

サイエンス

大阪大学 編

大阪大学発!

ときめき



大阪大学出版会

大阪大学発!

ときめき

サイエンス

大阪大学 編

大阪大学出版会

「問いかけ、 考え続けて生きる」

科学と哲学の対話 ——素粒子から宇宙の構造へ

◆ときめき対談

●シカゴ大学名誉教授 大阪大学招へい教授

南部陽一郎 Yoichiro Nambu

●大阪大学総長

鷲田清一 Kiyokazu Washida

ノーベル物理学賞受賞者、南部陽一郎シカゴ大学名誉教授は、アメリカと日本を歩き来し、大阪大学招へい教授として阪大生とディスカッションし、今も学生生活を続けている。「対称性の自発的破れ」の発見など、数々の先駆的な理論は、日々考え続ける生き方のなかから生まれた。理論物理学者と哲学者の対話は、素粒子から宇宙、生物、人間にまで及ぶ知的探検へと誘う。

「文理融合」の 一高時代

鷲田 大阪大学では昨年から、優秀な若手研究者に補助金を出して研究を支援する

「最先端ときめき研究推進事業」を始めています。「ときめき」と名づけたのは、学問をするからには心がドキドキワクワクときめかないといけないと思うからです。

南部先生のような、けた外れの大きさの研究者と接することができたら、それこそ学問の原動力になります。あんな人になりたいというあこがれとともに、先生がいらっしゃる場所はどれぐらい遠いのか、先生はどれぐらい深い底の方まで見ていらっしゃるのか、自分では計り知れない怖さもあるでしょう。先生をそばで見て、肌で感じることでできる、理学研究科の学生たちは幸せだと思います。

南部 「ときめき」という名称はいいですね。私自身も若いころに偉い先生方とお近づきになり、そんな感覚を覚えしました。私は東大の物理学科でしたが、東京文理科大学（現筑波大学）の朝永振一郎先生や理化学研究所の仁科芳雄先生のセミナーに参加し、末席で拝聴していました。

それから戦争が始まり、大学は繰り上げ卒業で、



大阪大学総合図書館にある
湯川記念室で

どんな現象でも 自分で処理できる安心感

陸軍の召集を受けて入隊しました。配属されたレーダーの研究所の一部が空襲を避けるため立川市から宝塚市に移り、私はそこで調査や研究に携わることになったのです。幸いにも、阪大の岡部金治郎先生や伏見康治先生などに研究所の顧問になっていただき、薫陶を受けることができました。私は技術中尉として軍服を着ており、先生方が「南部中尉殿」と呼ぶのが照れ臭くてしょうがなかったですね(笑)。

アメリカへ渡ってから、運よく20世紀の物理学の立役者である大先生がまだ存命中で、お会いすることができました。アインシュタインもその一人です。

鷺田 物理学と哲学は、学問のスタイルも方法も違うのですが、テーマが並行的と感ずることがあります。物質とは何か、ものが同じであるとはどういうことか、宇宙とは何か等々。

南部 確かにそうですね。旧制の第一高等学校で、我々がまず勉強したのは哲学です。3年間の寮生活で、私は理科でしたが、文科の人たちの影響を受けました。自分とは何かを考え、自己を発見することが大事だというので、哲学書も読みました。カントの『実践理性批判』はドイツ語で読みましたが、『純粹理性批判』になったらもうお手上げでした。

鷺田 カントの文章は、驚くほど長くて読みにくい文章です。

南部 そう、一つの文章が1ページぐらい続く。寮では一部屋に7〜8人が畳一畳のベッドに寝起きして、明け方まで文学や哲学の議論をしました。私の人生でいちばん楽しかった時代です。ひと月ぐらい続けて学校を休んで、トルストイの『戦争と平和』の英訳版を読んだこともあります。

鷺田 当時は、今のように「文理融合」などと言う必要もなかったわけですね。

鷺田 私は修士論文で「世界」という概念について書きました。先生は若いときに物理学を志し、今日までいろんな理論を提示してられました。先生にとって世界は、理論の形成とともに違って見えてきたのでしょうか。それとも、だんだんよく見えてきたのでしょうか。

南部 そうですね、だんだんよく見えてきたと言えるでしょうか。しかも、スケールが小さくもなるし大きくもなる。原子の中に何があるか、その中にまた何があるかと、最小の構成要素まで議論することができるようになると同時に、逆に非常に大きな宇宙全体の構造を議論することもできるようになりました。そこに同じ理論を当てはめて、宇宙にも始まりがあり、宇宙はどんどん大きくなっていることも分かってきました。それを単なる観念的な理論ではなくて実験的に、観測によって確かめることができたようになったのです。

鷺田 物理学の理論は、例えば違う粒子や違う現象が見つかったら、全部語り直しをしないといけなくなることはないのですか。

南部 全部を語り直すということではありません。だんだんと進歩するとか、変更し、拡張することによって、新しいことも分かってきます。なぜだろう、なぜこんなことが起きるのだろうと考えても、分からないことがたくさんありますね。ところが、物理の基本法則というのは非常に簡単なもので、1ページに書き出せるくらいです。それだけマスターすれば、どんな問題に当たっても、これは何だろうというとき、何とかすれば解けるだろうという安心感があるのです。実際に解くのは大変なことです、どんな現象でも、とにかく自分で処理できるという気がするのです。そういう一種の安心感があって、私は物理学をやっているのです。

南部陽一郎(なんぶ・よういちろう) 1921年東京府東京市生まれ。23年関東大震災に遭遇し福井市に転居。42年東京帝国大学理学部物理学科卒業。兵役に服したのち、東京大学で研究生生活に入り、49年新設の大阪市立大学に移り、50年教授。52年渡米し、プリンストン高等研究所、シカゴ大学の研究員などを経て、58年同大学教授。70年にアメリカに帰化(市民権取得)。91年同大学名誉教授。95年大阪大学名誉博士。第二次世界大戦後の素粒子物理学の発展を担った代表的な理論物理学者。78年文化勲章受章。日本学士院会員。アメリカ科学アカデミー会員。マックス・プランク・メダル、ディラック賞、ウルフ物理学賞など多くの賞を受賞。2008年「対称性の自発的破れ」の仕組みを発見したことが評価され、ノーベル物理学賞を受賞。大阪大学大学院理学研究科招へい教授。



宇宙の構造を 探る時代

南部 実験が進歩して精密になってくると、今まで見られなかったことが見えてきて、新しい事実が発見されます。そうす

ると、今までの理論では説明できないことが見つかってきます。そこでどうしたらいいか。それが研究の課題です。今までの理論でたいい説明できるのですが、できないこともあり得る。今の理論でだめなら、新しい理論を作る。それを繰り返しているわけです。

鷲田 理論を突きつめていくことと、新しいことが実験で出てきて、それを説明するために理論を修正していくということですね。

南部 その通りです。それを何回も繰り返して、物理学は進歩してきました。物理学の元祖、ニュートンのおかげで、数学的な精緻な理論ができて、それを応用する時代が200年間ほど続きました。19世紀にファラデーやマクスウェルが電磁誘導の法則など、電磁場の基礎理論を確立しましたが、これは本質的に新しい物理学です。

それから20世紀に入って、目に見える現象とは異なる、非常に小さいものの構造を探る量子力学が出てきました。私は学生時代に、湯川秀樹さんの素粒子論の多大な影響を受けました。湯川さんは素粒子物理学の元祖といってよいと思います。20世紀は、量子力学を完成させる時代でした。そして21世紀

は、宇宙の構造を探る時代になるでしょう。

私の考えでは、宇宙は一種の舞台みたいなものです。舞台だったら(映画もそうですが)、シナリオを書いた人がいるはずですが、シナリオと舞台のどちらが先か。シナリオが先で、それを一つの例として舞台を作ったのなら、同じシナリオ、同じ法則を使って、他の舞台があってもいいはず。本当に宇宙は一つしかないのだろうか。同じ法則で、必ず同じ宇宙ができるとはかぎらないわけですね。

鷲田 哲学者のライプニッツが、それを「理由律」と呼んでいます。この世界はこうであったけど、こうでもありえた。なのに、この世界になっている。その理由って何なのだろう。しかも、人間はありえた世界のことも考えられる。これはなぜなのだろうか、と。

南部 100年前には、宇宙は無限であるとか、いろんなことが言われていました。現在では、宇宙の歴史は137億年前に始まり、膨張していることまで分かっている。しかし、私たちがそういう時期に生まれてきたのは、それはいったいどういうことなんだろうか。それが分からない。

鷲田 それはまた、ピカソのような天才なら、別に16世紀に出てもいいのに、なぜ20世紀に出たのかという、歴史的な必然と偶然をどう考えるかということにつながります。



鷺田清一(わした・きよかず) 1949年京都市生まれ。京都大学文学部卒業。関西大学教授、大阪大学文学部教授、文学研究科長、理事・副学長を経て、2007年8月に大阪大学総長就任。専門は哲学、倫理学。これまで、現象学の視点から、身体、他者、顔、規範、所有、モード、国家などを論じるとともに、美術・ファッション批評などをおこなってきたが、近年は哲学的思考をケアや教育など社会のさまざまな現象につなげる「臨床哲学」のプロジェクトに取り組んでいる。

主著に『モードの迷宮』(ちくま学芸文庫、サントリー学芸賞)、『「聴く」ことの力』(TBSブリタニカ、桑原武夫学芸賞)、『悲鳴をあげる身体』(PHP新書)、『老いの空白』(弘文堂)など。2004年紫綬褒章。

頭の中で数式が動く

鷺田 そういう問題を掘り下げて考えていくと、答えが出るまで、うんと長い時間、ああでもない、こうでもない、と頭が熱くなるような時間がずうっと続くわけですね。私はそれを潜水にたとえています。海やプールで潜ったまま息がつけなくて、到達点が見えずに考え続けるのは、相当な知的体力がいります。今の日本の社会は、若い人も長時間の潜水が苦手です。テレビのニュースを見ていても、そう感じます。分かりやすい物事の決着や白黒をすぐにつけたがる。いわば知的潜水の力が低下してきているのではないのでしょうか。

南部 そうですね。私はいつでも考えることが楽しいのです。考え続けていると、時々「分かった」という瞬間があります。

鷺田 先生が次の「分かった」に行くまでには、長いときはどれぐらいなのか。1年、2年かかることもあるのでしょうか。

南部 もちろん、今やっていることは2年ちょっと前に始めたことです。毎日やっている、少しずつ進歩してくるのが楽しいのです。

鷺田 ええ一つ。楽しいと簡単におっしゃいますけれど、着地点が見えず、苦しいこともおありでしょう。

南部 先は見えません。何ができるか分かりません。でも、毎日とは限らないけれど進歩がある。それが楽しいですね。自分として満足のできるような進歩があると、新しいことが分かってくる。

鷺田 進歩というのは、昨日より今日のほうが前に進んだ、説明のできることが増えたという感覚なんですか。

南部 そうですね、新しい説明ができることもあります。私は数学で考えているわけですし、こういうことが解けてきた、答えが出てきた、それが楽しいのです。頭の中で、言葉と共に数式が動いている状態です。言葉は主に英語が出てきますね。

鷺田 そのところが、なかなか実感として分かりません。以前、ある会議で幸福論についての講演を、数学者の廣中平祐さんの隣に座って聴いたことがあります。廣中さんは大きい封筒の裏側に、数式や記号みたいなものばかり書いていらっしまった。あとで、それは何なのか、とお尋ねしたら、聴きながら頭を整理していたんだ、とおっしゃったので驚きました。

南部先生も数学でお考えになっているそうですが、私たちはふつう言葉、つまり概念で考えるものですから。もちろん概念も数式も記号だから、同じことかもしれません。

南部 そうです。数学の式も言葉の一種ですから。昔、そろばんがありましたね。そろばんは、頭の中で珠を動かしています。あれと似ています。

鷺田 そろばんは、私は3級ぐらいまでしか進みませんでした。上達すると桁数がぐんと増えても、ずっと答えが出てくる。やっぱり筋肉で考えているようなところがあります。

南部 そうでしょう。腕が動いているような感じです。



理解しやすい 実感を伴う

鷲田 人間の体って、不思議ですね。子どもが字を書けるようになるまで時間がかかりますが、いったん字を覚えると、手の筋肉を使わずに、口でも書けるし、足でも書けます。

南部 それで思い出しましたが、最近、私の元の学生とメールのやりとりをしていて、こんなことを考えました。動物というのは、まさに動く物ですね。物理の基本的な概念で、力、運動、エネルギーなどは、本質的に我々が実感できるものです。それが非常に役に立つ。もし、植物に意識があったとしても、ニュートン力学は理解できないだろうと思うのです。植物は動けないから、物が動いても、我々のように何か力が働いたことを実感できず、なぜ動けたかが分からないでしょう。

また、温度の感覚が全然ない人に対して、温度とは何かを説明しようとしても難しい。我々は温度を実感できるから、熱力学は理解しやすいのです。ところが、ただ一つ理解しにくいものがあつた。そのため、私は一高時代に落第点を取ったことがあります。エントロピーという概念が、どうしても実感できず、分らなかったのです。シュレディンガーという著名な理論物理学者が、人間などの生物体は負のエントロピーを食べて生きています。つまり、エントロピーを消費し、小さくして生きていくというわけです。

エントロピーとは、「無秩序さの度合い」などと説明されますが、元は熱力学の概念です。例えば、熱い紅茶を放っておくと、だんだん冷めて室温と同じ温度になっていく。今まで質量のあつたものがしだ

いにばらばらになり、ガスになってしまう。それが自然界の原則であるけれども、生物体は逆に、生命活動をして秩序を維持しようとしている。生きていくのに負のエントロピーを食べていると聞いても、実感がない。それで私は理解できなかった。しかし、落第点が励みになって、なにくそっと思って勉強しました。

一生問いかけ続けよう

鷲田 先生のお話を伺っていると、私が物理学に対して持っていたイメージが揺るがされました。リジッドな枠組みや構造を考えるというよりも、絶えず流動しているものなのですね。そうすると、古代ギリシャの万物流転の考え方や、仏教の因果の考え方などと、意外と近くに感じられます。

南部 そうでしょうね。今まで当たり前だと思っていること、固定観念を捨てなければいけません。当然のことだと思っていることも、時には見直すことが必要ですね。

鷲田 哲学者は、分かっていると思っていたことが分からなくなるとうれしくなる種族です。固定観念から解放されて、新たな視座をつくっていくという点では物理学と同じです。

最後に、学生諸君にひと言メッセージをお願いいたします。

南部 大学教育は、社会に役に立つ人間を大量生産する工場のように見えますが、それではだめです。人間は、一人一人が部品じゃない。一人一人個性があつて、能力は違っていても一人一人に人間としての価値があります。学ぶということは、受動的に人から習うのではなくて、自分から求める精神が大事です。それは大学の教育が終わったらおしまいではなくて、一生続けるんだということを意識して勉強してください。

鷲田 そのためには、自分自身が問いを持つこと。問いを見つけて、問いかけ続けてほしい、集中して考えつめていく力を身につけてほしいと思います。本日はどうもありがとうございました。

「サイエンスは ときめきだ!」

大阪大学の研究の 原点と未来

座談会

● 総長

鷲田清一

Kiyokazu Washida

● 理事・副学長

西尾章治郎

Shojiro Nishio

司会 ● 産学連携推進本部イノベーション創出部
特任准教授

門村幸夜

Sachiyo Kadamura

◆ 阪大は「ときめき」と「あこがれ」の場

門村 『ときめきサイエンス』という本書のタイトルにある「ときめき」は、大阪大学の研究を語るうえで重要な意味を持っています。本学は研究の三つの精神として「基本」「ときめき」「責任」を掲げています。大学で「ときめき」というと、ちょっと異質な感じもしますが、なぜ「ときめき」なのでしょう？鷲田 学問や研究は、集中しないとできません。おもしろくて、心がワクワクときめいていないと、寝食を忘れるほど集中し続けることはできないのです。「基本」とは、目の前の効用や有用性にとらわれることなく基礎研究を大事にすること。「責任」とは、自分の研究で社会に応えること。家にも帰らないくらい夢中になって研究ができるのは、何か支えがあるから。「人類のために」から「家族のために」まで、自分は何ができるか、何をしなくてはならないか、という意識をしっかり持ってほしい。そして研究精神の一つに、心に訴える、キラリと光る「ときめき」を入れていることが、大阪大学の特色です。

大阪大学の学問の原点「適塾」は、日本の近代化に貢献した人物を輩出した。その伝統は脈々と今に受け継がれ、未来へつながる。阪大の研究者たちは、ときめき、あこがれ、とことん挑戦する。サイエンスはときめきだ！君もときめいてみないか。





鷺田清一 総長

門村 大学は、「ときめき」の場なんですね。

西尾 それはもう、「おもしろくておもしろくて、しゃあない」と思えることが大切ですね。私は大学院生のころ、指導していただいている先生の首を縦に振らせることを目指しておりました。工学分野の中でも数学、物理に近い数理工学を専攻していましたが、取り組んでいる課題の解が得られたと思って先生の前で板書しながら説明していくと、たいてい途中で不備な点や間違いを指摘される。そこで、先生が納得されて首を縦に振ってくださる瞬間のために、寝る間も惜しんで研究を続けていましたね。それは、おもしろいと思ったからできたのでしょうか。

鷺田 私も、この先生を論破し、まいったと言わせてやろうと思って勉強した時期があります。それは先生が嫌いなのではなく、あこがれの人だから。「ときめき」には、ワクワクするおもしろさとともに、「あこがれ」もあります。

フランスの哲学者のベルクソンは、道徳や倫理の基礎にあるのは、「あこがれ」の気持ちだと言っています。これをしないといけなく、してはいけないと感じるのは、立派な人に触れて、あこがれ、自分もあんな人になりたいという気持ちが起きたときだと。大学で学んで心ときめくことには、今まで自分が想像もしなかった問いに触れる、そういう問いを立てて夢中になって格闘している人に触れる、二重のお

もしろさとあこがれがあるのです。

門村 自分の理想像をちゃんとイメージできるお手本が、身近にあるということなんですね。世界的な研究をされている先生方が、学食で学生と同じものを食べ、一緒に話をなさっている姿に接することができる。それもまた、ときめきの場ですよ。

◆ 適塾は2科目で何を教えたか

門村 大阪大学は今年、創立80周年を迎えました。その学問・研究の原点について。

鷺田 大阪大学の学問の原点は、1724年に町人のための学問所として創設された「懐徳堂」と、1838年に緒方洪庵が開いた「適塾」です。適塾で学んだ人たちは医者になっただけでなく、幕末から明治にかけて各界で活躍しています。文明開化を先導した言論人・福澤諭吉、日本陸軍の創始者・大村益次郎、明治の殖産興業、とくに技術畑で力を発揮した大鳥圭介、日本赤十字社の初代社長・佐野常民ほか、日本の近代社会をつくった人々を輩出しました。

私が不思議に思うのは、洪庵はオランダ語と医学の2科目しか教えなかったのに、その後の社会のリーダーを多数生み出したことです。この話をしたとき、文部科学副大臣の鈴木寛さんが、「2科目しか教えなかった、あるいは2科目を教えたのではなくて、2科目で教えたことが大事なんじゃないですか」とおっ



西尾章治郎 副学長・理事(プロフィールはp152に)

しゃられました。つまり、2科目を通じて何を教えたか、ということが大事なんだと。私は思わず、いい見方をしているなと感心しました。

西尾 そのお話をもう少し狭めて、工学系の学問に即して言いますと、目的指向と手法指向があります。目的指向とは、対象分野が明確で実際の現場でしっかり役立つ学問。私の専攻した数理工学は、特定の具体的な対象物はなくて、その時々与えられた課題をいかにモデル化や数式化をし、それをどう解決していくかという手法の学問です。そのために数学や物理については相当高度なレベルまでたたきこまれました。その手法をきっちり学んでいけば、世の中の新しい事象や新たな学問領域が出てきても、ベースがあるからまったく怖くないのです。そういう意味で、恐らく適塾では、目的指向よりも手法指向の教え、さらに人生や生き方に関しても、どう考え、どう生きていくのかというような根源的なことが、2科目の中でしっかり教えられていたのではないのでしょうか。

鷺田 なるほど。さらに付け加えると、「とことん」という言葉がキーワードになるかもしれません。1冊の辞書を塾生が取り合いするような状況でしたから、みんなが寝ている間に読まなければいけない。授業でトップにならないと、上のクラスに行けない。トップを続けたら、今度は先生の代理ができるよう



門村幸夜(かどむら・さちよ) 京都市生まれ。奈良女子大学理学部卒。造園コンサルティング会社、新聞社勤務を経て、1989年からテレビ番組キャスター・リポーター、生活ジャーナリストとして活動。2008年11月から現職。産学連携プロジェクトの立案・推進業務を手がける。趣味は写真撮影、茶道・武者小路千家、トレッキング(特に熱帯雨林)。

になる。そうすると、もう必死で勉強する。一生に一度ぐらい、死ぬかもしれないと思うほど打ち込んで、何かを成し遂げたという経験をすれば、他の全く違うことに挑戦しても、とことんやるというのはどういうことか、身体感覚で分かるのではないのでしょうか。

博士号というのは、本来そういうものなのでしょう。ある分野について何でも知っていることではなく、精密な分析や実験を繰り返して、成果を出し論文にすることまで、厳しく精緻な知的プロジェクトをやり遂げたという証しです。

西尾 そこで大事なのは、やり遂げたという達成感です。それこそがその人の自信になり、世の中に出てから生きてくるはずですよ。

◆ 定説を覆すことがインセンティブになる

門村 ワクワクときめき、あこがれつつ、とことんやってみる。先生方の場合、それは何だったのですか。

鷲田 私が哲学にのめりこんでいったのは、なんで自分がこうであるのか、納得できないと死ねないと思ったから。いろんなテーマに挑戦ばかりしているから、挫折したことはないと言えるし、本を書き上げるとすぐ弱い部分が見えてくるから、毎回挫折とも言える。

卒業論文では他者とは何か、修士論文では世界とは何か、を追究しました。従来、世界とは存在するものの全体、あるいは存在したかもしれないものを足した全体と考えられてきましたが、私はそういうトータルな全体とは異なる世界の概念を探索したのです。

その後、身近なところで、ファッションの問題、顔の問題、身体の問題、さらに見ること、聴くこと、待つことなどを考えてきました。私の場合は、哲学者がばかにして、軽いと思って誰も論じてこなかったものばかりをテーマにしてきました。ファッションのようにシーズンごとにくところろ流行が変わる、価値が変わるものに哲学者がかかわってはいけなさとされ、普遍的な価値を持つものだけを探索するのが哲学者の常でした。しかし、モードはいまの社会の汎通的論理です。聴くことも待つことも無為の象徴のように思われていますが、本当はエネルギーの要る行為なのです。

西尾 そういう挑戦は、私たちの情報科学の研究にも通じるものがあり、定説に対する疑問が研究のインセンティブになります。情報システム構築上のある定説が本当に現実的かどうかという疑いが起こり、論文をいくつか読み込んでいくと、書かれていることが微妙に異なることに気づく。それが本質的にどういうところで曖昧になっているのかを突き詰めていくと、定説を覆すヒントが得られることがしばしばあります。もし、定説を覆す結果が得られたら、さらに大切なことがあります。情報システム分野は技術革新が激しく、システム環境が年々急速に変化していきます。そこで、自分が得た結果の普遍性を明らかにするには、その導いた結果を新たな環境に

貪欲に適用して有効性を示していく粘り強さが重要です。

◆ 日本初の基礎工学部、人間科学部

門村 大阪大学は創立時、医学部と理学部の2学部でした。

鷲田 医学部と理学部で出発したことには、重大な意味があるのです。適塾の伝統を受け継ぐ医学部。まっさらの理学部。最も大きく社会に貢献できる医療の世界と、片や純理論の世界。両極端です。長岡半太郎・初代総長が八木アンテナで知られる八木秀次さんら、新奇なことをしようという志を持つトップクラスの人材を集めてスタートしました。2年後には工学部も設置され、湯川秀樹さんが理学部の講師となり、ノーベル賞受賞の対象となった中間子論を発表されました。

戦後は文系学部を加えて総合大学となり、薬学部、基礎工学部、人間科学部と、どんどん学問のすそ野を広げてきました。1961年設置の基礎工学部は、今も全国で唯一です。理学でも工学でもない、サイエンスとテクノロジーにまたがる領域を開拓してきました。基礎工学部で理論的な工学分野を追究できるから、逆に工学部は一層応用的な研究、実用的な開発を進められる。二つが拮抗し、競争していることが、阪大の理工系の研究を活気づけています。

門村 人間科学部は今では他大学にもありますが、1972年の設置当時は異色の学部だったのでしょうか？

鷲田 もちろん。人間科学、ヒューマンサイエンスという呼び名などなく、日本で最初の文理融合の学部です。文学部が気前よく、社会学、心理学、教育学の人材を出し、理系の分野も加えて創設しました。文学部の方も、哲学、史学、文学の3本柱のほかに、美学、文芸学、演劇学、音楽学、東洋美術史、西洋美術史といった芸術学の講座を開講し、木村重信さん、山崎正和さんなどのスター教授をそろえました。

私は二番煎じが嫌い、よその大学のまねをするなとうるさく言っているのですが、斬新なことへの



挑戦は、実は阪大の伝統の顔なんです。

門村 最近では、大阪外国語大学との統合がビッグニュースですね。

西尾 箕面キャンパスの学生の多くは、世界へ羽ばたくことにあこがれて入学してきており、本当に元気がいいですね。また、外国語学部の日本語を含む25の専攻言語(研究外国語を合わせると約60言語)の先生方は、その国の言語と文化に深い知識をもっておられます。これは阪大にとどまらず、日本の国際貢献やビジネスの大きな力となります。今後、産業界とも交流を深めて、産学連携の視点からも海外への活動を展開されると、学生たちの海外活躍に対するあこがれはさらに増し、一段と活気づいてくる気がします。

◆ 21世紀の研究は異分野との連携・融合

門村 若手研究者を支援する「最先端ときめき研究推進事業」が、昨年から始まっています。

西尾 国の競争的資金によるプロジェクト研究では、政策主導型のトップダウンなものが多く、短期間での成果が求められます。しかし、基礎研究の継続的な取り組みの中から、今後大きく花開いていくようなテーマが、大阪大学にはいっぱいあります。そういう研究をしっかりと育てあげ、強固な拠点形成ができるところまで、大学として支援しようというのがねらいです。52件の応募があり、4件に「ときめき研究アワード」を授与しました。その際、異分野

との連携・融合を目指す内容となっていることを申請の条件としました。21世紀の研究は、理工系、人文系を問わず、異分野とクロスすることが真のイノベーションを起こすポイントになると思います。

鷺田 大阪大学では学部から大学院を通じて、「教養」「デザイン力」「国際性」を身につけた学生を育てることを教育目標としています。デザイン力とは、まさに異質なものを組み合わせること。それは多様な発想の組み合わせ、異質な人材のネットワークです。

また、学部よりも大学院こそ教養が重要だと考えて、コミュニケーションデザイン・センターを中心に、大学院生の共通教育や市民も参加できる社会学連携・文理融合のプログラムを展開しています。私は、阪大の創立当時の息吹やときめきを、今の阪大の空気にしたいと思っていますのです。

西尾 本書「ときめきサイエンス」には、適塾の流れをくむ医学系やバイオ系の研究をはじめ、多くの方々に夢を与えるロボットの研究など、数々の魅力的な研究内容が、研究者の生き生きとした顔とともに紹介されています。阪大には、ここに掲載の研究以外にも、先進的な研究プロジェクトや独創的な試みも目白押しです。そして私たちは、未来に向けて、阪大でときめきを共にしたいという希望に燃える若い人たちを歓迎します。

門村 お話を伺っていると、こちらまでときめきが伝わってきました。ときめきながら研究し続けるって、なんてすてきなんでしょう。

目次

◆ときめき対談002

「問いかけ、考え続けて生きる」

科学と哲学の対話——素粒子から宇宙の構造へ

シカゴ大学名誉教授 大阪大学招へい教授

南部陽一郎

大阪大学総長 鷲田 清一

◆座談会007

「サイエンスはときめきだ!」

大阪大学の研究の原点と未来

総長 鷲田 清一

理事・副学長 西尾章治郎

産学連携推進本部イノベーション創出部特任教授

門村 幸夜

第1章 難病に挑む 015

免疫

臨床医…若き日の経験生かし医学の先端へ016

免疫学フロンティア研究センター(IFReC)

審良 静男 教授

◆ときめき 研究最前線018

生体内での免疫の働きを解明する

ワクチン免疫療法でがん治療の未来を変える022

医学系研究科 杉山治夫 教授

◆ときめき 研究最前線024

日本発 夢のがんワクチン誕生へ

伝達物質としての亜鉛を探究026

生命機能研究科 平野俊夫 教授

再生医療

心不全に前例のない医療で挑む028

医学系研究科 澤 芳樹 教授

◆ときめき 研究最前線030

国立大系最多手術数が示す伝統と実績

歯根膜に眠る幹細胞が骨や歯茎を再生032

歯学研究科 村上伸也 教授

◆ときめき 研究最前線034

世界初 歯周組織再生の薬が実現へ

生体分子・細胞

生き物としてのウイルスに興味と畏敬036

微生物病研究所 松浦善治 教授

核膜孔通るタンパク質の“船” 解明続く038

生命機能研究科 米田悦啓 教授

◆ときめき 研究最前線040

細胞内オルガネラ間の対話メカニズムを究明

ポストゲノム

タンパク質解析から人体の神秘に迫る044

蛋白質研究所 中川敦史 教授

◆ときめき 研究最前線046

エックス線回折法で生体超分子複合体を解析

後天的な遺伝情報制御のメカニズム解明048

生命機能研究科 仲野 徹 教授

創薬

医薬品のシーズ求め海底生物採取050

薬学研究科 小林資正 教授

◆ときめき 研究最前線052

海綿から抗がん効果物質を発見

医工融合

垣根を越えた研究で産業支える人材を054

医学系研究科 倉智嘉久 教授

◆ときめき 研究最前線056

計算機内に“バーチャル生体”

第2章 ナノサイエンス I 059

生体のナノテクノロジー

DNAをナノデバイスに「脳型メモリー」も可能060

産業科学研究所 川合知二 特任教授

無限の可能性秘めるDNA解読後の世界062

産業科学研究所 中谷和彦 教授

◆ときめき 研究最前線064

未来の健康と安全を実現する

生命分子の「ゆらぎ」発見 技術革新へ068

生命機能研究科 柳田敏雄 特任教授

◆ときめき 研究最前線070

生命のかたちと動きをデザイン

第3章 ロボットと心 073

アンドロイド通じ人間見つめる 074

基礎工学研究科 石黒 浩 教授

“脳のメモ帳”活用し 理解力大切にしたい 076

人間科学研究科 苅阪満里子 教授

◆と・き・め・き 研究最前線 078

ロボット研究が深める人間理解

第4章 ことばと文化 081

「役割語」 日本発信の新しい学問に 082

文学研究科 金水 敏 教授

コミュニケーションの多様性が言語を育てる 084

文学研究科 工藤真由美 教授

ことばと人の心の微妙な関係「面白い」 086

言語文化研究科 沖田知子 教授

衣服はその時代の社会を映す 088

文学研究科 武田佐知子 教授

シャガールにみる命の営み 090

文学研究科 園府寺 司 教授

大衆音楽の起源は東欧に 092

文学研究科 伊東信宏 教授

実践的な会話通じ現地にとけ込む人材育成 094

世界言語研究センター 山根 聡 教授

人との出会い大切にして異文化理解 096

国際教育交流センター 有川友子 教授

●訪ねてみよう! 大阪大学総合学術博物館 ① 098

脈々と受け継がれる素粒子物理学の伝統

第5章 ナノサイエンス II 099

神秘を解き明かす物理学

ニュートリノ観測で物質の起源がわかる 100

理学研究科 岸本忠史 教授

◆と・き・め・き 研究最前線 102

物理学の最前線担うCANDLES (キャンドルズ) 計画

ナノテクノロジーは可能性無限大 104

工学研究科 森田清三 教授

マイナス196度の世界から超伝導を取り出す 106

基礎工学研究科 北岡良雄 教授

「高温超伝導」解明へ尽きぬ探究心 108

理学研究科 田島節子 教授

夢の技術「量子情報処理」いつか家庭に 110

基礎工学研究科 井元信之 教授

◆と・き・め・き 研究最前線 112

夢の「室温超伝導」物質創成へ

ナノレベルのものづくり

“粉”からみえる世界解き明かす 116

接合科学研究所 内藤牧男 教授

◆と・き・め・き 研究最前線 118

ナノ粒子接合技術で新材料の開発と
材料の高機能化を実現

夢は「究極の分子コンピューター」作製 120

基礎工学研究科 茅田博一 教授

直感頼りナノサイズの分子の鎖に挑戦 122

工学研究科 赤井 恵 助教

夢の光 XFEL 使った顕微鏡システム開発 124

工学研究科 山内和人 教授

◆と・き・め・き 研究最前線 126

精度・環境負荷の限界を打ち破る

ミクロの世界から人類の未来を切り開く 130

超高压電子顕微鏡センター 森 博太郎 特任教授

ナノメートルのフィールドで見えない世界探究 132

工学研究科 河田 聡 教授

◆と・き・め・き 研究最前線 134

「エレクトロニクス」から「フォトニクス」へ

第6章 産学・社会連携 137

産学連携

共利共生実現へ

受け継がれる産学連携のDNA 138

産学連携推進本部 正城敏博 教授

社会学連携

科学者と市民が議論する場を 140

コミュニケーションデザイン・センター 小林傳司 教授

「大切なのは感性」人間見つめる視点を 142

コミュニケーションデザイン・センター 平田オリザ 教授

奥深い浪花文化伝える知のハンター	144
総合学術博物館 橋爪節也 教授	
「懷徳堂」の教え 現代社会にこそ必要	146
文学研究科 湯浅邦弘 教授	
●訪ねてみよう! 大阪大学総合学術博物館②	148
コンピューターの誕生	

第7章 情報技術の新展開 149

“生物学”から見える情報ネットワークの未来	150
情報科学研究科 村田正幸 教授	
人に寄り添う情報空間を探索	152
西尾章治郎 理事・副学長	
人間に寄り添うコンピューター 夢は間近に	154
サイバーメディアセンター 竹村治雄 教授	
人智を超えた細胞の不思議解明へ	156
情報科学研究科 清水 浩 教授	
◆と・き・め・き 研究最前線	158
「いま、ここで、あなたのために」	

第8章 ナノサイエンス III 161

次世代エネルギー	
コンパクトな“日本型”レーザー核融合発電	162
レーザーエネルギー学研究センター 疇地 宏 教授	
◆と・き・め・き 研究最前線	164
宇宙誕生の瞬間をレーザーで再現	
化学は環境問題解決の救世主	166
工学研究科 福住俊一 教授	
新しい太陽電池の理想はクロロフィル	168
太陽エネルギー化学研究センター 松村道雄 教授	
直径10億分の1メートル「超分子」に無限の可能性	170
理学研究科 原田 明 教授	
◆と・き・め・き 研究最前線	172
化学が地球を救う	
新材料	
極限状況で最適な「材料」導く脱・錬金術	176
工学研究科 掛下知行 教授	
◆と・き・め・き 研究最前線	178
材料が切り開く未来	

次世代電子デバイス	
「アナログの大切さ」若い世代に伝えたい	182
工学研究科 谷口研二 教授	
非常識が生んだタンパク質結晶化技術	184
工学研究科 森 勇介 教授	
◆と・き・め・き 研究最前線	186
「真の博士」とは?	

第9章 複雑化する世界と経済 189

グローバル化 現実を理解するため現場へ	190
小泉潤二 理事・副学長	
真の国際化に適応できる人材育成の場に	192
人間科学研究科 栗本英世 教授	
◆と・き・め・き 研究最前線	194
徹底して貫かれる現場主義	
●訪ねてみよう! 大阪大学総合学術博物館③	197
国産第1号の電子顕微鏡	

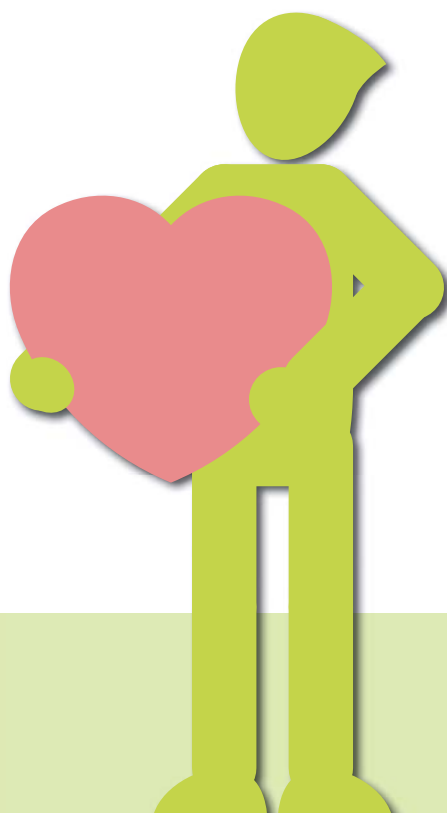
国連外交最前線の経験伝える	198
国際公共政策研究科 星野俊也 教授	
真の国際化へ 誰でも分かる法律文を	200
国際公共政策研究科 野村美明 教授	
サンフランシスコ平和条約へのこだわり	202
法学研究科 坂元一哉 教授	
生殖補助医療と親子法	
果てなき「いたちごっこ」	204
高等司法研究科 松川正毅 教授	
お金への執着が不況を生む	206
社会経済研究所 小野善康 フェロー	
公正な市場支える「同感」能力	208
経済学研究科 堂目卓生 教授	
格差社会は感情論で議論すべきでない	210
社会経済研究所 大竹文雄 教授	
◆と・き・め・き 研究最前線	212
社会に役立つおせっかいとは?	

●訪ねてみよう! 大阪大学総合学術博物館④	215
大阪大学の宝物マチカネワニ	

大阪大学発！
ときめきサイエンス



難病に挑む



がん、感染症、免疫疾患…。病には人類がいまだ克服することのできないものが数多くある。かけがえのない命を救うための研究は基礎から臨床まで実に多彩だ。

臨床医… 若き日の経験生かし 医学の先端へ

免疫学フロンティア研究センター(IFReC)

あきら

審良静男 教授

Prof. Shizuo AKIRA

(自然免疫学)

「患者に接すれば、接するほど病気はわからないかと。謎だらけだと」

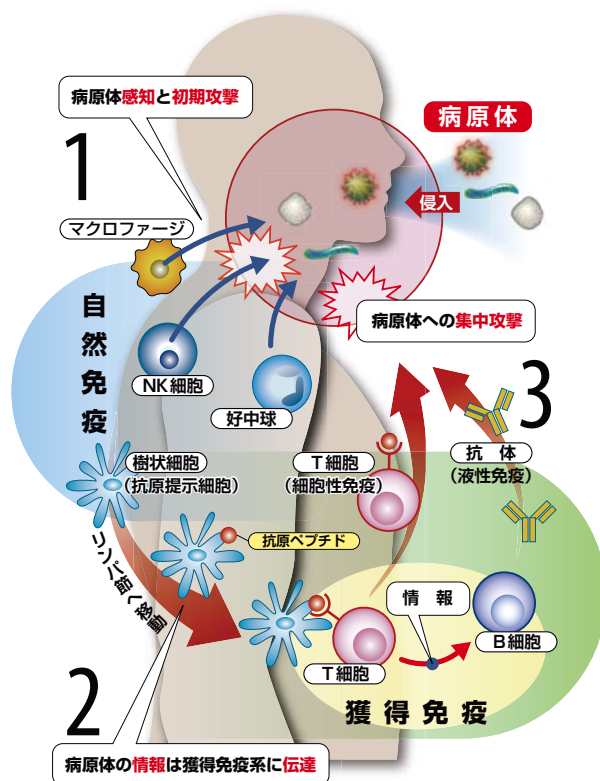
約30年前、医学部を卒業して進んだのは研究者ではなく、意外にも市立病院の臨床医の道だった。

内科医として膠原病など難病といわれる自己免疫疾患の治療にあたってきたが、そこで学んだのは病を前にして、いかに自分が、そして医学が無力であるかということだった。着任から2年。そんな思いを日々重ねていたとき大学に戻ることを決意する。

「臨床に密着した研究をすることで、難病のことを少しでも解明できるのではないか。それで大学に戻ったんです」

脊椎動物は細菌やウイルスに対して、白血球などが最初に攻撃を仕掛ける「自然免疫」と、病原体を記憶して再侵入の際に抗体で攻撃する「獲得免疫」の2段階で体を防御している。当時、免疫学の主流だった「獲得免疫」のメカニズム解明に取り組んでいたが、それは教授の後塵を拝していたにすぎなかった。

転機が訪れたのは、兵庫医科大学に教授として招



●体を幾重にも防御する免疫の仕組み

自然免疫は病原体という侵入者を感知し攻撃を仕掛けながら、獲得免疫に病原体の情報を伝える。獲得免疫はその情報をもとに新たな攻撃を準備する。こうした多層的な免疫学の研究に大きな足跡を残してきたのが審良教授をはじめとする大阪大学の研究者たちだ。



「自然免疫のメカニズム解明 ライバルから共同研究の 申し出もあるんですよ」

審良 静男(あきら・しずお) 1953年大阪府生まれ。大阪大学医学部卒業後、市立堺病院に内科医として勤務。大阪大学医学研究科博士課程修了。カリフォルニア大学バークレー校博士研究員、大阪大学細胞工学センター助教授、兵庫医科大学学生化学講座教授を経て、99年から大阪大学微生物病研究所教授。05年に紫綬褒章。07年から免疫学フロンティア研究センター拠点長。同年に学士院賞・恩賜賞。09年文化功労者。11年ガードナー国際賞。最先端研究開発支援プログラム「免疫ダイナミズムの統合的理解と免疫制御法の確立」拠点長。



かれたとき。タイミング良く、新たな実験施設が建設されたのだ。それはマウスの一部の遺伝子を壊し、正常マウスとの比較によって遺伝子の働きを見つけ出す実験用マウス(ノックアウトマウス)を作る施設だった。

「阪大を出たことで、ゼロからやりたい。今まで講座の教授のもとで研究をやっていたが、自分だけのテーマを見つけたいと思いました。この環境変化がなかったら現在の僕はなかったかもしれません」

ノックアウトマウスを片っ端から作って、遺伝子の働きを徹底的に調べた。すると、ずっと医学界では脇役扱いだった「自然免疫」に新たなメカニズムがあることを発見したのだ。それは従来考えられていた無差別で侵入者を攻撃するのではなく細胞膜にある何種類ものTLR(Toll-Like Receptor)というセンサーが作動し、細菌やウイルスの種類に応じて働いていることだった。免疫理論を根本から覆し、がんワクチンや抗アレルギー剤の開発に革命的な進歩をもたらした。

苦い経験もある。1998年夏、TLRの働きが徐々にだが判明し出したころ、米国の研究者にわずかな差で先を越されたのだ。

「もっと良い論文にしたいからと2、3カ月実験を続け、さあ論文を送ろうとしていたとき、『サイエンス』に僕らと同じデータの論文が載ってたんです。競争の厳しさを痛いほど感じました」

今では、世界で最も論文を引用された研究者として常に注目を浴び、国際的医学賞であるロベルト・コッホ賞も受賞。ネットワークも広がり、世界中の研究機関の情報が入ってくる。かつてのような失敗はない。「ライバルから共同研究の申し出もたくさんあるんですよ」。自信をのぞかせる。

唯一の息抜きが読書。夢中になっているのは幕末もので、100冊以上を読破した。今はまっているのは早乙女貢の『会津士魂』。続編とを合わせると21冊にも及ぶ長編だ。

「なぜかわからないけど幕末はおもしろい。時代に元気がある」

過酷な研究競争、劇的に進化する医学界…。今の自分を知らず知らずのうちに置き換えているのかも。

10年後、20年後には自己免疫疾患、がんに対する治療は格段に進歩している、と断言する。そこには、かつて内科医として、無力感に打ちひしがれていた若き日の面影はなかった。

し・き・め・き

研究
最前線

生体内での 免疫の働きを 解明する

遺伝子発現解析

Microarray

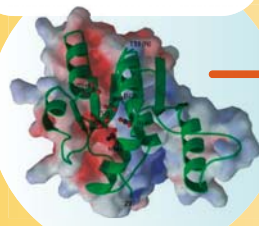
Infection

Normal

WT GeneA^{-/-} GeneB^{-/-}

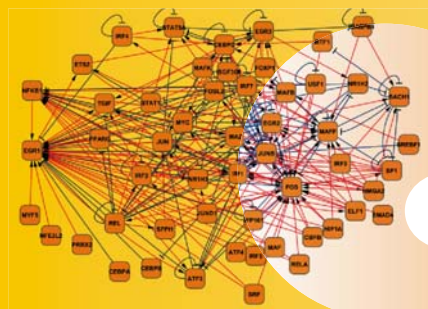
Diego Miranda-Saavedra

タンパク質構造予測



Daron Standley

細胞間相互作用



Taeho Kim

遺伝子発現
ダイナミズム解析

Alex Vandenbon

●免疫システムの包括的理解に向けたシステムバイオロジーアプローチ

免疫活性化、抑制におけるさまざまな情報を統合し、システムバイオロジーアプローチを利用することで免疫応答の包括的理解につなげる。

感染症・がんワクチン、 難病治療法の開発に道を

日本 国民の4割がアレルギー疾患にかかっているといわれている。また、200人に1人がリウマチや膠原病などの自己免疫疾患に苦しみ、年間の医療費は合わせて1兆円を超えるという。新型コロナウイルスやHIVに代表される新興感染症の脅威に加え、がんの発症と防御にも免疫系が深く関わっていることも知られている。現代社会が直面するこれらの問題を解決する医薬品や治療法を世界に先駆けて開発するためには、免疫ダイナミズムの統合的な理解を避けて通ることはできない。

免疫応答の 分子機構

正常時

感染時

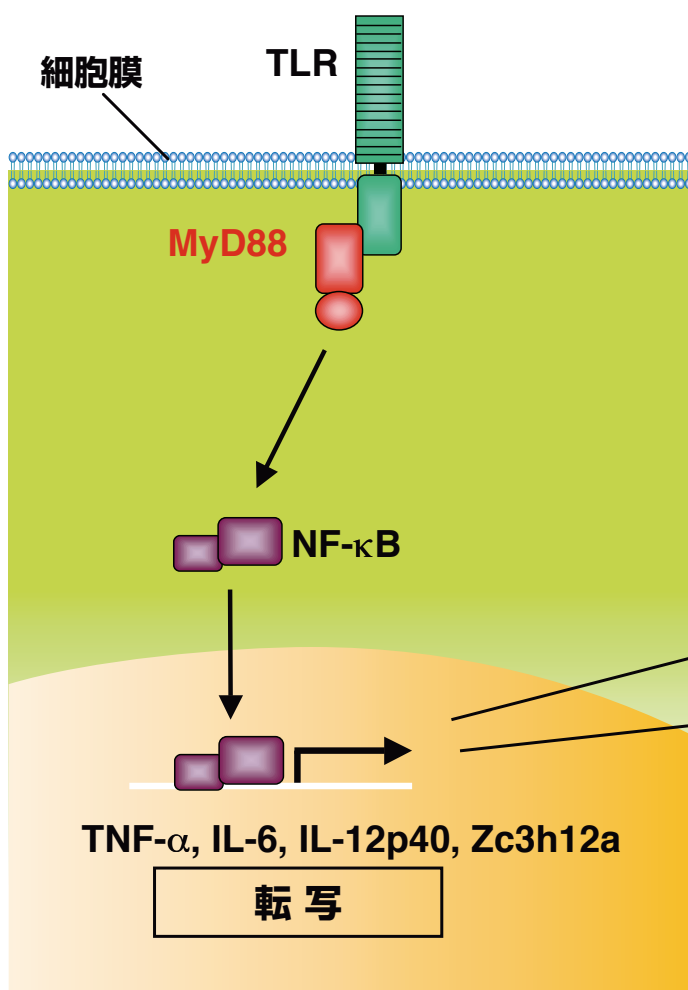
自然免疫は細菌、ウイルス、寄生虫が体の中に入ってきた際、まずそれを認識して初期攻撃をするとともに、炎症反応を引き起こしたり、獲得免疫を誘導・活性化するのに重要な役割を果たしている。自然免疫をつかさどる細胞のマクロファージや樹状細胞が病原体の持つ特徴を認識する「パターン認識受容体(Toll様受容体=TLR)」を発現し、これが獲得免疫を活性化するシグナルを伝達するという仕組みだ。審良静男・免疫学フロンティア研究センター教授はヒトにある10種類のTLRファミリーのパターン認識の役割を解明するとともに、TLRが病原体の構成成分を認識して刺激された後、シグナルを出してそれを細胞核に伝え、遺伝子発現に至る道筋、つまり「シグナル伝達系」の働きを明らかにするなど自然免疫の解明に画期的な成果をあげてきた。

「この10年で自然免疫のTLR、シグナル伝達系についてはほとんど解明され、研究は終わりに近づいた。今私たちの研究の焦点はエフェクターフェーズといって、細胞が活性化された後、どういう分子が出てきて、それがどんな免疫反応を起こしていくかというところに移っている」と審良教授は次なる目標を語る。

ときめき
研究
最前線

生体内での
免疫の働きを
解明する

● 図1 タンパク質分子Zc3h12aによるIL-6とIL-12p40 mRNAの調節

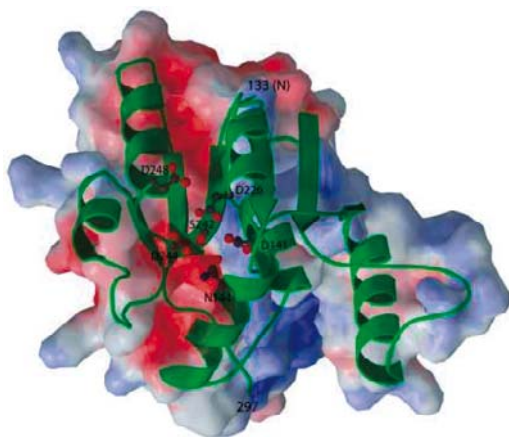
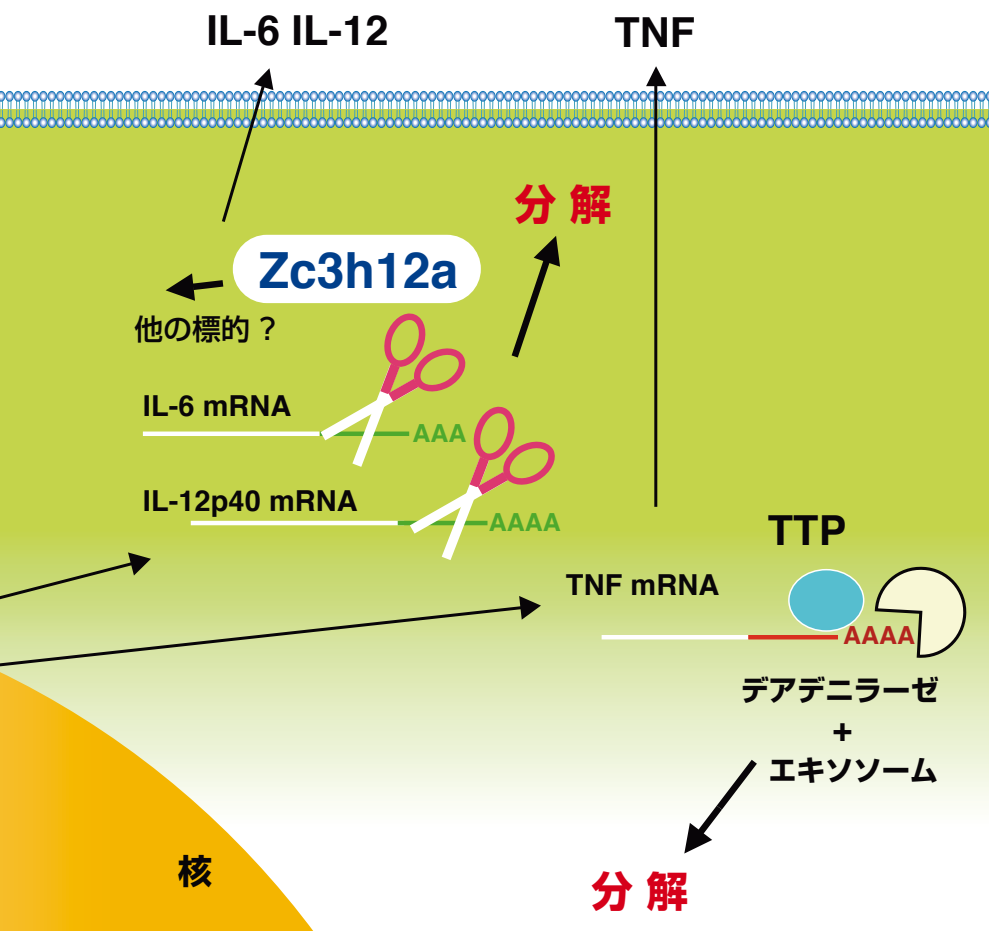


免疫細胞内の核にシグナルが届くと、遺伝子が転写され、膨大な量のメッセンジャーRNA(mRNA)が作られ、免疫反応を引き起こしていく。そのところがエフェクターフェーズであり、ミステリーゾーンとして目の前に広がっているのだ。

この研究では、すでに新たな発見が生まれている。2009年春、審良教授らがノックアウト(遺伝子欠損)マウスをつくっている時、偶然マウスの中に炎症を起こして死んでいく一群が現れた。ノックアウトマウスを使った免疫細胞の遺伝子解析は、審良教授が10年以上前から独自に始めた手法で、先に触れた多くの研究成果もそこから生み出されたものだ。今回、死んでいくマウスを調べていくと、関節リウマチなどの自己免疫疾患を引き起こす分子であるインターロイキン6をはじめとする細胞から分泌される情報伝達タンパク質(サイトカイン)が過剰に出ているために、マウスは激しい炎症を起こして死に至ること

がわかった。そのメカニズムをさらに追究していくと、DNAから転写されたmRNAの尻尾に取りついてmRNAを破壊する「Zc3h12a」という新たなタンパク質分子が存在することを突き止めた。(図1)

「これまで、炎症にかかわるサイトカインの制御はmRNAの転写によるものという考え方だったが、今回見つけた新たなタンパク質はその量によって核から出てきたmRNAを絶えず壊したり、壊さなかったりする調整の役割をすることがわかった。獲得免疫のT細胞やB細胞の中でも同じことが起きているだろう。免疫反応の素早さから推測すると、単にDNAのmRNAへの転写のレベルではなく、転写後のmRNAのところでタンパク質の量を制御しているのではないかと考えるのが合理的。がん発症の遺伝的経路では、DNAよりもマイクロRNAという小さなRNAが重要な役割をしていることが5年ほど前にわかって注目を集めているが、免疫研究でもRNAが重要視さ



●図2 Zc3h12aのタンパク質構造

れるようになってきた」と審良教授は説明する。

また、新たなタンパク質の性質を調べるには、構造生物学やシステムバイオロジーといった従来の免疫学では取れ入れていなかった分野との融合も進んでいる。すでにZc3h12aのタンパク質構造は図2のように明らかにされており、インターロイキン6mRNAとの複合体についての構造解析が進行中だ。

審良教授は「病原体をキャッチしたTLRから刺激が入り、細胞が活性化されると、核から無数の遺伝子(分子)が急速に誘導されてくる。これらの遺伝子の中にTLRのような鍵となる分子が潜んでいる可能性がある。遺伝子の誘導の速度や特徴的な挙動をする遺伝子に見当をつけ、コンピューターで解析するシステムバイオロジーの手法も取り入れ、私たちのノックアウトマウスを使った手法を合わせて検証を重ね、鍵分子を見つけ出すのが当面の目標」と言う。

ワクチン免疫療法で がん治療の未来を変える

医学系研究科

杉山治夫 教授 Prof. Haruo SUGIYAMA

(内科学、免疫学)



「がんワクチン」で免疫力を高めて、がん細胞を退治する——。副作用もほとんどない、こんな夢のような治療の実用化が現実のものになろうとしている。

がん治療の現場は長い間、手術と放射線、抗がん剤の三つが主流だったが、ワクチンによる免疫療法の登場で様変わりするかもしれない。

通常、ワクチンには毒性を弱めた病原体そのものや、一部のタンパク質が使われる。異物を体内に入れることで働く「免疫反応」を利用する治療法だ。免疫が働くと、病原体を退治するリンパ球や抗体ができるため、あらかじめワクチンを打つことで病気を予防したり、症状を軽くしたりすることができる。

世界で初めて大阪大学が成功した「WT1ワクチン」は、まさしくその免疫反応を利用したがんの新しい治療法である。WT1は、9個のアミノ酸が集まった

杉山治夫(すぎやま・はるお)1949年大阪府生まれ。大阪大学医学部卒。医学部第3内科助手、講師を経て95年、病態生体情報学教授。2003年から医学系研究科機能診断科学教授。趣味を問うと「こんな面白い研究をやっているとわくわくして、趣味どころじゃない」。

「がんが治ることは奇跡じゃない。すべて科学にのっとって起こっている」



タンパクで、正常な細胞にはほとんどなく、がん細胞だけに特異的に発現していることから、その利用が考え出された。

「WT1を目印にしてがん細胞だけを攻撃できれば、副作用のない新たな治療法になる」。杉山教授らは、WT1タンパク全体のなかから免疫細胞が攻撃の対象とする部分を探し当て、人工的なワクチンを作った。ワクチンでWT1を体内で“異物”と認識させることで、免疫細胞にがん細胞をやっつけてもらうのが狙いだ。

こうした研究を元に、2001年から大阪大病院で白血病や乳がん、肺がんなどで治療法がなくなった末期の患者を対象に、WT1ワクチンを使った世界初の臨床試験が行われた。多くの患者に劇的な効果が見られたため、04年からはさらに多くの種類のがん患者に投与した。

杉山教授によると、乳がんが骨に転移してがん性腹膜炎と腸閉塞を起こし、余命1、2カ月とされていた40代の患者がワクチンを投与後仕事に復帰、3年

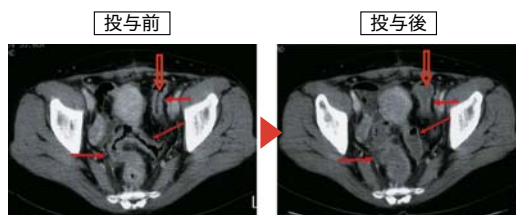
以上生存したという。ほかにも60代の食道がんの男性の腫瘍が縮んだり、脳腫瘍で昏睡状態だった男性が歌を歌うまでに回復したほか、余命わずかとされた小児がん患者の骨への転移が消え、学校に通えるまでになったという。

高い治療成績から、今では国内外の多数の施設が臨床研究を進めている。大手製薬会社による臨床試験も開始された。

杉山教授は、「がんが治ることは奇跡じゃない。すべて科学にのっとって起こっている」と、ワクチン療法に自信を持つ。

本来、病気を治しているのは「免疫」と杉山教授は強調する。だが、それですべてが解決するわけではなく、放射線や抗がん剤など、今ある治療とうまく組み合わせながら、良いところ取りの治療をしていくことが、がん治療では大事だという。

「免疫はわれわれの予測を超えたポテンシャルを持つ。がんはいずれ、風邪を治すように簡単に治せるようになる日がくる」。がん研究に人生を懸けた研究者の思いが結実する日は、すぐ目の前に来ている。

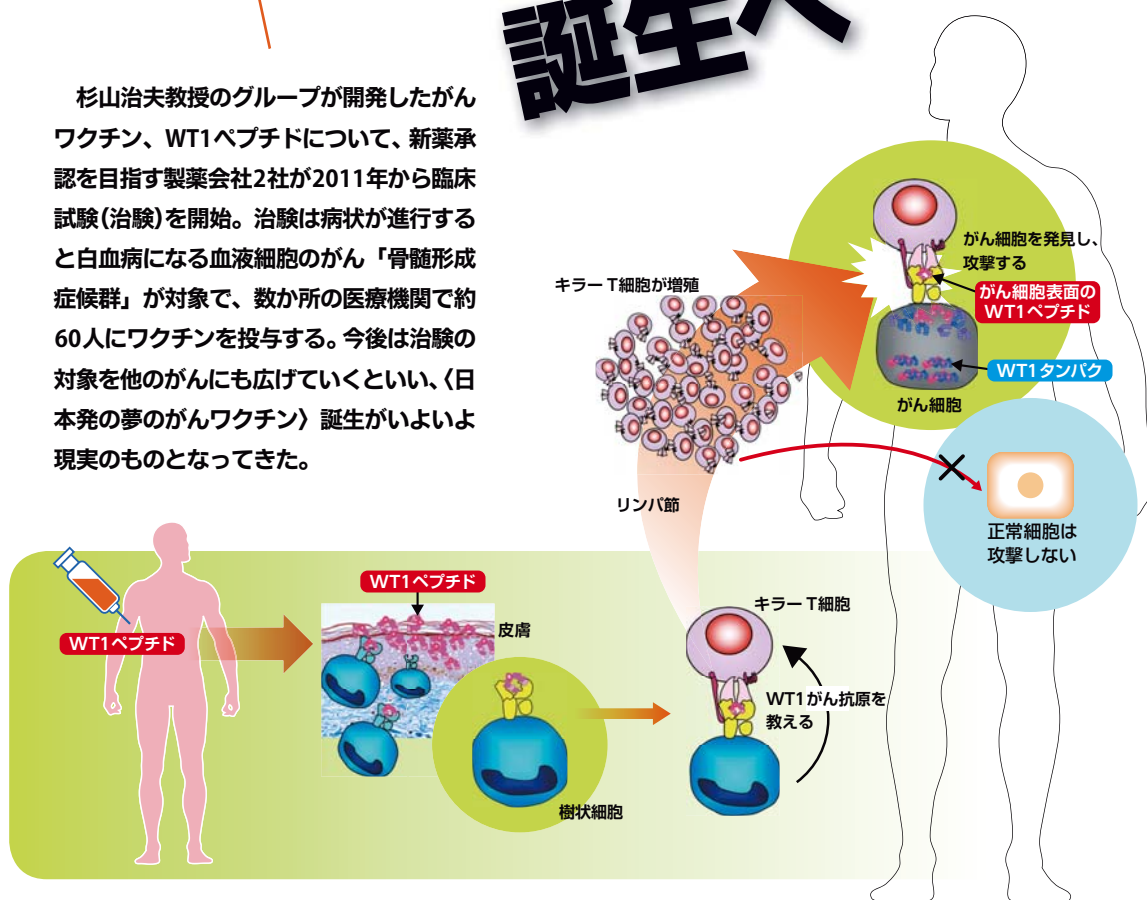


乳がん末期患者さんにWT1ペプチドを2回投与したところ、大腸をとりまくように転移していたがん(←印)が縮小し、へしゃがっていた腸(↓)が広がった。

し・き・め・き
研究
最前線

日本の夢 がんワクチン 誕生へ

杉山治夫教授のグループが開発したがんワクチン、WT1ペプチドについて、新薬承認を目指す製薬会社2社が2011年から臨床試験(治験)を開始。治験は病状が進行すると白血病になる血液細胞のがん「骨髄形成症候群」が対象で、数か所の医療機関で約60人にワクチンを投与する。今後は治験の対象を他のがんにも広げていくといい、〈日本発の夢のがんワクチン〉誕生がいよいよ現実のものとなってきた。



■がんワクチン・WT1ペプチドのメカニズム

治療法はWT1ペプチドをモンタナイドという免疫活性作用のあるアジュバント(抗原性補強剤)と混合して、週1回ほどのペースで皮内注射するだけ。メカニズムもいたってシンプルだ。

①449個のアミノ酸からなるWT1タンパクの一部を切り離し、9個のアミノ酸からなるがん抗原性の強いWT1ペプチド(WT1タンパクの断片)を合成。

②皮内注射によってWT1ペプチドを患者に投与。WT1ペプチドは患者の皮膚に存在する抗原提示細胞と結合する。

③WT1ペプチドと結合した抗原提示細胞は活性化され、WT1がん抗原をリンパ節のキラーTリンパ球に教える。

④WT1がん抗原を教え込まれたキラーTリンパ球は活性化し増殖、リンパ流や血液にのってがん細胞に接近する。

●症例 40歳代男性
再発 悪性神経膠芽腫
(グリオブラストーマ)



治療前(2006年1月15日)

2006年1月30日
治療開始



3年1カ月後(2009年2月23日)

2010年11月30日現在、
4年10カ月生存

⑤キラーTリンパ球は、がん細胞の表面にある目印(WT1ペプチド)を見つけ、がん細胞を攻撃し死滅させる。このとき、表面にWT1ペプチドがない正常細胞は攻撃されない。

■脳腫瘍や膵がん、白血病などで目覚ましい臨床効果

杉山教授はもともと白血病の研究に取り組んでいたが、その過程で、白血病にかかると正常な血液の10万倍のWT1が現れることを突き止めた。その後、WT1が乳がんや肺がんなどほとんどのがんで活性化することも判明。杉山教授は、がんができるプロセスにWT1が大きく関わっているなら、がん抗原としても働くのではないかと考え、2001年から白血病や脳腫瘍、肺がんなどの患者を対象に臨床研究を続けてきた。臨床研究は500~600例にのぼり、目覚ましい臨床効果を挙げ、がん治療の切り札として大きな期待を寄せられるまでになった。

例えば、治療法が全くない悪性の再発脳腫瘍(神経膠芽腫)でも約半数の患者に臨床効果がみられ、30代男性は1.7センチ大の再発脳腫瘍が3カ月で消えて完全寛解した。また進行性膵がん患者にはWT1ペプチドと標準的な抗がん剤であるジェムザールを併用する臨床研究を行い、70%以上の患者に効果がみられた。ある患者は免疫療法開始後、急速に膵がんが縮小。8カ月目にはPET検査で検出できなくなり、手術が可能になったため、10カ月目に手術したところ、完全にがんが消失していた。

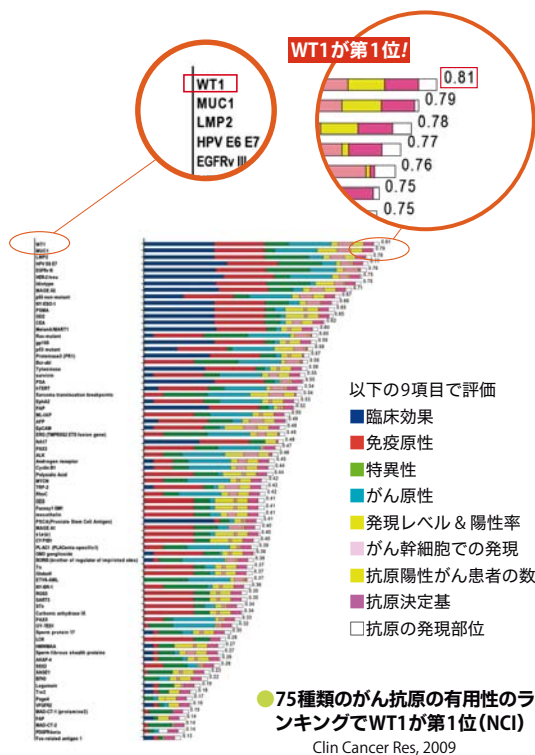
がん治療の主流は手術、抗がん剤、放射線だが、抗がん剤などのせいで患者の免疫力が弱くなったり、がんが大きくなりすぎて免疫抑制物質を出すようになると免疫療法も効かなくなるという。杉山教授は「がんが発見されれば、すぐに免疫療法を開始し、免疫療法を続けながら手術や抗がん剤、放射線療法を行うのがいい。患者の免疫力がアップすれば手術や

