

JST NEWS

Vol.7
2010

No.2
May

5 月号

Feature
02 JST低炭素社会戦略センター(LCS)の取り組み
低炭素社会を実現するためのシナリオとは？



Feature
01 iPS細胞研究のいま

JSTが取り組む 再生医療に向けた 幹細胞研究の 基礎と応用



科学技術振興機構の最近のニュースから……

JST Front Line 03

Feature 01



iPS細胞研究のいま

JSTが取り組む再生医療に向けた 幹細胞研究の基礎と応用。 06

世界に衝撃を与えた山中伸弥教授によるiPS細胞の樹立から2年半。
大きな注目を浴びつつける再生医療研究は、現在、どれだけ進み、実用化までどれほどの距離があるのか。
CREST研究総括のインタビューと、基礎と応用それぞれの研究者の事例から紹介しよう。

Feature 02



JST低炭素社会戦略センター(LCS)の取り組み

低炭素社会を実現するための シナリオとは? 12

2020年までに温室効果ガスの排出量を1990年比で25%、2050年までに80%減少させる——
この目標を達成するために、さまざまな分野の叢智を集結し、決して絵空事に終わらない、
現実味のあるシナリオを描き出す。それが低炭素社会戦略センターの狙いだ。



ようこそ、私の研究室へ 14

山口修由 建築研究所 材料研究グループ 主任研究員



JSTの科学コミュニケーション事業

File 01 サイエンスキャンプ 16

理 事 長 茶 話

——第2回目の事業仕分けが終わりましたが、率直な感想をお聞かせください。

「大きく分けて、2つの結論が出たと考えています。1つは、JSTの事業は全体として継続する、しかし、科学技術戦略の策定方式そのものを抜本的に見直し、そのなかにJSTを位置づけていくということ。もう1つは、事務所、職員数なども含めて、整理統合を図り、管理経費削減を継続すること。そして、情報事業は全体として縮減・高効率化、有料の文献情報提供事業については『民間の判断に任せる』という仕分け結果でした。

科学技術政策全体を見直すという作業

は、じつはJSTの任務の範囲外です。私たちは、政策の決定を受けて、それを実施する組織だからです。しかし、JSTの事業仕分けの時間帯で、この『総合科学技術会議の在り方を中心に科学技術戦略を抜本的見直し』という議論が出たということは、日本の科学技術政策を実施するうえでJSTが重要な役割を担っているとの認識が浸透してきたからだと思います」

——もう1つの、事業の効率化はどうでしょうか?

「科学技術といえども、聖域ではありません。税金を使っている以上、ムダは徹底的に削減すべきです。JSTでは数年前から

外部領域事務所の廃止など、管理コストの削減を続けてきました。最近も、事務経費の25%削減による研究費への充当、公用車の全廃などを行いました。これからも、東京事務所の整理統合などを進めます。

今後、日本の科学技術政策が見直されるなか、『科学技術は重要』という認識は、仕分けWG評価者とも共有できていると感じました。日本の科学技術研究をより実りあるものにしていくために、そして青少年が科学技術を通じて未来への夢を持てるように、事業の効率を上げながら、努力していく——この、JSTの果たすべき役割は重要だと思います」



JST Front Line 5

月号

NEWS 01

化学オリンピック



“国際化学オリンピック”の日本代表4名が決定! 7月19日(月)~28日(水)まで、約70の国と地域から 280名の高校生が集結、化学の実力を競う。

世界中から高校生が集結し、化学の実力を競い合う、「第42回 国際化学オリンピック」の日本代表生徒4名が決定しました。

国際化学オリンピックは、1年に1度開催される「化学」の国際大会で、2010年は日本で開催されます。1968年に東欧で始まった本大会は、1984年にアメリカが参加して以来急激に参加国が増え、今回は、約70の国と地域から280人を超える高校生が一同に集まり、それぞれ5時間におよぶ筆記試験と実験試験で、個人の成績を競い合います。

日本はオリンピックの予選ともいえる「全国高校化学グランプリ2009」と「最終選考会」を経て代表生徒を選出し、国際化学オリンピックに臨みます。

今回、日本代表に選ばれたのは、2年連続出場となる遠藤健一さん(栄光学

園高等学校)をはじめ、浦谷浩輝さん(滋賀県立膳所高等学校)、片岡憲吾さん(筑波大付属駒場高等学校)、斉藤颯さん(灘高等学校)の4名。記者会見では、金メダルを目指しての健闘をそれぞれ誓いました。遠藤さんは、「化学オリンピックで2年連続で金メダルを獲得した日本代表はまだいないので、それを大きな目標にして努力します」と話したのに加え、「ホスト国として、外国から来る参加者との交流もたいせつにしたい」と

選出された日本代表。左から浦谷浩輝さん、遠藤健一さん、片岡憲吾さん、斉藤颯さん。今後は、自主研修と強化合宿を通じてさらに実力を磨き、本番に臨みます。

いう開催国代表としての責任感もうかがえる発言もありました。

日本での初開催となる本大会は、2010年7月19日(月)から28日(水)まで、早稲田大学および東京大学で開催されます。化学の実力を競い合うほか、さまざまなイベントを通して、生徒同士の国際的な交流を深めていきます。



日本代表

NEWS 02

シンポジウム



各国の研究資金配分機関が国際協調の在り方について議論。 「低炭素社会を目指すグリーン・イノベーション促進のための国際協力」を開催。

2010年5月17日(月)に東京・国際連合大学 ウ・タント国際会議場でシンポジウム「低炭素社会を目指すグリーン・イノベーション促進のための国際協力」を開催します。

グローバル化が進む現代社会において、一国や一地域では解決が難しく、複数の国家や地域が国際社会という共同体として取り組むべき問題は数多くあります。温室効果ガスの排出などによる地球規模の気候変動問題もその1つです。

本シンポジウムでは、世界各国のファンディング・エージェンシー(※)から代表者を招き、議論を行います。地球温暖化問題の解決に向けた、基礎的な科学研究

参加する海外の研究資金配分機関

- 中国国家自然科学基金委員会(NSFC)
- フランス国立研究機構(ANR)
- ドイツ研究振興協会(DFG)
- 韓国研究財団(NRF)
- メキシコ国家科学技術審議会(CONACYT)
- スウェーデンシステム・イノベーション開発庁(VINNOVA)
- 英国工学・物理科学研究会議(EPSRC)
- 全米国立科学財団(NSF)

※参加機関は変更になる場合があります。

や革新的な技術開発についてどう取り組むべきか、今後どのような貢献ができるのか、さらに、国際協調・国際協力の在り方など

について話し合い、地球規模でのグリーン・イノベーションの促進を目指します。

北澤宏一JST理事長は、「地球温暖化はまさにグローバルな問題。研究開発についてもグローバルな視点がどうしても必要です。主要国のファンディング・エージェンシーが協力して取り組むべき課題も多い。ファンディング・エージェンシーが協力していく枠組みづくりに一歩踏み出せばと期待しています」と語っています。

参加は無料、下記サイトをご覧ください。
<http://www.jst.go.jp/pr/gisympto2010.html>

※ファンディング・エージェンシー(公的研究資金配分機関)…大学や研究所などの研究活動に対して、公的研究資金配分などを行い支援する機関。



戦略的創造研究推進事業さきがけ研究領域「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」
研究課題「誘電体スピントロニクス材料開拓とスピノ光機能」

絶縁体に電気信号を流すことに成功! 次世代デバイスの要素技術についての先駆的・革新的研究成果。

東北大学金属材料研究所の齊藤英治教授らが、世界で初めて絶縁体に電気信号を流す方法を発見しました。

コンピュータの普及や通信技術、インフラの発達により、多様な情報が世界中を飛び交っています。IT社会を支える情報通信機器に利用されている素子は、金属や半導体から作られますが、金属や半導体は、電流を流すと電子の運動によりジュール熱が発生し、エネルギーの損失が起こってしまいます。このエネルギーロ

スは、機器の小型化や高性能化を阻害する原因となっているのですが、ジュール熱の発生なしに、金属や半導体に電流を流すことはできませんでした。一方、超伝導技術により、電気抵抗なしに電流を流す方法も模索されていますが、超伝導状態には極低温の状態を保つ必要があります。現状ではこの手法を採用することは難しいとされています。

齊藤教授らは、絶縁体中にも存在する電子の「スピン(物質の磁気のもとになる電子

の自転)」に着目し、電気信号をスピンの波に変換し磁気を持つ絶縁体中に注入、そのスピンの波を伝送して、最後は再び電気信号に戻すことによって信号を伝送できることを世界で初めて実証しました。スピンを電流に変える技術には同教授が2006年に発見した「逆スピノホール効果」など、これまで取り組んできた物理学の新原理の基礎研究の成果が活用されました。これによって、長い間、電気も電気信号も流さないと信じられてきた絶縁体が、電気伝送に用いることができることが証明されました。

絶縁体中の電気信号の伝送は室温でも動作し、ジュール熱発生によるエネルギーの損失もありません。今回発見された絶縁体を使った電気信号伝送技術は、これまでの素子の利用にともなう問題を根本的に解決するものとなりそうです。未来の情報通信社会における、環境に配慮した電子技術開発に、新たなブレイクスルーをもたらすかもしれません。



絶縁体中に電気信号を送信する実験の様子

絶縁体である磁性ガーネット薄膜の表面に、2つの白金の電極を付けて精密な電気測定を行った。その結果、一方の白金電極に流した電流が絶縁体を通して、もう一方の白金電極で電圧を発生させていることが計測できた。この伝送は、磁場を加えることで容易にスイッチオン・オフができる。

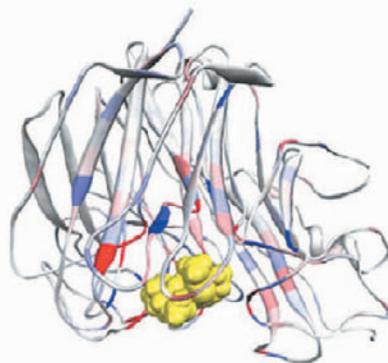


戦略的創造研究推進事業CREST研究領域「シミュレーション技術の革新と実用化基盤の構築」
研究課題「フラグメント分子軌道法による生体分子計算システムの開発」

インフルエンザウイルスの表面たんぱく質が抗体や阻害剤と結合する際の電子状態を、地球シミュレータを使って精密に計算することに成功!

