

# 未来を拓く新材料カーボンナノチューブ

## CNTの第一人者 飯島新炭素系材料開発研究センター長に聞く

### インタビュー



10億分の1メートルという超微細なサイズで物質を加工するナノテクノロジーは、次世代の最先端技術です。その代表的素材であるカーボンナノチューブの発見と応用研究で、飯島澄男新炭素系材料開発研究センター長が『ベンジャミンフランクリンメダル物理学賞』を受賞されました。また、恩賜賞、日本学士院賞を受賞されることも決定しています。

出版室ではカーボンナノチューブ (CNT) の魅力を探るべく、飯島先生に誌上インタビューをお願いしました。

●「ベンジャミンフランクリンメダル物理学賞」受賞おめでとうございます。受賞に際して感想を一言お願いします。

●カーボンナノチューブの研究がこういう形で認められたことを素直に喜び、オリジナル研究を率直に受け入れる欧米の科学者に敬意を表したいと思います。これを機会に、さらなる研究のスタートにしたいですね。

米国は新しい国ですが、「科学技術に関しては日本より伝統があるなあ」と感じました。ベンジャミンフランクリン賞は170年も歴史があるのですから。ノーベル賞は100年ですから、はるかに古いことになります。

### ベンジャミンフランクリンメダル

米国建国当時の政治家で、嵐を用いた雷の放電実験で有名なベンジャミン・フランクリンを記念して創設されたフランクリン協会は、1824年から優れた科学者・技術者を称え、現在は生命科学、工学、地球科学、化学、物理学、計算機・認知科学の6部門において賞を授与しています。

「ベンジャミンフランクリンメダル 物理学賞」受賞者は、「ノーベル物理学賞」受賞者の中にも多数名を連ねており、世界の物理学賞の中でも特に権威の高いものとされています。

フランクリン協会は毎年授賞者を選考する以外に協会の大きな目的として、科学博物館の運営とその施設を用いた青少年の科学教育があります。しかもボランティアと寄付金で運営されていることが印象的でした。出席者が6~7百人で、晩餐会の一般出席者は一席分600ドルを払い、その大部分が協会への寄付になると聞きました。それから、博物館の前には黄色いスクールバスが並び、子供たちが展示物に触りながら体験学習をしている光景を見て、日本の理科教育も大いに見習わなくては、と感じました。

●この度の受賞は「多層および単層カーボンナノチューブの発見、およびその原子構造とらせん状態の解明、これによるナノスケール科学と電子工学における凝縮物質と物質科学の急速な進展への著しい貢献」によるものでした。まず、カーボンナノチューブに関してお話し下さい。

●固体の炭素には、宝石のダイヤモンド、鉛筆の芯などに使われるグラファイト、そして炭があります。第4のカーボンが、1985年に発見されたカーボン60 (C<sub>60</sub> フラーレン) です。1996年には発見した3名の科学者がノーベル賞を受賞しています。その分子構造は、実はサッカーボールと全く同じで、六角形と五角形をつ

なぎ合わせて出来ています。三つの辺が合う頂点に1個ずつ炭素原子を配置するとC<sub>60</sub>の構造になります。そして、第5の炭素構造が今度の受賞対象となったカーボンナノチューブとなります。基本的にはグラファイト構造ですが、炭素原子のハニカム構造シートを丸めてシームレスにつなぎ合わせると、チューブ構造が出来上がります。その直径が2~3ナノメートルのチューブをカーボンナノチューブと呼んでいます。

●カーボンナノチューブ発見のきっかけについてお話し下さい。

●C<sub>60</sub>が発見されたのは1985年ですが、その5年前、私は丸い玉ねぎ形の原子構造を電子顕微鏡で写真に撮っていました。それがC<sub>60</sub>でしたが、その時はサッカーボール形状だということに気が付きませんでした。