抗がん剤治療にも良い影響を与える」と提案する。

■米国立がん研究所もWT1ペプチドを最高評価。将来はがん予防に応用も

がんワクチンについてはWT1ペプチド以外にも世界中で研究開発が行われている。そんな中で、米国立がん研究所(NCI)が2009年に発表した「がん抗原の有用性ランキング」でWT1ペプチドが臨床効果や免疫原性など9項目の総合評価で75種類の候補物質中、第1位を獲得。ワクチンのためのペプチドとしてはWT1ペプチドが最適であると評価された。

杉山教授は「現在はがん治療のためのワクチンを開発している段階ですが、将来は予防ワクチンとして応用できるのではないかと考えています。いずれはだれもがインフルエンザと同じようにがんワクチンをつつような時代になれば」と期待を込める。



伝達物質としての 亜鉛を探究

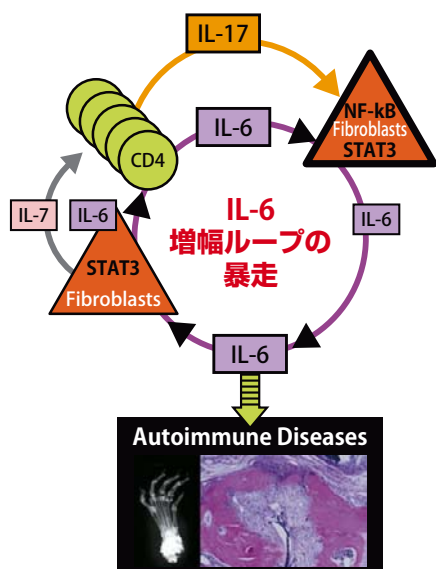


生命機能研究科

平野俊夫 教授 Prof. Toshio HIRANO

(免疫学、分子生物学)

関節リウマチに効く薬の開発に寄与した研究により、2009年5月、他の研究者2人と共同で、ノーベル賞授与機関であるスウェーデン王立科学アカデミーからクラフォード賞を授与された。「日本人の受賞は初めてだった」とほほ笑む。



● IL-6増幅ループの暴走

繊維芽細胞に存在するIL-6増幅ループが、免疫細胞の出すIL-17依存性に暴走すると自己免疫疾患が発症する。

細胞が抗体を合成するのを誘導する因子、インターロイキン(IL)の研究を長年続け、その一種であるIL-6を発見。1986年には遺伝子の塩基配列を確認した。

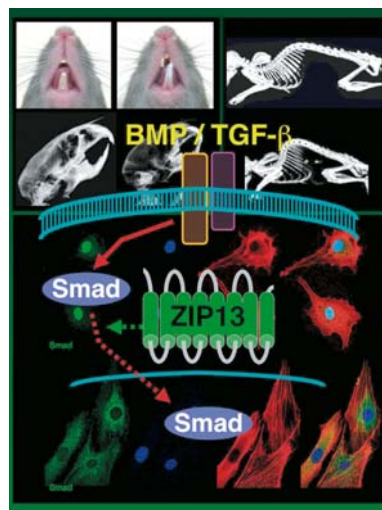
「IL-6がレセプター(受容体)と結合し、どうやって免疫を制御しているのか、シグナル伝達を調べた」マウスでIL-6の受容体となる変異遺伝子を人工的に置き換えたところ、ヒトの関節リウマチに酷似した症状が表れた。関節リウマチは日本人の1%がかかるといわれる自己免疫疾患の一つだが、それまで発症のメカニズムは解明されていなかった。「IL-6の異常でリウマチが自然発症することが証明できた」。その後はIL6の異常が関節リウマチなどの自己免疫疾患につながる仕組みを解明するのが大きな研究テーマに。

この一連のIL-6に関する基礎的な研究成果がもとになり、関節リウマチに効く薬が開発された。

IL-6の細胞間シグナルを仔細に追っていたとき、亜鉛にたどり着いた。亜鉛は必須栄養素で、ヒトの

インターロイキン6の発見で クラフォード賞、日本国際賞

平野俊夫(ひらの・としお) 1947年大阪府生まれ。大阪大学医学部卒。大阪大学医学部教授などを経て2001年4月から現職。医学系研究科長も兼任。IL-6に関する研究で、09年5月、スウェーデン王立科学アカデミーからクラフォード賞、11年4月、日本国際賞を受賞した。



Zip13亜鉛輸送体が働かないよう遺伝子进行操作したマウスは、骨や歯の発育不全や、皮膚などにおけるコラーゲン物質の生成が悪くなったことが確認された。

の研究へシフトしてきた。2009年12月にはイスラエルでシンポジウムが開かれた。2007年にカナダで開催されたのに続き2回目で、この分野の歴史はまだ浅い。

「まだ研究者人口が少ないので、もう少し増やしたい。そのために2010年10月、大阪国際会議場で海外から30人の研究者を招いた国際セミナーを主催。研究はスタートラインに立ったところ」と探究心は尽きない。

体内に2³ほどあり、鉄に次いで多い微量元素だ。「われわれは栄養素として亜鉛が必要不可欠なことは知っている。亜鉛がないと体内の約300の酵素は作用しない」。

しかし、亜鉛は単に栄養素であるだけでなく、シグナル伝達物質としても働く、ということが次第に分かってきた。その後、亜鉛トランスポーター(輸送体)が発現しない場合にどういった影響があるのかを調べた。その結果、Zip13亜鉛輸送体が働かないよう遺伝子进行操作したマウスは、骨や歯の発育不全や、皮膚などにおけるコラーゲン物質の生成が悪くなったことが確認された。このマウスのケースが人間に当てはまるのが、コラーゲン線維形成の異常を原因として皮膚の発育が悪くなるエーラス・ダンロス症候群。今のところ有効な治療法がなく、亜鉛輸送体が働くメカニズムの解明が、同症候群の治療法につながる可能性がある。

亜鉛の研究者は世界で100~200人とされ、大半が栄養素としての研究からシグナル伝達物質として

心不全に 前例のない医療で挑む

医学系研究科

澤 芳樹 教授 Prof. Yoshiki SAWA

(心臓血管外科)

「治らない患者を治すために新しい医療を開拓」を使命に、心臓血管外科の第一人者として「日本初」「世界初」の手術を次々と行い実績を積み上げてきた。



ライフワーク は心不全の治療。重症になると心臓移植が必要な病気だが、「日本では重症心不全の患者が年間10万人。心臓移植が必要な人は1000人前後。しかし、実際に移植できるのは10人そこそこ。だから、移植や人工心臓の前に『再生医療』で治す方法を考えたい」。

再生医療は細胞から組織を作り機能を回復させる。2007年には、心臓の収縮する力が弱まり体内に十分な血液を送り出せない「拡張型心筋症」の患者に、



澤教授らのグループが開発した「筋芽細胞シート」

足の筋肉細胞を培養して作ったシートを張り付け、心臓機能を回復させることに世界で初めて成功。患者は心臓移植を受けずに退院した。

「ほかの研究者の話をみたり聞いたりしていると『これは使える』というものがある。このアイデアも学会での出会いがきっかけだった」。治療法の確立のため、万能細胞(iPS細胞)の生成技術を開発した京大の山中伸弥教授との共同研究にも取り組む。

08年には、心臓の弁が開きにくく血液を十分に送り出せない「大動脈弁狭窄症」の91歳の患者の弁を、カテーテルと呼ばれる細い管を使って人工弁に置き換える手術に国内で初めて成功。胸を切開して心臓を止める必要がなく、患者の負担が軽いため、高齢者や重症者にも手術の道を開いたとして注目を集めた。

「これからの外科手術は、カテーテルを使い、切開などの『侵襲』を最小にとどめて患者の苦痛を低減する『低侵襲』の方向に進む。内科と外科の連携が不可欠になる」と将来の医療を見据える。両科が共

命と向き合う現場で感じる 「生きているってことはラッキーなこと」



同して患者の治療に取り組む、全国的にも珍しい「ハートセンター」を立ち上げ、そのセンター長も務める。

日本初、世界初など前例のない挑戦が続くが、「どうやったら一番うまくいくかを考えるだけ。自分が最先端にいるという意識はなくて、一生懸命やってふっと後ろをみたら『あれ、一番前にいた』みたいなそういう感じです」。

研究室は第一外科として約90年の歴史がある。気風は「質実剛健」。教授以下約30人のメンバーで年間約600例の手術をこなす。「イノベーション(革新)とフロンティアスピリット(開拓精神)」が研究室のモットーだ。医師として殉職した祖父やいとこの死をきっかけに医師を志した。

「人の命を生かすことはものすごく難しい。生きているってことはラッキーなこと。命を大切にしてほしいと思う」。命と向き合う現場で、日々そう感じている。

澤芳樹(さわ・よしき) 1955年大阪市生まれ。大阪大学医学部卒。専門は心臓血管外科。2005年に大阪大学医学系研究科教授。医学部附属病院未来医療センター長を経て現在は臨床医工学融合研究教育センター長。国内初、世界初など難しい手術の実績を重ね、2010年5月には、心臓病で心臓が機能しなくなった患者に、植え込み型の補助人工心臓を二つ装着する日本初の手術に成功した。司馬遼太郎の大ファン。「仕事に対する徹底した姿勢に共感する」



国立大系最多 手術数が示す 伝統と実績



埋め込み型人工心臓。2010年には同時に二つの人工心臓を装着する手術に世界で初めて成功した。

■「どんな患者も治す、治したい」が信念

「大阪大学の心臓血管外科を頼ってきた患者さんを治す、治したいということがすべてなんです」。澤教授は、患者の命を助ける、患者のQOL(生活の質)を向上させるために、的確な診断と正しい治療の選択こそが大切だと力説する。

大阪大学外科学講座は1881年に開設、1922年に第一外科と第二外科に分かれた。第一外科はドイツからフリッツ・ヘルテル先生を招へいし、「医療技術革新」とチームスピリットで治す「患者第一」の精神が確立された。以来、その精神での医療を展開してきた。1956年の日本初の人工心肺を用いた開心術成功、1999年の日本初の脳死法案下の心臓移植、2009年の本邦初の心肺同時移植などの輝かしい実績を持つ。心臓血管外科は2006年に第一外科の伝統を受け継ぎ、澤主任教授のもとでスタートした。

そして、取り組んできたのが「低侵襲心臓外科手術(MICS)」や心不全への心臓移植手術、最新の人工心臓の導入だった。さらに現在、重症心不全への「再生医療」による治療が注目を集めている。

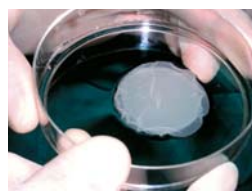
■「低侵襲心臓外科手術」への取り組み

大阪大学の心臓血管外科の手術数は国立大学系では最多の実績(617例＝2010年)を持っている。しかも、多くは胸骨の一部分のみを切開、または骨を全く切らずに側胸部を約7-10cm切開して手術をする低侵襲心臓外科手術だ。手術数の多さは、大学として医師を育てる大きな効果がある。

また、より低侵襲なカテーテルを使った手術にも長く取り組んできた。心臓血管外科のグループ病院では、約20年前から静脈瘤にステントグラフト(ステントといわれるバネ状の金属を取り付けた人工血管)をカテーテルで留置する方法で多くの患者を治療し、その後世界的に広がった。また、澤教授らのグループで、カテーテルを使った大動脈弁を人工弁に置換する日本初の手術にも成功した。当初は医学界の一部からの批判もあったというが、外科治療の将来が「低侵襲」に進むことを予測し、また、その技術を広く広めたいという理念に基づくものだ。



筋芽細胞シートの移植手術



■注目集める心筋再生医療「筋芽細胞シート」移植

高齢化とともに増加の傾向にある心不全の治療には、薬物療法や外科治療があるが、重症心不全の最終段階では心臓移植や補助人工心臓の置換型治療が実施されている。心臓血管外科では、最新型の人工心臓の導入などにも取り組んでいる。しかし、これらの治療には医療費やドナー不足という社会的課題に加え、医療的な課題で適応にならない患者もいることは否めない。澤教授らのグループでは、約15年前から「遺伝子治療」や「細胞移植」の研究に取り組んできた。その研究を踏まえ、足の自己筋芽細胞が、弱った心臓の筋肉を再生させることを臨床研究などで実証し、3年前に細胞をシート状に培養して心臓に移植する方法を確立した。これまでに約10例を実施し、ほとんどの患者が人工補助心臓の助けを借りずに済むまでに回復している。この治療法は、民間企業が臨床試験を始めており、将来的に標準的な治療法になる可能性もある。

■日本の医療レベルの高さを世界に発信

2011年1月、重い心臓病のサウジアラビア人患者が来日して、澤教授のもとで「筋芽細胞シート」移植手術を受けた。前年、大阪大学とサウジアラビアの大学との間で結ばれた協定に基づくもので、大阪大の高い医療水準と先進技術を知った患者自身が希望した。澤教授は「アジアでも、日本という国の“顔”はなかなか見えていないのが現状です。医療水準の高さもほとんど知られていません。法的整備の問題もあって、かつて心臓移植では日本人も他国の助けを借りた時期もありました。日本の医療が世界の患者さんの役に立ち、同時に日本の高い医療技術を発信できるという意味もあります」と話す。

「外科医は患者さんと直接向き合い、しかも信頼しあったチームで取り組むやりがいのある仕事。ただ、患者さんのためには没頭できる気概が必要。生半かな気持ちでは絶対に務まらない」。その信念が最高レベルの「AAA」（日本経済新聞・心臓外科ランキング）の評価を支えている。



2011年1月、サウジアラビアから初めて患者を受け入れた。

歯根膜に眠る幹細胞が 骨や歯茎を再生

歯学研究科

村上伸也 教授 Prof. Shinya MURAKAMI

(歯周病学)

「歯周病は、口の中の細菌が引き起こす感染症ですが、他の感染症とは異なります。歯磨きをおろそかにして歯の周囲に細菌がたまるのが原因。口の生活習慣病ともいわれる病気なんですよ」

35歳以上の80%が罹患しているとされる歯周病。怖いのは、“サイレント・アーミー（沈黙の病氣）”といわれるように、歯と歯茎の間にプラーク（細菌の塊）が繁殖し、10年、20年かけてゆっくりと進行すること。細菌は歯を支える歯槽骨（あごの骨）を侵食、自覚症状がなく気がついたときには歯がぐらぐら揺れ、重症化すると歯が抜け落ちる。

これまではプラークを取り除いて進行を食い止めるのがやっとだったが、村上教授の研究でその治療方法が劇的に変化しようとしている。

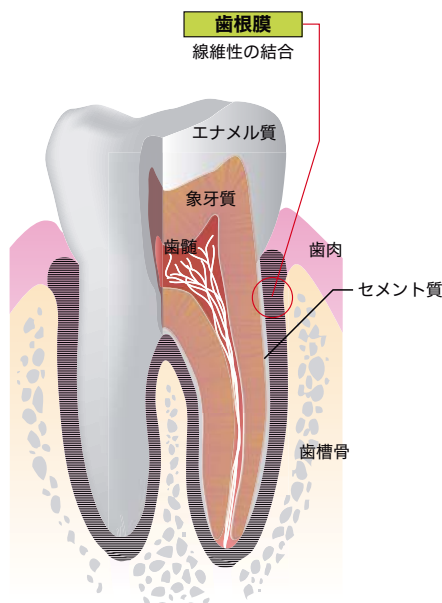
「歯と歯茎の間に幹細胞が眠っていることがわかり、その細胞の働きを高める工夫をすることで、歯を支える骨や歯茎が再生するんです。現在、研究中の治療法で壊れた部分の約50%が回復しています」

幹細胞とは、骨になるか、筋肉になるか、将来が決まっていない赤ちゃんの細胞。それが意外にも歯と歯槽骨の間の歯根膜というすき間に眠っていたのだ。

約250人の歯周病患者を対象に治験。実用に向けた最終段階にきている。

研究だけではない。ここ1、2年は生活習慣病への社会の関心から、市民講座や企業の講演会にひっぱり出される機会が増えてきている。

《もしあなたの前歯が1本抜けてしまったら、どうなるか考えてください。好きな恋人には会いたくないし、食事も満足にできない。1日が暗くなってしまうでしょう》



「再生する治療は最終的なもの。
 そうなる前に予防することが一番大切」



そこではいつも、こう問いかける。歯の抜けた姿を想像してか、参加者の表情はみるみるうちに変化する。

「心臓は一つ、目や耳は二つしかないけど、歯は親知らずを除いても28本もある。生命に直接かわることも少ないから、どうしても危機感が薄い。メタボリックシンドロームのような生活習慣病と同じです。そこが一番問題なんです」

最近では、医学部附属病院「未来医療センター」と協力。皮下脂肪の中にも幹細胞が存在していることを突き止め、歯周病治療に生かす試みに取り組み始めている。高齢で歯根膜にある幹細胞が少ない患者にも朗報となる治療だ。

「でも、こうした再生する治療は最終的なもの。そうなる前に予防することが一番大切」。そう話し、「どんな最先端治療もかなわないものが一つだけある」とにっこり笑った。

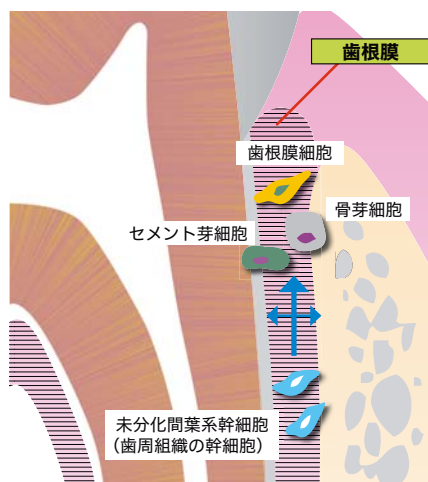
「食後の歯磨きです」――。

村上伸也(むらかみ・しんや) 1959年愛媛県生まれ。大阪大学歯学部卒、歯学研究科修了後、アメリカ国立衛生研究所研究員となる。大阪大学歯学部助手、歯学研究科助教授を経て2002年、同教授。歯周病学の発展に貢献した研究者に贈られる国際的な学術賞「アンソニー・リゾ賞」を受賞するなど歯周病研究の第一人者。現在、日本歯周病学会常任理事、日本歯科保存学会理事などを務める。



世界初 歯周組織 再生用の 薬が実現へ

村上伸也教授のグループが取り組んできた歯周組織再生のためのサイトカイン療法は、臨床応用まであと一歩のところまで来た。同じサイトカイン療法では、米国で血小板由来増殖因子(PDGF-BB)と骨補填材(β -TCP)を組み合わせた歯周組織再生用の医療材料(GEM21S)が臨床応用されているが、村上教授のグループの成果が臨床応用されれば、歯周組織再生用の薬としては世界初となる。

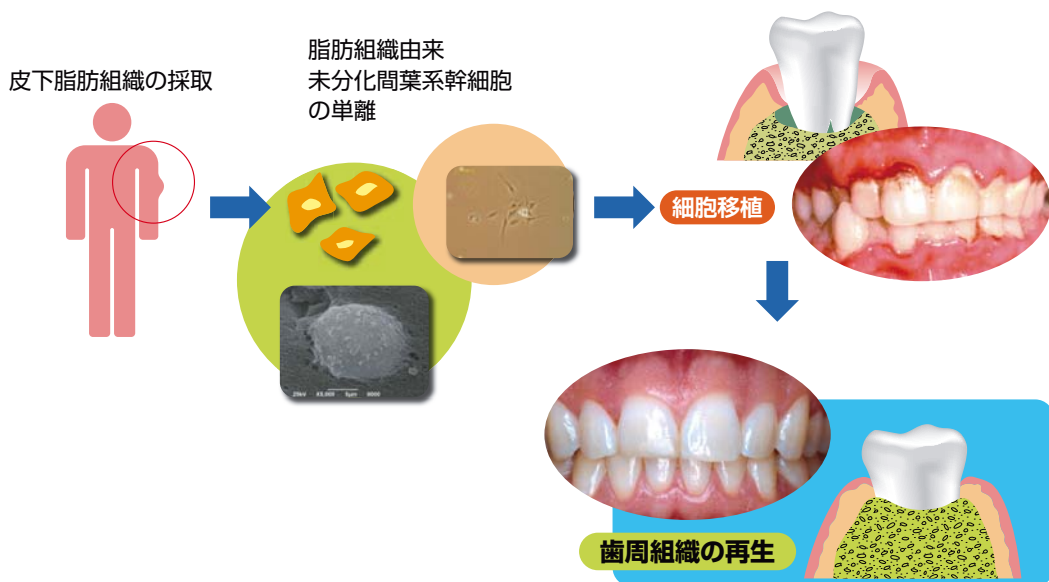


● 歯周組織幹細胞の保管庫としての歯根膜組織

進化した歯周組織再生療法

歯周組織は歯肉、歯槽骨、歯根膜、セメント質(歯根の表面)の四つの部分から構成されている。二つの硬組織、歯槽骨とセメント質の間にある歯根膜は、ショックアブソーバーのほか、歯根膜の中のコラーゲン繊維の束が歯と歯槽骨をつなげる役割を果たしている。

歯周病などによって失われた歯周組織を再生させるため、人工膜で歯槽骨再生のためのスペースを確保する「GTR法(歯周組織再生誘導法)」やブタの顎骨歯胚から生成されたエナメルマトリクスタンパク(EMD)をつかってセメント質形成を促進させる「エムドゲイン法」などが現在、臨床応用されている。



■ FGF-2がもたらす効果

しかし、歯周組織再生の効果をあげるためには、幹細胞だけでなく、幹細胞を活性化させるシグナル因子の存在が欠かせない。村上教授のグループは、サイトカインの一つで強力な血管新生作用と間葉系細胞の増殖を誘導する能力を持つ塩基性線維芽細胞増殖因子(FGF-2)に着目。2001年から実施していた臨床試験(治験)は2010年3月に最終段階である第Ⅲ相を終えた。2011年中には第Ⅲ相のデータ解析が済み、成果がまとまるが、第Ⅱ相までの治験で既に大きな成果を得ている。

前期第Ⅱ相(Ⅱ-A)治験の結果をまとめた論文は2009年9月、第95回アメリカ歯周病学会(AAP)学術大会で「R.Earl Robinson Periodonal Regeneration Award」を受賞し、すでに国際的に高い評価を受けた。後期第Ⅱ相(Ⅱ-B)治験では、FGF-2(濃度0.3%)投与後9か月経過した段階で、失われていた歯槽骨が平均で50.8%回復したことが確認できている。村上教授は「失われた部分の約50%が回復すること、たとえば歯槽骨の半分が失われている人は75%まで取り戻せるということです。歯の寿命は確実に伸びます」と話す。

全国の大学歯学部や歯科大学29施設のうち25施設の協力を得て253人を対象に全国規模で実施された治験が終了したことで、順調に進めば2012年にも臨床応用が実現しそうだ。

■ 幹細胞移植への展開

ただ幹細胞の数は加齢とともに減少するため、高齢者や重度の歯周病患者にとっては歯根膜幹細胞だけでは十分な量が確保できない場合がある。このため、村上教授のグループは次なるステップとして医学部附属病院未来医療センターと協力して、脂肪組織由来間葉系幹細胞(ADSC)を歯周組織再生に活用する研究を始めている。

再生医療のための幹細胞としては、骨髄から採取されたものが広く利用されている。しかし、ADSCには量的な制限が少ないうえ、患者の負担が軽減されるなどメリットが多い。手順としては、患者の腹部から採取した皮下脂肪の中にある幹細胞を分離して、歯周組織の欠損部へ移植する。

すでにビーグル犬を使った実験では、歯周組織に移植されたADSCから新たな骨が再生されたことが確認されている。

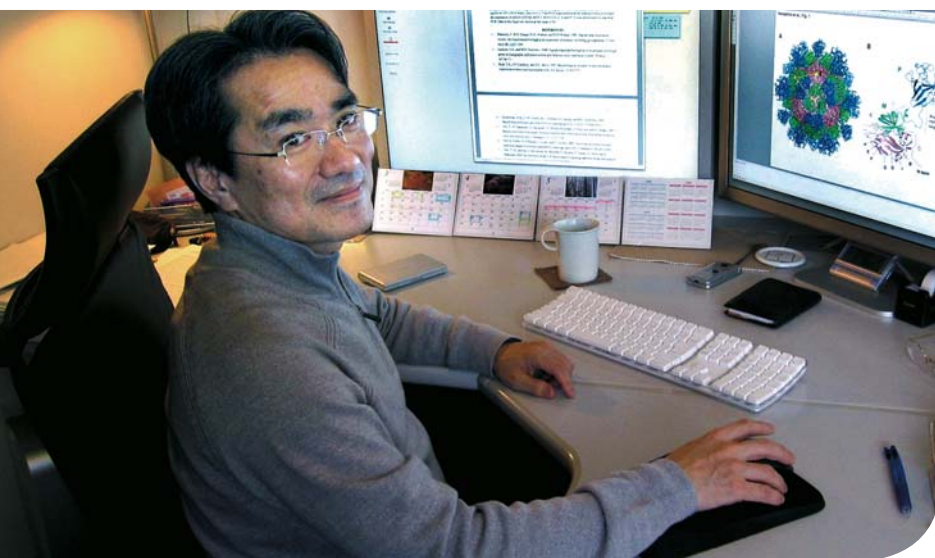
歯学部附属病院は2010年4月、「再生医療」と「先端歯科医療」を担う近未来歯科医療センターを開設した。同センターは全国の歯学部附属病院で唯一、細胞調整が行えるCPC(セル・プロセッシング・センター)を備えており、今後、歯周組織再生医療の最先端研究拠点となることが期待されている。

生き物としてのウイルスに興味と畏敬

微生物病研究所

松浦善治 教授 Prof. Yoshiharu MATSUURA

(分子ウイルス)



松浦善治 (まつうら・よしはる)
1955年福岡県生まれ。北海道大学獣医学部修士課程修了。第一製薬中央研究所研究員、国立感染症研究所研究員、室長を経て、2000年から現職。趣味は山歩き。「理屈なく、ただ頂上を目指すのが好きな理由かな」。早寝早起きが信条。職場にはいつも午前6時には出勤している。

世界で2億人、日本だけでも200万人もの感染者がいる「C型肝炎ウイルス」の研究に取り組んでいる。

C型肝炎ウイルスは、感染すると肝がんを発症する可能性があり、世界中の研究者がメカニズムの解明に挑んでいる。

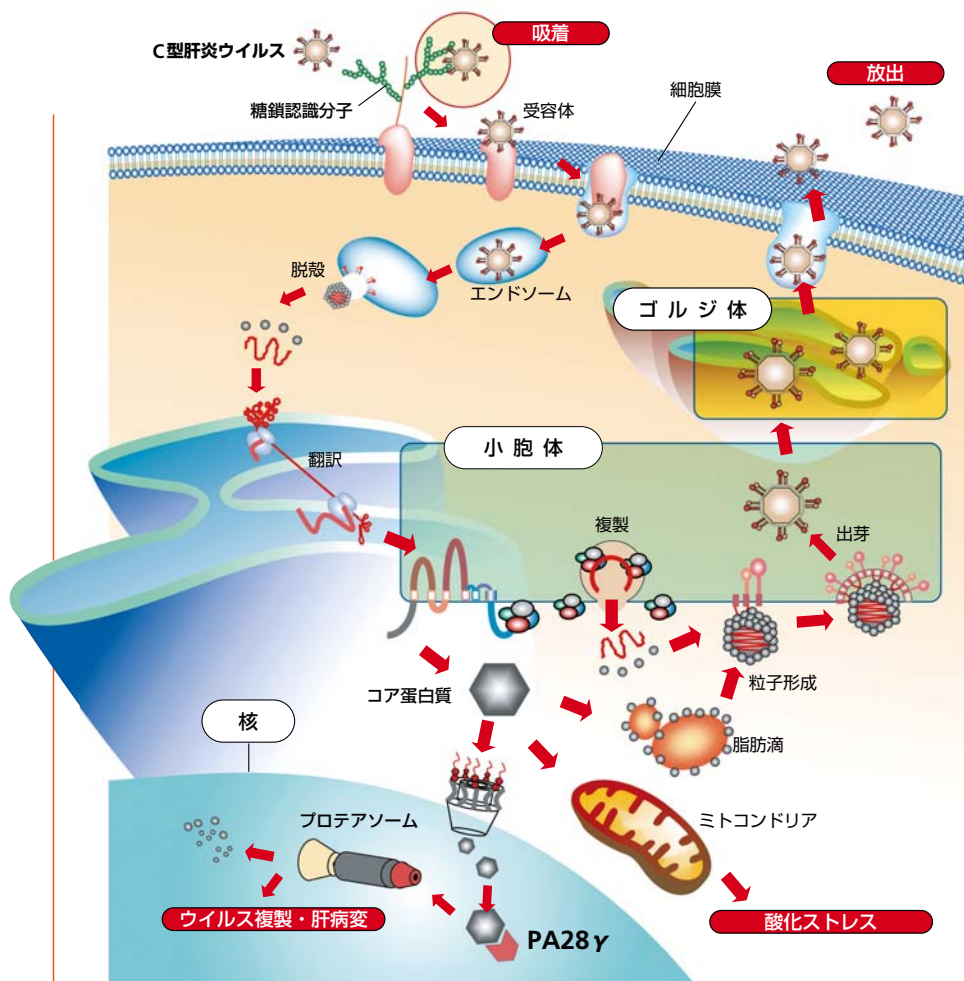
C型肝炎ウイルスの研究が難しいと言われる理由は、患者の血液からウイルスを分離、培養できない。さらに、人間とチンパンジー以外には感染しないことから実験動物もいない。「人に特化したウイルスだから」という。

松浦教授らはウイルスそのものでなく、ウイルスが増殖する際に必要とする、人間の体内にあるタンパク質に注目。これを見つけ出しターゲットにした薬を作ること、ウイルスの動きを止めようとしている。

近年の研究で、細胞核の中にある「PA28 γ 」というタンパク質の一種が、肝炎ウイルスの病原性にかかわっていることが判明。この「PA28 γ 」を無くすると、感染しても肝がんを発症しないことも分かってきた。

国内で年間2万5000人を超える人がC型肝炎を原因とする肝がんで亡くなっている。「ウイルスを体内から完全に排除することはまだできないが、肝がんに行進しないようにできれば、それだけでも患者さ

「ウイルスは僕らよりずっと
人の体のことを知っているんです」



●C型肝炎ウイルス(HCV)の感染環

細胞内のオルガネラを渡り歩いて増殖するHCV。HCVのコアタンパク質の一部はミトコンドリアの機能障害を引き起こしたり、核に侵入してプロテアソームの活性化因子「PA28γ」と相互作用して、HCVの複製、脂肪肝や肝臓がんの病理性発現に深く関与していると推測されている。

んの福音になると思う」と力を込める。

松浦教授は、生き物としてのウイルスに興味があるという。「ウイルスっていうのは、世界で、最小限の生命体。一番単純な生命体。よけいなものをそぎ落とし、ぎりぎりのところで生きている。その生きるメカニズムを解明することに醍醐味がある」

ウイルスの構造はタンパク質の殻と核酸だけ。動物の細胞に取り付くものもあれば、植物や昆虫に取り付くものも。無害なウイルスもあれば、病気を引き起こすウイルスもある。

「ウイルスと宿主がいい関係であれば、何も起こらない。大暴れて病気を引き起こし、宿主を殺してしまうのは、本当はウイルスにとっては、すみかではなくてしまう悲しいこと」と話す。

研究をしている中で、ウイルスの賢さに驚くこともあるという。「特にC型肝炎ウイルスは手ごわい」。ウイルスや細菌の多くは人間をはじめとする哺乳類に備わっている「自然免疫」「獲得免疫」によって攻撃され、水際で阻止されて感染にまでは至らない。

「C型肝炎ウイルスは、宿主の免疫システムを何らかの方法でかいくぐって増殖している。近年、研究が進んできた自然免疫についても、ずっと昔からウイルスはその存在を知っていた。僕らよりずっと人の体のことを知っているんです」

ウイルスを大地や自然と同じように畏敬の念を持って研究する。その姿勢が研究を成功に導いているのかもしれない。

核膜孔通る タンパク質の 船 解明続く

生命機能研究科

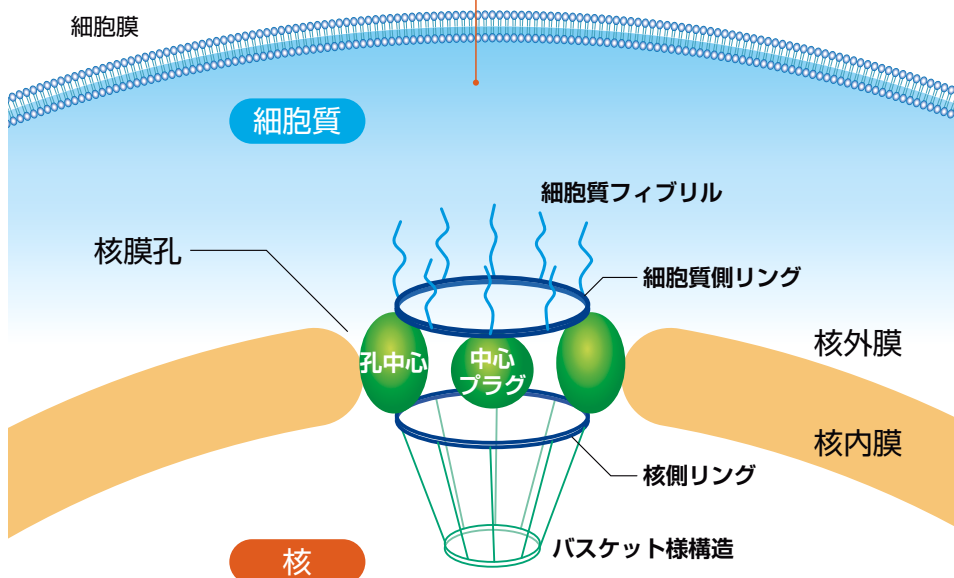
米田悦啓 教授 Prof. Yoshihiro YONEDA
(細胞生物学)

人間の体はいわば無数の細胞の集合体。その細胞一つ一つの生命活動の基本となるタンパク質を、核やミトコンドリア、小胞体などの目的地へ運ぶ役割もまた一部のタンパク質が担っている。

「細胞質」という海原をタンパク質の“船”が“積み荷”を乗せて目的地へ運ぶイメージ」と自らの研究分野を海に例える。

その中でも遺伝情報のほとんどが収納されている核と、細胞質を行き来するタンパク質の輸送因子(船)「インポーティン α 、 β 」に着目した。

核の中で働くタンパク質は、6000~7000種類以上あると予想されている。細胞質で生まれたタンパ



● 核膜孔複合体模式図

「新しいタイプの抗ウイルス剤や 抗がん剤の開発などにつながる」

米田悦啓(よねだ・よしひろ) 1955年奈良市生まれ。大阪大学医学部卒、医学研究科博士課程修了。細胞工学センター助手、助教授、医学部教授を経て、2002年から現職。息子達のサッカーや野球の試合を観戦するのがもっぱらの休日の過ごし方。自身も中高はハンドボールで鍛えた。グローバルCOEプログラム「オルガネラネットワーク医学創成プログラム」拠点リーダー。

出して、積み荷になりすまし、まんまと船に乗って核膜孔を通過しているのではないかと分析する。

「船を研究し、ウイルスが船を乗っ取る仕組みを解明できれば、ピンポイントでウイルスの増殖を阻害する抗ウイルス薬の開発につながるはずだ」

自ら発見した船は4〜5種類。中でも1995年に発見した船、つまり「インポータイン α 」に大きな期待をかける。なぜなら、その「インポータイン α 」は、通常、子宮の中で受精卵が人体へと発生する段階で重要な役割を持っているだけではなく、細胞がさまざまなストレスにさらされたときなどにもなんらかの機能を果たしていそうだからだ。

研究を始めた約25年前、「学会の質疑応答でもほとんどの『わかりません』と答えるしかなかった」という苦い経験を振り返る。現在は、臓器や組織の元になる夢の万能細胞「人工多能性幹細胞」(iPS細胞)研究に輸送因子の側面から参加。細胞生物学研究の第一人者でもある。

「船そのものを研究しているのは世界で10グループほどしかなく、積み荷分子の研究に比べると、あまり注目されていない。でも船の働きをさらに解明できれば、新しいタイプの抗ウイルス剤や抗がん剤の開発などにつながる」と力強い。

米田教授の日々の研究が、新薬の開発などにつながり、やがて臨床現場に役立つ。そんな将来はきっと近いに違いない。

ク質は、ゲノムDNAに備わった遺伝情報に基づいて決められた働きを行う。核内部で役割を果たすタンパク質は、核と細胞質を隔てる核膜の直径100ナノメートル(1ナノメートル=10億分の1メートル)程度しかない複雑なトンネル「核膜孔」を通り抜けなければならないが、そこを通り抜けることができる船は二十数種類しか発見されていない。

「僕が研究を始めたころは船の存在すらわからなかったほど。あとどのくらい船があるのかいまだによくわかっていないんです」

核の中へ入り込もうとするのはタンパク質ばかりではない。エイズウイルスなど、細胞質に入ったウイルスにも、虎視眈々と中へ入るチャンスがうかがっているものがある。

「ウイルスが増殖するには核の中にある細胞の装置を利用しなければならない場合がある。ウイルスが核の中で増えたあと、細胞の外に飛び出して体中に回るので」

「核膜孔」は選択権を持つので、通常はウイルスを排除する。そこで、ウイルスは積み荷の情報を盗み





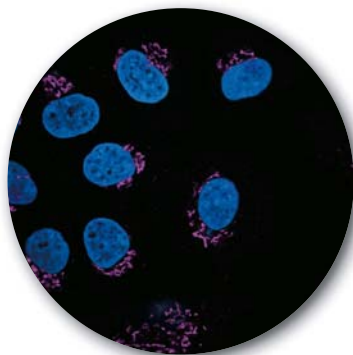
細胞内オルガネラ間の 対話メカニズムを究明

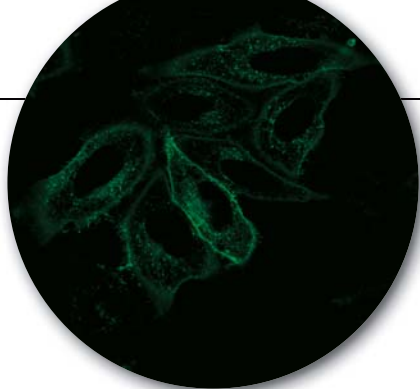
新パラダイムの 治療戦略を考える

「オルガネラ」はヒトの体に約60兆個ある細胞の中に存在する小部屋のような小器官である。代表的なものに核、小胞体、エンドソーム、ミトコンドリア、ゴルジ体などがある。それぞれがコミュニケーションを取り合い、細胞内の分子輸送に重要な役割を果たして生命の機能を司っている。

「感染症」では、さまざまな病原体が細胞の中に入り込み、オルガネラの一つである核の中で、遺伝子を複製して再生産され増殖していくものがある。病原体は、核だけではなく、細胞内のさまざまなオルガネラを通過し、そのシステムを巧みに利用して子孫を増やしているのだ。

一方、グルコース(ブドウ糖)などの単糖が鎖状につながった「糖鎖」は、細胞の表面に多くあり、「細胞の顔」といわれる。ゲノムの情報を翻訳してつくられるタンパク質の約半分は糖鎖が結びついて機能する(糖鎖付加)。インフルエンザウイルスやエイズウイルスなどは糖鎖とうまく結合して細胞内に侵入する。オルガネラ機能には、細胞内タンパク質の糖鎖付加が密接にかかわっている。先天性筋ジストロフィー症、肺気腫など糖鎖異常が原因である疾患が数多く明らかになってきており、大阪大学の研究で、がんの転移にも糖鎖が深くかかわっていることが発見された。

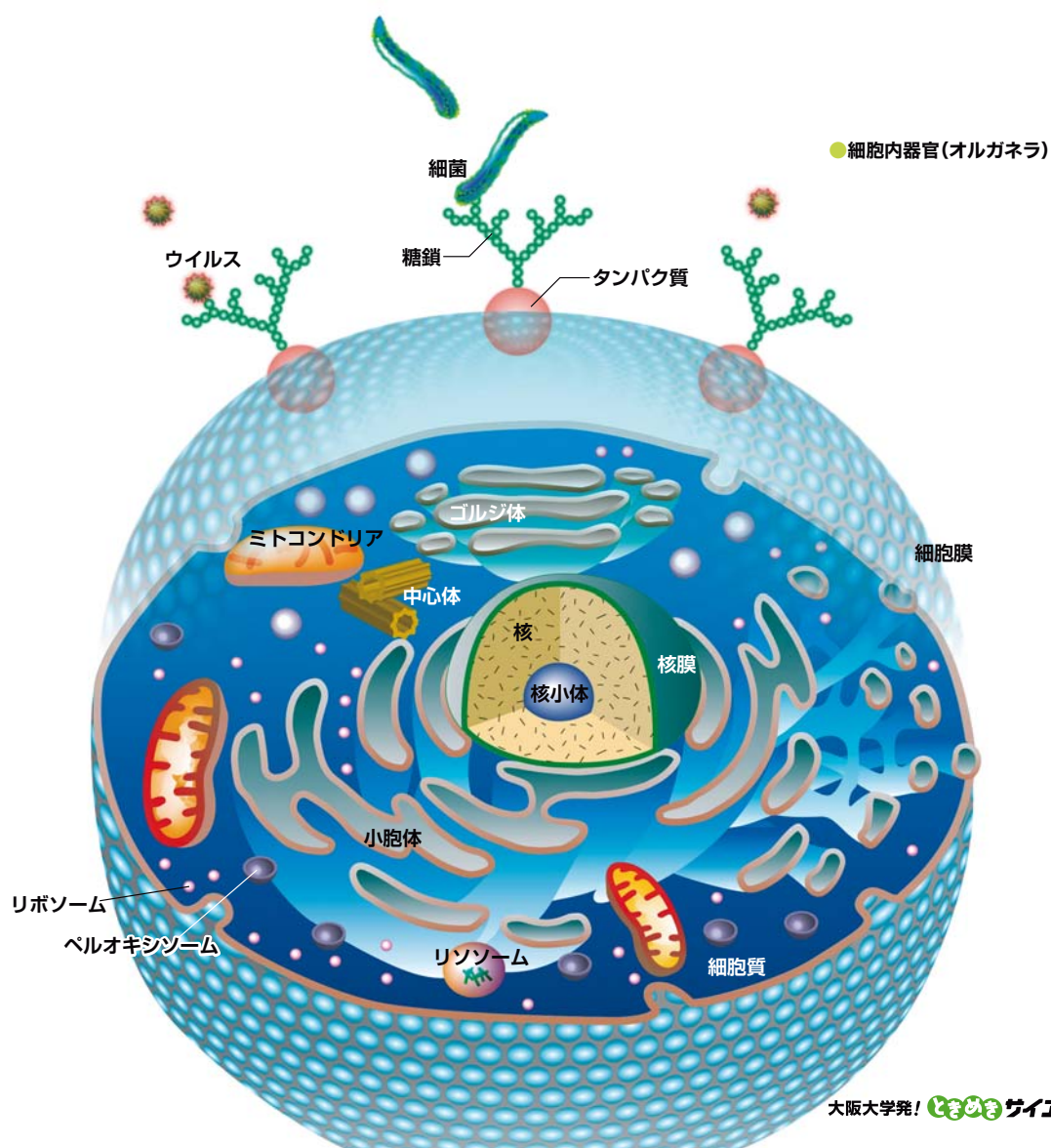




大阪大学は、先の21世紀COEで5年間にわたり、糖鎖とタンパク質、感染症学と免疫学の二つの研究テーマで融合を進めてきた。その研究から見てきた「オルガネラネットワーク」というキーワードに焦点を絞ったのが今回のプログラムだ。「感染症学」「細胞生物学」「糖鎖生物学」の融合を図るものである。

拠点リーダーの米田悦啓・生命機能研究科教授は

「生命科学では、遺伝子、タンパク質および、個体の研究は精力的になされてきたものの、細胞がどうやって生きているかを統合的に理解する研究が遅れている。オルガネラという小部屋の個々の機能は発掘されているが、小部屋同士のハーモニーがないと細胞は生きていけない。そこに分子から個体までの統合した理解へのカギがある」という。

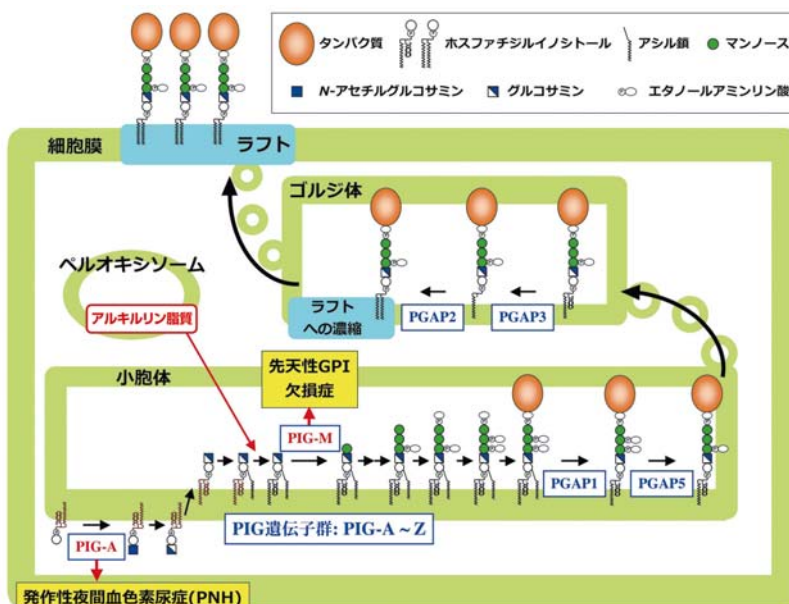


ときめき
研究
最前線

研究topic

- GPIアンカー型タンパク質の生成には
三つのオルガネラの協調が必要であることを発見

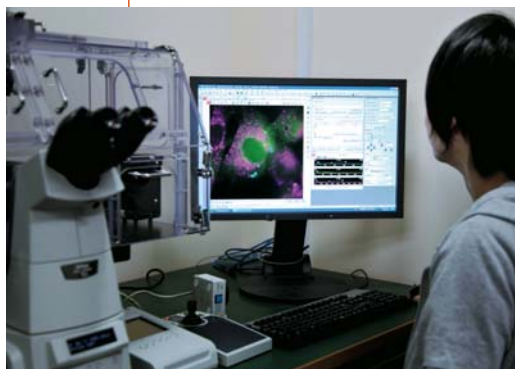
PIG遺伝子群(PIG-A~Z)の働きにより小胞体で生成されたGPIアンカーがタンパク質と結合し、さらに、PGAP遺伝子群(PGAP1~3)の働きによる小胞体とゴルジ体での脂質構造の改変を経て細胞表面に輸送され、脂質ラフトに濃縮される。今回、ペルオキシソームのアルキルリン脂質生成経路がGPIアンカーの生成に必要であることを新たに発見した。また、発作性夜間血色素尿症(PNH)はPIG-A遺伝子の変異によって、先天性GPI欠損症はPIG-Mの異常によって起きることが明らかとなっている。



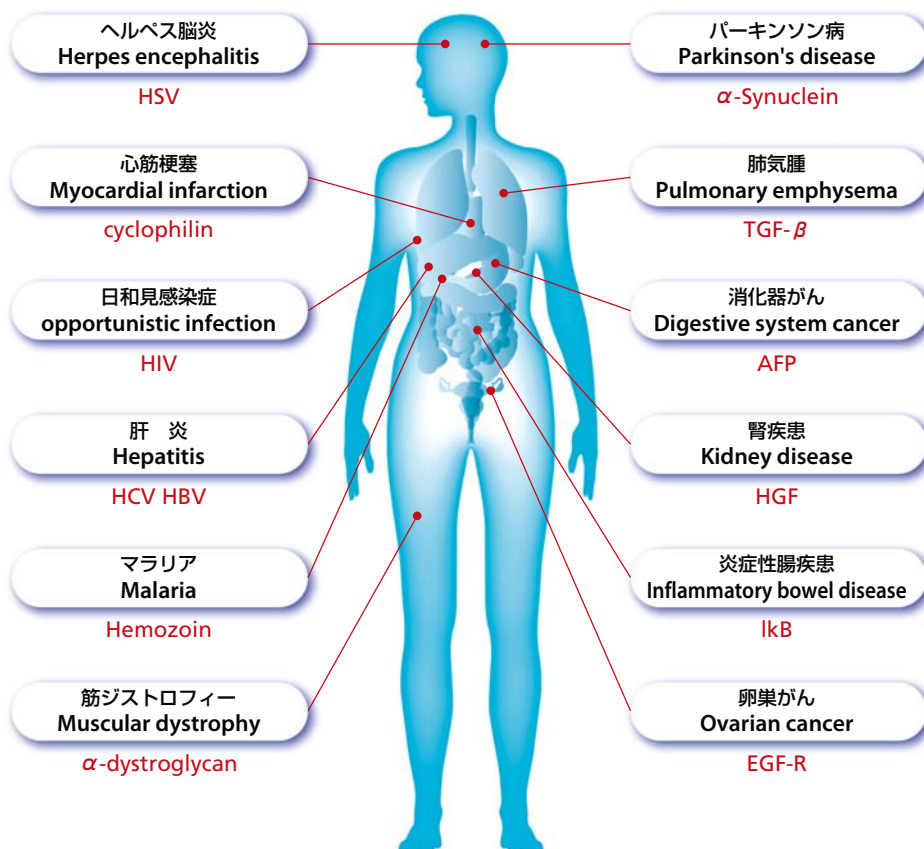
細胞内オルガネラ間の
対話メカニズムを究明

例えば、エイズウイルスはいったん核の中に入って増殖するが、その出入りの方法は未解明である。最近しばしば話題になるインフルエンザウイルスも、輸送という意味での研究は進んでおらず、感染のメカニズムを分子レベルで理解できていない。その点を解き明かし、オルガネラネットワークと病原体の相互関係を遮断する技術を開発できれば、感染を抑える新たな予防・治療法が確立できるはずだ。

オルガネラの中でも、小胞体、ゴルジ体は糖鎖サイクルの主役だ。ウイルス感染のステップにも糖鎖が密接に絡んでいるケースが多いといわれる。ウイルスの中には、さまざまなオルガネラを通過する度に、糖鎖を付けて“成長”していくものがあるが、この分野の研究も未知の領域である。また、小胞体でのタンパク質の“品質管理”が破綻することによる神経変性疾患など、オルガネラ機能の破綻が原因と思



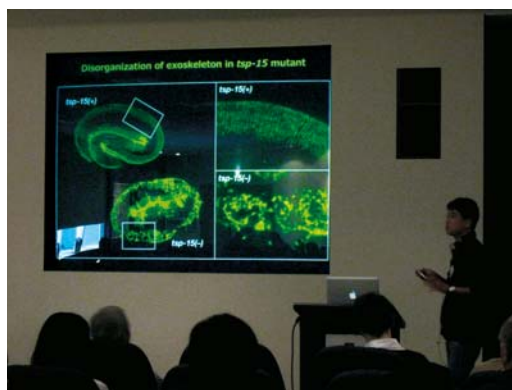
●オルガネラネットワーク研究で期待される医学への貢献



われる疾患の診断や治療法の開発は、糖鎖付加の解明が一つのカギを握っている。

アルツハイマー病や老化の秘密も糖鎖とオルガネラにあると推測されている。オルガネラの一つ小胞体は膜タンパク質を合成し、それに糖鎖を付加し、機能できるタンパク質として完成させる役割を持っている。しかし、たまに糖鎖付加がうまくいかず、タンパク質の製造に失敗する場合がある。修理ができないタンパク質がたまってくると、小胞体からミトコンドリアにシグナルが伝えられ、細胞死が起きる。その現象がアルツハイマー病に関連する可能性があるともいわれている。

米田教授は「世界で唯一のオルガネラネットワーク医学という新しい医学の分野を開拓する。多くの因子や環境が複雑に絡み合う病態の解明と治療に貢献したい」と話している。



タンパク質解析から 人体の神秘に迫る

蛋白質研究所

中川敦史 教授 Prof. Atsushi NAKAGAWA

(タンパク質結晶学、構造生物学)

皮膚、筋肉、髪——。体のあらゆるものが、タンパク質
でできている。「タンパク質は、生命現象のほとんどの役割
を担うといっても過言ではないんです」

人間の全遺伝子を読み取るヒトゲノム計画から、
遺伝子が作り出すタンパク質の構造・機能を調べる「ポストゲノム」の時代になり、タンパク質の
研究は生命科学の中心的な分野になった。

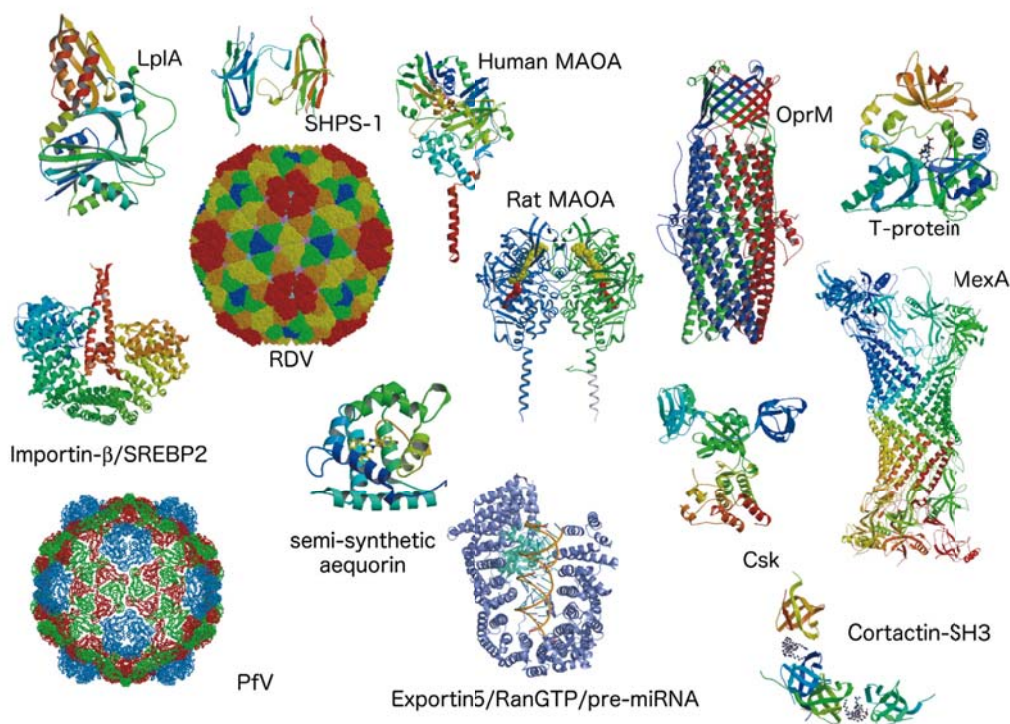
大阪大学蛋白(タンパク)質研究所は、50年以上の
歴史を持つ。約100人のスタッフは生物や医学のほか
物理、化学など幅広い分野の専門家で、日夜タン
パク質の機能と構造を解析している。解析が進めば病



中川敦史(なかがわ・あつし)1961年愛知県生まれ。名古屋大学理学部卒。大阪大学理学研究科博士課程中退後、茨城県つくば市の高エネルギー物理学研究所助手、北海道大学理学研究科助教授を経て99年、大阪大学蛋白質研究所へ。2003年から現職。94年から1年間英国ケンブリッジMRC分子生物学研究所に留学。趣味は「昔は読書だったが、最近はあまり時間がとれなくて」。

「体で起きていることを
説明できるようにしたい」

さまざまなタンパク質の立体構造。原子レベルでタンパク質・生体超分子複合体の機能を解析し、医療や創薬に生かす。



気の発症メカニズムの分析や治療法の開発につながる」と期待され、世界中で研究が本格化しているのだ。

タンパク質の構造は、そのまま生命の営みを表すというほど、複雑にできている。化学的には20種類のアミノ酸が絡み合った高分子の化合物に過ぎないが、実際のタンパク質はそれぞれが立体構造をとっている。また、複数のタンパク分子が集まってさらに大きな分子を作ることもあり、地球上のすべての生物のタンパク質の構造を特定することは「終わりのないパズル」と例える。

世界中の研究者が解析したタンパク質のデータが登録されている「国際蛋白質構造データバンク」には、現在6万8000を超えるデータが蓄積されているが「まだほんの一部」という。だが、一つ一つのタンパク質の解析により、確実に人間の体の神秘に近づいているのだ。

タンパク質は自らが形を作り、いろんな種類と組み合わせることで、体内であらゆる動きをする。アルツハイマー病やBSE(牛海綿状脳症)の原因としてタンパク質が絡んでいることから、ひとたび“異常”が起これば、やっかいな病気を引き起こすことも明らかになっているという。

タンパク質の構造解析により、治療法の開発に繋

がった最初の例がインフルエンザウイルスだという。ウイルスは、遺伝子を取り巻くタンパク質でできている。ウイルスの構造を特定することで、活動を抑えるタミフルやリレンザなどの薬の開発に繋がったのだ。

構造解析が爆発的に進んだのは、21世紀に入ってから。一番の立役者が兵庫県佐用郡にある大型放射光施設「SPring-8」だ。タンパク質の構造解析には、エックス線が欠かせない。結晶化したタンパク質に放射光と呼ばれる強力な光を当て、原子や分子の立体的な構造を調べる。今では専用のラインに常駐の研究者を置き、リアルタイムで解析をおこなっている。「古い計算機で解析していたのが懐かしいくらい、情報技術の進歩がそのまま生命科学の発展に生かされている」

これまでイネ萎縮病のウイルスのほか、脳や神経系で機能している物質など、50以上のタンパク質の構造を決定してきた。「昔は、タンパク質の構造なんて調べてもお金にならないといわれたが、今では世界中に研究者がいる。なにが起これかわからないということですよ」。体で起きていることを説明できるようにしたい——。真摯な研究者たちが、思いを遂げることはそう遠い未来ではなさそうだ。

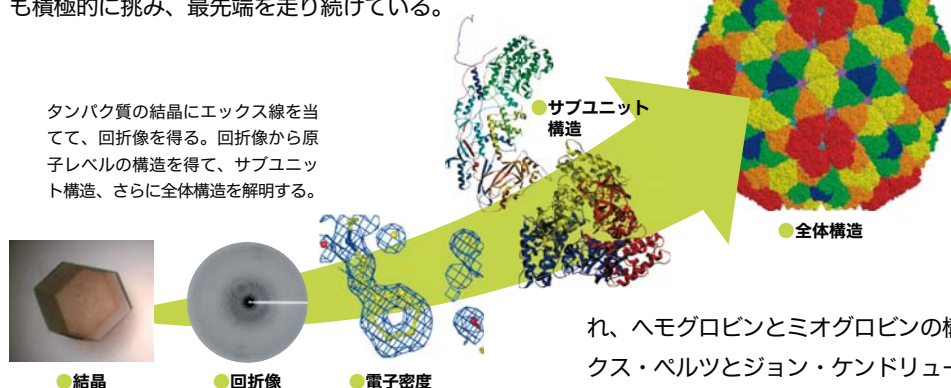
し・き・め・き

研究
最前線

エックス線回折法で 生体超分子 複合体を解析

中川研究室では、複雑なタンパク質を「エックス線回折法」という手法で構造解析している。この手法は、SPring-8などの放射光施設の利用で研究が急激に進んだが、今も発展の途上にある。研究室では、医学・薬学分野などに欠かせない重要な生体超分子複合体を選定して解析する文部科学省大規模研究開発事業「タンパクターゲット研究プログラム」などに取り組む傍ら、ウイルスの構造など独自の研究にも積極的に挑み、最先端を走り続けている。

タンパク質の結晶にエックス線を当てて、回折像を得る。回折像から原子レベルの構造を得て、サブユニット構造、さらに全体構造を解明する。



進化するエックス線結晶構造解析

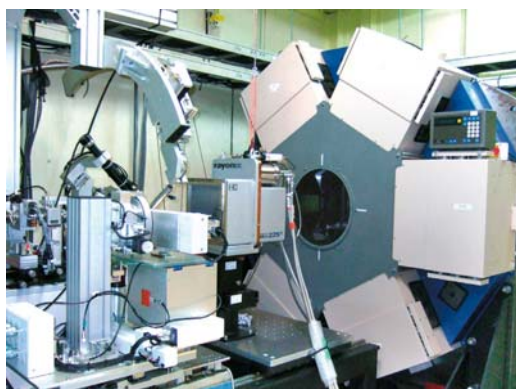
ウィルヘルム・レントゲンが1895年に発見したエックス線は、物質に当たると、多くは突き抜けるが、一部は原子核のまわりを回っている電子により散乱する。このエックス線の回折を観測することにより、電子密度として物質の3次元構造を知るのがエックス線構造解析だ。単独結晶による回折像は、原子や分子が3次的に規則正しく並んでいるため、多数の斑点として現れ、斑点の位置や強弱から原子や分子の位置を特定する。

1950年ごろからタンパク質の構造解析に用いら

れ、ヘモグロビンとミオグロビンの構造解析でマックス・ペルツとジョン・ケンドリュー(英国)がノーベル化学賞を取ったのをはじめ、2009年には細胞内でタンパク質を作るリボソームの構造解析でアナ・ヨナット(イスラエル)、ヴェンカトラマン・ラマクリシュナン(英国)、トーマス・スタイツ(米国)の3人の科学者が同賞を受けたことは記憶に新しい。

SPring-8に専用のビームライン

近年は、光速に近い電子が出す「シンクロトロン放射光」を使う大型放射光施設が出来て、より微小な結晶から、複雑で大きなタンパク質の構造解析が可能になってきている。25年くらい前には1^{ミリの}四方の大きさの結晶が必要だったが、今は数ミクロン大の結晶でも構造解析が可能になってきている。



SPring-8(写真右)に設置されている蛋白質研究所の構造解析装置(同左)。

中川教授のグループは、SPring-8に専用のビームラインを持っている。大学で専用ラインを持っているのは大阪大学と東京大学だけだ。微小結晶での解析は可能になってきているが、鉱物などと違いタンパク質はエックス線を当てると化学結合が切れたりする脆弱な構造なだけに、いくつもの結晶を用意して解析する方法や分析に使うコンピュータプログラムの開発など、さまざまな工夫が現在も進められている。中川教授は構造解析で結果を出すためには「いいデータをいかに取るかが重要で、そのためには、いい結晶を得ること、そしてデータ収集の方法論としてタンパク質特有の課題を克服していくことが大切です」と強調する。

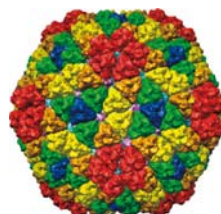
■生体超分子構造解析とは

ヒトゲノムの読み取りが終わり、遺伝子の情報が作り出すタンパク質がどのような構造で、また、タンパク質同士がどのように生体内で相互に作用を及ぼしているのかということに生物科学の焦点は移ってきた。ゲノムはあくまで生命の設計図で、実際の生命は設計図に従って作られたタンパク質が動かししているからだ。生命活動は、突き詰めると化学反応で成り立っている。そのメカニズムを探るには原子のレベルで構造を知り、分子と分子の相互作用、タンパク質がどういう時期や環境条件で複合体を作るのが重要になっている。これらの研究は生命活動全体を考えると、まだ緒に就いたばかりといえる。

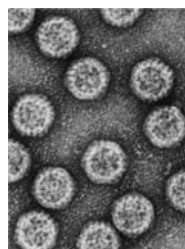
■ウイルスや遺伝子の生命のメカニズムに迫る

中川教授のグループでは、2002年にイネ萎縮ウイルスの原子構造を解明した。イネ萎縮ウイルスは900のタンパク質が組み合わさって球状構造を形成している。パーツとしては120と780の2種類の部品(タ

ンパク質)が互いを精密に認識しながら、きちんとした正20面体構造を作り出しているのだ。主として電気的な力で相互作用の強いものから形作られていくと推察されるが、タンパク質同士がつながる手のような突起部などの構造が分かって初めてメカニズム



イネ萎縮ウイルスの立体構造



イネ萎縮ウイルス

も分かった。今もこのウイルスのイネへの感染やイネの中での増殖の機構を明らかにするための構造研究を続け、ウイルス増殖の機構の解明を進めている。また、04年に解析した緑膿菌が薬剤を排出するタンパク質複合体は、3種類の大きなタンパク質から構成される巨大な複合体で、緑膿菌中の異物(薬剤)を出す内膜と外膜をつなぐ部分の構造と排出の最後の段階で外膜を透過させる「トンネル」を形成する部分の構造を明らかにした。今後、医薬分野での利用が期待される。

最新の研究の一つとして、同じ遺伝子を持つ一卵性双生児が全く同じ外見になるわけではないように生物には様々な遺伝子発現の制御機構が存在しているが、その遺伝子発現制御の鍵を握る重要なタンパク質の構造解明に成功した。中川教授は「複雑なタンパク質の結晶を作るには数年かかることもある底の深い研究です。構造分析装置や技術、コンピュータの急激な発展で、本当に生物学的に意味のある解析ができるようになってきた段階なので、やることはいっぱいあります。複雑な生命現象を目に見える形にできる喜びがあります」と話している。

後天的な遺伝情報制御の メカニズム解明

生命機能研究科

仲野 徹 教授 Prof. Toru NAKANO

(幹細胞学、病理学)

遺伝子至上主義が変わるかもしれない。「これまで遺伝子の変異によるものとされていた、がんの発生や精神疾患にもエピジェネティクスがかかわっている可能性がある」という。「エビ」は「上」、「ジェネティック」は「遺伝」という意味で、遺伝情報を持つDNAの塩基の配列は変わらないのに、後になって遺伝子の性質が変わり、作りだすタンパク質が変わっていく現象をいう。

まったく同じDNAをもちながら、一卵性双生児はその成長過程で、異なった性格や体質に変わっていくのはなぜなのか。遺伝疾患でも発病する人と、しない人がいるのはなぜか。DNAだけでは説明できない、後天的に遺伝情報を制御する「エピジェネティクス」の解明に取り組んでいる。

人間は、たった一つの受精卵から分化を繰り返した約200種類の細胞でできている。目、耳、皮膚、神経、筋肉…。秩序だって分化しそれぞれの役割を果たす。

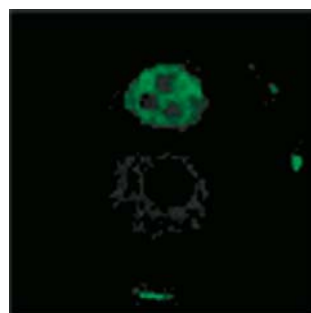
「間違っても神経と筋肉の間の細胞といった変なものとは生まれません。そのきちんとしたメカニズムが美しく、神秘的だなんて思うんです」