新型インフルエンザの脅威は大きな社会問題となっており、インフルエンザウイルスの感染機構の解明や効果的なワクチンの開発などが世界中で行われています。

ウイルスは、その表面にあるたんぱく質を、感染宿主の細胞表面にある糖鎖と、鍵と鍵穴の関係のように結合させることで感染を成立させます。したがって、ウイルスと宿主の、お互いのたんぱく質と糖鎖(あるいは抗体)がそれぞれどのような立体構造をしていて、どの部位で結合するのかわかれば、感染の作用機序が解明できます。これまでも、コンピュータシミュレーションを用いて、たんぱく質を構成するアミノ酸の配列から構造を予測したり、相互作用を解析することにより感染のメカニズムの解明が試みられてきました。しかし、複雑な構造を持つたんぱく質の相互作用の解析には、それぞれの分子を



インフルエンザウイルスのノイラミニダーゼたんぱく質にタミフル(黄色部分)が作用するメカニズムを表す立体構造のモデル。

取りまく電子の状態なども総合的に考慮する必要があり、複雑な計算を長時間かけて行わなければなりません。

今回、神戸大学大学院工学研究科の田中成典教授らの研究チームは、海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地

球シミュレータ」を高速・高精度で動作させることによって、インフルエンザウイルス感染に重要な役割をもつ「ヘマグルチニン」と「ノイラミニダーゼ」というたんぱく質について、抗体や阻害剤と結合する際の相互作用を電子状態で精密に計算しました。ハイブリッド並列計算などの手法を適切に組み入れることにより、これまでのコンピュータシミュレーションでは実現できなかった大幅な時間の短縮にも成功しました。

これによって、インフルエンザウイルスの変異予測やターゲットを絞った医薬品の開発が行われ、懸念されているパンデミックに対して大きな壁を築くことができると期待されます。また、本成果は、いままで解析が困難だった巨大生体分子複合体について、スーパーコンピュータを用いて合理的・短時間にアプローチする道を示すものです。



大学発ベンチャー企業「スマート粒子創造工房」が、 ロート製薬との共同開発で紫外線(UV)吸収剤内包カプセルを実用化!

ナノテクノロジーやバイオテクノロジーに用いられる高分子粒子は、情報、エネルギー、環境、医療など幅広い分野で活躍が期待される素材です。そのため、新規の機能性高分子粒子の研究開発は、大学をはじめ、多くの研究機関でさかに行われてきました。

新規に開発された機能性高分子粒子を用いて製品化を進める際には、企業は実用性試験や評価のためにキログラム単位のサンプル量が必要とします。しかし、通常、大学の研究室には大量のサンプルを作製する設備がないため、優れた高分子粒子を生み出したとしても、数グラム単位のサンプルしか提供できず、企業のニーズに応えられないという問題がありました。

この問題をクリアするため、神戸大学大学院工学研究科の大久保政芳教授らは、2006年、大学発ベンチャー・株式会社スマート粒子創造工房を設立。神戸大学の

研究成果をもとに、多岐にわたる機能性高分子粒子の「必要量サンプル」の製造を実現し、さまざまな企業に提供してきました。

2010年には、ロート製薬との共同開発により、実用化第1号となる日焼け止め化粧品を発売しました。本製品は、カプセル内に効率よく紫外線吸収剤を封入してUV吸収効果を高め、独自に開発した「カ

プセル化技術」を用いて粒子表面の強度を維持しながら吸収剤の漏れを抑えることにも成功。高性能で肌に優しく使用感のよい日焼け止め化粧品を実現しました。

大学のシーズと企業のニーズのギャップを埋めるスマート粒子創造工房の試みが、新しい大学発ベンチャーのビジネスモデルとして成功することが期待されます。



開発したカプセル粒子とその構造



NEWS 06

科学技術専門放送「サイエンスチャンネル」が より見やすくなりました!

「サイエンスチャンネル」は、最先端の研究成果から生活のなかの身近な話題まで、幅広く科学技術に関する番組をお届けしています。番組は、インターネットやケーブルテレビでの放送に加え、新たにBS11でもご覧いただけるようになりました。(毎週月～金17:30～18:00、18:30～18:55枠内の放送)

また、ホームページもリニューアル。2010年4月より、アクセスすれば人気番組や新作などが、すぐに見られる(オンタイム配信)を開始。

さらに、好きな番組を選んで視聴できる(オンデマンド配信)では、5月下旬から約3000話の番組のすべてを高画質に刷新、DVDレベルのクリアな映像でお楽しみいただけます。好きなときに無料でお楽しみいただける「サイエンスチャンネル」、詳しくはホームページへ。

<http://sc-smn.jst.go.jp/>



「サイエンスチャンネル」ホームページ。「番組検索」「50音で探す」「カテゴリーで探す」など検索機能も充実。これまでに放送された約3000番組のなかから、見たい番組を好きなきにいつでも楽しむことができます。

NEWS 07

才能教育分科会報告書 「科学技術イノベーションを支える卓越した才能を見出し、 開花させるために」発表

JST理科教育支援センターでは理数系の才能教育の現状を分析し、今

後の課題とその解決に向けた方策について、有識者による検討を行い報告書を取りまとめました。本報告書は、当センターにて、社会が協力して子どもたちの理数系の才能を育てる一貫したシステムをいかにして構築するかについて、玉川大学学術研究所の山極隆特任教授を主査とする専門委員会を設け、平成21年1月から議論を重ねてきた結果を報告するものです。

報告書の全文は、「理科支援ネット」で公開しています。
http://rikashien.jst.go.jp/highschool/cpse_report_008.pdf

NEWS 08

JSTイノベーションサテライト茨城・後藤勝年館長が セミナー「温故知新Natureアーカイブ140年の軌跡」で講演

2010年4月19日(月)、21日(水)、Nature Publishing Groupとトムソン・ロイターの共催により「温故知新Natureアーカイブ140年の軌跡」(東京大学・筑波大学)と題するセミナーが開催され、JSTイノベーションサテライト茨城・後藤勝年館長(筑波大学名誉教授)が21日、基調講演を行いました。

これは、1988年、後藤館長が血管作動物質エンドセリンの発見について発表した論文が世界に重要な知見を与え、現在の創業開発に大きく貢献したことによるものです。この論文は1980年代以降にNatureに掲載された当該分野の論文のなかでもっとも引用数が多く、今日でもなお、おおぜいの研究者に引用され続けています。

後藤館長は基調講演で「1つの発見から世界中で研究がスタートし、いまなおこの発展は続いている。多くの可能性を秘めた発見が遠く昔にあることを、時間をかけて実証している」と語りました。セミナーは、過去の論文を参照することのたいせつさを紹介して幕を閉じました。



後藤勝年
館長

iPS細胞研究のいま

JSTが取り組む再生医療に向けた幹細胞研究の基礎と応用

世界に衝撃を与えた山中伸弥教授によるiPS細胞の樹立から2年半。大きな注目を浴びつつける再生医療研究は、現在、どれだけ進み、実用化までどれほどの距離があるのか。CREST研究総括のインタビューと、基礎と応用それぞれの研究者の事例から紹介しよう。

インタビュー

CREST研究総括が見るiPS細胞研究の現在と、その先

聞き手:広報ポータル部

理想的なiPS細胞は出来るのだろうか

——幹細胞の基礎研究がiPS細胞の再生医療の応用研究にどのようにつながっているのかについて教えてください。

須田 幹細胞の研究は、1960年代に造血幹細胞から始まりました。その後、胚性幹細胞(ES細胞)が出てきて、前者を体性幹細胞、後者を胚性幹細胞と呼ぶようになります。体性幹細胞は、たとえば、神経の幹細胞は神経にしかありませんが、胚性幹細胞はほかの組織にもなりうる「多分化能」を持っています。iPS細胞も胚性幹細胞と同じで、試験管内で人工的に作製します。山中先生が「i」を小文字で書かれたのには意味があって、「induced」、つまり人工的に誘導されたことを強調しているのです。

