

# JST NEWS

Topics

01



## 水がプラスチックになる!?

高強度で自己修復性のあるハイドロゲルの開発に成功

Topics

02



## 数学で自然現象を理解する

粘菌の輸送ネットワークから都市構造の設計理論を構築

Close up

なぜ、いま  
産学連携  
なのか?

戦略的  
イノベーション  
創出推進事業  
「S-イノベ」の  
狙い

Vol.6  
2010

No.12  
March

3  
月号



独立行政法人  
科学技術振興機構  
Japan Science and Technology Agency

## 03 科学技術振興機構の最近のニュースから…… JST Front Line

### Close up

## 06 戦略的イノベーション創出推進事業「S-イノベ」の狙い なぜ、いま産学連携なのか？

JSTの新しい産学連携事業「S-イノベ」がスタートした。産学連携の重要性が広く認められ、すでにさまざまな事業が行われているいま、なぜ新たな取り組みが必要なのか。産と学の現場の声も交えてお伝えする。

### Topics 01

## 10 高強度で自己修復性のあるハイドロゲルの開発に成功 水がプラスチックになる!?

### Topics 02

## 12 粘菌の輸送ネットワークから都市構造の設計理論を構築 数学で自然現象を理解する

## 14 ようこそ、私の研究室へ 百生 敦 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 准教授

## 16 理科の先生がオススメする 私のイチ押しデジタル教材 身近な科学

## 理 | 事 | 長 | 茶 | 話

—— 今月は「S-イノベ」を取り上げていますが、大学などの研究機関と企業との関係について、聞かせてください。

「日本の大学は10年程前、「研究レベルが低く、閉鎖的で産業界にも協力的でない」とする批判を浴びていました。この数年間、法人化などの努力の跡がやっと見えてきました。産学共同研究の件数1万5千件、大学発ベンチャー1700社、大学による特許出願年間1万件など、いずれも当初の数値目標を達成、「大学はがんばりはじめた」といえる状況になってきました。また、基礎研究においても、この4年間のうちの3年分は日本の若手研究者の論文が世界の総合トップ賞を取る、あるいは、世界の科学の重大ニュースの総合第1位に輝くなど、いわゆる「研究の新大陸」を創り出して世界の研究者をフィーバーに巻き込むような科学界のスーパースターが何人も出現しました。日本がかつて経験したことのない誇らしい状況といつかまわらないといえます」

—— その結果を、企業側は生かしているのでしょうか？

「日本の大学がさかんに知財を出すようになったにもかかわらず、いまの産業界はそれを生かしていません。むしろ、海外企業の方が熱心に日本の大学知財への接近を図り始めています。このままでは10年後の日本の基盤技術が思いやられる状況です。大学の特許を生かすには、それらを共通の場に集め、分類し、束ねて使いやすい形にする。必要とあらばさらに補強研究を行う。JSTはこのための検討の場や必要なファンドの設定を推進したいと思います。企業が新技術に熱心になるためには、国内に新たな製造拠点をつくる必要があります。このためには国による内需拡大という政策が必要です」

先端の「科学」と「技術」を体験し理解できる場所—日本科学未来館。

vol.12 バイオ上級遺伝子コース



対話と実験を通じて先端科学技術への理解を深める「日本科学未来館 実験工房」。子どもから大人まで、全員が考え・理解できる参加型のプログラムを紹介。



### 本日のプログラム

性が決まる仕組み  
遺伝子とは？



実験

1 サンプル調製

2 PCR

3 ゲル電気泳動



これからの研究

## 「オスになる遺伝子をメダカから探す」

生き物の性(男と女)はどのようにして決まるのだろうか。1990年に、ヒトの性決定遺伝子「SRY」が初めて発見された。それに続き、2002年には自然科学研究機構基礎生物学研究所の長濱嘉孝教授の研究チームが、ほ乳類以外で初めて、メダカの性決定遺伝子「DMY」を発見した。SRYやDMY遺伝子があると、男(オス)になるが、今回の実験工房「バイオ上級遺伝子コース」は、メダカのDNAに、性別を決めるDMY遺伝子があるかどうかを実際に確認するプログラムだ。また、この実験を通じて、生物に「性」が生まれた不思議についても考える。

実験は2人1組になり、まずメダカのオスとメスをヒレの形で見分けることから始まった。その尾ヒレの一部からDNAを取り出し、遺伝子を増幅するPCR装置を使ってDMYを増やす。その後、寒天ゲルの中でサンプルを電気泳動により分離させ、

DNA断片の長さを確認する。結果的に、目で見分けた性別と同じ結果を遺伝子でも確かめることができた。

SRYとDMYは、両方とも性別をオスにするというはたらきは同じだが、遺伝子構造は大きく異なっている。ヒトとメダカでは、まったく別のシステムに



より、性が決まっているのかもしれない。他には、まわりの環境が影響して性が決まる生き物もある。今後、さまざまな生物の性決定機構が新たに発見されてゆくことによって、奥深い生命のナゾが、またひとつひもとかれていくことだろう。



# JST Front Line



日本発の新型酸化物半導体に関する国際ワークショップ、最大規模の日中大学フェア&フォーラムの開催報告  
 がんだけ光らせて検出するプロジェクトの研究加速、日本科学未来館の新企画展など、今月は7つのニュースです。

## 01

NEWS

ワークショップ

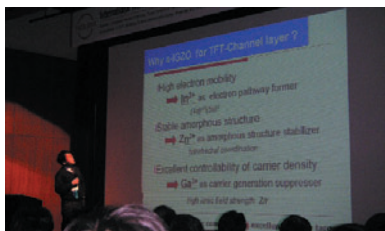


### 細野秀雄東工大教授らが開発した新しい酸化物半導体の実用化に向けて！ 透明アモルファス酸化物半導体国際ワークショップ (TAOS 2010) を開催

1月25日(月)、26日(火)の両日、東京工業大学すずかけホールにて、「透明アモルファス酸化物半導体の現状と将来を探る」をテーマに、国際ワークショップ「TAOS 2010」を開催しました(共催:東工大)。

透明アモルファス酸化物半導体 (TAOS=Transparent Amorphous Oxide Semiconductor) の概念は、1995年に、細野秀雄教授(東京工業大学)により提唱されたもので、高い電子移動度を特色とします。2004年に細野グループから、TAOSを活性層とする透明で曲げることのできる薄型トランジスタ (TFT) の可能性が発表されると、国内外の研究者・企業から関心と期待が寄せられるようになりました。

今回のワークショップの参加者は、国内外企業の技術者240名以上をはじめとし



発表する細野教授。大学で行われたワークショップにもかかわらず企業関係者が参加者の多くを占め、注目度の高さがうかがえる。

て320名以上にのぼり、入りきれない参加者は別室でモニターを見るなど、その注目度がひとさき高くなってきたことを物語ります。

TAOS-TFTは、高い移動度により画像情報を制御する能力にすぐれ、低温スパッタリングという技術により製法も簡易にでき

る見込みのあることから、次世代ディスプレイの主役のひとつになるのではないかと期待されています。

ワークショップの基調講演で、韓国・サムスン電子の前副社長・昔俊亨氏は「次世代ディスプレイの駆動源にはTAOS-TFTは最有力候補であり、早期の実用化に向けて開発を加速させる」と語りました。また、国内外から招待された企業や研究機関の講演者からも、TAOS-TFTディスプレイ応用の最新研究成果や、世界的な開発動向などが相次いで紹介され、製品化が近く、国際競争が激しくなることを予感させるものとなりました。

TAOS-TFTにはまだ解決すべき技術上の問題はありますが、私たちの暮らしのなかに実用化された製品が登場するのは、あまり遠くない日かもしれません。

## 02

NEWS

イベント



### 中国の42大学が参加! 過去最大規模の日中大学フェア&フォーラム 「変貌する日中の大学——グローバル大競争・連携時代を迎えて」を開催

1月29日(金)、30日(土)の2日間、日中大学フェア&フォーラム「変貌する日中の大学—グローバル大競争・連携時代を迎えて—」が、東京国際フォーラムで開催されました。

研究活動の国際競争の激化などにより、

日本の各大学は、優秀な学生の確保はもちろん、世界的な研究教育拠点となるべく、国境を越えた人材交流や共同研究を推進しています。一方、中国では大学教育の大衆化にともなって大学入学者数が急増し、近年、中国から日本への留学生

数も急激に伸びてきました。

このような動きを背景に、今回のフェア&フォーラムは、日本側50校、中国側42校が参加し、過去最大の規模で開催されました。現・英国ノッティンガム大学学長の楊福家氏をはじめとする基調講演があり、両国を代表する大学の関係者らが一堂に会してのパネルディスカッションでは、双方の大学が進むべき方向について活発な議論が展開されました。また、両国の各大学による展示会や交流会の場では積極的な情報交換が行われました。このフェア&フォーラムを機に、両国の大学の協力・連携のさらなる推進が期待されます。



◀ 29日(金)に開催されたパネルディスカッション(右)と、30日(土)の展示会(左)の様子。



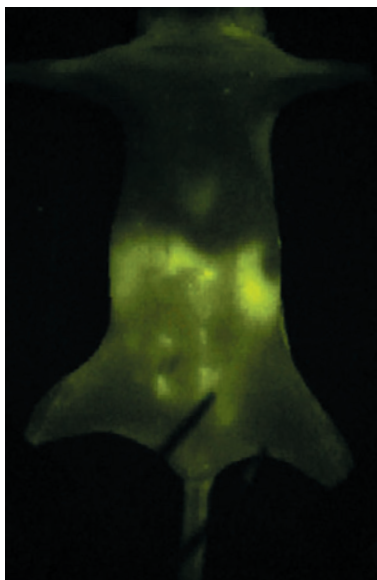
## 「光機能性プローブによるin vivo微小がん検出プロジェクト」を研究加速課題に選定、がんの早期診断に向けて研究推進

JSTは、東京大学大学院医学系研究科の浦野泰照教授らの、新たながん診断法の技術開発を研究加速課題として選定しました。「研究加速課題」とは、優れた研究成果について、JSTが緊急かつ機動的に研究推進の強化を行うものです(課題名「光機能性プローブによるin vivo微小がん検出プロジェクト」)。