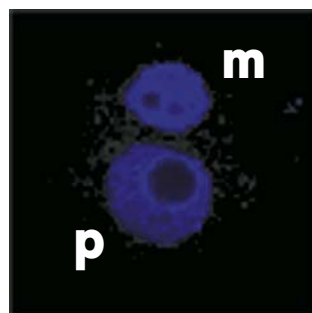
仲野徹(なかの・とおる) 1957年大阪市生まれ。大阪大学医学部卒。堺市立堺病院内科医師、ヨーロッパ分子生物学研究所客員研究員、京都大学医学部講師などを経て95年、大阪大学微生物病研究所教授。2004年から医学系研究科病理学教授と生命機能研究科時空生物学教授を兼任している。

「エピジェネティクスの研究は正解も不正解もない未知の分野なんですよ」

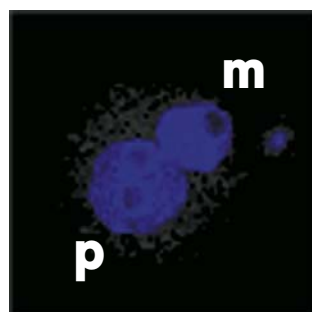
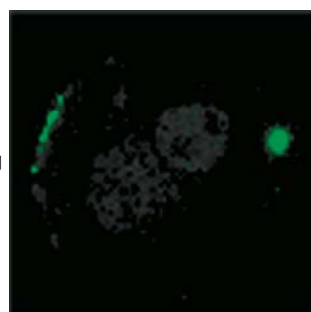
正常な受精卵



核



PGC7 欠損受精卵



PGC7 を欠損する受精卵では、母親由来の核(m)のDNA メチル化がなくなってしまう

メチル化シトシンに対する抗体を用いてゲノムのメチル化状態を調べた結果、コントロールにおいては、受精前後で maternal genome のメチル化が維持されていたが、ノックアウトの受精卵では、maternal genome のメチル化が維持されず、脱メチル化が生じていることがわかった。未受精卵のメチル化状態に変化がみられないことから、この脱メチル化は、確かに受精後に生じていることがわかる。また、paternal genome においては、ノックアウトにおいてもコントロールと同様に脱メチル化が生じていた。

2003年に「ヒトゲノム計画」が終了し、人間の設計図ともいわれるDNAの塩基配列がすべて解読された。世界中の研究者がそのポストヒトゲノム計画ともいえる研究にしのぎを削っている。仲野教授は遺伝子の働きを左右する「PGC7」というタンパク質を発見し07年、雑誌「Nature Cell Biology(ネーチャー・セル・バイオロジー)」に発表した。

「だからといって、その発見が何に役立つのかも、まだ分からない。今われわれがしているのは基礎の基礎。エピジェネティクスの研究は正解も不正解もない未知の分野なんです。それが面白くて、面白くて」

07年、50歳でアフリカ大陸の最高峰、キリマン

ジャロ(標高5895m)に挑んだ。スポーツジムに通い十分に体力をつけ挑戦し見事登頂に成功したが、「意外にあっさり登れて、鼻歌も歌っていたぐらいでした」。その言葉には、ちょっと肩すかしをくらったような物足りなさ感さえる。

論文が1日遅れただけで明と暗、勝者と敗者になるほどの過酷な競争世界——。そして何よりも、神秘と未知のエピジェネティクスの世界。現在の環境は刺激に満ちている。物足りなさはあるところからきているのかもしれない。

「エピジェネティクスは、今一番わたしの好奇心をかき立ててくれる」。飾りのない、その言葉に、研究者の原点を見た気がした。



水深20mの海底で海綿を採取する

医薬品のシーズ求め 海底生物採取

薬学研究科

小林資正 教授 Prof. Motomasa KOBAYASHI
(天然物化学)



血管新生を阻害する物質を
産生する海綿

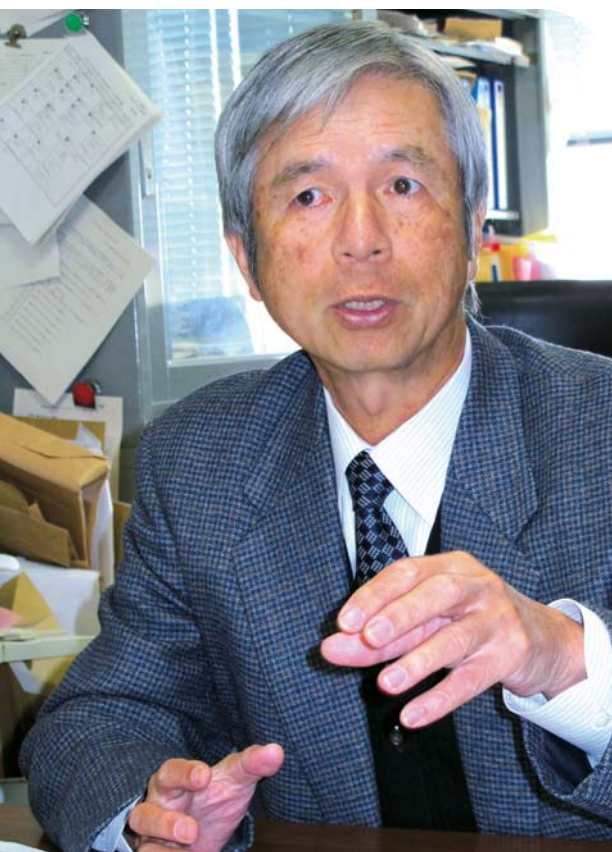
小林資正(こばやし・もとまさ) 1951年富山県生まれ。大阪大学薬学部卒、薬学研究科修了。米オハイオ州立大学留学を経験し、大阪大学薬学部助教授、教授を経て98年から同研究科教授。「海洋生物由来の生物活性物質の探索研究」分野の第一人者。趣味は釣りで「研究と同じで奥深いですよ」。

「無謀といえば無謀だけど、ロマンがあるでしょ」。屈託なく笑う顔は日に焼けてたくましい。

九州・沖縄 地方を中心に各地の海に長年、自ら潜水器具をつけて潜ってきた。その姿はトレジャーハンターさながら。海の生物に薬効成分を求める研究分野の日本の草分けで、人類の役に立つ医薬品のシーズ(種)を探し求めている。

この分野の研究に最初の一步を踏み出したのは大学院生のころ。「ケシから得られるモルヒネをはじめ、植物はよく研究されていた。でも、海は未開拓。伝承のようなものもなく手探りだったですね」と振り返る。どの生物にどんな成分が含まれているのか、全く分からない。最初はオニヒトデの研究から始まった。

軟らかいサンゴの仲間や海綿、ホヤなどの底生生物をターゲットに定めた。



「海底には複雑な化合物を作り出す生物がいる」

「自分で潜らなければ、欲しいものがどれか分からない」と二十数年間、沖縄地方を主なフィールドに自ら海に潜った。時には宿泊施設のない漁村や、マラリアが流行する僻地^{へきち}へも出かけた。

採取した生物は研究室に持ち帰り、それぞれの抽出エキスを「ライブラリー」として保存していく。

「天然物は生物が意味を持って作っている。人間の役に立つ『活性』につながる割合も高いはず」と話す。企業と一線を画する特色のあるライブラリーを長年かけて構築してきた。「ライブラリーは研究室の財産です」と自信をみせる。

病気に効き目があるかを調べる新たな「活性試験」が構築できると集めたライブラリーをスクリーニングする。活性が認められる抽出エキスはさらに詳しく分画精製して活性物質を見つけ出す。水虫に効く物質を見つけたのは冬の珍味のナマコからだった。

10年ほど前から、インドネシアの海まで遠征している。そこで取れた海綿から抽出した天然物に、血管新生を抑える働きがあることを突き止めたのだ。

がん組織に向かって伸びる血管支流の新生を阻害することで、がんの成長を妨げる効果があり、抗がん剤との併用療法として研究の進展が注目を集めている。

海底生物を採取し続けるのは、海には変わった生物が多く、まだまだ未知数だから。

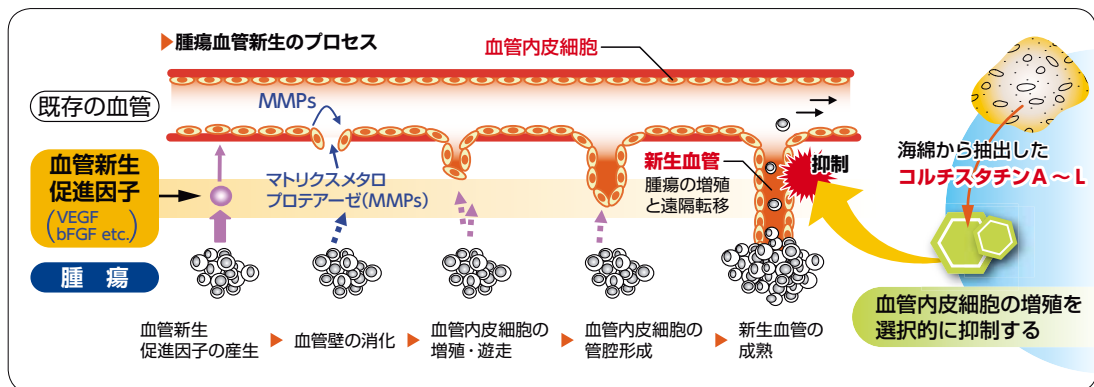
「海底には複雑な化合物を作り出す生物がいる。がんやアルツハイマーなどに効力のある治療薬の材料にぶつかれるはず」。近年は仲間の若い研究者や学生たちに海中探索は任せているものの、その研究熱は冷めることがない。

し・き・め・き
研究
最前線

海綿から 抗がん効果 物質を 発見

■医薬品のシーズとして注目を集める海綿

小林教授のグループが注目しているのが、海綿だ。英語では「スポンジ」というように、細かい網目状の骨格を持っている。熱帯を中心に世界の多くの海や淡水にも分布し、寿命の長いものが多い。トゲや硬い殻などをもたないにもかかわらず、魚などに食べられず、また、微生物からも自身を守っている。何らかの化学防御物質を産出していると考えられ、また植物よりヒトに近い動物であることから、医薬品のシーズとして有望で実績もある。小林教授グループの最近の成果の一部を紹介しよう。



■がんの血管新生を阻むコレステリン

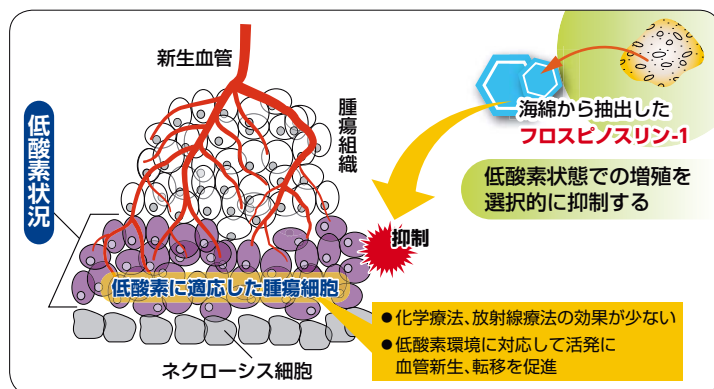
がん細胞の特徴の一つに、新しい血管を既存の血管から誘導することが挙げられる。がん細胞の無制限な増殖には大量の栄養と酸素が必要だからだ。血管新生のメカニズムは、腫瘍(がん細胞)が血管内皮細胞増殖因子(VEGF)や塩基性線維芽細胞増殖因子(bFGF)などの血管新生促進因子を分泌し、それらが

血管内皮細胞上に現れる受容体と結合、シグナル伝達経路が活性化されることから始まる。活性化された内皮細胞は、血管を囲む基底膜を溶かすため、タンパク質分解酵素の一種のマトリクスメタロプロテアーゼ(MMPs)を作り始め、細胞の増殖・血管の遊走が始まり、がん細胞への新生血管が作られる。

グループでは、血管新生のすべての過程に関与している血管内皮細胞に着目し、その細胞だけの増殖



を阻害できる化合物の探索を実施。インドネシアのフローレス島で2001年に採取した海綿「コルチシウム・シンプレックス(Corticium simplex)」の抽出エキスを効果を見いだした。そして、試験結果をもとに精製し、新規のアルカロイド類を発見し、コルチスタチンと命名、微妙な構造の違いからコルチスタチンA~Lとした。その後の研究で、コルチスタチンAが、既にあるVEGF受容体などに作用する既存の抗がん剤とは全く違った作用メカニズムで、強い血管新生阻害作用を有していることも確かめられた。医薬品としての開発研究が進められている。



■抗がん剤の届きにくい部位での増殖阻害物質の発見

また、腫瘍組織のがん細胞は均一ではなく、その環境に応じて代謝や遺伝子の発現を変化させていることが最近分かってきた。腫瘍組織では、血管の新生によってできた血管網が無秩序に存在し、血管の構造も脆弱なことから、部分的には低酸素環境にあ

る。極端な低酸素状況では、がん細胞もネクローシスによって死滅するが、ある程度の低酸素状態のがんは環境に対応して、活発に血管新生促進因子やがん転移に関係する各種因子を出すことが分かってきた。

低酸素状態の部位のがん細胞は血管から遠くにあり、抗がん剤が届きにくく、また放射線も低酸素組織には効果が少ないことから、治療には困難を伴っている。こうしたことから、グループでは低酸素環境において、選択的にがん細胞の増殖阻害を示す活性天然物を探した。その結果、ヒト前立腺がん細胞での試験で、2001年にインドネシアで採取したダクチロスポンジア属の海綿の抽出エキ스가効果を示した。精製の結果、シンプルな構造のフロスピノスリン-1という化合物であることが判明した。

フロスピノスリン-1について詳しく調べたところ、マウスを使った動物実験では、経口投与で既存の抗がん剤のシスプラチンとほぼ同等の抗腫瘍効果がみられ、また既存薬剤とは違う作用メカニズムであることも分かった。その作用メカニズムについては、血管新生に関与し低酸素下で発現量が増加するインスリン様成長因子(IGF-2)の発現量が、フロスピノスリン-1の投与で低下していることなどから、遺伝情報を転写するレベルでIGF-2発現を抑制し、

シグナル伝達系を遮断することでがん細胞の増殖を抑制しているとみられる。転写因子の特定や合成研究などのさらに詳しい研究が進められている。

■海は、新しい医薬品シーズの宝庫

小林教授は「海綿からのエキスの約1割程度には、抗菌性や細胞毒性があるが、がん細胞に選択的に効果を持つものは何百種に一つだ」という。効果があっても、実際に医薬品になるには余り複雑な化学構造では、大量に生産できず製品化できない。また、安全性の試験などでも時間がかかり、地道な研究と努力が欠かせないという。しかし、海洋生物へのアプローチが本格的に始まってまだ日が浅く、海は人類にとって役に立つ医薬品のシーズの宝庫として期待されている。

垣根を越えた研究で 産業支える人材を

医学系研究科

倉智嘉久 教授 Prof. Yoshihisa KURACHI

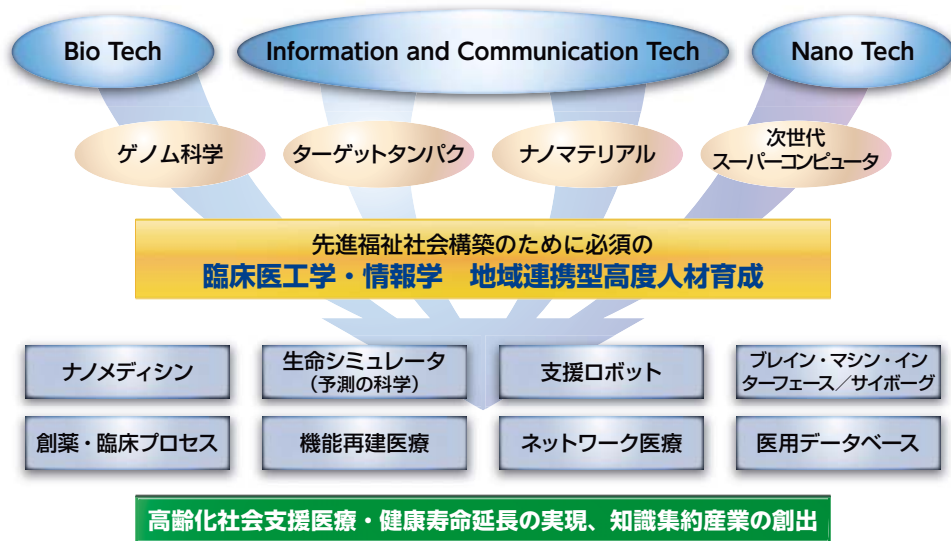
(薬理学)

「次の世代を育てないと日本の将来はありませんよ」
心臓のメカニズム研究の世界的な第一人者が真剣な
表情で、次世代の人材育成の現状を憂う。その顔は研
究者ではなく、熱心な教育者としての表情だ。

「地域の人材教育に貢献するの
も
国立大学の役割」



倉智嘉久(くらち・よしひさ)1953年神戸市生まれ。東京大学医学部卒。同医学部付属病院第2内科助手、メイヨー医科大学(米・ミネソタ州)准教授、大阪大学医学部薬理学第2講座教授を経て、04年から10年まで臨床医工学融合研究教育センター長。長年続けた剣道は大学時代、部を創立するほど熱中。



●学際融合領域は今後の日本の産業の発展に必須

高度先進福祉社会構築に必須である「臨床医工学・情報学融合領域」の研究推進とそれを担う意識の高い人材の育成を目指す。

2004年

に設立された「大阪大学臨床医工学融合研究教育センター(MEI)」のセンター長を2010年まで6年間務めた。医学・工学・情報科学などの研究者が分野を超えて結集して、その「知」と「技術」を融合した人材を育成するのが狙いだ。

「MEIセンターは関係者の草の根運動で作ったものだから」といたずらっぽく笑う。しかし、それは自身の研究者としての経験から、長きにわたって温めてきた構想だった。

「違う分野の研究が出合うことで新しいものが誕生する。自身の研究の殻に閉じこもるのではなく、視野の広い研究者を育てることが大切なんです。そういう場所にMEIになる」

例えば、医療の地域格差は正に期待がかかる夢の治療「遠隔医療」。臨床技術の進歩はもちろん、ロボット工学、情報科学が融合することで実現へと前進する。MEIセンターの目指すところは、そんな視点を備え、かつ研究者としても優れている人材を育てることだ。

大学間の垣根も取り払う。社会人再教育も2005年秋から始め、土曜講座を開いている。そこには関西大学や大阪電気通信大学など他大学の学生も通える。一部の大学ではこの土曜日講座を自大学の単位として認定している。

実習・演習が全体の3分の1を占めるのも大きな特徴だという。社会人・学生両方に門戸を広げ、受講者数も安定してきた。

「国立大学の役割は地域の人材教育に貢献すること。ということも当然含まれている」と目を輝かせる。「受講生はみな自発的に休みをつぶして参加しているから熱心。こちらもうりがいいがあるね」とほほえむ。

MEIセンターでは2009年より新たに高度職業育成科を立ち上げ、「現状の分野の分け方ではまだ不十分。小人数クラスになっても良いからもっと具体的な高度職種を設定し、修了後に即戦力になる人材を育てなければ」と考える。

これから萌芽のときを迎えようとしているMEIセンター。10年、20年後に、大学で、社会で、企業でMEIセンターの研究者が活躍する、そんな夢を見続けている。

「垣根を越えた研究が、新しい分野、新しい産業を作り出すことにつながる。そして日本を支え、世界で活躍する。そこに教え子たちがいたらいいな」と教え子の話をするとき、思わずふっと表情がやわらいだ。

し・き・め・き
研究
最前線



治療成果や薬の 危険度を予測する

「**医・工・情報**学融合による予測医

学」は、三つの学問分野の発展が生み出した極めて現代的な新しい学問だ。医学・生命科学レベルでは、ヒトゲノムの配列の決定や細胞内のタンパク質の構造や機能の解明が進み、膨大なデータが蓄積されている。工学では、PET、MRI、レーザー技術の発達で生体機能を時間・空間的に計測できるようになってきた。情報科学では、ITの進化のみならず、生命機能の数理モデル化

によるコンピューターシミュレーションも盛んに行われるようになっている。

この拠点は、こうした成果を統合し、活用するため、生体の構造・機能研究と

情報・システム科学によるシステム構築を同時に進めている。そこでは「フィジオーム」「システムバイオロジー」という新しい学問が展開されている。タンパク質、細胞、臓器、個体の各レベルを横断する形で統合的に生体機能を理解し、それをダイナミッ

計算機内に “バーチャル生体”



クに表現するデータベースを構築する。これを「フィジオーム」という。一方、それぞれの構造や現象のみの説明だけではなく、動的な機能を数理モデル化し、シミュレーションすることで定量的に理解し、治療効果や薬の安全性の予測へとつなげていくのが「システムバイオロジー」である。

フィジオーム・システムバイオロジー研究の場合は、コンピューター内に構成されたプラットフォームだ。こうしたプラットフォームの構築は欧米の幾つかの拠点が先んじているが、日本では初めてこの拠点が包括的開発に参入した。

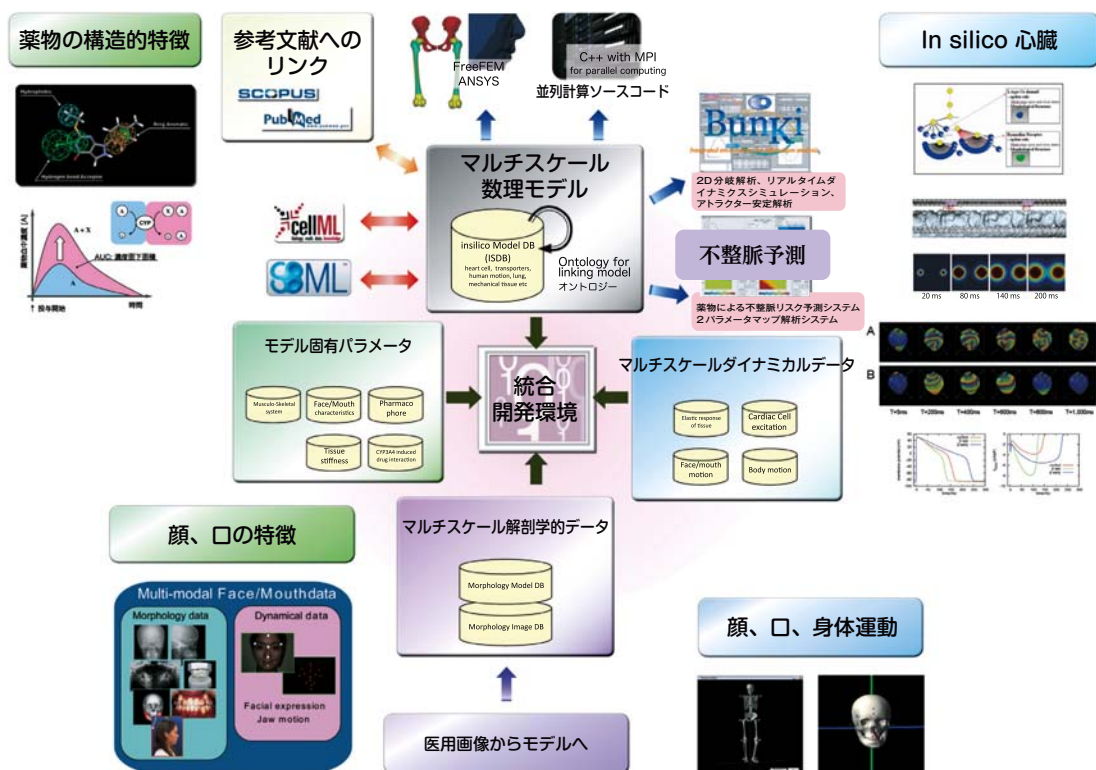
従来からある遺伝子やタンパク質のデータベースは静的な構造を蓄積したものだ。この拠点のデータベースはこれまでとは全く違う枠組みの、時間的にも空間的にもマルチスケールでダイナミックにタン

パク質や細胞あるいは臓器・個体の状態が時々刻々と変化する機能そのものを集約する。

「www.physiome.jp」のプラットフォームは構築が始まったばかりだが、この拠点に参画する研究者を含む世界各国の研究者が論文発表した多数の機能モデルを世界に公開している。ヒトの運動制御系を例にとると、神経細胞の動的なネットワークをはじめ、その背後にある論文、数理モデル、さらに違う階層へのつながりが解明されているものについては、組織や個体の動きも見る事ができる。

すでに信頼できる研究データの多い心臓機能レベルでは、シミュレーションによって薬物の副作用による心不全の予測を可能にした研究成果も出ている。

この拠点の中核専攻である大阪大学臨床医工学融合研究教育センターの倉智嘉久前センター長は「生



ときめき
研究
最前線

命機能をすべて解明するのは不可能。ここでは目的を決めてプラットフォームを構築していく。薬による心臓不整脈発生の予測は、心筋細胞膜の活動電位とイオンチャネル電流の計測データの信頼度が高いことから可能になった。そこから細胞膜より小さいスケールであるチャネルタンパク質と薬の相互作用、大きいスケールである組織・臓器レベルにおけるメカニズムの理解へと階層と時空間スケールを広げていくことができた。さまざまなテーマ設定をし、最も信頼できるデータを基に、各階層をつなぐ意識を持っていると科学的な発見が生まれる」と言う。

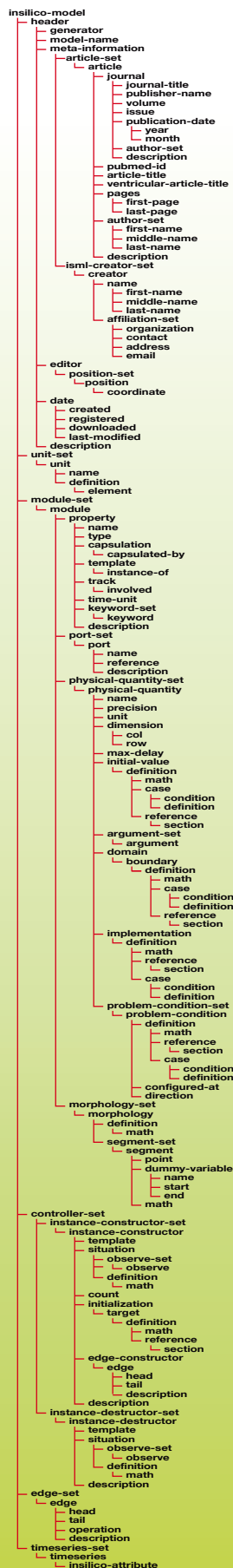
計算機内に “バーチャル生体”

薬以外の予測医学では、矯正歯科における抜歯の最適治療計画システムや、人工股関節の手術をナビゲートするシステムも構築中だ。

プラットフォーム開発には大阪大学が得意とする工学・情報技術が活躍する。例えば、インターネットの検索エンジンは、HTML言語で書かれたホームページの文章や画像から、HTML内にあるさまざまな印をもとに、情報を集めるシステムをつくっている。「www.physiome.jp」では、ISML(insilico Markup Language)というマルチスケールで生体の機能と構造の数理モデルを記述する言語を開発した。そこでは、文字ベースの情報だけではなく、多様な数式・形態モデル、実験データなどにも印をつけ、いかにしてダイナミックな情報を集約するかに知恵を絞っている。

● ISML1.0に定義されているタグリスト

拠点リーダーの野村泰伸・基礎工学研究科教授は「あるモデルを使ってシミュレーションをしたいと考えた時、活用しやすい仕組みにするためには、階層同士のつながりを表現するルールが重要になる。人間の生体機能を集約した優れた表現能力や検索機能を持つプラットフォームを実現したい」と話している。2010年には細胞内シグナル伝達系を主な対象とするSystems Biology Markup Language(SBML)との統合プラットフォームとなる。



第2章

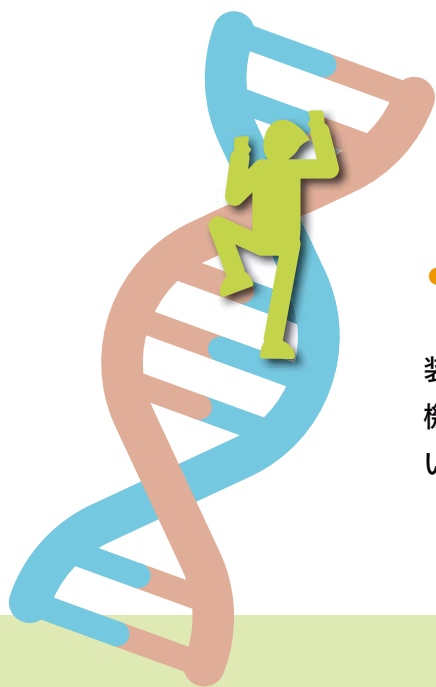
ナノサイエンス

「ナノ」は10億分の1を表す単位。地球と比較すると、ゴマ粒から人間ぐらいの大きさになる原子や分子を制御するナノテクは21世紀サイエンスのキーテクノロジーといえよう。

I

● 生体のナノテクノロジー

人のDNA情報を素早く読み取る分析装置。分子や脳などさまざまな生命の機能を利用したものづくり。極めて高いレベルの融合研究がここにある。



DNAをナノデバイスに 「脳型メモリー」も可能

産業科学研究所

川合知二 特任教授 Specially Appointed Prof. Tomoji KAWAI
(バイオナノテクノロジー)

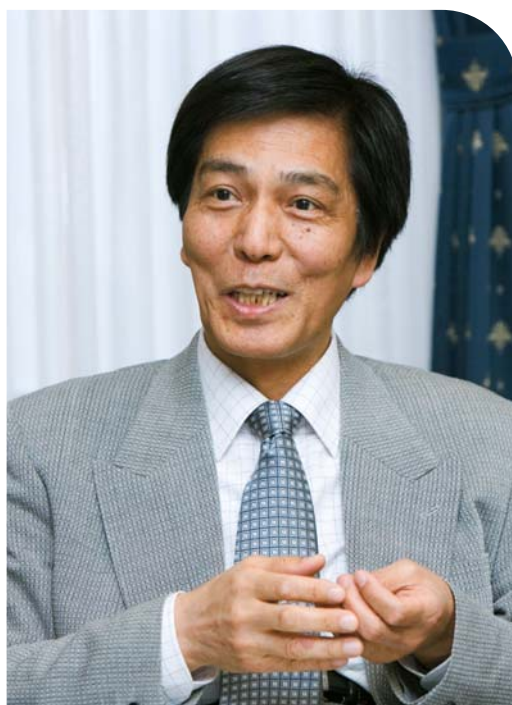
「人間を地球の大きさとすると、十円玉くらい。ナノバイオはそれくらいの世界を扱っています」。東京大学大学院に在籍していたとき、「ナノメートルの大きさが一番大事」と気づいた。

「地球上」にあるものはすべてナノメートルの部品でできている。ものづくりでは、どんなものであってもナノメートルのところを制御しないと、いいものはできないんですね」

目指しているものの一つに、産業界に役立つ新しい機能を持つ材料の開発がある。次世代コンピューターのナノ配線にと、注目したのは生物のDNA(デオキシリボ核酸)だった。

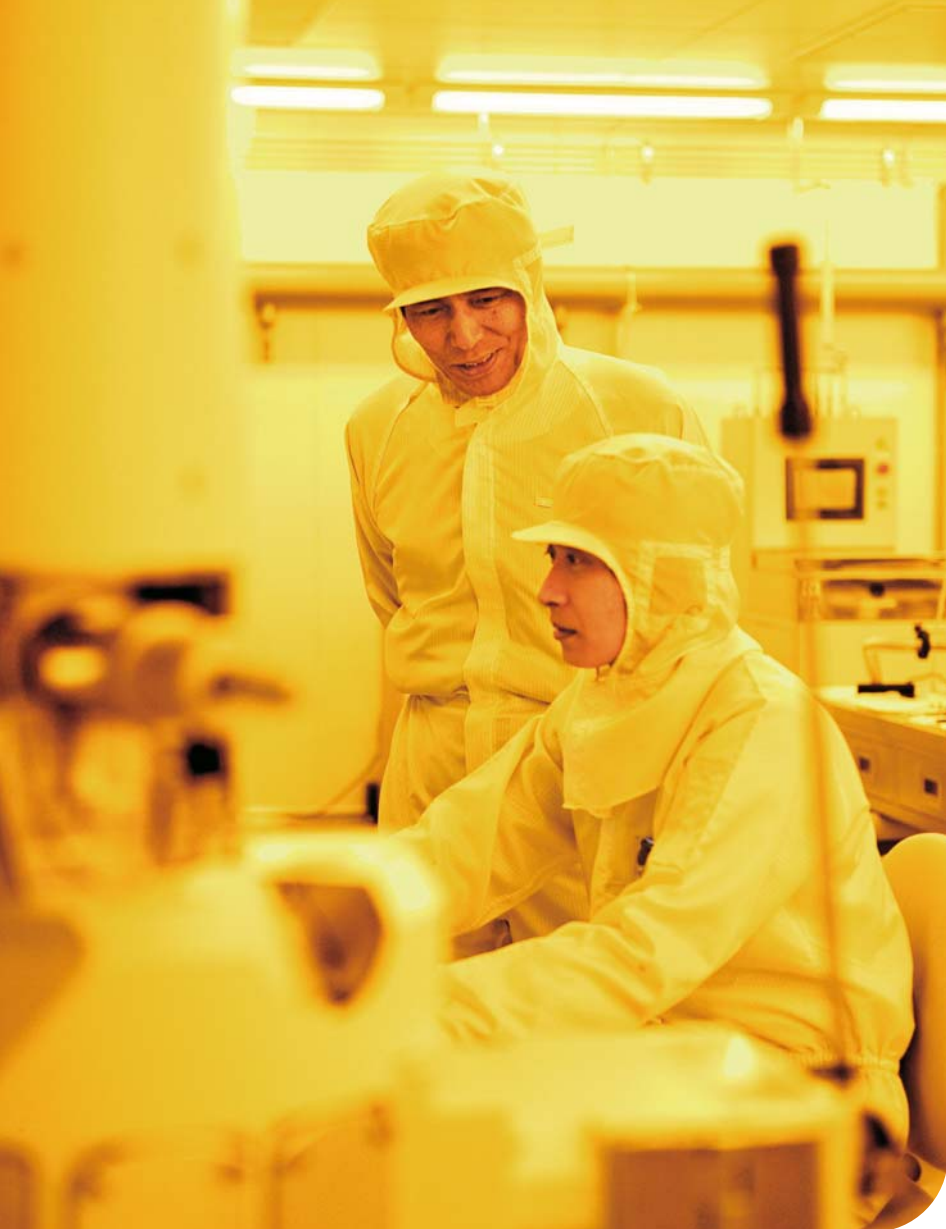
DNAはアデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)と呼ばれる4種類の塩基でできおり、AとT、GとCがそれぞれ結び合って配列する性質を持っている。この性質を利用すれば、分子同士が自然に集まる「自己組織化」のナノデバイス(装置・部品)を開発することができるのだ。

「機械は壊れたら部品を入れ替えるという修理方法があります。ところが、私たち人間の体ではDNAの力によって、自己組織化、自己修復をすることができる。これを応用しようとしているのです。そのた



川合知二(かわい・ともじ) 1946年横浜市生まれ。東京大学理学部卒、理学系研究科博士課程修了。東京工業大学助手、国立分子科学研究所助手、大阪大学産業科学研究所助教授、教授となり、同研究所長、総長補佐を歴任。この間、03年紫綬褒章、06年文部科学大臣表彰科学技術賞など受賞歴多数。最先端研究開発支援プログラム「1分子解析技術を基盤とした革新ナノデバイスの研究開発」拠点長。趣味はハイキングやお寺巡り。

「研究者は世界で初めて自分が 知ることができる瞬間がある」



めには、ナノメートルで『見える』『作る』の基本技術がなければなりません」

まず、DNAの塩基の分子1個1個を読み取ることができる「走査トンネル顕微鏡(STM)」の開発に情熱を傾け、二重螺旋構造の様子を観察することに成功した。

次の段階はこれを自在に動かし、制御すること。通常はだんご状態になっているDNAをベルト状にして切り離し、別のDNAを近づける。「相性の良いDNAはクルクル巻くのですが、相性が悪いと巻かない。電気を通すと、通りやすさが変わるわけです。これを利用すれば、バイオチップになる」。肥満や高血圧といった病気をDNAで検知し、治療や予防に役立てることもできる。

さらに、DNAを分子レベルで制御する技術に磨きをかけ、通常では実現できない構造や機能を持つ未知の物質、材料の創出を目指している。STMやナノ加工成形機、DNAを処理し、計測するための電気装置などを駆使する。やがては、人間の脳のように自ら考える「脳型メモリー」や、光や味覚や視覚、臭覚といった「五感センサー」を作り出すことも可能になるという。

「研究者は世界で初めて自分が知ることができる瞬間がある。小さいことでも大きいことでも、それが一番面白いですね。いろいろと考えず、むきになってやった方がいい結果が出る」と笑う。自分に納得できる成果が得られたとき、それが心の中でかけがえのない勲章になる。

無限の可能性秘める DNA 解読後の世界

産業科学研究所

中谷和彦 教授 Prof. Kazuhiko NAKATANI

(遺伝子科学、ケミカルバイオロジー)

世界の科学者が協力して進めた「ヒトゲノム計画」が2003年に終了し、人間の設計図ともいえるDNAの塩基配列がすべて解読された。研究は新たな段階に進み、その一翼を担う。



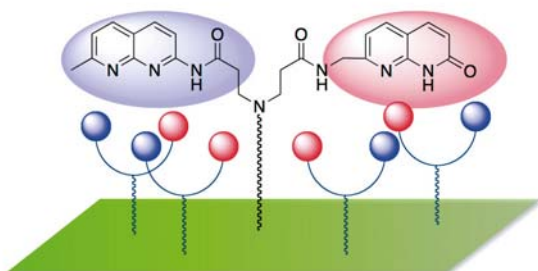
「人類^{ばくだい}が莫大なお金をかけてきたプロジェクトは終わりました。それを今後、どのように生かすか。どう資金を回収していくかが大きな課題です」

よく知られているDNAの二重螺旋^{らせん}は4種類の塩基の組み合わせによって形作られている。「アデニンはチミン」と「グアニンはシトシン」というように、あらかじめ対になる組み合わせ(塩基対)が決まっており、これが鋳型になってさまざまなタンパク質などが作られ人体となる。しかし、時に組み合わせが変異(ミスマッチ)することで病気が発症する。

「私たちが取り組んでいるのはその塩基対の組み合わせの変異を見つけ出す検出方法、デバイスの研究です。わかりやすいえばインフルエンザウイルスの型を判別するキットと同じように、遺伝子の変異を早く、簡単に調べ出すことです」

「10年後、20年後にはDNAをめぐる科学技術は人体という枠を超える」

中谷和彦(なかに・かずひこ) 1959年奈良県生まれ。大阪市立大学理学部卒、理学研究科修了。米コロンビア大学研究員、相模中央化学研究所博士研究員、京都大学工学研究科助手、助教授を経て2005年から現職。趣味は自転車。「研究者の最大の敵は運動不足」とJR茨木駅から大学までの上り坂を約20分かけて通勤する。



ハンチントン病遺伝子を検出する化学センサー

これまでに中谷教授は、変異した塩基対にだけ反応する化合物を作り出し、遺伝性の神経疾患であるハンチントン病や、筋強直性ジストロフィーなど難病の診断法を従来よりも容易にすることに成功した。医療の現場で簡単に、遺伝子タイプを判別する方法を研究し続けている。

「ただ検出をするためには病気ごとの遺伝子タイプを確定しなければいけない。世界で今、一斉に調べているが、そう簡単には進んでいません。人体にはバックアップ機能があって、一つの遺伝子に異常があってもそれを補う役割があるからなんです」

米国の調査(1994年)では年間、薬による副作用が200万件発生し、それによって派生した医療費が約8兆円というデータがある。

「オーダーメイド医療には、まだ費用面の問題など多くの壁がありますが、DNAを調べていくと薬ごとに副作用の出やすい体質なのかどうかなどがわかり、苦しむ人を減らすことができる。特に抗がん剤の副作用は重篤です。それは膨らみ続ける医療費の削減にもつながるんです」

10年後、20年後にはDNAをめぐる科学技術は格段に進歩していると断言する。そして、医療以外にも、ナノテクノロジー分野にも目を向け始めている。「DNAが二重螺旋を作る性質を利用し、DNAに微粒子を付けて細線をつくることもできます。DNAの直径は2ナノメートル(ナノは10億分の1)ですから、これまでにない細線をつくることできる。コンピューターをさらに小型化、高性能化させるのに役立ち、エネルギーの消費を抑えることにもつながるんです」。夢の技術革新ともいえる。人体という枠を超えて、今、DNAの新たな世界の扉が開かれようとしている。



未来の
健康と安全を
実現する

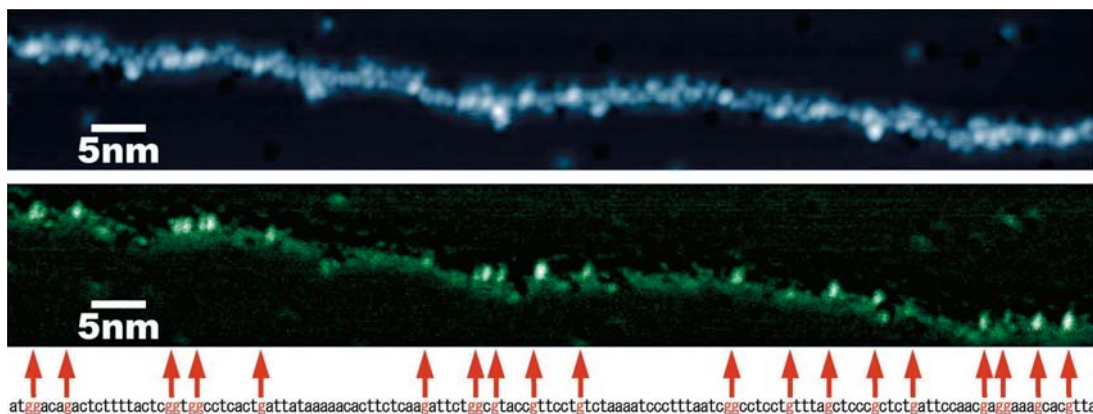
DNA シーケンス 狙うはトップ

生物の遺伝情報を担う物質であるDNA(デオキシリボ核酸)の〈1分子解析技術〉は大阪大学が世界のトップランナーだ。産業科学研究所の川合知二特任教授は「大阪大学は二つの部分で米国立衛生研究所(NIH)が策定したDNAシーケンスのロードマップの先を走っている」と語る。

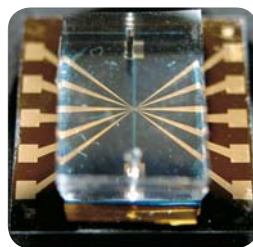
DNAを構成するヌクレオチドの塩基配列を識別する「DNAシーケンス」をいかに速くできるかをめぐって世界の研究者が激しい競争を展開している。だが、最新の技術でも、ヒト一人の全ゲノム(4種類の塩基分子からなるDNA塩基30億個が並んだすべての遺伝情報)を読み取るのに10万ドルもの費用をかけて2カ月かかる。それが、1000ドルシーケンス、つまり10万円足らずで一人のDNA塩基識別が1日で行えるようになるのは2015年と予測されている。この技術が確立すると、一人ひとりわずかに違うDNAの塩基配列を読み取ることによって、がんなどの発

● 図1 走査トンネル顕微鏡による1本鎖DNAの塩基分子識別

下の写真の白い点がグアニン。赤の矢印で位置を示している。



ゲート付きナノポアシステムの
実物サンプル

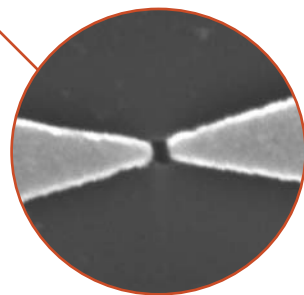
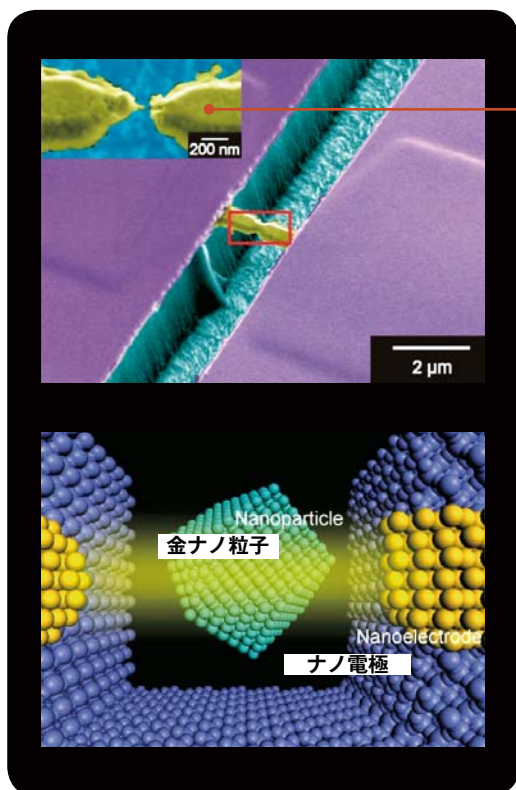


病を予測し、予防できる高度個別化医療(オーダーメイド医療)が実現する。個々人に最適な治療や副作用のない投薬が可能になるのだ。そこに至るキーテクノロジーがゲーティングナノポア法という、1分子DNA解析技術である。

川合教授が挙げた世界初の研究成果の一つ目は1バイオ分子の検出・識別技術だ。2009年に英科学誌「ネイチャーナノテクノロジー」の表紙を飾った1本のDNAのグアニン塩基配列を識別した川合教授らの研究は世界を驚かせた。10マイクロメートルのミミズのようなDNA一つ一つの塩基がはっきりと見えている(図1)。これは基板に斜めからDNA溶液を吹きつけ、並べたDNAを走査型トンネル顕微鏡で見たものだ。四

つの塩基(AGCT)の中でも発がんに関与するなど重要視されているグアニンの位置を特定した。

もう一つの最先端は、ナノポアの開発だ。これは先に述べた塩基識別をデバイスへとつなぐ技術になる。ナノポアとは、ナノサイズ(10億分の1メートル)の極小の穴のこと。ゲーティングナノポア法では、前処理で分離した1本のDNAを電極のついたこの穴に通すことによって塩基配列を読み取る。この手法に世界の研究機関が挑んでいるのだが、いま実際にナノポアゲートをつくり、ナノ粒子を検出できているのは大阪大学だけなのだ。「2009年にシリコンナイトライドを材料に作製した30ナノメートルのゲートに電流を通し、金のナノ粒子を確認することができた(図2)。



● 図2
可変ナノ電極とマイクロ流路による1個の
金ナノ粒子の電氣的検出

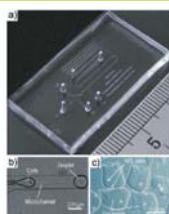
ときめき
研究
最前線

未来の
健康と安全を
実現する

●図3 ゲーティングナノポア法によるDNAの解析

1 単分子DNAの分離・抽出

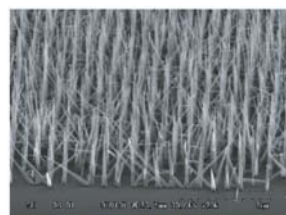
ナノ流路



Complex Medical Engineering (2007).
Exp. Thermal Fluid Sci. (2008).
Microstat. Technol. (2007).

2 単分子DNAの伸張

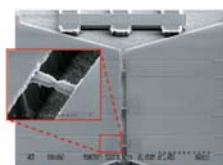
ナノピラー



J. Am. Chem. Soc. (2008).
Appl. Phys. Lett. (2007).
Appl. Phys. Lett. (2007).

3 単一DNA分子の直線化

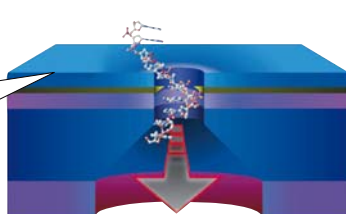
ナノ流路



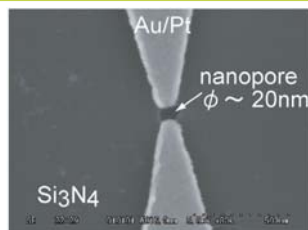
Nano Lett. (2009).
Trans JSME Ser. B (2008).
J. Phys. D: Appl. Phys. (2008).

4 トンネル電流による塩基識別

ゲーティングナノポア

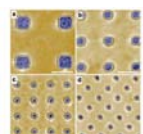


心臓部



Nano Lett. (2008).
J. Am. Chem. Soc. (2006).
Appl. Phys. Lett. (2008).

非特異的
吸着制御



Adv. Mater. (2008).
Small (2008).
Lab on a Chip (2009).

自己組織化膜

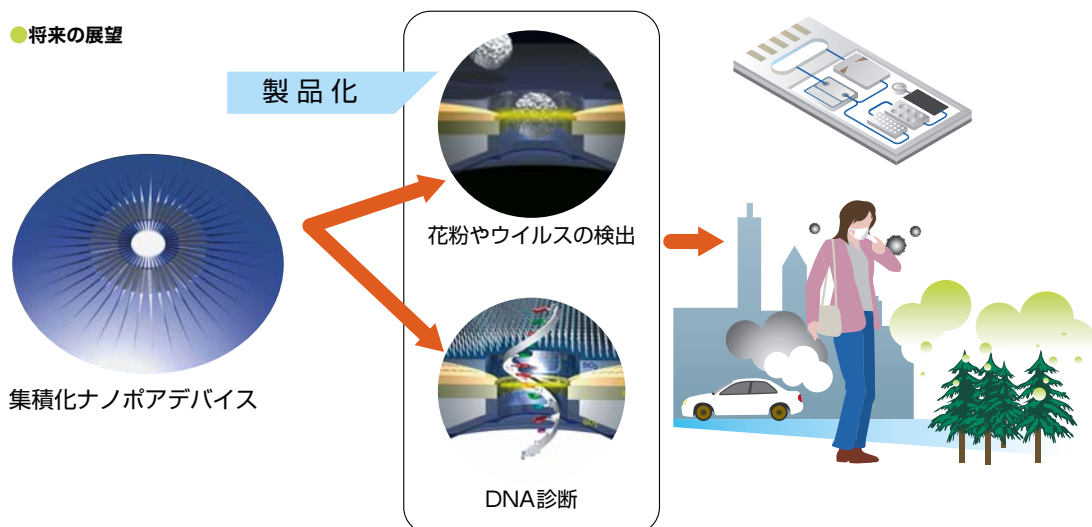
それがさらに進んで、今は1分子を見分けるところまで到達している。しかし、まだ1本の長いDNAを見るには至っていない。ただDNAが見えればいいというわけではなく、それをデバイスにするためにはさまざまな周辺技術が必要になる」と川合教授は指摘する。

従来のDNAシーケンスの手法では、DNAの前処理、精製、発光させるための化学修飾などさまざまな手間が必要だった。1990年ごろの全ゲノムシーケンスは30億ドルをかけて8年を費やした。技法の開発が進み21世紀に入ると、100台の機械を使って3カ月1000万ドル、さらに現在は1台の機械で2カ月10万ドルにまで短縮された。それでもこの技術はまだまだごく限られた範囲でしか使えない。川合教授は「1000ドルシーケンスは基礎技術で、これができなければ広く普及しない。検出速度も重要で、空港などでのウイルス検知も現在では30分以上かかる。所要時間15分以内での検査が求められている」と言う。その壁を破るのがナノポアを使ったシーケンスである。1台の自動検出装置の中にある1000個のナノポアが、1日で全ゲノムのシーケンスを可能にするのだ。

ゲーティングナノポア法によるDNAの解析の手順は、まず図3に示すようにDNAを解析装置の中に入れる。最初に複雑に固まったDNAを竹林のような微細な起毛の中をくぐらせて分離し、さらに電位をかけるとDNAが伸びていく。そして伸びたDNAをナノポアに落とし込んで塩基配列を読み取るという仕組みだ。

このプロジェクトには、他大学や企業など多くの研究機関が加わって実用化を目指している。それは、検査時間15分以内のがんマーカー検出DNAチップを搭載した診断ツールや呼吸・唾液といった超低濃度の検体から15分以内でウイルス・病原菌を検出する装置などである。これらは新型インフルエンザに代表されるパンデミック対策やバイオテロ防止に役立つだろう。また、家庭用の診断センサー、花粉の高感度モニター、さらには食品管理や宇宙開発への応用も期待されている。

● 将来の展望



生命分子の「ゆらぎ」発見 技術革新へ

生命機能研究科

柳田敏雄 特任教授

Specially Appointed Prof. Toshio YANAGIDA

(ナノ生体科学)

「ふらふらと、千鳥足で歩くように行ったり来たりしながら動いていたんですよ」。それは常識を覆す発見だった。

人体を構成する無数の細胞。その細胞はさらに無数のタンパク質やDNAなど分子が集まってできている。生物学者が誰もできなかったそれら活動している分子の動きの測定に、物理工学から新しい視点で切り込んでいった。

分子の研究は、ナノメーター(10億分の1^{ナノ})の世界。筋肉の収縮を担っている運動タンパク質分子に蛍光色素をつけ、レーザー顕微鏡で観察する「1分子イメージング」という究極の計測方法を開発した。

「何億光年も先にある星を見るのと同じです。光るから見える。その光を分析すれば星の運動や物質の性質も分かるわけです」

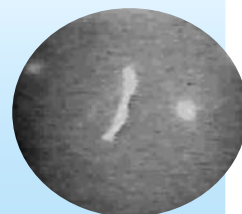
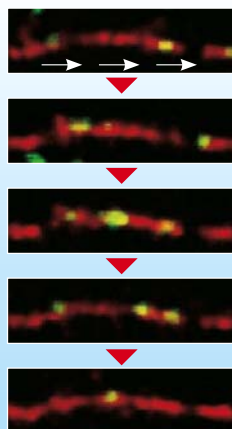
巧妙精緻に動いていると思われていた運動タンパク質分子は実際は、ブラウン運動といわれる邪魔物と考えられていた運動(ノイズ)を利用してゆらぎながら動いていた。

「『ゆらぎ』。つまり、いい加減ということですね。この一見いい加減に見える分子が集まると柔軟な動きができる筋肉になる。杓子定規な人ばかりの集団より、少しいい加減な人達がお互いゆずり合う集団のほうが上手くいくのと似ていますね」



●1分子イメージングに用いる顕微鏡のレーザー光

筋肉を動かす最小単位の物質で生物分子モーターといわれるタンパク質、「アクチン」と「ミオシン」。下の写真はアクチンフィラメントの上を走るミオシンVを一分子観察したもの。赤がアクチン、緑がミオシン。白い矢印の方向に走っている。



単一アクチンフィラメントが溶液中を漂っている。



「少ししい加減なほうが 上手いく」

柳田敏雄(やなぎだ・としお) 1946年兵庫県生まれ。大阪大学基礎工学部卒、基礎工学研究科修士課程修了。医学部医学科第一生理学部教授などを経て2002年、大阪大学が注力する学際領域の生命機能研究科の初代研究科長に。2010年から特任教授。98年、日本学士院賞恩賜賞。グローバルCOE「高次生命機能システムのダイナミクス」拠点リーダー。趣味はスポーツ、旅行。

「ロボットにコーヒーカップを口元に運ばせようと思ったら大変です。だから、ゆらぎを利用する『筋肉分子モーター』の原理を使ったしなやかに動く人工筋肉を作りたいんです」

もう一つは、正確さや計算速度を追い求める従来型とは全く違う、ゆらぎを利用する省エネルギーコンピューターの開発だ。本を要約したり推論したりといった分野が得意なコンピューターを目指す。

「いい加減さは日本人の気質によく合っている。特に大阪はそうだと思いますね。だから、大阪から技術革新を引き起こしたい。その突破口になるんじゃないかと思っています」

生命機能の最先端研究は、人に優しい機械を開発する研究でもある。

同じように、細胞から脳まで、ゆらぎを使って柔軟に働いていることを解明した。

「例えば、人は雲のような曖昧な図形を見て何かに似ていると思い浮かべるでしょ。コンピューターには真似のできない特性です」。柔軟性と融通性。これが生物には最も重要なのだという。

今、この原理に基づく機械の開発に取り組んでいる。その一つが人工筋肉だ。

し・き・め・き
研究
最前線

高いレベルの 異分野融合を実現

2002年に誕生した「生命機能研究科」

は、医学系、理学、工学、基礎工学の各研究科、細胞生体工学センター、微生物病研究所、蛋白質研究所からさまざまな分野で業績をあげている研究者を一堂に集めた。生命機能を融合研究し、生命科学の新たな波を大阪大学でつくろうという試みだった。研究科発足の年から始まった21世紀COE「生体システムのダイナミクス」は遺伝子工学から脳科学まで、生命システムに学び生命機能のダイナミクスを理解するという取り組みで、5年間に生命系と物理工学系のトップジャーナルが混在するという、高いレベルでの異分野融合が進んでいる。

生命のかたちと
働きをデザイン

1分子計測

ナノ計測

極低温電子顕微鏡
X線解析

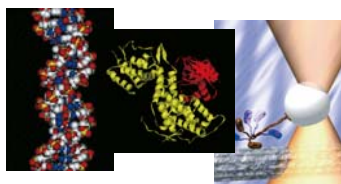
ポストゲノム科学

分子細胞生物学

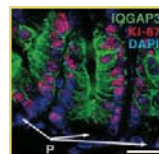
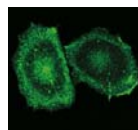
遺伝子工学

細胞

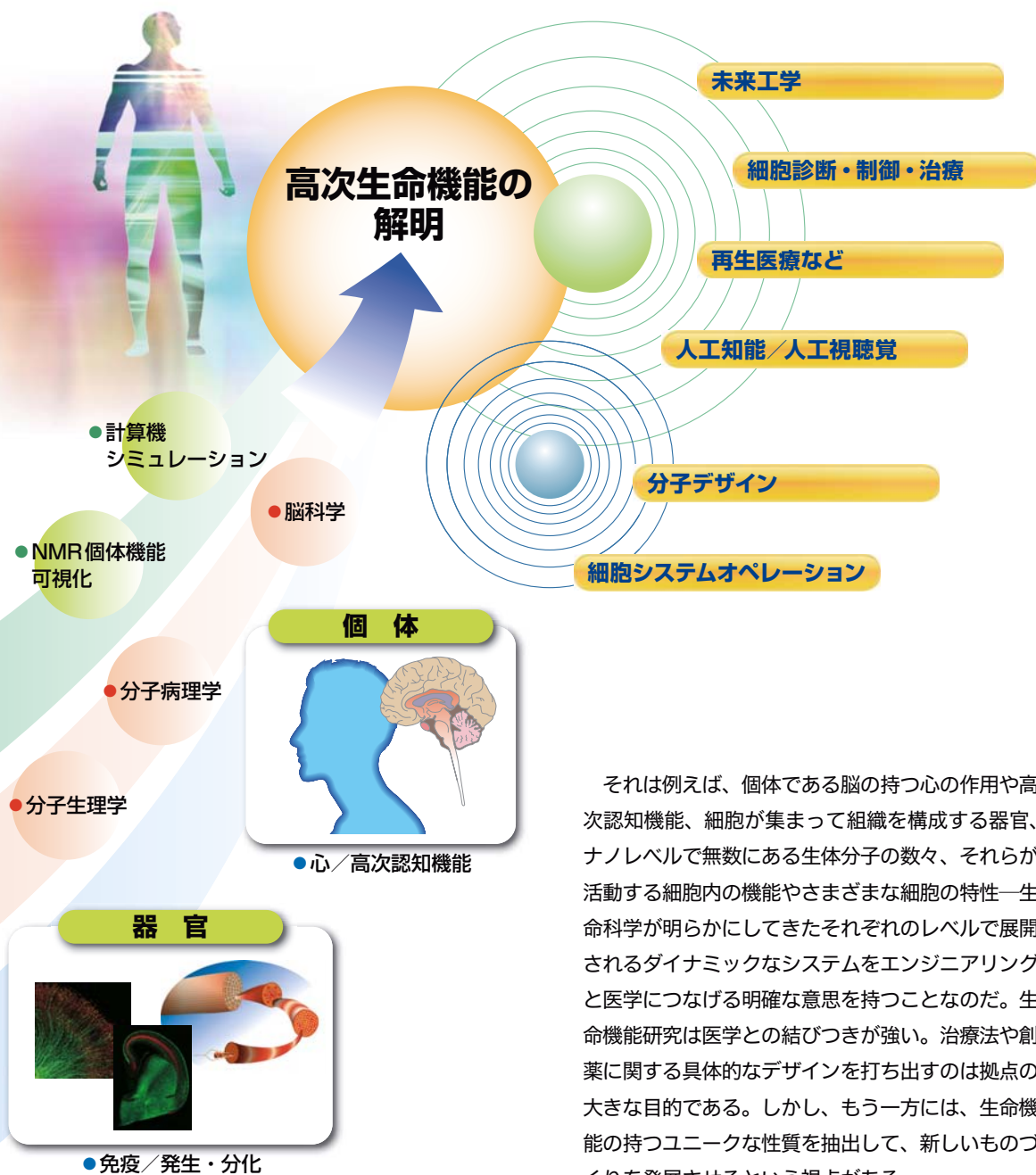
分子機械



●エネルギー変換／遺伝子発現



●サイトカイン／細胞情報処理



それを引き継いだグローバルCOEでは、個体発生、免疫、脳機能など高次の生命機能をシステムとして理解する。拠点リーダーの柳田敏雄・生命機能研究科特任教授は「高次の生命機能は解明が極めて難しい。そこには、遠大な道が果てしなく広がり延びている。この拠点では、目を転じて私たちがとらえることができた高次生命機能をどうデザインし、展開できるかということを考える」と説明する。

それは例えば、個体である脳の持つ心の作用や高次認知機能、細胞が集まって組織を構成する器官、ナノレベルで無数にある生体分子の数々、それらが活動する細胞内の機能やさまざまな細胞の特性—生命科学が明らかにしてきたそれぞれのレベルで展開されるダイナミックなシステムをエンジニアリングと医学につなげる明確な意思を持つことなのだ。生命機能研究は医学との結びつきが強い。治療法や創薬に関する具体的なデザインを打ち出すのは拠点の大きな目的である。しかし、もう一方には、生命機能の持つユニークな性質を抽出して、新しいものづくりを発展させるという視点がある。

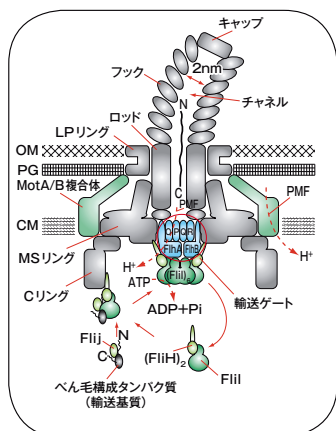
脳や筋肉がゆらぐことによって、少ないエネルギーでいい加減に動くことによって複雑なシステムを柔軟に動かすという「生体ゆらぎ」の工学的利用は、連綿と続く融合研究から生まれたコンセプトの提案である。また、生命機能研究科で開発された「1分子イメージング」や「個体イメージング」を使って、時々刻々と変化する免疫システムを見極めようとする免疫学フロンティア研究センターの取り組みにも大きく関わっている。

ときめき
研究
最前線

生命のかたちと
働きをデザイン

「高次生命機能の解明はまさに人類の最後のフロンティアと言っても過言ではない。特に脳には未解明なところが余りに多い。ならば、逆に脳の要素機能を構成論的につくってみる。例えば、脳はノイズを巧みに利用して働いていると考えられる。それなら、実際にノイズを利用して情報処理するようなプロセッサをつくってみて、同じ理屈が証明できれば、機能の説明がつくし、理解もできる。頭を開いて見るのではなく、モデルを立て、人工物でつくり、脳のエッセンスは何かを調べて、また生命機能に戻ると、この分子はどういう働きをしているのか、タンパク質の伝達がどういう意味をもっているのかということが見えてくることもある」と柳田教授は言う。

▶最新の研究発表——未来工学

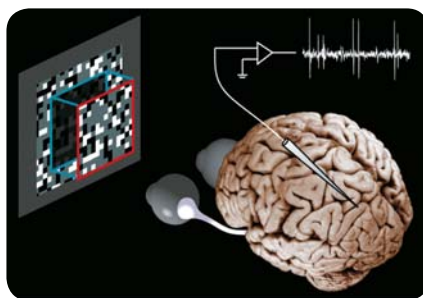


●べん毛タンパク質輸送の仕組み

ATPaseであるFliH量体リングとプロトン駆動力をエネルギー源とする輸送ゲート複合体の協力によってべん毛タンパク質は先端へ輸送され組み込まれる。

人工筋肉/ソフトナノデバイス

▶最新の研究発表——人工知能／人工視聴覚



●脳皮質における視覚情報処理の解明

ものを見ているときの脳の視覚神経細胞の電気活動を調べることで、見る仕組みを明らかにしていくことができる。

ヒト脳認知機能

脳の話が続けると、動物がものを見るのは、目の働きだけではなく、大部分は脳の働きによるものだ。近くにあるものと遠くにあるものを識別できるのは、両目から入った情報をもとに、脳が複雑な計算を瞬時に行うことによる。この拠点のアプローチの視点で言うと、まず実際の神経細胞の性質を調べ、それに基づくシミュレーションを行う。そのためには脳の処理機能に着目した予測が必要で、実験と理論のコラボレーションによって機能の解明に迫る。脳と目だけではなく、耳も同じことであり、そうした研究の先に見据えているものは人工視聴覚の実現である。ともすれば、「脳の老化」も制御可能になるかもしれない。

高次生命機能のオペレーションを可能にするためには、情報科学・生体高次機能イメージング技術・システムダイナミクス解析技術・ナノ計測技術・計算科学・複雑系理論——などとさらなる融合を図っての先進的な技術開発が不可欠となる。

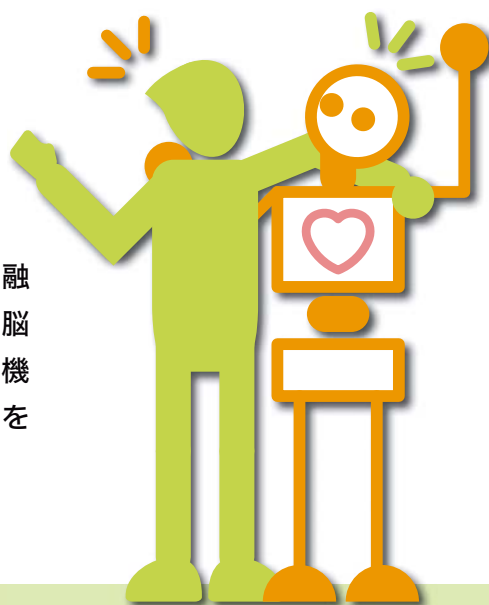
生命科学の分野でシミュレーションは盛んに行われているが、コンセプトの提案にまではなかなか至らない。基本コンセプトをものづくりに生かすところまで到達するものはさらに珍しいという。このグローバルCOEは、生命に見られる物理、制御、複雑な系の理解を治療や創薬、ものづくりにつなげる発想を基盤に世の中をアッと言わせる「おもしろい研究」コンセプトを打ち出していくだろう。