C<sub>60</sub>発見から5年後の1990年秋、希ガス中の炭素アーク放電によるC<sub>60</sub>の大量合成法が見つかりました。その当時、私はC<sub>60</sub>が成長するメカニズムに関心があって、玉ねぎ構造をいろいろ探していました。そして1991年6月、炭素のアーク放電電極の陰極上に玉ねぎ構造のC<sub>60</sub>が多量に発生していることを突き止めました。ところが、そこには丸いものとは違う細長い結晶がたくさん見つかった、それがカーボンナノチューブだったのです。当時は、C<sub>60</sub>の大量合成法や超伝導現象が見つかり、世界中の研究者がC<sub>60</sub>に沸き返り、その研究に没頭していたはずですが、私以外は電極上に堆積した炭素を調べた研究者がいませんでした。

●先生はよく、セレンディピティー (serendipity=予期しない偶然の発見をする能力)という言葉を使われ、ご自身のカーボンナノチューブ発見を説明されますが。

●人の考えることには限界があるというのが私の持論です。科学の世界では思いもかけない偶然が大発見につながる事が多く、ノーベル賞に輝く物理・化学の大発見といえどもその例外ではありません。また、思わぬ発見は何らかの実験中に遭遇するようです。このことは自然科学ではいかに実験が大切であるかを物語っています。

我々が発見したカーボンナノチューブは、まさにセレンディピティー的発見です。ついでですが、カーボンナノチューブという名は、いろいろ吟味した末に、我々が命名したものです。



**飯島澄男 (いじま すみお)**

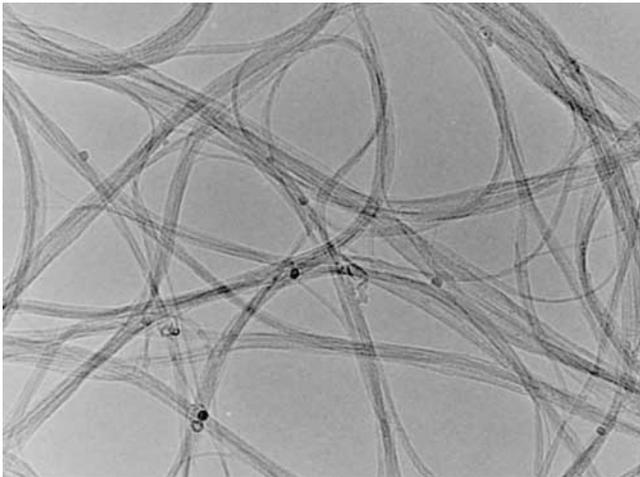
生年月日：1939年5月2日

- 1963 電気通信大学通信学科卒業
- 1965 東北大学理学研究科物理学修士課程修了
- 1968 東北大学理学研究科物理学博士課程修了
- 1968 - 1970 東北大学科学計測研究所助手
- 1970 - 1982 米国アリゾナ州立大学研究員
- (1979) 英国ケンブリッジ大学客員研究員
- 1982 - 1987 新技術事業団 創造科学推進事業  
グループリーダー
- 1987 - 日本電気株式会社 NEC ラボラトリーズ  
特別主席研究員
- 1998 - 科学技術振興事業団 国際共同研究事業  
プロジェクト代表研究者
- 1999 - 名城大学教授
- 2001 - 独立行政法人 産業技術総合研究所  
新炭素系材料開発研究センター長