——同じ幹細胞でも、体性のもので人工的に作り出されたものとは違いますか？

須田 この違いは大きなテーマです。iPS細胞は、操作して作るという点にインパクトがあったのですが、それ故にむずかしい。体

に入れたときに想定した通りにふるまうか、腫瘍にならないか、本当に体内で制御できるのか。この点で、研究者のなかでも「iPS細胞もES細胞も人工物、応用するのはそれほど容易ではない」というある意味で悲観的、慎重に見ている人と、「永続的に増殖できる幹細胞は、必ず利用できる」と楽観的にとらえる人の両方がいると思います。

——あるところまでは使えて、あるところからは使えないということがわかっているのではないのですか。

須田 じつはiPS細胞は、その「あるところまで使えるかどうか」さえも見えていないのです。ES細胞すら臨床応用は成功していません。私はここ2~3年が、それが見えるかどうかの判断のために重要だと思っています。——それは、iPS細胞の標準化ができるかどうかにもかかっているのでしょうか。

須田 私は、標準化より手前で「理想的なiPS細胞」が出来ているかさえ見えていないことのほうがもっと問題だと思います。「このiPS細胞を使えば腫瘍を作らない」というような安全なiPS細胞がないのです。

——iPS細胞を体に入れたときの危険性は、ほかにもあるのですか。

須田 通常の移植のように他人の細胞を身体に入れたとき、少々の不具合があるものが混ざったとしても免疫はたつき体内で

排除されるのに対し、iPS細胞由来の細胞を使った場合には自分の細胞を使うことになるので免疫がはたらかない。よく再生医療にiPS細胞を使ううえで拒絶反応がなく利点だといわれていますが、じつは、これが問題になる可能性もあるのです。たとえば白血病の場合、治療後の骨髄細胞は正常化するので、それを採って置いて再発してしまったときには使えばよいのではないかとされます。しかし、採っておいた細胞が100%正常ならよいのですが、ほんのわずかも正常でないものが含まれていると、免疫がはたらかないので再発の危険があります。同じことがiPS細胞でもいえます。

そこで、iPS細胞の再生医療への応用においては、おおもとの未分化細胞を治療に使うのは止めて、分化誘導を行って、100%心筋なら心筋になる細胞、網膜上皮細胞ならそれになる細胞にまで分化させておいて導入する方法がよいのではと考えられています。ただし、実際には、iPS細胞から完全に分化した細胞を作ることができるかどうかさえ、まだわからないのです。

理化学研究所の高橋政代先生が研究している網膜色素上皮の場合は、細胞数が少ない(1万~10万個)ので、100%分化しているか確認できるでしょう。しかし、血液細胞となると10の8乗個、億の単位の細胞が



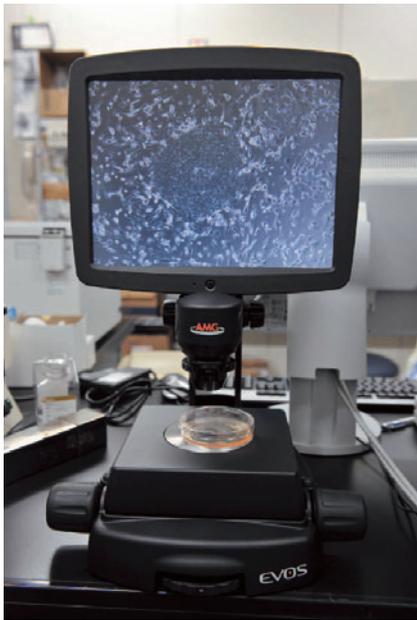
この2~3年が
実用化に向けての
判断に重要

戦略的創造研究推進事業CREST研究領域「人工多能性幹細胞(iPS細胞)作製・制御等の医療基盤技術」

研究総括

須田年生 すだ・としお

慶應義塾大学医学部 坂口光洋記念講座 発生・分化生物学講座 教授、熊本大学発生医学研究センター・客員教授、医学博士、医師、血液学会認定医および指導医。1974年 横浜市立大学医学部卒業。自治医科大学血液学 助教授、熊本大学医学部遺伝発生医学研究施設 分化制御部門 教授、などを経て現職。



理研の高橋研究室で培養されているiPS細胞

あるので、全部が分化した血液細胞と確認するのは現在では難しいでしょう。

エピジェネティクスや生殖細胞の機構解明はポスト山中の芽

——CREST「人工多能性幹細胞(iPS細胞)作製・制御等の医療基盤技術」領域は、どのような考えで課題採択したのですか？

須田 臨床応用するための基礎研究、細胞リプログラミングのメカニズム解明やリプログラミングの技術開発にウエイトを置いています。もちろん、疾患モデルを扱うような臨床応用に比較的近い研究もふくまれています。基礎研究として、エピジェネティクス(*)や生殖細胞の研究などにも注目しています。

*エピジェネティクス

DNAの塩基配列の変化をとまわずに遺伝子の発現に影響を起こす、ゲノムを取り巻く環境の変化などに関する研究分野。

——「エピジェネティクス」、最近までこの言葉を知らなかったのですが……。

須田 私は、iPS細胞の次に注目されるのはエピジェネティクスだと思っています。とくに、エピジェネティクスの機構を操作するというより、それをうまくコントロールしている生殖細胞の発生分化や性質を解明しようとしています。

——興味深い研究ですね。きっとたくさんの方が取り組んでいるでしょうね。

須田 それが、みんなiPSの再生医療応用に気をとられてか、意外とやっている人が少ないのです。日本は、この分野をリードしています。「次の山中」につながる研究だと期待しています。

幹細胞研究の地下水脈は日本のほうがリッチ

——日本にはES細胞などの幹細胞研究の地下水脈があまりなくて、山中先生だけが突出している気がするのですが……。

須田 それは誤解です。地下水脈は海外よりむしろ日本のほうがリッチなのです。米国でES細胞研究は多いのですが、試行錯誤の研究が多く、日本のほうが発生学をもとにした緻密な研究が行われていると思いますよ。たとえば、先日、米国のキーストーンで開かれた「低酸素」や「幹細胞」をテーマとしたミーティングに招待されて行ったのですが、欧米の研究者が日本の発生学や幹細胞研究は強いとうらやましがっていました。——アルツハイマーやパーキンソン病などのメカニズム解明にiPS細胞が利用できるという話について、教えてください。

須田 病気の研究のために、血液ならいくらでも用意できます。これに対して、ヒトの神経細胞は簡単には入手できませんから、iPS細胞から分化誘導して神経細胞が採ればいいと思います。神経だけでなく、脳、肝臓や心臓のヒト細胞を入手することは困難でしたから、iPS細胞から作製できればいいと思います。

——そういう疾患モデルとなる細胞があれば、創薬につながりますね。

須田 応用には、企業、とくに化学・製薬などの協力が不可欠ですが、日本の企業はついてきていないですね。日本のビッグファーマは再生医療にほとんど参入していないのです。米国ではベンチャー企業が出てくるのですが、日本ではベンチャー企業が立ち上がったとしても、商品展開に乏しく消えていってしまいます。米国の成功例では、それぞれに1つは強い基盤を持っていて、それとiPS細胞研究が結びついています。

山中先生も、「研究者にしても、「iPS」と名が付くと研究費がサポートされるからというのではダメ。何か強いものを持っていて、それと結びついていかなければならない」と言っていました。情報科学に強い企業が、iPS細胞のバイオインフォマティクスに取り組むなどのビジネスが今後、出てくることを期待しています。■

iPS細胞研究関連のニュース

2006年08月

山中伸弥 京都大学教授ら、皮膚細胞から万能幹細胞の誘導に成功。

2007年11月

山中教授ら、ヒト人工多能性幹細胞(iPS細胞)の樹立に成功。

2007年12月

山中教授ら、がん遺伝子Mycを用いないiPS細胞誘導に成功。
特別シンポジウム「多能性幹細胞研究のインパクト —iPS細胞研究の今後—」を開催。

2008年01月

京都大学がiPS細胞研究を推進する日本の中核研究組織として「iPS細胞研究センター」を設置(山中教授がセンター長に就任)。

2008年02月

山中教授が、基礎医学分野で優れた研究業績を挙げた研究者に贈られる「ロベルト・コッホ賞」(ドイツ ロベルト・コッホ財団)を受賞。

2008年10月

山中教授ら、ウィルスベクターを用いずにiPS細胞を樹立することに成功

2009年05月

米ハーバード大学の金洗秀准教授らのチームがたんぱく質を用いてヒトiPS細胞の作製に成功。

2009年06月

文部科学省が10年後までのiPS細胞研究ロードマップをまとめる。

2009年07月

米オバマ政権が、連邦政府が支援するヒト幹細胞研究についてのNIHガイドライン(最終指針)を発表。

2010年01月

米スタンフォード大の研究チームが、マウスの皮膚細胞からiPS細胞を使わず直接、神経細胞を作製することに成功。

2010年04月

京都大学が、iPS細胞研究センターを改組し「iPS細胞研究所」(CiRA)を設立。

岩間厚志
いわま・あつし

千葉大学大学院医学研究院 先端
応用医学講座 細胞分子医学 教授。
1987年 新潟大学医学部卒。自治医科
大学医学部附属病院シニアレジデント、
熊本大学医学部分化制御学講座助
手、ハーバード大学医学部ベス・イ
スラエル病院血液・腫瘍講座
研究員などを経て現職。