近年、MRIなどを活用した全身スキャンによるがん診断が広まりつつあります。これらの手法では、数センチサイズの大きさのがんでも、判別が可能になってきました。しかし、内視鏡検査によるがんの早期診断や開腹手術時においては、mmオーダーか、それ以下の小さながんも明確に検出する必要があります。

浦野教授らはこれまでに、がん細胞が持つ特徴的な受容体に結合し、取り込まれると初めて光を発する有機プローブの開発に成功してきました。さらに、最近で

体外からの蛍光イメージング像



は、がん細胞が持つ特徴的な酵素に着目し、これらの酵素活性を認識して光る新しい蛍光プローブの開発にも成功。内視鏡下でプローブを患部に向けて噴霧することで、数分以内にがん部位を高感度に検出することを可能にしました。これによって、外科手術時や内視鏡検査時に、簡単・迅速、かつ高精度で微小がんを見つけ、処置することが可能になると期待されます。

今後は、安全性の確認やプローブ機能の向上、新たなプローブの研究開発を進めます。また、病院との連携により、ヒトのがん組織を用いて検出できるがんの種類や進行度を明確にします。さらに、実際の医療現場での使用を見すえて、内視鏡の機器開発も手がける予定です。

ヒトのがん細胞を移植したマウス。体外から見ると、皮膚の自家蛍光も見られるが、内視鏡下で見るとがん患部だけを明確に判別できる。



戦略的創造研究推進事業CREST「精神・神経疾患の分子病態理解に基づく診断・治療に向けた新技術の創出」研究領域  
研究課題「マウスを活用した精神疾患の中間表現型の解明」

## 世界で初めて、大脳新皮質の神経前駆細胞の存在を明らかに! てんかんや認知機能低下を防ぐ新しい治療法への応用に期待

これまでの研究で、大人の脳でも記憶にかかわる海馬や、においを感じ伝える嗅球では、新しい神経細胞がさかんに作られることがわかっていました。一方、思考や意識、運動などの高次機能を担う大脳新皮質については、神経新生が生じるかどうかは謎のままであり、100年以上にもわたって議論がされていました。

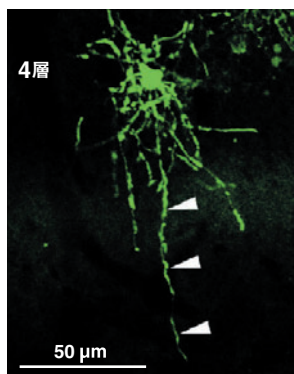
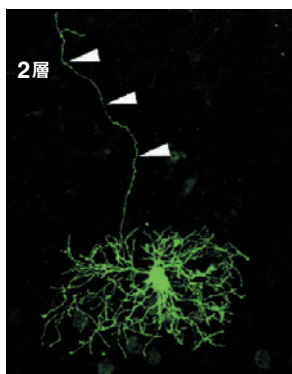
藤田保健衛生大学の大平耕司助教授らは、成体ラットの大脳新皮質で、新しい神経細胞を作ることができる神経前駆細胞が存在することを世界で初めて発見しました。また、神経前駆細胞は、大脳新皮質の表面、第一層に存在して分裂しており、新しく産生された神経細胞は、大脳新皮質の深層へと移動し定位することを見出しました。さらに、この神経細胞の産生は、ラットの脳を軽い虚血状態にすると活性化されることも観察しました。神経細胞に

は大きく分けて興奮性と抑制性の2種類がありますが、今回発見された新生神経細胞は、ほとんどが抑制性の細胞でした。

今後、抑制性の神経細胞が作られるメ

カニズムが詳細に解明されれば、興奮性の神経細胞が過剰にはたらくために生じる、てんかん等の疾患に対する新たな治療法の開発につながると期待されます。

大脳新皮質の新生細胞の形態



新生された神経細胞の形態。ほとんどの細胞は、球型の細胞体から、複数の分岐した樹状突起様の突起と1本長く伸びる軸索様の突起を有するという均一な形態をしていました。白三角は、軸索様突起を示しています。





NEWS

05

開発成功



独自のシーズ展開事業・委託開発／開発課題「冷凍倉庫におけるガイドレス無人フォークリフト」

## 周囲状況を搭載カメラで検知して自律制御を行いながら走行 冷凍倉庫で無人自動走行が可能なフォークリフトの開発に成功!

日本輸送機株式会社が、岡山県立大学情報工学部の神代充准教授の研究成果をもとに、冷凍倉庫内を無人で走行できるフォークリフトの開発に成功しました。一般的に、冷凍倉庫の搬出搬入作業は、有人フォークリフトによって行われますが、マイナス数十℃という低温環境のため、過酷な労働状況であることはもちろん、長時間におよぶ連続作業ができず、非効率的でした。そのため、ガイドレールの上を走る無人フォークリフトの開発が行われてきましたが、導入時の経済的負担が大きいことや、有人運転に比べて走行速度が遅いなど、数多くの問題があり、普及が



進んでいませんでした。

今回開発された無人フォークリフトは、神代准教授らの画像処理技術を利用して作成される3次元の仮想空間と、搭載されたカメラからの画像を合わせることで、自車の位置を特定し、最高時速15km、障害物判定時間0.5秒以内という、有人フォークリフトと同等の性能で自律走行することができます。これにより、劣悪な労働環境から作業者を解放し、今後は、原子力関連設備や危険物管理エリアなどの分野でも活用されることが期待できます。

◀ 開発された無人フォークリフト。同じ倉庫内で教台が同時に作業することも可能です。

NEWS

06

企画展



## 日本科学未来館で 「きみのみらい・みらいのきみ— かこさとしと探しにいこう、絵本の中へ」を 3月20日(土)から開催

日本科学未来館では、3月20日(土)から5月10日(月)まで、企画展「きみのみらい・みらいのきみ—かこさとしと探しにいこう、絵本の中へ」を開催します。

本展は、『からすのパンやさん』などの著者として有名な絵本作家・かこさとし氏をアドバイザーに迎え、かこ氏が絵本で伝えてきた「科学のまなざし」を軸に、先端科学が見すえる未来を紹介する展覧会です。

テーマは、「人間:地球に生きる私たち、どこから来て、どこへ行く?」。人間の歴史を振り返りながら、「人間らしさ」を「こころ」「言葉」「道具」「地球に生きている」という4つのテーマでとらえ、その

特徴にかかわる先端の科学技術として、「脳科学」「情報技術」「バイオ・ナノマシン技術」「宇宙生物学」の研究成果を紹介、ナビゲーターとしても登場するかこ氏とともに、未来について考えます。

展示物は大きな絵本を彷彿とさせるグラフィック展示。絵本のなかに入り込むような感覚で楽しめます。子どもたちも、そしてかつて子どもだった大人たちも、一緒に未来について想いを馳せてみませんか。会期中には、関連イベントを開催予定。詳しい情報は、ホームページをご覧ください。

<http://www.miraikan.jst.go.jp/>



会期中の4月11日(日)と4月25日(日)には、「情報技術」「バイオ・ナノマシン技術」に関する研究者のトークイベントも開催! 詳しくは未来館WEBサイトで。

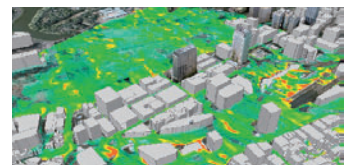


NEWS

07

イベント

## 第51回科学技術週間 開催! 「美」パネル展で CREST研究のCG展示



2005年8月の東京・丸の内付近の温度分布。熱気が滞留する様子や、渦を巻いて流れる動きがひと目でわかります。

今年で51回目を迎える科学技術週間が、4月12日(月)～18日(日)に開催されます。科学技術週間とは、科学技術への理解と関心を深めてもらい、日本の科学技術の振興を図ることを目的とするもので、全国の科学館や研究機関などでさまざまなイベントが行われます。

そのなかのひとつ、東京・丸の内カフェでは「平成22年度 第51回科学技術週間における「美」パネル展」が行われます。これは、研究で得られた美しい画像を、科学者だけでなく一般の方にも楽しんでもらうという企画で、CREST研究からは、高橋桂子(海洋研究開発機構)さんの、温度分布シミュレーションのCGが展示されることになりました。

ほかにもさまざまなイベントが盛りだくさんの1週間です。ぜひ、足を運んでみてください。

# なぜ、いま産学連携な

## 産と学が結集してイノベーションを! S-イノベがスタート

### 日本では1990年代から急速に進んだ産学連携

民間企業(産)と大学等の教育機関・研究機関(学)が連携し、研究開発や事業を行う「産学連携」。いまではあらためてそんな説明をするのもためられるほど一般的な言葉だ。全国各地でさまざまな連携が生まれ、産と学が手を結ぶ重要性を否定する声は聞かれない。

しかし、十数年前まで、両者の間には高い壁が存在した。大学の研究者は自分の興味・関心のある研究に専心し、企業は開発研究を自前の研究所に頼ってアドバイスを求めようとしない。その結果、大学の研究成果は企業のニーズから遠く離れ、大学の研究のなかにすでに答えがある研究を企業で何年間も続けることが珍しくなかった。

しかし、1990年代頃から状況は次第に変化していく。経済成長が頭打ちになるなか、厳しい国際競争を生き抜くために、最新の科学技術を1日も早く実用化に結びつけることが強く求められ、それにつれて、産学連携の必要性も高まっていったのだ。アメリカではすでに1980年代初頭から国家主導で産学連携の取り組みが進み、大きな成果を挙げていた。日本も遅ればせながら1998年には大学等技術移転促進法(TLO法)が施行されるなど支援体制が整い、産学連携は次第に広まっていった。

### テーマを設定して公募し製品化への道筋を明確に示す

そしていま、産学連携をさらに新しいステージへと押し上げ、イノベーション創出につなげようとスタートしたのが、JSTの新事業「戦略的イノベーション創出推進事業(S-イノベ)」だ。

大きな特徴の1つは、イノベーションにつながりそうな研究開発テーマをあらかじめ設定し、それにかかった課題を公募する方法をとっていることだ。これまでの支援事業では、あえてテーマを設けず、成果が上がりそうな課題を広く募る方式が一般的だった。産学連携を根づかせる段階では、もちろん、それ