大阪大学発！
ときめきサイエンス

第3章

ロボットと心

人間研究とロボット研究の融合。ロボット工学、認知科学、脳科学の粋を集め、人と親和する機械を創造することは、ロボットを通じて人を知ることでもある。





人間見つめる アンドロイド通じ

基礎工学研究科

石黒 浩 教授 Prof. Hiroshi ISHIGURO
(知能ロボット)

ロボット、特に人間に似せたアンドロイド(人間型ロボット)の研究を進めている。

形状

記憶フォームで顔や体の型をとり、シリコンにセンサーを埋めた皮膚で人体を再現、一部には人間の毛髪も使う。人工筋肉や関節の制御で動きも人間らしく、よりスムーズにして、触れば「やめてください」と声も出す。受付にいただけなら、ほとんどの人はロボットと気付かず通り過ぎるそうだ。なぜ、人間に似ていなければならないのだろうか。

「日常活動の支援にロボットを利用するためです。駅で道を尋ねるとき、自動販売機には聞きづらいでしょう。人間と接するのに最も親しみやすく適した形なのです」



知能とは何か。 心はどこにあるのか

アンドロイド演劇「さようなら」の1シーン。俳優と共演するアンドロイド、ジェミノイドF(写真左)

外観だけではない。例えば、道案内するとき、相手の年齢や荷物の量を認識して適切なルートを教えることも可能にするのだ。「コンピューターはすでに特定の分野において人間を超えている。データ検索なんて人間はかなわないでしょう」

あとはどう認識するかの問題だ。人間は教えなくてもある程度動くことができる。ロボットはデータを入力しなければ動けないので、あらゆるデータを入力して、反応させる必要がある。「コンビニエンスストアできちんとものが買えれば、店員が人間である必要がありますか」

さらに、アンドロイド自らが学習していく研究も進めている。アンドロイドに対する人間の反応も研究の一つだ。アンドロイドに安心するのか不気味に思うのか、社会の中での役割は何かなどを調べている。昔から人形やアニメのキャラクターを愛してきたのだから、社会が維持できれば、アンドロイドはパートナーになれるはずだという。

アンドロイドを研究する理由は、人間とは何かを研究するためだ。

知能とは何か。心はどこにあるのか。哲学でも脳科学でもわからない。感情とは他者の外観から受け取った表面的な情報への反応に過ぎないのではない。「受付のおねえさんはニコニコしているけれど、そこに感情はあるだろうか。あるのは受け手の理解と思い込みでしょう」。知能も感情も心も、社会的な基盤として、共通概念として言葉をつけて、互いにあると信じているのではないかと考える。

「ゴールが分からないなら、人間を再現するしかない。プロセスの中で答えが出てくるかもしれない」

子供のころ、宇宙の長い歴史を学んで、人間とはなんてちっぽけなものかと感じた。だから人間とは何か考えるようになったという。「生きるのに必死なんです。考えていないと生きている価値が分からなくなってしまう」。先端のアンドロイド研究者は、常に人間を見つめている。



石黒浩(いしくろ・ひろし)1963年滋賀県生まれ。山梨大学工学部卒。大阪大学基礎工学研究科博士課程修了。京都大学工学研究科助教授、和歌山大学システム工学部教授などを経て2003年、大阪大学工学研究科教授、09年から現職および国際電気通信基礎技術研究所(ATR)フェロー。「大学時代は絵ばかりを描いていた」が途中からロボットの道へ。「早く見切りをつけてよかった」と笑う。

石黒教授のアンドロイド(写真左)
©ATR知能ロボティクス研究所

“脳のメモ帳”活用し 理解力大切にしたい

人間科学研究科

芦坂満里子 教授

Prof. Mariko OSAKA

(認知神経心理学)

「心理学は心の問題。つまり心は脳が生み出しているんです」。そう理解し、大学時代から脳の働きに興味をもった。

計算式を解く際に出る脳波を測定していると、式の難易度によって脳波が変化することに気づいた。「調べてみたら“けた上がり”のある計算のとき、変化していたんです」。その変化こそ、研究生活に入り、大きなテーマとなった「ワーキングメモリ」と呼ばれる働きそのものだった。

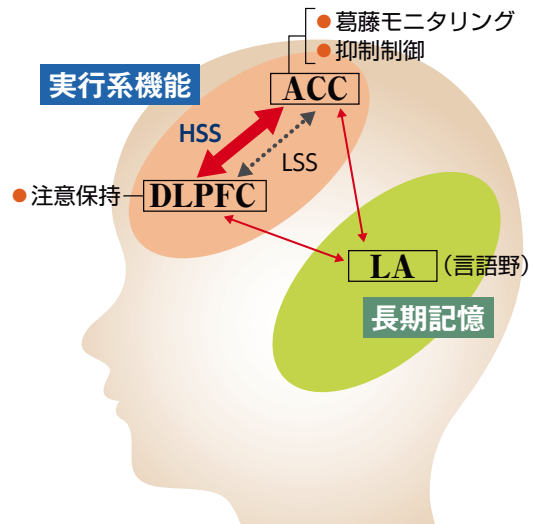
「 $25+17$ 」といったケタの繰り上がりがある問題を暗算で解く場合、まず1の位を $5+7=12$ と計算、1けた繰り上がることを覚えておかなければならない。そのけた上りを少しの間、覚えておく機能がワーキングメモリ。いわば“脳のメモ帳”だ。

「リーディング・スパン・テスト」という個人のワーキングメモリを計測する手法を日本語に適用して、年代ごとのデータを測定・分析している。1992年に初めてデータを公にし、10年後に大学生の成績

- **F-RST**(フォーカス・リーディング・スパン・テスト)
実験参加者が覚えるべき単語と、文章理解の要点(focus)となる単語が一致している＝覚えやすい
- **NF-RST**(非フォーカス・リーディング・スパン・テスト)
覚えるべき単語が、文章理解にとって重要ではない場合(non-focus)＝覚えにくい

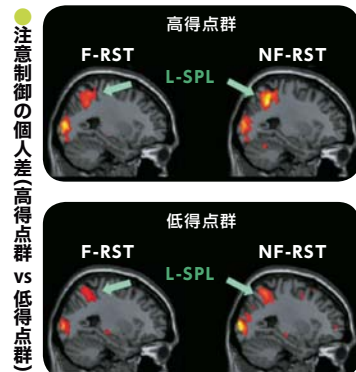
例文) 下宿で生活を始めるとき、一人用の小さなやかんを買った。

- F-RSTの場合の覚えるべき単語は、「やかん」
- NF-RSTの場合は、「生活」



ワーキングメモリの脳内モデル

RSTの高得点群(HSS)は低得点群(LSS)に比べてDLPFC(背外側前頭皮質)とACC(前部帯状皮質)のネットワークが強い



写真はそれぞれのテスト時の脳の活動を、fMRIで見たもの



「たった数けたの電話番号すら覚えなくていい現代社会は問題」

苧阪満里子(おさか・まりこ)大阪府生まれ。京都大学教育学部卒、教育学研究科博士課程修了。大阪外国語大学助教授、教授を経て2007年から現職。趣味は「日本文化が大切と気づいたから」と日本画。夫は京都大学特任教授の苧阪直行氏。

が低下したため改訂した。

「電車に乗り遅れたので、母に車で送ってもらった」といった平易な短文の「母」の部分に傍線を引いておく。このような短文を多数用意しておき、時間をおかずに次々に実験参加者に音読させ、傍線部分の記憶を確かめるという手法。5文読んで、大学生で覚えているのはおよそ3単語までという。

「大学生のワーキングメモリは低下傾向にあります。文を読むとき、ワーキングメモリを使うのですが、低下は読解力の低下をももたらしている」と分析している。このテストの成績が良い学生は、外国語学部でも第2、第3外国語の習得が得意だという。

ワーキングメモリを育てるのは「覚えておくことの積み重ね」。高齢者の比較対象として大学生に物忘れの調査をしたときのこと。「日付や人の名前、約束忘れは当たり前。ガス栓を閉め忘れたなんて人もいました」。あまりの多さにショックを受けた。「昔は実家や大切な友達、恋人の電話番号は覚えていたでしょう。最近の若者は電話機の機能を使うから覚えなんですよ」と笑う。

語呂合わせなどの工夫をせずに、一時的に覚えられる数字は4〜7けたまでで、人間が一度に記憶できる情報量には限りがある。だが、「たった数けたの電話番号すら覚えなくていい現代社会は問題です」と

指摘する。

特に子供の教育では危機感を持っている。「覚える力が伸びつつある子供たちに『覚えなくていいよ』と便利な道具を与える教育は良くない」。子供たちに携帯電話やパソコンを与えるタイミングは大切と力説する。

ただし、むやみに「覚える力を増やせ」と主張するわけではない。何でも丸暗記するのではなく、重要なのは理解の成分を増やすこと。「新聞でも小説でも理解力が高ければ、要点がわかり読む効率が上がる。理解できたら楽しいですよ」

高齢者を対象にした研究も行っている。年をとればワーキングメモリは劣化するが、「理解力はすぐに低下するとは思わない」というのが持論。

さらに「人間にとって必要な理解力を残すために、物忘れがあるのでは。人の名前を忘れても聞けばいい。それより理解力を大切にしたい。高齢者の物忘れは恥じることじゃないんですよ」と言葉を強くした。

【用語解説】ワーキングメモリ 目的に向かって活動するとき、情報の処理と同時に一時的な記憶の保持を担う。文の理解や人との対話などではなくてはならない機能。英国の心理学者、アラン・バッドリーが1974年に提唱した。92年に苧阪教授によって測定方法が編み出され、研究が進んでいる。脳の前頭葉の背外側領域や内側の前部帯状回を使っていることが確認されている。

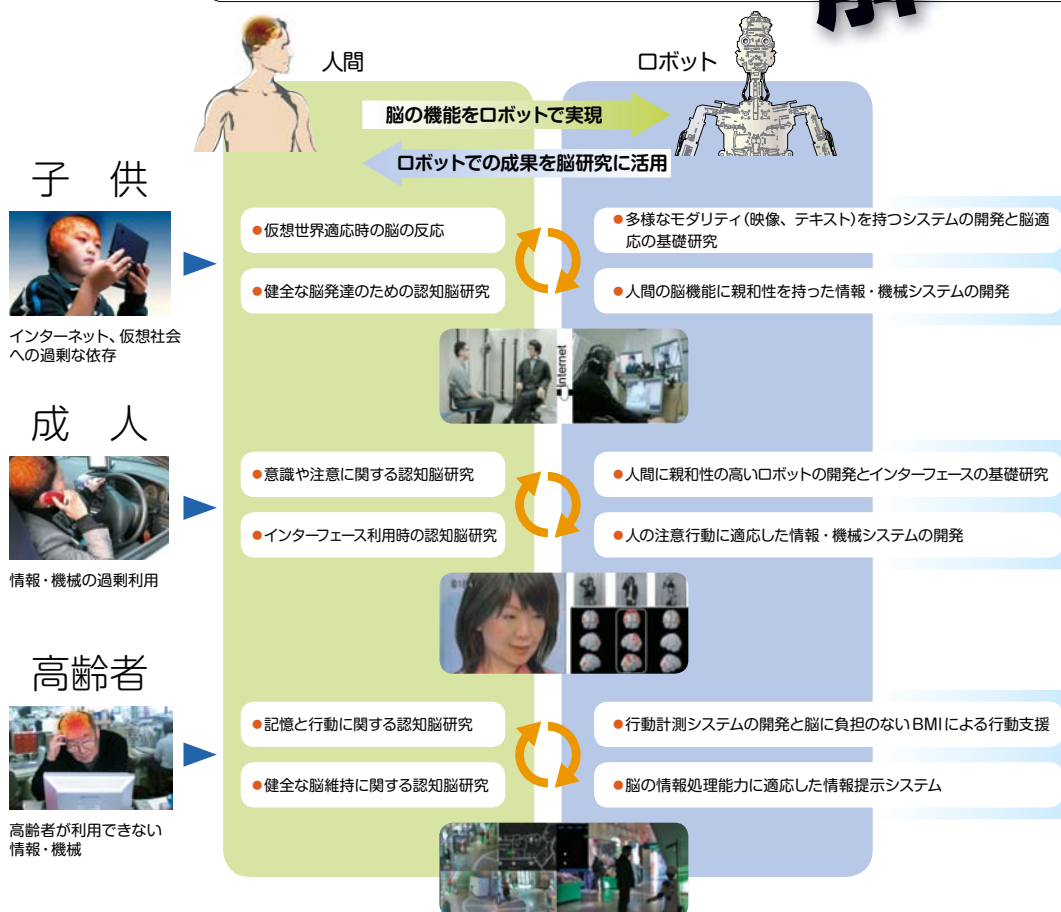
し・き・め・き
**研究
最前線**



人間らしい表情を実現した女性アンドロイド「リブリーQ2」(大阪大学と株式会社共同開発)

ロボット研究が 深める人間理解

●未来工学で実現する情報・機械システム



人に優しい 情報・機械システムを実現

パソコンや携帯電話に代表される現代社会の情報・機械システムは、それを生み出した人間の脳機能すら置き去りにする速さで高度化・複雑化している。その結果、情報・機械システムに過剰依存する子供や大人たち、逆にシステムから疎外される高齢者たちを大量に生み、人々から人間らしさを奪っている。この拠点は、人間らしい見かけをもったロボットと人間の高度脳機能(認知脳)の研究を通して、人に優しい情報・機械システムの実現を目指す。そして、その新たな学

問の枠組みを「認知脳システム学」と名付けた。

拠点リーダーの石黒浩・基礎工学研究科教授は2006年、自分そっくりの遠隔操作型ロボット「ジェミノイド」を作り、一躍注目を集めた。翌07年には英国のコンサルタント企業が発表した「生きている天才100人」で日本人最高位の26位に選ばれ、今、欧米で最も知名度の高い日本人の一人だ。

この拠点は「人間を理解するためのロボット研究」と「ロボット開発のための人間理解」という双方向の視点を持ち、人間の認知脳の解明と人間に親和性の高い機械であるロボットの研究開発を同時に進めている。石黒教授は「ロボット開発が人間理解に結びつくという考え自体はそれほど新しいものではないが、認知科学や心理学、脳科学とロボット開発の距離が接近してきたことで、それらの融合が可能な時代を迎えた。例えば、棒を穴に差し行為を機械と人間にやらせて子供に見せると、子供は人間の場合はまねをするが、機械だとまねをしない。ところがロボットを使ってこの実験をすると、子供はまねをした。つまり、ロボットは意図をもつ行為主体として認められており、ロボットが認知科学や心理学のテストベッド(実験道具)として、研究の手法を変えていく可能性がある」と話す。

石黒教授のもとには、基礎工学研究科、工学研究

未来社会における親和性の高い
情報・機械システムの設計指針



- 偏ったモダリティの集中利用による脳への負担を軽減し、適切な人間関係を築くシステム



- 自動化情報利用による脳への負担を軽減するインターフェースの実現



- 高齢者にも利用可能な情報・機械システムの実現



石黒教授とジェミノイド
© ATR知能ロボティクス研究所

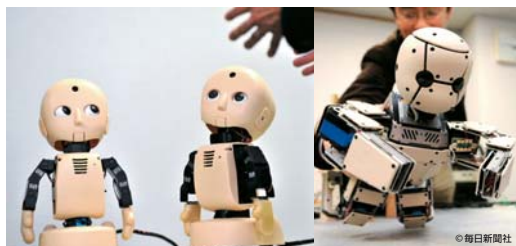


科、医学系研究科、人間科学研究科のほか、ATR(国際電気通信基礎技術研究所)の脳情報研究所と知能ロボティクス研究所、NICT(情報通信研究機構)の未来ICT研究センターから、さまざまな専門分野をもつ研究者が集まった。拠点には「認知科学・脳科学融合研究」「脳科学・工学融合研究」「認知脳システム開発研究」「認知脳システム学」という四つの研究グループがあり、連携して研究を進めている。

まず、認知科学・脳科学融合研究グループは人間科学研究科が中心となり、fMRI(機能的磁気共鳴画像法)などの脳機能イメージング技術をもとに記憶や推論など認知脳の解明に迫る。生きた脳の動きを画像でみることで、「記憶と意識の認知脳モデル」や「行動決定の認知脳モデル」「こころの発達」を研究する。一方、脳科学・工学融合研究グループは医学系研究科が中心となって、人間と機械を直接結びつけるBMI(ブレイン・マシン・インターフェース)を用いた重度身体障害者の脳機能再建の研究や、アン

ドロイドを使った「痛み」の研究などに取り組む。「痛み」の研究では、アンドロイドを痛みの診療現場に持ち込み、アンドロイドが患者に対して共感の表情を見せた時、患者の痛みがどのように変化するかなどを見ていく。認知脳システム開発研究グループは、認知脳研究とBMI研究の成果をもとに、人間の脳への負担を軽減する情報・機械システムのテストベッドを開発。基礎工学研究科と工学研究科が中心となり、人間に親和的なロボットの開発を通して認知脳の理解を深め、「自動化機器を利用する際の脳への負担を軽減するインターフェースの実現」や「高齢者にも利用可能な情報・機械システムの実現」を目指す。認知脳システム学グループは、拠点全体の研究活動を統合・体系化する役割を担う。哲学的な考察を通して教育研究の方向性を見定め、新しい学問体系である「認知脳システム学」を確立する。

石黒教授は「情報化社会の先には、ロボット化社会が来る」と予見。ロボットによって人間が進化するロボット化社会へ向けて、大阪大学が認知脳システム学という新たな学問体系を切り開く。



認知発達テストベッドとして使われるさまざまな赤ちゃんロボット (JST Erato 浅田共創知能システムプロジェクト開発)

大阪大学発!
ときめきサイエンス

4 第 章

ことば と 文化

他者を知ること、自己を知る。
人類の起源から続くコミュニケーション
シヨンのかたちは無限にある。



「役割語」 日本発信の新しい学問に

文学研究科

金水 敏 教授 Prof. Satoshi KINSUI

(国語学、言語学)



金水 敏(きんすい・さとし)1956年大阪市生まれ。東京大学人文科学研究科修士課程修了。東京大学助手、神戸大学文学部助教授、大阪大学文学部助教授を経て01年から現職。フルート演奏や音楽鑑賞が趣味で、宴会芸でその腕前を披露することもある。

「新発明じゃ」「今日も良い天気じゃのう」
台詞を読んで連想するのは白衣を着た老科学者か、はたまた縁側に腰掛ける温和な顔つきのお年寄りか――。

日常会話で語尾に「～じゃ」とつける老人は東京や大阪にはそうそういないが、アニメや漫画などではなじみが深く、言葉の主を想像するのに違和感はない。このようなバーチャルリアリティの中で使われ、登場人物像を容易に連想させる言語を「役割語」と総称し、研究を続けている。

日本のアニメや漫画は今やポピュラー・カルチャーとして一大産業に成長し、世界から注目されている。しかし、これまでアカデミズムの中心的なテーマとして、体系的な研究はちゃんとされてこなかったといえる。「役割語」という言語学の面から光を当てた獨創性が際立っている。

子供のころから、漫画やアニメに目がなかったという。特に手塚治虫さんの「鉄腕アトム」に登場する「お茶の水博士」の大ファン。だから、アニメに登場する老人の特徴的な話し方に注目した。

「魔法使いのおじいさんや老科学者が『そうだよ』なんて話しているのは聞いたことがない。でも、日常で『そうじゃよ』と話している老人もなかなかいないでしょ。このあたりが気になっていたんですよ」



天満天神繁昌亭のイベントにて
(左…高島幸次招へい教授、右…落語家桂春之輔さん)

「新しい研究分野を 開拓しつつある」のじやよ

東京大学では、日本語の歴史を研究。子供のころから親しんだ漫画やアニメの世界が学問と自然に合体したという。

その場所に存在する意味の「いる」という言葉。無機物に対する「ある」、尊大にもへりくだっても聞こえる「おる」などいくつもの表現がある中、漫画やアニメの老人が話す「おる」という言葉は、こうした概念や方言などではくれないと気づいた。

「こうした言葉を『老人語』ととらえると、アニメなどフィクションには、宇宙人、外国人といったように、登場するキャラクターに特有の言語があると気づいた」

役割語の代表格には老人語のほかに、女性が「～ですってよ」「～だわ」と語尾に付ける「てよだわ言葉」がある。明治時代に女学校の女学生の間で流行

した話し方で、上品な女性言葉として定着した。老人語同様、もはや「てよだわ言葉」で話す“お嬢様”もそうしないが、アニメの世界ではこうした言葉遣いの女性は“良家の子女”ということになっている。

役割語はアニメ、漫画だけに限定されるわけではない。洋画の翻訳でも「STOP」という英単語を訳す場合、言葉の主が男性であれば「やめろ」、女性なら「やめて」と字幕が出る。字幕を作る中で、原語のニュアンスを読み取って誰が発した言葉なのかを推測しやすく工夫したものが、字幕用の男言葉や女言葉として定着した。

最近新たに役割語の仲間入りを果たしつつあるのは、韓国人キャラクターの話し方という。韓流ブームで韓国語を耳にする機会が増え、市民権を獲得したようだ。

「語尾に韓国語の『～イムニダ』を付けて韓国人らしさを出そうとしている。こうした表現は韓国語を知っている人口が増えたからこそ」と分析する。

漫画好きが高じて始まったこの研究、漫画やアニメを題材に社会学、翻訳学、心理学など広い学際領域を視野に入れながら新しい研究分野を開拓しつつある。

「～だピ」とか、「～だプー」など、幼児が大笑いしそうな言葉を終始、真顔で語る。「役割語の研究は、日本発信の新しい学問の確立につながる」との信念があるからだ。



文学研究科

工藤眞由美 教授 Prof. Mayumi KUDO
(現代日本語学)

コミュニケーションの多様性が 言語を育てる

言語は常に変化し続けるという観点から、日本語の方言や南米の日系移民社会で日本語がたどった変遷など、日本語のさまざまな側面を研究している。

どう 数えるかにむつかしい点があるが、現在、世界にはおよそ6000の言語が話されているとされる。ユネスコの調査では、このうちの2500語が消滅の危機にあり、日本列島では、アイヌ語が致命的に危機の状態にあるという。

近ごろ英語教育熱が高まるなか、日本語は生き残れるか、といった議論がかまびすしい。近代国家を目指すため、明治期に話し言葉と書き言葉を一致させた「国語」が作られ、標準語を主、方言を従とする考え方が定着した。「近代日本語から脱皮しつつある現在の日本語を、将来に向けてどう再構築していくかが重要になってきている」状況のなかで、「日本語の内部に多様性や地域の言葉の活力がないと、日本語の力は落ちていく」と言語的複層の重要性を説く。

「標準語にはない表現力や可能性が地域の言葉にはあるということを、われわれ研究者は調査・研究していかなければ」と、今各地で地域に根ざした言葉が世代間で次第に継承されなくなっている現実に危機感を抱く。地域の言葉が優れている一例として、2種類の過去形をもつ沖縄の言葉があるという。那覇周辺では、標準語の「飲んだ」に対して「ヌダン」と「ヌムタン」という二つの言い方がある。「ヌムタン」を使う場合は、話者が飲んだ行為を見ている。

飲んだことを人から聞いただけの時は「ヌダン」。このように、目撃証言と伝聞を言い分けるシンプルな表現方法は標準語にはない。「欧米の言語学者が、文化的に劣ると決めつけていた先住民の言語を調査・研究していくなかで、先住民の言語に非常に精緻な文法構造が埋め込まれていることに気づかされる」プロセスに感銘を受けたという。生物学的多様性だけでなく言語的多様性についての教養は今後重要になるだろうと強調する。

「大学教育実践センター」のセンター長も務める。センターは2年生前期までの全学共通教育を担う。「専門教育を担当している全学の教員が、同時に全学共通教育も受け持つという教養教育の充実度」が外部からも高く評価されている。

今取り組んでいる課題が二つある。一つは、専門の勉強を積んだ学生から、改めて教養教育を学びたいというニーズがあり、どうカリキュラムを充実させるかがポイントだという。もう一つが初年次教育で、双方向対話型の授業を充実させることによって、高校までの受動的な学びから主体的な学びの姿勢に切り替えることを目指している。「大阪大学の教育目標である『教養・デザイン力・国際性』を身につけた学生を育てるための基盤を充実させることが大学教育実践センターのミッションです」

「標準語にはない表現力や可能性が地域の言葉にはある」



工藤真由美(くどう・まゆみ)1949年愛媛県生まれ。東京大学人文科学研究科博士課程単位取得退学。横浜国立大学講師、助教授を経て98年4月から大阪大学文学研究科教授。2007年から大学教育実践センター長も務める。「言語を守ることは文化を守ること。両者は密接にリンクしている」

ブラジルのサンパウロ郊外、
福博村で日系移民の方々と＝
大阪大学、サンパウロ大学の
共同調査

ことばと人の心の 微妙な関係「面白い」

言語文化研究科

沖田知子 教授 Prof. Tomoko OKITA
(ことば学、英語学)

世界中で愛読されている「不思議の国のアリス」。大学時代に授業で初めて出会い、「ことばってこんなに面白いのかと、目から鱗が落ちた」。魅せられ、30年以上にわたって研究を続けている。「もう100回近くは読んでいますが、読むたびに発見がある。追いついてゆくのが精いっぱいですね」と目を輝かせる。



キャロル自筆の「地下の国のアリス」
(大英博物館所蔵)



沖田知子(おきた・ともこ) 1951年兵庫県生まれ。大阪大学文学部卒、文学研究科修士課程修了。同助手、大阪大学医療技術短期大学部講師、言語文化部助教授、教授などを歴任し、05年から現職。主な共著に「アリスの英語—不思議の国のことば学」「アリスの英語2—鏡の国のことば学」「謎解き『アリス物語』」がある。



「不思議の国のアリス」の原型である「地下の国のアリス」より

「気持ち」のやりとりがあつて ことばは生きる

不思議

の国のアリスは、1860年代に英国オックスフォード大学で論理学や数学を教えていたチャールズ・ドドスン(ルイス・キャロル)が書いた奇想天外な物語だ。日本語に訳され、書店に行けば何冊も並んでいる。

だが、実際は「日本語には翻訳できない面白さがある」という。「作者のドドスは言語遊戯癖があったんですね。tail(しっぽ)とtale(お話)のだけじゃれとか偏執狂的に徹底していて、変幻自在で一筋縄でいかない」。英語原文の音、意味へのこだわり方で日本語の表現が違ってくる。「翻訳は定年後の楽しみです」と笑う。

ことばにこだわって研究を続け、言語学とは違う「ことば学」を提唱している。それは、ことばと人の心との関係を考える学問だ。

「ことばは『証拠』となって、その人の心までたどりつけるはず。でも、解は一つではないですね。思い間違いや読み込みすぎということもある。また、ことば以上に伝わることもある。その微妙な関係が面白い」

この程度のことばは言わずとも分かってくれるはず。こう言うと相手はどう受け取るかしら——。そんな「気持ち」のやりとりがあつて、ことばは生きるという。

「昨日の私と今日の私でも違います。人はそんな『緩さ』を許し合って、コミュニケーションしているんですね」。ところが、最近は緩さやおおらかさが許されなくなってきたのではないかと指摘する。

「物事を自分の視点でしか見ていないというか、1対1の対応しか許されない息苦しい世の中です。現代人にはことばの行間を読む余裕がなくなっているんじゃないか」

大阪大学の男女共同参画担当メンバーとしても活動している。女性研究者は出産や育児、介護などで研究時間が十分にとれないことがあるため、阪大では学生ら次世代の研究者がサポートに入る「研究支援員制度」を設けており、延べ118人が利用している。さらに、文部科学省の支援を受け「次世代に繋ぐ女性研究者サポート連鎖の形成」を目指した。ただ、制度はあっても生活面の時間のやりくりなど課題は山積だ。

そんな疲れを癒やしてくれるのは、やはり「不思議の国のアリス」だ。いつも初心に戻らせてくれる。

衣服はその時代の 社会を映す

文学研究科

武田佐知子 教授 Prof. Sachiko TAKEDA

(日本史、服装史)



専門は日本古代史。これまで、服装から聖徳太子を論じるなどの業績がある。「史料に没頭して真下に掘り下げたのでは、物事の本質は見えてこない。横から裏から、ひっくり返して複眼的に読まない駄目」と目を輝かせる。

2007年、大阪大学と大阪外国語大学の統

合を機に、理事・副学長という重職を担い、広報担当の副学長として、地域や市民と連携し、広く門戸を開いた大学にしようと、2008年には豊中キャンパスに「21世紀懐徳堂」を開設するなど手腕をふるった。その後、研究職に復帰。2年ぶりに学生の指導と研究に専念できることの面白さを実感している。

「古代の庶民が着ていた衣服について調べていたとき…」

古代の庶民の衣服については史料が残っておらず、研究を手がけはじめた当時、謎に包まれていた。あるとき、修士論文で古代の戸籍の研究をしていたことを思いだした。戸籍に庶民一人ひとりの体の特徴を注記した帳簿があったのだ。

注記は首から上、肩から先、ひざから下の部位に



武田佐知子(たけだ・さちこ)1948年東京都生まれ。早稲田大卒、都立大学人文科学研究科博士課程修了。大阪外国語大学教授などを経て2007年から現職。同年から理事・副学長を2年間務める。03年紫綬褒章受章。著書に「娘が語る母の昭和」(朝日新聞出版)、「聖徳太子の歴史を読む」(共著、文英堂)など。趣味はテニス・水泳と書道。

「古代史の研究でも現代の素朴な問題意識から始めることが必要」

限られていたことから、衣服に覆われる体の部分が類推することができた。他の史料には、ズボンはなくふしまで丈が必要だった、とされており、ズボンではないと論証した。水田稲作のための機能性も考慮すると、当時の衣服は、袖とひざ下がない貫頭衣^{かんとう}だったのではないかと見当をつけた。

「衣服の形はそれ自体些末^{さまつ}なことのように思われがちだが、実はその衣服が用いられた当時の社会を規定している」と指摘する。男女とも同型の衣服を着る文化と平安時代に同性愛が多かったことは密接に

関係している。「国家形成まで衣服の形で分かる」という。

現在は、世界の民族衣装が劇的に変化する軌跡について、フィールドワークをまとめている。民族衣装は、民族それぞれの価値観、美意識により独自に発展してきたにもかかわらず、民族衣装を着たがらない経済的弱者がいる現実も見えてきた。

「学問が現実から遊離しないよう、古代史の研究であっても、現代の素朴な問題意識から始めることが必要なのです」と説く。

シャガールにみる 命の営み

文学研究科

園府寺 司 教授 Prof. Tsukasa KODERA

(西洋美術史・アートメディア論)

「愛と幻想の画家」として知られるマルク・シャガールに「ユダヤ人画家」という切り口で迫ろうとしている。先祖の地を追われ2000年に及ぶ流浪を続けた民族。19世紀に入ってユダヤ人による芸術が盛んになってきたが、近代美術の世界で、その内実を知ろうとする研究者は少ない。



シャガールは日本でも人気が高く、美術展では多くの人が来場する。
(毎日新聞社提供)

「**今でも**ユダヤ人であることを隠している人もいる。触れてはいけない歴史とでも言うのでしょうか」

ユダヤ芸術に興味を持つようになったのは、1981年から7年間、ゴッホを研究するためオランダ・アムステルダム大学に留学中、師事したユダヤ人教授の存在だ。教授はドイツ出身。ナチスの台頭でオランダに亡命、さらにフランスからスペインに逃げる最中に、パスポートがないことから捕らえられ、両親に偽造してもらい助かった。第二次大戦中は従軍し、のどに銃弾が貫通したこともあるという。

「厳格な人で、講義も手を抜かず、現代美術という国際言語を若者に教えることに命をかけていたといってもいい」。ユダヤ人ゆえに背負った苦難の大きさを痛感した。

「命がけで生み出した 美術作品の神髄に迫る」

関府寺司(こうでら・つかさ) 1957年大阪市生まれ。大阪大学文学部卒。アムステルダム大学美術史研究所大学院博士課程修了。広島大学総合科学部助教授、大阪大学文学部助教授を経て2001年から現職。研究スタイルは「クラスの端っこで黙っている子の言葉を引き出すような感じ、かな」。

ユダヤ人の芸術に共通しているのは、命の営みと美術が密接に関係しているということだ。シャガールは、ロシア(現在のベラルーシ)のユダヤ人家庭に生まれ、フランスに亡命、豊かな色彩で幻想的な絵を描き成功した。「花とか愛とか夢とか、正直、むかつくほど嫌いだった」

面白くなり始めたのは、1990年代、ソ連が崩壊したところから。シャガールのロシア時代の作品が続々と公になった。キリストやモーゼの十戒を題材にした宗教画、ユダヤ人の祭りなど力強い作品に「こういう絵を描く画家だったのか」と興味をひかれた。故国に残した親族を思うと、反ソビエト的な作品は描けない。友人の多くもスターリンの時代に殺された。「亡命画家として、愛とか夢とか、あたりさわりのないテーマしか描けなかったことが理解できるようになった」

シャガールの母語で、東欧に住むユダヤ人が使用していた「イデッシュ語」を学び、友人へあてた手紙や講演原稿などを読み解く作業が続いている。空想が高じて描かれたように思われていた、指が7本描かれた作品もイデッシュ語のことわざを知ると「心をこめて仕事をする」という意味があることが分かってきた。屋根の上にいる人や牛のモチーフにもそれぞれ意味がある。

美術史を学ぶ人間にとって重要なことは、美術作品とどれだけ深くかかわれるかだという。「裕福な人がお金をかけて楽しむような美術は好きじゃない」。作家が命がけで生み出した作品の神髄に、深く迫ろうとしている。

大衆音楽の起源は 東欧に

文学研究科

伊東信宏 教授 Prof. Nobuhiro ITO
(音楽学、民族音楽学)

中欧、東欧のあらゆる音楽の歴史研究に取り組んでいる。軸に据えているのは、ハンガリーの作曲家、ベーラ・バルトーク(1881~1945)。「バイオリンを習っていた子供のころ、バルトークの教本を使っていた。すごく新鮮で、彼の音楽に親しむ原点だった」と振り返る。

バルトーク 研究は、もともと音楽史の研究のつもりでやっていた。だが「彼自身が東欧の民族音楽の研究もした人だったので、ハンガリーなどの民族音楽の研究も広く手掛けるようになった」という。そして、どんどん南下している。

「ハンガリーからルーマニアに行くと、音楽はもっと荒々しく、ブルガリアに行くと、もっとわくわくさせられる。興味がだんだん広がってゆく感じがしています」

今の関心の中心は、東欧やロシアのユダヤ人音楽や、ロマ(ジプシー)などの大衆音楽。「バルトークやジョルジュ・エネスク(1881~1955)らの作曲家にも影響を与え、オペレッタに姿を変え、海を渡ってアメリカでミュージカルになり、西海岸では映画音楽になった。大衆音楽でも、基礎にあるのは、東ヨーロッパだと考えています」

日本とも無関係ではない。「満州から上海や東京へというルートもあって、日本の西洋音楽は大きな影響を受けました。山田耕柞さん、近衛秀麿さん…皆がその環境にいた。大衆音楽の起源は、東欧やロマの音楽ではないか——というのが僕の考えです」



ブルガリアのリボヴェン(ロシア正教旧教徒)の村で



ブルガリアのカブラキロボというロマの村で



伊東信宏(いとう・のぶひろ) 1960年京都市生まれ。大阪大学文学部卒、文学研究科博士課程単位取得退学。ハンガリー科学アカデミー音楽学研究所などに留学。大阪教育大学助教授、大阪大学准教授などを経て、2010年から現職。主な著書に「バルトーク」(中公新書、吉田秀和賞受賞)、「ハイドンのエステルハージ・ソナタを読む」(春秋社)、「中東欧音楽の回路」(岩波書店、サントリー学芸賞、木村重信民族芸術学会賞受賞)。

「自分がどういう音楽が好きで、なぜそうなのかを解明したい」

意外なのが、ウィーン古典派の父親的な存在であるフランツ・ヨーゼフ・ハイドン(1732~1809)の作品研究も手掛けていること。土俗的なイメージのバルトークや東欧の民族音楽と、洗練の極みと言ふべきハイドンがどう結びつくのか。

「ハイドンはハンガリーのエステルハージ家に仕えていた。だから、東側から彼を眺めた方が面白いと考えた。『夏目漱石を江戸から読む』という本がありましたが、僕は『ハイドンをハンガリーから読む』感覚です」

西欧の前衛作曲家とのイメージが強いジョルジ・リゲティ(1923~2006)も、東欧というキーワードから読み解く。

「“前衛の旗手”というわが国での評価は間違っている。ルーマニア生まれのユダヤ人家系で、家族を強制収容所で亡くし、ハンガリー動乱で亡命。20世紀の歴史そのものを生きていた人。彼の『レクイエム』は、ものすごくえげつない音楽です。ああいう経歴でなければ、決して書けないでしょう」。そして、最終的には「自分がどういう音楽が好きで、なぜそうなのかを解明したい」と語る。

「育ってきた中で刷り込まれた部分や、原因があると思う。そこへ戻りたいし、そこに興味がある。それが『日本人である自分がどうして、東欧の音楽の研究をしているのか』という疑問の答えでもあると思います」

実践的な会話通じ 現地にとけ込む人材育成

世界言語研究センター

山根 聡 教授 Prof. So YAMANE

(ウルドゥー語)



山根聡(やまね・そう) 1964年大阪府生まれ。大阪外国語大学外国語学部卒、外国語学研究科修士課程修了、パキスタン・パンジャブ大学大学院修士課程修了。大阪外国語大学非常勤講師、在パキスタン日本大使館専門調査員、大阪外国語大学助教授などを経て2010年から現職。著書に「現代パキスタン分析」(岩波書店)、「パキスタンを知るための60章」(明石書店)など。

「実践的な会話を習得して現地にとけ込むことで、異なる価値観を共有できる人材を育てたい」

25言語の教育と研究を行う「世界言語研究センター」は2007年10月、大阪大学と大阪外国語大学の統合のシンボルとして開設された。

専門のウルドゥー語はパキスタンの国語で、インドで使われるヒンディー語と同系統の言語。インドでも半数が話せ、使用者は約5億人と英語、中国語に次ぐ数だ。

ウルドゥー語との出会いは大阪府立春日丘高校のとき。世界史の授業のほとんどがインド・イスラム史だった。全く知らない世界を見せられ「本格的に勉強しよう」と大阪外大へ入学、ウルドゥー語研究の大家、加賀谷寛教授に師事した。現在の研究室も加賀谷教授から引き継いだものだ。

日本大使館の専門調査員時代は、内戦状態だったアフガニスタンの調査にたずさわった。

現地を飛び回り、内戦の様子や避難民の生活状況などを調べた。「亡命した政府代表やタリバンとも接触して情報を得た」。まさに現地にとけ込んでの仕事。それまでの研究は文学中心だったが、政治や経済にも視野を広げる機会ともなった。

「英字新聞とウルドゥー語の新聞では書かれている内容がまったく違う。どろどろした社会の動きは現地語でないと分からない」

「多くの人は文化を共有しあって 生きているのが現実の世界だ」



2008年のパキスタン総選挙での
投票所の様子

08年2月には、ブット元首相が暗殺され、延期されていたパキスタン総選挙の監視団にも参加した。混乱を予想して、防弾チョッキの着方も習った。

パキスタン側が用意した視察を断り、独自に投票所を訪問するなど監視活動を進めた。

「世界中のメディアが注目したこともあり、今までになく成功した選挙だったと思います」

パキスタンは、多くの思想家を輩出し、イスラム運動を広めるなどエネルギーを世界に発散している。一方で多様な民族にはさまれ、イランや中央アジア、さらにギリシャやイギリスの文化が交ざり合ったとても面白い場所で世界の研究者から注目されているという。

特にインドの影響は大きく、「家を新築すると屋根に使い古しの鍋を置いておく。こうすると^{しつと}の視

線が鍋に集まり魔よけになる。インドにも同じ発想がある」と説明してくれた。

ほかにも、風邪をひくと唐辛子を持って7回時計回りに回り、火にくべて邪気を取り除くなど土着の民俗と同じ文化や発想が多い。

「表面的には対立していても、それはごくわずかの
人だけ。多くの人は文化を共有しあって生きている
のが現実の世界だ」

現在、卒論指導している学生は3人。パキスタン映画の上映会を探してきたり、古本を求めて上京するなど意欲的に動いていると目を細める。

「異なる文化の中で社会のため人のためにプラスになるものを見つけ出してほしい。それには人間への興味を持ち続けることです」。現場第一主義の研究者は後継者を温かい目で見守っている。

人との出会い大切にして 異文化理解

国際教育交流センター

有川友子 教授 Prof. Tomoko ARIKAWA

(教育人類学)

有川友子(ありかわ・ともこ) 鹿児島県で育つ。
1985年東京外国語大学英米語学科卒。熊本商科
大学国際交流室、米国イリノイ大学大学院教育
学研究科修士、博士課程修了後、大阪大学留学
生センター助教授、2008年から教授。ジムに通
い、フィットネストレーニングと水泳に親しむ
のが趣味。また幼少時代に覚えたピアノを出勤
前に10分ほど弾くのが日課という。



言語の壁も乗り越えて触れ合う「個」と「個」。それが原点

約1400人に及ぶ世界各国の留学生たちの相談に応じている。中国、韓国、台湾などアジア諸国が多く、ラオス、スリランカなどの小さな国もある。

「ある国」の人を『こうだ』と決めつけることは危険です。一人ひとりと接していると、国や文化もありますが、個人による違いが大きいことが分かります」

相談の具体的内容については、プライバシーがあるため公にできないという。ただ、さまざまな悩みや戸惑いを聞く中で、異文化を「単純化」して見ることの危うさを痛感している。

教育人類学を研究した米国の大学院時代、インドネシアをテーマに研究したときも、同じだった。国や民族、文化もあるが、あくまで「個」にこだわり、一人ひとりの目線を大切に、研究を進めた。集大成の博士論文。米国から一時帰国したうえで、主として日本国内に留学していた大学、大学院のインドネシア人学生21人を対象に調査。1年あまりにわたってフィールドワークし、許される限り、私生活についてもインタビューを試みるとともに日常生活も行動をとともにした。一緒に日本に来ている家族にも話を聞いた。

日本の中で新たな文化を身につけていく人々の姿を実感し、論文にまとめた。この過程を「文化適応」ということもあるが、あえてこの用語を使わない。

「受動的なニュアンスがあると思うんです。彼らは友達同士では、インドネシアの料理を食べるけど、日本人と一緒にいるときは、可能な範囲で日本料理を食べる。当たり前のことですけど、留学生たちは文化を、いわば積極的に取捨選択しているんです」

文化人類学的手法と言われ、データを集めて結論を導くよりも、現場に重きを置く学問スタイルだ。そのため、研究の過程で必要となるインドネシア語も米国時代に身につけた。

最初の異文化との出会いは、小学生時代にさかのぼる。5年生から6年生にかけて、父親の仕事の関係



で約1年サンフランシスコに暮らした。当初言葉はまったく分からず不安だったが、さまざまなことを世話してくれる同級生がいたという。ある日、何かを必死に語りかけてきたが、理解できなかった。すると、1枚の絵を見せてくれた。

「その絵には、家が描いてあって、女の子がバイバイする姿が描かれていたんです。つまりその同級生は転校することになっていたんですが、その絵を見てようやく理解できました。私にお別れを懸命に伝えようとしていたんです」。言語の壁も乗り越えて「個」と「個」が触れ合う——。数十年が経過した今も、このときのことははっきりと覚えている。一人ひとりとの出会いを大切にする異文化理解。その原点がここにある。

column

脈々と受け継がれる 素粒子物理学の伝統

大阪大学初代総長、長岡半太郎は日本の原子物理学の先駆者だ。長岡は1903(明治36)年、原子はその中心に陽電子を帯びた質量の大きい粒子があり、その四周に陰電子を帯びた質量の小さい電子がたくさん並んで土星の環のように同じ速度で回転しているという土星型原子模型を提唱した。この発表から4カ月後の1904年にイギリスのJ・J・トムソンが、原子は陽電子を帯びた雲のようなものの中に陰電子を帯びた電子が浮いていると発表。その後1911年、アーネスト・ラザフォードらによる実験で、原子の中心にはプラスの電荷を持つ重い原子核が存在するという長岡説の正当性が証明された。

1949年度のノーベル物理学賞を受賞した湯川秀樹は、1934(昭和9)年に大阪大学理

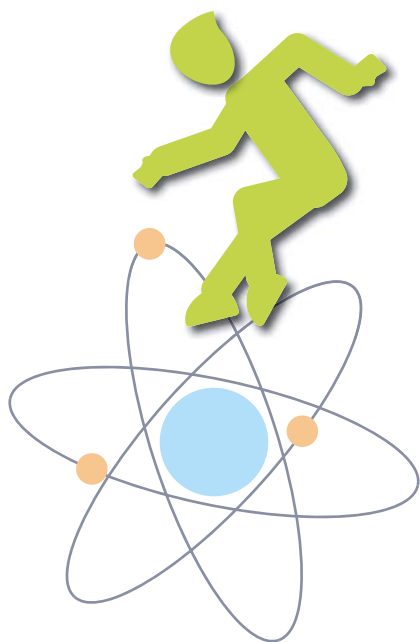
学部講師となり、1936年から京都大学教授に転出する39年まで大阪大学で助教授を務めた。1935年、中間子の存在を予想した「素粒子の相互作用について」という第一論文が日本数学物理学会欧文誌に掲載された。36年には「ベーター放射線の理論」を出版、「中間子論」を提唱し、この研究がノーベル賞に結びついた。



大阪大学総合学術博物館1階の展示室「世界にはばたく研究者」では、長岡や湯川のほか、世界最先端のサイクロトロンなど加速器を次々と開発し、日本の核物理学の発展に寄与した菊池正士、八木・宇田アンテナの共同発明者、八木秀次、日本の有機化学の開拓者、眞島利行らの業績を紹介している。

大阪大学発！
ときめきサイエンス

第5章

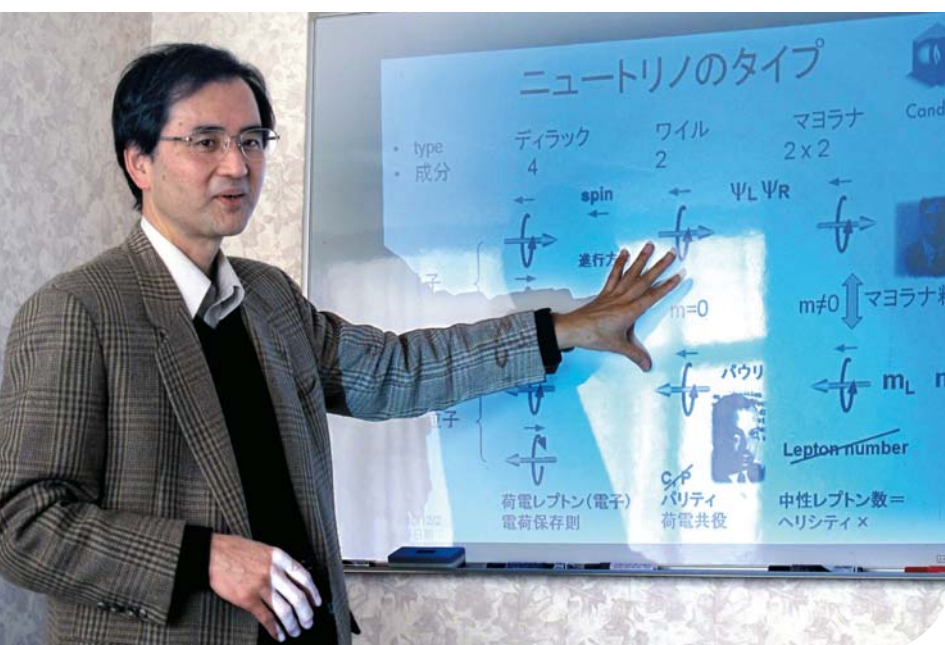


ナノサイエンス II

- 神秘を解き明かす物理学
- ナノレベルのものづくり

現在、観測できる宇宙の大きさは 10^{27} 光年。
南部陽一郎さんの提案から始まった超ひも理論による素粒子は 10^{-35} 光年。極小の世界に迫る物理学が極大の宇宙を解明しようとしている。

ニュートリノ観測で 物質の起源がわかる



岸本忠史(きしもと・ただふみ)

1952年大阪市生まれ。大阪大学理学部卒、理学研究科博士課程修了。東京工業大学理学部助手、米ヒューストン大学物理教室博士研究員、大阪大学理学部助教授などを経て、96年から現職。2007年から核物理研究センター長を兼任。3人の娘はいずれも理系の道を歩むが「私に教えられるのをいやがって、文系出身の妻に聞いています」。

理学研究科

岸本忠史 教授

Prof. Tadafumi KISHIMOTO

(素粒子核物理学)

2008年のノーベル物理学賞を受賞した小林誠・高エネルギー加速器研究機構名誉教授、益川敏英・京都大学名誉教授の「小林・益川理論」は、素粒子の研究で未発見だった「クォーク」の存在を予言したことが評価された。

理論

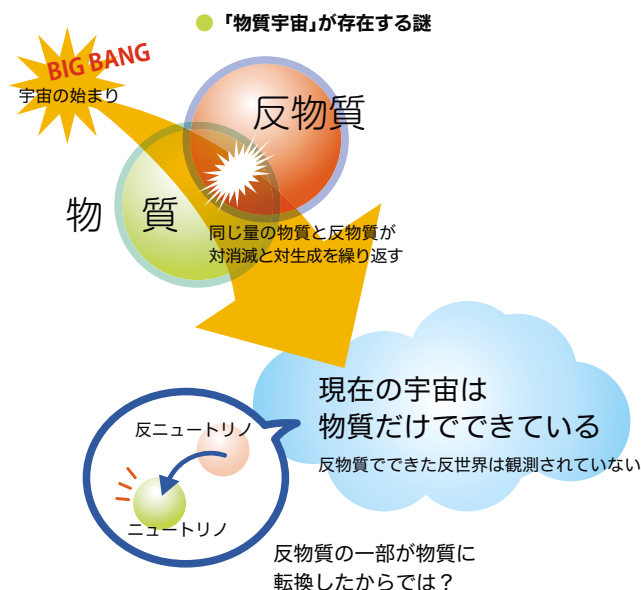
の元になったのは、物質の最小単位である素粒子には反粒子があるが、反粒子と粒子では従う物理法則が微妙に異なるとする「CP対称性の破れ」で、現在の素粒子研究の論理的支柱となっている。

ニュートリノ振動が確認され、素粒子の一つであるニュートリノは質量をもつこともはっきりするなど、素粒子物理学は現在、世界中の研究者による激しい競争が行われている分野だ。

「宇宙の始まりでは物質と反物質が同量あったはず。それが物質だけの世界になったのは、反粒子(反物質)の一部が粒子(物質)に変わっていったからではないかと推論される」

原子核の中で2個の中性子が2個の陽子に変わるとき、2個の電子とともにニュートリノも2個放出される。このとき、粒子が反粒子に転換すればニュートリノが出ない「崩壊」が起こる。この崩壊を「二重

「二重ベータ崩壊」を観測 素粒子理論の大転換に挑む



ベータ崩壊」という。粒子と反粒子が相互に入れ替わっていくことを観察、証明できる唯一の方法だといわれている。粒子と反粒子が入れ替わることが証明されれば、これまでの素粒子理論を大きく変えることになる。

ところが、二重ベータ崩壊は1秒(1兆の1兆倍)年に1回より低い確率でしか観察できない。そこで大量に二重ベータ崩壊を発生させる装置を建設し、観察を続けている。

「高純度のフッ化カルシウムでできた1辺10⁹の立方体を100個ほど並べ、周囲の光センサーで検知します」

岐阜県飛騨市のスーパーカミオカンデは、宇宙線の中にある粒子(ニュートリノ)を観測する、いわばこの装置の巨大版だ。これによって宇宙の物質の起源を知ることができるようになるという。

一方、「核物理研究センター」のセンター長も務める。実験棟の地下へ潜っていくと、秘密基地のようにいくつものゲートを超えた先に「サイクロトロン」がある。光の70%のスピードまで加速させた陽子を磁石で曲げると発生する放射光を分析し原子核内部の様子を見ることができる。兵庫県佐用町にある「SPring-8」にも関連する装置が設置されている。和歌山の毒物カレー事件で、現場に残されたカレーに



大阪大学核物理研究センターの原子核の内部を探る装置、リングサイクロトロン。陽子などの粒子を光の速さの3分の2もの速さに加速する。

含まれていたヒ素を分析したことで知られるように、放射光の分析は物理学だけでなく、医療や産業、生物学などさまざまな分野に利用されている。

同センターは、全国共同研究機関として国内外の研究者に公開されている。管理者として、会議や書類作成などに割かれる時間も多く、「研究と組織のマネジメントの両立もこれからの課題です」と話す。日本人のノーベル賞受賞で一層注目される分野だけに、「自分の研究時間も確保したいのだが——」と思わず本音が漏れた。

し・き・め・き
研究
最前線

物理学の 最前線担う CANDLES計画

キ ャ ン ド ル ス

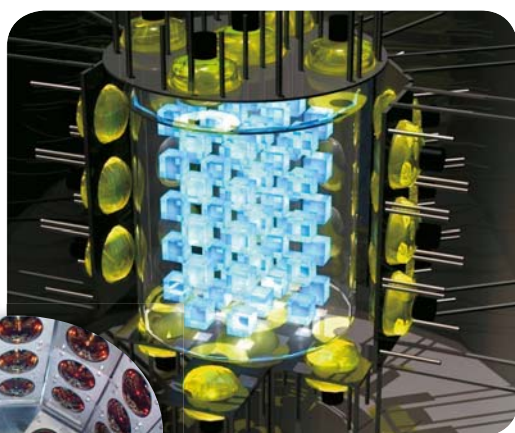
■ 神岡で新測定装置「CANDLES III」が稼働

フッ化カルシウム(CaF_2)を使い、二重ベータ崩壊を観測する大阪大学の新しい測定装置「CANDLES III」が岐阜県飛騨市の神岡で稼働を始めた。大阪大学が測定・研究を続けてきたニュートリノが出ない「 0ν (ゼロニュ)二重ベータ崩壊」が観測されれば、「粒子数保存の法則」が破れていることが証明され、物質の起源を実験で実証することになる。

■ 消えた反粒子の謎を解く

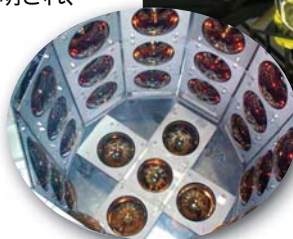
宇宙で観測される物質の量は、粒子数の比で宇宙に存在する光の量の100億分の1に過ぎない。高温・高密度の宇宙の始まりでは、粒子(物質)と反粒子(反物質)が同量あり、それが対消滅していき、エネルギー(光)になったと考えられる。とすれば、割合として反粒子が100億個、粒子が100億個プラス1あったと考えないと科学的に説明できない。

多くの物理学者は、初めからそういう割合だったとは考えず、何らかの原因で差が生まれたのだとする。そのことを説明するためには二つのことが証明されなければならない。一つが「CP対称性の破れ」で、粒子と反粒子とでは従っている物理法則が少し違っているということ、もう一つが粒子数は保存されるという「保存則」の破れだ。「CP対称性の破れ」は既に実証されたが、粒子数保存則の破れはまだ実証されていない。その鍵を握るのが電荷を持たない唯一の、物質を司る素粒子のニュートリノだ。

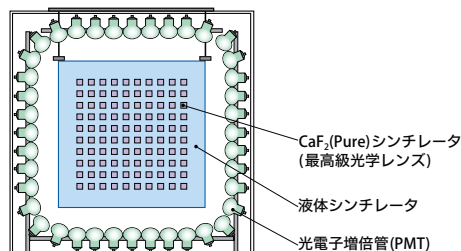


● 宇宙の謎を解き明かす CANDLES III

CANDLES IIIタンクの中に CaF_2 (フッ化カルシウム結晶)を入れ、周りの光電子増倍管で観測する。 CaF_2 結晶は最高級の工学レンズとして使われており、優れた透過性を持っている。



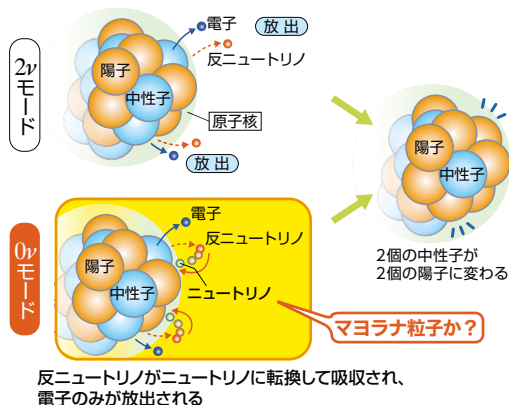
CANDLES
タンク内部



■ ニュートリノはマヨラナ粒子?

保存則の破れを確かめる唯一の方法が「二重ベータ崩壊」を調べることだと考えられている。二重ベータ崩壊は、原子核の中の2個の中性子がほぼ同時に

図1 ● 2通りの二重ベータ崩壊



陽子になる現象で、「2νモード」と「0νモード」がある(図1)。2νモードでは2個の電子とともに、2個の反ニュートリノが放出されるので粒子数は保存されている。そのときに放出される2個の電子の全エネルギーは、反ニュートリノにも配分されるため山形の連続スペクトルとなり、既に観測されている(図2左)。

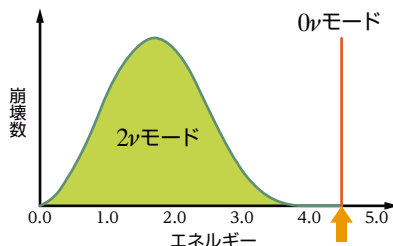
一方、「0νモード」の二重ベータ崩壊は、2個の電子しか放出しない。それは一つの中性子から放出された反ニュートリノ(反粒子)がニュートリノ(粒子)となって、もう一つの核子に吸収されるからだ。このケースでは粒子(電子)数が2個増えたことになり、保存則が破れる。これは、ニュートリノが、エットレ・マヨラナ(イタリアの物理学者)が予測した粒子と反粒子が行き来できる「マヨラナ粒子」であることを証明する。「0νモード」はこれまで測定されたことはないが、このときに放出される崩壊のエネルギー(Q値)は全部2個の電子が担い、山形の連続スペクトルにはならずQ値の位置にピークとして観測される(図2右)。この電子を検出することで、「0νモード」の二重ベータ崩壊が実証される。

■ 検出器として優れたCaF₂結晶と将来の展望

実際のエネルギーの検出には、さまざまな課題がある。自然界には宇宙から来る「雑音」となる粒子など観測を邪魔するバックグラウンド(BG)が多い。また、二重ベータ崩壊はカルシウムで10¹⁹年に1度という極めて希少な現象で、さらに「0νモード」は10²⁵年に1度とされる。つまり10²⁵個の原子核を集

CANDLES
本体タンク

図2 ● 二重ベータ崩壊のエネルギー分布



めて、ようやく年に1度観測できる確率ということだ。BGについては、地下に施設を設置することや過去のBGの分析、使用する核種の選定が大切だ。また、希少現象対策には大量の核種を用意しなければならない。

二重ベータ崩壊を起こす原子核は理論的には多くあるが、これまでに崩壊が研究されているのはカルシウムの同位体の⁴⁸Caやキセノンの同位体の¹³⁶Xeなど10種類。CANDLES計画では、⁴⁸Caの二重ベータ崩壊の際に出る電子のエネルギーが4.28MeV(メガ電子ボルト)と全原子核の中でBGに紛れにくいことや、光学特性の良いCaF₂結晶が使えることから⁴⁸Caの研究を続けてきた。

神岡の地下約1000mに新設された「CANDLES III」は、62本の光電子増倍管をタンクの中に設置し、一辺10cmの立方体のCaF₂結晶約300gと液体シンチレータ(放射線に反応して蛍光を発する物質)を入れて、結晶からの「二重ベータ崩壊」のシンチレーション光を検出する。今後、時間をかけて検出精度を上げる予定で、最先端の成果が期待される。また、大阪大学では自然の状態ではカルシウムに0.187%しか含まれていない⁴⁸Caの濃縮技術の開発などにも取り組んでいる。

将来的には、結晶で約2cmレベルの「CANDLES IV」、さらに濃縮⁴⁸Caを10倍にする「CANDLES V」も視野に入ってきている。「二重ベータ崩壊」の研究は世界が競って取り組んでいる。その中で、過去の豊富な実績と、優れた特性を持つCaF₂結晶を使ったCANDLES計画への期待が高まっている。

ナノテクノロジーは 可能性無限大

工学研究科

森田清三 教授 Prof. Seizo MORITA

(表面物理学、表面科学)

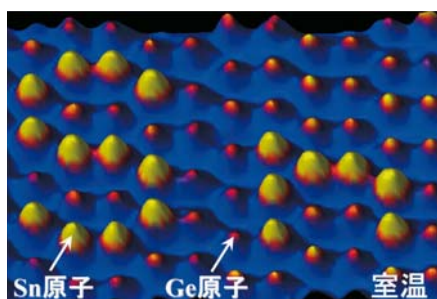
「省エネや希少金属の確保といった話が出てくる現在、いかに効率よくものづくりをするかが重要だ」と、ナノメートルの大きさを技術開発を行うナノテクノロジーの役割を強調する。

森田清三(もりた・せいそう)1948年、和歌山県生まれ。75年、大阪大学理学研究科物理学専攻博士課程を修了。東北大学電気通信研究所助手、助教授、岩手大学工学部教授、広島大学理学部教授を経て96年、大阪大学教授。原子間力顕微鏡を用いた原子識別、操作による多元素系ナノ構造体構築を研究。2005年から現職。07～09年には低温センター長を務めた。

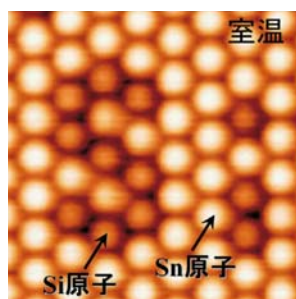


● 夢の『室温原子埋め込み文字』

室温で異種原子を交換して組み立てた、室温原子埋め込み文字



(1) “Sn”の原子埋め込み文字は、交換型「水平」原子操作で、Ge原子中に少し大きいSn原子を埋め込んで、スズの元素記号Snをスズ原子で描いた凸の原子埋め込み文字。



(2) “Si”原子埋め込み文字は、交換型「垂直」原子操作で、Sn原子中に少し小さいSi原子を埋め込んで、シリコンの元素記号Siをシリコン原子で描いた凹の原子埋め込み文字。

ナノテクノロジー

によって、コンピューターの小型化による省力化、医療用ナノマシンの開発などが考えられているが、こうしたナノテクノロジーを扱うには「原子・分子レベルの分析、計測をしっかりとやる必要がある」。

そのための顕微鏡は1980年代から95年にかけて、レンズを使う顕微鏡から、センサーを用いた走査型トンネル顕微鏡、原子間力顕微鏡へと開発が進み、原子を自由に見るという人類の夢が達成された。原子間力顕微鏡は、プローブ(探査針)を試料の表面に近づけた際に生じる原子間力を利用。原子間力は原子によって異なり、原子間力を測定することで原子を識別する。この原子間力顕微鏡を用い、原子と原子を室温で交換できることを初めて示した。「室温で、ナノレベルで、多元素のものを作る技術のブレークスルーになった」と胸を張る。

理屈はこうだ。プローブを試料に近づけると、プローブの先端にある異種原子1個が試料表面の原子1個と入れ替わる現象を発見した。この現象の精度を上げることで、例えばスズの表面にシリコン原子を自由自在に埋め込めるという。半導体産業などへの応用が可能だ。

さらに、この研究が室温環境下で行われているの

も重要なポイント。90年に米国の研究グループが走査型トンネル顕微鏡を使ってニッケルの表面にセセノン原子を乗せ、「IBM」という文字を作るのに成功した。しかし、セ氏マイナス269度前後で達成されており、セセノン原子が飛んでいってしまう室温では不可能な実験だった。

森田教授の実験では、シリコン原子をスズの表面に埋め込んでいるため、室温でも配置された状態を保つ点で、より意義が大きい。「プローブと試料表面との間に働く力を高感度で検出する技術を見いだすことで、初めて可能になった」と振り返る。しかも、埋め込んだシリコン原子を他の場所へ動かして埋め込み直すことにも成功した。「一度埋め込んだら動かせないじゃないか、という懐疑的な見方を覆した」ことが高評価につながっている。

現在、原子レベルでの機構を研究する方法が確立されておらず、この機構がもっと詳しく分かれば、原子操作によりさらに複雑なパターン形成ができる」と期待されている。

ただ、ナノテクに早急な成果を求めがちな風潮をいさめもする。「大きなブレークスルーほど時間がかかる。大学では100年くらいの夢をもって研究をする気持ちが必要」と、後進にエールを送る。

「大きなブレークスルーほど時間がかかる。
100年くらいの夢をもつ気持ちが大事」

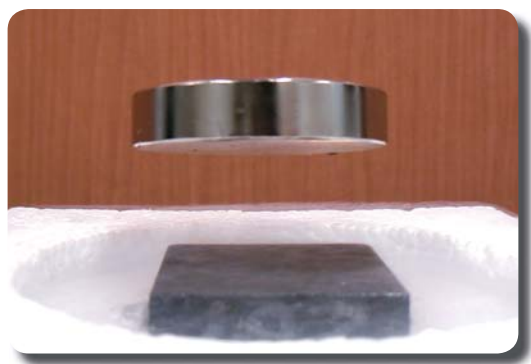
マイナス196度の世界から 超伝導を取り出す

基礎工学研究科

北岡良雄 教授 Prof. Yoshio KITAOKA

(物性物理科学)

「浮いているでしょう。これが超伝導磁気浮上です」
まるでマジックを見ているようだ。



動力はどこにもない。これは電気抵抗がゼロの状態です。これは「超伝導」という。時速500kmで走るリニアモーターカーにも使われている原理だ。

この実験は、容器に液体窒素を流し込んで冷やし、そこにセラミックスを沈める。その上に磁石を乗せようとすると反発し合って浮かんできた状態になる。超伝導体であるセラミックスが冷やされることで電気抵抗がゼロになり、同時に磁石を寄せ付けられない完全反磁性が誕生するからだ。温度を下げれば物の性質が変わるように、伝導性の高い物質の温度を下げることで電気抵抗がゼロになるのではないかと。そんな好奇心から100年ほど前に極低温で発見されたのが超伝導だ。