エピジェネティクス研究から見えるiPS細胞の未来

再生医療の基礎研究において、iPSの次にブレイクスルーをもたらすと期待されているのが「エピジェネティクス」だ。
造血幹細胞の多様性を維持する仕組みから、そのメカニズムに迫る。

造血幹細胞研究の常識を iPS細胞樹立がひっくり返した

「そんな研究に意味があるのかな？」

京都大学の山中伸弥教授による「iPS細胞樹立の発表」が世界を驚かすしばらく前のこと。岩間厚志教授は、思わずそんな言葉を発してしまったという。分子生物学会に出席した研究室の学生から、山中教授の研究内容を知らされたときのことだ。

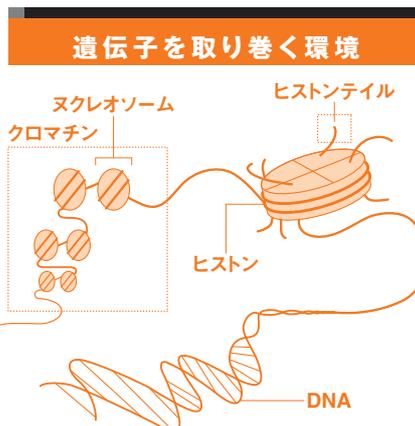
「いま考えるとお恥ずかしい話ですが、私たち造血幹細胞(*)の研究に携わる者からすると、組織細胞が幹細胞になるなんて、それほど常識を覆すことだったんですよ」

*造血幹細胞

分化した細胞の一種。ヒトでは主に骨髄に存在し、白血球、赤血球、血小板に分化する

造血幹細胞に限らず、幹細胞はやがてさまざまな組織や臓器の細胞へと分化する。それまでは、老人が若者に戻れないように、分化した細胞は幹細胞へは戻れないというのは常識だったのだ。

「白血球を赤血球にするなど、ある細胞を別



遺伝子のはたらきは、核内のクロマチン (DNAとたんぱく質の複合体) の構造の変化によって制御される。クロマチンは、ヌクレオソームがつながって折りたたまれた構造をしており、ヌクレオソームは、ヒストン (たんぱく質の一群) の集合体にDNAが巻きついた構造をしている。ヒストンの一部 (ヒストンテイル) が化学修飾されると (ヒストン修飾)、化学修飾の種類に応じてクロマチンの構造が変わり、それによって遺伝子のはたらきのアクセスが踏まれたりブレーキが踏まれたりする。

の細胞に変える研究は、じつはそれまでもありましたが、あまり意味がないと批判されていました。生理的な摂理に忠実に、幹細胞から機能細胞への分化の過程を調べるこそ重要だと思われていたのです」

ところが、iPS細胞の樹立により、その常識はひっくり返し、再生医療の救世主になりかねないと世界中が大騒ぎになった。岩間教授は大きな衝撃を受け、常識にとらわれていた自らの態度を反省するとともに、新たな意欲を燃やす。「iPS細胞やES細胞の研究と、造血幹細胞の研究が結びつくことで、大きなブレイクスルーが得られるかもしれない」と――。

遺伝子発現制御の仕組みを エピジェネティクスで解明する

岩間教授は、造血幹細胞がさまざまな血液細胞に分化する仕組みを、「エピジェネティクス」によって解明しようとしている。

「一卵性双生児の遺伝子はまったく同じです。遺伝子がすべてを決めるなら、まったく同じ形質を示しそうなものですが、実際にはそう

なりません。その要因を、遺伝子を取り巻くたんぱく質などの環境に求めて、遺伝子発現の制御のメカニズムを解明するのが、エピジェネティクスです」

遺伝子は、転写因子と呼ばれるたんぱく質の一群がDNAに結合し、必要な部分をコピー(転写)することで発現する。その転写因子研究が進むにつれて、次に注目されたのが、転写因子のまわりに、さらに別のたんぱく質がくっついていることだった。いったいそこでは何が起きているのか——そんな疑問からさらに研究が進められ、いまでは「ヒスト

それから2年後、世界でエピジェネティクス研究の機運が高まるなかで、Bmi1を含む「ポリコーム複合体」(***)が、遺伝子発現に重要な役割を果たすこともわかった。

***ポリコーム複合体

たんぱく質複合体の一種。ヒストンを化学的に修飾する(ヒストン修飾)ことで、遺伝子の発現を制御する。

岩間教授は、注目してきたBmi1がエピジェネティクスで重要な役割を果たすことに気づき、勇気づけられた。幹細胞には、「自己複製」と、さまざまな他の細胞に分化する

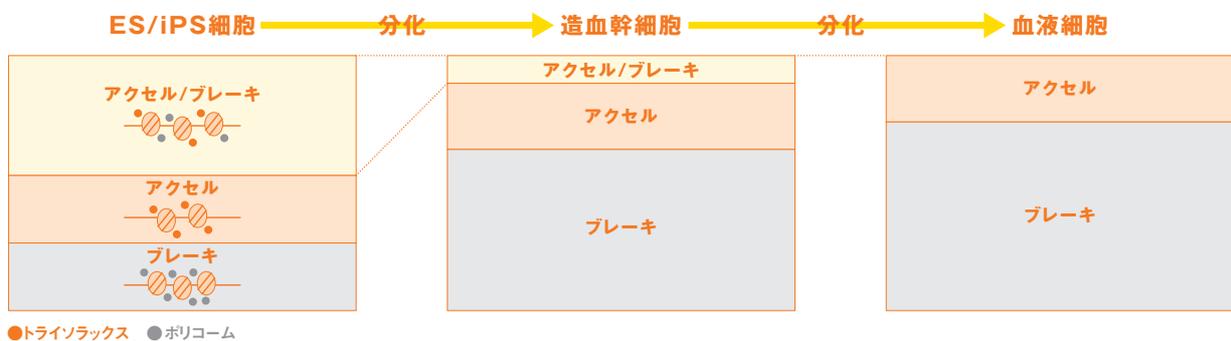
のが、ポリコーム複合体だったのです」

岩間教授は研究の結果、造血幹細胞でも同じシステムで分化前の状態が維持されていることを解明し、また、維持にはBmi1が欠かせない存在であることも見出した。

「造血幹細胞は試験管の中で維持するのが難しく、なかなか培養できません。しかし、Bmi1の維持機能が未分化な状態に止めておくことができれば、iPS細胞から造血幹細胞を作ることができれば、骨髄バンクとして利用し、新たな治療法にもつながるでしょう。そのためにも、iPS細胞から造血幹細胞へ、さらに血液組織へ

細胞分化に伴うアクセラとブレーキの変化

ES/iPS細胞ではあらゆる臓器・組織の分化にかかわる遺伝子群がアクセラとブレーキが同時に踏み込まれた状態にあるが、造血幹細胞では血液細胞の分化にかかわる遺伝子群のみが同様な状態にあり、最終的に特定の血液細胞に分化する際に、それにかかわる遺伝子群のブレーキが外れる。



ン修飾」(**)などによって、あたかもアクセラやブレーキが踏まれるような動作が、遺伝子発現で起きていることが明らかになってきた。

**ヒストン修飾

ヒストンが化学的な修飾を受けること。遺伝子発現の制御に影響する。ヒストンとは核内にあるたんぱく質の一群で、DNAに結合するたんぱく質の大部分を占める。

「Bmi1」というたんぱく質との出会いが転機に

岩間教授は血液内科の臨床医から転じて研究者の道に進み、やがて造血幹細胞の分化に関する転写因子の研究に取り組み始めた。そこで転機が訪れる。「Bmi1」というたんぱく質との出会いだ。

「ある文献で、Bmi1に関する遺伝子を欠損させたマウスが、再生不良性貧血という造血幹細胞の病気に似た症状を起こすと知ったんです。興味を持ってそのマウスを取り寄せ、調べたところ、造血幹細胞にとって重要な分子であるとわかりました」

「多能性」という2つの性質がある。そのうち自己複製においてBmi1が果たす役割を調べたところ、やはりBmi1は自己複製に欠かせない存在であり、造血幹細胞の増加にも寄与することが明らかになった。

基礎から応用への壁はいつ飛び越えられるか予測はできない

懐疑から驚き——そして、iPS細胞やES細胞の研究と造血幹細胞研究とをつなげれば、幹細胞の誘導・分化の仕組みの解明が大きく進むのではないかと考えはじめた岩間教授は、CREST「人工多能性幹細胞(iPS細胞)作製・制御等の医療基盤技術」で研究を続けることになった。