が有効だったといえる。しかし、現在、すでに産学連携は一般的となり、協働のノウハウは産学双方にある程度蓄積した。そこで、これまでとは発想を転換し、ブレイクスルーをもたらすために狙いを絞って、産学連携の持つ力を最大限に活用しようというのだ。

もう一つの特徴は、最長10年という連携期間と、1課題あたりの研究費は年間最大1億円程度という規模だ。既存の類似事業とくらべて期間は長く、規模は大きく設定し、長期一貫した研究開発の体制を整えている。さらに、ステージⅠ(2~3年度=応用基礎研究及び要素技術の研究開発)、ステージⅡ(3~4年度=要素技術の研究開発)、

らかのリーダーが研究開発チームの全責任を負うプロジェクトマネージャー(PM)となる。

2009年10月には、CREST、ERATO、さがけ、SORSTなどの戦略的創造研究推進事業の成果から4つの研究開発テーマを設定して課題を公募。2010年1月に採択課題が決定し、現在、それぞれ研究開発が始動しはじめている。そこからどんなイノベーションが生まれようとしているのか。テーマの1つである「超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出」を例に見ていこう。



ステージⅢ(2~3年度=アプリケーションの開発)という3段階を設けて、製品化への道筋を明確に示している。すでに基礎研究などが進んでいれば、ステージⅠを省略してステージⅡから始め、製品化をスピードアップさせる場合もある。

各研究開発テーマには産学連携の熟練経験者が責任者=プログラムオフィサー(PO)として配置される。POは、数人のアドバイザーなどのサポートを受けて、研究課題の公募や採択にあたり、円滑かつ効率的に事業を運営し、コンソーシアム形式による研究開発の相乗効果を最大限引き出すように努める。

さらに、研究開発テーマごとに、それぞれ4~5の研究開発チームが採択され、企業側の責任者を「開発リーダー」、研究機関側の責任者を「研究リーダー」として、どち

### 超伝導線材の加工技術をもとに 応用開発への期待が高まる

極低温で電気抵抗がゼロになる「超伝導」は、ロスの極めて少ない送電線や強力な電磁石など、イノベーションへの期待が高い分野だ。研究は主に、新しい超伝導材料を発見する基礎研究と、すでに発見された材料をもとに製品化を目指す応用研究とに分けられる。「超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出」POの佐藤謙一さんは、住友電気工業に勤務し、応用の分野で長らく研究に携わってきた。

「1988年に日本でビスマス系と呼ばれる新しい超伝導材料が発見されました。超伝導になる温度が110K(マイナス163℃)と状来にくらべて高く、液体窒素(77K)で冷やせば十分に能力を発揮します。加工しや



# のか？



JSTの新しい産学連携事業「S-イノベ」がスタートした。

産学連携の重要性が広く認められ、すでにさまざまな事業が行われているいま、なぜ新たな取り組みが必要なのか。産と学の現場の声も交えてお伝えする。

## 2050年超伝導社会の実現を目指して

すいという特質もあります。私はこの天からの贈り物ともいえる材料を用いて線材を作る加工技術の研究に取り組み、2004年に製品化にこぎつけました」

線材とは、電線や磁石、モーターなどの核となる部分だ。ビスマス系以外でも、さまざまな研究者によって線材の加工技術は次第に開発され、いまでは多岐にわたる分野で応用技術が一気に進んでいる。そんな世界的な状況も踏まえて、今回、超伝導がテーマの1つとして設定され、これまでの研究開発の経験を買われて佐藤さんがPOに選任された。

### 製品化を実現するにはサイエンスの裏づけが必要

採択された研究課題は右の5つ。①微弱な磁場を検出する医療診断や再生医療のためのバイオセンシング技術、②飛躍的な排出ガス削減につながる大型船舶用モーター、③がん治療から核廃棄物処理までを見すえた全国各地に設置が可能な加速器システム、④医療や化学研究の現場で幅広く生かせる小型で高性能のNMR技術、⑤省エネ・省スペースの画期的な鉄道技術、と、私たちの生活や日本の産業を劇的に変える分野がそろった。「超伝導は、それだけで世界を一変させる可能性を秘めた技術です。たとえば超伝導電力ケーブルは、2011年には電力会社での実証実験を行う計画が進んでいます。しかし、今回のS-イノベでは、実用化までにはまだ少し距離がある、それだけにフロンティアとなる可能性を秘めたものをそろえました」

すでに製品開発への道筋が見えているものではなく、基礎研究から製品開発へとこれから橋渡しをしようとする部分にこそ産学連携の意味がある。S-イノベはその部分を集中的にサポートする事業であり、それは佐藤さん自身の想いでもある。

「製品を作るためには、工場だけでなくサイエンスの裏づけが必要で。実験室で生まれた材料をすぐに製品化できるわけではなく、製品化にも基礎的な研究が欠かせません。そこにこそ、学の知恵が求められてい

るのです。また、学の側にとっては産の経験が生かされるでしょう」

そう語る佐藤さんの口調には熱がこもる。自らの経験から、製品化には産学連携が必要だと痛感してきたからだ。

### 研究開発テーマ

#### 超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出の採択課題／研究開発チーム

- |   |   |
|---|---|
| 1 | 高温超伝導SQUIDを用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発<br>日立製作所×九州大学 |
| 2 | 大出力超伝導回転機器に向けたキーハードの開発<br>川崎重工業×横浜国立大学          |
| 3 | 高温超伝導を用いた高機能・高効率小型加速器システムへの挑戦<br>東芝×京都大学        |
| 4 | 高温超伝導材料を利用した次世代NMR技術の開発<br>日本電子×物質・材料研究機構       |
| 5 | 次世代鉄道システムを創る超伝導技術イノベーション<br>鉄道総合技術研究所×物質・材料研究機構 |

### 20年前にこの制度があってもきっと利用しなかった

佐藤さんが線材の加工技術を確立させるまでには長い苦難の時期があった。

「1988年にビスマス系の新材料が発見されてから2004年に線材の加工技術が確立するまで16年かかっています。最初の5年間で基本的なコンセプトを固め、それから実用化に向けた具体的な研究開発に入ったのですが、より長く、強く、再現性高くなど、



産学連携は製品化への突破口となります！

プログラムオフィサー

佐藤謙一

さとう・けんいち

1971年京大工学部卒業。住友電気工業(株)に入社。大阪研究所超伝導研究部長、超伝導研究室室長などを務め、線材をはじめとする超伝導の研究開発にあたる。現在は同社フェロー、材料技術研究開発本部・技師長。

さまざまな問題にぶつかりました。壁を破れず、このまま研究を続けるかどうかの判断を会社から迫られたこともありました」

暗闇のなかにいた2000年頃、一筋の光となったのが、「学」との出会いだった。

「当時、東大にいた北澤宏一教授(現JST理事長)を訪ねて相談したところ、ある大学の先生を紹介してもらったのです。一緒に研究を進めるうちに、悩まされていた現象がどうして起こるのか解明でき、突破口が開けました。大学の先生は知識の広さも深さも違うと感心させられました」

線材の加工技術が確立したのは、それから4年後のことだ。S-イノベの研究開発期間は10年。佐藤さんが線材の加工技術確立にかかったのは16年。もしも自身が研究を始めたときにこの制度があったらよかったと思わないか——そんな質問をぶつけたところ、佐藤さんはゆっくりと首を横に振った。

「当時はまだ、産の側にも自前主義という雰囲気が強かったから、制度があっても利用しなかったでしょう。しかし、いまはすっかり状況が変わり、産と学とが同じ土俵に立って話し合う環境が整っています。そんないまだからこそ、S-イノベという制度が生きています。5つの課題が成果を上げ、合わせて周辺技術の開発も進めば、2050年の超伝導社会の実現も夢ではないでしょう」

## 川崎重工業×横浜国立大学

# 大出力超伝導回転機器に向けたキ

超伝導研究開発のなかでも、製品化に近いといわれる大型船舶のモーター開発。産の立場から実用化を目指す企業の開発担当者に、学の立場で研究

### ディーゼルの排ガス規制が 大型船と超伝導を結びつけた

S-イノベの採択課題「大出力超伝導回転機器に向けたキーハードの開発」で目指すのは、外航を走る大型船の推進システム用20MW超伝導モーターの開発だ。大型船と超伝導と聞いて、その組み合わせに違和感を覚える人もいるだろう。

超伝導を生かした乗り物といえばリニアモーターカーが思い浮かぶ。時速500kmを超えるスピードが自慢の夢の乗り物は、超伝導の最先端のイメージにピッタリだ。

一方、大型船の主な動力は低速ディーゼルエンジン。ガソリンなどに比べて安い重油が燃料だから、低コストという船のメリットにはなっている。とはいえ、リニアとは逆にクラシカルな印象は否めない。

今回の課題で「産」側の代表者である開発リーダーを務める川崎重工業の柳本俊之さんも、そんなイメージを否定しない。

「大型船には何よりも信頼性が求められます。太平洋の真ん中で止まってしまったらお手上げですから。低速ディーゼルが選ばれている理由は、信頼性の高さにもあるんです。一方、超伝導の信頼性は低速ディーゼルとは勝負になりません。そんなものをどうして使うんだという声も聞こえてきます」

それでも開発に取り組む背景には、切実な事情がある。国際海運のCO<sub>2</sub>排出量は、約8.4億トンで世界の総CO<sub>2</sub>排出量の約3%を占める。これに対して、国際海事機構が今後、排出削減を義務づける方向で検討している。さらに、排ガスに対しても、厳しい規制が導入されつつある。窒素酸化物を2011年までに、現在より15.5%、2016年までに80%削減しなければいけないのだ。小手先の対策だけで、この厳しい基準をクリアすることは難しい。さまざまな対策を検討するなかで、超伝導モ

ーターを用いた電気推進システムが浮かび上がってきた。

「客船などではすでに電気推進システムを利用しています。客室で使う電力消費が非常に大きく、そのために発電システムを装備しているので、その電力を用いて、モーターでプロペラを回して走ります。輸送船の場合は、走りさえすればよいから、コストが低いディーゼルで直接プロペラを回します。しかし、今後環境対応を強力に進めていくためには、電気推進システムへの切り替えが有効だと判断しました」