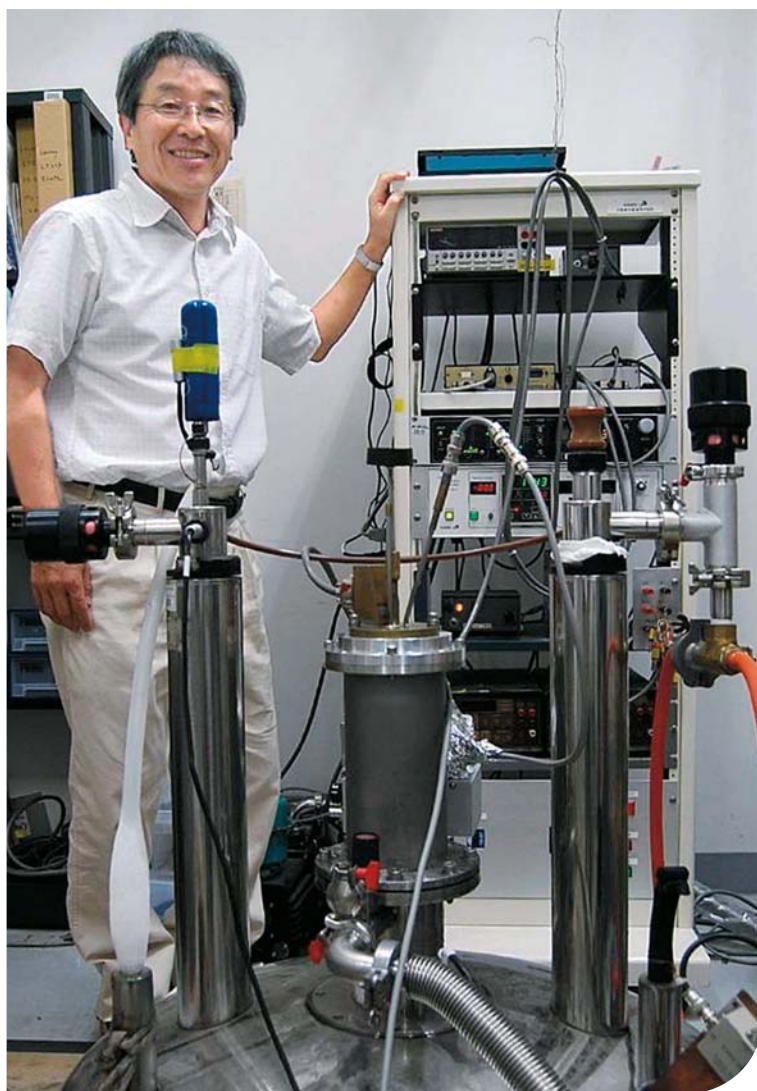
液体窒素温度以上で起こる超伝導は1986年にドイツ人のヨハネス・ゲオルグ・ベドノルツ氏らが発見。翌年にはノーベル賞を最短受賞し、20世紀最大の発見と称された。

世紀の発見から約24年。北岡教授は、現象面だけが先行しがちだった超伝導の仕組みを革新的な実験手法を用いて解明することに成功した。これまでは、磁性と超伝導はまったく関連づけられていなかった。

北岡教授は、磁性のある物質から電気抵抗ゼロの超伝導体が生まれることから両者に深い関係のあることを初めて見つけた。

現在、超伝導はマイナス196度の世界で生まれる。ここまで冷却されると伝導性の低い金属でも電気抵

「予期せぬ発見から『なんでかな』それが根源知の追究になる」



北岡良雄(きたおか・よしお)1951年大阪府生まれ。大阪大学基礎工学研究科修了。東京大学物性研究所職員、大阪大学基礎工学部助教授、同教授を経て、2003年から06年まで同大学極限量子科学研究センター長兼任。グローバルCOE「物質の量子機能解明と未来型機能材料創出」拠点リーダー。研究に没頭する毎日だが、孫たちと一緒にいるのが至福の一時。

抗がゼロになる。この仕組みを人間が普通に暮らすことのできる室温環境で応用できれば、全くロスなく、電気を運ぶことができ、余分なエネルギーも不要。究極の省エネ材料になる。将来的には地球温暖化を防止する一助にもなり、地球の救世主にもなりえる。

しかし、マイナス196度の世界は、人間が生きる室温ではまず実現し得ない。温度を下げるために必

要な冷却装置は非常に高いコストがかかってしまう。今は室温に近い状態で、超伝導を起こす物質を探しているのが現状だ。北岡教授の理論付けで磁性の持った物質を中心に目を向けることでこうした課題もクリアすることはそんなに遠い未来でもなくなった。

物理の世界へ足を踏み入れるきっかけになったのは、アインシュタインの相対性理論だった。学生時代は磁性の研究に没頭。超伝導の研究は阪大に着任以降からずっと続けてきた。

「物理学の魅力は予期せぬ発見から『なんでかな』と考える。それが物の理を探る、すなわち根源知の追究になる。研究を楽しんでいるうちに今やすっかり“超伝導オタク”」と照れる。

「高温超伝導」 尽きぬ探究心 解明へ

物理学研究科

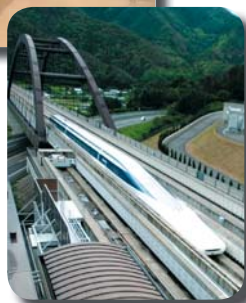
田島節子 教授 Prof. Setsuko TAJIMA
(固体物理)

「水が氷になったり蒸気になったりするように、物質には相転移現象がある。物質を冷やすと電気抵抗が減少して、ある温度でストンとその抵抗が消失する。相転移が起きて違う状態になるんですね。これが超伝導で、コイル状にすると強い磁場を発生するんです」。リニアモーターカーや医療現場のMRIなどでは、こうして開発された超伝導マグネットがすでに実用化されている。

●身の回りにある超伝導技術の応用



超伝導磁石型MRI装置



超伝導リニアモーターカー

超伝導体は1911年に水銀を液体ヘリウムでマイナス270度に冷やした時に発見された。その後は次々に新しい発見が相次ぎ、86年には銅の酸化物でマイナス110度へ。高価なヘリウムではなく、液体窒素で手軽に超伝導を実現できるようになった。

「高温超伝導です。そのときはもう大変でした。理屈が追いついていかない」。過去、何万人もの学者が研究し、何十万という論文が発表されてきた。ところがなぜそうなるのか、いまだにメカニズムを完全に解明できたとは言えないという。

さらに今年に入って、不可能とされた鉄の化合物でも高温超伝導が起きたという発表もあった。研究の素材は尽きることがない。

「神秘的でしょ。だから魅力がある。実験をしていて、目の前で超伝導が起きた瞬間は『なんじゃこりゃ!』と言ってしまふほど感動しますよ」

高校2年の時、物理の授業を受け、理科の面白さを知った。宇宙や相対性理論に関する書籍を読みふける少女時代だった。



「目の前で起きた超伝導 『なんじゃこりゃ』 と言うほど感動」

田島節子(たじま・せつこ) 1954年神戸市生まれ。東京大学工学部卒。日本電気(超LSI技術研究組合共同研究所出向)、東京大学工学部講師、国際超伝導産業技術研究センター超伝導工学研究所材料物性研究部長などを経て、2004年から現職。自ら体育会系というように登山やテニスが趣味。一方、高校時代はオーケストラ部でチェロを担当し「本当は宗教に関心があった。宗教も超伝導も神秘的」と語るロマンチスト。

「宇宙は膨張しているけれど、その外側はどうなっているのとか、四次元はどうなっているのとか、なんで自分は生まれてきたのとか、知りたいことがいっぱい。その謎に近づきたかった」と、進学した東京大学では物理工学を学んだ。

だが、そのまま学者になったわけではない。大学の仲間は男子ばかり。ほとんどが大学院へ進むなか、卒業して就職し、サラリーマンの妻となった。夫の転勤に伴い、会社を辞めて1年間ドイツへ。帰国後は専業主婦を経験した。

「自分で職業を持つのは無理と思っていました。5歳からピアノを習っていたので、ピアノの先生ならできるかな、なんてね」

大学時代の教授の元へ遊びに行ったのが転機となった。「装置が余っているから、何かやったら」と教授に言われ、そのまま曖昧な身分のまま、金属の相転移の研究を4、5年間続けた。

「子供が生まれ、実家の母に週1、2回来てもらっていました。私の時給は500円くらい。子供の保育

料になるくらいですかね」

実験を論文にまとめ博士号を取得した。この間、教授の定年が近づき、規則によって研究スタッフは全員が外部に出ることに。「助手たちが先に出て、1人もいなくなったんです。それで意思に関係なく、私が期限付きの助手になった」と話す。

教授の退職に伴い、当時の高温超伝導ブームに乗ってできた財団法人国際超伝導産業技術研究センターに就職した。以来14年間、基礎研究を続けた。何十種類もの銅酸化物を選定し、電線などに実用化されている。

「ずっと東京暮らしだったけれど、夫が愛知県に転勤し、子供たちも大学生になって、気がついたら東京にこだわらなくてもいい環境になっていた。全国区で仕事を探したら大阪大学の公募があったんですね。採用されて、今はここにいるんです」と笑う。

神秘や不思議を解き明かしたい。少女のころから持ち続けた情熱が、紆余曲折を経て果てしない探究の道に結びついていた。

夢の技術「量子情報処理」 いつか家庭に

基礎工学研究科

井元信之 教授 Prof. Nobuyuki IMOTO

(量子情報処理、量子光学)

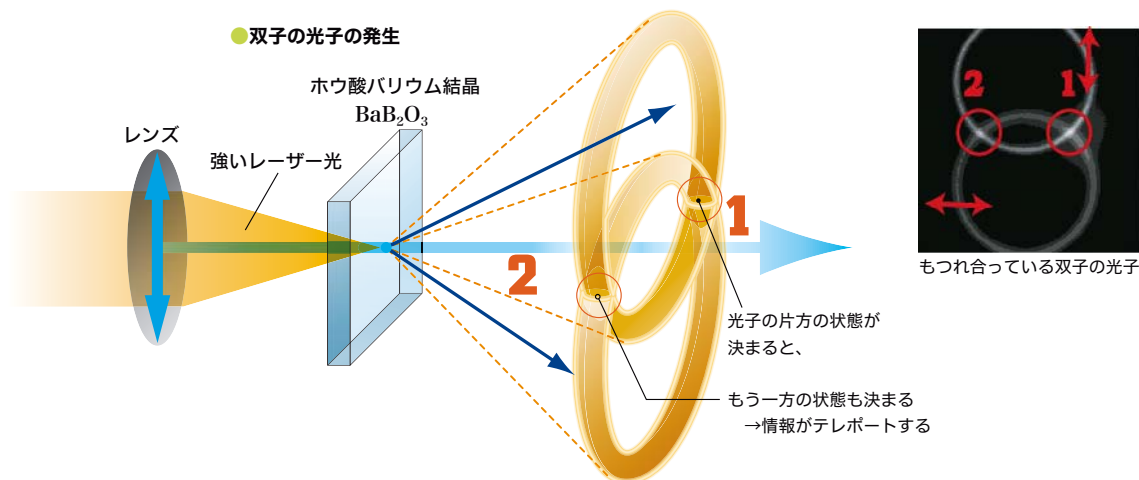


井元信之(いもと・のぶゆき) 1952年熊本県生まれ。東京大学工学部卒。工学研究科修士課程修了。日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所(現・NTT物性科学基礎研究所)、東京理科大学客員教授、総合研究大学院大学教授、東京大学客員教授などを経て現職。ピアノ演奏が堪能で、作曲はコンクールでたびたび表彰されるほどの腕前だという。

量子情報処理の技術は、世界の情報処理関係者の注目の的といっても過言ではない。なにしろ、この技術が実用化すれば、絶対に破れない暗号、絶対に偽造できない署名など、絶対的な秘匿性を持つ暗号技術が可能になる。半面、反社会的な行為に利用されれば大きな混乱をきたす。まるで、007の映画を地でいくような事態になりかねない。

量子とは原子核を構成する陽子や光子、中性子、電子などを指す。量子は観測されると、必ず影響を受けて変化する。量子暗号通信は、その性質を利用しており、通信の盗聴(観測)が必ず感知できるために、盗聴や改竄は物理学的に不可能とされる。また、量子は粒子と波などの特性を重ね持つ不思議な存在だ。

この性質を利用する「量子コンピューター」は、1ビット(以下、量子ビット)の情報を同時に0と1の両方の状態で扱う。従来のコンピューターは0か1かどちらか一方でしか扱えないが、量子コンピューターは、超高速で大規模な計算が可能となるのだ。例えば、膨大なデータが必要な、天気予報など気候変動のシミュレーションをかなりの確度で提供することができる。



しかし、量子は雑音など外部環境の影響を非常に受けやすいため、量子の状態保存や通信技術などが課題となり、実用に至っていない。

「物理法則は、なかなかわれわれの常識に迎合してはくれません」

この課題の解決に大きく貢献できる新しいノイズ除去手法を2008年に開発、光ファイバーの自然雑音の中で安定供給に成功した。具体的には、1対の光子などの粒子が互いに影響を及ぼしあう、「量子もつれ」と呼ばれる状態を利用するのだ。この状態の時、1対の光子の片方の状態が決まると、もう一方の状態もそれに応じて決まり、その関係は光子間の距離に依存しないといった特異な性質がある。

実験では、量子もつれ状態にある光子対をつくり、対の一方をノイズ除去手法を使い安定させ、自然雑音のある光ファイバー中を伝送させることに成功した。この実験結果は「質量ともに、実質的に世界最高精度」という高い評価を受け、量子情報処理技術の実用化につながると期待されている。

とはいえ、量子情報処理の研究には課題も多く、実用性に疑問を投げかける声も少なくないという。しかし、「30年前、光ファイバーが家庭にまで普及するなんてことは誰も考えなかった。今から30年後、量子情報処理が家庭に入っていることは十分にあり得ますよ」と大きな夢を語る。

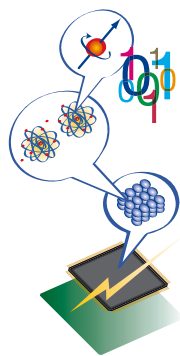


量子テレポーテーションを起こす実験装置

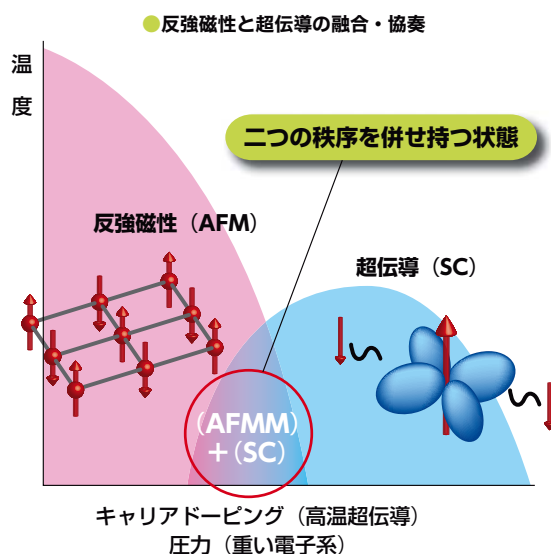
「30年前、光ファイバーが
家庭にまで普及するなんてことは
誰も考えなかった」



夢の 室温超伝導「物質」 創成へ



地球にやさしい 未来を拓く 物性物理学



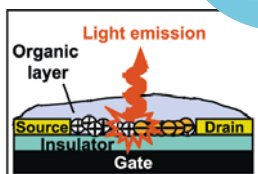
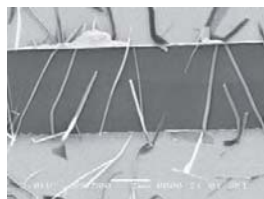
電気抵抗

ゼロで電流が流れ、エネルギーのロスがない超伝導を室温で実現するのは夢の技術だ。この拠点は文科省COE、21世紀COEと続いた10年間、高温超伝導に関する研究で数々の輝かしい研究実績を残している。多層型の元素を組み合わせた高温超伝導体に反強磁性と超伝導が共存していることを突き止めた2007年の発見は特筆すべき研究の一つだ。超伝導と反強磁性という二つの性質は独立して存在するという定説を覆す可能性を持つとともに、超伝導の新しい発見機構の解明に大きく道を開いた。拠点は室温超伝導の実現に向けて着実な歩みを重ねている。

新たに始まったグローバルCOEでは、高温超伝導

●分子エレクトロニクスの研究対象

有機電界効果トランジスタ

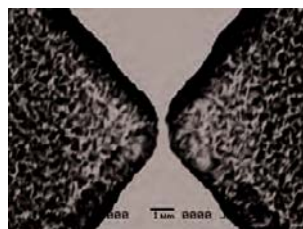


1 μ m
(1000nm)

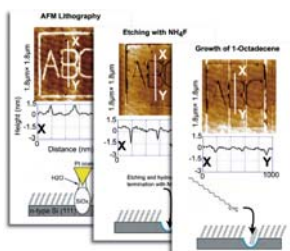
発光有機
トランジスタ

100nm

電気化学的アプローチ



シリコン表面の分子アセンブリ



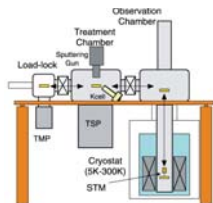
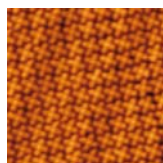
10nm

分子スケール電子デバイス

1nm

(10億分の1m)

低温走査型トンネル顕微鏡



STM走査型トンネル顕微鏡

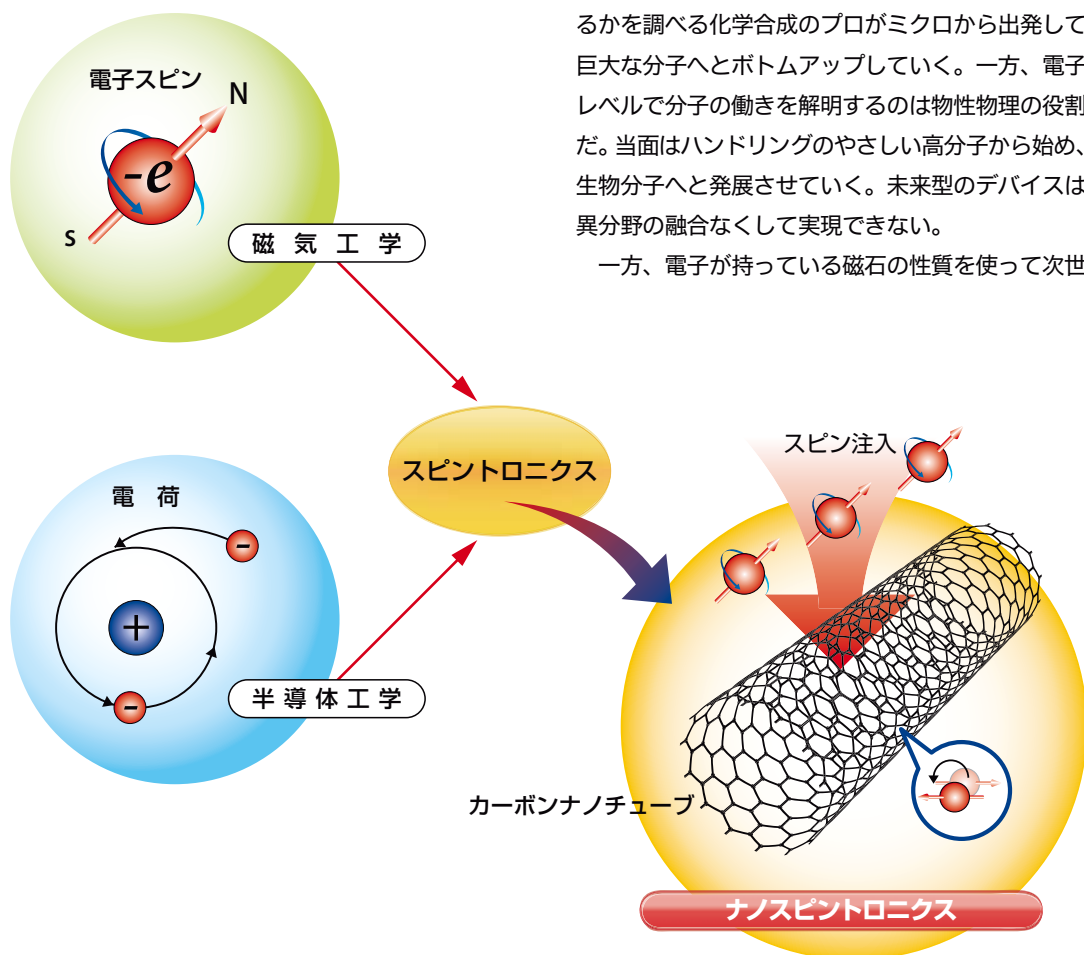
を実現するために、転移温度の非常に高い反強磁性体に狙いを絞った物質探索の重要性に着目している。2007年秋、独自のNMR(核磁気共鳴法)による観測で、高温超伝導体の超伝導には、母物質の電子状態と転移温度の高さに重要な関係があるという大きな発見があった。拠点リーダーの北岡良雄・基礎工学研究科教授は「世界中から注目されている高温超伝

導が磁石を生み出すのと同じ相互作用で説明できるということだ。これまでの常識では考えも及ばない、似ても似つかないものに現象の融合があることがわかってきた。こうした基礎科学が固定概念を変える発見を積み重ねてきた。それがさまざまな学問を進める契機となり、この拠点がある」と話す。

北岡教授の言う現象の融合とは何か。磁性と共存する高温超伝導や、誘電性と磁性という二つの秩序を併せ持つ物質はマルチフェロイクスと呼ばれている。本来なら相いれない性質が同じ物質で共存している状態だ。従来の研究分野には誘電体、磁性体、超伝導体、絶縁体、金属、半導体という区分けがあった。今では、強誘電性も示すし磁性も示す、磁性体



夢の
「室温超伝導」物質
創成へ



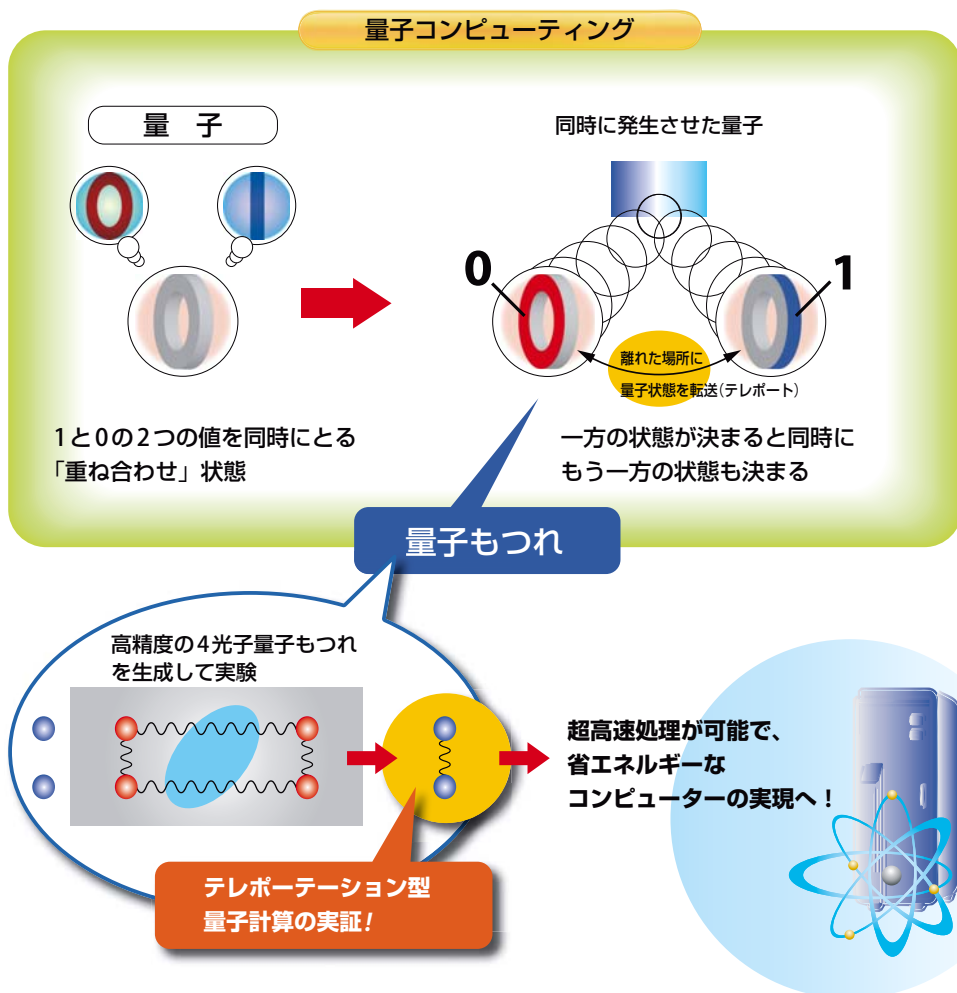
だが超伝導になるといった、別々の分野と考えられていた学問領域、あるいは現象が融合している。

そうした積み重ねを土台に、新しいタイプの量子物質を創成し、それらの量子機能を説明する基礎研究グループと量子機能を活用する応用研究グループがこの拠点を構成する。

応用研究グループは、電子・分子・スピン・光にかかわる量子機能の制御とデザインがテーマだ。そのターゲットには生命物質も入ってきたというから驚く。

シリコンの微細加工に見られる、大から小へのトップダウンとは逆に、小さいユニットから始める分子エレクトロニクスという分野がある。これはシリコンデバイスに代わる未来型デバイスだ。1個の分子に電場をかけると電気が流れる。分子に金属をくっ付けて電気を流す。どういう分子がそれに適しているかを調べる化学合成のプロがミクロから出発して巨大な分子へとボトムアップしていく。一方、電子レベルで分子の動きを説明するのは物性物理の役割だ。当面はハンドリングのやさしい高分子から始め、生物分子へと発展させていく。未来型のデバイスは異分野の融合なくして実現できない。

一方、電子が持っている磁石の性質を使って次世



代デバイスをつくるスピントロニクスという新技術が注目されている。従来の半導体デバイスは電荷(電気を伝える性質)をコントロールして、スイッチのON・OFFでデジタルに対応してきた。スピントロニクスは電荷と電子スピン(磁石になる性質)という電子の持つ二つの性質を利用したデバイスだ。「ナノスピントロニクス」は、高品位なカーボンナノチューブ・フラレンなどの新物質にスピンを注入して、その制御に取り組んでいる。

また2008年に、世界初のテレポーテーション型量子計算の実証に成功した研究もある。これは従来のコンピューターとはケタ違いの計算能力を持つ「量子コンピューター」の実現に一步近づいたものだ。NTTと共同の研究チームは、量子テレポーテーショ

ン(離れた場所に量子状態を転送する)を使った「一方向量子計算」に注目。光子(フォトン)四つを使った実験によってテレポーテーション型量子計算を実証した。

「量子つまり1個の電子、1個の分子、1個のフォトン进行操作する。今はシリコンに多くの電子を流しているから、それを小さく狭くすると電気抵抗が増えて、微細化の限界を迎える。私たちはこうした常識から外れた機能を持ったデバイスをつくり出す。例えば、人工原子をつくり、そこに光を当てる。数少ない1個のフォトンで電子を励起する——そのようなさまざまな量子機能を制御して、地球環境を守る“持続可能な社会”の実現に貢献したい」と北岡教授は物性物理学の新たな展開を語る。

“粉”からみえる世界 解き明かす

接合科学研究所

内藤牧男 教授 Prof. Makio NAITO

(粒子設計、粉体工学)

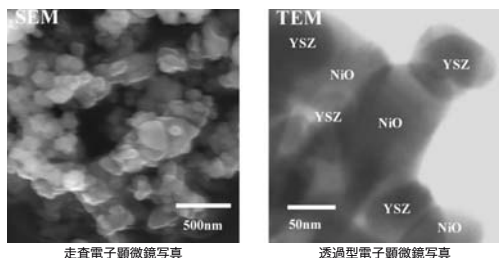
食べ物や薬、化粧品、洗剤などの製品…
私たちは多くの「粉」に囲まれて暮らして
いる。太古の昔から、人類の歴史は粉と共
にあったと言っても過言ではない。

「粉」は、基本的に静止しているから固体。しかし、力を加えると流れて液体に、もっと力を加えると飛び散って気体になる。この性質は、材料として使う上で便利です。だから粉は、あらゆる産業に使われる。その粉を扱う学問が、我々の取り組む『粉体工学』です」

ちなみに、「粉体」という言葉を初めて使ったのは、物理学者で随筆家でもあった寺田寅彦(1878～1935)。ひらひらと落ちる花びらの動きが形により、動きが異なるのを見て、不均質な集合体の特性を扱う学問が必要だと考え、『粉体』と名付けたようだ。

粉の粒子サイズを細かくすればするほど、材料の特性は変化してゆく。例えば、金の融点は、粒がナノのサイズになると下がる。つまり、金でありながら、金とは違った性質を持つ物質になる。また、たとえガラス玉でも、粒を揃えてゆけば大変高価な素材になる。まさに錬「金」術である。

わずか1 μ mあたり6平方 μ mの表面積の角砂糖でも、0.01ミクロン角に刻めば、その表面積は600平方 μ mと莫大になる。溶かしたり、接触したりという表面



走査電子顕微鏡写真
透過型電子顕微鏡写真
NiO(酸化ニッケル)/YSZ(イットリア安定化ジルコニア)複合粉体
——ナノスケールで種類の違う粒子が均一に分散している

●触媒や燃料電池、二次電池などの材料に応用される、
粒子複合化技術

での反応をはるかに効率よく行うことができる。

「しかも、原料粉をぎゅっと押せば形になり、焼けばセラミックスになる。セラミックスは焼いても粒子の構造は残るので、その構造を活用すると、うまく機能を付与できる。いかに正しく粒子を作り、正しくその集合体を制御するのが、日本のものづくりのベースの一つになる」

今は、不均質な構造を利用するのが材料科学の主



内藤牧男(ないとう・まさお)1957年山梨県生まれ。名古屋大学工学部卒、工学研究科修士課程修了。(株)細川粉体工学研究所(現・ホソカワミクロン(株))、(財)ファインセラミックスセンター副所長を経て現職。編著書に「究極の粉をつくる」(日刊工業新聞社)など。特技は幼少からたしなむアコーディオン演奏。「最近、酒を飲みながらの下手なギター演奏と、京都の町歩きがささやかな楽しみ」

流である。粒子の表面にいろんな粒子を積層させてゆくと、複合的な粒子ができる。例えば、薬学の世界では『ドラッグデリバリーシステム』という言葉があり、薬を飲むと体内のどの場所で何時間後に溶けるか、といったことを制御できるようになった。それも粉体工学の成果の一つといえる。

このように、粉体工学の研究成果が産業界のニーズとマッチすれば、一つの素材から、どんどん新し

「粒子の組み合わせにより、無限の可能性がでてくる」

い材料が生まれてくる。すなわち、粒子の組み合わせにより、無限の可能性がでてくる。資源のない国でも、ローコストな材料を使い、非常に高い付加価値をつけられる。日本の生きる道の一つが、粉を使ったものづくりである。

そして、粉体工学の考えは、ものづくりにとどまらない。群衆、雑踏を粒子に例えることでさまざまなことが見えてくる。実は、2001年に11人の死者と200人を超える負傷者を出した明石歩道橋事故がどうして起きたのか、解析にあたったのは粉体工学の専門家だった。

「集合体を構成する個々の粒子間にインタラクション(相互作用)のあることが、全体の現象の解明につながる。統計的な存在を扱う学問とも言えます。教育などの社会問題や思想の世界にまで、広がってゆく感じがします」

し・き・め・き

研究
最前線

ナノ粒子接合技術で 新材料の開発と 材料の高機能化を実現

「日本の生きる道は粉を使ったものづくり」という内藤牧男教授のグループは、“究極の粉体”ともいえるナノ粒子を接合・集積することで材料の微細構造を制御し、新たな材料を生み出す研究に取り組んでいる。これまでナノ粒子を乾式で加熱することなく、繊維粒子の表面に接合するプロセスを開発、これを基盤技術として軽量・高性能の断熱材(超低熱伝導材料)を作製するという大きな成果を挙げている。内藤教授は「粉体工学は目に見えないけれど、あらゆるものづくりの基礎になる学問。しかも途中過程が分からないと真似ができないのでノウハウを守ることができる」と話す。

■ 軽量・高性能の断熱材を作製

開発された新断熱材は、通常のミクロンサイズより1000倍小さいナノサイズの気孔の性質を利用している。

具体的には、繊維状粒子(ガラス繊維、繊維径10ミクロン)の表面にナノ粒子(シリカナノ粒子、粒子径約10ナノメートル)をナノサイズの気孔を持つ粒子層として接合させる。このようにして作製された複合繊維粒子をプレス成形することで、ガラス繊維面同士が直接接触することなく、しかもナノサイズの気孔で満たされたナノ多孔体材料が作製できる。

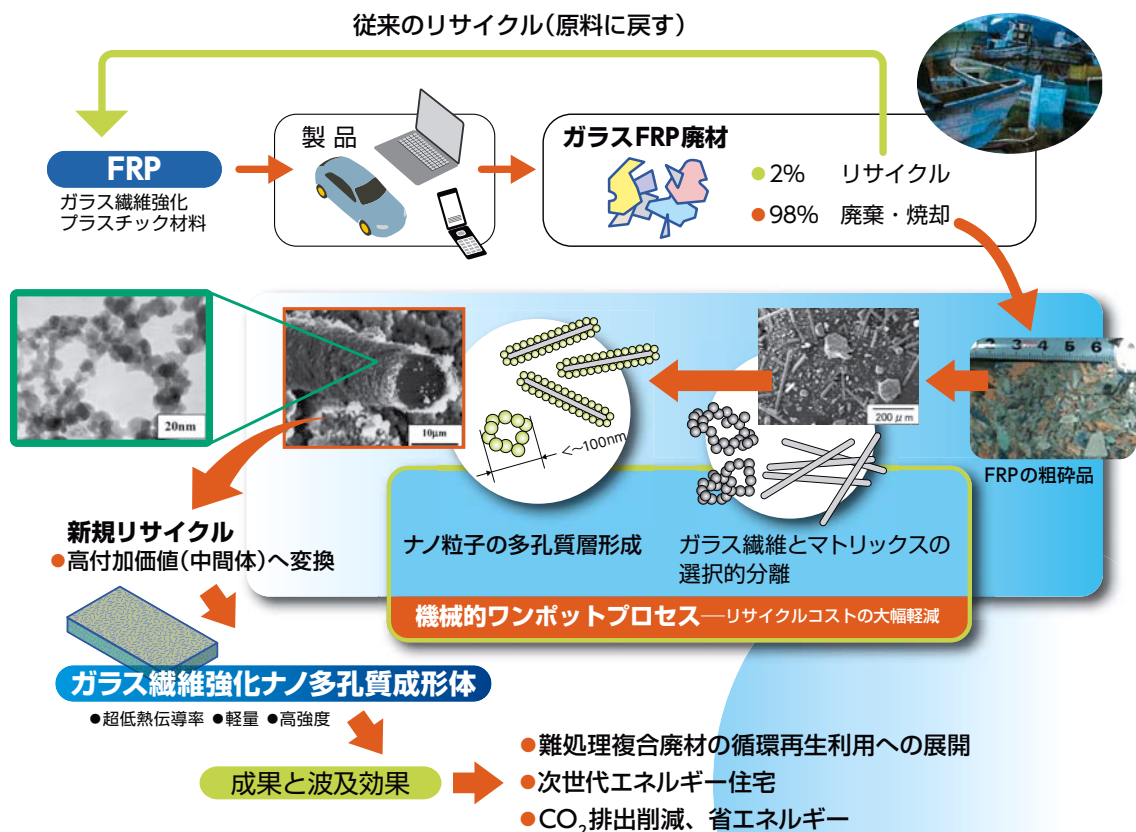
このナノ多孔体材料の気孔サイズは約100ナノメートル以下。空気中の分子が衝突するまでに進む距離(平均自由行程)は室温で約70ナノメートルとされるため、対流伝熱が極めて困難となり、高い断熱効果が得られるという。測定の結果、400℃における熱伝導率[W/(m・K)]でも0.0269～0.0282W/(m・K)と極めて低い値を示した。また、このナノ多孔体材料は空隙率

が約80%と驚くほど高いため、見かけ密度(約460～485kg/m³)が低く、高強度のわりには軽量で簡単に機械加工できるという特長を持っている。

現在では、高温でのふく射伝熱を抑制するため、このナノ多孔体材料に炭化ケイ素微粒子を添加した断熱材[600℃での熱伝導率約0.04W/(m・K)]の開発にも成功している。

■ 燃料電池用電極材料への展開

一方、燃料電池用電極材料の多孔複合構造をナノ粒子接合で制御することにより、燃料電池の性能向上を目指す研究も進めている。この研究では、ナノ粒子接合によって、前駆体となる複合ナノ粒子を作



製し、この複合ナノ粒子をマイクロブロックとして積み上げていくことで、電極材料の多様な構造制御を実現するという。

例えば、固体酸化物形燃料電池(SOFC)への展開として、酸化ニッケル粒子の表面にジルコニア粒子を接合した複合ナノ粒子を前駆体に用いて、電極材料を作製。この場合、ニッケルとジルコニアの界面(三相界面)の増大や両者の良好なネットワークの形成などが電極性能の向上に大きな意味を持つ。この電極材料を、700℃で900時間程度作動させても、ナノ粒子の粒成長が生じないことが観察されており、材料の選択のみならず、その複合構造の制御が電極性能の向上に極めて重要であることが分かる。

■循環型社会への貢献

持続可能な循環型社会の実現へ向け、内藤教授のグループは、ナノ粒子の接合と分離を自在に制御することで難処理複合廃材を再生利用する、新しいリサイクルシステムの開発も進めている。

今、最も期待されているのは、ガラス繊維強化プラスチック材料(FRP)の再生利用だ。軽量で高強度という特長を持つFRPは自動車や浴槽などに幅広く利用され、我々の生活に欠かせない材料となっている。しかし、リサイクルが極めて困難で、国内で年間に廃棄される約50万tのうち、再利用されるのはわずか1~2%程度。従来型のリサイクルは、砕いたFRPを高温処理などで分解して元の素材に戻しているが、多くのエネルギーが必要なうえ、高コストという難点がある。

内藤教授のグループは、機械的な手法でFRPをガラス繊維とマトリックス(樹脂や炭酸カルシウムなど)に分離するプロセスを新たに開発。分離されたガラス繊維とマトリックスは、ナノ粒子接合技術で軽量・高性能の部材に生まれ変わり、次世代省エネ住宅用の新建材などに利用できるという。

阪大発の「粉を使ったものづくり」研究は、二酸化炭素排出量削減や資源の有効活用という人類共通の課題の解決にも大きな役割を果たすにちがいない。

「究極の分子コンピュータ」作製

夢は

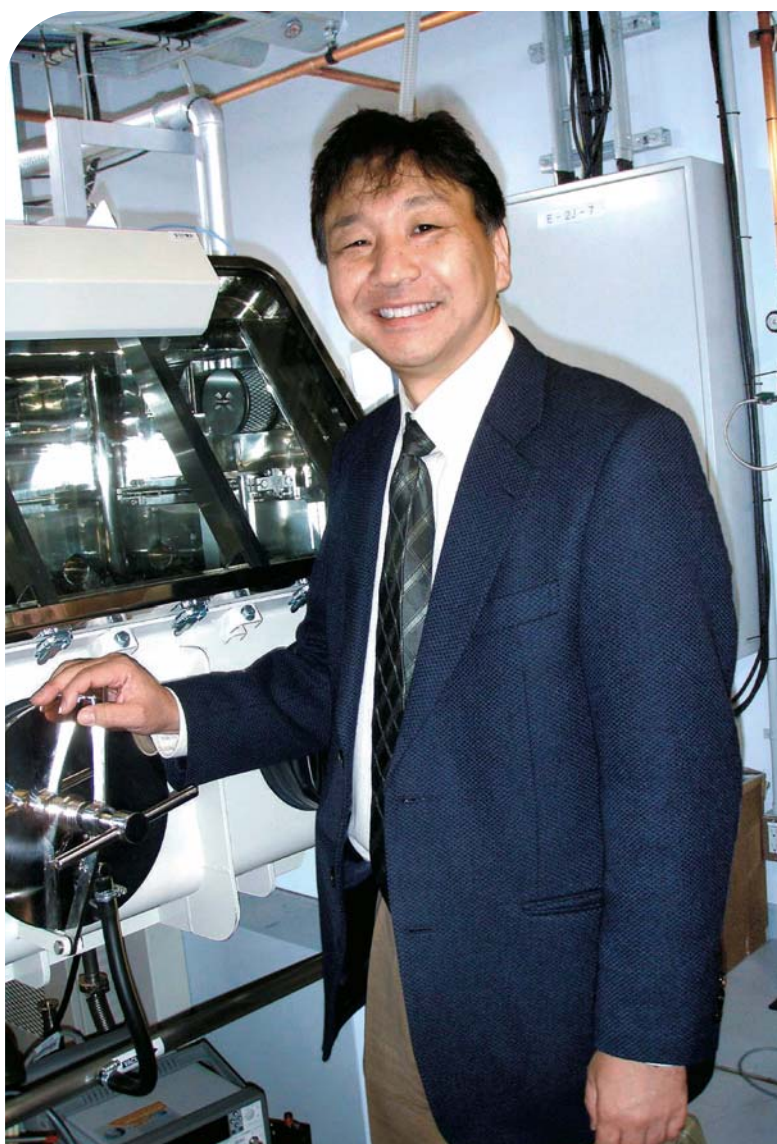
基礎工学研究科

夢田博一 教授

Prof. Hirokazu TADA

(分子エレクトロニクス)

「プラスチックに代表されるように、これまで有機材料は、例えばテレビなら外枠にしか使われていませんでした。しかし、今は回路そのものに有機材料を使おうと考えるようになりました。それが有機エレクトロニクス、あるいは分子エレクトロニクスと呼ばれる研究分野です」



夢田博一(ただ・ひろかず)1962年大阪市生まれ。東京大学理学部卒、理学研究科博士課程中退。同助手、郵政省通信総合研究所主任研究官、京都大学工学研究科講師、岡崎国立共同研究機構助教授を経て、05年から現職。大の阪神タイガース・ファン。

「時には間違っても、全体としては正しい方を判断するようなコンピューターができてもいい」

有機エレクトロニクス
有機薄膜デバイス
(有機EL、有機FET)

1 μm



有機ELディスプレイ

100nm



フレキシブルディスプレイ

10nm



カーボンナノチューブトランジスタ

1nm



分子トランジスタ

分子エレクトロニクス
単一分子デバイス

●分子エレクトロニクスの進展

ニュース

でも話題になっている有機EL(エレクトロルミネッセンス)テレビも、有機エレクトロニクスの研究技術が集約されたものと言える。有機材料は、水や溶剤に溶けるものが多く、原理的には、インクジェットプリンターで年賀状を印刷するのと同じ要領なので、回路を描いて作ることもできる。だからトランジスタも、プリンターで作製できるということになる。低コスト、低消費電力で環境にも優しく、今は多くの企業が開発にしのぎを削っている。

そして、有機材料はカラフルで、商品のデザイン性も損なわない。このため、例えば携帯電話のケースを有機太陽電池で塗装すれば、災害時にも太陽にかざすだけで発電し、通話が可能となる。帽子や洋服に太陽電池やコンピューターを印刷することも、できるかもしれない。そんな究極のユビキタス社会の未来を開くのが、有機エレクトロニクスだ。

もうひとつの夢は「究極の微細化」だという。現在のコンピューターや携帯ゲームは、どんどん小型で高性能なものになってきている。しかし、シリコン・テクノロジーによる微細化もそろそろ限界に近づいているとも言われていて、半導体分野でもさまざまな方法が提案されている。

「有機分子は、一つの分子の中にさまざまな機能を埋め込むことができます。日本の合成化学は、世界のトップレベルで、ギネスブックに載るような長い分子や多機能の分子が作られています。それをうまく配列し、組み合わせることで、新しい発想のコンピューターができる可能性があります」

今はまだ、1個の分子に電気を流すと、どのような動きをするか、調べられるようになった段階だ。しかし、ナノテクノロジーの進歩によって、分子1個(大きさは数ナノメートルから数十ナノメートル)を見たり、動かしたり、さらには電気抵抗の大きさを調べたり、電気が流れた時にはどのように構造が変わるかを調べることは、できるようになってきた。

「現在のコンピューターは、『0(オフ)』と『1(オン)』を基本に計算を行っていて、間違いが起こらないことが前提となっています。そのため、社会全体が過度の緊張状態になっていると言っても、過言ではありません。私は、生物の脳のように、時には間違っても、全体としては正しい方を判断するような、そんなコンピューターができていいと思っています。これが、究極の分子コンピューターです。本当にできるのは、まだずっと先のことになりそうですが…」

そんな壮大な夢に向かって、今日もナノの世界と対峙している。

直感頼り ナノサイズの分子の鎖に挑戦

工学研究科

赤井 恵 助教 Assistant Prof. Megumi AKAI

(有機デバイス、分子エレクトロニクス)

「進んだと思えば後戻りしながら、直感を頼りに
まったく新しい山に登っています」

炭素原子が絡み合った高分子有機化合物「ポリジアセチレン」(PDA)の一本の鎖が「金属並みに電気を通す」ことを証明する、という前人未達の山に挑戦している。「導電性が証明できれば、1本の分子の鎖を電線として使用し、まったく新しい超々小型の電子部品ができるかもしれません」と、研究の意義を強調する。

電気を通す高分子プラスチック「ポリジアセチレン」を発見した功績で、白川英樹氏がノーベル化学賞を受賞した2000年。阪大の研究室では、そのポリジアセチレンによく似たPDAを、分子1本分だけ作ることに成功した。

「幅0・5ナノメートル(ナノは10億分の1)の鎖を使って何ができるか。まず電気的な特性を調べることにしました」

PDAそのものは絶縁体で、この物質の電気特性を調べようという学者は他に誰もいなかった。「周囲からは『絶対に無理だ』と言われた。でも、物質はナノ単位まで小さくなると、大きなときとは違う性質を持っている場合がある。私には電気を通さない理由が見つけられなかった」

分子ワイヤに、3マイクロメートル(マイクロは100万分の1)間隔で電極を突っ込んでみたところ、ポリジアセチレンと同程度の電気が流れることが分かった。他の研究者が抱いていた「電気を通すはずがない」という先入観を吹き飛ばした瞬間だった。

「研究の分水嶺。この素材を追いかけていこうと決心しました」と語る。

ただ、判明したPDAの導電性は半導体レベルで、電線のようにには使えない。「金属のようにもっと電気を流すことができないか。それが研究の本質です」

ある日、魅力的なデータと出会う。ナノ単位の小さな針から電子を飛ばし、物質を調べる「走査型トンネル顕微鏡」をPDAの分子ワイヤに使ったところ、大電流が発生した。

赤井恵(あかい・めぐみ) 1969年徳島県生まれ。92年岡山大学理学部卒、大阪大学理学研究科博士課程修了。同工学研究科研究員、国際共同研究事業「ナノ量子導体アレープロジェクト」研究員を経て07年から現職。大学時代は授業よりも演劇部の活動にのめり込んだ。上京して演劇の道を選ぶことも考えたが、母の「どっちも晴れの舞台はあるわよ」の一言で、研究の道に進んだという。

「針の真下から、ワイヤの両端に向かって電流が波のように次から次に起きていると考えました。分子構造の変化を伴うので『分子のさざ波』と名付けてみました」

この「さざ波仮説」を発表したのち、産休に入る。長男を出産して2カ月後に復帰し、「さざ波仮説」を実証すべく、科学技術振興機構が戦略的な基礎研究を公募する「さきがけ」プロジェクトに応募。26倍の難関を突破し、05年度に採択された。

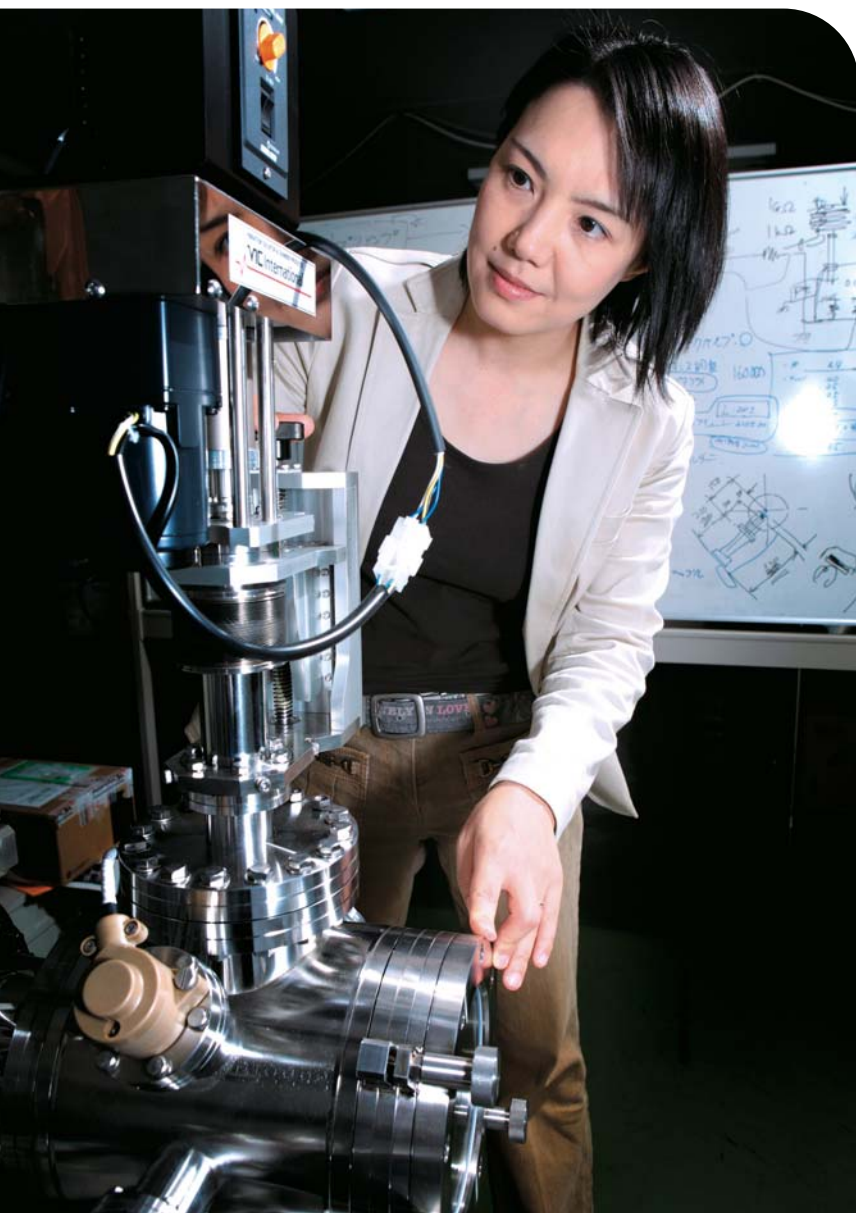
研究の将来性は高く評価されたが、前途は険しい。「電極間に分子ワイヤをきちんと設置し、半導体レベルの電流を流すだけでも100回に3回成功するかど

うか。なかなか、金属レベルの導電性に達しない。9合目まで登ったと感じたこともあったが、気がつく」と3合目に逆戻り」としかめっ面で語る。

それでも「誰も知らない物理現象への挑戦です。PDAという素材も、移り気な私を引きつけてやまないほどおもしろい」と笑顔に戻る。

09年には長女も生まれ、2人の子供を大学内の保育所に送り、そのまま研究室へ行く生活が続く。「悩みは娘が私に似て気が強いことと、長男の食事係になった夫が私より料理上手になってしまったことでしょうか」と笑った。

「誰も知らない物理現象
移り気な私を引きつけてやまない」



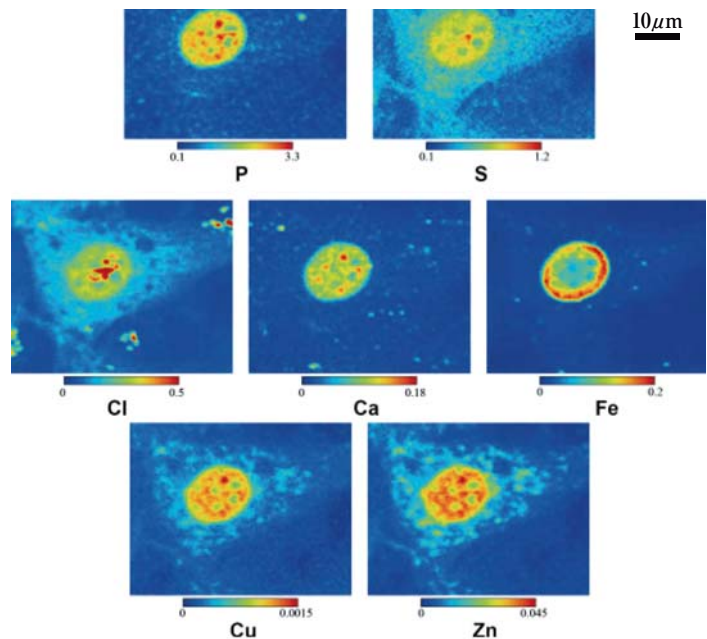
夢の光XFEL使った 顕微鏡システム開発

工学研究科

山内和人 教授

Prof. Kazuto YAMAUCHI

(超精密加工)



がん細胞の元素マッピングの例(カラースケールの単位はfg/μm²)

「自然現象を究極的に利用し、科学の未知の扉を開きたい。それが目指しているものづくりの原点です」

専攻のルーツ をたどると、工学部造兵学科と理学部物理学科につながっている。「造兵」のものづくり、「物理」の理屈という二つが合体している。研究室にはそんなDNAが脈々と受け継がれている。

今、取り組んでいるのは、新たな科学史を創るといわれている夢の光「X線自由電子レーザー(XFEL)」

を使った顕微鏡システムの開発だ。XFELは、物の内部まで透過でき、電子顕微鏡では見ることができない世界を見ることが可能になる。だが、大きな問題が立ちはだかっていた。

XFELは、強度が強く、波長が短いために、顕微鏡に欠かせない「集光」ができなかった。それを表面の形状を2ナノ以内の精度にした大型集光鏡を作ることに成功し、可能にした。

「これまでは加工物に微粒子をこすりつけて磨いてきましたが、これではだめ。加工物と微粒子との間で化学反応を起こさせることで原子レベルで整った表面をつくるのです」

山内教授の開発したX線顕微鏡システムは実用化

山内和人(やまうち・かずと)1958年大阪府生まれ。大阪大学工学部卒、工学研究科修了。工学部助教授を経て2003年から教授。科学技術分野などに貢献した研究に贈られる「精密工学会賞」を4度受賞。08年から、グローバルCOE「高機能化原子制御製造プロセス教育研究拠点」リーダー。趣味はカラオケで、得意な曲は「多すぎて答えられません」。



「科学への貢献は、 人類への貢献に結びつく」

し、すでに大型放射光施設「SPRING-8」(兵庫県佐用町)で多分野での活躍を始めている。

最近では抗がん剤「シスプラチン」に耐性ができるがん細胞の過程を見ることに成功。耐性細胞に亜鉛濃度が上昇していることを突き止めた。「X線顕微鏡によって細胞内を分子レベルまで見ることができたからこそわかった。ラットを使った臨床応用の段階までできているんです」

今では、X線を約10ナノメートルに集光するところまで研究を進化。未解明の部分の多い「膜タンパク質」の構造解析にも役立ち、夢の創薬へと大きな期待がかかる。

小学生のころは、虫捕りに夢中だった。違っていたのは、自宅の裏山で捕ってきた生き物を片っ端からケースの中で飼いつづけたことだ。クワガタ虫からカマキリやムカデ、ヘビまで…。

「餌をどのように食べるか。それがおもしろくて、おもしろくて。虫捕りのテクニックと観察力ははずば抜けていました」。子供のころから“未知の世界”への探求心は芽生えていた。

今、XFELは、日米欧で国家をあげて取り組んでいる事業となった。いわば宇宙と正反対の極小の世界を支配し、謎に満ちた人体をも解き明かすことが可能になるからだ。山内教授の研究で日本はリーダー的存在になっている。世界中の研究者から相談や共同研究の申し込みが後を絶たない。研究の舞台はX線光学にとどまらない。半導体分野でも、多くの斬新なアイデアを打ち出している。

「科学への貢献は、やがてそれが人類への貢献に結びつく。最先端の科学が求めるものづくりに向かって、これからも自然現象の精緻さをどこまで利用できるか、挑戦し続けたいですね」

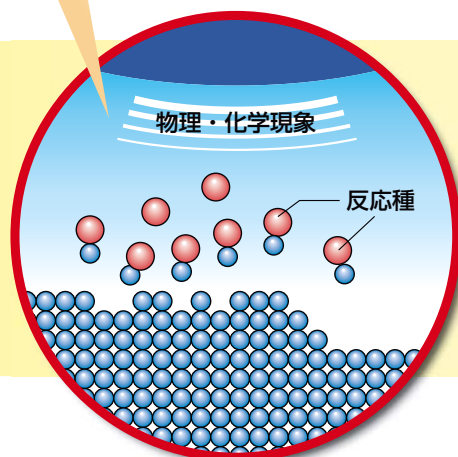
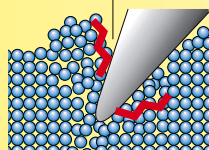


新たなものづくり パラダイムの創出

原子制御製造プロセス

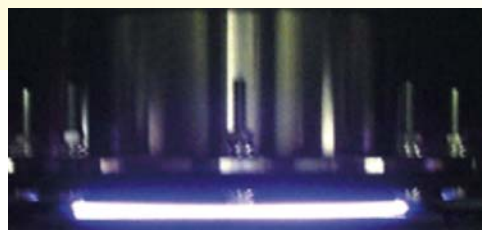
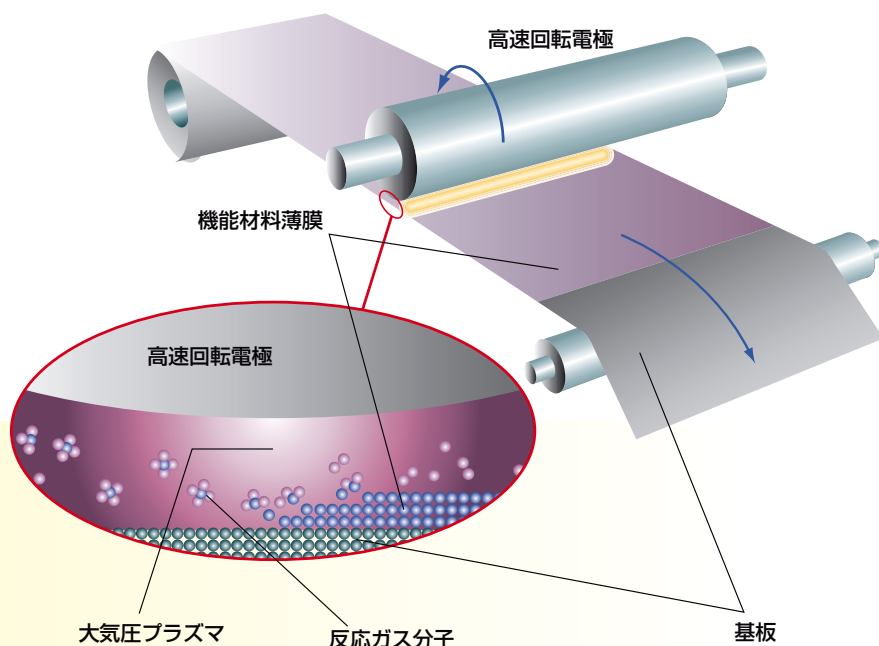
原子配列に乱れのない加工ができる

機械的プロセスでの加工は、
熱や振動で原子配列が乱れる



精度・環境負荷の 限界を打ち破る

今日の先端産業を支えている精密加工技術は、既存の加工原理を利用しながら、その装置の性能を極限まで高めることによって発展してきた。だが、達成できる精度や、環境に与える影響から考えても、そうしたものづくりはすでに限界に達している。精密加工分野で、従来の技術の延長線からは実現できない「オンリーワン製造プロセス」の創出に取り組んでいるのがこの拠点だ。



●大気圧プラズマプロセス

では、いかにして精度と環境負荷の限界を乗り越えるのか——。「物質表面での自然現象的な自己組織化現象を利用して、精度の高いものをつくる。一方で、過大なエネルギーや危険な薬剤などを使わず、自然にならった製造プロセスを開発し、環境性能を高める」と拠点リーダーの山内和人教授は説明する。

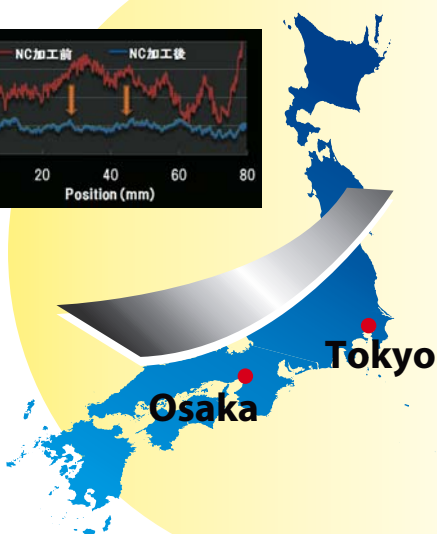
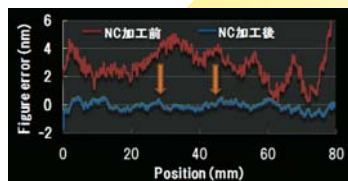
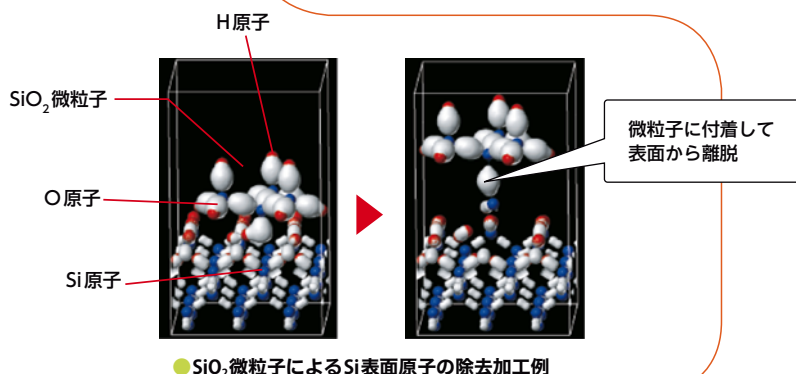
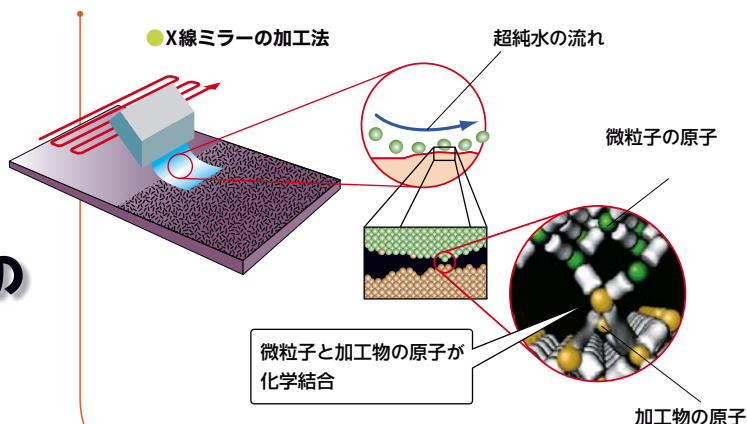
例えば、現在主流になっている太陽電池用シリコンをつくるためには大量のエネルギーが必要だ。シリコン使用量を抑えるには薄膜太陽電池が有利だが、現在その製造に使われている減圧プラズマ技術では、原料ガスの精製に大量のエネルギーを使ううえ、シリコン膜形成に時間がかかるため、コストが高くなってしまふ。それに対し、この拠点で研究が進む大気圧プラズマを利用した薄膜形成プロセスは、原料ガスをいわずに、低純度の固体シリコン原料から直接、

高純度の薄膜形成を行うことを可能にした。原料中のシリコンを90%以上むだなく使って、従来技術の10倍以上の高速でシリコンを成膜できる技術だ。大幅にエネルギーとコストを削減することができ、近い将来、太陽電池による発電を加速させる研究である。

また、「Osaka Mirror」の名で世界に知られるのが、この拠点が進めるX線オプティクス研究である。この拠点は、日本では兵庫県泉のSPring-8のほか米国、フランス、ドイツの巨大放射光施設との提携を構築し、さまざまな技術を提供している。広い面積を使ったミラーでX線を極小に絞り込む技術は世界の追随を許さず、硬X線集光(波長0.8Å)での世界最小集光径25ナノメートルを達成している。その精度といえば、東京—大阪間500キロメートルの細長いミラーを表面加工したと

ときめき
研究
最前線

精度・環境負荷の
限界を打ち破る



● 約500Km(東京—大阪間)を
5mmの誤差でフラットにできる技術！

して、凸凹差は2~5 μ m。ここまで完璧に近い表面加工ができないと、世界のチャンピオンデータは取れないという。

SPring-8に導入したこの技術はさまざまな分析技術に生かされている。3Dイメージ、細胞の分子解析などはナノテクノロジーにとって極めて重要な技術だ。どれだけ小さく光を絞り込めるかが、極小の世界を観察する最大の焦点になる。この技術を使えば、たんぱく質1分子を明確に見ることができる。細胞を使って抗がん剤の効果を調べた実験では、細胞内で局所的に働いている薬の成分まで絞り込むことを可能にした。

さて、このようなミラーはどのようにしてつくられるのか。X線の波長は1Å(0.1ナノm)の原子レベルである。この光を小さく絞り込むためには、原子レベルの精度で目的の形に成形された完全表面のミラーが必要である。機械の刃による加工ではとうてい不可能だ。材料の表面で起きる原子単位の化学反

応を利用して表面を磨き、さらにその表面を計測する技術を高めることによって初めてできることなのだ。原子制御製造プロセスの技術はこのミラーに集約されているといっても過言ではない。

こうしたオンリーワン拠点を支える現場が、超精密科学研究センターのクリーンルームだ。さまざまな技術の土台となる表面科学や計算物理学からの提案を実験によって検証する。さらにその結果を基に、連携する研究機関と共同して装置化するなど具体的な物づくりのために利用される。世界最高性能のクリーンルーム技術、超高純度ガス供給技術、超純水供給技術を導入した施設である。

超高純度ガス供給技術は、先に紹介した大気圧ブ

ラズマを利用した太陽電池薄膜の形成や、次世代デバイス用「大面積(300^{mm})超薄膜SOIウエハー」の作製、やはり次世代デバイスの高性能化に不可欠なhigh-k絶縁膜の形成などに応用されている。この絶縁膜の形成法は、自己組織化の技術とスーパーコンピュータのシミュレーションによって開発されたもので、トランジスタの高集積化を支える未来の薄膜だ。超純水供給技術は、X線や軽い元素を持つ物質の観察に適している中性子線オプティクス製作に不可欠であると同時に、半導体デバイスの製造過程で大量に使われる薬液や加工液を使わずに、超純水のみで半導体や金属を加工するという極めてクリーンなデバイス製造技術の開発にも応用されている。



ミクロの世界から 人類の未来を切り開く

超高压電子顕微鏡センター

森 博太郎 特任教授

Prof. Hirotaro MORI

高さ13.5m、直径3m、重さ140t。吹田キャンパスの、厚い扉で仕切られた部屋に、巨大なビルのように高くそびえ立つ。大阪大学が誇る世界最高性能の超高压電子顕微鏡だ。