取り組んだテーマの1つが、造血幹細胞の維持の詳しい仕組みの解明だ。

「ES細胞やiPS細胞は、幹細胞がほかの細胞に分化していない未分化な状態では、ヒストン修飾のブレーキとアクセラが同時に踏まれた状態にあることが解明されていました。そのうちブレーキの役割を果たしていた

というメカニズムを解明したいと思っています」

しかし、こうした基礎研究を応用へとつなげるのは容易ではない。それでも、岩間教授は常に応用を意識しているという。

「再生医療というと、すぐに『いつ医療現場で使えるのですか?』と聞かれますが、基礎研究によって、たしかに裏付けがされてこそ、応用が成り立つのだと思います。ただし、基礎研究のための基礎研究では、医療分野の研究を続ける意味がありません。山中教授の研究も、マウスのときは基礎的なものとみられ、応用につながるとはほとんどの研究者は思っていなかったでしょう。しかし、ヒトの皮膚細胞からiPSへという壁を乗り越えたときに、一気に応用へと近づいた。エピジェネティクス研究も、いまは基礎研究です。しかし、応用に遠そうに見えても、どこで壁を飛び越えられるかわからないと思います」

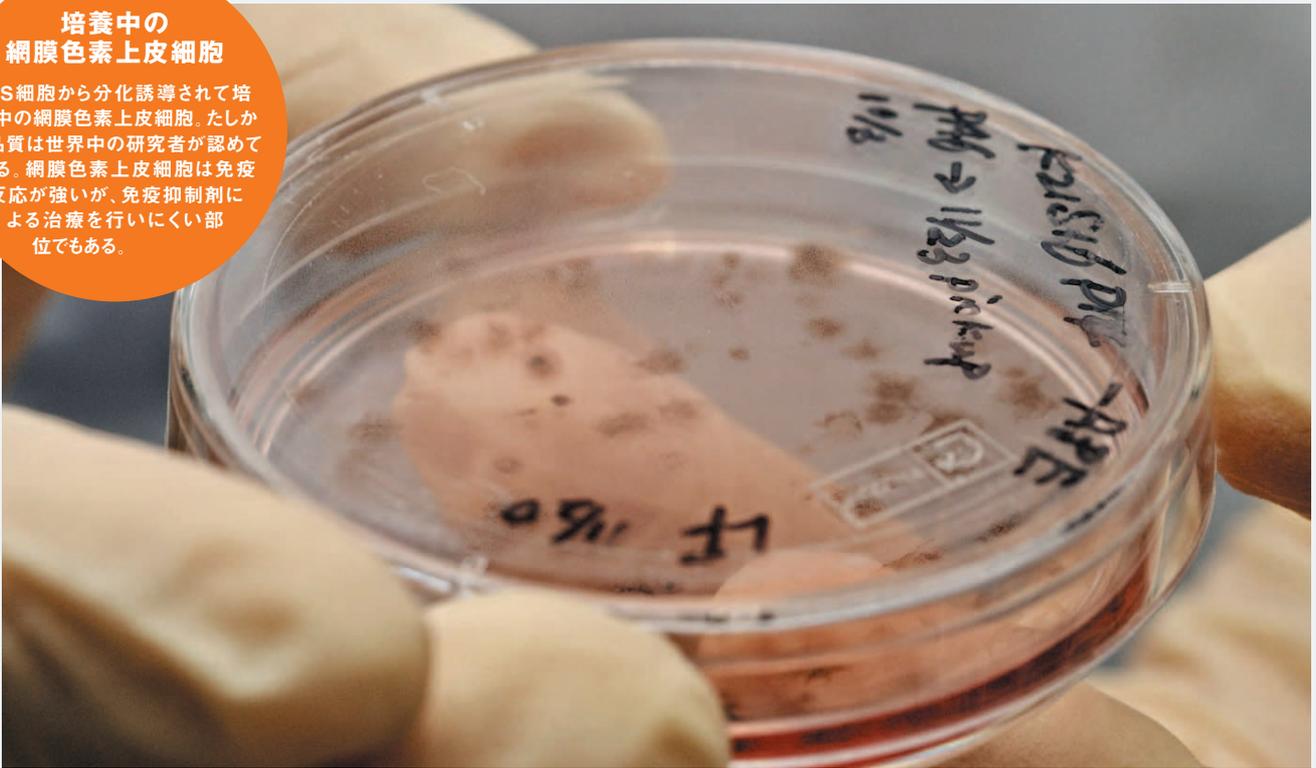
iPS細胞の樹立は、造血幹細胞のエピジェネティクス研究を活性化するだけでなく、研究者の意識も大きく変え、再生医療への道を大きく切り拓こうとしている。■

iPS細胞研究のいま

JSTが取り組む再生医療に向けた幹細胞研究の基礎と応用

培養中の 網膜色素上皮細胞

iPS細胞から分化誘導されて培養中の網膜色素上皮細胞。たしかに品質は世界中の研究者が認めている。網膜色素上皮細胞は免疫反応が強いが、免疫抑制剤による治療を行にくい部位でもある。



iPS細胞研究から網膜再生医療実現の道へ

iPS細胞には解決すべき課題が残されているが、一方では臨床研究目前の分野もある。その最有力候補が網膜再生だ。現在、どこまで準備が進み、残された課題は何なのか。クリアするためには何が必要なのか。トップランナーに聞いた。

走っている人だけが ボールを受けることができる

「『4つやったんや! 4つやったんや!』って、騒いでおられたんですよ。最初は何のことかわかりませんでした」

理化学研究所 発生・再生科学総合研究センターで網膜再生医療研究チームのリーダーを務める高橋政代医師は、山中伸弥教授によるiPS細胞樹立成功を初めて知った

ときのことをそう振り返る。「4つ!」と言っていたのは、いち早く快挙を知った同センターの西川伸一副センター長だ。iPS細胞の樹立がたった4つの因子によって成功したことを興奮とともに語っていたのだ。快挙の内容を知った高橋さんは、日の光が差し込んだ気がした。

「それまで私は、ES細胞から網膜を分化誘導させる研究をしていました。日本はES細胞に関する規制が厳しく、実用化への道は険しい。しかし、いつかは解決すると信じ、研究を続けていたんです」

眼科の臨床医である高橋さんは、1996年、アメリカのソーク研究所に留学する機会を得た。そこで神経幹細胞の培養という最先

端の研究に触れ、「これは網膜移植につながる!」と直感する。帰国後も研究を続けて論文をまとめ、神経幹細胞やES細胞から網膜細胞への分化誘導などに取り組み、着々と成果をあげてきた。とはいえ、ES細胞を用いた研究は、実用化へのハードルが高いと思われた。そんなときに飛び込んできたiPS細胞樹立のニュース。実用化が目前に迫ってくるのを感じた。

「iPS細胞も分化誘導の方法はES細胞と大きく変わらなかったで、スムーズに移行できたんです。ES細胞の規制につまずきながらも研究をやめず、前に進んでいてよかったと思いました。ボールのパスを受けられるのは走っている人だけ。止まってしまった人はボールを受けられないんですね」

技術的な問題はすべてクリアしたと確信しています



高橋政代 たかはし・まさよ

理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター 網膜再生医療研究チーム チームリーダー。1986年 京都大学医学部卒。京都大学医学部附属病院 探索医療センター開発部 助教授などを経て現職。

臨床研究のための ベストな計画を立てる

高橋さんは現在、JSTの戦略的イノベーション創出推進(S-イノベ)研究開発テーマ「iPSを核とする細胞を用いた医療産業の

構築」の研究課題「細胞移植による網膜機能再生」の研究リーダーを務め、3～5年のうちに網膜細胞移植の臨床応用に乗れ出そうとしている。ほかの研究課題に比べて、もっとも早くiPS細胞による再生医療実用化のフロンティアとなる研究とみられている分野だ。

「対象とする疾患は、加齢黄斑変性と網膜色素変性です。加齢黄斑変性は、老化にともない目の網膜にある黄斑部が変性をおこす疾患で、視野は維持されるのですが、視力が失明の基準である0.05未満に低下しま

「目は、外から患部を見ることができるので、移植の経過診断が可能なのが有利なところ。臨床研究に移行するにあたっては、さまざまな段階を踏み、慎重に計画を立てました。移植治療を第一に考えれば、別な選択になるでしょうが、しかし、患者の利益を考えた臨床研究としてはこれがベストと考えました」