しかし、既存のモーターをそのまま使用すると燃料消費効率が悪化する。一度、エンジンで発電し、その電気でモーターを回すため、損失が大きくなってしまふのだ。その点、超伝導モーターならば、高効率運転が可能だ。発電機にも超伝導を適用すれば、飛躍的な効率

アップも夢ではない。さらに、小型化できるので、運べる荷物の量も増やせる。こうして、従来の常識を破る、超伝導モーターを用いた電気推進システムの開発に乗り出すことになった。

とはいえ、川崎重工業にとって超伝導研究は専門ではない。そこで協力を要請した先が、今回の課題で「学」側の研究リーダーを務める、横浜国立大学の塚本修巳特任教授だ。

### 「産」からの具体的な要望が 「学」の研究を活性化させる

塚本教授は、柳本さんからの要請を快諾した。これまでの経験から、産学連携が研究にもたらす効果を実感していたからだ。

塚本教授は1970年4月に横浜国立大学に赴任して以来、約40年間、一貫して超伝導の応用研究に携わってきた。それは、予測しては裏切られるという失望の繰り返しのなかで、あきらめずに粘り強く、一步一步前に進む日々だったという。

「当初は、超伝導素材を用いた線材が出来れば、銅線と同じように、束ねたり、巻いてコイルにしたりして使えるものだと考えられていました。しかし、実際にはなかなかうまくいきませんでした」

たとえば、1本で100アンペアの電流が流れる線を10本束ねれば、銅線ならば単純計算で1000アンペア流れるようになる。ところが超伝導の線の場合は、200アンペアしか流れなかった。電流が均等に分散されずに1本だけに集中し、限界に達してはじけてしまうのだ。

「ねじり方などを工夫してみたのですが、なかなかうまくいきません。そのうちに、これまで『こうなるはずだ』と当たり前で考えていたことは、『電気抵抗がある世界』での常識に過ぎないのだと気づきました」

山積みの課題の解決に取り組む一方で、

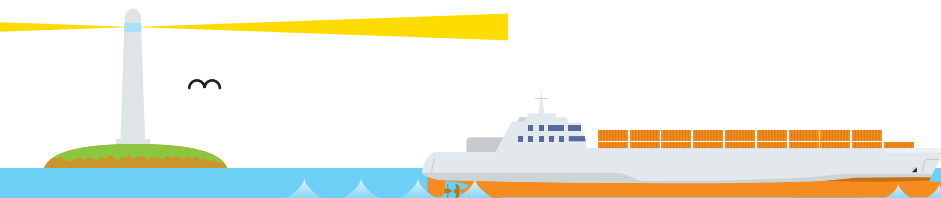


開発リーダー

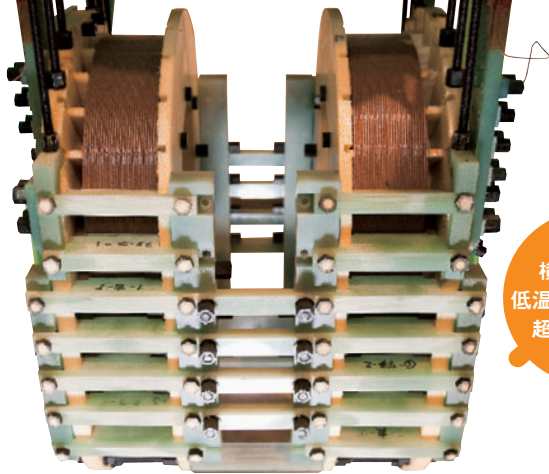
柳本俊之

やなもと・としゆき

1981年大阪府立大学卒。川崎重工業(株)に入社。健康医療機器、機械システム、船舶用高温超伝導モーター内蔵ボット推進システムなどの研究開発に従事。現在は同社技術研究所機械システム研究部部長。







横浜国大の  
低温実験室にある  
超伝導コイル

# キーハードの開発

に取り組む大学の研究者に、それぞれのS-イノベに向けた期待や意気込みを聞いた。

塚本教授のもとには、超伝導の持つ可能性に期待する企業から「こういうものを作りたい」という要望が寄せられることも少なくなかった。彼らと話をするうちに、塚本教授はある確信を抱くようになる。

「さまざまな課題に取り組んでいると、ともすると自分の興味の方向に深掘りしすぎてしまい、気がつけば『これはいったい何に役立つんだろう?』と途方に暮れることになりかねません。そんなとき、企業の方からの現実的な提案は、研究者の目を覚まし、モチベーションにつながります。何よりよいことは、具体的なゴールがあると、研究の方向性が明確になり、自分たちが想定しなかったテーマも広がって、活性化していくのです」

## コイルの形状が決まれば 解決方法が見えてくる

今回の課題でキーハードとなるのが、超伝導を用いたコイルだ。このコイルの開発は「学」の側に立つ塚本教授らが担当するが、「産」の側に立つ柳本さんらも、全面的に任せてしまうのではない。

「モーター全体の設計は私たちが担当します。大型船での使用を考えれば、コイルに満たしてほしい条件がいくつも出てきます。とりわけ重視されるのは、先ほども述べた信頼性と高効率化ですね。それらの条件をしっかりと伝え、それに合ったものを開発してもらい、船としてまとめ上げねばなりません」

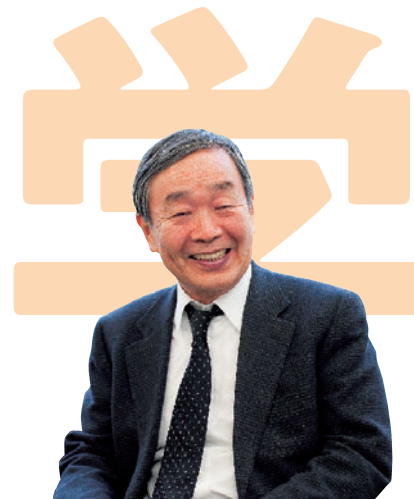
塚本教授は、こうした条件を与えられることで、課題が明確になり、解決の方向性を探ることができると考えているのだ。その1つが、「交流損失」の問題だ。

コイルを作ると磁界が発生し、超伝導体内に磁束線が侵入する。そこに電流を流すと新たな磁界が発生し、磁場の強さが変化するため、その磁束線が動こうとする。このとき、磁

束線が超伝導体内にとどまらずに流れていってしまうと損失が発生する。そこで、磁束線が動かないようにして損失を抑えるのだが、交流電流の場合、直流とくらべて磁界の変化が頻繁に起こるため、損失も生じやすくなる。これを「交流損失」といい、超伝導コイル開発の大きな課題となっている。

「交流損失を防ぐための基本的な考え方は見えてきています。しかし、それを実現する方法はさまざまで、コイルの形状などによって変わってきます。逆にいえば、『こういうコイルがほしい』という要望を受けることで、具体的な解決方法が決まり、そこを目指して研究を進められるのです」

そのほか、船内で超伝導になるための温度に冷却する方法など、解決すべき課題はいくつもある。塚本教授のいる横浜国立大学だ



研究リーダー（兼プロジェクトマネージャー）

塚本修巳

つかもと・おさみ

1970年東京大学大学院博士課程修了。超伝導応用機器の基礎技術の研究に長年従事。主な研究テーマは超伝導体の安定化、交流損失の評価法、低減法など。現在は横浜国立大学産学連携本部特任教授。

けでなく、新潟大学、上智大学、東京海洋大学、さらに住友電気工業の力も借りながら、研究開発チームは課題の解決を目指す体制を整えた。

## 「スピード感」の違い という問題を乗り越えて

産学連携の問題点としてよく指摘されるのが、双方の「スピード感」の違いである。企業は1日も早い産業化を求め、大学は時間がかかっても納得いくまで研究を続けたい。しかし、産学連携は歴史を重ねるうちに、その差は埋められてきつつある。

今回の課題の場合、企業側には明確なリミットが存在する。

「温室効果ガスの規制が今後さらに強化されていきます。早く製品化されなければ意味がないのです。S-イノベの開発期間は10年ですが、それでは期限を過ぎてしまう。そんな事情もあって、ステージⅠを省略し、5年間とさせてもらいました」（柳本さん）

大学側からしてみれば不本意な話ではないかと思われるが、塚本教授はその点も前向きにとらえている。

「研究期間が10年間だとすると、その間に新しい線材が生まれることも考慮する必要があり、迷いが生じたかもしれません。しかし、5年間と決まったことで、線材は既存のビスマス系を使うと割りきることができました。ビスマス系コイルの技術は、将来出来る新しい線材にも応用できるでしょう。また、大型船で使われるコイルを開発したという経験は、今後、たとえば風力発電で使われるコイルを開発しようとするときにも、間違いなく生きてくると思います」

産と学が話し合い、互いの事情を理解しながら手に手をとってゴールを目指す。両者の間にあった高い壁は崩れ、イノベーションを生み出す土壌となりつつある。■

# なぜ、いま産学連携なのか？

# 水がプラスチックになる

## たった3秒で出来あがる ほぼ水だけの新素材

ハイドロゲルにはいくつかの種類があるが、その名のとおり、主成分は水で構成されている(hydro-水・溶液を表わす接頭語)。そのため、大部分が水で出来た人体との相性がよく、生物医学面ではそれなりに注目を集めてきたが、逆にそれ以外の分野では使いくいとされてきた。それはなによりも強度が足りず、しかも生成に手間がかかることが原因だ。しかし、今回、相田卓三教授率いるチームが開発した新しいハイドロゲルは、その2つの弱点を一気に克服する画期的なものだった。

なにしろ手軽だ。用意するのは、水と3種類の粉末だけ。それらを水に混ぜ、軽く攪拌するだけで、あっという間にハイドロゲルが



水から出来る環境にやさしい新物質です。

相田卓三

あいだ・たくぞう

1956年生まれ。横浜国立大学工学部応用化学科卒業。東京大学大学院博士課程を修了後、同大学工学部合成化学科助教授、同大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻教授などを経て、現在は同大学大学院工学系研究科教授。

