

## クラスタービーム, フラーレン, ナノチューブ, ナノテクノロジーと展開 Richard E. Smalley

丸山 茂夫

フルーレン C60 の発見によるノーベル化学賞の受賞, レーザーオープン法による単層カーボンナノチューブの合成, ナノチューブ製造会社 CNI の創設, クリントン政権へのナノテクノロジーの働きかけなどの様々な顔を持つ Richard E. Smalley が 2005 年 10 月 28 日, 非ホジキンリンパ腫・白血病のために 62 歳で世を去った.

Rick Smalley は, 第 2 次大戦中の 1943 年にオハイオ州のアクロンで生まれ, ミシガン大学の化学科を卒業した. Shell Chemical で 4 年働いたあとで, プリンストン大学の大学院に入学し, Elliot R. Bernstein のもとで博士号を取得する. 後に, シカゴ大学化学科の Don H. Levy の元でのポスドク中に, 超音速膨張分子ビームによって分子を 1K 程度まで冷却し, 回転の自由度を排除した状態でのレーザー分光を実現している.

1976 年には, テキサス州ヒューストンのライス大学化学科の助教授に招かれる. ここでは, 超音速膨張分子ビーム法に続いて, パルス超音速膨張分子ビーム法を開発して, 多原子分子の回転温度を 0.17K まで冷やす世界記録を打ち立てた. さらに, 固体材料にレーザーを集光して蒸発させ, これとパルスガスの超音速膨張を同期させることで, あらゆる元素のクラスターの生成を可能とした. このクラスター源は, 後に Smalley タイプと呼ばれるようになる. 大型のタンデム TOF の AP2, クラスターの紫外光電子分光用の AP3, 超高分解能質量分析のできる FT-ICR (フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴質量分析装置) 装置を用いて, 金属, 炭素やシリコンなどのクラスターの研究を進めるとともに, レーザー蒸発法によるクラスター研究という研究領域をつくった. これらの一連の研究のなかでの変わり種が, 炭素クラスター C60 の安定性の発見と, サッカーボール型の幾何学構造の提案であった<sup>(1)</sup>.

著者が Rick Smalley の研究室を visiting fellow として訪れた 1989-1991 年には, AP2, AP3 とともに FT-ICR が稼働中で, レーザー蒸発法で合成した様々なクラスターの質量分析と分光の最盛期であった. この間に, Smalley の研究の展開の早さを目撃することになる. 1990 年の夏に昼間から研究室にワインを並べて, Krätschmer と Huffman の C60 のマクロ合成成功を祝った. それまで, 学会において半信半疑との評価を受けていた質量分析による C60 の発見が現実であることが明白になった日である. さて, ワインを飲みながら, Smalley は明日から現在の実験を中止して C60 の大量合成にトライする学生を募った. 結局, 合成後の C60 や金属内包フルーレンの確認にも必要な FT-ICR を担当していた私と学生数名を除いて全員が研究の方針を即日変更した. 私の FT-ICR の実験も, C300 などの巨大フルーレンやマクロ合成された水素化 C60 などが中心となる. 特許の関連で詳細が公表されなかった Krätschmer-Huffman 法の改良版<sup>(2)</sup>が Smalley グループから公表されるまでにはそれ

ほど時間がかからなかった。

金属内包フラーレンをマクロに合成する方法についても、博士課程の Yen Chai によって試みられた<sup>(3)</sup>。その後レーザーオープン法と呼ばれるようになる実験であったが、電気炉で加熱することを思いつくまでの1年間以上は何も結果がでないままでの試行錯誤が続いた。Smalley の信念とカリスマ性がなければ、中止されていた実験であろう。この装置がその後の単層カーボンナノチューブのマクロ合成にもつながる。

Smalley の研究の展開の早さにさらに驚かされたのは、著者が帰国後1年して1992年に1ヶ月ほど研究室に訪れた時である。当時、金属ドープ C60 固体の超伝導や金属内包フラーレンのマクロ合成が実現し、フラーレン研究が大ブームになりつつあったが、Smalley の関心はフラーレンではなく、NEC の飯島さんによって発見されたばかりのカーボンナノチューブに移っていた。細くとがらせた炭素繊維の先端をレーザーで加熱して、炭化水素ガスを原料にナノチューブを成長させようと持ちかけられた。今思えば、SEM, TEM, Raman の何もない状態で、電界放出を手がかりにナノチューブを合成しようとした試みは無謀ともいえるし、そのときは実現できなかった。ただし、今であれば、触媒金属を工夫して、アルコール蒸気中のレーザー加熱で単層カーボンナノチューブを合成できるのだから、アプローチは間違っていなかった。いずれにしても、世間がフラーレンで盛り上がっている間に、カーボンナノチューブの合成を地道にトライして、1996年のレーザーオープン法による多量合成を実現した<sup>(4)</sup>。