50年後のめざましい成果のために 第一歩を踏み出させてほしい

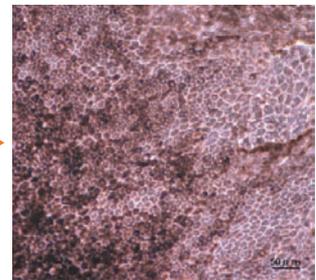
高橋さんが心強く感じているのは、S-イノベの研究課題で、再生医療のトップ企業で

の現場に、もっと臨床医が入ることによって、多角的な見方が生まれてくるのではないかと思います」

課題や壁はさまざまだが、高橋さんがもっとも懸念するのは、周囲の過度な期待だ。「『網膜の再生』と聞くと、視力を失った人がたちまち目が見えるようになるといった劇的な場面を思い浮かべがちです。しかし、少なくとも臨床研究ではそうはなりません。第1段階で網膜色素上皮細胞浮遊液の移植を行い、安全性を優先しつつ効果を検証する。ここでは、視力低下は抑えられても回復する

iPS細胞からの網膜色素上皮細胞分化誘導

iPS細胞に必要とされる因子を、論理的に検討された決まった順番、決まったタイミングで加え、分化誘導させる。培養期間は3週間。色素細胞のみをピックアップして徐々に増殖させることで、すべてが網膜色素上皮細胞という細胞集団がとれる。機能的にみても完全な網膜色素上皮細胞だ(顕微鏡画像はP07)。



す。眼鏡でも矯正できません。網膜色素変性は視細胞(*)の疾患で、視野が極端に狭くなります。デスクワークなどには支障がないのですが、歩くのは困難なのです。完全に見えないわけではないのに視覚障害ということで、他人から誤解を受けることも多く、社会問題にもなっているこの2つは、効果的な治療法が見つかっていないのです」

*視細胞

網膜色素上皮層のすぐ内側にある細胞。光刺激を吸収し、神経信号へ変換する。

研究計画は、iPS細胞から網膜上皮細胞(*)や視細胞を分化誘導し、しかる後、細胞浮遊液を注入することで移植をする手法と、シートを作製して移植をする手法とに分かれている(シート移植は網膜色素上皮細胞のみ)。

**網膜色素上皮細胞

網膜のもっとも外側にある網膜色素上皮層の細胞。視細胞の維持などの役割を果たす。

あるJ-TECの協力を得られることだ。J-TECは、日本で唯一、再生医療製品である自家培養表皮の承認を得ている企業であり、パートナーとして申しぶんない。S-イノベとは、産学が連携してイノベーションを創出するための研究開発支援を長期一貫して行う事業で、この場合、学が高橋さんで、産がJ-TECにあたる。

「細胞の品質規格の設定、前臨床実験の実施、追試など、企業がすでに持っているノウハウを生かしてもらえるので、私たちは研究に専念でき、臨床研究、実用化が早まると期待しています」

では、研究そのものの課題は何か。高橋さんは、すでに分化誘導の技術的な問題はすべてクリアしていると語る。

「移植する網膜細胞の質については問題ないと確信を持っています。手術にともなうリスクを指摘される方もいますが、現在、はるかにリスクの高い手術は毎週のように行われています。また、iPS細胞そのものの危険性を指摘する声もありますが、iPS細胞研究

わけではないのです」

それを理解せずに期待がふくらめば、結果への不当な評価につながってしまう。したがって、患者に安易に「再生医療で治ります」という言葉をかけるべきではないとも高橋氏は指摘する。

「疾患の種類や程度によっては、移植しても治らない場合もあります。患者さんのなかには、その事実を受け入れられない人もいらっしゃいます。正確な説明もなしに、楽観的な言葉だけを投げかければ、結果として大きな絶望を生みかねません」

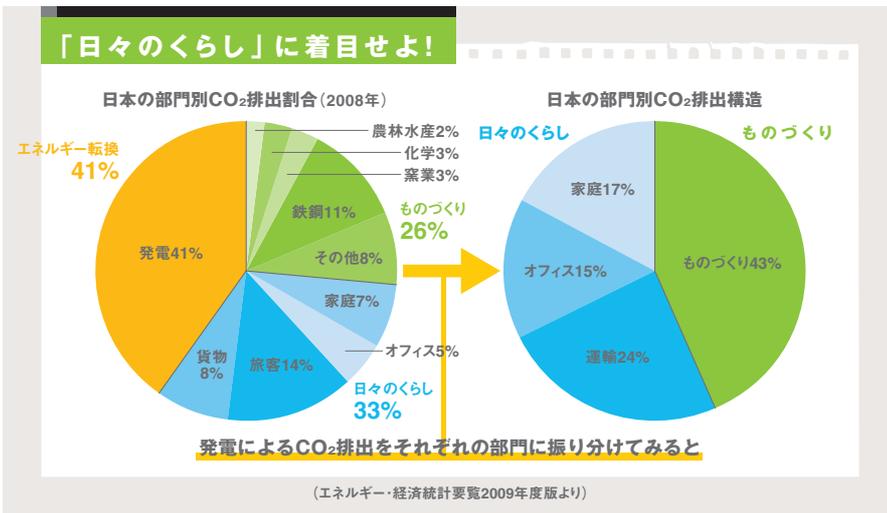
そんな事態を防ぐためにも、研究者はもちろん、国や報道機関、そして私たちも正しい情報を客観的に見つけ、判断する姿勢が求められる。インタビューの最後に高橋さんは、冷静ななかにも情熱を込めて、こんな言葉を残してくれた。

「環境が整えば、50年後、よりたくさんの患者さんが移植を受けられるめざましい成果が出ることはたしかです。だからこそ、いま、第一歩を踏み出させてほしいのです」

JST低炭素社会戦略センター(LCS)の取り組み

低炭素社会を実現するためのシナリオとは？

2020年までに温室効果ガスの排出量を1990年比で25%、2050年までに80%減少させる——この目標を達成するために、さまざまな分野の叢智を集結し、決して絵空事に終わらない、現実味のあるシナリオを描き出す。それが低炭素社会戦略センターの狙いだ。



た低炭素社会戦略センター(LCS)は、自然科学のみならず、人文・社会科学知見も用いながら、地に足のついたかたちで低炭素社会の実現にいたるシナリオを策定し、それを広く世間に発信することを目的としている。今回はその活動について山田興一副センター長に話を聞いた。

「ものづくり」面での二酸化炭素削減にはもはや大きな伸びしろは期待できない

低炭素化というと、「ものづくり」からの二酸化炭素排出量削減に目がいってしまう。しかし、CO₂排出量の多い「ものづくり」産業である製鉄、セメント製造のエネルギー原単位(単位製品生産量当りに消費するエネルギー)は日本が世界でもっとも低く、もっともエネルギー効率が高くなっている。

また、マクロ的な指標である単位GDP当りのCO₂排出量は日本がもっとも低く、世界平均値の30%、OECD(経済協力開発機構)諸国平均値の60%となっている。

このようにマクロ的にも、ミクロ的にも効率化が進み、CO₂排出量が低い状況下でさらに大幅に「ものづくり」からCO₂排出量を削減することは困難であることは明白である。

「まず、われわれとしては、低炭素社会と住みやすい社会を両立させたいと考えています。CO₂は減ったけれど、ばく大な費用もかかって、GDPも減り、国民の負担が増えた、では意味がない。ですから、大きな目標として、2020年までにCO₂排出25%の削減を目指すとともに、世の中がどうなったら幸せであるかを考えようという話ですよね」

そのために必要とされるのは、1つはブレイクスルー技術の開発、そしてもう1つは日常的なCO₂削減を積み重ねていく、地道な取り組みだ。

「ブレイクスルーとはいっても、2020年の目標を実際に達成しようと思ったら、期日は目の前です。大部分はいまある技術の延長でいく

「低炭素社会」という言葉はもはや、日常語と化した感がある。1997年の京都議定書や、2009年12月に鳩山総理がコペンハーゲンの気候変動枠組条約第15年締約国会議で行った「1990年比でいえば、2020年までに25%の削減を目指す」という宣言などを経て、日本は国際社会のなかでも低炭素社会の実現を先導していかなければならない立場となった。

低炭素社会を実現することは簡単ではない。化石燃料に頼っているいまの社会を先の見通しを持たずに急激に低炭素化すれば、不安定な社会になってしまう。先進国に追いつき、追い越せと成長を続けてきた日本も経済大国になった後は欧米モデルでは成長を続けられなくなり、この20年間は停滞が続いている。

さらに世界に先行して超高齢化社会に入っている状況の下で明るく、豊かな低炭素社会を実現するためにグリーンイノベーションを進めることは挑戦的な課題であり、大きな価値がある。

また、日本にはそれを進めるだけの科学・技術の水準、社会の実力がある。

そんななか、2009年12月11日に設立され



低炭素社会戦略センター副センター長

山田 興一 やまだ・こういち

1939年生まれ。横浜国立大学工学部卒業。住友化学工業愛媛研究所、マックスプランク研究所に在籍し、1982年に工学博士。東京大学工学部客員教授、同大理事、総長室顧問などを歴任。

しかないでしょう。それでも、徐々にエネルギー利用効率は上がり、新しいシステムも取り入れていきますから、それなりの数字は出せるはずです。大事なのは、それと並走して、さらに将来、たとえば2050年の大きい目標の達成につながるブレイクスルーを目指すことだと思っています」

一方、地道で日常的なCO₂排出削減は、大きく2つに分けることができる。「ものづくり」と、「日々の暮らし」だ。ここで「ものづくり」のCO₂排出削減については前述したように、すでに日本の産業界はかなり高いレベルで省エネを実現しており（これは大いに誇れることなのだが）、そのぶん伸びしろが少なくなっているのだ。