と、静電相互作用と水素結合の両方がはたらく「塩橋」でデンドリマーとガラス表面がくっついてたんですね。もともとたんぱく質に強く吸着することはわかっていたんですが、ガラスの表面もたんぱく質と同じオキシアニオンだったんです。それで、以後はプラスチックの容器に変えたんですが、そこでふと、クレイナノシートの表面も同じオキシアニオンだったことを思い出して、粘土を混ぜてみたらどうなるだろうという話になったんです。

でも、粘土をそのまま水に入れてもきれいに分散しなくて濁ってしまう。そんな状態でデンドリマー、つまりさっきのバインダー(※)を入れても、一応は固まるんですが、透明度が出ないし強度も弱いんです。じゃあ、強度を上げるにはどうしたらいいの？ ばらけて、吸着する面積が増えたところにバインダーを

## 強度が強く、室温で3秒攪拌するだけのハイドロゲル

出来あがる。しかも、強度はこんにゃくの500倍もあり、ちょっとやそっとの力ではちぎれない。

「ゲルが出来るときは、多くの場合、網目構造が発達するんですが、これまでは有機物はその網目の強度を100%担ってきた。強度を上げたハイドロゲルは、これまでも研究されていますが、それらは有機高分子化合物が全体の10%程度を占めていたんです。それに比べてわれわれのハイドロゲルは——あえてアクアマテリアルと呼んでいますが——破格に有機物が少ない。最低で0.2%まで減らすことができます。じゃあ、どうやって強度をかせぐのかというと、われわれのゲルには粘土が入っています。当然、粘土の量を増やせば、強度は上がりますが、透明度を考えると——そのほうが汎用性が高いですからね、たとえば、コンタクトレンズとか——5%が限界でしょう。ただ5%でも、強度面ではこれまで開発されてきたハイドロゲルのなかで、2番目ぐらいに強いものが出てくるんです」

ただし、この「アクアマテリアル」のなかで、粘土はあくまでも脇役にすぎない。一番のポイントは、この粘土をうまくばらけさせ、あらためて網目状に再構成させる技術だった。

「工業用に使われている粘土は、10円玉がいくつも貼り合わさったような状態なんです。

この10円玉をクレイナノシートというんですが、これをそのまま水に入れても、なかなか1枚1枚の10円玉にはなりません。でも、そこにほんのちょっと、紙おむつの吸湿剤にも使われているポリアクリル酸ソーダ(ASAP)を0.05%入れてやると、粘土がうまくばらけて、全体に10円玉が分散していく。で、そこにバインダー(両末端デンドロン化高分子)という物質を0.15%ほど加えると、3秒ぐらいで固まって、透明な新素材が出来あがるんです」

### ネットワークが繋がらないと有機的なアイデアは生まれにくい

つまり、粘土とASAP、そしてバインダーの組み合わせこそが、アクアマテリアル誕生の鍵だったということだ。ところがおもしろいことに、この3つの要素は、決して最初から密接に結びついていたわけではない。

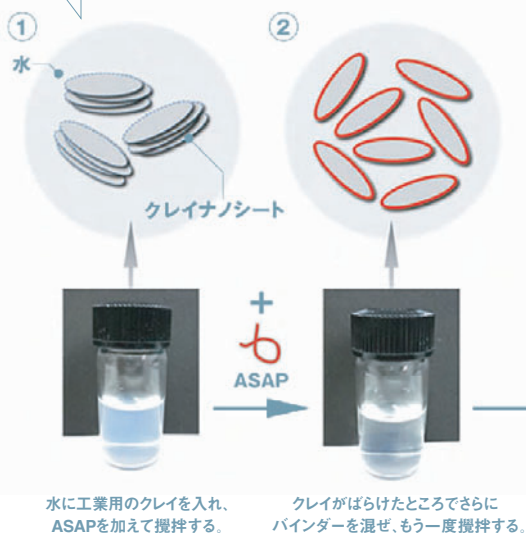
「もともとわれわれはデンドリマー(樹状高分子)というものを研究してまして、これは核から木の枝のように分子が枝分かれした構造を持っているんですが、これを、水を入れたガラスの容器に溶かして分析するという実験を進めていたとき、学生の1人が、「変です。どんどん濃度が下がっています」と報告してきたんです。で、その理由を探ってみる

入れたら、もっと全体的にきっちりしたものになるんじゃないかということになって……」

さいわいスタッフの1人に、以前、香港でハイドロゲルの研究をしていたワン博士がいた。彼から経験上、ASAPが有効なものではないかとの提案を受けた。

「すぐに実験してみました。ASAP自体はここでも転がっているようなものですからね。すると粘土がきれいに分散して、一気に透明

### アクアマテリアルが出来る仕組み







水にごく少量の粉を混ぜただけで、すぐに新素材が出来あがる——。

アクアマテリアルと名づけられたこの新素材は、95%が水で出来ている。

強度があって、お菓子のグミのように弾力性があり、切断しても元通りになる。

ほとんどが水なので環境にやさしいこの新素材は、さまざまな用途への利用が期待されている。

度が上がり、しかも自立するようになった。取り出して置いても崩れないんです。そこから今度は、バインダーとASAPをどこまで減らせるかという方向に進み、最終的には0.2%まで減らすことができたんですよ」

いってみれば組み合わせの妙。ただし、こればかりは、努力してどうなるというものでもないだろう。

「人間というのは、断片的な知識はいっぱい入っていて、でも、ふとある瞬間にパーとネットワークがつながらない限りは、有機的なアイデアが出ない。われわれはラッキーでした。彼が「ASAP」と言わなかったら、質の悪い、濁った状態のままとりあえず論文にしていたかもしれない。一応成果は出たわけですし。そこに分かれ道があるんですね。彼が提案してくれたおかげで、透明にもなったし、強

くもなったし、有機物の量を下げることにも挑戦できた。

ほかにもデンドリマーの基本的なデザインを作ったスタッフや、最初に濃度が下がっているのに気がついた学生や……研究というのはそういうものだと思いますね。やっぱり人だと思います」

### 新しい素材から 新しい可能性が広がる

ところで、このアクアマテリアルには、簡単に作れるということのほかに、いくつか大きな特徴がある。その1つがセルフ・ヒーリング、すなわち自己修復性だ。

「この物質がおもしろいのは、大きい力がかかると一瞬、水みたいになるんですよ、力のかかったところだけ。つまり、材料物性がガクンと落ちるんですね。ふつうだとそれは壊れたことになるので、元には戻らない。ところが、アクアマテリアルは力を外すと3秒で元に戻るんです。だからなにも起こってなかったように見える。これまでの「強い」ハイドロゲルは壊れたらもう終わり。元に戻らない。そういう点でこれまでにない特質を持っています」

ほかにも切断面に接着性があるなど、興味深い特徴を持っているので、今後の研究によって、さらなる用途の広がりが期待できるだろう。ただし、ここで留意してほしいのは、このアクアマテリアルが、100%既存の素材に取って替わることを目指しているわけでは

ないということだ。

「粘土を増やせば強度は上がりますが、そこにはあまり面白味がない。なぜかという、セメントみたいに強いものは、なにもこういうやり方で作る必要はないわけです。新しい物質の話をする、すぐ「コンクリートのように堅くなるんですか?」と聞かれるんですが、アクアマテリアルのいいところは、ほかにあるんです。まさかこれで橋桁を造るわけではありせんしね。いつでも、誰でも、簡単に作れる。しかも、環境や人体に負荷をかけない水で出来ている——それがアクアマテリアルです。現時点では、身体に対する接着性がよくて、すぐに成形できることから、手術の現場で活躍できると考えています。粘土の量で堅さを調節できるというメリットを生かして、軟骨の代わりに使うとか。これまで材料にはならないといわれていた水を使って、優れた特色の新素材が出来たわけですから、この先はわれわれだけじゃなく、世界中の人たちが応用研究に参加してほしいですね」■

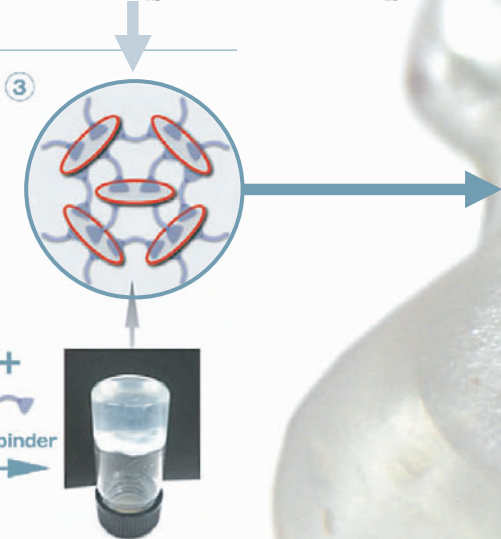
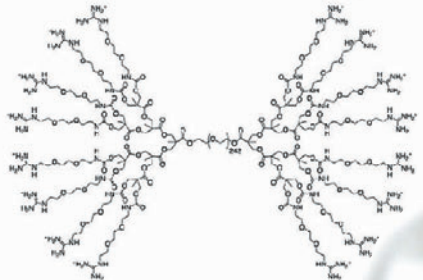


出来あがったアクアマテリアルはお菓子のグミのような触感を持ち、折り曲げても簡単には切れない。

固体なのだが  
成分の約95%は  
水から  
出来ている。

### G3-binderの分子構造

両端の枝先がクレイにくっつく構造。枝のどれかがはがれても、すべてがはがれる確率は非常に小さい。また、はがれてもまたくっつくので、おのずと吸着力は強くなる。Gは世代、G3は第3世代を指す。



クレイとバインダーがくっついてきれいな網目構造を作りだす。

# 数学で自然現象を理解

## 粘菌が作り出す うれしいネットワーク

真正粘菌は、別名「変形菌」と呼ばれるように、ライフステージにおいてその生態を変える興味深い生物だ。変形体と呼ばれるアメーバ状の時期には、自分で餌を探して移動・拡大する生活を送る。このとき粘菌の体内では、栄養分を輸送する管のネットワークが形成されていく。状況の変化に応じて、頻繁に使われる管は成長し、使用されなくなった管は退化するのだ。

