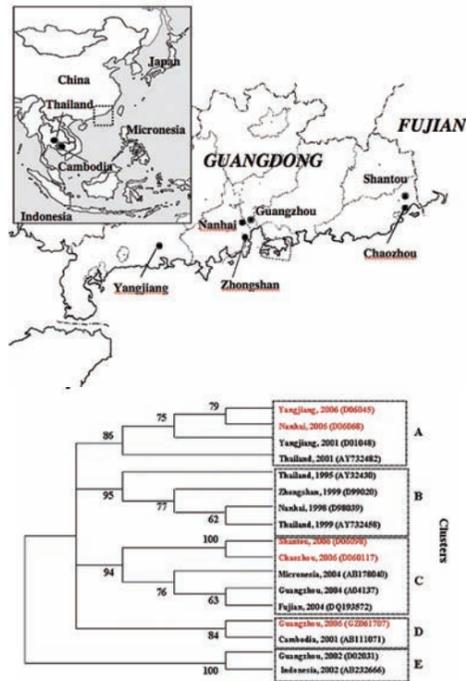
例えば蚊が媒介するウイルスであるデングウイルスは、その多くが東南アジアに存在しているのですが、温暖化により蚊の生息範囲がどんどん北上し、その結果日本で大流行する危険性をはらんでいます。

また日本脳炎ウイルスについても、これを媒介する蚊は、これまで本州以南にしか生息していませんでしたが、温暖化の影響により北海道にもその範囲を広げる（あるいは既に広げている）可能性があり、そうすると北海道の人たちは日本脳炎に対する免疫を持っていないため、大きな被害を及ぼす可能性があります。

### 治療よりも予防を—ウイルス研究の難しさ

ウイルスというのは非常に厄介な存在で、例えばウイルスに感染しても発病する人としてい

図 デングウイルスの系統解析  
2006年、広東省で分離されたデングウイルスの系統解析。赤字が2006年に分離されたもの。

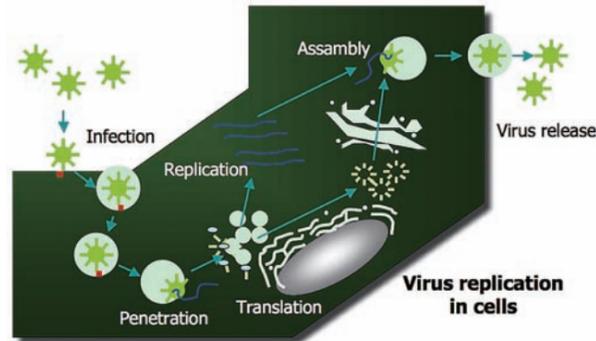


総合生命科学部  
動物生命医科学科  
**前田 秋彦 教授**

#### PROFILE

博士（獣医学）。専門はウイルス学、環境衛生学。「親元から自立するために北海道へ行きたい」という思いから北海道大学への進学を決意し、その結果全く考えていなかった獣医の道へ進むことに。所属した研究室で実験動物に関わるうち、感染症や生理機能、薬の開発などに興味を持ち、ウイルス研究へとつながる。北海道→アメリカ→東京→北海道と移りながら研究を重ね、運命のいたずらか、再び地元・関西へ。兵庫県立生野高校OB。

図 ウイルスの細胞内での増殖



人がいる場合があります。これには遺伝的な問題が絡んでいる、という説があります。また種類によっては、潜伏期間が非常に長く、感染してから発病するまでに数年かかることもあり、そうなる感染ルートを特定するのは非常に難しくなります。

それから、例えばウイルスによって熱が発生した場合、それは高熱によってウイルスを退治しようという体の反応の表れなので、そういう人に熱を下げるような治療を施すのは逆効果になります。また、ウイルスによって下痢が発症した場合、それは下痢をすることで、悪いものを体外に出そうとしていることが考えられるため、この場

合も無理に下痢を止めようとするのは逆効果になります。このようにウイルス感染症の治療は非常に難しいのです。

ウイルス治療に関しては、さまざまな薬が開発されていますが、薬の開発はどうしても後追いですから、1つの薬が開発されると、ウイルスが変化し、薬に耐性を持つウイルスが誕生するなど、根本的な解決にはなりません。

そこで大切なのが「予防」という観点です。予防に関して一番よいのは、もちろんウイルスに感染しない丈夫な体をつくることですが、これはあくまで理想論で、個人差もありますから非現実的です。そのために、ワクチンを接種し、免疫をつくっておく、ということが重要になります。