「実際のエネルギー変換効率が理論効率に対して、いま、どこまで達成しているのかを試算してみたのです。発電に関してはもう60%ぐらいになっている。いちばん進んでいるセメント業も、理論効率の63%までできていて、これを2倍には絶対にできない。だって最高で100%ですからね。製鉄業はかなり複雑な

の「発電（41%）」を、右図の用途別に振り分けてみると、CO₂の排出量は、「日々の暮らし」が「ものづくり」を上まわっているのである。

「運輸とか、家庭やオフィスで使っている電気とか、そういうものを全部ひくると、55%を超えてくる。では、このなかで減らせないかと考えて、試算してみたのです。そうすると、たとえば新築の家の80%に太陽電池を入れるとか、エコハウスにするとか、古い家にも半分ぐらいはソーラーを入れるようにするとか、いろいろ手を打てば、CO₂削減25%はできるのではという結果が出たのです。ただ、机上の計算だけでは仕方がないわけで、それをいかに実現していくかがこれからの課題でしょう」

ただ、そこには1つ大きなネックがある。経済的な問題だ。

「たとえば太陽電池でいうと、現状では、発電コストは通常家庭で使っている電気代の倍ぐらいの値になっています。倍ぐらいのものを、通常発電と同じコストにすることは急にはできません。でも、今後10年ぐらいでコストダウンが進み、その後も技術進歩が続き、

しかも快適性や環境性に優れているということから、付加価値がついていくと思えます。やっぱり、みなさんが環境へ配慮したものを、「これはいい!」「使いたい!」と思うかどうかですよ。そういう雰囲気が盛り上がることによって、経済ももっと活性化していくと思うのです」

経済的、社会的な側面も加味したテクノロジーのマネジメント

そのためには技術努力だけでなく、経済面、社会面での努力が重要となってくる。LCSには、そうした総合的なネットワークづくりが大きく期待される。

「日本は個々の技術はすごく進んでいるわけです。だけど、みんなバラバラにやっていて、結びつきがいまひとつうまくいってない。しかし、一度それらを「低炭素社会の実現」という立場に立って見直すことがたいせつです。新しい視点で社会を見ると、停滞していた状況から明るい社会が展望できるようになります。太陽電池だ、電気自動車だと個々の製品だけを世の中に出しても、その経済的影響は

持続可能で活力のある低炭素社会を構築するために

工程で効率は低いのですが、それでも30%。つまり、数字は世界でもトップに来ているので、いまある技術を改善し、CO₂排出をこれ以上減らすのは、いかに努力しても非常に難しいです。2020年までに「ものづくり」面でさらにCO₂排出を大幅に下げようとするれば、国際競争力も低下するし、産業界からの反発もあるでしょう」

「日々の暮らし」の低炭素化に どういう付加価値を持たせるか

となれば、おのずと「日々の暮らし」でのCO₂排出削減のコスト削減が浮上してくる。ただし、これは「ものづくり」にくらべると「その量は微々たるもの」というイメージが強い。ところが、それを覆すのが上掲のグラフだ。左図

また市場も拡大しますので、その先の10年で初期投資費用を取り戻せるのです。私たちは、そういうスパンでのものの見方や、実際にどんな技術やシステムが使われるかというものも提示していきたい。そして、それが住みやすい、活気ある社会につながっていくのだということを示していきたいのです。

自動車のプリウスの例をみてみましょう。プリウスというハイブリットカーが登場して10年ぐらいになりますが、これは発売当初はあまり売れなかった。しかし、次第に省エネルギーの価値が認知されて、ハイブリットカーに乗ることが1つのステータスになって、そこに付加価値が出てきました。それと同じように、住みやすく環境にもいい家というのは、初期投資は高くとも、長い目で見れば投資回収も可能で、

そう大きくはない。家族の「日々の暮らし」、その集合体の街、地域、国と範囲を広げた場で明るく、豊かな低炭素社会を実現するグリーンノベーションが、世界のなかで日本の存在を大きくすることにつながります。そのためには、どのような技術・システムをどう開発し、実用化していくか、またその経済性をどう成り立たせるのかという定量的な技術シナリオを描くことが重要です。また、そのシナリオを入れるべき社会を設計し、持続性を確保する経済モデルを示す必要があります」

LCSの低炭素社会実現に向けたシナリオは、この夏にも発表されるという。地に足のついた削減目標の達成を目指すとともに、明るい未来が実現できるものとなることを期待したい。■

日々の暮らし	住宅/オフィス	エネルギーマネジメントと見える化、多くの新築をエコ化、省エネリフォームの推進	6%
	輸送	エコカーへの早期移行、移動手段・物流手段の変更	6%
発電・送電		原子力発電稼働率改善、バイオマス、家庭電源高圧化	5%
産業		産業界のさらなる省エネ化	3%
農業		農作物の植物病被害低減ならびに耕作放棄地・余剰農地における堆肥・緑肥生産	1%
森林		適正に手入れされている森林の確保	4%
CDM(*)		鉄鋼、セメント、紙パルプ、発電、鉄道、原子力発電	5%
合計			30%

日本が取り組むべきCO₂削減策

*CDM=クリーン開発メカニズム。先進国が発展途上国において支援を行い、温室効果ガスの削減を増加する事業を実施した場合、削減できた排出量の一定量を支援元の国の温室効果ガス排出量の削減分の一部に充当することができる制度。

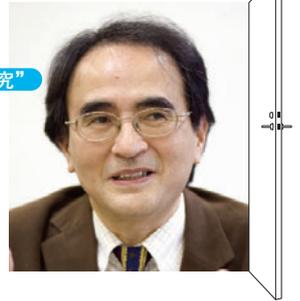
Welcome to my laboratory



ようこそ
私の研究室へ 38

研究成果最適展開支援事業「育成研究」

「構造物の耐震性能を高機能化する次世代パッシブトリガーダンパーの開発」
代表研究者



山口修由

木造という古い技術を新しい技術でよみがえらせる
地震に強く、環境に優しい木造建築の利用を促進します。

PROFILE

山口修由(やまぐち・のぶよし)

建築研究所 材料研究グループ
主任研究員

1954年、東京生まれ。1977年法政大学工学部建築学科卒。1979年旧建設省建築研究所に入所。現在、独立行政法人建築研究所材料研究グループに所属。博士(工学)。専門は、木質構造。1979年以降多数の地震被害調査に参加し、木造住宅の耐震診断法(初版)の開発・検証など、木造住宅の耐震化に関する研究に従事。1998

年に「木造」と「他の構造・材料」を組み合わせる「木質ハイブリッド構造」を提唱し、1999年から総合研究プロジェクトが始まる。この成果として2005年に4階建木造が実現可能となる。2008年以降は、国際的な建築材料研究組織である「RILEM」の委員会 TC215-ASTの委員を務め、木造の健全性診断手法の標準化に取り組む。



ないがしろにされていた
日本の木造建築研究

「じつをいうと建築学会では、木造は廃止しようと言った時代もあるんです。その頃はもう、技術の進歩イコール鉄やコンクリートで家を建てることだったんですね」

日本においては古代時代以来の歴史を持ち、家屋から神社仏閣まで、建築物の主流となってきた木造建築だが、研究の対象



4階建木造試験体の屋根裏にセットされた地震計。随所に地震計が配置され、細かなデータを収集。

としては、長い間注目されることがなかった。それは1つには、身近すぎることが原因だったと山口修由さんは語る。

「たとえば病気でいうと、風邪の研究をする人ってあまりいませんよね。がんの研究をする人はたくさんいるけれど。でもやはり、風邪は万病のもとですし、われわれみんながかかると病気でいいます」

山口さんが建築研究所に入所したのは1979年のこと。生活に密接に関連する住宅、建築、都市分野の研究を行うこの機関に入って、山口さんに強い印象を残したのが、地震後の被害調査だった。

「実際に壊れた建物を見ると、やはり心を動かされます。建築研究所は行政的な研究機関でもありますので、壊れた建物に対して大学の研究者よりも、より直接的な責任を感じます。地震で住宅が壊れて住民が困っている状況を改善する義務が、建築研究所の研究者にはあると感じました」

そこから、おのずと地震に強い木造建築というテーマが浮かび上がってきた。しかし、そのテーマがすぐさま受け入れられたわけではない。まず、先述した「木造はもういない」という流れ。

「木造建築に使う木材は空気中から吸収した二酸化炭素を材料に出来ていますから、空気中の酸素と再び結合すれば燃える材料なのです。ですから、燃える材料は建物や街からなくなってしまうというのが当時の気運でしたね」

そして、もう1つが地震予知への期待である。もし地震が予知できれば、耐震性を高めなくても、その前に避難すれば、とりえず命は守ることができる。しかし、そうした流れを大きく変えたのが、1995年の阪神大震災だった。



木造建築の使用を推進するために、耐火構造の大型建造物を作る研究も実施されている(写真は建築研究所の構内に建てられた4階建木造試験体)。最近では老人ホームのような大型施設も、木造で建てられるようになってきた。