手老篤史・JSTさきがけ研究者（共同研究者：中垣俊之・北海道大学准教授、小林亮・広島大学教授、高木清二・北海道大学助教）は、この粘菌を、関東地方をかたどった容器の中に置き、主要都市に当たる場所に餌を置くと、どのように活動するかの実験を行った。すると、粘菌は、実際の鉄道の路線図にそっくりの輸送ネットワークを作り上げていくことが観察された。

「人間の構築するネットワークは、全体の

情報を整理して、コストや安全性、効率などがバランスよく考えられています。ところが、粘菌は全体のことを考えることができず、あるのは『ここに餌がある』といった周辺情報だけです。にもかかわらず、『ここはコスト重視なのか、それとも安全性を優先すべきなのか』、あたかも目的に合わせて、粘菌にとっていちばんうれしいと感じるルートを選択します。そうして管の成長・退化を行い、結果としてバランスのよい“うれしいネットワーク”を形成することができるんです」

## 生物の理論モデルの 鉄道ネットワーク構築への応用

脳も神経も持たない粘菌が、このように知的なふるまいをして、“うれしいネットワーク”を形成するメカニズムは解明されておらず、生物学上の謎の1つとされている。

そこで、手老研究者は、粘菌が鉄道網に似たネットワークを形成する様子を、数学を使って解き明かすことに取り組んだ。これは、数理生物学と呼ばれる研究手法だ。

「生物の形づくりについて、『遺伝子に書いてある』と考える研究者がいますが、細かな部分まで遺伝子に書かれているわけではないはず。粘菌の管のネットワークのような、少ない情報で複雑なものが出来ていくという法則性は、数学で解くことができるんです」

その結果、粘菌の輸送ネットワークの成長・退化について、右にあげた成長方程式が導き出された。この成長方程式を用いてコンピュータ上でシミュレーションを行い、粘

菌の輸送ネットワーク形成も数値計算で再現できた。“うれしいネットワーク”形成の理論モデルが確立されたのだ。

また、この理論モデルで形成されたネットワークの性能評価を行ったところ、現実の鉄道ネットワークよりも、経済性が高く、ネットワーク断線のアクシデントにも強いバランスのよいものであることがわかった。

この理論モデルは、鉄道、道路、インターネットなど、都市間を結ぶネットワーク・インフラにおいて、建設・維持コストや災害リスク管理など、さまざまな目的のどれを優先すべきか、設計法則を立てるのに応用できると期待されている。

## 数理生物学の肝<sup>きま</sup>=モデル方程式は ロジックとヒラメキで作られる

今回のような数理生物学の研究は、近年さかんに行われている。その研究の基本的な流れは、手老研究者が行ったように、生物を観察し、そのデータから生物のふるまいを引き起こしているエッセンスを取り出し、モデル方程式を作って、コンピュータによるシミュレーションでそのふるまいを再現させる、という段階を踏む。

肝になるのは「モデル方程式」を作ることだ。粘菌の研究でいえば、管の成長方程式がモデル方程式に当たる。実験データからモデル方程式を作る作業過程について、手老研究者は、「説明するのはなかなか難しいですね。モデル方程式を作るには、ある程度のロジックとある程度のヒラメキが必要になります」と言う。

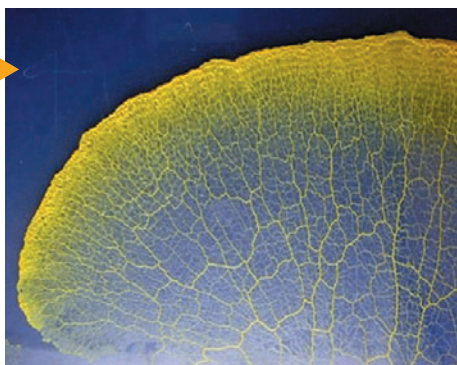
## 手老篤史

てろう・あつし

JSTさきがけ研究者。大学時代に数理生物学に興味を持ち、大学院生時代に北海道大学の西浦廉政教授の研究室に所属して、本格的に数理生物学の研究を始める。

生物のふるまいを  
数学で  
一般化します。

## 真正粘菌



粘菌、変形菌とも呼ばれる単細胞生物で原生生物の一種。ライフサイクルのなかで、アメーバのような「変形体」と呼ばれる動物的な性質の時期と、きのこのような「子実体」と呼ばれる植物的な性質の時期を繰り返す。左は変形体。今回の研究ではモジホコリが使われた。扱いやすく生物学のモデル生物によく用いられる。



# する

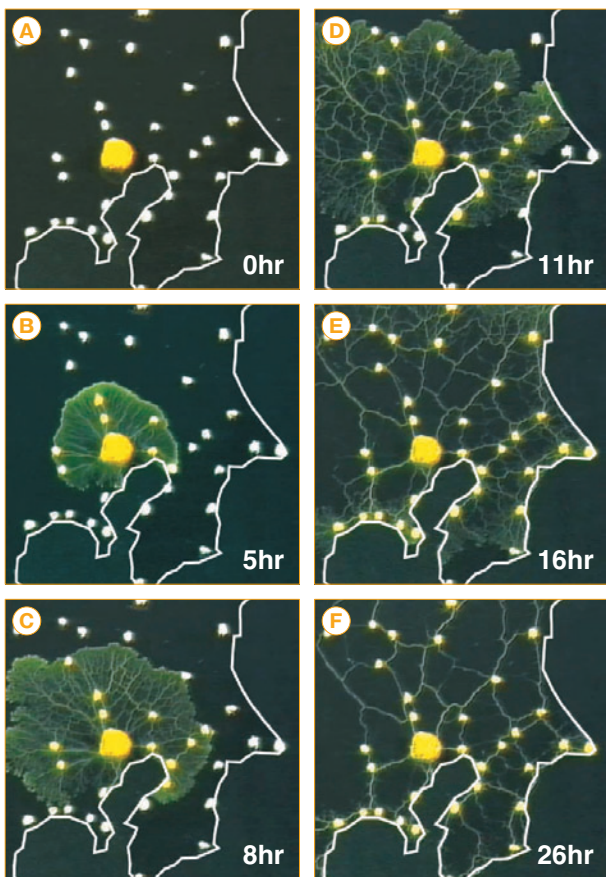


粘菌の動きから鉄道ネットワーク形成の理論構築に成功したという、興味深い研究成果が発表された。

これは、生物の複雑なふるまいを、数学を用いてモデル化し、理解しようとする数理生物学によるものだ。

生物と数学——この不思議な組み合わせが生み出す魅力とは？

## 粘菌の“うれしいネットワーク”



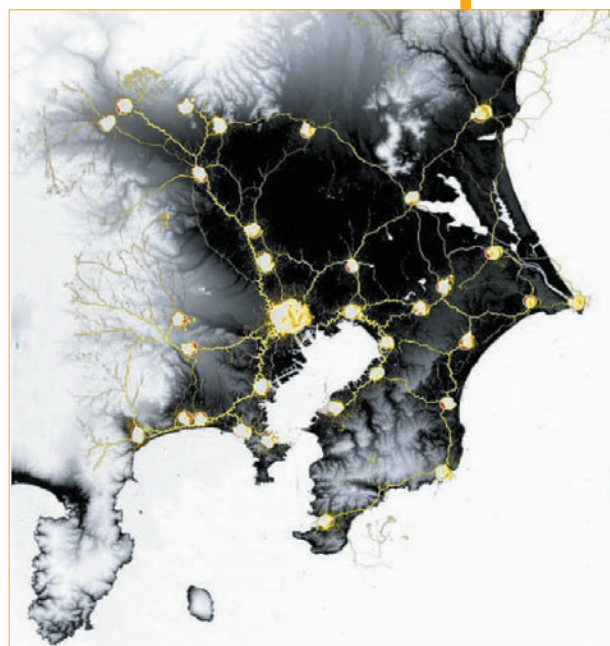
関東地方をかたどった容器（白い線で区切っている範囲）を用意する。

【図A】主要都市に粘菌の餌を置く（白い部分）。さらに、山手線内の区域に大きな餌を置き、その上に粘菌を置く（黄色い部分）。

【図B、C】粘菌は餌を求めて広がっていき、餌に接触するとその周囲に集まる。

【図D、E】やがて餌の周囲に集まった粘菌同士が、お互いに管状の輸送ネットワークをつなぎ始めていく。

【図F】輸送ネットワークは、粘菌にとって“うれしい”状態を選択をして、つながり切れたりしながら、最終的には主要駅を結ぶ効率的な粘菌ネットワークが完成する。



$$\frac{d}{dt} D_{ij} = f(|Q_{ij}|) - rD_{ij}$$

粘菌の管の成長方程式

上のA～Fの実験は、平面・均一な状態で粘菌にネットワークを作らせた。しかし、実際の地形では、標高の高い場所や湖のあるところなど、鉄道の敷設が難しく、コストも高くなる場所がある。そこで、実際の関東平野をモデルに、標高の高いところや湖にあたる部分に光を投影した。粘菌は光を嫌う性質があるので、「鉄道を造りにくい場所」＝「粘菌にとってうれしくない場所」ということになる。左図は、より精度を増した粘菌ネットワークとなった。

ところで、今回作られた管の成長方程式は、ほかの生物や現象についても応用できるという。

「数学は一般化が得意です。ある生物についてのある部分の考え方が、別の生物に応用してもうまくいくことがあるわけです。生物を研究する人は、扱っている生物や分野が細分化されてそれぞれに研究されがちです。そこで、一般化が得意な数学が、その架け橋になれると思っています」

## 時のアセスメント 環境変動への適応を理解する

生物の世界では、弱いものは淘汰されていく。現在の生物圏は、気の遠くなるほど長い年月のなかで、厳しい自然淘汰を乗り越えて生き延びてきたという実績がある。この実績に対する信頼が、これからの数理生物学のテーマとなりそうだ。

「生物というのは環境変動に強いわけです。今後は、時間的な変化も入れて、環境変動に強いネットワークの理論モデルも考えていきたいと思っています。たぶん、数理生物学としてはこちらも重要だと思っています」