ワクチン開発で、どうしても問題になるのが「副作用」です。ワクチンの中には現実に副作用をともなうものがあり、中には死者が出てしまったケースもあります。しかし、危険性ばかり取り上げて、ワクチン開発が遅れば、さらに大きな被害が出る可能性があります。多くの人の命を救う、という観点から、われわれ研究者にとって、副作用のない、安全なワクチンの開発は大きな課題です。そのために基礎研究が非常に重要であり、ウイルスがどこにいるのか、感染ルートは……といった地道な研究を日々積み重ねなければなりません。

### 天然痘は絶滅していなかった

絶滅したウイルスとして語られることの多い天然痘ウイルス。WHOは1980年に根絶宣言を出しましたが、実は天然痘ウイルスは絶滅していませんでした。というのも、アメリカとロシア（当時ソビエト連邦）が軍事的な研究のために保持していたからで、特にソビエトが解体した際、世界中のさまざまな国に持ち出されたと言われています。

天然痘は、1980年以前に生まれた人はワクチン接種をしているので、感染の心配はありませんが、1980年以降に生まれた人は接種をしていないので、万一日本に天然痘ウイルスが入ってきた場合には、大きな被害が出る恐れがあります。そこで厚生労働省では、ワクチンの備蓄を検討しており、私もその研究・開発に関わっています。

### ウイルスの起源と人間の進化

私が現在一番関心を持っているのは、一言で「ウイルス」と分類していながら、なぜこれほど多くの種類のウイルスが存在しているのか、という点です。実はウイルスの中には、病気を引き起こさないものもあるなど、その種類は多く、またその性質は多様です。

例えば、レトロウイルスという、人間の細胞の遺伝子とよく似た遺伝子を持つウイルスがありますが、人間の細胞内にはそのレトロウイルスが入り込んでいるのです。レトロウイルスは、それが外から入ってきたものなのか、それとも、もともとわれわれ人間の体内にあったものが、外に飛び出してウイルス化したのか、その起源は定かではないのですが、現実には人間の体内にレトロウイルスは存在していて、人の進化を早めたり、あるいは場合によってはその進化を抑制するなど、コントロールをする働きをしているのではないかと考えられています。

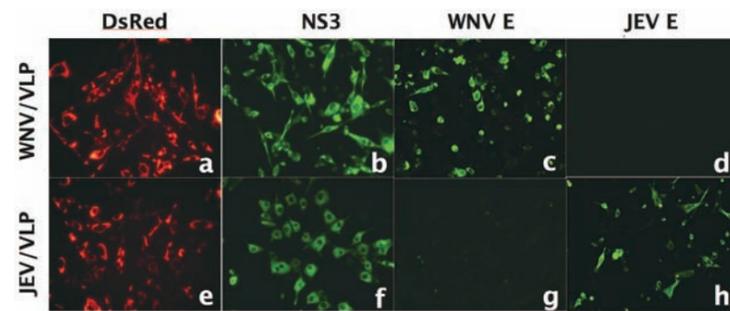
ウイルスの起源は、謎の多いウイルスの中で最も謎の部分ですが、植物、動物、人間、これらの進化の過程で、何らかの情報の受け渡しがおこなわれ、そのシステムからウイルスが発生したのではないかと考えられています。

このようにウイルスの中には人間にとってプラスになる存在もあると考えられます。未知の部分の多いウイルスではありますが、現代を生きる私たちは、ただやみくもにウイルスを恐れるだけでなく、上手に付き合っていくことも必要なのではないか、と思います。

#### ADVICE

私は過去、研究のためアメリカに渡りましたが、そこでは、日本で勉強した英語はほとんど役に立たず、苦い経験をした記憶があります。しかし、だからといって、積極的にコミュニケーションをとらなければ、何のために留学したのかわかりません。苦勞はしましたが、失敗を恐れず、前に進んだことが、今にとっても生きていてと思っています。ですから、みなさんも、失敗を恐れずに、何事にも積極的に取り組む姿勢を忘れないようにしてほしいですね。

将来、私の研究室に入ってくれる学生さんに対しては、個人的にはそのまま研究の道に進んでほしいな、という希望を持っていますが、本学科を卒業すれば、社団法人日本実験動物協会の認定する「実験動物技術者」の試験を受けることができ、この資格を取得すれば、さまざまな方面で役に立つと思います。また卒業後の進路としては、食品メーカーや製薬メーカーに就職するという道もあるでしょう。



ウエストナイルウイルス(WNV)と日本脳炎ウイルス(JEV)のウイルス様粒子の培養細胞への感染実験

# 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。

ユビキタス  
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

修士課程



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

■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