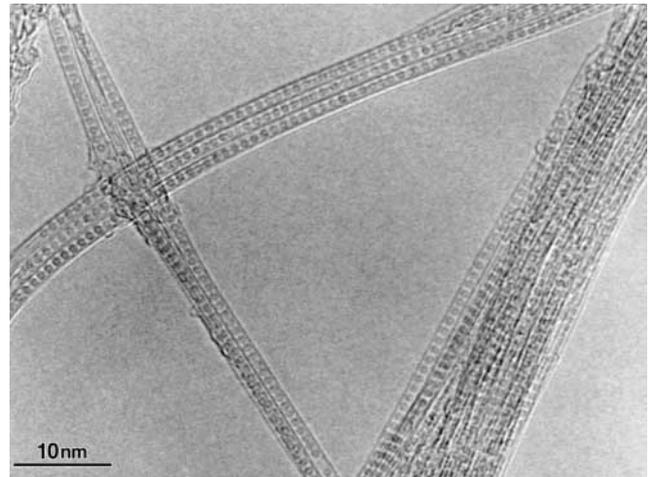
●先生のご専門は電子顕微鏡と聞いておりますが・・・。

●私は電子顕微鏡の開発研究に永年携わってきました。1971年には世界で初めて結晶中の原子像の撮影に成功しています。それ以来、いろいろな炭素材料の微細構造の研究も経験しています。また、大学院生のときにナノチューブのような針状結晶の研究も経験していました。こうした背景が、カーボンナノチューブの発見につながったと思います。

また、カーボンナノチューブの構造、すなわち原子配列がどのようなものなのか実験的に提示することも大切なことです。こうした研究を可能にする唯一の実験技術が電子顕微鏡なのです。カーボンナノチューブの研究は電子顕微鏡の特徴を十分に活かした研究例です。



●多層カーボンナノチューブの束



●C60が入った単層カーボンナノチューブ

●炭素がいろいろな形態をとるメカニズムはどこまで解っているのですか。

●炭素原子は6個の電子をもち、そのうちの最外殻にある4個の電子がダイヤモンドになるかグラファイトになるか、をコントロールしています。シリコンも同じ数の最外殻電子をもちますが、ダイヤモンド構造のみが存在します。グラファイト構造にならないのは、最外殻電子の次にある殻の電子から影響を受けているためです。ダイヤモンドはグラファイトより不安定で、常にグラファイトに変わろうとしている、と考えられています。問題は、本来平坦なグラファイトがサッカーボールのように球状になったり、チューブ状になる、その原因です。今までに、二つの原因が実験的に明らかになりました。一つは、それらの構造は極めて短時間、専門的には非平衡状態下で発生すること。もう一つは、鉄やニッケルの微小金属粒子の助けが必要なことです。通常の結晶は平衡状態下で成長しますが、その常識に従わないのがナノチューブということになります。

●受賞対象の中に「らせん状態の解明」ということがありますが、らせん状態は制御が可能なものなのですか。

●カーボンナノチューブでは、炭素六員環が規則正しく並んでいますが、その並び方に特徴があります。六角形の一片がチューブの軸に平行になるように配列した場合、垂直になるように配列した場合の二種類があります。この二つの中間に位置するのがらせん構造で、六角形がいろいろな角度に傾いて配列したものです。このらせん構造の存在は、カーボンナノチューブの電

子回折図形を撮影し、その解析から証明されました。らせん構造を制御してカーボンナノチューブを成長することは、まだ誰も成功していません。興味のある人は挑戦してみてください。

●新しく見出されたナノホーン（角状構造の炭素）を含めて新しい形態の炭素構造は今後も見つけられて行くのでしょうか。

●新しい形態の炭素構造が発見されるとすれば、それはカーボンナノチューブと同じようにグラファイトを基本とした構造が考えられます。例えば、ナノチューブを三次元的に組み合わせた周期構造です。この構造についてはすでに理論的に予測されています。他には、ダイヤモンドやグラファイトでもない、炭素原子が直線上に配列した構造の可能性も検討されています。

●カーボンナノチューブの応用研究は今後どう発展していくのでしょうか。

●ディスプレイへの応用では、経済産業省の大型プロジェクト「炭素系高機能材料技術」において既に3インチ×3インチのディスプレイが出来ています。韓国では6インチ×4インチの動画フルカラーディスプレイを見せてもらいました。2~3年内には大型ディスプレイが出来ると言っていました。他には水素やアルコールを用いた燃料電池が話題になっています。水素による発電は21世紀のエネルギー問題に関わる重要な課題であると私は捉えています。化石燃料がなくなる時代に備えて、特に資源に乏しい日本ではエネルギー問題の準備にかかる必要があります。この分野の開発は数年で実現すると思います。