「肉眼で見えないものをこんな巨大な装置を使って見る。顕微鏡とは不思議な世界です」

一般的な顕微鏡は、理科の授業などで使われている光学顕微鏡のことを指す。光とレンズを使って物の構造や形を拡大する。だが光を利用して像を映しているため、光の波長より細かいものを観察することはできない。そんな顕微鏡の限界を打ち破ったのが、電子顕微鏡だった。

電子顕微鏡は光の代わりに電子の性質を利用する。電子の波長は光の波長よりけた違いに小さいため、1マイクロm(マイクロは100万分の1)程度の構造しか見えない光学顕微鏡に対し、そのさらに1万分の1の0.1ナノm(ナノは10億分の1)の物質の構造が判別可能だ。「原子や分子を直接観察できる。まさに見えないものを見えるようにした」



超高压電子顕微鏡の
遠隔観察室

超高压電子顕微鏡の最高電圧は300万ボルト。このスケールのものは世界で大阪大学にしかない。電圧が高いほど厚い試料の細かい部分を詳細に見ることができるため、吹田キャンパスにあるセンターには1995年の完成以来、物理学や化学、医学生物学など幅広い分野の研究者が国内外から訪れる。予約は2カ月先までいっぱいだ。

日本で初めての電子顕微鏡は1939(昭和14)年、同大工学部の菅田栄治教授(故人)が作った。ドイツのノーベル物理学者、エルンスト・ルスから電子顕微鏡を発明した7年後だった。「インターネットもない時代。ドイツから図面を取り寄せ、文献を読みあさり手探りで作られたのだろう」

自身は、1970年に設置された超高压電子顕微鏡の1号機に魅せられて研究生活に入った。金属の強さがどんなメカニズムで決まっているか、電子顕微鏡で繰り返し調べた。「金属の中身は目で見えない。見えないものが見えることでできることはたくさんある」

最近では、高温状態の金属の中にある「ひずみ」が動く様子を発見。世界で初めて撮影に成功した。この現象は、原子力発電所の原子炉で炉壁が劣化していく過程に関係しているとされる。「将来的には、劣化しにくい原子炉材料の開発につながる可能性がある」。電子顕微鏡が開いた、人類の未来につながる確かな基礎研究の一つだ。

ウイルスの発見や細胞の構造など、電子顕微鏡がなくてはわからなかったものは数え切れない。高密度の新素材カーボンナノチューブをはじめとするナ



「見たい物は、
まだまだたくさんある」

ノ材料の発見や構造解析にも大きな役割を果たしてきた。

「時代はより小さい物を、より細かいものをという方向に進んでいる」というように、顕微鏡を使う研究者のニーズも多様化している。その求めに呼応するかのように、顕微鏡の技術も絶えず進化してきた。像がぼける原因を解消する技術も開発され、今では金属の中の水素原子や、軽い元素を見ることも夢ではなくなってきた。

世界中の研究者が一つの場所に集い、ミクロの世界から大きな夢を作り出す。それが顕微鏡に魅せられた研究者の醍醐味なのだろう。「見たい物は、まだまだたくさんありますよ」。見えないものへの探求心は、永遠のようだ。

森博太郎(もり・ひろたろう)1947年三重県生まれ。名古屋工業大学金属工学科卒。大阪大学工学研究科博士課程単位取得退学後、名古屋工業大学工学部助教授を経て、81年、大阪大学超高压電子顕微鏡センターへ。95年、同センター教授、2005年から同センター長。10年定年退職、大阪大学名誉教授。現在、同センター特任教授。趣味は「これといったものがないです」。



ナノメートルの フィールドで 見えない世界探究

工学研究科

河田 聡 教授 Prof. Satoshi KAWATA
(光学、分光学)

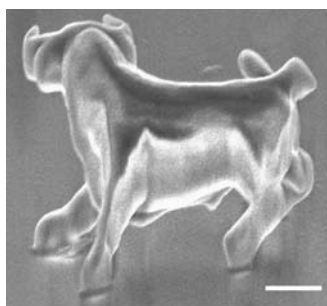
差し出した名刺は3枚あった。

1枚目は「フォトンクス先端融合研究センター長」。フォトンクスとは光(フォトン)を使った科学技術。企業と大学の研究者が共同で研究を進めている。

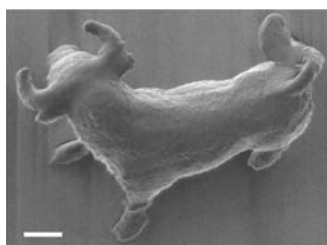
「20世紀は電気の時代。21世紀はエネルギーが低くて環境にやさしい光の時代」

テレビのブラウン管は液晶に、電線は光ファイバーにとって代わっていることを考えれば理解しやすい。中学時代、原子や分子を習ったとき「本当にあるのかこの目で見たかった」。以来、小さな世界を探る夢を追いつけてきた。

河田聡(かわた・さとし)1951年大阪府生まれ。大阪大学工学部卒、工学研究科博士課程修了。カリフォルニア大学アーバイン校研究助手、大阪大学工学部助教授を経て93年から現職。2002年から理化学研究所主任研究員を兼任。長女はポリビア、次女はロンドン、長男は東京住まいで、妻とネコ2匹と暮らす。「全員顔を合わせるのは数年に1度」とか。



レーザー光線を使った超微細加工技術で合成樹脂を成形した、体長10μm(1マイクロメートルは1000分の1mm)の牛の彫刻。体内へ入り込んで、治療する未来の医療技術「マイクロマシン」の研究が生み出した成果。



「教科書をすら否定する 勇気が必要」

学生・院生時代は写真から得た細かい情報を計算して、見えない世界を推定していた。アメリカへ渡りX線CTで撮影した断層を立体的に復元する方法を研究。やがて、レーザーを使用してナノメートルの世界をみる顕微鏡の開発に取り組んでいる。

原子の大きさは0.1ナノメートル程度。だが、光の波長は数百ナノメートル。教科書には光の波長より小さなものは見られないとある。これでは原子は見られない。

考えて苦しみぬいていたとき、ナノ単位の金属の針にレーザーを照射してその散乱光「ラマン散乱光」を使うことを考案した。

ラマン散乱光とは、光が物質に当たって散乱する際に出る、波長の異なる微弱な光を指す。これだと数ナノメートルまで測定できる。

思いついたのは運転中。そんなときにすぐメモを取れるよう、いつでもA6判の小さなノートを持ち歩いている。このときも同じことを考えた研究者が世界で3人いたというのが、「ボツと思いついたことを逃がさず捕まえて具現化できるかが大事だ」。

最新の顕微鏡は4ナノメートルまで見ることができ、半導体の非破壊検査や、がん細胞に抗がん剤がどう入っていくかなどを調べることができる。夢は精度をさらに10分の1まで高めること。「0.4ナノメートルならDNA

の塩基が見えるんです」

2枚目の名刺は、そのナノの世界が見える顕微鏡を製造・販売する会社「ナノフォトン」の会長だ。1台3480万円もする顕微鏡だが「日本の企業はリスクのあるものを作らない。自動車の技術はあってもロケットを飛ばせない」。だからリスクを負って会社を立ち上げた。

いわゆる大学発ベンチャーだが「ベンチャー企業と呼んでほしくない」。日本では、ベンチャーには来年はなくなってしまうイメージがあり、一般企業に売れないそう。ベンチャー企業が存続するには、国が起業資金を補助するよりは、製品を買い上げたり資金融資の信用担保をする方が大事だと訴える。今の学生については、「新しいアイデアは99%間違っていると思え。残りの1%の可能性を追求することによって、科学は進歩する。そこには、教科書をすら否定する勇気が必要」という。

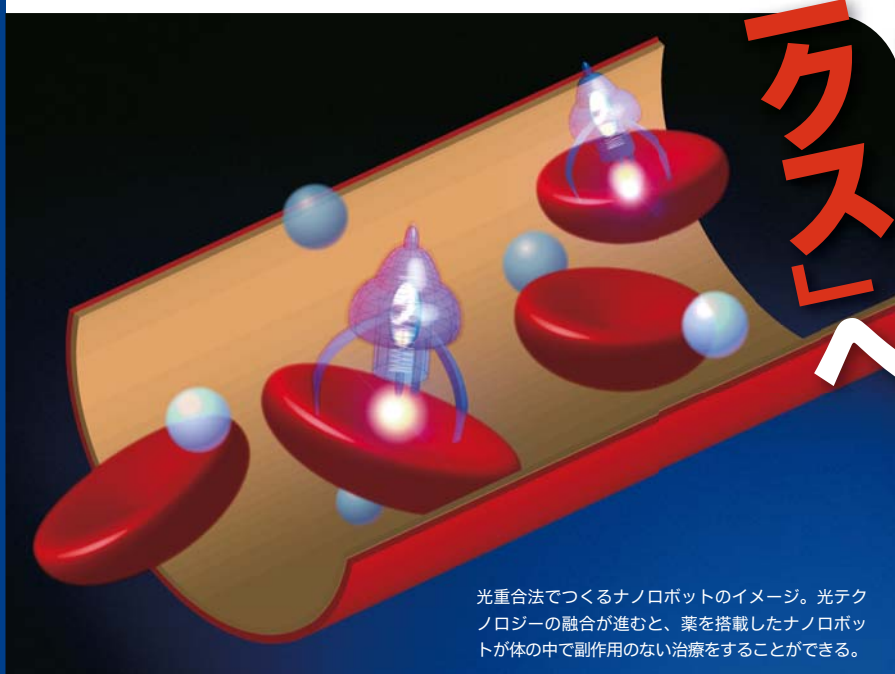
諸悪の根源は共通一次試験、現在の大学入試センター試験にあると指摘する。

「教科書を覚えないと試験には合格しないが、ニュートンもアインシュタインも教科書を否定したから成功した」

3枚目の名刺「教授」の顔になっていた。

し・き・め・き
研究
最前線

「エレクトロニクス」から 「フォトリソ」へ



光重合法でつくるナノロボットのイメージ。光テクノロジーの融合が進むと、薬を搭載したナノロボットが体の中で副作用のない治療をすることができる。

光は電子とは違い、大気中、水中を容易に伝わるという優れた特性を持つ。しかも安全で人や地球に優しいエネルギーだ。現代の情報社会は、世界中に張り巡らされた光ファイバー網が基盤になっている。情報のみならず医療、科学技術、家電など光の利用は私たちの生活に欠かせない。しかし、私たちの生活を豊かにするうえで今も主役の座を保っているのは約130年前、トーマス・エジソンの発明から始まったエレクトロニクスである。

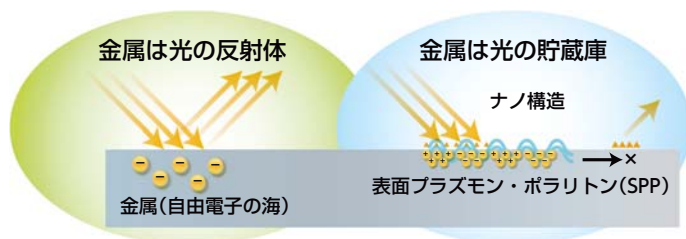
なぜ電子にはない長所を持つ光がエレクトロニクスを超えられなかったのか。「光は波長が長く、ナノスケールの観察や加工に限界があった。これが光の

産業応用の壁となった」とフォトリソ先端融合研究センター長の河田聡教授は言う。実例を挙げると、光は帯域が広いメリットにより大量のデータを高速に通信できるが、コンピューター内でデータを送るには、半導体チップの回路の幅が光の波長よりもはるかに狭く、光の優れた特性が生かせないのである。河田教授は「その壁を突破し、フォトリソによって電線につながれていない電柱のない社会をつくりたい」と夢を語る。

フォトリソ先端融合研究センターは2007年度の発足時から生物、化学、物理学、数学、機械、電気など多彩な分野にわたる21の研究室と協働機関の企

光技術「プラズモニクス」でつくる 明るい未来

●図1



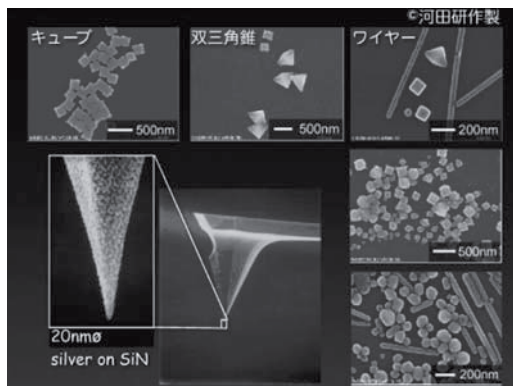
業が一緒になって、21世紀の日本を照らす光「フォトンクス」とは何か、産業化の壁をいかに突き抜けるかについて徹底的に議論を重ねてきた。そこで得たのは、ナノ材料とフォトン(光子)の融合によってイノベーションを起こすという道筋だ。ナノフォトンクス、中でも金属のナノ構造内の自由電子とフォトンの相互作用が生み出す新たな量子「表面プラズモン・ポラリトン(SPP)」の科学である「プラズモニクス」の研究を進め、医療や情報、環境エネルギー産業などへの応用を図ることを柱としている。

エレクトロニクスが扱うのは電子そのものだが、プラズモニクスが扱うのは「電子の波」だ。電気をよく通す金属は、自由に動き回る電子に満ちた海のようなもので、そこに光を当てると表面に電場を持たないように電子が動き、反射波を生む。ところが金属の表面にナノ構造があると、光の動きが変わって反射してこない。ナノ構造の下の電子を集団的に揺さぶって、電子の波となる。これが金属の中に蓄えられたものがSPPだ。(図1)

ナノテクノロジーの進展でSPPのエネルギーは読み出すことができるし、波の長さも思い通りに操れ

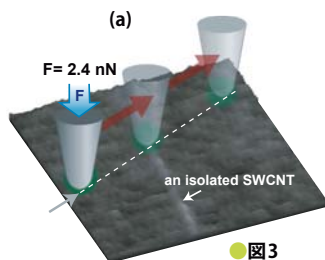
るようになり、プラズモニクスという新しい科学が生まれたのである。

波の長さを調整するだけで、色を変えることもできる。さまざまな構造体の金属を作り、それに光を当てて生み出される機能の研究がすでに進められている。(図2)



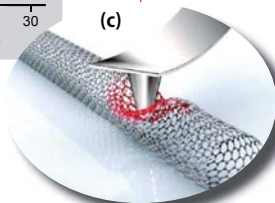
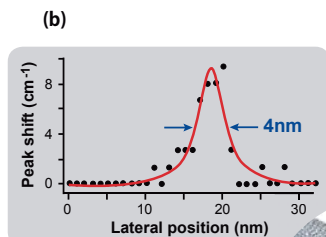
●図2 プラズモニクスを生み出すナノ構造

ナノの先端を持つ金属針を用いると、4ナノ分のカーボンナノチューブを光で見ることができる。この技術を使えば、DNAの個々の塩基を色で識別できる顕微鏡を実現することができる。(図3)



●図3

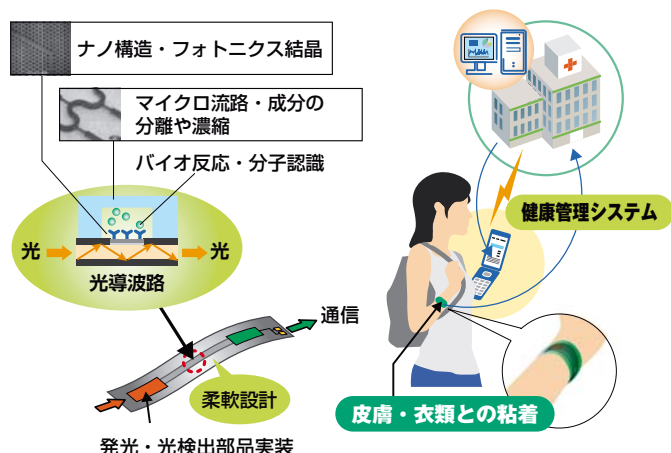
(a) ナノサイズの針の先に光を照射し、光を閉じ込めてカーボンナノチューブを見る。緑の部分が閉じ込められた光、中央の薄い白い線がカバーガラスの上に載せた1本のカーボンナノチューブ。(b,c)はその解析グラフとイメージ図。



DNAの四つの塩基。電子顕微鏡では白黒に見える画像だが、光を使ってDNAの塩基が区別できるような顕微鏡を開発するのもフォトンクスセンターの目標だ。

ときめき
研究
最前線

「エレクトロニクス」から
「フォトリクス」へ



●図4 プラズモニクスを用いた光導波路
バイオセンサーへの期待

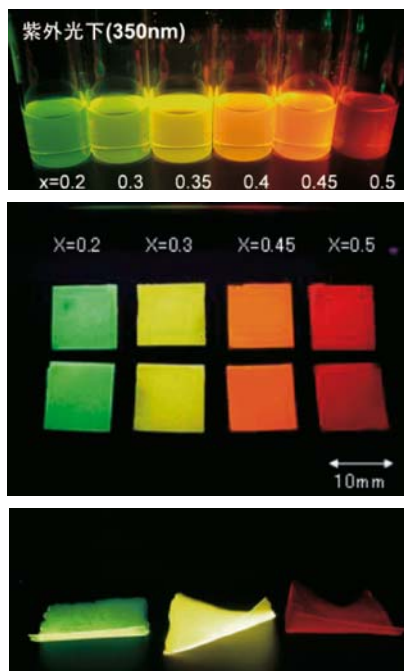
そこで注目すべきは、大学、企業に共同研究室を置き、基礎研究からその出口となる産業化までフォトリクス拠点と企業が一体となって開発に取り組む「相互浸透型協働システム」である。

フォトリクス拠点は、SPPを利用し遺伝子や免疫・酵素反応といった生体分子が持つ優れた機能を取り込んだバイオセンサーの開発に取り組んでいる。だが、ナノ金属に光をどう呼び込み、取り出すかなど

課題も多い。そこにパートナーとして現れたのが光を回路に導く、つまり光の配線板ともいえる光導波路系チップを開発している日東電工株式会社。プラズモニクスと光導波路というプラットフォームを融合させたプラズモンチップを用いたバイオセンサーは、非侵襲でウェアラブルな未来の健康測定・管理法として期待を集めている。(図4)

フォトリクス拠点とIDEC株式会社はナノフォトリクスの技術により「照明」と「セキュリティ」の二つの市場でイノベーションを狙っている。フォトリクス拠点は世界で初めてカドミウムを使わない無毒性の半導体ナノ粒子を開発。この半導体ナノ粒子はサイズや組成を変えるだけで連続的に多彩な色を出すことができる。CO₂削減の掛け声とともに蛍光灯からLED照明へと急速な切り替えを進めているIDECでは、LEDと半導体ナノ粒子を用いた高効率で高機能の新しい照明をフォトリクス拠点とともに開発中だ。(図5)また、この半導体ナノ粒子固有の指紋スペクトルをブランド品や工業製品にコーティングし、世界で約80兆円、日本で10兆円に上るといふ模倣品被害を解決するという壮大な構想もある。

河田教授は「プラズモニクスがブレークスルーへの柱となるが、この拠点には他にもイノベーションの可能性を秘めている研究が数多くある。科学というのはある日突然、芽が出るもの。その芽を注意深く見守って育て続けていきたい」と話している。



●図5 半導体ナノ粒子に光を当てて出した蛍光

大阪大学発！
ときめきサイエンス

第6章

産学・社会学 連携

「地域に生き世界に伸びる」は大阪大学のモットー。「地域に生き」社会や企業と密接につながることは、大学に課せられた使命である。



共利共生実現へ 受け継がれる産学連携のDNA



産学連携推進本部

正城敏博 教授

Prof. Toshihiro MASAKI

(知能情報学)

2008年4月に発足した産学連携の最前線
でもある産学連携推進本部の総合企画部長
兼知的財産部長を務める。

「最先端」の大学の研究を世の中に役立てることが最大の目的」と話す。

工学系では、三井造船、ダイキン、住友金属、NTT。医学系では和光純薬工業…。大学の技術や知能を求める大手企業との共同研究も盛んな一方、地元大阪の中小企業との連携などもあり、現在、数え切れないほどの産学連携が進んでいる。

正城敏博(まさき・としひろ)1969年兵庫県出身。大阪大学工学部卒、工学研究科博士課程修了。同助手、講師、先端科学イノベーションセンター准教授等を経て2008年から現職。学生時代は、バドミントンとスキーが趣味だったが「最近全然できてないですね…」。

「大学の力を、どう産業界に結びつけ、新しい分野を創出するか」

「連携することで、大学側には新たな研究課題が見えてくる。企業という外側からの刺激は教員にも学生にも重要」と説明する。

産学連携のDNAを受け継いでいる。学生時代は、白川功教授(現名誉教授)の研究室で学んだ。この研究室は昭和40年代、近畿日本鉄道(近鉄)と共同で駅の自動改札のシステムを開発したことで知られている。まだ産学連携という言葉も一般的ではなかったころだが、研究室内では企業と共同して研究することは自然なことだった。

正城教授も研究室に入ってからすぐに、松下電器産業(現パナソニック)と、コンピューターグラフィックスの映像処理を高速化するためのLSI(集積回路)を設計するチームに参加した。

「企業は、経験的にこうすればうまくいくということを知っている。大学がそれを理論付ける。経験と理論が一緒になることで、飛躍的に物事がすすむことを実感した」

1998年に設立された産学連携ベンチャー企業「シンセシス」にも参加した。企業からLSIの設計の仕事を受注し、商品として納める。地上デジタル放送をテレビで受信するための回路や、衛星通信の回路の開発に携わった。

「仕事として受けているのだから失敗はできない。ただ研究で終わることなく、仕事としてかわるこの責任の重さとやりがいを感じた」と振り返る。

産学連携担当の“部長職”は、そんな経験を買われた。今は自身の研究はそっちのけで、大学の力を、どう産業界に結びつけ、新しい分野を創出するかに



JUNBA(サンフランシスコ・ベイエリア大学間連携ネットワーク)の会合で開催された、大阪大学の技術を米国西海岸で紹介するイベント

奔走する。教員の研究成果をアピールしたり、企業からの要望を受けて優秀な人材を紹介する。いわば、大学と企業のコーディネーター役だ。

共同研究や受託研究で同大学が企業など外部から獲得した研究資金は、2007年度は年間約150億円。東京大学について2番目に多い。5万人都市の1年間の予算規模に相当する金額だ。「実学に重きをおいてきた阪大だからこそこの数字」と話す。ただ、正城教授は「企業のためだけに大学があるわけではない」と説明する。

「流行や評価にとらわれない学問の追求と学生の育成こそが、大学の役割。産学連携はあくまでそれを向上させるための手段の一つ」と力を込める。「共利共生」――産学連携を通じて大学と企業が、目指す理想の関係だ。そのかじ取りを任されている。



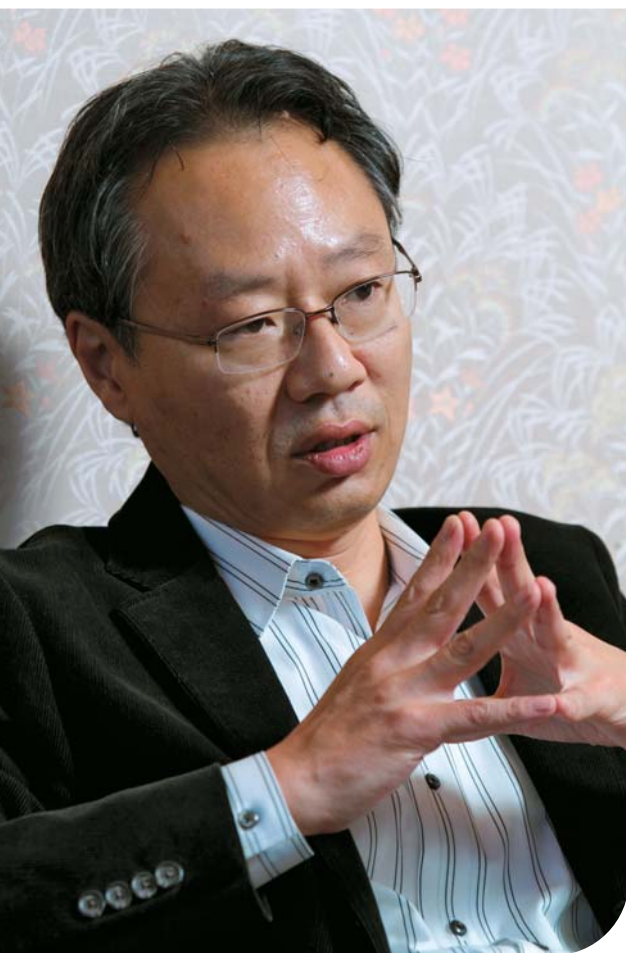
大阪大学の技術・研究成果と中小企業のパワーを結びつけるマッチングフェア会場の様子

科学者と市民が 議論する場を

コミュニケーションデザイン・センター

小林傳司 教授 Prof. Tadashi KOBAYASHI

(科学哲学)



科学とは何なのか。そして、何のためにあるのか——。そんな問いについて、考えたことがあるだろうか。

現代社会は、言うまでもなく科学技術の発展の上に成り立っている。生活に欠かせないIT技術や医療の進歩など、日常生活の中で誰もが無意識に科学に触れている。だが「日本では、これまで専門家任せの科学だったといっても過言ではない」と強調する。

私たちの将来や実生活に、科学が大きな影響を与えていることは間違いない。だが一方で、社会の中で科学技術の“負”の面にさらされる可能性があることを意識している人が、どれだけいるのだろうか。原発関連の事故や公害、ごみ処理問題に地球環境問題など、社会を揺るがす科学技術は数えきれない。BSE問題など食卓を脅かす問題も次々に起こる。議論を呼んでいる脳死移植の問題は生命科学の発展があったからこそその選択とも言える。

「今の社会は一般の人が科学に関する知識を得て、専門家と議論をしたり発言できる場所すらない。それどころか、コミュニケーションを拒否され、いらだっている人が増えている」。現状を「科学技術のコミュニケーション不全」と説明する。

「科学を専門家だけに任せておいていいわけがない」。2000年秋、科学に関心のある市民を公募し、テーマごとに議論をする「コンセンサス会議」を開

小林傳司(こばやし・ただし)1954年京都市生まれ。京都大学理学部卒。東京大学理学研究科博士課程単位取得退学後、福岡教育大学、南山大学を経て2005年から現職。科学技術社会論学会設立に携わり、初代会長を務める。趣味は料理。「魚はおろせませす」。



日本全国から集まった市民が議論を交わした世界市民会議

催した。テーマは遺伝子組み換え農作物。議論が苦手だと思われた日本で400人以上の応募があった。「科学に関して、議論したい人がこんなにいる」。手応えを感じた。そんな折、05年4月に設立された「大阪大学コミュニケーションデザイン・センター」に招かれた。センターは、科学者と市民がコミュニケーションを図ることを前提とした、全国でも珍しい組織。所属する学生はおらず、受講するのは将来研究者として世に出ていく大学院生が中心だ。「研究者こそ積極的に世の中に出て語りかけなくてはいけない」。強い信念がそこにはある。

デンマークで09年12月に開かれたCOP15(国連気候変動枠組条約第15回締約国会議)を前に、市民レベルでも地球温暖化について話し合い、政府関係者に市民の声を届けようという「世界市民会議(World Wide Views)」を9月に開いた。日本では京都が開催地となり、約100人の市民を集めて議論した。(詳しくは<http://www-japan.net/>)

こうした試みは、デンマークで始まり欧州が中心となって行われてきたが、日本ではまだ途上だ。会議では実行委員長を務めた。「日本で科学技術の議論の場を根付かせたい」。科学に魅せられた“日本代表”の挑戦は、これからが本番なのかもしれない。

「研究者こそ積極的に世の中に出て語りかけなくてはいけない」

1 難病に挑む

2 ナノサイエンスⅠ

3 ロボットと心

4 ことばと文化

5 ナノサイエンスⅡ

6 産学・社会連携

7 情報技術の新展開

8 ナノサイエンスⅢ

9 複雑化する世界と経済



「大切なのは感性」 人間見つめる視点を

コミュニケーションデザイン・センター

平田オリザ 教授 Prof. Oriza HIRATA

「演劇を通じて、大学院生たちにコミュニケーション能力を身につけてもらうこと。それが僕の役割です」。気取らない口調で、しかし明快に、劇作家、演出家として確固たる地位を築いている演劇人は大阪大学で果たすべき使命をそう語る。

2005年の「コミュニケーションデザイン・センター」の発足に合わせ、阪大に招かれた。桜美林大学で教授を務め、韓国や中国、フランスなど外国と演劇を通じた交流を培い、さらに小学校の国語教科書にワークショップ方法論を掲載するなど多方面に才能を発揮してきた。

コミュニケーションデザインの概念は、専門的な知識を持つ人と持たない人の間や、利害・立場の異なる人の間をつなぐコミュニケーション回路を構想・設計すること。

「市民の質問に答えられる 研究者になってほしい」

病院を例に挙げれば、診察室での患者が質問しやすい椅子の配置、壁の配色、廊下の雰囲気、病院の建築デザイン、交通アクセス、パブリシティ、さらに医療過誤の起きない組織づくりまで包括的に考えていく。

一方で治療の意味は一義的でなくなり、延命なのか、家に戻りたいのか、仕事に復帰したいのか、それとも痛みの緩和なのか。医者は患者や家族の気持ちをくみ取らなければ、医療行為をできなくなってきた。看護師にとっては、タイ、フィリピン人看護師たちと一緒に仕事をする時代が目の前に迫っている。

「医者や学者、弁護士の卵たちのコミュニケーション能力が切実な問題となってきている。でも、どうすればうまく仕事をできるのか、それを教えてくれる科目はいままでどこの大学にもなかった。阪大は先駆けとなって、グローバルコラボレーションの授業を始めたんです」



演劇の授業には理系、文系の学内全領域の学生が集まる。ワークショップと、20分間ほどの芝居を実際に作る。演出、シナリオ、俳優を学生が自ら手がける。

「演劇は集団でイメージを共有するところから始まる。それをアウトプットするわけですが、シミュレーションを繰り返すことができるのがいいんです」

将来、各職場でリーダーシップを期待される院生が対象。格差社会が進んでいるといわれる現代だけに、「市民の質問に答えられる研究者になってほしい」ですね。弱者と対話する視点を持ってほしい」と願いを込める。

「演劇は小さな営みなんです、人間を見つめる視点がある。一番重要なのは感性です」と言い切る。芸術や文化に刺激を受け、それらを通じてコミュニケーションすることで養われると信じている。

また、大阪大学について「70年の歴史をもつのに劇場も美術館も音楽堂もない。4万人のコミュニティーがありながらですよ。これは海外ではありえない」と辛口の批評も忘れない。

「芸術家の役割の一つは、わがままを言うこと、時々面白いことを言うこと、人と違う発想のことを言うこと」と考えているからだ。

豊中キャンパスの小高い丘にたたずむ国の登録文化財「イ号館」(大学教育実践センター共通教育本館)。そこは多くの学生に愛される大学のシンボルだ。

「まずここを拠点に演劇、音楽、落語など地域の人に来てもらえる活動を始めます。障害者や高齢者、子供に来てもらう場になればいいと思う」

社会と大学との密接な結びつきを“演出”するため、どんどんわがままを言うつもりだ。

平田オリザ(ひらた・おりざ)1962年東京都生まれ。国際基督教大卒。高校定時制2年の16歳で自転車による世界旅行に出発、2年間放浪する。大学時代に韓国延世大学に公費留学。現代口語演劇理論による舞台劇を発表し、現代演劇界の旗手に。代表作「東京ノート」は9カ国語に翻訳されている。東京・駒場で「こまばアゴラ劇場」を経営、約60人を擁する劇団「青年団」を主宰している。桜美林大学総合文化学群教授を経て大阪大学教授。妻は歌手で舞台俳優のひらたよーこさん。



奥深い浪花文化伝える 知のハンター

総合学術博物館

橋爪節也 教授 Prof. Setsuya HASHIZUME

(日本東洋美術史)



「大阪はヨシモトと粉モンだけではない。
どちらも嫌いではないですが、それだけで
は大阪の奥行きは語れません」

橋爪節也(はしづめ・せつや)1958年生まれ。東京芸術大学大学院修了。同大学美術学部附属古美術研究施設助手、大阪市立近代美術館建設準備室学芸員を経て2008年4月から現職。学芸員時代には「北野恒富展」「没後二〇〇年記念 なにわの巨人木村兼葭堂展」「モダニズム心斎橋」など数々の展覧会を企画。主な編著書に『モダン道頓堀探検』『大大阪イメージ』『映画「大大阪観光」の世界』。「ピカソの絵画と鎌倉時代の仏像を並べ、時代を超え比較することが可能なのがミュージアムの空間。大阪大学総合学術博物館を実験の場としてフル稼働したい」

「大阪人が思う以上に、 大阪の文化的基盤はすごい」



大阪 ミナミの島之内に生まれた。大学時代に一度離れた以外はずっと、身も心も大阪一筋。研究対象も、もちろん、濃く、深く、大阪にかかわっている。

その一つが、江戸時代に浪花のダビンチといわれた町人学者の木村兼葎堂(1736～1802)だ。造り酒屋の主人でありながら、本草学者、文人画家、蔵書家といくつもの顔を持つ。貝や鉱物の標本などのコレクターでもあった。一流の研究者によくある、趣味か、研究か、と問われれば答えに窮する「道」をひたすら追求し続けた。

蔵書や資料閲覧に來訪した人名を記した『兼葎堂日記』には驚愕する。延べ約4万人の名前が書き込まれ、東は司馬江漢、谷文晁、大槻玄沢、西は上田秋成、伊藤若冲、円山応挙ら多士済々。

「当時の『知』の巨大なネットワークが、大阪の兼葎堂を中心に展開していたと言ってもいいでしょう。今のインターネットをもはるかに凌駕する情報量だったかもしれません。大阪人が思う以上に、大阪の文化的基盤はすごいんですよ」

2003年に、長い間忘れ去られていた、この偉人を再評価する大規模な展覧会を実現した。「展覧会」という形で結実したのは訳がある。実は、前職は美術館の学芸員。08年、18年間勤務した大阪市立近代美術館建設準備室から教授に就任したばかりなのだ。

ちょっと余談だが、この準備中の“美術館”には、大学の研究者顔負けの学芸員が多い。皮肉かもしれないが、バブル時代の美術館建設計画が頓挫し、いまだに中ぶらりんの状態が続いている。だから、箱モノ行政に陥りがちな入場者数に一喜一憂することなく、自分のフィールドを突き進んでいるのだ。大阪の学芸員がやらなければ、誰が大阪の文化、芸術を調べるのか、そんな自負もあった。

大学教授になっても、研究に取り組むスタイルは変わらない。ダイエット中の巨体をうならせ、自転車で四天王寺、大阪天満宮、デパートの古本市を訪れる。そこで化石ハンターのような嗅覚で手をつまみ、黒にして資料を探し出す。

現在、夢中になっているテーマは大正、昭和初期の“大大阪”。東京市を抜いて日本最大の都市となり、文化、芸術、産業あらゆる分野で黄金期を迎えた時代だ。

日本初の公営地下鉄、東洋初のプラネタリウム、前衛美術や画家たちの新しい動き…。間違いなく大阪は、日本を、そしてアジアを牽引していた。

「大阪の元気な時代を知ることが、現代を生活している私たちの元気にもつながる。閉塞感を打ち破りたい。いかに奥が深いか。みんなの見る目を変えたいですね。大阪はすごい、と」

「懷徳堂」の教え 現代社会にこそ必要

文学研究科

湯浅邦弘 教授

Prof. Kunihiro YUASA

(中国哲学)

大阪大学文系学部の源流の一つと位置づけられる江戸時代の学問所「懷徳堂」。その調査研究に取り組んでいる。朱子学(儒教)という道德性の高い学問が商都・大阪の地でいかに教えられていたか。豊中キャンパスの附属図書館新館貴重図書室に収蔵されている約5万点もの資料を整理し、現代に続くその意義を追究している。



江戸時代の懷徳堂をCGで再現

懷徳堂は江戸時代の享保9(1724)年、現在の大阪市中央区今橋3丁目に大阪の商人たちの手によって創設された。「企業メセナの走りだった」という。

懷徳堂の大きな特徴は、当時の人たちが身分を問わず学んだことだった。通説にとらわれない独創的な朱子学の研究が行われた。

「大阪の商人が求めたのは、商売の基盤となる思想

でした。『忠』『孝』『義』といった正義に基づく商売であれば、あとからついてくる利潤を受け取ってもよいという考え方。こうした教えは商人たちの活動に勇気を与えたのです」。懷徳堂の教えは、大阪の商活動の精神的な支柱となっていたのだ。

幕末維新で明治2(1869)年に閉校した懷徳堂だが、大正5(1916)年、政財界の支援を受け「重建懷徳堂」



湯浅邦弘(ゆあさ・くにひろ)1957年島根県生まれ。島根大学教育学部卒、大阪大学文学研究科修了。北海道教育大学講師、島根大学助教授を経て大阪大学助教授、2000年から教授。一般向け著書に「諸子百家」「故事成語の誕生と変容」「概説中国思想史」「よみがえる中国の兵法」「懷徳堂の歴史を読む」など。趣味はスポーツ、音楽鑑賞。

「アクセルとブレーキがそろって、はじめてうまく生きてゆける」

として今の中央区本町橋に復活した。市民大学の役割を果たし、大阪大空襲(1945年3月)で焼失。このとき、鉄筋コンクリート造りの書庫研究棟に奇跡的に残った大量の資料が大阪大学に寄贈され、今に伝わっている。

2001年、大阪大学創立70周年記念事業の一環として完成した「バーチャル適塾・懷徳堂」。江戸時代

の懷徳堂をCGで再現し、資料をデータベース化した。在阪企業を有力会員とする財団法人懷徳堂記念会とともに、調査研究の成果を毎年、発表し続けている。

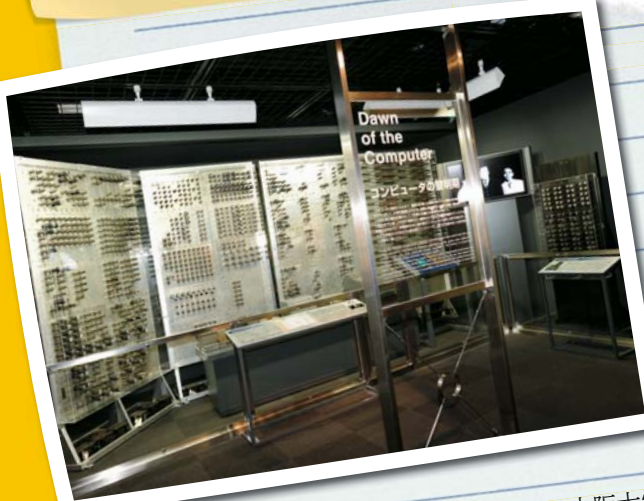
本来は儒教や老荘思想をはじめとする中国古代思想史の研究者。紀元前5〜3世紀、中国大陆ではいくつも王朝が交代し、諸子百家といわれる多様な思想家が夢を語って諸国を歩いていた。そのスケールの大きさと思想の深さにのめり込んだ。

「儒教は人間性を信頼する教えです。『忠』『孝』の精神で頑張れ、そうすれば向上できるって。対して老荘思想のキーワードは『無為自然』。いわば車のアクセルとブレーキですね。人間は頑張りがすぎてもだめで、この二つがそろって、はじめてうまく生きてゆけるのではないのでしょうか」

スピードと効率性が重視される現代社会にこそ、古代中国の思想を学ぶ意義が大きいと強調する。

column

コンピューターの誕生

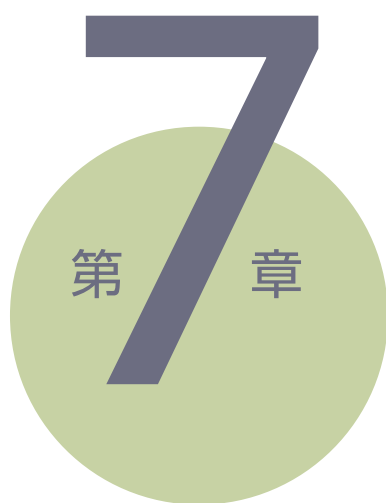


1946(昭和21)年2月、世界で最初に実用化されたコンピューターといわれるENIAC(エニャック)が米国ペンシルバニア大学で公開された。欧米でのコンピューター研究開発は第二次世界大戦中に発展したが、情報は秘密にされ、公開されたのはENIACが初めてだった。この出来事は、人々に大きな衝撃を与えるとともに、コンピューター時代の幕開けを告げた。

日本にもその衝撃は伝わった。大阪大学工学部教授の城憲三はすぐさまコンピューターの研究に取り掛かった。1947年ごろからわずかな情報をもとに真空管を用いた論理回路の基礎実験を始め、1948年には研究室の牧之内三郎、安井裕とともに10進計数回路を作成。翌年、日本初のデモンストレーションを関西統計機研究会で行った。1950年にはENIAC型10進演算装置を試作実験し、これが我が国初の真空管式デジタル演算装置と言われている。続いて1953年から2進法プログラム内蔵式電子計算機の試作を開始し、1959年に動作を確認した。この装置は、真空管約1500本、ダイオード約4000本を使い、200マイクロ秒(5000分の1秒)の速さで加算・減算したり、4桁までの数を記憶することができた。大阪大学のコンピューターの研究はその後、トランジスタ方式に代わり、実用化されることはなかった。城は1953年、これまた日本初の計算機専門書「計算機械」を出版、日本のコンピューター研究発展に大きく貢献した。

大阪大学総合学術博物館1階の展示室「コンピュータの黎明期」には、真空管式計算機のほか、後のコンピューターにつながったさまざまな計算機を展示している。

大阪大学発！
ときめきサイエンス



情報技術 の新展開

生物のしなやかさをネットワークに生かし「使う」から「感じる」情報技術へ。大阪大学の個性的なICT (Information and Communication Technology) 研究の進展は著しい。



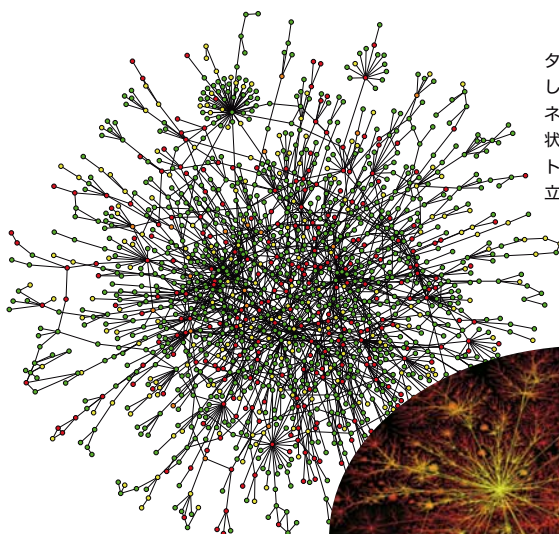
生物学から見える 情報ネットワークの未来

情報科学研究科

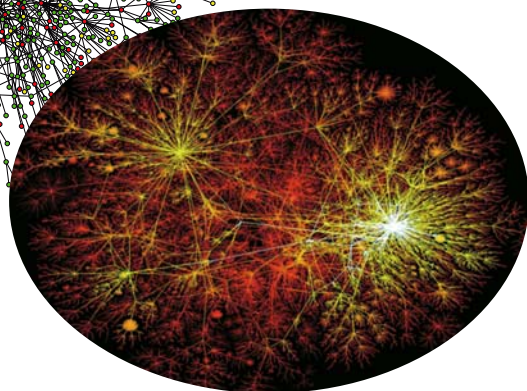
村田正幸 教授

Prof. Masayuki MURATA

(情報通信ネットワーク)



タンパク質同士の相互作用を表した模式図(左)と、インターネット上での各端末同士の接続状況を可視化したインターネットマップ(下)。ネットワークの立体構造が酷似している。



たんらん
団欒を楽しむ家族。部屋に流れる音楽が会話の盛り上がり具合に合わせて自然に音量が調整される。笑い声、緊張した声…。雰囲気に合わせて、曲も選ばれる。

コンピューターが人の生活環境を快適にする、究極の世界。

未来の、夢のような都市生活のイメージを「十数年後にはそういった社会が来るでしょうね」と語る。

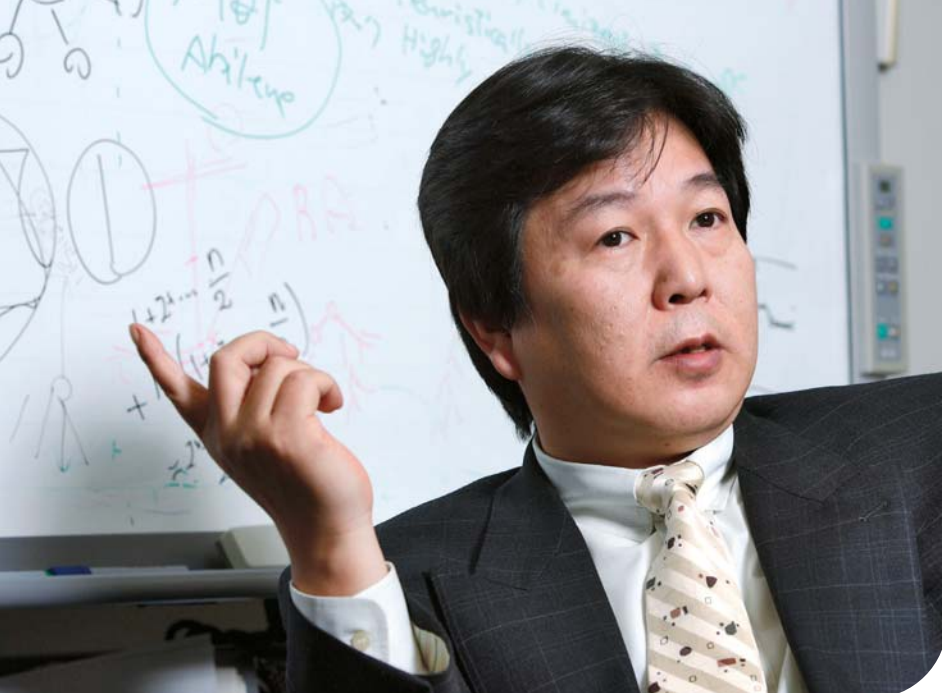
そんな暮らしの鍵となるのは「生物」。「生物の柔軟性を機械に教えるんですよ」と一見、無理難題のようなことをあっさりと言っている。

地球上に生物が誕生して38億年。予期しない環境変化に適応して生き抜いてきた。例えば、ウイルスや細菌などの細胞は環境が変化すると、自分にとってベストな状態を探し出し、生き続けてきた。

「細胞にはアトラクター(安定状態)を探し出す仕組みがそなわっている。それをネットワークにおける情報伝達に応用できないか。情報科学と生物学という異なる学問分野の融合が今のわれわれの研究なのです」

情報ネットワークは、基盤のように張り巡らされた無数のノード(node＝節)とリンク(link＝線)によって成立している。情報は「送信者」から「受信者」まではそのノードとリンクを渡り歩きパズルを解くように進んでいく。だが、それがいかに無駄か。わかりやすく言えばコンピューターチェスは5万²、人間の脳は20²。エネルギーに換算しただけでも、すぐにわかる。

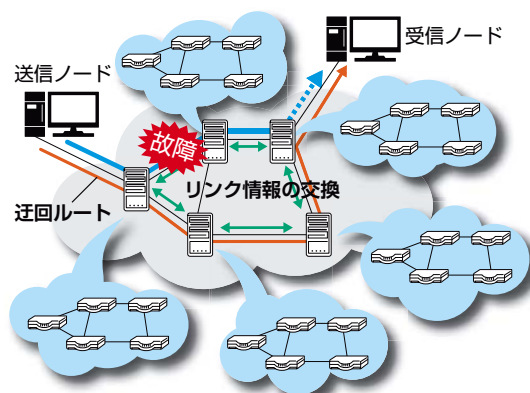
そんな無駄の多い経路探しをするノードに「普段



村田正幸(むらた・まさゆき) 1959年大阪府生まれ。大阪大学基礎工学部卒、基礎工学研究科修士課程修了。日本アイビーエム東京基礎研究所研究員、大阪大学基礎工学部助教授、情報科学研究科教授を経て2007年から情報通信研究機構上席研究員兼任。約10年前から知恵をつかさどるふくろうの置物を集めだし、学生も土産に買ってくれるほど。150羽以上が研究室に飾られている。

「コンピューターに使われたり、支配されてはいけない。あくまでも人間が主体」

ネットワークのどこかにいつも故障箇所がある。大規模になるとそれが当たり前。通信経路を選ぶルーティングに、これまでと違う方法が必要だ。



のルール of 優先」「非常の場合のフラフラ作戦」という生物の持つアトラクターを組み込んでみたらどうなるのか。すると、情報を次から次へとシンプルに伝達できるようになったのだった。

「現在のネットワークは人間の要求に応じて巨大化してきた。設計者が予想できる範囲内でのトラブルにしか対応できず、システム障害が発生した場合は復旧に相当な時間が必要だ。その一つが2008年5月のANA(全日本空輸)の発券システムの障害だ」

ネットワークの領域だけで閉じこもっていた研究が生物学と出合うことで、大きな進化を遂げた。

村田教授が情報工学の道を選んだのは80年代に登場したばかりのパソコンの存在が大きかった。「地球の裏側の情報が、瞬時に得ることのできるのが不思議だった」と振り返る。

議だった」と振り返る。

この世界に踏み込んでから約20年。情報ネットワークは「巨大化」という新たな問題を抱えている。だが、村田教授の理論が実用化すれば、速く、大容量のデータを処理できるネットワーク環境が実現する。それは人間のホルモン、血流、脳波に合わせて稼働する人工心臓、究極のアンドロイド(人造人間)への道筋へとつながる。

「これからはより質が求められる時代。ただ気をつけたいのはコンピューターに使われたり、支配されてはいけない。あくまでも人間が主体であることを忘れてはいけない」。

村田教授の言葉は、すでにコンピューターに依存している現代人への箴言ともいえる。

人に寄り添う 情報空間を探求

西尾章治郎 理事・副学長 Trustees & Vice Presidents
Shojiro NISHIO
(マルチメディアデータ工学)



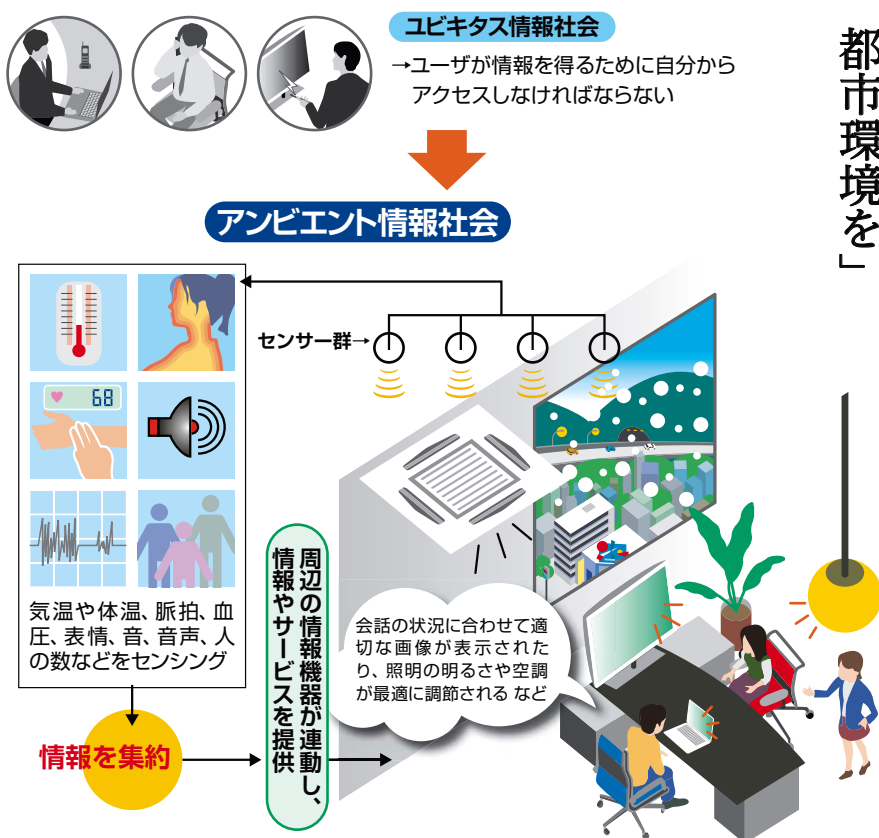
毎日利用する駅へ向かう途中、「電車が遅れています」と伝えてくれる。高齢者がいつも通る道と違う道を通ったとき、「道、間違っていないですか」と教えてくれる。高度に情報化された近未来—。

情報技術が人の生活にとけ込み、人にとって心地よい情報環境を構築する「アンビエント情報環境」に向けた研究を進めている。

現代はインターネットによっていつでもどこでもほしい情報が得られるユビキタス情報社会。「アンビエント」はその一歩先を行く概念。人と調和する高度な情報環境を提供するため、データベースの基盤づくりに取り組んでいる。

西尾章治郎(にしお・しょうじろう) 1951年岐阜県生まれ。京都大学工学部卒、京都大学工学研究科博士後期課程修了。92年大阪大学工学部教授、2000年サイバーメディアセンター長、02年情報科学研究科教授、情報科学研究科長を経て07年から理事・副学長。2002年、電子情報通信学会業績賞受賞。趣味はアルペンスキーで中学時代に県大会で優勝した経験を持つ。

「最新技術によって 居心地のよさを感じる 都市環境を」



例えばデータベース研究の応用として考えられるのが次のようなケース。自分の日常行動などを記録したデータベースと室内のセンサーを連動させれば、冷暖房のリモコンを操作しなくても自分にあった室温で稼働する。ソファに座れば、自分の見たいテレビ番組がついている。データベースは、人の活動や社会のさまざまな現象をコンピューターに納める器。それは世の中の現実社会の「写し絵」だと考える。

数理的な知識を生かしてこの世の中をモデル化しコンピューターにしまいこむ。データが大量に蓄積されるほど、ほしいデータをどう迅速に取り出すかが課題となる。そのためには、データをきちんと整理すると同時に、規則性やルールを発見する「データ発掘(データマイニング)」研究がデータベースの分野では大きなテーマだ。

もっとも、こうした機能は「余計なお世話」と思う人もいるかもしれない。しかし、「アンビエント情報環境は押しつけではなく、情報がさりげなく人に

寄り添う空間。安心安全な社会の実現にも貢献できる」と強調する。

津波が来るのを察知すると象がくさりを断ち切って山へ登る、など自然災害の予兆として報告されている現象があるが、阪神・淡路大震災で報告された自然界の異常現象の事例をデータベース化し、規則性などを解析して異常現象と大地震との関連について論じたことは地震予知に貢献する応用研究となった。

これらのデータベース研究を基盤としたよりよい空間づくりは、大阪・梅田北ヤード再開発の環境整備に应用される予定だ。キャッチコピーを「アンビエント・ライフスタイル」とし、最新技術によって居心地のよさを感じる都市環境をつくることを目指す。「今必要な情報を察知して肩をトントンとたたくように知らせてくれる。歩いていて、あるボードの前を通ると、その人にとって本当に大事な情報が“さりげなく”リアルタイムで得られるというのが目指す究極の情報空間です」

人間に寄り添うコンピューター 夢は間近に

サイバーメディアセンター

竹村治雄 教授 Prof. Haruo TAKEMURA

(ヒューマンコンピュータインタラクション)



バーチャルの世界へ入り込む方法はさまざまだが、代表的なのはヘッドマウンティッドディスプレイ(HMD)と呼ばれる眼鏡のような装置。装着すると視界にバーチャルスペースが広がり、空間に自身が没入するような印象だ。

コンピューターグラフィックス(CG)で作り出された会議メンバーの「人間」が、すでに着席し、まるで直接顔を合わせて話をしているかのように円滑に会議が進む。例えば、商品開発の会議なら、CG化された商品がずらりと並び、円卓を囲みながら手で触ったりしながら意見のやり取りをする。テレビ電話では、商品を持つ相手に角度や持ち方を

変えてもらう必要があるが、バーチャル会議室なら自分の思うままに商品を見ることができる。

人間が生活する三次元の現実世界の中にバーチャルリアリティ(仮想現実)やCGによる情報を織り交ぜる「複合現実感」という手法が研究テーマ。ITの利便性を高める研究がすべての研究の原点だ。

パソコンの前身となるマイクロプロセッサが登

「意識なしに ITのさまざまな恩恵を 得られる時代が来る」

竹村治雄(たけむら・はるお)1958年神戸市生まれ。大阪大学基礎工学研究科修了、国際電気通信基礎技術研究所(ATR)主任研究員、奈良先端科学技術大学院大学助教授を経て現職。2007年からサイバーメディアセンター長。空中という三次元空間を飛んでみたいとパラグライダーで上空からの景色を撮影。「映像を研究にもいつかは生かしたいですね」



足元に設置したカメラで
飛行中の自分を撮影

場し、ミニコンピューターが企業に導入され始めたのが中学生のころ。偶然テレビで流れていた大型の冷蔵庫ほどの大きさのミニコンピューターでプログラミングを学ぶ教育番組がITの世界に興味を持つきっかけとなった。正方形のピースを並べ替えて長方形を作るパズル「ペントミノ」の組み合わせを瞬時に導き出すプログラムに目を奪われた。

「プログラムを書くとその通りの演算結果をコンピューターがはじき出す。そのロジックにひかれたのかな。プログラミング次第で無限の可能性がある」コンピューター誕生から二十数年がたち、めまぐるしい速度で進化するITメディア。かつては企業や大学にしかなく、部屋一室すべてを埋め尽くすほどの

大きさがったコンピューターは、百円玉硬貨のサイズになり、一般家庭でも普及が進み、機能はますます充実した。

「パソコンはどんどん能力を高めていき、それもそこには利用者の視点により立っている。私が学生時代、思い描いたのは話しかけるだけでなんでもできる。そんな人間に寄り添うコンピューター。そんな時代もすぐそこに来ている。将来は誰もがコンピューターを利用しているという意識なしにITのさまざまな恩恵を得られる時代が来る。むしろコンピューターを利用しているという感覚がなくなってしまうようになるかもしれませんね」

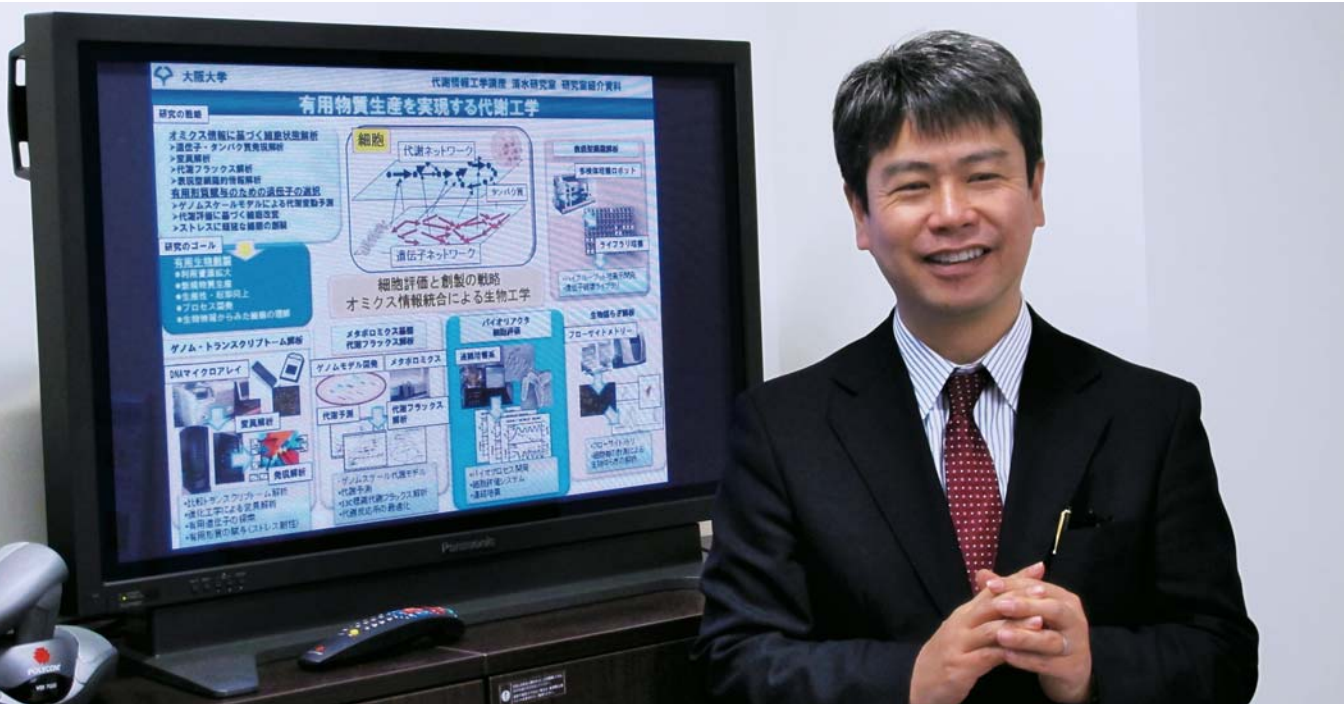


複合現実感(現実の世界にCGを重ね合わせたもの)を用いたオフィスのレイアウトの検討。バーチャルリアリティで、現実の空間にはないものをシミュレーションすることが可能になることや、建物の内部や性格を知ることできる。

人智を超えた 細胞の不思議解明へ

情報科学研究科

清水 浩 教授 Prof. Hiroshi SHIMIZU
(代謝情報工学)



ヨーグルトやビールなどでおなじみの「発酵」が、今、石油にかわる未来のエネルギーとして注目を浴び始めている。

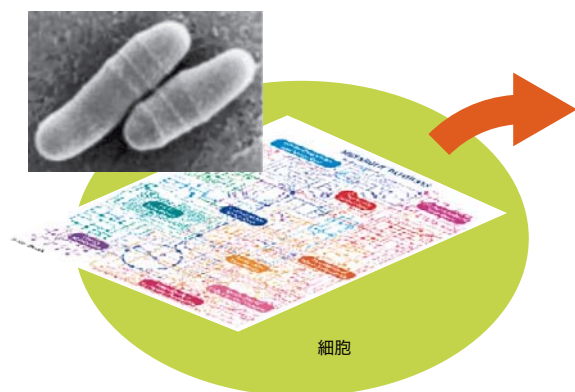
ブドウ糖(グルコース)などに乳酸合成遺伝子を入れた酵母を加えて「発酵」させてできた乳酸を、さらに加熱脱水すると「ポリ乳酸樹脂」ができる。夢の物質「バイオプラスチック」だ。

「^{さんがい}残骸が半永久的に残る石油製品とは違って、ポリ乳酸樹脂は微生物が分解、二酸化炭素と水に変わ

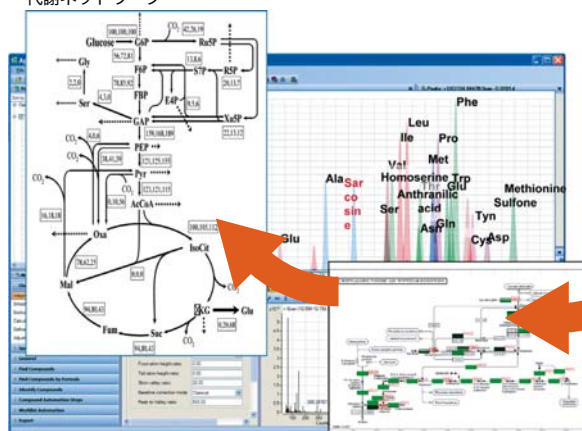
る。まさに環境調和型の物質です。すでに一部の自動車メーカーはこの樹脂を車内の内装品に使用しています」

「発酵」は、一つの細胞が栄養をエネルギーなどに変換する過程「代謝」のこと。そこには遺伝子が深く関係している。そのメカニズムを、コンピューターで解析してきた。生物の代謝システムを解析することで、さまざまな微生物を使ったものづくりも可能になる。また、生物の動作原理の解明は、アンビエント情報環境の実現にも応用されるという。

「生物の代謝システムを解析することで微生物を使ったものづくりも可能に」



明らかにされてきた
代謝ネットワーク



コンピューターによる代謝ネットワークの流量の解析結果



コンピューター制御による
バイオリアクター
(生物反応装置)



高精度質量分析による
代謝物の計測

生物代謝ネットワークの解明へ

清水浩(しみず・ひろし)1961年京都府生まれ。京都大学工学研究科博士課程単位取得(工学博士)。大阪大学工学部助手、工学研究科助教授などを経て2003年から現職。趣味はスポーツ観戦、散歩、読書。

バクテリアなどの微生物でも一細胞に存在する遺伝子の数は数千に上り、それらが織りなす化学反応のネットワークは複雑そのもの。それを数式化した地図がある。都心部の鉄道網を何重にも合わせたような様相だ。この中からある物質の化学変化のルートを導き出す。2007年には、うまみ成分として知られるグルタミン酸生産の化学変化のルートを解き明かした。

「学部時代は、工学畑だけあって、化学の力でもものづくりをする研究に興味がありました。大学院時代

から生物に興味を持って、試験管の中だけでなく、実用化できるものを作りたいと思ったんです。それに細胞の緻密な構造にひかれたのも大きな理由です」

複雑そのものの生物の細胞。四半世紀に及ぶ研究生活を経た今、「不思議で不思議な化学反応の袋」と表現する。微生物の細胞ひとつだけでも複雑だが、動植物の多くを占める多細胞生物はこの細胞が集まり、人智を超えたネットワークが成り立っている。

「生物の細胞がこれだけ安定的に化学反応を繰り返して生きている不思議。それは人間の能力だけではないしえない不思議でもある」

研究者にとってそこに潜む天文学的ともいえる謎を解き明かすことは、まさにカフカの小説「城」の主人公・K。近づいたと思えば遠ざかる…。この独特の距離感こそが、研究者にとっての、甘美な誘惑なのかもしれない。



「いま、ここで、
あなたのために」
アンビエント情報社会

「いつでも、どこでも、だれとでも」情報技術の恩恵を受けることができる「ユビキタス情報社会」の構築が進行中だ。携帯電話、パソコンの無線LAN、家電機器でのリモコンの活用——など、さまざまな技術が開発されている。しかし、そこでは人が自ら機械を操作しなければならない。これに対し、アンビエント情報社会とは、情報技術が生活空間に溶け込み、利用者に意識させることなく、サービスを提供することができる社会のことだ。情報技術の方が人に歩み寄り、空間や環境と調和して、「いま、ここで、あなたのために」という安全・安心と快適さを実現する情報社会である。

情報科学研究科を中心に取り組んだ21世紀COEプログラムでは、「生物に学ぶ」をキーワードに、さまざまな角度からしなやかでロバスタな情報技術の創出を目指した。アンビエント情報環境の概念はそうした研究を通じて生まれてきた。このプログラムでは、生物に学ぶことで可能となる、さらに大きなスケールのアンビエント情報環境の構築に必要な技術的アプローチを提案する。

ユビキタスとアンビエントの違いを比較してみよう。ひとことと言えば、アンビエントは環境と密着したインタラクションである。人とのインターフェースを比べてみると、ユビキタスはパソコンや携帯電話などそれぞれの機器のディスプレイが中心になる。アンビエントのインターフェースには、環境と融合