木造試験体の振動実験

木造の試験体に開発中のゴム製ダンパーを組みこみ、振動実験をおこなっている。2010年1月の実験では、試験体の揺れを2分の1程度に抑えることに成功した。「まだ実験段階ですが、さらに性能を上げていきたいですね。研究のための研究で終わるわけにはいきませんから」



樹木が保存した二酸化炭素を木造建築がさらに保存する

「あの震災で地震予知の困難さが浮き彫りにされ、同時に大半の日本人は木造建築に住んでいることが改めて認識されました。となれば木造の耐震性を高めるしかない」

さらに木造建築の研究を後押ししたのは、1997年の地球温暖化防止京都会議。いわゆる京都議定書により、CO₂削減がわかに注目され、そのなかで木造建築に新たな意味合いが出てきたのだ。それが「木造建築による二酸化炭素の保存システム」という考え方である。

「樹木が50年かけて保存した二酸化炭素を、木造建築がさらに50年から100年間、木材を構成部材として使いながら、二酸化炭素も保存し続ける。で、その間に新たに植林した木が50年経つと成木になるので、そうすると二酸化炭素の保存量は2倍になるということなんです」

ただし、そのためには、建物を長く使わなければならない。現在では30年ほどで壊れることが多い木造建築の耐用年数を、2倍、3倍に延ばしていくことが必要とされるのだ。この間に木造建築が地震で壊れることは、当然避けなければならない。そのために山口さんの研究室では現在、①ダンパーを使った木造建物の耐震性能の向上、②既存木造建物の耐震補強、③既存木造建物の健全性診断、④木造建物の利用促進

—という4つの課題に取り組んでいる。



自分たちが実際に住んでいる家のことを知るために

「ダンパーはもともとクルマや列車で使われてきた技術ですが、古くからある木造技術とダンパーなどの新しい技術を組み合わせることにより、新しい木造を創造してゆきたい」

もともと山口さんは、ラジオを組み立てるのが好きな、電気科志望の学生だった。ところがあるときをさかいに、目に見えないものよりも目に見えるものに興味を惹かれるようになる。

「電気って、感電でもしないかぎり、なかなか感じるができないじゃないですか。でも、建物は目の前にどんとありますから、大きいものは大きいなりのインパクトがありますし、綺麗なものは綺麗だという感動がありますから、そういう意味ではわりとダイレクトに、感覚的に向き合えるんです」

そして大学は建築学科に進むが、建築家ではなく研究者の道を選んだ。

「最初はみんなデザイナー志望なんですけど、やっていくうちに、画の才能がある人となない人がだんだん分かってくる(笑)。でも、建築は非常にふとこの深い分野なので、いくら

でも面白いテーマが見つかるんです。木造を選んだのは……日本には木造がたくさんあるのに、大学では鉄やコンクリートのビルディングのことがばかりを教えていて、自分たちが住んでいる木造の家のことを教えてくれない。だから、ますます木造の存在が不思議に思えて、興味を持ったのだと思います」

しかし、最近では逆に「木造を研究するのは当然」という流れになっているそうだ。日本が地震国である限り、少なくとも一般家屋は今後も木造が主流だろう。その意味では健全な流れといえそうだし、山口さんの研究にもますます熱が入るに違いない。■



阪神大震災で倒壊した木造家屋。この地震がやはり日本は木造建築中心なのだと再認識させると同時に、その耐震化の重要性を痛感させた。



研究の概要

石造りや煉瓦の家がそぐわない地震国、日本においては、おのずと木造の家屋が主流となる。そこで木造の耐震化をテーマに、被害が少なく、しかもコストが安い手段を追求していくなかでクローズアップされてきたのがダンパーを使った「制震」(力で耐える「耐震」や、揺れを逃がす「免震」と異なり、揺れのエネルギーを吸収する方法)だった。しかし、使用年

数が少なく、定期的に整備が可能なクルマや鉄道のダンパーと異なり、家屋のダンパーは長期の使用に耐えなければならず、故障のリスクは極力下げなければならない。

そうした条件の下、最適な材質としてゴムが選ばれ、ゴム製品の専門会社2社と共同で研究を行っている。現在は振動台を使った実験を通じて、その性能を向上させている。また、このダンパーの構造はシンプルなため、より大きな建物や橋などの他用途に転用できる可能性も高いと考えられている。

01 高校生のための科学技術体験合宿プログラム サイエンスキャンプ

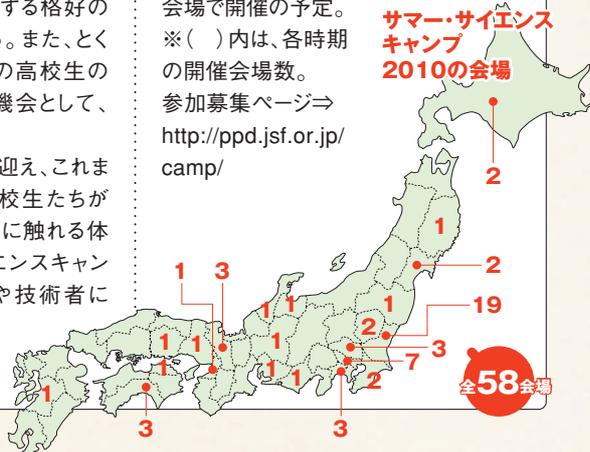


事業の概要

サイエンスキャンプは、科学に興味のある全国の高校生、中等教育学校後期課程（4～6学年）の学生、高等専門学校（1～3学年）の学生等を対象に、最先端の研究施設で先進的な研究テーマに取り組む大学、公的研究機関、民間企業を会場にして、その先進的な科学技術を体験する2泊3日の合宿プログラム。参加する高校生たちにとっては、普段なかなか出会えない、第一線の研究者や技術者から直接指導を受けることができるだけでなく、同じ興味を持つ科学好きな全国の仲間との

交流も大きな魅力となっている。会場となる大学や企業などにとっては、受験生や社会に対する格好の宣伝の機会となっている。また、とくに大学にとっては、現在の高校生の本音を聞くことのできる機会として、かなり評価されている。2010年度で16年目を迎え、これまでに8000人を超える高校生たちが参加し、先進の科学技術に触れる体験をしている。このサイエンスキャンプの卒業生で、研究者や技術者になるという夢をかなえた人もいる。

2010年度は、夏（53会場）、冬（10会場）、春（12会場）の3回、合計80会場で開催の予定。
※（ ）内は、各時期の開催会場数。
参加募集ページ→
<http://ppd.jsf.or.jp/camp/>



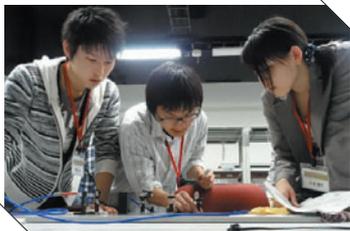
スプリング・サイエンスキャンプ2009より

センサが変える 未来の社会!

オムロン株式会社京阪奈イノベーションセンター
15名（男子9名、女子5名）

センシング技術が世の中にどれだけ貢献しているのかを学ぶという、センサ開発を実際に行っている企業ならではのプログラム。

実際にセンサに應用されている事例をもとに、初日は「光センサ」について、2日目は「顔認識」について、講義や実習が行われた。講義は、高校生の物理の知識があれば理解できるレベルに設定されていて、無理なく理解できる内容になっていた。実習は、実



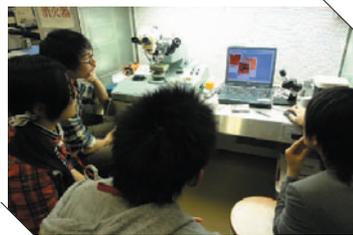
際に光センサや顔認識に現実に応用されている事例に基づいた内容ということもあり、高校生たちの興味は高く、皆熱心に実習に取り組んだ。

オムロンは、小中高校生の見学を積極的に受け入れるなど、先端科学社会貢献に取り組んでいて、こうしたイベントは手慣れている。参加者に合わせたレベルや時間的に余裕のある進行など、その経験が十分に生かされたプログラムだった。

ナノテクを使った カラフル太陽電池の作製

大阪工業大学ナノ材料マイクロデバイス研究センター
12名（男子8名、女子4名）

昨今の環境問題から、いっそうの注目と期待が集まる自然エネルギー。大阪工業大学を会場としたのプログラムは、太陽電池に用いられるナノテクノロジーや、太陽光発電の仕組みについて興味を持つことが目的。2種類の方法で色素増感太陽電池を作



製、その表面のナノ構造を観察や、電池表面に塗布する色素を変えて比較するという実験、得られた結果の考察などを通して、参加した高校生たちは、ナノテクノロジーや太陽光発電への理解を深めていった。

この会場では、12人の参加者に対して、講師やTAがほぼマン・ツーマンでサポートしており、高度な内容だったが手厚いフォローがされていた。

そのせいか、プログラムは参加者した高校生たちと指導者の間に打ち解けた雰囲気作られ、高校生たちが、自分の意見を積極的に発言するなど、活発な交流が行われた。

TEXT：大宮耕一