

特集 バイオ／IT&エレクトロニクス／ナノテク

次世代 テクノロジー リーダー 100人

時代を画するテクノロジーは世の中を変える力を持つ。
日本にも、世界から注目される研究を続けている若手が少なくない。
その彼らは何を考えているのか。
最先端技術に携わる研究者たちは異口同音に環境を語り、人間へのやさしさを重視する。
テクノロジーを眺むと未来が見えてくる。

取材・文
ライター／小澤祥司・神尾寿・高藤啓司・田代真一 データベース作成協力／ガリレオ
本誌／森生社司・石田哲哉・遠藤典子・大坪亮・指田昌夫・藤口純子・田原寛・吉川雅子・前田早華・渡辺秋男
文中敬称略



「日本の研究者は変わりつつある」

シリコンバレーを拠点に日本を往復しながら、日本のバイオベンチャーの育成に携わる金島秀人バイオ・アクセラレーター代表取締役（p31参照）はこう実感している。

医学博士であり、シリコンバレーでの

起業体験を持ち、技術シーズの探索から市場分析資金調達、アライアンスまでのコンサルティングを行なう金島は、日本のテクノロジーベンチャーへの思いが人一倍強い。そのポテンシャルを知るがゆえに、大学や企業の研究者の意識や大学と企業の関係が変わり始めたことに期待

もしている。しかし「米国と比べると20年は遅れている」と続ける。

名古屋大学医学部大学院のポストドクター（ポストク）としてマウスの胸腺に白血病が起きるメカニズムを研究していた金島は、1986年、34歳のときに米国のスタンフォード大学の研究室に入る。

PART 1 ▶ BIOTECHNOLOGY 「生命現象を解明し命を守る」



PART 2 ▶ IT & ELECTRONICS 「ユビキタス社会を実現する」



PART 3 ▶ NANOTECHNOLOGY 「モノづくりの進化を支える」



DATA BASE 研究テーマ別 「世界が注目する日本人研究者」

当時の指導教授が、胸腺白血病の研究で世界でも3本の指に数えられるスタンフォード大学のワイスマン教授と懇意にしていたという関係があった。

病理研究を志していた金島にとって、米国への留学は研究者としてのステップアップを考えてのことだった。この狙い

は大成功する。しかし、それ以上に金島の人生を大きく変えることになった。

「眼からウロコが落ちた」。これがスタンフォードでの研究生活が始まった日からの感想だった。研究室の誰もが結果を出すことに必死、緊張と競争、そして活気に満ちあふれていたからである。

米国の研究室のシステムは日本とは異なる。ワイスマン教授の下にはポスドクと大学院生が合わせて20人ほどいた。彼らは金島と同じように世界中から集まっている。こうした人材は、NIH（国立衛生研究所）などから得た競争的資金で教授自身が雇う。固定された師弟関係で

カーボンナノチューブ

丸山茂夫

東京大学大学院工学系研究科 助教授



1960年生まれ。東京大学から工学博士（機械工学専攻）取得後、80年からの約2年間、ライス大学（米テキサス州）のスモーリー研に長期出張。フラーレンや各種クラスターの合成法や評価法、理論を習得した。その後、東大に復帰し、99年に助教授就任。分子軌道工学やシリコンクラスター等の研究も手がけてきたが、昨年以降はカーボンナノチューブ関連の研究に集中的に取り組んでいる。当面の研究目標は用途ごとに適した単層CNTを合成するテララミネイト技術の確立とその生成メカニズムの解明。

炭素源はアルコール 用途別にCNTを作り分ける ナノカーボンの革命児

柔和な風貌に、穏やかな語り口。だが、どんな質問からも決して逃げない。人を引きつける“親しみやすさ”と“実直さ”は、研究者として成功をつかんだ今も変わることのない丸山茂夫の持ち味である。

2002年、炭素原子層が1層だけの単層型カーボンナノチューブ（以下、単層CNT^{注1}）をアルコールから作る基礎技術を開発し、ナノカーボンの世界で一躍時の人となった。単層CNTは電気的特性や光吸収特性に優れ、次世代のトランジスタ素子や表示装置素子などへの応用が期待されている。

現在、CNTの合成は、800℃以上の高温下で炭化水素を触媒と反応させる触媒化学気相成長（CVD）法が主流だ。だが、この方法では、触媒金属が残ったり、炭素がススとして混ざるほか、高温のため、シリコンなどの基板上に単層CNTを合成することが難しい。

一方、エタノールなどを原料に用いるアルコールCVD法は、生成条件が550～700℃と低温ですむのに加えて、アルコール分子に含まれる酸素原子の働きで結晶構造が壊れたCNTが減る。純度の高い単層CNTの大量合成、し

かも低温合成とあって基板上に直接“生やす”ことが容易だ。

丸山がこの合成法を突き止めたのは、偶然だった。当初の目的は、直径や筒の巻かれ方が揃った単層CNTを合成することにあった。原料として考えたのは炭素原子が球状に結びついたフラーレン^{注2}。CNTの親戚で均質な構造を持つ既製品を使えば、単層CNTの構造も整うはずとの読みだった。

2001年、名古屋大学の藤原久典教授のもとに通い、多孔質材料「ゼオライト」を使ったCNT合成法を学ぶと、早速実践に移った。だが、結果は散々だった。落胆の日々を過ごしていたある日、データに目を凝らすと、なぜかその日に限り、高品質の単層CNTがあった。過去の失敗からフラーレンが原料ではないと考えた丸山は実験を繰り返し結論に行き着く。ゼオライトの穴の中に乾燥せずに残っていたアルコールが炭素源になっていたのだ。