●従来のインターフェース

ユーザー自身が周辺機器を制御し、自身の嗜好、目的に応じた操作を行う。

生物に学ぶ安全・安心・快適 情報環境技術の確立

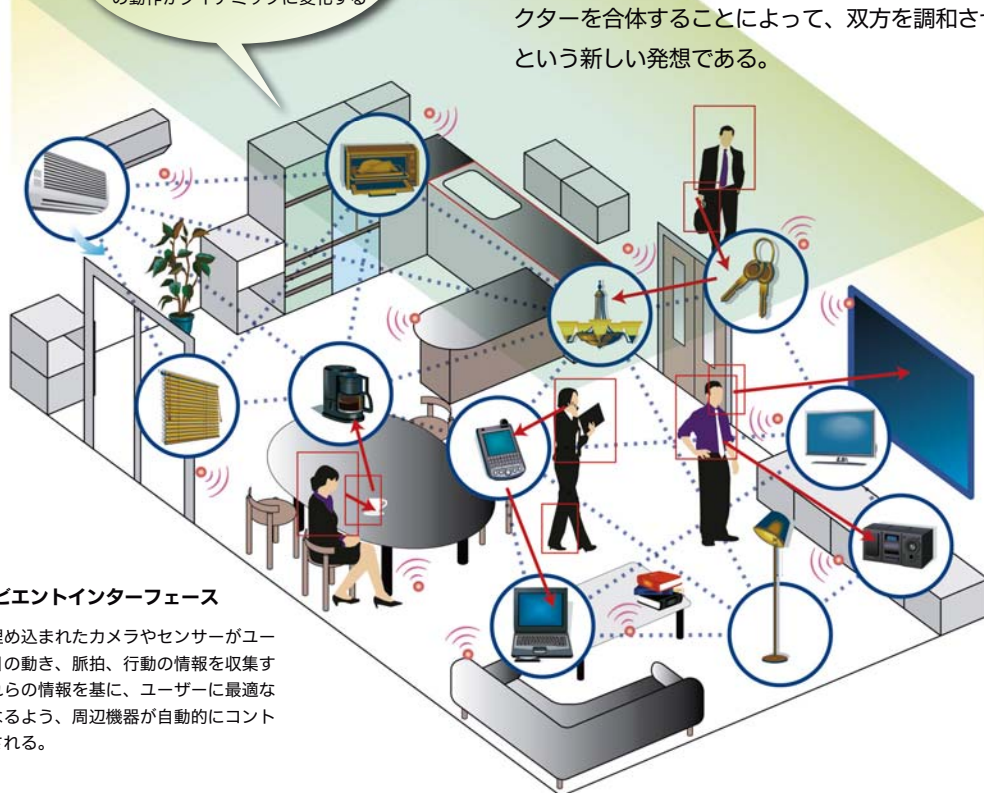
して明るさ、音、空調、においなど最適な状態を提供する駆動装置が使われる。情報収集の仕方も違う。現在の情報技術では、利用者が意識してキーボードなどの入力装置を使い、機器を操作しなければ何事も始まらない。一方、アンビエントでは、利用者が置かれている状態をセンサーなどで自動的に収集する。部屋の温度調節を例にとると、外から室内に入ってきた人が汗をかいていたら、センサーが直接それを感じ取り、室内を最も快適に感じる温度に調整し、汗がひくと、適切な温度に保つという具合だ。ただ、そこでは膨大な情報の知覚と解析、柔軟で壊れにくいコントロールが必要になる。

アンビエント情報環境構築への技術的アプローチは四つの領域で進めている。

「生物ダイナミクス領域」は、生物が未知の環境に適応する原理「アトラクター選択」を発展させる。アトラクター選択は21世紀COEプログラムで確立された原理で、生物が予想しない環境に陥った時、ゆらぎを利用してよりよい状態(アトラクター)に自らを引き込む生体システムの基本原理だ。これにより、生物は38億年も生き延びることができたという。この原理はすでに数理モデル化されたが、今は複数のアトラクターを重ね合わせる「アトラクター重畳の原理」に発展している。例えば、複数ネットワーク同士を重ねると互いの安定点を自律的に探り、最適な通信環境を実現することができる。それはモノ対モノの関係だが、さらにヒト対モノ(機械・コンピューター)への応用が試みられている。人と機械のアトラクターを合体することによって、双方を調和させるという新しい発想である。

意識することなく サービスを利用できる

人間の状況に合わせて、周辺機器の動作がダイナミックに変化する



●アンビエントインターフェース

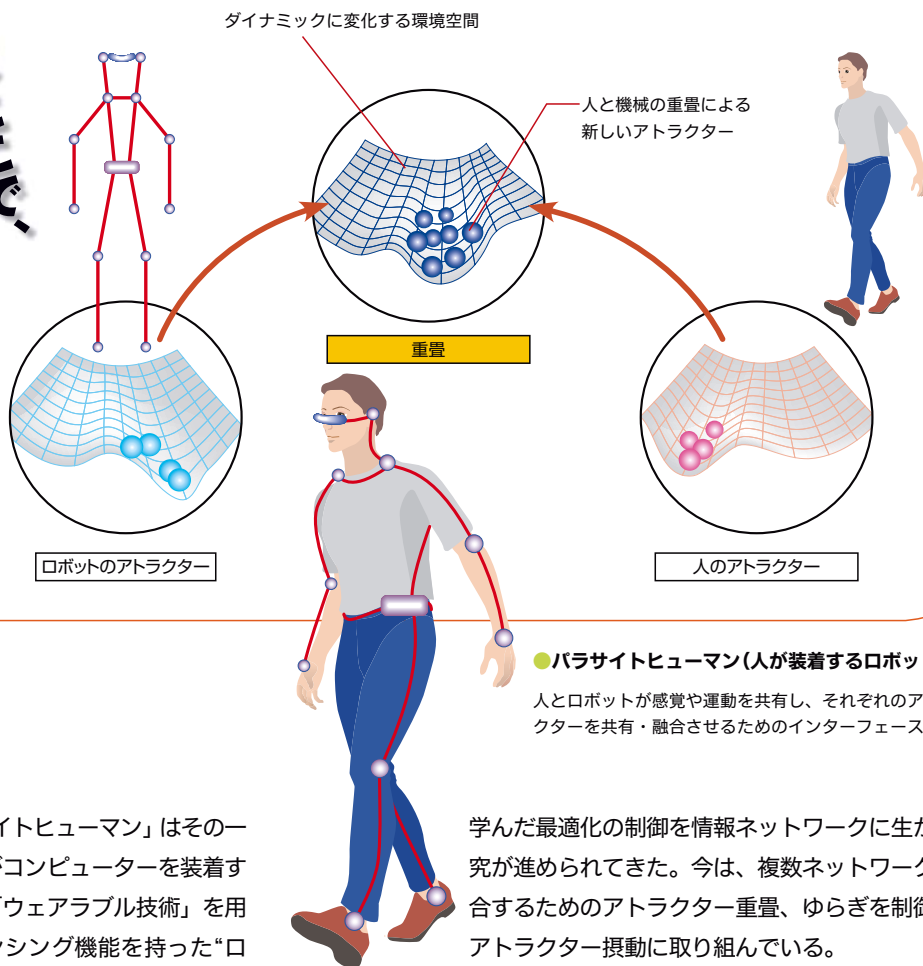
環境に埋め込まれたカメラやセンサーがユーザーの目の動き、脈拍、行動の情報を収集する。それらの情報を基に、ユーザーに最適な状態になるよう、周辺機器が自動的にコントロールされる。

ときめき
研究
最前線

「いま、日本で、
あなたのために」

アトラクター重畳

人と機械(コンピューター)が持つ複数のアトラクターを
重ね合わせ、融合し、人と機械が五感情報を共有する。



「パラサイトヒューマン」はその一例だ。人がコンピューターを装着するという「ウェアラブル技術」を用いて、センシング機能を持った“ロボット”人間が装着する。ロボットは「主」である人の感覚や運動を共有し、人を助けるといふ。すでに数式のモデルができつつあり、シミュレーションが始まっている。

「アトラクター重畳」を応用するため、「アンビエントインタフェース領域」では、カメラやセンサーによるユーザー環境のセンシング、人間のダイナミクス(言語、行動)と周辺の装置群に埋め込まれたダイナミクスとの相互作用などが探求されている。言語処理や対人社会心理に関する文科系の研究者も研究に加わっている。

「アンビエントネットワーク領域」では、ハチが規則的な巣作りをする自己組織化やアリの危機回避に

学んだ最適化の制御を情報ネットワークに生かす研究が進められてきた。今は、複数ネットワークを結合するためのアトラクター重畳、ゆらぎを制御するアトラクター摂動に取り組んでいる。

また、「アンビエント情報基盤技術領域」では、これまでに紹介した三つの領域の成果に基づいたシステムを構築する。そこでは、トンボのような複眼系光インターフェースによる画像情報認識や時々刻々と変化する環境の中で、自律的に利用者に最適なサービスを提供するダイナミック無線技術を実現していく。

拠点リーダーの村田正幸教授は「今後はユビキタス関係の研究開発でもアンビエント情報環境の考え方を取り入れざるを得ないだろう。予見することが難しい人間の行動や極めて変化の激しい大規模情報システムに対応していくには生物に学ぶアンビエント情報環境の構築が欠かせない」と話している。

大阪大学発！
ときめきサイエンス

第8章

ナノサイエンス

III

- 次世代エネルギー
- 新材料
- 次世代電子デバイス

エネルギー・地球環境問題の解決は人類にとって焦眉の急。世界で、日本で、そして我々の足元で多くの研究者が知恵を絞り、解決への道筋を探っている。



コンパクトな「日本型」 レーザー核融合発電

レーザーエネルギー学研究センター

疇地 宏 教授 Prof. Hiroshi AZECHI

(高密度プラズマ物理、レーザー核融合)

レーザーエネルギー学研究センター
内に2008年末、世界最強レーザー
「LFEX(エルフェックス)」が完成した。

次世代

のエネルギーと期待されるレーザー核融合発電。「LFEX」はその実用化に向けた装置で、その威力は世界の瞬時電力の1000倍のパワーに等しい。疇地センター長は「わずか一瞬だが太陽系で最も高いパワーを作ることができる世界最高峰のレーザー」と説明する。

関西地方の全電力の35%を占める原子力発電。化石燃料を燃やさないで炭酸ガスが発生しないという利点はあるが、大量に出る放射性廃棄物の問題など課題は多い。そんな原子力発電の後継となるクリーンで安全な発電方法として現在、研究が進められているのがレーザー核融合だ。

その原理は、重水素などでできた燃料玉(ペレット)に、多方向からレーザーを照射することで、超高密度に圧縮し核融合反応を起こさせることで強大なエネルギーを得るというもの。

高速点火用レーザーLFEX





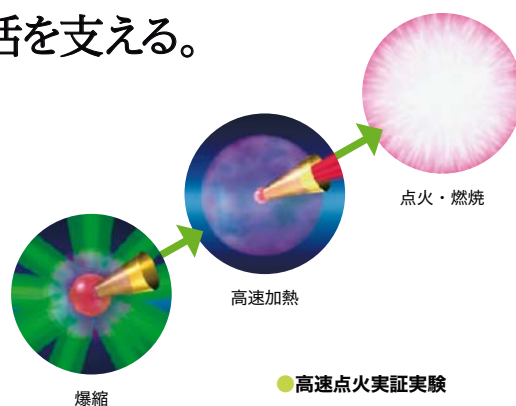
晴地宏(あぜち・ひろし)1951年愛知県生まれ。大阪大学工学研究科博士課程修了。助手、助教授を経て1999年に教授、2009年レーザーエネルギー学研究中心長。古代ギリシャ・ローマなどの古典を愛読。

新しい発電方法が私たちの生活を支える。 そして何より地球にも優しい

研究は米国やフランスでも進められており、レーザーで燃料を圧縮するところまでは同じだが、そのまま圧縮を続けて自然発火するのを待つ従来の方式ではサッカー場3つ分ほどの広大な面積の施設が必要だ。国土の狭い日本にはふさわしくない。

そこで、日本は欧米諸国の方式に代わる新しい「高速点火方式」を考案。自然発火を待つのではなく圧縮した燃料に「LFEX」レーザーで爆発的なパワーを加え強制的に核融合反応に点火させることで、施設の規模も必要な資金も従来の10分の1に抑えることに成功した。「アメリカ式が大型車にしか使えないディーゼルエンジンだとするなら、僕らはコンパクトなガソリンエンジン。爆発を誘起させる装置があれば大きさはいらない。小型車で十分なんです」

レーザーの開発が絶対条件のため、原子力発電より研究に時間が必要だった。「常温で起こらないとい



うのは、逆に言えば安全だということ。問題があればすぐにレーザーを止めれば被害は最小限に食い止めることが可能」と説明する。

現在同センターでは1000万度にて物質の温度を高めることに成功。爆発を促すのに必要な点火温度は5000万度で、実証できればいよいよ核融合・点火の実証へとステップを進める。

「研究がうまくいけば2050年には一般家庭への電力供給が可能になる。原子力発電と並ぶ発電方法になっているはずだ」

新しい発電方法が私たちの生活を支える。そして何より地球にも優しい。そんな未来への懸け橋ともなる研究が、私たちの身近なところで行われている。

し・き・め・き

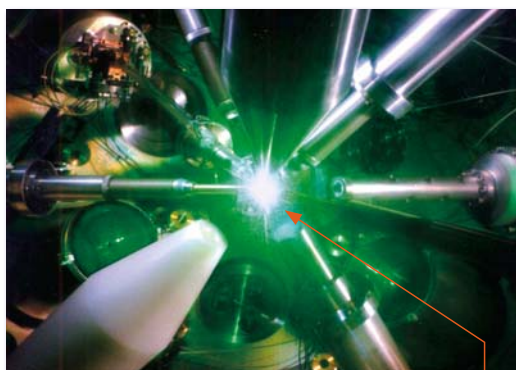
研究
最前線宇宙誕生の
瞬間を
レーザーで再現

■核融合とは

世界の研究者がしのぎを削る核融合。これをひらたく言うと、水素の仲間である重水素(D)と三重水素(T)の原子核をくっつけることだ。DTの核同士がうまく融合すると、ヘリウムと中性子の原子核に変わる。この時、融合反応が起きる前のDTの質量よりもヘリウムと中性子の方が軽いため、エネルギーEが質量Mと等価であるアインシュタインの原理 $E=mc^2$ により、そのわずかな差の質量分がエネルギーに変わる。たった1gのDT核融合反応が石油8tを燃焼させたのと同程度の莫大なエネルギーになる。

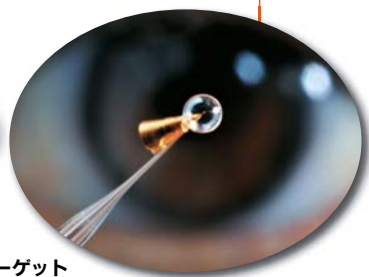
■核融合はどうやって起こすのか

とはいえ、事はそれほど甘くない。通常の状態ではDTの原子核をぶつけても、どちらも正の電荷をもっているため、反発しあって融合しない。これを融合するにはDT燃料を1億度以上に加熱し、衝突スピードを毎秒1000km以上にしなければならない。そこで



●レーザー核融合爆縮実験の様子
(激光XII号実験用真空容器の内部)

真空容器中央に設置されたターゲットにレーザー光が四方から照射され、生成されたプラズマからは、X線、荷電粒子、中性子などが放射される。その放射線を観測することによってレーザー照射の効果が確認される。ターゲット近傍には、円筒状の計測器先端が迫っている。

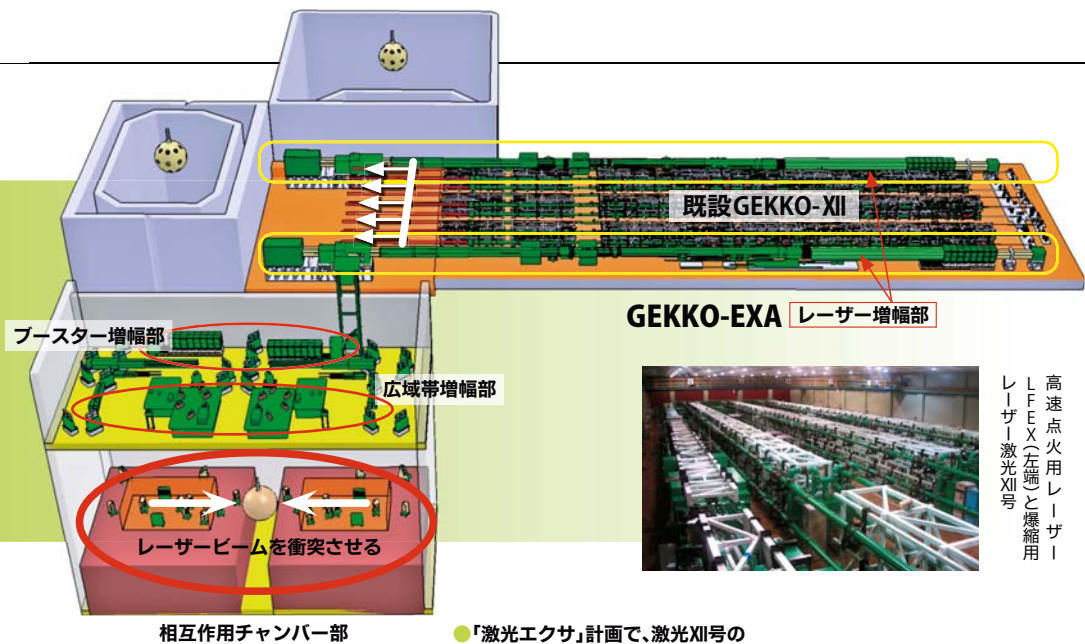


●高速点火核融合用ターゲット
(コーン付きポリスチレンシェルターゲット)

ポリスチレンでできた直径約1mmの中空の球状ターゲットに点火用高強度レーザーを導入照射するための金の円錐が取り付けられている。全体は、先端部がシェル内部に位置する中空のガラス管によって支えられており、この細管を通して重水素燃料がシェル内部に供給される。

初めてDTはプラズマ状態となり、これを高密度で長時間閉じ込めると核融合が連続して起きる。DT燃料を閉じ込める方法は二つ。磁気を使って高温のDTを容器の壁から浮かせて閉じ込める「磁場閉じ込め方式」と大阪大学レーザーエネルギー学研究センターの「慣性閉じ込め方式」だ。その中でも大阪大学の高速点火方式は、DT燃料をレーザーで超高密度に圧縮(爆縮)し閉じ込めたところ(慣性閉じ込め)に、突き刺したコーンを通してLFEXレーザーを照射し核融合反応を起こすものだ。

この方式により2020年までに点火燃焼を成功させ、30年ごろ発電実証に移るという青写真を描くことができる。「ただ、エネルギー開発にかかわる部分は大学の枠を超えたレベル。大阪大学レーザー研で



●「激光エクサ」計画で、激光XIIの両サイドに設置するエクサワットレーザー

これまでのレーザーの性能は、1平方メートルあたり 10^{21} ワットだが、パルスの幅を短縮し、集光する直径を縮小することでレーザー強度はこれまでの4桁も上昇する。

はレーザー核融合の実現に向けた人材の育成と学術研究のブレークスルーに全力を尽くす」。

■世界最強レーザー「激光エクサ」計画

レーザー研では、新たに「激光エクサ」計画を打ち出している。主眼は、LFEXレーザーの100倍強いパワーを持つ「エクサワットレーザー」の開発だ。その技術目標は、レーザー光のパルス幅をLFEXレーザーの1ピコ(1兆分の1)秒から10フェムト(1000兆分の1)秒に100倍圧縮してレーザーの強度を高めるとともに、集光径を30ミクロンから1ミクロンに縮小することである。これにより1平方メートルあたりのパワーは 10^{21} ワットから 10^{25} ワットへと増大する。

■さまざまな可能性を秘めたレーザー研究

レーザー研は、レーザー核融合への道筋をつけるとともに、エクサワットレーザーで新たに二つの学術研究に取り組む。

エネルギーと時間の曖昧さを表す不確定性原理。二つを掛け合わせた量がある値(プランク定数)以下にはなりえない、つまり極めてわずかな時間では極端に大きなエネルギーの不確定な状態が生じ、物質が生まれる。それが宇宙誕生の瞬間と言われている。宇宙のごく初期の短時間に、揺らぎによって生成された宇宙が真空エネルギーの効果によって急激に膨

張したと考えるインフレーション宇宙論では、その後、解放されたエネルギーによってビッグバン宇宙論が導く熱い宇宙が実現される。その状態をエクサワットレーザーでつくり出し、「真空の崩壊」「相転移」「物質の創成」をキーワードとする現代物理学の謎に迫るのが一つ目の試みだ。

「真空の崩壊に至る前の段階でも、エクサワットレーザーでプラズマと呼べるほどの大量の陽電子を発生させ、活動銀河核を地上に実現する」と壮大な目標を語る。

もう一つは、相対論的プラズマ物理という領域だ。通常レーザー光は、その波長で決まるある密度(遮断密度)以上のプラズマには侵入できない。DTを固めた氷にLFEXレーザーを照射しても、レーザーは入らない。レーザーの遮断密度がDT固体密度の約100分の1しかないため光を反射してしまうためだ。しかし、超高強度のエクサワットレーザーなら、相対論的異常透過により固体ターゲットに侵入する。そうすると、レーザーはまず電子を弾き飛ばし、残った正の電荷を持つイオンが爆発(クーロン爆発)的に加速され、核融合反応によって多量の中性子を出す。「レーザー核融合で必要な爆縮が要らず、コンパクトで安上がり。中性子源を生み出すこの技術は、放射性廃棄物の処理やがん治療など多様な応用分野がある」という。

化学は環境問題解決の救世主

工学研究科

福住俊一 教授 Prof. Shunichi FUKUZUMI

(電子移動化学、錯体触媒化学)

2008年7月に開かれた北海道洞爺湖サミットでは、主要国(G8)が2050年までに温室効果ガス(CO₂)を半減させるとの長期目標を世界全体の目標とすることで合意し、環境エネルギー問題がせっぱ詰まった状況にあることを改めて世界に示した。この21世紀最大の課題を解決するのは「化学しかない」と言い切る。化石燃料に代わるエネルギーの切り札は「水素です」。

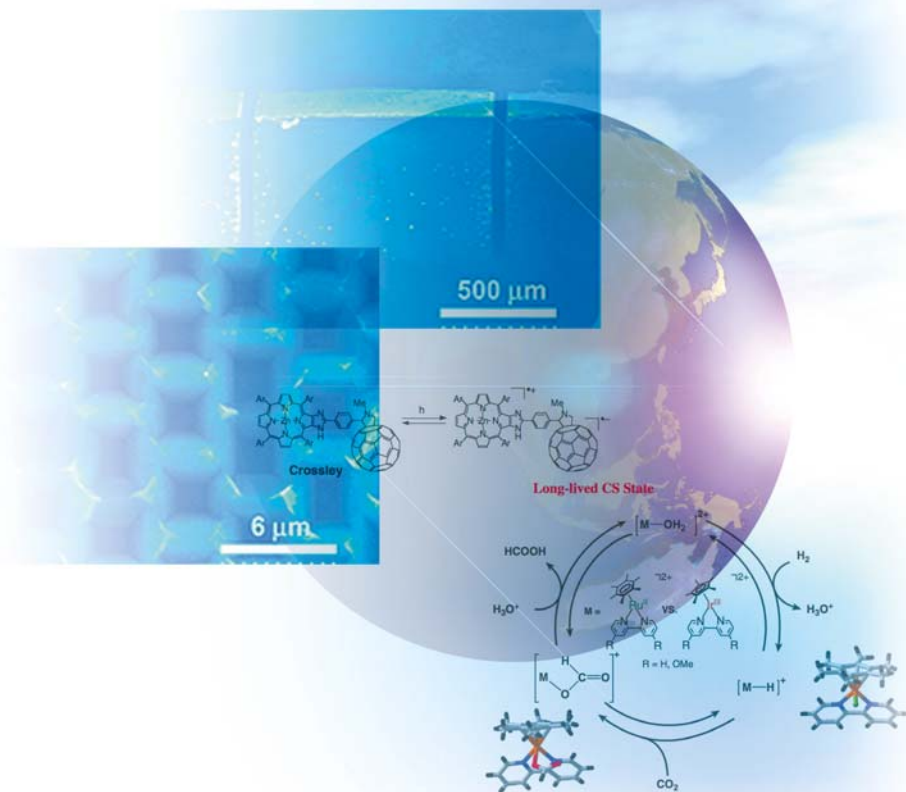


植物の光合成を人工的に行い、水を分解して水素を製造する研究に情熱を傾ける。「数十億年にわたって植物が貯金してきたエネルギーを今、人類はたった100年やそこらで使い切ってしまうおとしい。これはちょっと無茶じゃないですか。人間が余分に使いたいなら自分で光合成をしなければならいんです」

植物は光合成によって太陽光と水から必要なエネルギーを得る。そのときに酸素や水素化物が作られている。細胞内では電子移動金属酵素により、電子移動が巧みに制御されている。

福住俊一(ふくずみ・しゅんいち)1950年愛知県生まれ。東京工業大学理工学研究科修了。米インディアナ大学博士研究員、大阪大学助手、助教授を経て94年から同教授。05年に日本化学会賞、10年に文部科学大臣賞を受賞。グローバルCOE「生命環境化学グローバル教育研究拠点」リーダー。趣味は油絵だが「生涯の最高傑作を25年以上前に描いてしまった」。ちなみにモチーフは結婚直後だった奥様とか。

「地球温暖化がこれだけ叫ばれる今、もっと化学に目を向けてほしい」



この光電子移動の過程を光触媒技術を用いて人の手で行うのが、人工光合成だ。天然の光合成は多段階の電子移動によって寿命の長い電荷分離状態を可能にしているが、単なる模倣ではエネルギー損失が大きく、実用的ではなかった。

「自然界では酸化と還元という二つの段階で太陽エネルギーを必要とします。そこで、二つをつなげて一段階の電子移動をできないかと考え、研究を進めたんです」。その結果、自然界をはるかに超える高エネルギーで長い寿命を持つ反応を得ることに成功した。

人工光合成のシステムを用いれば、太陽光と水から効率よく水素を製造できる。

「今は、最後の1ピースをはめるだけのところまで来ているんですよ」。その1ピースとは、効率が良くコストの安い水の酸化触媒を探すことだ。

「化学こそが世界の共通言語であり、地球を救う」が持論。「かつて、産業革命直後の爆発的な人口増加により、農業生産が追いつかなくなり、飢饉に陥り

そうになったことがありました。そんな20世紀の人類の危機を救ったのは、実は化学だった。農作物の育成に不可欠な窒素固定を、工業的に行うことを可能にしたからです。21世紀の地球環境エネルギー問題を解決するのも、もちろん化学です」

やがて、太陽と水(海水)から大量の水素を製造する時代が来るだろう。そんな時に備え、水素の貯蔵方法も提案している。水素を二酸化炭素と結合させ液体の「蟻酸」としてタンクなどに貯蔵すれば扱いやすい。

「触媒さえあれば、特別な装置は要らないんです。水素を貯めれば貯めるほど、二酸化炭素の削減につながる。タンクに自動的に蟻酸を貯めてゆけば、日本は一気にエネルギー生産国ですよ」。化学の力を信じてやまない学者の言葉は力強い。

「地球温暖化がこれだけ叫ばれ、われわれは今こそ化学の出番だと思っているのに、一般の人々はそうは考えてくれない。2050年のことを語るのであれば、今、もっと化学に目を向けてほしい」と熱く語った。

新しい太陽電池の理想は クロロフィル

太陽エネルギー化学研究センター

松村道雄 教授 Prof. Michio MATSUMURA

(太陽エネルギー変換)

温暖化など地球環境問題がクローズアップされるなか、「もっと深刻なのは、実はエネルギー問題なのです」と科学者の立場からずばり本質を解説する。

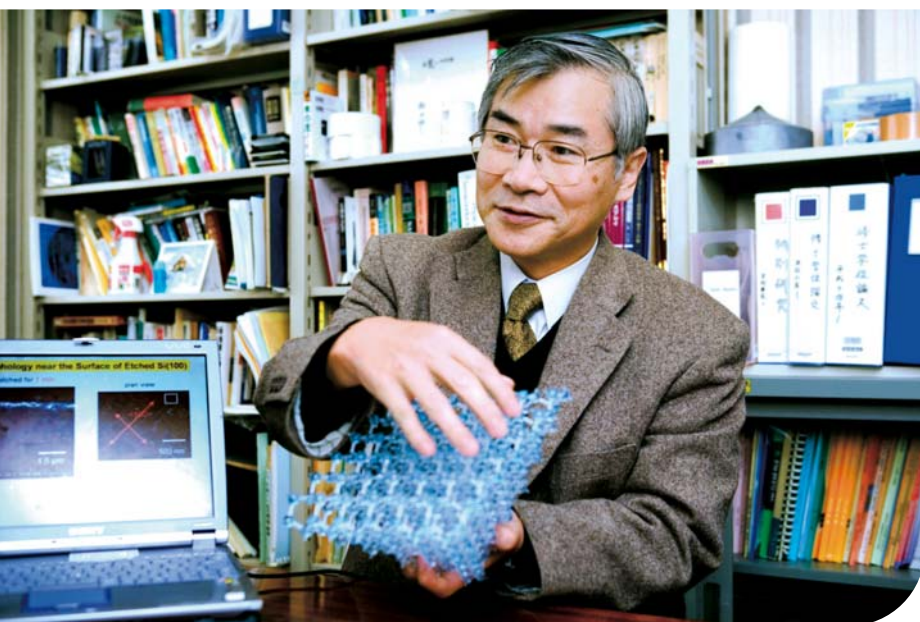


光触媒を用いた人工光合成の実験

現在、人類が使うエネルギーは約10テラ(テラは1兆)ワットで、今後の世界的な経済発展と人口増大により2050年には約30テラワットに達すると予想されている。このままでは環境破壊の深刻化はもとより、石油資源そのものの不足が世界経済を直撃し、石油資源の争奪戦も想定されるというのだ。

そこで、注目すべきは太陽エネルギー。「地球に到達する太陽エネルギーは人類が使うエネルギーの1万倍もある。もっと有効利用するシステムを作ること。それが現代の科学者の使命と思っています」

太陽光を電気に換える太陽電池は実用化されて久しいが、石化燃料電力に比べコスト高で普及となると今ひとつ。製造・維持コストが安く、経済的メリットがあり、高い発電効率と耐久性が求められている。これらの要求に応える研究に長年、取り組んでいる。



松村道雄(まつむら・みちお)1949年愛媛県生まれの神戸育ち。大阪大学基礎工学部卒、基礎工学研究科修士課程修了。基礎工学部助教授、日本チバガイギー国際科学研究所新素材研究部長などを経て92年、大阪大学有機光工学研究センター教授。改組により2001年から現職。趣味は自然観察。

「植物は自然の中のお手本です」

太陽電池の素材の主流となっているシリコンの加工に、化学の発想から触媒を使う方法を持ち込み、多結晶シリコンの発電効率をアップさせることに成功した。また、触媒法を用い、シリコンの塊から薄いウエハーを切り出す新手法も開発している。

直径50ミクロンの白金ワイヤを触媒に、電気化学反応でシリコンを溶かす。切りしろを白金ワイヤの直径だけに抑えられるのが特長。「30ミクロンでも可能です。シリコンにダメージがないというメリットもある」。溶液などの条件を変えながら現在も実験を続けている。



有機薄膜太陽電池の作製装置

研究をはじめたころは、1時間に0.1ミリの深さの溝しかつけられなかったが、今は4ミリを達成している。「これを1時間に20ミリまで高速化できれば、画期的な切り出し方法になりますよ」と研究の進展に期待を寄せる。

さらに情熱を傾けているのが、いろいろなタイプの新しい太陽電池で、その一つに有機薄膜太陽電池がある。「色素と思ってもらっていい。ペンキを刷毛でスツと塗るように簡単に太陽電池ができるということです」

製造コストが安く実用性が高い。現段階では光から電気への変換効率がシリコンで14～15%あるのに対し、こちらはまだ10%未満。効率アップが課題という。

効率を上げるための仕組みと、それを実現するための新しい有機色素や半導体材料を探し求めている。理想は植物のクロロフィル(葉緑素)。光合成によって水を酸素と水素に分解することのできる色素だ。

「植物は自然の中のお手本です。でも自然というのは巧妙すぎて、なかなかまねできませんね」。人類の未来を見据え、あくなき探求は続く。

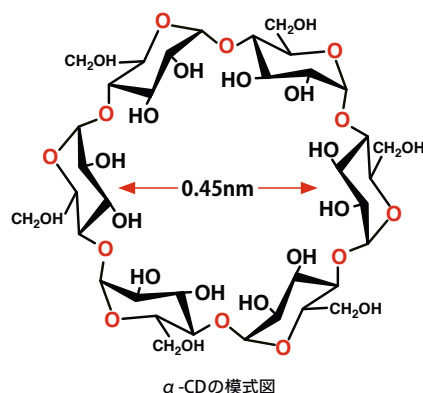
直径10億分の1メートル 「超分子」に無限の可能性

理学研究科

原田 明 教授 Prof. Akira HARADA

(超分子科学、生体高分子化学)

エネルギーをあまり使わずに、さまざまな工業製品をつくることができれば、人類にとってどれほど有用だろうか。実は基礎科学の研究では、そんな「革命」の土壌はすでにできあがっている。それが「超分子」の世界だ。例えば――。



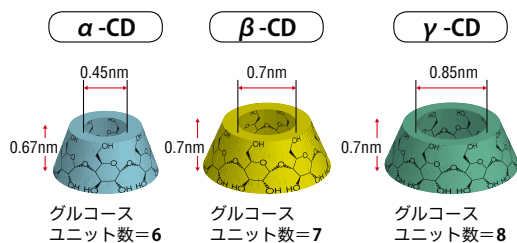
α-CDの模式図

● シクロデキストリン(CD)

グルコース(ブドウ糖)分子が6~8個、環状に結合したもの。空洞部分にさまざまな分子を取り込み、超分子を形成することができる。

特殊な細菌が作り出すシクロデキストリンという分子。ブドウ糖が6~8個結合してできており、輪状の形をしている。直径は1ナノメートル、つまり10億分の1メートル。内輪の直径は0.45ナノメートルしかない。おのずとそこに入る大きさの分子は限られている。

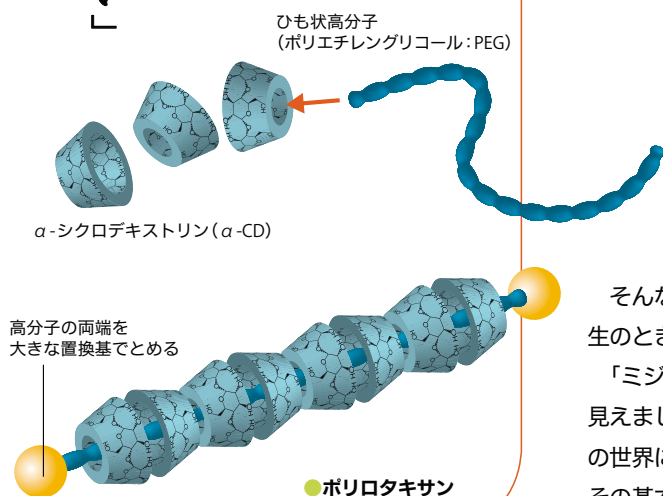
ひも状に鎖のようにつながったポリエチレングリコールという分子。とうていこの狭い内輪の中に収まりきらないと思われるが、すっぽり輪の中に入った。特殊な触媒などは使わない。両分子が入った別々の水溶液を混ぜ合わせるだけで、結晶体ができ、沈殿した。この新しい型の分子化合物をもとに、世界で最も細い分子チューブの合成に成功した。二つの分子の結びつきは分子自らの作用によるもので、これを「超分子」といい、他分野への波及効果も大きいとして注目を集めた。



「超分子の世界では、エネルギーをあまり使わなくてもいい」



原田明 (はらだ・あきら) 1949年大阪府生まれ。大阪大学理学部卒、理学研究科博士課程修了。助手、助教授などを経て98年から現職。IBM科学賞、大阪科学賞など受賞多数。2006年に「紫綬褒章」受章。趣味はガーデニング。最近は遠ざかっており、夫人が手入れした花を見ることが多いとか。



「プラスチックは、^{ほくたい}莫大な火力からつくられますが、超分子の世界では、エネルギーをあまり使わなくてもいいのです。いろんな組み合わせがあり、いろんなものができます」

この基礎研究を発展させていけば、夢のような産業システムが構築できるかもしれない。もちろん、実現するには、数々のハードルを越えなければならないが、もし実用化されれば地球環境にとって計り知れない恩恵をもたらすことになる。

そんな壮大な研究だが、その原点は意外にも中学生のとき。

「ミジンコを顕微鏡で観察したら、動いているのが見えました。本当に素早いんです。それ以来ミクロの世界にひかれていきました。関心は生物、やがてその基本的単位の分子に移っていきました。当時はDNAが注目され、分子生物学が花盛りでした」

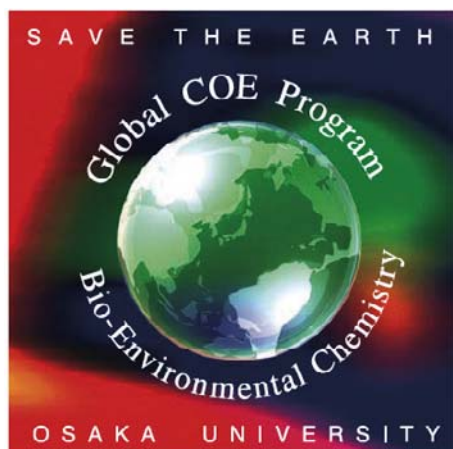
少年の眼前に開けた、リチャード・フライシャー監督の映画『ミクロの決死圏』をほうふつさせる微視の世界。わずか直径数ミリの甲殻類が、大きく発達した第二触角を動かしながら遊泳する、そんな神秘的な姿に魅せられた。

それから約40年。ミクロがナノに、光学顕微鏡は原子間力顕微鏡に代わった。それでも分子について語る原田教授のまなざしは少年のころと同じように好奇心に満ちている。



化学が地球を救う

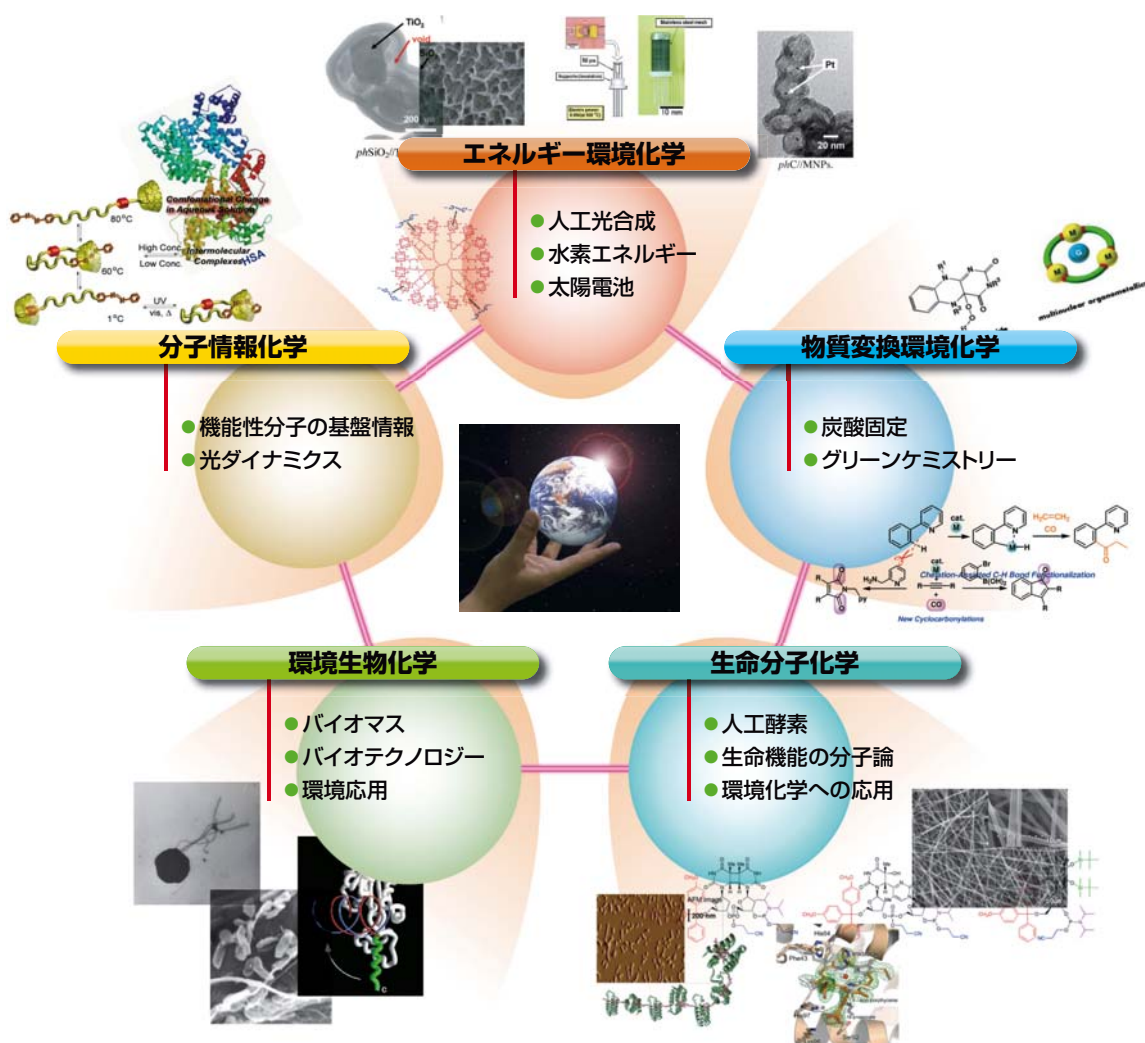
温暖化問題を根本解決する 人工光合成



大阪 大学は2008年12月8日から3日間、米国サンフランシスコでカリフォルニア工科大学(Caltech)、マサチューセッツ工科大学(MIT)、カリフォルニア大バークレー校(Berkeley)の地球環境エネルギーに関する大型プロジェクト研究者を招聘し「生命環境化学」をテーマにフォーラムを開催した。年1回海外で大阪大学が開いている国際フォーラムの2008年版である。その中心となったのは、すべてこの拠点の研究者だ。

米国には地球環境エネルギーに関する大型プロジェクトが二つある。まずCaltechとMITの連携による太陽電池を含めた太陽エネルギー利用と人工光合成開発「Powering the Planet」。もう一つは、Berkeleyの太陽光エネルギー活用技術開発プロジェクト「Helios」。この米国の二大プロジェクトとグローバルCOE拠点の合体が今回のフォーラムの大きな目的だ。太陽エネルギー研究開発を次の世代へ継承する意味も込めている。

融合する五つの化学分野



「人工光合成研究は日本が世界のトップレベル。米国政府は地球温暖化には冷淡だが、カリフォルニアは熱心だ。大阪大学がカリフォルニアでこのフォーラムを開いたのは、Caltech、MIT、Berkeleyが日本と共同でさらに研究を発展させること、米政府への働きかけという二つの意義がある。大阪大学が間に入ってまとめる」と拠点リーダーの福住俊一教授は意気込む。

この拠点は「エネルギー環境化学」「物質変換環境化学」「分子情報化学」「生命分子化学」「環境生物化学」の5分野で形成している。参画するのは工学、理学、基礎工学の各研究科と太陽エネルギー化学研究センターに所属する29研究グループで、国内のGCOEでも最大規模だ。研究は「太陽エネルギーの利用」に焦点を絞り、化学の知恵を結集する。

拠点の最大の目標は、「人工光合成によって、海水



擬似太陽光を使って作製した
太陽電池の変換効率を測定

化学が 地球を救う



から水素を取り出し、水素エネルギー社会を構築すること」だ。しかし、それにはまだ時間がかかる。近い目標として、製造過程で高いエネルギーを使うシリコン太陽電池に代わる新型有機太陽電池の開発や、グリーンケミストリーといわれる、環境に悪影響を及ぼす化学物質の発生・開発を食い止める取り組みも同時に進めている。

「実は日本には最大の資源がある。日本は面積こそ小さいが、海を含めたテリトリーの大きさでは世界6位。海水から水素が取れば、資源大国だ」と福住教授は主張する。従来から「エネルギー環境化学分野」で取り組んでいる「太陽エネルギーを使い、自然に負荷をかけず、人工光合成システムを分子のエネルギーでつくり出す」ためには、他の4分野との融合がなければ実現できない。

まず水を酸素と水素に分解するためには、さまざまな新しい化合物が必要になる。その化合物の合成には「物質変換環境化学」との連携が欠かせない。この分野はアンモニア工業に代表される高温・高圧プロセスを改善するグリーンケミストリーの実現と



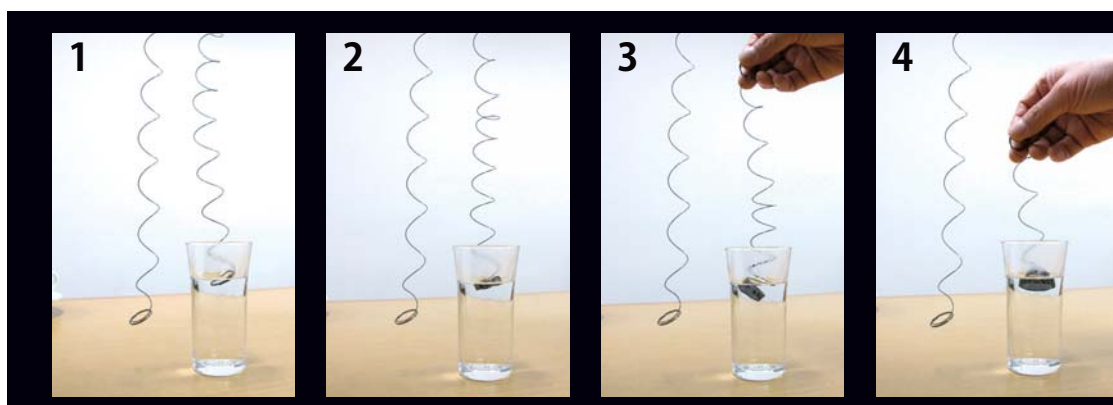
人工光合成分子の光ダイナミクス測定

いう役割も担っている。「分子情報化学」は、分子情報の理論解明、反応解析などを行う分野だ。一方で、光合成細菌や植物にならい分子をうまく生かすための仕組みを化学の立場から追究するのが「生命分子化学」である。「環境生物化学」は、生命そのものを扱う。高温・低温の極限状態に生きる菌の環境に適応するタンパク質の機能に着目するなど、環境に負荷のかからない触媒や材料の開発につながる研究を進めている。

「人工光合成の理論的解明は進んでいる。水から電子とプロトンを取り出せば水素になる。光合成反応中心の構造はすでに解明されている。そのダイナミクスもわかっているので、それを人工的に再現するための分子をつくれれば、同じことができる。実際人工光合成の要となる反応中心のモデルで水の酸化と還元を同時にすることが可能な分子の開発にも成功している。水を還元する触媒はすでにある。ただ、水を酸化する触媒の開発がまだ十分にできていない」と福住教授は言う。この触媒の開発と、それを組み合わせた光触媒システム全体の完成がこの拠点のみ

ならず世界の人工光合成研究者の課題なのだ。

一方、太陽電池については、まず触媒を利用した化学的な手法によって結晶シリコン太陽電池のエネルギー変換効率を上げる、シリコンウエハのスライシング技術を開発しコスト削減を図る研究がある。新型開発では、将来の太陽電池の本命といわれる銅、インジウム、ガリウム、セレンで構成するCIGS薄膜太陽電池がある。希少金属を使うというこの太陽電池が持つ欠点を克服するため、電気化学的手法による省資源型のCIGS薄膜形成に挑んでいる。低コスト、製造が容易、軽量など多くの特長を持つ有機太陽電池はエネルギー変換効率を上げるのが課題だ。拠点では、構造制御された異種材料の界面を形成することによって高効率化できることを解明した。さらに有機/有機界面構造の制御手法開発を進めている。



「材料」導く脱・錬金術

極限状況で最適な

工学研究科

掛下知行 教授

Prof. Tomoyuki KAKESHITA

(材料物性)

金属やセラミック…。私たちの周囲にはさまざまな種類の「材料」があふれている。それらは私たちが見渡す限りでは、常温で1気圧という環境の下で使われている。だが、これらを宇宙や深海に持って行ったら、どうなるのだろうか。

「宇宙」は低温で真空という状況。海底ならば水の圧力がかかり、リニアモーターカーではすごい磁場がかかる。材料というのは、実際はさまざまな状況下で使われるんです」

あらゆる材料を対象に、非常な低温や高圧力、強い磁場などの「極限状況」における強度やメルティング・ポイント(溶解温度)などの特性、構造の変化を研究している。

「日本海溝の水深1万mに持ってゆくと、ある材料に起こると思われていた特性が起こらない場合があるんですね。これは困ります。実際に応用できる形でその特性を『起こさせる』材料が何か、それを指摘してゆくのが我々の仕事です」

(左写真1~4)

●チタンとニッケルの形状記憶合金

コイル状のバネは通常引っぱると針金のように伸びるが、お湯につけると元のバネの形に戻る。これはチタンとニッケルの合成比率を変えることで、元の形状に戻る温度を設定できる。軽くて強力な復元力がある優れもので、海底ケーブルやジェット戦闘機の継ぎ手、医療用ステントなどに用いられている。この温度設定を250℃まで上げることが可能になれば、自動車の電子制御をエネルギーを使わずにできるという。



「すべてを解き明かすには 長い道のりが残っている。 だからこそ夢があり、面白い」

温度や圧力など、材料を取り巻くあらゆる環境・状況(外場)が研究対象となっている。そんな中で今、材料学界で最も注目されているのは、磁場をかけることによる材料組織の変化だという。

「室温で磁場をかけると試料(試験用の材料)の長さが伸びることが分かりました。すると、その材料は磁場や歪みのセンサーとして使えることになる。また、非接触で物を動かしたり、細かく制御したりすることも可能になる」。一つの機能しか持たなかった材料に、複数の機能を持たせることができる。このような多機能化も研究視野に入っている。

材料の研究分野では従来、「やってみなければ分からない」という、どこか錬金術的な面もあったという。そして特性が良く、社会的な応用が利きさえすれば、それでよいとも考えられてきた。

しかし、「私たちが目指しているのは、脱・錬金術なんです」と言葉に力を込める。社会的な要請があったとき、さまざまな実験データから最適な材料を計算によって導き出し、ただちに提供できるようにする。そんな「マテリアル・デザイン」を究極的な目標としている。

とはいえ、あらゆる材料にあらゆる環境条件。研究ですべてを解き明かすには長い道のりが残っている。だからこそ夢があり、面白い。

「この材料で本当に最適なのか。もしかしたら違った材料でもっと強度のあるものができるのでは。セラミックの飛行機だってあり得るのではないか。そういう夢をもって研究に取り組んでいるのです」。穏やかな語り口の向こうに、研究への真摯な姿勢が垣間見えた。

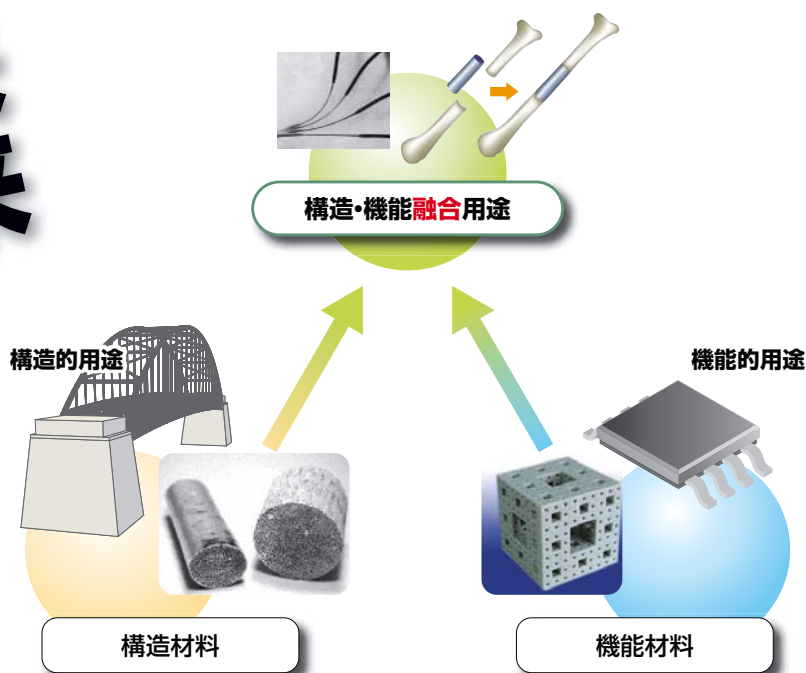
掛下知行(かけした・ともゆき)1952年北海道生まれ。北海道大学理学部卒、理学研究科博士前期課程修了。大阪大学文部技官教務職員、助手、助教授を経て2000年から現職。グローバルCOE「構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点」リーダー。85年と94、04年に日本金属学会論文賞、97年に同学会功績賞を受賞。研究で多忙な毎日だが、時間を見つけては森を歩き、昆虫や植物と触れ合う。



材料が 切り開く未来

私たちの生活に欠かせない「モノ」はすべて材料でできている。巨大な橋やビル、乗り物などの骨格を成す「構造材」、一方、IT社会を支える半導体シリコンなどは「機能材」と呼ばれる。さらに今では構造と機能を併せ持つ材料が開発されている。では、材料をデザインするとはどういうことなのか。

「今の材料づくりは錬金術ではない、ということ。例えば、刀鍛冶は材料である鋼を熱で折り曲げては鍛え、鍛接を繰り返して優れた刀をつくり上げる。経験と勘のなせる技だ。材料デザインは、なぜそれが名刀であるかを説明できなければならない。鍛接は鉄の結晶粒を徐々に小さくし、強度を増す作業。波紋は炭素が微妙に緩やかに傾斜して入っている—という具合に科学的にそれを説明し、材料の組織を制御して、使えるものをつくれるようになること。組織制御が材料デザインのキーワードだ」と拠点リーダーの掛下知行教授は解説する。

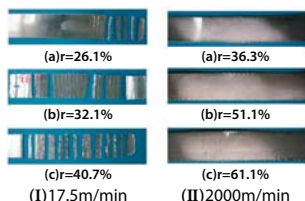
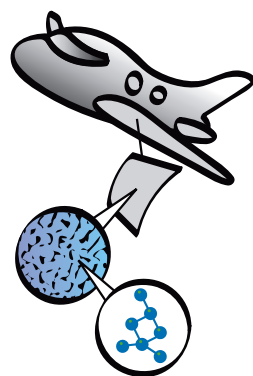


●新しい概念の材料の創出と、デザイン・構造化手法の確立

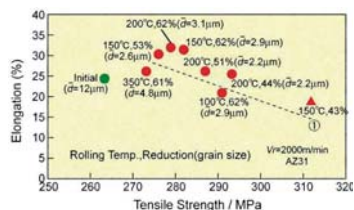
人体から宇宙まで

材料デザインによって生まれた近未来の構造材がある。マグネシウム合金は、軽くて強い特性を活かして携帯電話やパソコンのケースとしての利用が増えている。しかしながら、もろくて加工することが難しい材料でもある。したがって、これまでは溶けたマグネシウム合金を型に流し込んで固めることで部材が製造されていた。ところが、マグネシウム合金を非常に速い速度で加工すると、もろさを示すことなく大きな加工が可能であることがこの拠点で発見された。金属は、高速で加工するほどもろくなるという常識を覆す発見である。この方法は板材を高速で大量に製造できることに加えて、製造された材料の組織も微細で、機械的性質にも優れていることもまた明らかになった。この方法で製造されたマグネシウム合金が自動車などに使用され、燃費やCO₂排出の削減に貢献する日は近い。

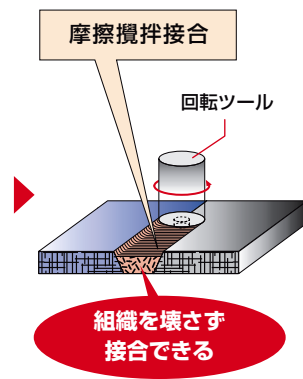
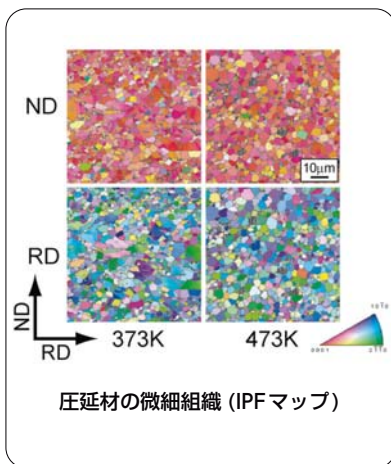
さらに画期的なことに、構造材を溶融させずに接合する摩擦攪拌接合という方法も研究している。接合する材料同士を機械的に混ぜ合わせる手法で、金属の組織を壊さず、強度と粘りを保ったまま完全に一体化できる技術だ。このように材料を実際の社会に使えるようにするプロセス、つまり接合技術などの基盤テクノロジー開発もこの拠点のターゲットである。



高速圧延による圧延性の改善



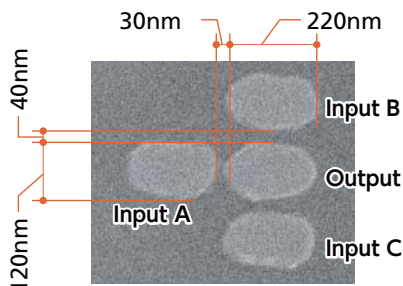
バランスに優れた機械的性質



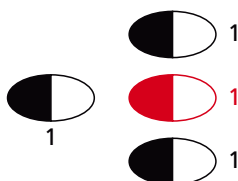
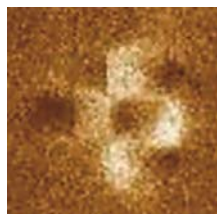
● 高速強圧延による微細粒マグネシウム合金

ときめき
研究
最前線

●新しいコンセプトでの次世代メモリー



磁化の方向として情報を記録し、磁性体間の相互作用により演算を実行できる



記録と論理演算を1つの素子で実行できる

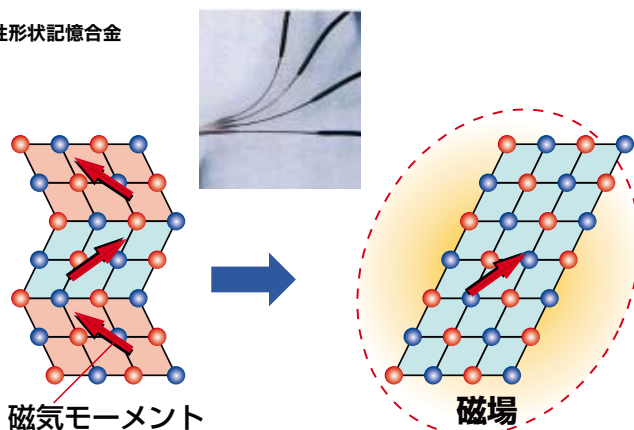
マクロな構造材に続いて、次はミクロな機能材、次世代のメモリーのデザインを紹介しよう。メモリーと演算は、通常異なる素子で実行される。演算結果のメモリー素子への転送に時間を要し、動作速度が低下する原因になっている。拠点では、ナノサイズの磁性体を用いて演算も可能なメモリー、ロジック・イン・メモリーを開発している。磁性体の磁化方向をメモリーの0・1に対応させ、磁性体間の相互作用で演算を実行する。磁性体を利用することで待機時に電力を必要としないことから、消費電力も低減される。四つの磁性体をT字型に配置させることが秘訣だという。

新たに構造と機能を併せ持つ材料も注目されている。何者も触れることなく、磁場を使って自在の方向に曲げることができる「強磁性形状記憶合金」である。非接触で曲がったこの金属に磁場をかけると10%もの伸びを示す。逆に緩めると元に戻る。応力とひずみの磁化が1対1で対応している。この動きをアクチュエーター(エネルギーを機械的な運動に変えて動作させる装置)に、また、ひずみの量を磁化で計ることによって、感度の良いセンサーとしても使えるという。

もう一つレンコンのように穴の開いた「ポーラス(多孔質)金属」も構造と機能を融合した新材料として期待を集めている。チタン、鉄、銅などに開ける

●強磁性形状記憶合金

材料が
切り開く未来



磁気モーメント

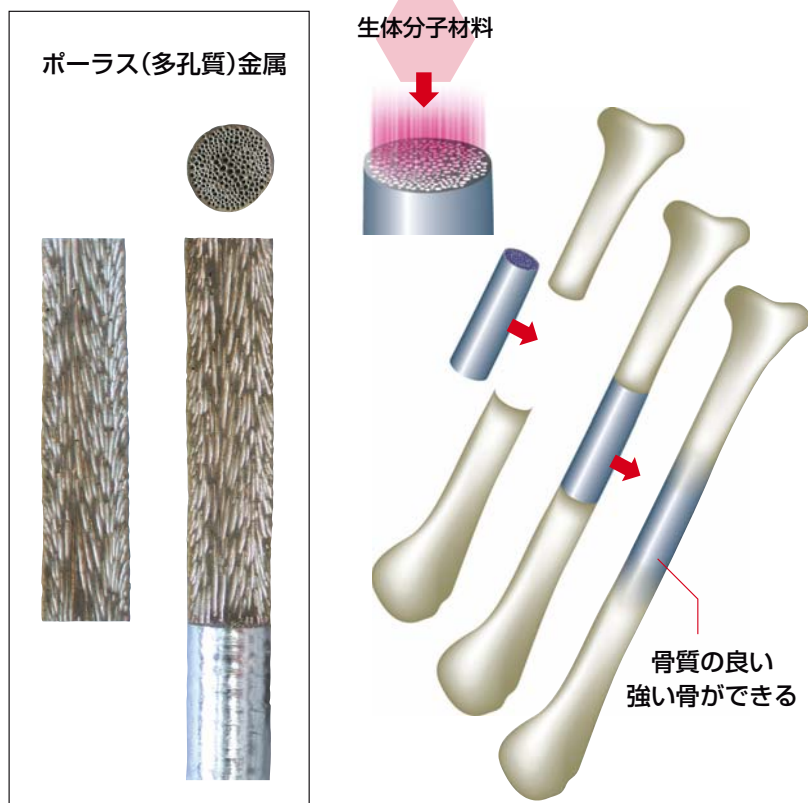
磁場

穴の大きさ、長さを自在にコントロールできるプロセスは拠点独自のものだ。高温のガスで金属を溶かし、それを冷やして固まる時に、金属に溶けたガスを一方向に逃がして穴をつくる仕組みである。

ポーラスチタンを骨の再生に使う試みがある。損傷した骨の治療は、骨を復元する再生医療と金属材料で機能を代替するのが二つの流れだ。しかし、この研究は双方を融合させる方向を狙う。骨は、主にアパタイトとコラーゲンでできている。骨の強度を担うアパタイトの配列を材料学的手法で解き明かしたのがこの研究の端緒である。アパタイトの結晶配列は体の部位によって力のかかる方向に沿って向いている。再生医学的方法で治った骨はこの結晶配列が失われ、骨量は増えるものの骨質は元に戻っていない。それを克服するため、この拠点ではポーラス

チタンとその孔に骨誘導を引き起こす材料を入れて強い骨の再生を図る。結晶配列の解析は骨粗しょう症などの創薬支援としても期待されている。この研究は、航空・宇宙材料開発のチタン研究とポーラス金属の製造技術を融合し、人体に応用した材料分野ならではの発想によって生まれた。ポーラス金属は航空機や工作機など幅広い分野での応用が見込まれている。

掛下教授は「大阪大学は材料研究のメッカ。その組織力で日常に使われるものだけでなく、宇宙、地底、海底、核融合などの極限条件でも構造と機能をデザインできる材料づくりで大きな成果をあげている。社会から理想的な材料を求められた時、原子レベルから素材の構造、強度、特性を紙と鉛筆だけで説明できるようになるのが我々の夢」と話している。



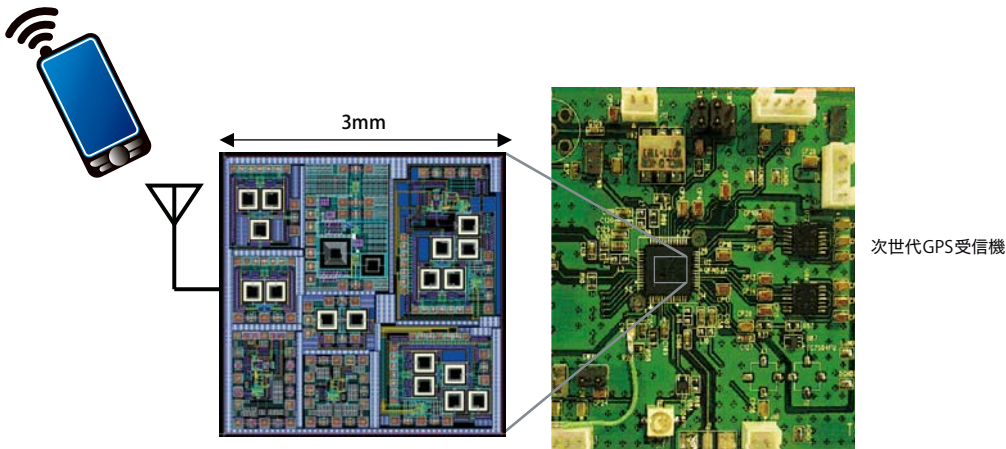
● ポーラス(多孔質)金属の応用例

「アナログの大切さ」 若い世代に伝えたい

工学研究科

谷口研二 教授 Prof. Kenji TANIGUCHI
(半導体デバイス工学)

携帯電話で使われている無線通信方式CDMAは、同じ場所で同じ周波数を使い、別々の人が通信できる技術として広く使われている。「信号に暗号が入っていて、その暗号を知っている携帯電話だけが通信できる。この仕組みをコンピューターの集積回路の上で利用しようと考えています」と、中心的な研究テーマを語る。



● 高周波無線用の集積回路

人工衛星からの複数の電波を取り込むことで、さまざまな補正を加えて、自動車や携帯電話の位置を正確に計測する集積回路。従来の位置精度は数m程度でしたが、次世代のGPS受信器では数十μmの精度で位置を確定できる。

例えば、高速道路の下か上かの違いや、建物の中で何階にいるかが区別できる。

「**今**のコンピューターのCPU(中央演算処理装置)は、スーパーマンが1人で大忙しで仕事をしている感じ。これを普通の人たちがみんなで同時に働くようなシステムにしようということです」と、目に見えない世界を分かりやすく説明する。「ICの中にインターネットを作る。暗号を読める機械を1平方μmに1億個、100層あれば100億個配置できる。キューブにすれば、すごい世界になりますよ」