## 数理生物学の醍醐味 使える数学の楽しさ

数理生物学の研究は、今後、ますます増えることが予想される。手老研究者は、数理生物学の醍醐味を次のように語る。

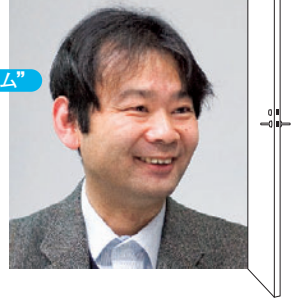
「最近、数学ばなれが多いと聞きますが、それには、『数学は現実に対して使えない』という誤解があるようです。数理生物学を見てもらえればわかるとおり、数学は現実の世界にも有効ですし、数理生物学は多くの人たちが興味を持ってくれる学問だと思います。粘菌が鉄道網をマネした、ともいえますが、じつは人間のほうがネットワークづくりについてはキャリアが浅いんです。鉄道は19世紀からですが、粘菌は何億年と生き延びて、ネットワークを作ってきたんですからね。さすが、老舗の技といえますか（笑）、環境変動に耐えてきただけはありますね」■



# ようこそ 私の研究室へ 36

先端計測分析技術・機器開発事業 “機器開発プログラム”

「高アスペクト比X線格子を用いた位相型高感度X線医用診断機器の開発」  
チームリーダー



## 百生 敦

誰もやらなかった方法で X線計測の可能性を開拓する  
位相イメージング技術でがんなどの早期診断に貢献します。

### PROFILE

百生 敦 (ももせ・あつし)

東京大学大学院  
新領域創成科学研究科 准教授

1962年、富山県生まれ。85年、東京大学工学部物理工学科卒業。  
87年、同大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程を  
修了し、(株)日立製作所に入社(基礎研究所配属)。96年、工  
学博士。97年3月～98年2月、欧州シンクロトン放射光研究機

構(ESRF)に客員研究員として留学。99年11月、東京大学大  
学院工学系研究科物理工学専攻助教授に就任。03年3月より  
現職。04年よりJST先端計測分析技術・機器開発事業のチー  
ムリーダーを務める。



レントゲンで柔らかな組織を写し  
リウマチやがんの早期診断に貢献

「医療現場で使われているレントゲン写真では鮮明に写らない、軟骨などの柔らかい組織を詳細に観察できるX線画像診断装置の開発に取り組んでいます」

X線を体に照射して体内を撮影するレントゲン検査。X線は物質を透過する際に一部吸収されるが、吸収量は物質の種類や厚みによって異なるので、透過したX線に濃淡が生じる。この濃淡がレントゲン写真だ。

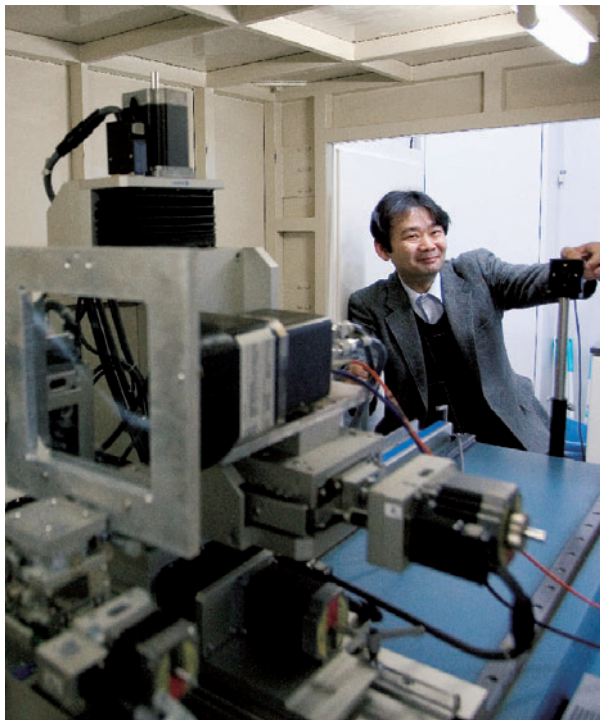
内臓のような柔らかな組織はX線をほとんど吸収しないため、写りにくい。そこで、造影剤を注入する方法や、MRIや超音波などの他の検査手段が開発されてきているが、患者の体

の負担になる、装置が高額、撮影領域が限られるなど、それぞれに条件がある。柔らかな組織も骨と同じようにX線で撮影できれば、診断上のメリットは大きい。

90年代に登場したX線の位相情報を利用する技術は、柔らかな組織の観察を可能にする。X線に限らず、電磁波は媒質によって伝搬速度が変わる。このため、違う媒質を通過してきたX線には位相にズレが生じる。位相イメージング技術は、このズレを検出して画像化するものだ。たんぱく質などに対して、従来の方法に比べ約1000倍の感度が期待できるといふ。

だが、医療現場での実用には大きな壁があった。位相イメージングに使用するX線には強度と質の高さが求められるため、これまでシンクロトン放射光(SR)という特殊なX線が使われてきたのだが、SRを発生させるには巨大な施設を要するのだ。

そこにブレークスルーをもたらしたのが、百生敦さんだ。「可視光域では以前から開発されていたタルボ(Talbot)干渉計を応用すれば、病院で使われているX線源で位相イメージングが可能です」。すでに試験機を開発済みで、病院に持ち込んで検体を使って実証実験中だ。「MRIよりも解像度が数十倍程度高く、格段に安い装置になる見込みですから、リウマチなどの軟骨病変やがんの早期診断に貢献できるのではないのでしょうか」



独り立ちした研究者に  
なりたいたい一心で道を切り拓く

「大学時代より一貫してX線光学の研究に取り組んできています。とはいえ、SRの研究室を選んだのはたまたまで、やりはじめてからこの分野のおもしろさに気づきました」

筑波の高エネルギー物理学研究所(現、高エネルギー加速器研究機構)で、世界有数の第2世代SR施設、フォトン・ファクトリー(PF)が稼働しはじめたのは1982年のことだ。大学4年生の百生さんは、このほやほやの施設で実験する幸運に恵まれた。

「子どもの頃から、極限の世界に憧れていたのですが、PFではノーベル賞級の仕事ができそうな気がして、夢中になって研究に打ち込みました」

博士課程へは家庭の事情もあり、進学しなかった。とはいえ、なんとしても研究者として独り立ちしたかった。さいわい、PFにビームライン(X線を取り出す経路)を持つ企業を紹介され、PFで研究する環境を得る。そこで、主業務のかたわら、独自の研究テーマを探した。

入社2年目の夏。「これだ!」と思うテーマを見つける。位相イメージングによるCT画像の撮影。これを位相CTと呼んでいる。X線で生体試料を立体観察しようというのだ。しかし、自由に使えるお金はなかったので、特許だけ書く。それでも、研究への思いは募る一方だ。翌年になってから、少しずつ研究費を捻出し、独自テーマの研究を主業務とかけもちする。

「使える時間は全部使うという感じで、休日も泊まり込みで実験していました」

着想から足かけ9年の96年。ウサギのがん化した肝臓のCT画像を一流学術誌に発表する。そんなものがX線で撮れるとは誰も思わなかった。一躍、国際的に知られる研究者となった。翌年には、当時の最先端、欧州



の第3世代SR施設で研究するオファーが舞い込んだ。



### 遊び心と行動力で分野を先導する

「タルボ干涉計という技術は、東大へ移ってから、輪読に使った教科書で偶然知りました。あっと思いました。古い技術ですが、X線に適用した例はありませんでした」

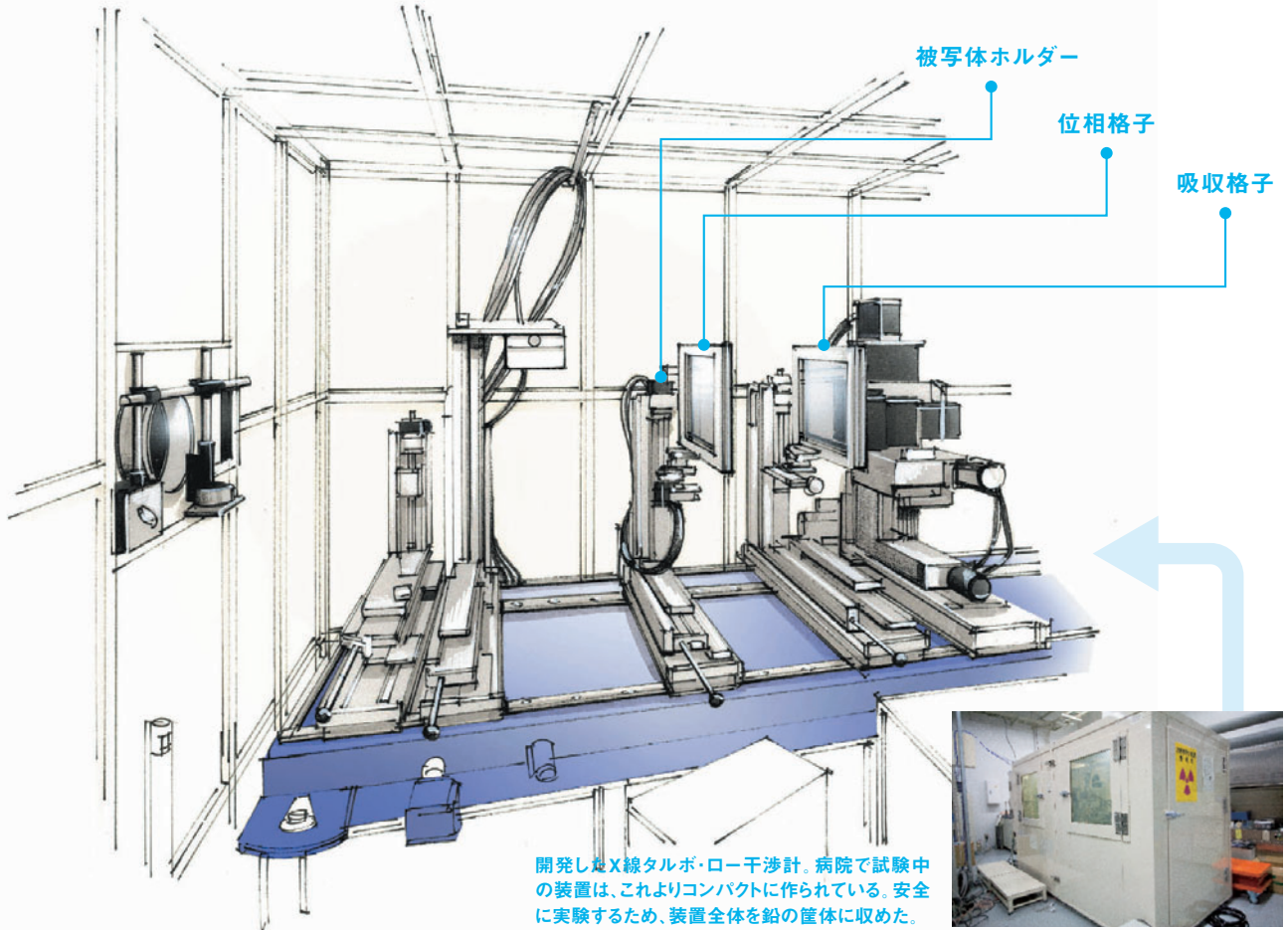
そのときすでに2月だったが、すぐに残っている

年度の研究費をかき集め、干涉計のカギになる格子を試作する。すると、X線でも干涉計が作れそうな手応えがあった。

「何かおもしろいテーマはないか、常に探しています。だから、教科書のほんの数行の記述でしたが、やり過ぎなかつたんです。テーマを選ぶときは、仮にその研究がもっとうまくいった場合に、どれだけのインパクトが期待できるかを検討します」。今回の場合は、医療現場での位相イメージングの実用化に道が拓けるということだ。