“セレンディビティ”（偶然の幸運）をつかんだ丸山のもとにはその後、共同研究を持ちかける企業が絶えない。東レ、三井物産など技術協力先は今や産業界の多方面にわたる。「ようやく

世の中に出た研究者」という控えめな自己評価とは裏腹に、「ここ数年で登場した一番の有望株」（素材メーカー幹部）と周囲の評価は高まっている。

フラーレンの発見者 スモーリー博士との運命の出会い

丸山のナノカーボンとの出会いは15年前に遡る。もともと炭素材料の研究者だったわけではない。専門は化学でも物理でもなく、機械工学。今も母校である東京大学の工学系研究科機械工学専攻で研究を進めている。博士論文のテーマは乱流熱伝導だった。

だが、機械工学も熱・流体関連の研究を進めていくとミクロな物理的現象の理解が欠かせない。新しい研究分野の開拓を担う学科の後押しもあって、クラスター（複数の原子・分子の集合体）の研究を手始めに、ナノカーボンの世界に次第にのめり込んでいく。

運命の出会いは、1989年に訪れた。フラーレン発見者の一人であるライス大学のリチャード・スモーリー博士の研究室に2年近く長期出張することになったのだ。ちなみに、当時スモーリーはまだノーベル化学賞受賞前であ

注1) カーボンナノチューブ（CNT）

炭素原子が六角形の網目状に並んだシートを丸めて、ストローのように筒状にした構造を持つ。外径やシートの丸め方によって金属や半導体になるなど特性が変わる。

注2) フラーレン

1970年に大澤誠二博士により予言され85年にスモーリー博士らによって発見された球状炭素分子。炭素60個からなる「C60」が代表格。そもそもはフラーレンもクラスターと呼ばれていた。

り、クラスターや分子ビーム分野での有名人にすぎなかった。「各種クラスターの生成実験を行なっているらしい」。予備知識はその程度だった。

しかし、丸山の進路を見計らったかのように、ナノカーボン研究はそのころから一気に進展を見せ始める。90年、クレッチマーとホフマンがフラーレンの大量合成に成功する。さらに、翌年、NECの飯島澄男主席研究員がCNTを発見する。スモーリーの研究室も一気にナノカーボンの研究へと傾斜していく。丸山は、その渦中に居合わせる幸運に恵まれたのである。

もっとも、帰国後、すぐさまナノカーボンの研究に乗り出したわけではない。戻ってみれば、日本はフラーレンの大ブーム。あまりの熱狂ぶりに閉口した。魅力的なテーマだが、ブームには乗りたくない。後ろ髪を引かれる思いで、分子熱工学に引き返した。だが、どこかに割り切れなさが残った。

そんなもやもやした気持ちをほぐしてくれたのは、スモーリーだった。93年以降、彼は来日するたびに丸山のもとを訪れ、ナノカーボンの研究に戻るよう説得を続けた。恩師の熱意にも

動かされ、90年代半ば、丸山はナノカーボンの研究に戻った。研究設備は何もなかったが、そこは持ち前の粘り強さで学生らと手ずから作り上げた。買えば数千円する評価装置を半値以下で自作したことは丸山の自慢話の一つである。

超高性能の質量分析器を駆使し 生成メカニズムの解明に挑む

ナノテクノロジーは今や日本の産官学が期待する産業再生のエンジンだ。日本の十八番分野であるナノカーボンへの期待はなかでもひとときわ大きい。丸山もそのプレッシャーを背中にひしひしと感じている。

2002年に東大系の技術移転機関(TLO)、CASTIを通じてアルコールCVD法^{注3)}の特許を出願した。丸山にとっては初めての特許だ。じつはこの製法を確立したとき、スモーリーと共同で論文を書くことを思い立った。だが、名古屋大の藤原教授に「日本のためにも自分で特許出願すべきだ」と説かれて、考えを改めた。この一件で知財の重要性を学んだ、と振り返る。

丸山の今後のテーマは、このアルコ

ールCVD法をベースに、用途ごとに適した単層CNTを生成するテーラーメイド技術の確立である。単層CNTを高速トランジスタや発光素子、LSIに本格的に利用するためには、構造のばらつきを抑え、1本ごとに狙った場所に作る技術の確立が欠かせない。丸山はアルコールCVD法がその基盤技術になれると考えている。

すでに成果も挙げた。単層CNTの基板上での垂直合成だ。立体的に集積して配線するLSIの垂直配線や高速光通信素子などへの実用化がこれで現実味を増す。数年内のサンプル出荷を目指し、企業に技術移転したい考えだ。

ところで、丸山の研究室には、スモーリーから譲り受けた6テスラの超電導磁石を使ったFT-ICR質量分析器^{注4)}がある。生成結果を観察するだけでなく、反応の途中段階も追いかけるためだ。これだけの装置を持つナノカーボンの研究者は世界中を探してもそうはいない。メカニズムの解明に賭ける徹底的なこだわり——それは分子熱工学をバックグラウンドに持つ丸山のDNAであり、最大の強みである。

文・真生祐司

実験室でもあり理論家。ラマン分光やFT-ICR質量分析のための超高性能機器を研究室で自作。



注3) アルコールCVD法

ガス化したアルコールと熱媒微粒子を反応させてCNTを作る手法。エタノールが最適だが、メタノール、プロパノールでも可。低温で合成できるなど、量産化技術として優れている。

注4) FT-ICR質量分析

イオンの全スペクトルがきわめて短時間で得られることや、分解能に優れた性能を持っているので質量分析計として、また気相におけるイオン反応の研究法として注目されている。