実現すれば、コンピューター内部の配線数を劇的



「なぜ、この勉強が必要かを 学生たちに教えないと」

谷口研二(たにくち・けんじ)1948年愛媛県生まれ。小学2年の時、神戸市へ。科学好きで中学3年のとき天文部を作る。大阪大学工学部卒、工学研究科修士課程修了。東芝総合研究所主任研究員を経て、大阪大学工学部助教授に。96年から教授。グローバルCOE「次世代電子デバイス教育研究開発拠点」リーダー。

に減らすことができる。人間の脳を人工的に作ろうとすれば140億の2乗の配線が必要になるとされるが、それさえも可能になるという。

大学院にいた若いころ、「教授とけんかして」学者への道を断念し、電機メーカーの研究所に就職した。配属されたのはLSIの材料部門だった。「設計に行きたかったのが、最初のころは嫌で嫌でたまらなかった」と苦笑いする。

入社3年目に周りの人たちから頼りにされていることを知り、気持ちが変わった。「コンピューターを使える材料屋は当時、僕だけだった。僕がおらなあかん」と思い、以来10年間、企業マンとしてがむしゃらに働いた。日曜日も自宅に若手を集めて勉強会を開き、「谷口スクール」と呼ばれたほど。

だが、大学の研究室に戻りたいという思いはずっと抱き続けていたという。「やりたいことがやれる」がその最大の魅力。

思い立ったら行動は早い。3カ月で学位論文を書

いて博士号を取得し、大学に戻ってきた。「民間出身」の学者とあって企業に知り合いが多く、共同研究は年間20件近い。企業で欠けている技術を研究室で開発し提供している。

ずっと電気の基礎研究を続けてきて思うことは「アナログ技術の大切さ」だという。画像処理など、デジタルを組み込んだアナログ回路がメインになりつつある。

「デジタルはソフトを作る知識があれば子供でもできる。アナログはそうはいかない、電気の基礎知識が要る。学生もアナログは難しいからやろうとしない」。日本は技術者育成の面で欧米に圧倒的に先行を許している、と指摘する。

「だから、教育が重要。電気系ではICが分からないと先へ進めないんです。なぜ、この勉強が必要かを学生たちに教えないと。これまで得てきた知識を若い世代に伝えたい」と、人材育成についても熱く語った。

非常識が生んだ タンパク質結晶化技術

工学研究科

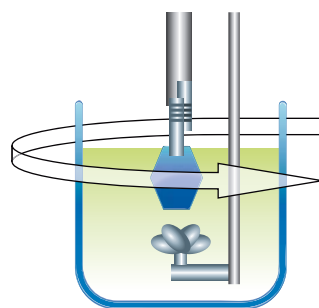
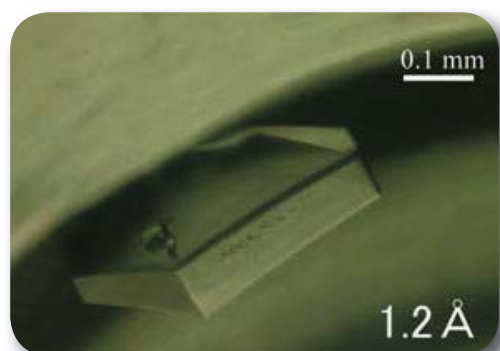
森 勇介 教授

Prof. Yusuke MORI

(結晶工学)

新薬の開発に欠かせないタンパク質の結晶化に、レーザー照射と攪拌という画期的な技術で成功した。人を病気にするタンパク質の分子構造を目に見えるようにする大切なステップで、構造が分かれば薬の開発は飛躍的に容易になる。

溶液攪拌法による結晶化



溶液を攪拌しながら結晶を育成

きっかけは、半導体部品加工や検査に最適な短い波長の光を発する波長変換結晶「セシウムリチウムボレート結晶」を、世界で初めて開発したことだった。「波長を半減して紫外線をよく出す。でも最初は結晶自身が出した紫外線によってよく壊れたんですよ」。原料溶液を攪拌して結晶の種を育成すれば、品質が飛躍的に向上するという手法をこのとき確立した。

その溶液攪拌は、ひらめきだった。自宅で風呂に入っているとき「お湯をかき混ぜると気持ちいい。結

晶もかき混ぜたら気持ちいいんじゃないかと思った」。

その技術をタンパク質に転用する発想も、専門家には「常識はずれ」だった。タンパク質の結晶を作るのはきわめて難しい。まず溶液中で種を発生させ、その後、溶液を決して動かさないように育成しなくてはいけない。それがバイオ研究者の常識だった。しかし、最初に結晶の種を発生させるのも一苦勞。溶液を長時間蒸発させ高密度にするとかろうじてできる程度で、その後の育成もなかなかうまくできないでいた。

「有機結晶でも同じ問題があって、結晶の種を発生させるには何か刺激を与えたらいいんじゃないかと試行錯誤していた。溶液にレーザーを当てたらそのショックで有機結晶の種ができたんですね。タンパク質にも役に立つかも、と思ってやってみた」。レーザー照射と溶液攪拌の技術で、見事に品質の良いタンパク質結晶ができたのだった。

技術は自ら代表取締役を務める大阪大学発のベンチャー企業「創晶」(安達宏昭社長、2005年設立)で事業化した。製薬会社など国内50社以上から注文が相次ぎ、欧米からの依頼も増えている。

「僕はタンパク質の専門家ではないから、やれたんだと思う。非常識から新しいものが始まった」と笑う。

現在、取り組んでいるのは、次世代の光・電子デバイスとして注目される窒化ガリウム。高品質で大型の結晶を作ろうとしている。



「これは省エネプロジェクトです。この半導体は光素子、パワー素子などいろいろ使える。白色発光ダイオードが安くなれば蛍光灯にとって代わるし、ブルーレイも安くなりますよ」。照明用として実用化すれば、日本全土に植林するのと同じくらい二酸化炭素量を減らすことができるという。

「日本をいかに活性化できるか。それが僕のミッション」と言い切る若き研究者の旺盛な研究意欲は、一分野にとどまることはない。

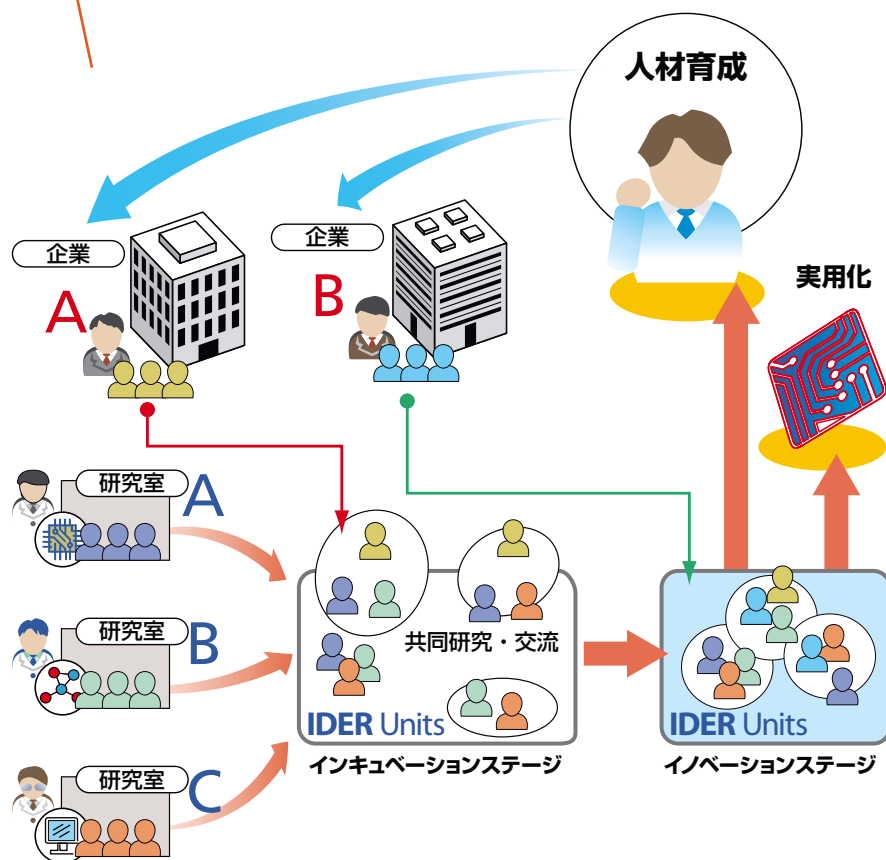
「日本をいかに活性化できるか。
それが僕のミッション」



森勇介(もり・ゆうすけ) 1966年大阪府生まれ。大阪大学工学部卒、工学研究科博士課程前期修了。工学部助手、工学研究科助教授などを経て07年から教授。この間の05年から株式会社創晶代表取締役(兼業)。06年に第16回日経BP技術賞大賞、第4回産学官連携功労者表彰科学技術政策担当大臣賞などを、07年、08年と文部科学大臣表彰(科学技術・研究部門)を連続受賞。



「真の博士」 とは？



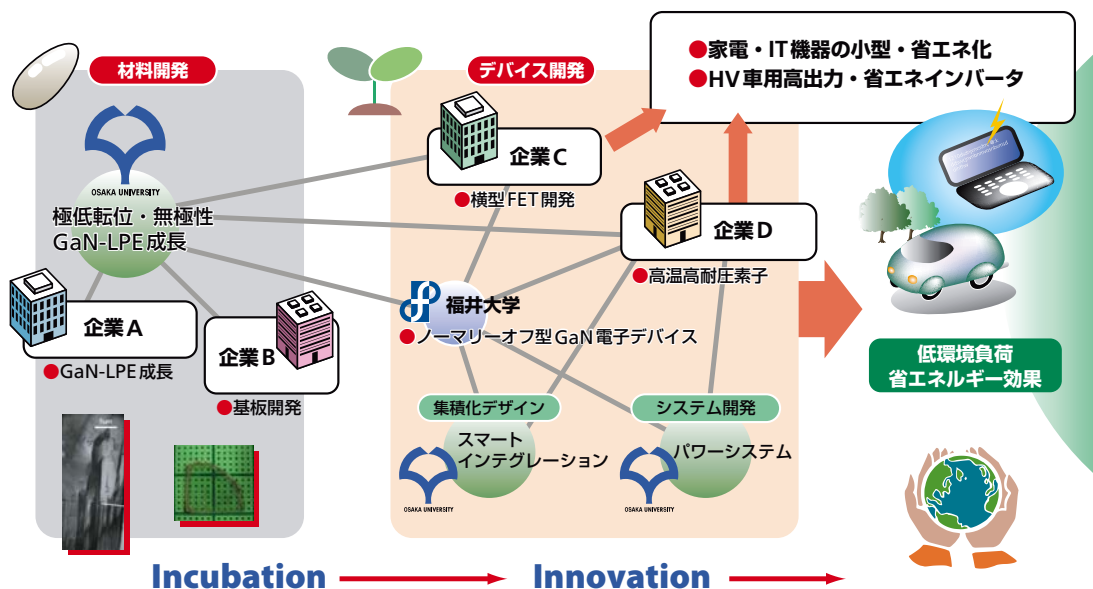
大学によく見られがちなタコつぼ型研究からの脱却を目指す「学生と教員の意識改革」がこの拠点の最大の狙いだ。

テーマの「次世代電子デバイス」は材料、デバイス、システムに関する研究室同士の“橋渡し”となる。「IDERユニット」という研究室の枠を超えた数人～十数人のグループがプロジェクト形式で、知識を出し合いながら次世代を担う電子デバイスを開発する。企業、海外研究機関も巻き込み、今までにない成果を出そうとしている。

研究室は縦、プロジェクトは横のつながりである。オーケストラに例えれば、演奏家を養成するのが研究室の教授で、プロジェクトリーダーは指揮者のようなものだ。材料、デバイス、システムの研究開発をインキュベーションステージからイノベーションステージへとつなげるために、IDERユニットが数々のプロジェクトに取り組んでいる。ユニットは若さが売り物でもある。准教授以下の30歳代を中心に若手がリーダーとなり、協力して国際会議も開く。教授の了解なく横の付き合いを深めることも奨励している。

IDERユニットで 学生・教員の意識改革

●窒化半導体をシーズとしたIDER計画例



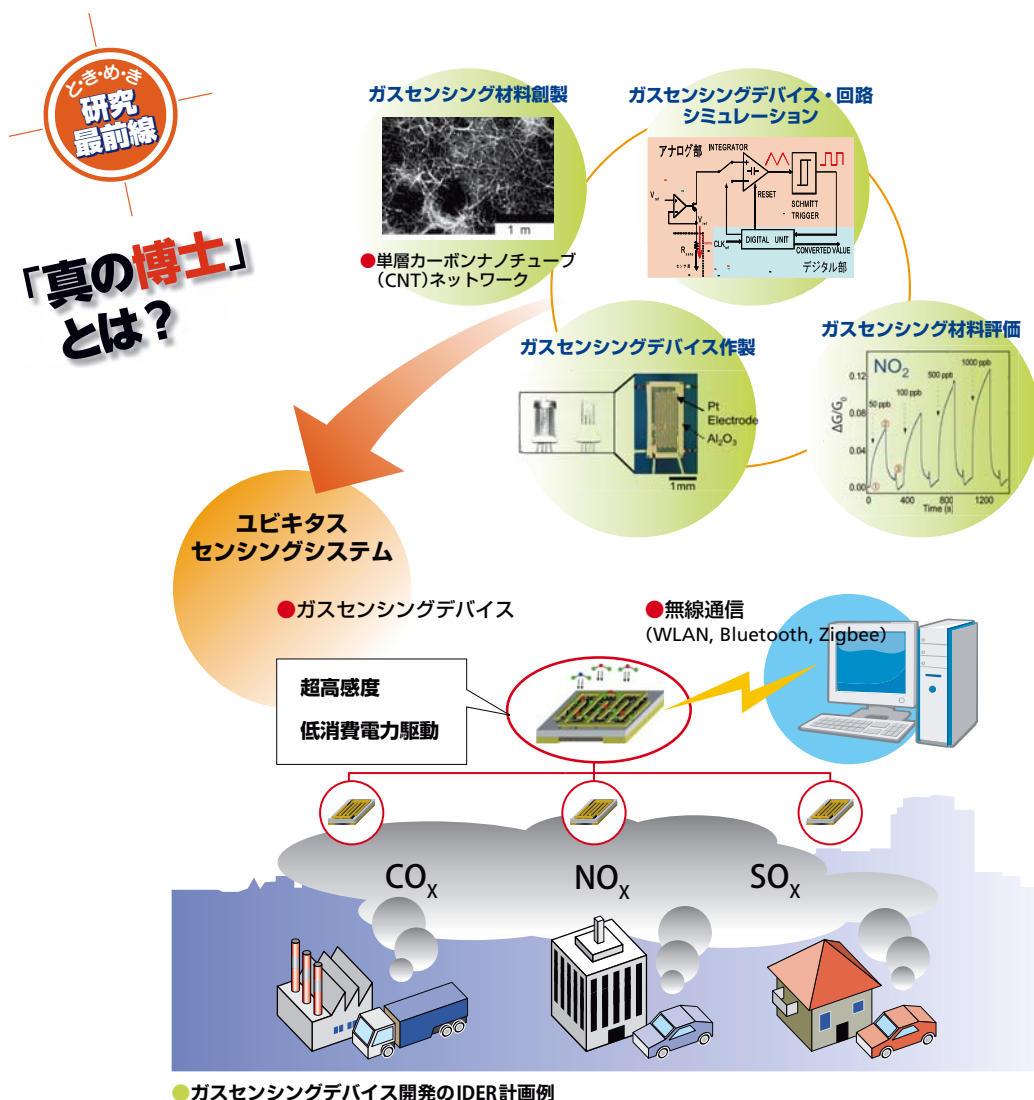
研究開発は、安全・安心、低環境負荷で信頼性のある社会の実現を目指して「センシングデバイス」「フォトニックデバイス」「パワーデバイス」の開発、それらの研究を支援する「材料開発」「評価解析」「インテグレーション」の6部門が協力し合う構図となっている。

IDERユニットによるプロジェクトの一例として、青色発光ダイオードなどで注目されているGaN(窒化ガリウム)半導体をパワーデバイスとして応用する研究を紹介しよう。

GaN半導体は、耐圧が非常に高く、高温に強いといった特性があり、次世代デバイスとして期待されているが、元来GaNの結晶は欠陥が多く使い物にならなかった。このユニットのコアは、窒化ガリウムを液体中で結晶育成(LPE成長)し、従来の約10万分の1のオーダーに欠陥を解消する世界一の技術である。最先端の材料開発部門と出来上がったデバイス材料を評価する評価解析部門が協力して最高品質の

GaNをつくり上げる。材料づくりと分析が協力すれば融通が利いて研究の進展も早い。そうした動きが企業で仕事をする時にも生きてくる。そして、パワーデバイスを動かすためにアナログをデジタルに変換するグループがある。接点をつなぐ役割を果たすインテグレーション部門だ。企業の研究員も交え、将来的にパワーデバイスが自動車に搭載できるまで段階的に複数のユニットで完結させる予定である。

また、環境問題を視野に入れた高精度で消費電力の少ない「ユビキタス環境汚染ガスセンシングシステム」を開発するユニットもある。このシステムは、大気をセンシングするデバイス開発や集めたデータを中央処理装置に無線で送信する技術などで構成している。さまざまなガスを分離して計測するセンシングデバイスと無線を統合するために、企業の研究員も交えてユニットを組む。このプロジェクトも「超高度カーボンナノチューブセンシングデバイス」という世界に誇る材料開発がシーズとなっている。



この拠点に参加するユニットは14ユニット。それぞれに若手教員のリーダーがおり、ドクターコース、一部マスターコースの学生も入って、プロジェクトを進めている。プロジェクトへの参画によって博士論文が疎かにならないようシニア教員がアドバイスする体制になっている。

IDERのバックボーンとなる教育スタイルもユニークだ。「社会や企業が求めるのは深い知識よりも、広い視野を持ち全体を俯瞰できる能力のある人材。企業は技術革新の流れに沿って研究の方向を変える。大学院で覚えた知識は、5年もすれば役に立たなくなる。そんな時にも困らない『ドクター・オブ・フィロソフィ(真の博士)』を育てたい」。そう語る拠点リーダーの谷口研二教授は「教材」として持論の「シリコン学」を活用する。2007年度から合宿セミナー

を何度も実施し、「シリコンを学ばずして、シリコンは超えられない」と学生に説いている。

「ICの素材はすべてシリコン。膨大な人、何兆円という開発費がその技術にかかっている。そこで得た知恵袋のような集合知を新しい材料開発に使う。多量の実験データから普遍的な原理を形式知として抽出する。形式知を使って『この材料とこれを組み合わせればできるけれども、これは無理だろう』というような仮想実験が頭の中のできるようになると圧倒的に材料開発の効率が違ってくる。多量のデータを覚えるのではなく、物事が成り立つ本質のところをつかむ知恵を身につけた人、それがドクター・オブ・フィロソフィだ」

※IDER(Innovation-oriented Dynamic Education and Research)

大阪大学発！
ときめきサイエンス

第9章

複雑化する

世界と経済

グローバル化によって世界はめまぐるしく変容している。人類学、政治学、法学、経済学…研究者たちが現場と密着することなくして、世界とうまく関わっていくことはできない。



グローバル化 現実を理解するため 現場へ

小泉潤二 理事・副学長

Trustees & Vice Presidents Junji KOIZUMI

(文化人類学)

「ものすごいショックを受けた。空気、匂い、地面をはうアリ1匹まで。ここには何かあると思った」。中米・グアテマラの農村を語るとき、子供のように顔が輝く。1978年から1年半、グアテマラの農村に住み込んで人々の生活を目で見て、耳で聞いた。政情不安で入国できなかった80年代を除き、その後も繰り返しグアテマラに通い、グローバル化に伴って変化する農村部を「定点観測」し続けている。



「**地表面**」での研究から、グローバルに何が起きているかを知っていこう、読みとっていこうという姿勢ですね。解釈学的アプローチと呼んでいます。現実を理解するには現場へ行くしかない。理解しようとし続ける継続的なプロセスしかない」と言い切る。

こうした解釈人類学のアプローチと方法を最初に知ったきっかけは、スタンフォード大学留学中に出会った米国の人類学者、クリフォード・ギアツ(1926～2006)の著作だった。

「人文社会科学を大転回させたとされる人です。それまでの人類学の枠を超えて、歴史や政治、経済、イデオロギー、宗教、常識、芸術に至るまで人間活動にかかわるあらゆることについて極端に鋭い分析をしていた。本や論文を読んで、これはすごいと思った」

96年から97年にかけて在籍したプリンストン高等研究所で、そのギアツと同じ時を過ごした。「かつてアインシュタインも在籍した、すべての大学の上に位置するとされる最高峰の研究所です。人類学者はギアツを入れて3人だけでした。自分の研究や経験について話し、批判を受ける。1年間、ずっと対話



を続けた。研究者としてあんなに幸せなことはなかったですね」と振り返る。

この解釈人類学の立場から、グローバル化の中で起きるさまざまなコンフリクト(紛争・対立)を研究している。

コンフリクトを経済や政治的イデオロギーの対立、宗教や民族の違いといった図式でとらえるのではなく、現地で生きている人々の語りに耳を傾け、立場によって持っている価値が違うことを理解していこうとする。

大阪大学のグローバルCOE「コンフリクトの人文科学国際研究教育拠点」の拠点リーダーを務める一方、07年4月、GLOCOL(グローバルコラボレーションセンター)を設立した。



「これからの国際協力は、困っている人を上から助けるという発想から、途上地域に寄り添い現地の視点から協力するという姿勢になる。阪大でも各分野で断片的に国際協力をしているが、GLOCOLはそのための中心になろうとしているのです」

国際協力そのものを研究対象に、学生を途上国に限らず「フィールドワーク」に参加させるなど、研究と教育、実践を合わせて推進しようとしている。

「コンフリクトをなくすことはできないが、軽減することはできる。その方策を探って、提言していきたい」。自他ともに認めるギアツ人類学理解の第一人者は力強く語った。

08年7月、大阪大学で人類学会世界協議会(WCAA)の会議が開かれた。全世界の人類学会の代表を集め、3日間にわたり人類学における国際協力、国際協力のための人類学について討論と報告が行われた。この協議会の代表幹事・会長を歴任したあと、国際人類学民族科学連合(IUAES)の事務局長を務めている。現在は大阪大学の理事・副学長・附属図書館長としても多忙な毎日。

「コンフリクトを なくすことはできないが 軽減することはできる」

小泉潤二(こいずみ・じゅんじ)1948年東京都生まれ。東京大学教養学部卒、同社会学部研究科修士課程修了、スタンフォード大学大学院博士課程修了、人類学博士。愛知県立大学、新潟大学助教授、大阪大学人間科学部教授、プリンストン高等研究所招聘研究員などを経て2000年から大阪大学人間科学研究科教授。04年同研究科長、07年大阪大学理事・副学長。趣味は多彩で、かつてはピアノとヴィオラを演奏し、旅行先では必ず現地の音楽CDを買い求める。調査地で撮影した写真は数千枚。歩き回ることや、ドライブ、庭仕事も好き。

真の国際化に適応できる 人材育成の場に

人間科学研究科

栗本英世 教授 Prof. Eisei KURIMOTO

(社会人類学)

研究の手法は、五感でつかみとるフィールドワーク。
スーダンとエチオピアで、人々の暮らしを人類学の観
点から分析して研究を進めている。



栗本英世(くりもと・えいせい)1957年奈良県生まれ。京都大学文学部
卒、文学研究科博士課程修了。国立民族学博物館助教授、総合研究大
学院大学文化科学研究科助教授を経て2000年から大阪大学人間科学研
究科教授、07年からグローバルコラボレーションセンター長を兼任。
趣味の散歩で鍛えた足で同年1月、22年ぶりに南部スーダンを調査の
ために訪れ、丸3日歩き続けた。「自分の足で見る風景は全然違います」

「英語が話せるだけが国際化じゃない」



武器の拡散は、世界各地で大きな問題となっている。内戦下の南部スーダンで、この少年が身に着けているのは、1丁の自動小銃だけだ。写真の井戸は、内戦中でも援助が進行していることを示している。

対象はアフリカ・スーダン共和国南部のサバナ平原に暮らす少数民族、パリ人。人口約1万人の酋長制社会で、ほぼ自給自足での生活を送る。スーダンは20年以上に及ぶ内戦で、約250万人が命を落とし、数百万人もの難民を生んだ。

「難民キャンプでは、あらゆる民族がスーダン人の“難民”と一くくりにされ、内戦で対立し合う民族が同じようにまとめられる。対立関係がさらに深まってしまう矛盾も目の当たりにし、難民問題の根深さと援助の矛盾を突きつけられました。パリ人が内戦に巻き込まれ、難民問題や援助にまで研究領域が広がりました」

1978年、初めてスーダンの少数民族、パリ人の集落を訪れ、約2カ月間住み込んだ。水道、電気、ガスなどのライフラインはない。六つある村のうちの一つに身を寄せたが、身ぶり手ぶりでのやりとりで交流を深めた。

「村に飛び込んでみると村人は思いのほか友好的で、好感も持てた。友人や知人も少しずつ増えていった。集落には同年代の男が集まる『年齢組織』があり、長老衆らで村の中のことを決めるなど、日本にはない社会構造があり興味深かった」。1985年までに5回にわたって現地を訪れ、合計の滞在期間は3年を超えた。

2007年4月に創設されたGLOCOL(グローバルコラボレーションセンター)のセンター長に同年8月就任した。そこでは自身の研究を通して、得たことを生かし、後進の育成に力を注ぐ。「現地の大学や国際NGO、国連機関、政府との連携がいかに関難かということ。研究にはいろんな壁が立ちほだかる。それを学生たちに学ばせたい。国際協力そのものを研究対象にして、学生たちをフィールドワークに参加させ、研究と教育、実践を同時に進めたい」。研究者を目指す人だけでなく、国際公務員、国際協力関係の仕事に将来就きたい人のためにも意味がある、と言葉を続ける。

「英語が話せるだけが国際化じゃない。相手の立場に立てる想像力と文化を超えたコミュニケーション能力が求められていく。何よりも他人に対する優しさを失わずにタフに生きることができる人」と真の国際化を定義する。

GLOCOLは真の国際化に適応できる人材育成の場を目指している。



徹底して貫かれる 現場主義

中米グアテマラは、先住民と非先住民の二分法のもとに国家が構成されてきた。北西部の地方都市のバスターミナルで。



このプログラムが研究の対象とする「コンフリクト」とは、とくに1990年代以降、世界のグローバル化、複雑化が急速に進んだことによって生まれた集団間の紛争、摩擦、対立、矛盾などを指す。政治、経済、宗教に限らず、文化、科学、言語、芸術など「価値の違い」に起因するコンフリクトの問題が国内外あらゆるところに横たわっている。グローバルCOEでは、こうした「価値対立」の意味を重視する。価値の違いによって生まれるコンフリクトは、時に人々の日常生活や文化、産業、教育も含めすべてを破壊することがある。

コンフリクトはその内側に置かれている人々の思考や感情や行動によりもたらされる。ただ、人間ほど複雑で多様で理解し難い存在はない。そこに法則性や普遍性を見出すことは困難を極め、ほとんど不可能とも思われる。「民族の対立」「利害の対立」「宗教の対立」「階級の対立」といった単純化し図式化された常識的説明は、その解決の糸口となり得る分析として成り立っていないものが余りに多い。

このグローバルCOEはそうした枠組みとは違った立ち位置からコンフリクトを追究している。拠点リーダーの小泉潤二教授は「人文学の立場でのコンフリクト研究は現場を最重要視する。実際に国際的な現場で何が起きているのかを経験的に、実証的にとらえて、問題がどこにあるのかを緻密に、また重層的

コンフリクトの理解と 「人間の安全保障」実現に近づくために



グアテマラ。とくに農村部では、対比的な民族間関係が視覚的に明瞭になることがある。先住民共同体の凝集性と非先住民との対比が現れた例。

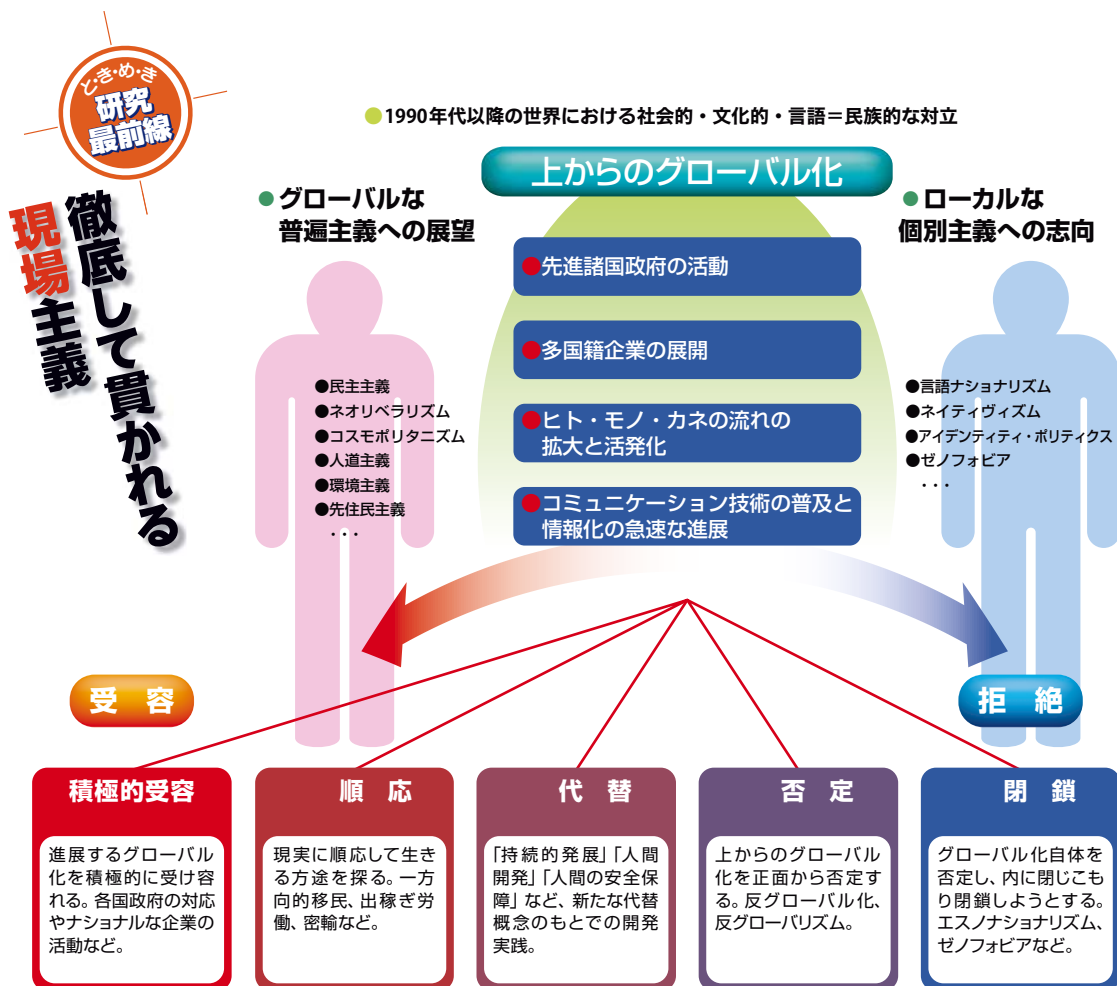
に考える。上から単純な図式を張り付けるのではなく、現地に足を運んでのデータ収集がすべての出発点」という。

具体的には、人間科学・文学両研究科とグローバルコラボレーションセンター(GLOCOL)、コミュニケーションデザイン・センター(CSCD)に所属する文化人類学、言語学、芸術学、哲学、歴史学、社会学、教育学、国際協力学、人間開発学などの研究者が融合・横断的に問題領域を設定して研究プロジェクトを進めている。テーマは「トランスナショナルティ(国境を越えた相互作用)」「グローバリゼーション」「言語接触とコンフリクト」「人間の安全保障」「人道と人権」「コンフリクトと価値」「交錯するアートメディア」「横断するポピュラーカルチャー」の8領域。

「コンフリクトの問題は人が対象なので、極めて複雑で難しい。武力による解決法がとられたりもする。その難解さをまず現場で理解する。『文明の衝突』や『歴史の終焉』といったわかりやすい枠組みに落とし

込むのではない。世界各地で生きる人々の視点と行動を『現在進行形』でとらえ、たとえ得られるものが不完全な理解であっても、それを絶えず修正する。その枠組みや理論により得られるものを再び現実に投げかけ、フィードバックして理解を深めていくしかない。そこからコンフリクトを軽減、緩和するための実際的な方策を探る」と小泉教授は話している。

国際シンポジウム等の試みは、各々の研究分野の議論を深めるだけでなく、世界中に濃密なネットワークを築いていく手段として、アカデミズムにとって大きな意義をもつ。本プログラムでは、2007年度・2008年度を通じて六つの国際シンポジウムを開催してきた。代表的なものとして、2008年3月の「グローバリゼーション、差異、人間の安全保障」、および2008年8月のサンパウロ大学(ブラジル)との共同企画「移動とアイデンティティー・コンフリクトと新たな地平―」がある。2009年度にはさらに四つが開催された。4月の「開発を問い直す―脱開発、グロー



「グローバル化と人間の条件」には、英、米、豪、カナダ、ニュージーランド、ブラジル、台湾などから多数の研究者が集い、4日間にわたって活発な議論が交わされた。また、12月のシンポジウム「アンデス言説をめぐるコンフリクト」においても、南北アメリカの多数の研究者とのあいだで対話が行われた。2010年2月には、「哲学治療学と臨床哲学」、および韓国江原大学の研究者を招聘した「コンフリクトを軽減する対話と実践—人文治療学の挑戦」が開催された。2010年9月にはオランダで「Osaka University Forum 2010」を主催している。本プログラムの主要な活動のひとつである「コンフリクトの人文・国際セミナー」は、2009年度の終わりまでに45回を数え、うち21回は海外から講師を招聘した。こうした研究の成果は、多数の個別学術論文や著書として出版されているほか、本プログラムの機関誌である『コンフリクトの人文・国際』(大阪大学出版会)として刊行されており、その様子をホームページでも見ることができる。

フィールドワークによる綿密な現実理解に基づき、コンフリクトと流動化の中で生きる個々人の視点と実践を、現在進行形のプロセスの内に臨時的に分析する。問題の解消ではなく緩和に向かうような現実的な取り組みを、対話と理解の中に目指す。

一方で、大阪大学全体が一致協力して国際貢献に取り組む組織としてのGLOCOLがある。GLOCOLは、鷲田清一現総長が拠点リーダーとして推進した21世紀COE「インターフェイスの人文・国際」でのトランスナショナルな研究部門を基盤とし、07年10月の大阪外国語大学との統合を契機として、同年4月に小泉教授のイニシアティブのもとで誕生した。コンフリクトの人文・国際が基礎研究を積み重ね、連携協力するGLOCOLが具体的な国際貢献活動も推し進めていく。両者は表裏一体の関係にある。

国産第1号の 電子顕微鏡

column

日本の電子顕微鏡研究は、ドイツでの発明の直後1934(昭和9)年に大阪大学講師、菅田栄治により始められた。放出型電子顕微鏡の試作に始まり、1939年、国産第1号が組み上げられた。この研究が世界に冠たる日本の電子顕微鏡研究の礎となり、第1号電子顕微鏡は科学技術史における資料価値も極めて高い。



肉眼では見えない世界を見たいという飽くなき探求心。それは光学顕微鏡、電子顕微鏡、超高圧電子顕微鏡を生み、細胞などのより小さい分子の構造や仕組みを明らかにするために、X線構造解析などの「見る技術」を発展させた。

大阪大学総合学術博物館2階の展示室「みる科学」では、国産第1号の電子顕微鏡や1952年に完成した3号機、そして、日本で最初にX線結晶構造解析されたタンパク質シトクロームcの結晶構造模型などを展示。世界最高加速電圧300万ボルトを誇る大阪大学の超高圧電子顕微鏡、世界最高のX線光源「SPring-8」を利用した世界最先端のタンパク質構造解析などの研究について紹介している。

国連外交最前線の 経験伝える

国際公共政策研究科

星野俊也 教授 Prof. Toshiya HOSHINO

(国際政治、国際安全保障)



ジュネーブの国連欧州本部

国際連合における政策決定のプロセス研究から分析まで、表舞台だけでなく、水面下で日々繰り上げられる生の国際政治を扱う。また、内閣府の職員や自衛官と災害に備えた危機管理のあり方について議論するなど、実践的な取り組みが特徴だ。

「外交ではいかに交渉の主導権を握るかが重要」と、紛争解決やPKO派遣に向けた国連安全保障理事会の決議づくりなど、国際交渉におけるさまざまな場面を想定したシミュレーションの議論を通じ、学生のリーダーシップを養成する。

2006年8月から2年間、外務省に出向した。ニューヨークの国連日本代表部公使として国連外交の最前線に身を置いた。「赴任時、日本は安保理に非常任理事国の議席をもっており、同年10月の北朝鮮核実験に対する制裁決議の策定にも立ち会うことができた。緊張感に満ちた日々だった」と振り返る。

その後、アフリカのシエラレオネやブルンジなどの紛争後の平和構築戦略プロセス作りに携わった。

星野俊也(ほしの・としや)1959年群馬県生まれ。上智大学外国語学部卒、東京大学修士、博士課程を経て、大阪大学で博士号を取得。日本国際問題研究所主任研究員などを経て現職。専門は国際政治、国連外交など。防衛省や自衛隊と連携した「国際安全保障ワークショップ」などユニークな取り組みで知られる。





ニューヨーク国連本部(毎日新聞社提供)

「熱意のある学生の 問題意識を高め、 キャリアを後押ししたい」

ボスニア、スーダン、東ティモールなど紛争地を訪ねた経験をもつ。これらの経験を生かし、今年はじめ、大学院内に「国連政策研究センター」を立ち上げた。「国連を理想化する必要はありませんし、幻滅することもない。まずは国連を知ってもらいたい」これまでテーマにしてきた、紛争解決や人道危機における国連の役割研究に加え、(1)NGO、市民社会と国連とのかかわり方の研究、(2)国連など国際機

関への就職を希望する学生のバックアップーに積極的に取り組むつもりだ。

「日本人は国際関係にもっと目を向けるべきです。世界の安定は日本の繁栄にも直結してるんですから」と、公開セミナーで市民の国際問題への理解を広げるなど、社会との連携を目指す。

現在、国際協力機構(JICA)理事長で、国連公使や国連難民高等弁務官を務めた緒方貞子さんは学生時代の恩師だ。

「卒業して二十数年後に緒方先生と同じ国連公使の仕事につくことになるなんて思いませんでした」

理論にも実務にも強い「星野スクール」の教え子たちも、大学で教鞭をとるもの、外務省の職員や国連開発計画(UNDP)、世界食糧計画(WFP)などの国連職員として国際協力に携わるものなど、多方面で活躍している。

「国連への就職は簡単ではありませんが、NGO活動やインターンなど身近なところから国際協力の経験を積み、専門性を高めるのがポイント。熱意のある学生の問題意識を高め、キャリアを後押ししたい」。今後も教え子がさまざまな形で活躍するのを楽しみにしている。

真の国際化へ 誰でも分かる法律文を

国際公共政策研究科

野村美明 教授 Prof. Yoshiaki NOMURA

(国際取引法、国際私法)

「日本の法律は日本人のためだけではなく、グローバルユーザーのためにある。世界中の誰にでも分かりやすくなければいけません」。柔和な表情に、国際社会で生きる日本はどうあるべきか、確固とした信念をにじませる。国際取引関係の法律を英訳し、インターネットのポータルサイトを通じて世界に情報発信する「日本法の透明化プロジェクト」の中核メンバーで、国際金融法班を率いている。



野村美明(のむら・よしあき)1951年大阪府生まれ。大阪大学法学部卒、法学研究科前期課程修了。米ハーバード大学ロースクールLLM取得、法学部助教授などを経て94年から現職。著書に「交渉ケースブック」「ケースで学ぶ国際私法」など。趣味は子供のころから大学時代まで続けたピアノ。



「日本法の透明化」国際シンポジウム「知的財産権と涉外民事訴訟」
(2009年5月、京王プラザホテル)

「法律文を翻訳できる人、 通訳できる人がいないんです」

プロジェクトは、2004年度に文部科学省の科学研究費助成特定領域研究に採択されてスタートした。目的は他の先進国に比べて低い水準にとどまる海外からの直接投資の規模を増大させ、日本企業との国際取引を国の内外で容易にすること。

国際会社法、国際倒産法など8法の分野で、立法、判例、学説などを体系的にデータベース化してゆく。このプロジェクトによって、大学の垣根を越えて全国の国際法学者が英知を結集する初めての機会を得た。

自ら担当する国際金融法では法律文や最高裁判例など約100件以上を英訳している。翻訳作業を通じて分かってきたことがあるという。いずれも、日本の制度と将来にかかわる重要な問題だった。

一つは、日本の法律文の難解さが改めて浮き彫りになったこと。「分かりやすく書かれていない。どうしてか」というと、法を書いている官庁が市民の方を向いていないからです。これは日本の制度上の大きな欠陥。もっと議員立法を増やして、誰でも分かる法律文を作らなければならない」と鋭く指摘する。

もう一つは、法律のように権利に影響する文章を

英訳できる業者が日本に存在しないこと。「英語を話せる人は多いがこの分野を翻訳できる人、通訳できる人がいないんです。そのことに日本の社会はまだ気づいていない」

そして、翻訳者不在の問題は英語に限らないと、専門の国際私法や国際取引法をはじめこれまで培ってきた広い視野をバックボーンに力説する。「ほかの言語では状況はもっと悲惨です。日本は情報立国というが、日韓、日中といったアジア地域の経済連携を考えるなら、翻訳できる人を育てないと本当の意味で平等な連携なんて期待できない」

EUではトルコを含め、加盟するすべての国の言語に各国の法律や判例が訳されている。EU法ができ、EU裁判所ができた。「これなくして経済統合はあり得なかった。EUではそのために予算をつけて、翻訳家を育成した。それくらい重要なことなのです」

今回のプロジェクトは09年度で6年間の計画を完結。チームは次のステップへの助走をすでに始めている。アジア地域をはじめ国際間での経済交渉・連携に必要な翻訳家や法律家、政治家、企業家を育成するための国家戦略的な政策提言となるはずだ。

サンフランシスコ 平和条約へのこだわり

法学研究科

坂元一哉 教授 Prof. Kazuya SAKAMOTO

(国際政治学、アメリカ外交史)



坂元一哉(さかもと・かずや)1956年福岡県生まれ。京都大学法学部卒、法学研究科修士課程修了。オハイオ大学歴史学部修士課程修了。97年から現職。著書に「日米同盟の絆」(有斐閣)など。2008年、正論新風賞受賞。京都市在住。趣味は水泳とダイビング。

日米同盟を基軸にした日本の外交論を展開する保守派の論客として知られる。

法曹界を目指していたが、国際政治学者の高坂正堯氏に出会い、外交史の研究者としての道に進んだ。当時は東西冷戦時代。外国へのあこがれもあり、当初米ソ関係を研究課題に選んだ。しかし、留学先の米・オハイオ大学で、米国人の指導教官に「日本人なのだから、日本にかかわることを研究すべきではないか」と指南されたことがきっかけで、日米関係の研究に切り替えた。

留学していた1980年代は、米国で50年代の外交文書が次々と公開されていた。50年代は、米ソ関係が冷え切り、アメリカの対日政策が大きく変化した時期だった。アメリカ・ワシントンDCの国立公文書館や、カンザス州のアイゼンハワー大統領図書館などに通い、日米にかかわる文書を読み解くことに没頭した。

51年の日米安全保障条約の締結や60年の同条約改定をめぐる外交文書の中に「戦後、日米関係が培われてきた過程をみた」。新たな文書が出るたびに、「それまで日本で理解されていた日米関係の図柄が違ってみえてきた」。以降、日米同盟を基軸とした安全保障の論評を積極的に発信する一方、サンフランシスコ

1951年9月8日、サンフランシスコ平和条約の調印に臨む吉田茂首相（毎日新聞社提供）



「戦争の終わり方に 関心があるんです」

コ平和条約の研究を進めている。

日本が東京裁判の正当性を認め、戦争責任を認めた根拠とされるサンフランシスコ平和条約の11条の解釈は間違っていると主張する。

「吉田茂首相は頭を下げてごめんなさいといい、それで日本が国際社会に復帰したと思っている人が多いが、吉田は謝ったわけではない」

こうした保守派の論客としての原動力になっているのは、96年に亡くなった恩師の高坂さんの遺稿「21世紀の国際政治と安全保障の基本問題」にあるという。

高坂さんは論文で、日本人の言葉が国際社会に対しあいまいであることを嘆いた。武器による戦争で

はなく、言葉をめぐる競争がおこるであろう21世紀において、高坂さんはあいまいな表現力では国際社会に通用しない、と断じた。高坂さんは、日本人のこうした精神状態は太平洋戦争に対する整理ができていないからで、そこから生じる日米関係へのいいわけやごまかしが日本人の言葉を失わせているのではないか、と主張した。

「先生の指摘を今もずっと考えています。だからこそ、戦争の終わり方に関心があるんです」とサンフランシスコ平和条約にこだわる理由を話す。「歴史の清算というのは、過去との決別ではなく対話を続けること。そうすることが現在を考え、未来のために必要なのです」

生殖補助医療と親子法 果てなき「いたちごっこ」

高等司法研究科

松川正毅 教授 Prof. Tadaki MASTUKAWA
(民法、フランス法)

亡くなった同棲相手の男性の凍結保存した精子を使って子供を産んだ場合、その男性と子供は親子として認められるだろうか。

1980年代、フランスで実際に起こった問題だ。当時フランス政府給付留学生として現地で学んでいた松川教授はその裁判を目の当たりにしていた。

法制度の中でも人間の尊厳、そして医療の進歩という狭間で揺れ動く「生殖補助医療」。その後、女性は子供を出産するには至らなかったが、法律では死亡している父と子は「親子」として認められないという結論となった。

肉体的な理由で、妊娠できない男女に医師が手を貸す生殖補助医療。フランスでは、施術を行う際に「男女がいる」ことを求める声が医療の現場からあがり、施術時にカップルの同意がなくては施術できないと定める法律が1994年に施行された。

この問題を機にフランスの医学の発展と親子法について22年間研究を続けた。その間、医学の進歩により代理母出産やDNA鑑定など次々と新しい問題が出てくる。「土台となるものが何もないところから法律ができ、社会の仕組みができるのを見るのが面白い。変化し続けるから勉強して補って…まさにいたちごっこ」

長年の研究から見えてきたものがある。「じわじわゆっくりと法律は改正を重ねて変化していったが、『男女がいる(妊娠時に男女が生存)』という部分は根源の変わらない核としてずっとあった。生命倫理が





「日本も変わらなければ ならないときが来ている」

ベースにあって、いくら当事者が願ってもやってはならないことがあるというのがフランス流の考え方。その部分が筋として通っているから法律が変わっていく流れを推測しやすい」と、他国の法律とのちがいを分析する。

だが、これらの問題はフランスだけにとどまらない。2006年9月に西日本に住む女性に、死亡夫の凍結精子を使った死後生殖は認められないという最高裁の判決が下されるなど、日本でも問題となった。

世界全体が新たな問題に直面し、既存の家族に関

する法律では対応しきれなくなっている。「日本の親子に関する法律は第二次世界大戦以後、変化していない。日本も変わらなければならないときが来ているのでは」

08年12月、研究の集大成として「医学の発展と親子法」を出版し、09年3月には第21回尾中郁夫家族法学会賞を受賞した。「22年間ちょこちょこやってきた。よくやってこれたなという感じ」と照れるが、すぐに「変化がどこで止まるのか。まだまだ興味はつきないですね」と目を輝かせた。

ケインズ以来、あまたの経済学者が挑み、
実現できなかった「不況の経済理論」を、世
界で初めて編み出した。

「バブル」崩壊後の日本経済は、私にとって
自分の理論を実体経済が証明している時期でした」
と語る。もともと企業活動や国際貿易といった「ミ
クロ経済」の専門家。「1980年代に入り、国全体を
扱うマクロ経済を志した。その際、不況をテーマに
しようと考えた」。驚くべきことに、それまでの経済
学では「不況」を数学的に表現するモデルが存在し

なかった。「経済学者にとって、不況そのものが存在
しないことになっていたんです」と振り返る。

不況に本格的に取り組み始めて2年ほどたった
1987年。当時住んでいた公務員宿舎内をぐるぐる歩
き回っている最中、はたと気づいた。

「戦後の日本や発展途上国のように、モノ不足の状
態であれば、お金をその日の食料などに使わざるを
得ない。ところがモノがあふれる先進国では、人は
お金そのものに価値を見だし、ためようとする。
それこそが不況の原因だと考えた」

人々がお金を握りしめることで、需要不足が発生
し、モノが売れなくなる。そのことが企業業績を下
げ、労働者の給料カットや失業につながる。収入・

お金への執着が不況を生む

社会経済研究所

小野善康 フェロー Fellow Yoshiyasu ONO
(マクロ経済学)

$$\text{Max. } U = \int_0^{\infty} (u(c) + v(m^d)) \exp(-\rho t) dt,$$

$$\text{s.t. } \dot{a} = ra - c - Rm^d, \quad a = m^d + b.$$

⇓

$$\text{Keynes's Rule: } \rho + \eta_c \dot{c}/c + \pi = R = v'(m^d)/u'(c)$$

$$\rightarrow \rho + \alpha(c/y - 1) = \beta/u'(c) \rightarrow \text{stagnation}$$

● 数学的に裏付けられた不況理論「小野モデル」

雇用が不安定になることで、よけいにお金を握りしめるようになり、さらに需要不足が発生…。この延々と続く“負のスパイラル”こそが、世界で初めて理論化された不況の仕組みだった。

当初、全く受け入れられなかった不況理論。国内外の経済学者が認め、「小野モデル」と呼ぶようになるまで約20年かかった。

数式に支えられた不況モデルの専門家からみれば、バブル崩壊後の経済対策論議は歯がゆいものだった。「当時の日本経済が抱えた問題は『需要不足』だった。それなのに橋本(龍太郎)内閣、小泉(純一郎)内閣が進めたのは、モノの供給を効率的にする構造改革路線だった。それは好況時にやるべき政策。不況

時に実行すればとんでもないことになる」と警鐘を鳴らしたが、当時のマスコミ、世論とも構造改革路線に突き進み、結果、さらに需要不足を拡大させる結果につながった。失業手当などセーフティーネット充実も「経済対策としてみれば、国民からお金を取り上げて、失業者に回すだけだから、需要の総計は増えない」と訴える。

小野理論に沿うと「先進国において、不況は当たり前前の状態で、必要以上に恐れることはない」という。不況対策としては「余った労働力の活用が第一。そのことを考えれば、政府の公共事業も有効といえる」。

数学的に裏付けられた理論を背景に、世論に流されることなく、冷徹に経済を分析する。

「不況は当たり前前の状態 必要以上に恐れることはない」

小野善康(おの・よしやす) 1951年東京都生まれ。東京工業大学卒。東京大学経済学研究科博士課程修了。武蔵大学助教授を経て90年大阪大学社会経済研究所教授、2009年同所長。2010年10月から内閣府経済社会総合研究所所長、大阪大学フェロー。この間、東京工業大学教授やプリンストン大学・世界銀行の客員研究員も務めた。趣味はフルート演奏。



公正な市場支える 「同感」能力

経済学研究科

堂目卓生 教授 Prof. Takuo DOME

(経済学説史)



アダム・スミスの肖像画

耐震強度、食品偽装…相次ぐ不祥事で、
今や消費者の市場への信頼度はゼロに等し
い。その解決策を18世紀の英国経済学者ア
ダム・スミス(1723~1790)の思想から模索
する。

「**今の市場経済**」に求められているの
は『同感(sympathy)』の能力。それがない限り市
場の信頼回復はできない」

スミスは『国富論』と『道徳感情論』の二つの著
書で、人間は利己的なところもあるが、自分の利害
と関係なくても他人の感情や行為に関心を持つ社会
的な一面も持つ存在だとした。他人の立場に立って
考え、感情や行為が適切かどうかを判断する、つま
り『同感』の能力を持った存在だととらえた。

市場は生活を改善するために互いが必要とするも
のを交換する場であるが、不正や偽装が常に起こる
わけではない。なぜなら、「もし自分がだまされたら
どう感じるだろう」と取引相手や競争相手の立場で
考えてしまうからだ。『同感』は市場を支える重要な
性質だとしている。



「相手の顔を思い浮かべてしまうと
そう『えげつないこと』はできない」

堂目卓生(どうめ・たくお)1959年岐阜県生まれ。慶應義塾大学経済学部卒、京都大学経済学研究科博士課程修了。立命館大学経済学部助教授、大阪大学助教授を経て、2001年から経済学研究科教授。毎年、卒業生や学生を自宅に招いて開く新年会が楽しみ。

「信頼関係がなければ市場は成立しない。商品の品質に対する信頼の上に互いに納得して交換するのが、あるべき市場の姿だった。スミスは公正な市場が成立するためには利己心だけではだめなことを200年以上も前に冷静に見抜いていた」

「顔の見える相手とのやりとりが少なくなり、『同感』の能力が弱まってしまったからではないか」と現代社会で偽装が横行する理由を説明する。

インターネットの普及で、市場の規模はスミスが生きた18世紀と比べれば無限に広がった。「相手の顔を思い浮かべてしまうとそう『えげつないこと』はできない。そういう自主規制が以前の市場にはあった。一方、現在の市場において顔が見える相手と取引する機会は何のくらいあるのだろうか」と、IT化が加速することによる、人と人との交流が希薄になる現代を憂う。

『アダム・スミス―「道徳感情論」と「国富論」の世界』で、08年11月にサントリー学芸賞を受賞した。日本、そして世界経済再生の礎にもなる著書という高い評価を受けた。「古人の思想を混迷する現代の人々に届けたい」という思いからの執筆だった。周囲からは次作に向けての期待が高まる。

「スミスも私も決してモラルだけに訴えたいわけではありません。しかし公的な介入や法的な規制には限界と副作用があるのも事実。最後に求められるのは、やはり自主的な規制ではないでしょうか」

信用を失った市場の秩序を取り戻すために必要なことは何か。今こそ、みんなが『同感』を取り戻さなくてはならない、と呼びかける。

格差社会は感情論で 議論すべきでない

社会経済研究所

大竹文雄 教授 Prof. Fumio OHTAKE
(労働経済学)

オイルショックが日本を襲った1970年代、消費者物価はみるみる上昇した。「最初から分かっていたらもうかるのにな、と思ったんです」。それが経済学に興味を持つ最初のきっかけ。当時、まだ中学生だった。



大学で学んだ経済学は「もうかること」とは全然違った。「世の中の複雑な経済現象を論理的に説明する学問で、物理学に似ている。謎を解き明かす面白さを知りましたね」。世の中の仕組みを知りたいという旺盛な好奇心。研究者への道をひたすら歩んだ。

大きな研究テーマは、日本の所得・賃金の格差問題。90年代から取り組んできたが、当初は今ほど注目されると思って始めたわけではなかったという。

「日本は米国を超える格差社会になった、と多くの人が言う。米国ではグローバル化と技術革新(IT)によって学歴間格差が拡大した。日本もそれで説明できるのじゃないかと想定していたんですがね…」

政府の統計資料や独自のアンケートなどを計量経済学的手法で分析する。得られた結果は意外だった。80~90年代は日本全体でみると、学歴間の格差拡大は顕著ではなかったのだ。産業間でも金融がバブル期、一時的に上昇したものの沈静化した。地域間でも広がってはいなかった。

「日本社会の特徴は、40歳をすぎてから賃金や所得の格差が急に進むことです。団塊の世代がその年

齢層になったのが80~90年代。差の広がった人口が増えたことが、多くの人が格差の深刻化を感じた最大の理由だったわけです」

だから、格差社会を感情論で批判的に議論する風潮には懐疑的だ。「どこが間違っているのか明らかにして、前と同じ程度の平等にするにはどうすればよいかという議論でなければ。なんでも平等にというのは、行き過ぎる可能性がある」と警告する。

一方、最近の研究では、2000年以降は所得格差が拡大していることが分かってきている。不況続きで、民間では正社員になれない若者が増え、そうした人たちが30代になってきた。このままでは正社員と非正規社員との生涯所得格差が、一層拡大することは確実という。

「私たちは不況の影響を若者や非正規社員にしわ寄せしてきたが、日本社会全体がしっぺ返しを受けることになる。どうやってこれを解消するか、手遅れにならないよう正確な情報を出してゆきたい」。

論文を書いているときが一番、充実していると感じる。研究意欲はどこまでも尽きない。

「手遅れにならないよう 正確な情報を出してゆきたい」

大竹文雄(おおたけ・ふみお) 1961年京都市生まれ。京都大学経済学部卒、大阪大学経済学研究科博士前期課程修了。格差問題の実態と原因を実証分析した著書「日本の不平等 格差社会の幻想と未来」(日本経済新聞社発行)で2008年、日本学士院賞を受賞した。グローバルCOE「人間行動と社会経済のダイナミクス」拠点リーダー。



し・き・め・き

研究
最前線

経済学の役割は人を豊かにする世の中の仕組みを考えることである。伝統的な経済学は人間が合理的だということを前提にして、さまざまな仕組みの構築に貢献してきた。個々の消費者や企業が合理的だという仮定は非現実的かもしれないが、市場競争による淘汰を考えると経済全体の動きを説明できることは間違いない。また、人々がなんらかのインセンティブに基づいて行動し

社会に役立つ おせっかいとは？

行動経済学
Behavioral Economics

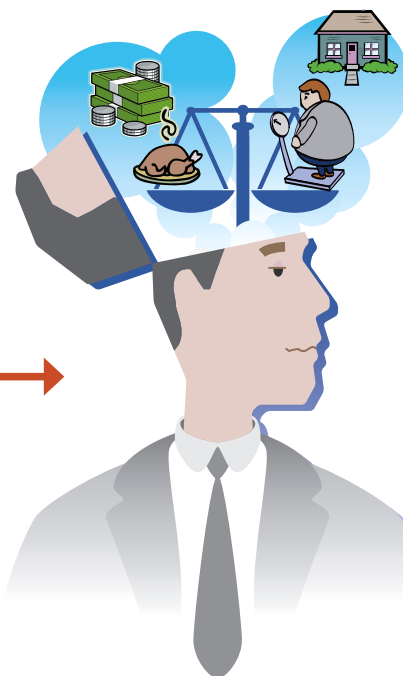
現実の人間行動に
基づいた経済学

政策提言

研究者の育成

アンケート
Questionnaire survey
実験
Economic experiment

学際領域
Interdisciplinary research
脳科学
Brain science
心理学
Psychology
双生児研究
Twins research



ていると考えて、制度を設計するという視点を経済学が提供してきた。ところが、昨今のバブル崩壊、サブプライム問題…、それらは合理性だけで説明できない。複雑な人間像が絡んでいるのだ。そこを見据えた新しい経済学がいま、世界の潮流となりつつある。

経済全体の動きは、実は個人単位的意思決定から成り立っている。その意味で、多重債務や肥満も新たな経済学の問題なのである。今現在の欲求を満たすうれしさと将来あるべき姿をてんびんにかけて、人は行動を決める。それが合理的だと、人々は貧困や肥満に陥ることはない。だが、往々にして、将来よりも目先のことをつい重視してしまう人がいる。そういう非合理性から生じる問題をいかに解決するのか？

そこに踏み込んだのが「行動経済学」という新たな経済学だ。伝統的な経済学は、市場がうまく機能しない時を除いて、市場に介入すべきでないという考え方だった。

肥満を例に考えてみよう。肥満の人が増えると、医療費の社会負担が増える。かといって、政府が食べ過ぎを防ぐために人々の食事の量を規制するわけにいかない。ただ、メタボ検診を義務付けたとすれば、少し状況が変わるかもしれない。なにも食事の

量に介入することはないわけだ。経済学がそういう政策決定に介入してよい場合は、社会が損失を被る、人々が迷惑を受けるケースに限られる。公害規制や独占禁止法はその代表的なものだ。

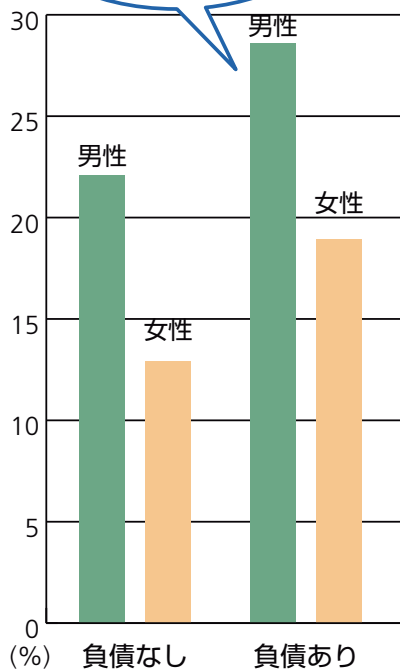
拠点リーダーの大竹文雄・社会経済研究所教授は「メタボ検診なんて、いわばおせっかい。でも、人間は非合理的なもの。その時はおせっかいと思っても、後で考えると“やってもらってよかったなあ”と思えるケースが、行動経済学の政策提言に当たる」と言う。ここ10年来、大阪大学は我が国唯一の行動経済学の研究・教育拠点である。このグローバルCOEは現実起きる非合理的な経済問題にさらに多岐にわたってメスを入れる取り組みだ。

ただ、人間の非合理性に政策の介入が必要かどうかは、極めて念入りなチェックが必要になる。これにはいくつかの手法がある。精度の高いアンケート調査で、どういうパターンを持った人が非合理的な行動をしやすいのかをみる。例えば、多重債務者とそうでない人は、現在と将来との重視の度合いが大きく違う。また、多重債務者は自信過剰の傾向が強い。金融のことをよく知っているかという質問には「よく知っている」と答えるが、具体的な金融の質問をすると、間違う人が多重債務者には多いというデータがある。

人間の非合理性に踏み込んだ 新しい経済学「行動経済学」



借金してでも
今を楽しみたい人は
肥満になりやすい



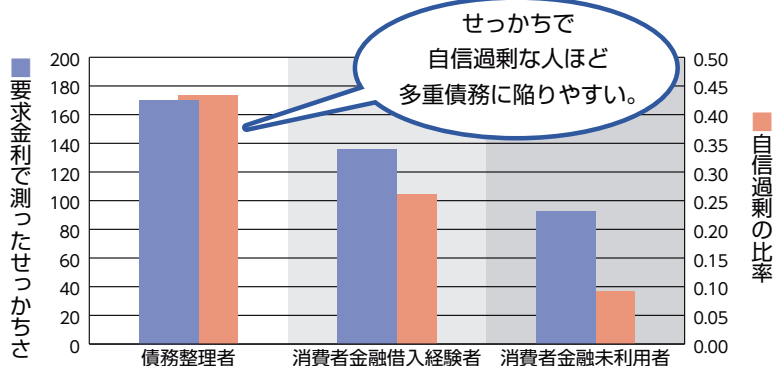
● 負債の有無と肥満者比率

被験者を集めて行う「経済実験」という手法もある。「今お金を1万円もらえるのと、1週間後に1万100円もらえるのとどちらがいいか」などの質問をする。3カ月後、1年後はどうか、実際に被験者に対価を支払い、真剣な選択を引き出す。そこから選好データを蓄積し、合理性から外れる人のパターンにずれがあった場合、どういう経済行動をとるのかを理論的に導き出す。そういう人が多いと、社会はどうなるのかまで考えなければならない。

脳科学分野との共同研究も新たな試みだ。人間の非合理的な行動は生物学的な特性があるのか。機能的MRI(磁気共鳴画像装置)の中で経済実験をする。その際、脳のどこが活動しているのかを調べる。非合理性研究の多くはもともと心理学の領域であり、経済実験の手法は、心理学と経済学の枠組みを融合したものだ。

大竹教授は「多重債務でいえば、上限金利を引き下げるのは劇薬だ。そこまできかない規制もたくさん考えられる。本人の自由も残しながら、間違っただけをさせない規制の仕方にはいろいろな可能性がある。どういう時に、どんなおせっかいをするのが一番いいのかを提案できる経済学のスタイルが今後、主流になるだろう」と話している。

**社会に役立つ
おせっかいとは？**



せっかちで
自信過剰な人ほど
多重債務に陥りやすい。

● 消費者金融利用者の特性

大阪大学の宝物 マチカネワニ

column



1964(昭和39)年5月、大阪大学豊中キャンパス・理学部の建築現場から巨大なワニの化石が発掘された。所在地の待兼山からマチカネワニと名付けられた。日本で発見されたワニ化石の中で最も完全なもので、全長は推

定6.9~7.7m、頭骨だけで長さ1mを超える巨大なワニだ。

マチカネワニに関する研究も進められており、顎が欠けた痕跡から、このワニはたぶんオスで、メスを争って少なくとも3回の大ゲンカをしたと推定されている。また、今では珍しい温帯性のワニで、中国の龍伝説の起源だという説もある。

マチカネワニ化石の実物標本は大阪大学総合学術博物館3階の「待兼山に学ぶ」にある。このスペースには標高77.3mの待兼山にある幾つもの古墳から発掘された出土品も多数展示されており、古代から人が暮らし、枕草子にも記された景勝地である待兼山の歴史をたどることができる。



●総合学術博物館のある待兼山修学館は、1931(昭和6)年に大阪大学医学部の前身である大阪医科大学の附属病院石橋分院として建てられた。2007年に国の登録有形文化財に指定されている。

大阪大学総合学術博物館 待兼山修学館

大阪府豊中市待兼山町1-20 大阪大学豊中キャンパス
TEL: 06-6850-6284

■開館時間 午前10時30分~午後5時
(入館は午後4時30分まで)

■休刊日 日・祝・年末年始

■入館料 無料

■阪急宝塚線「石橋駅」下車 徒歩約10分

<http://www.museum.osaka-u.ac.jp>

大阪大学発!

ときめきサイエンス

●企 画 大阪大学創立80周年記念出版・展示委員会

委 員 長 土井健史

委 員 阿部武司
相本三郎
江口太郎
小林傳司
岸本忠史
竹村治雄

●編集・制作 毎日新聞社総合事業局

構 成 谷中俊哉

取材・執筆 谷中俊哉 加納敬久 若本和夫
真並恭介(ライフストーン)

撮 影 吉川譲(フリー)

デ ザ イ ン 岡本明大

校 閲 稲田展久

●協 力 産経新聞社

(教員インタビューは産経新聞連載の「こんにちば研究室」の記事に
若干の改変を加え掲載しました)

取材・執筆 村上栄一 木ノ下めぐみ 丸橋茂幸 寺西肇
小路克明 慶田久幸 信藤敦子 中井美樹
張英壽 南昇平 高瀬真由子 山田幸秀 杉村奈々子

2011年3月31日 発行

[検印廃止]

編 者 大阪大学

発 行 所 大阪大学出版会

代表者 鷲田清一

〒560-0871 吹田市山田丘2-7大阪大学ウエストフロント

TEL 06-6877-1614

Fax 06-6877-1617

<http://www.osaka-up.or.jp>

印刷・製本 (株)遊文舎

© Osaka University Printed in Japan

ISBN978-4-87259-382-2 C1000

ISBN978-4-87259-382-2

C1000 ¥1800E

定価(本体1,800円+税)



9784872593822



1921000018002