●先生は4つの機関に所属されていますが・・・。

●NEC、名城大学、科学技術振興事業団、産業技術総合研究所に所属しています。産・学・官とそれぞれ特色のある組織で仕事をしていますが、週の前半は名城大学で教鞭をとり、後半はつくばに移動してNECの研究室と産総研で仕事をしています。

まだまだ研究を続けたいと思いますし、日本の未来を背負う若者の教育にも責任を感じるなどが大学に席を置く理由です。それから科学技術振興事業団の国際共同研究事業「ナノチューブ状物質」プロジェクトは、名城大学、NEC、フランスの研究グループと共同で実施しています。今年は最終の5年目で、仕上げの段階に入っています。ナノチューブの一種である「カーボンナノホーン」はこの研究プロジェクトから生まれました。

産総研新炭素系材料開発研究センターは、炭素に関する研究を基礎から応用までを視野に入れて行うユニークな専門家集団です。日本のみならず世界中から研究者が自然と集まるような求心力のある研究センターになることが理想です。それを目指して健闘中というところです。具体的には産業的な視点から見て発展性のある炭素材料を創製することです。

●平成14年度から産総研を中心とした「ナノカーボンプロジェクト」が開始され、飯島先生がプロジェクトリーダーとされますが、このプロジェクトではどういうことを目指しているのですか。

●カーボンナノチューブの研究はすでに11年目に入り、研究スペクトルは基礎から応用までの多岐に渡っています。私自身もカーボンナノチューブの生成の研究を中心に、多くの経験を積んできました。この経験を基に研究ターゲットを、単層カーボンナノチューブの量産、燃料電池などへの応用技術、エレクトロニクスへの応用、ナノ構造材料の原子レベル評価技術などに絞り、更に研究を進めます。すでに世界に通用する独自技術をもっていることが、このプロジェクトに参画する企業の条件です。それぞれの分野のプロ集団として研究に取り組みます。

●新産業創出のため、産学官の連携が注目されています。産学官連携についてどのようにお考えですか。

●「研究は人なり」です。いかにして優秀な研究者を集めるか、が良い研究をするカギです。お金があれば



●ベンジャミンフランクリン賞授賞式 (2002.4.25)

集められるという簡単なことではありません。まず、研究グループ自身のポテンシャルを高め、優秀な研究者が自然に集まってくるような研究室になることが理想です。世界をリードする研究室は強力な求心力があります。応用面に重心を置いた研究テーマを選択するのは、そんなに難しい問題ではないように思います。これは研究マネージャーの問題です。

●ますますお忙しくなりますが、うまく気分転換する方法は？

●私は多趣味でして、いずれも自己流ですが・・・。フルートの演奏はいい気分転換になります。難しいパッセージを何回も繰り返し練習し、これを克服したときの達成感、これは自分への挑戦です。去年は研究室のみなさんと久しぶりにスキーに出かけました。山登りは学生時代に本格的にやりました。山間の辺鄙な土地へのドライブ、海外旅行はリフレッシュメントになります。

最近土曜・日曜も仕事をするか、移動することが多くなりました。学会や講演に出かけるときが私の休日です。

●何時にも挑戦しつづける先生ですが、これからの研究の進め方をお聞かせ下さい。

●カーボンナノチューブの周辺には、基礎から応用まで面白そうな問題がたくさんあります。自分にできる研究課題のなかから最もインパクトのあるテーマを選んで取り組みたいですね。

●美しい構造を持つカーボンナノチューブへのあくなき挑戦とその成果に期待致します。