2003年に、世界初のX線タルボ干涉計の成果を発表する。前述の位相CTの研究もそうだが、いわば“コロンブスの卵”だ。位相CTのときは、上司が思わず尋ねたという。「どうしてこれまで誰もやっていなかったの?」

「そんなこと、僕にきかれてもネ」と笑う。「研究者に必要なのは遊び心。研究をしているときの脳の使い方は、学科の勉強より図画工作や音楽をやっているときのそれに近いのではないかと思います」

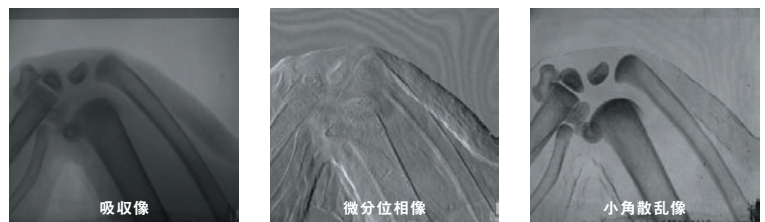


開発したX線タルボ・ロー干涉計。病院で試験中の装置は、これよりコンパクトに作られている。安全に実験するため、装置全体を鉛の筐体に収めた。

### 研究の概要

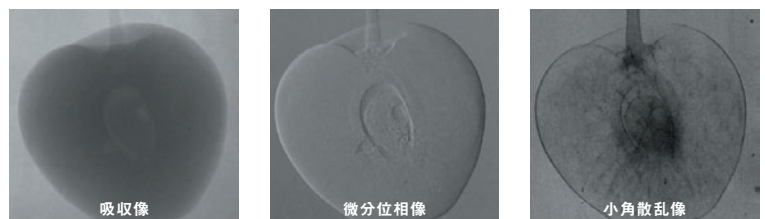
X線位相計測の新しい手法を研究している。JST先端計測分析技術・機器開発事業開発課題で採用しているのは、タルボ干涉計という原理。X線光源としてSRのような特殊な光源を要しないという長所がある。格子を透過した光が一定の距離で格子そのものの像を結ぶという19世紀に発見された現象を利用している。像のできる位置に同一の第2の格子を置くと、第1の格子直前に置かれた被写体を透過することで像の位相が乱されている場合、その乱れは、第2の格子との間に生じるモアレとして検出される。1度の測定で、吸収像、微分位相像、および小角散乱像が生成される。干涉計の開発で大きな課題になるのは格子を作ることだ。数ミクロン幅のスリットが並んだ構造で、遮蔽部分がX線を透過しないように、厚さ30ミクロンほどの金を盛る高度な微細加工技術を要し、プロジェクトメンバーの兵庫県立大学が開発を担当している。この干涉計に、露光時間を短縮するための改良を加えたタルボ・ロー(Talbot-Lau)干涉計を開発し、実用化を目指している。医療応用のほかに、非破壊検査などへの応用が期待されている。

### タルボ・ロー干涉計で得た画像 — 鶏手羽の観察例 —



吸収像は従来のレントゲン写真に相当。吸収像では見えない軟骨が、微分位相像で確認できる。

### — さくらんぼの観察例 —



小角散乱像ではさくらんぼの繊維まで写っている。「小角散乱像はお医者さんにとくに好評で、乳腺の撮影ができて、乳がんの早期診断に役立つのではないかと期待されています」(開発メンバーのコニカミノルタエムジー(株)により撮影)

4万人以上の先生が活用中!  
理科授業に役立つデジタル教材。

〈理科ねっとわーく〉は、  
小・中・高等学校の授業で使える  
“理科教育用デジタル教材”を集めたWebサイト。  
授業の単元に対応した約45,000点の  
動画・静止画で構成される  
約110タイトルのデジタル教材の  
活用例を毎月1タイトルずつ  
ご紹介いたします。

第12回

# 理科の先生がオススメする 私のイチ押しデジタル教材 身近な科学

## 授業例

神奈川県三浦市初声中学校

沖山 聡先生

中学校1年

「光」

## 授業の狙い

凸レンズのはたらきについての  
実験を行い、物体の位置と像の  
位置の関係を見だし、凸レン  
ズの「焦点」「像点」「像」を関  
連づけて基本的な理解を図ること。

1 理科室にあるものを使ってレンズ  
を作り、光を屈折させたり集めたり  
してみる。

2 凸レンズを通った光はどのような  
道筋を通過して像を映し出すか考え、  
ワークシートに記入する。

3 光の道筋を見るための実験方法  
の工夫を考え、実際に確認する。

確認:① 空気中を進む光の道筋  
は煙を使うと見える。② 凸レン  
ズを通った光は立体的に像を結ぶ  
点(像点)に集まる。

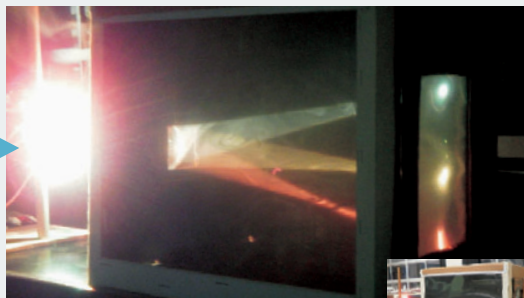
4 「光の道筋観察BOX」を使って、  
凸レンズによって出来る像は、上下・  
左右が逆になることを見いだす。

確認:3色の豆電球から出る光が  
レンズを通ると、どのように進んで  
どんな像が映るか考えよう。

5 最後にデジタルコンテンツを活用  
し、凸レンズの「焦点」「像点」「像」  
を関連づけて理解する。

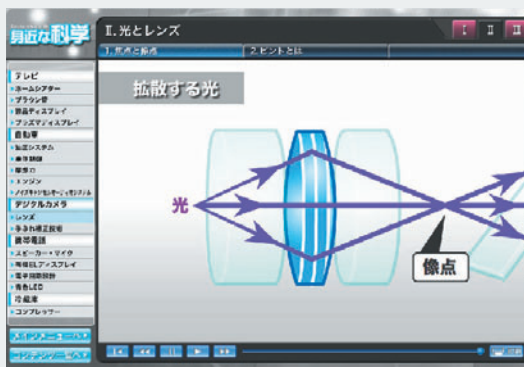
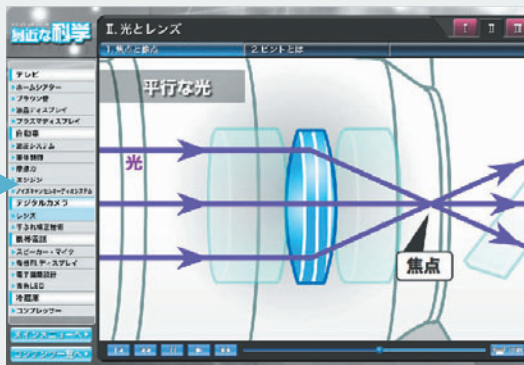
## 身近な科学

日常生活で便利に使っているテレビや自動車などのプロダクツ  
は、科学技術や理論が複雑に絡み合い、お互いを補い合い、そ  
の集大成として成り立っています。本コンテンツは、身近なプロ  
ダクツに搭載されている各技術の相関性とその理論を、わかり  
やすく解説しています。



「光の道筋観察BOX」と中に光が通る様子

## デジタルカメラ II.光とレンズ



実験によって得たイメージをデジタルコンテンツを活用して確認し、理  
解を深める。

## オススメポイントはココ! /

実験のあとの  
説明資料としての活用が  
便利です。



凸 レンズを通った光がどのよ  
うな道筋を進むのかを観察  
するために、手づくりの「光の道  
筋観察BOX」を用意しました。光  
源は赤黄青の3色の豆電球を縦  
に並べたもの、観察BOXはコピー  
用紙の段ボール箱を利用し、正  
面に観察用の窓を開け、中には  
線香の煙を満ちさせます。箱の横  
に取り付けた凸レンズを通った3色  
の光が、どのように進むかが観察  
できる仕組みです。

このような実験・観察を行った  
あとにデジタルコンテンツを活用  
すると便利です。今回の場合、凸  
レンズの焦点と像点や像の出来  
方の理解を深めるための説明資  
料として、イラストによる解説が実  
に効果的な役割を果たしてくれま  
した。

## 教育関係者向け

### 理科ねっとわーく

<http://www.rikanet.jst.go.jp/>  
非営利・教育目的という条件で、ホ  
ムページ上での簡単な利用者登録だ  
けで、無償で利用できます。

## 一般向け

### 理科ねっとわーく 一般公開版

<http://rikanet2.jst.go.jp/>

〈理科ねっとわーく〉のデジタル教材の  
なから一般公開が可能なものを、イ  
ンターネット上で公開しています。登  
録の必要はなく、どなたでも無料で閲覧  
できます。

一般の  
方もご覧  
いただけ  
ます!