レーザーオープン法によって、単層カーボンナノチューブが合成できるようになると、合成した単層カーボンナノチューブ(Tube at Rice)を多方面に供給し、単層カーボンナノチューブ研究を現実のものとした。今度は、フラーレンよりもさらに大きなナノチューブ研究のブームが始まったのである。一方、Smalley の関心はすでにさらに大量の合成が可能な CVD 法に移っている。CO を原料にした HiPco (High pressure CO)法の開発<sup>(5)</sup>とこれをもとにベンチャー企業(Carbon nanotechnology Inc., CNI)の創設にノーベル賞の賞金など投じる。そして、HiPco 法で大量合成と販売が可能となると、単層カーボンナノチューブの応用の開発に関心が移る。クリントンに(National Nanotechnology Initiative, NNI)を働きかけて、米国のナノテクノロジー政策を実現するとともに、最近では、ナノテクノロジーをエネルギー問題の解決に応用するとの趣旨でワシントンに通っていた。

このように、独特なカリスマ性と信念によって次々と研究領域を拡大し、2原子分子の分光から地球レベルのエネルギー問題まで自身の研究を展開するとともに、多くの研究者を導いたことから、モーゼと呼ばれ、ナノテクノロジーの父や祖父などと呼ばれている。

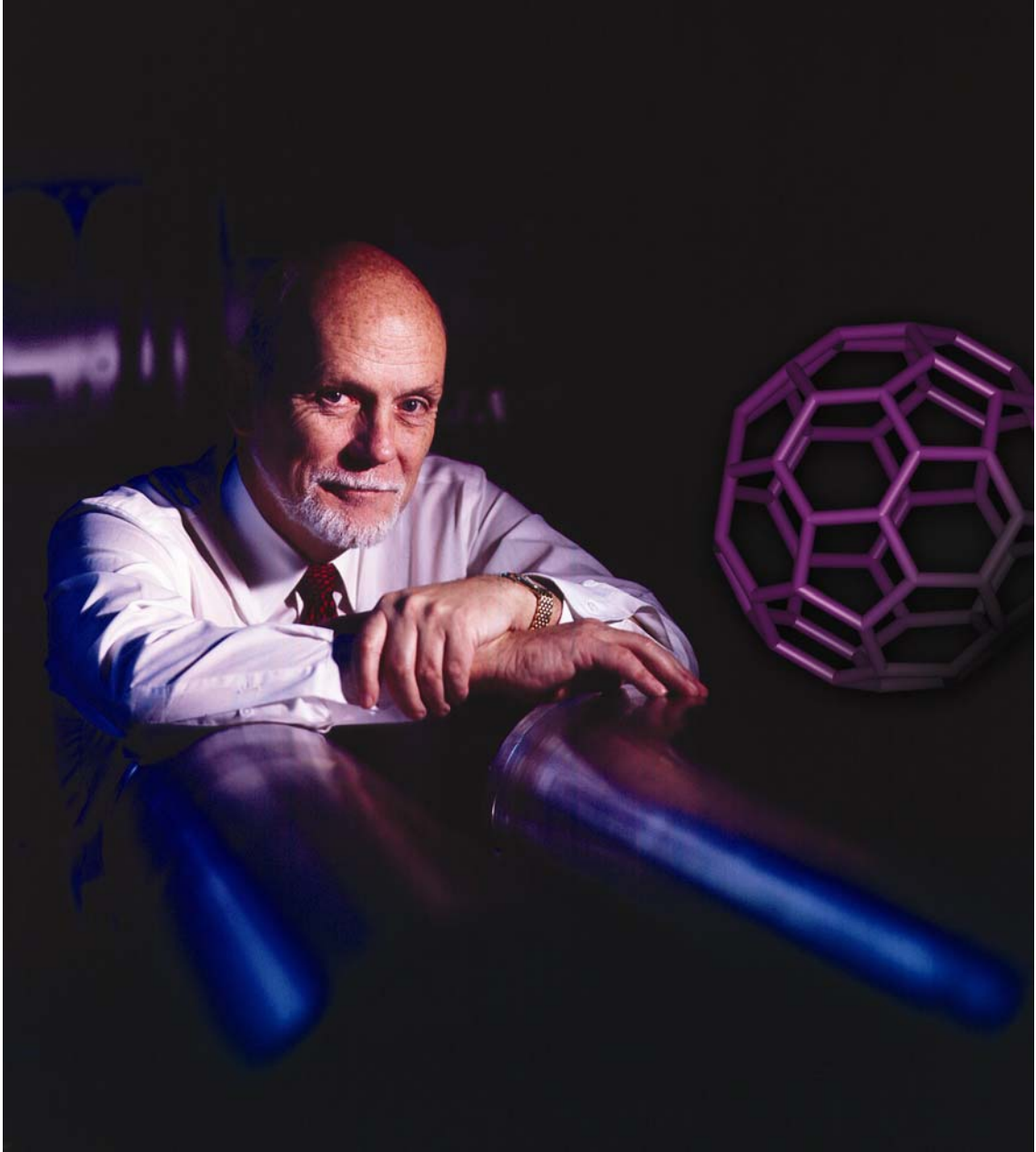
7年間の非ホジキンリンパ腫との格闘も壮絶なものであったが、亡くなる数日前まで、学生たちと新たな研究方針を議論していた。世界中の研究者にとっての大きな損失であるとともに、常に前向きなカリスマ性に満ちた笑顔を見られないことは本当に残念である。

文献

1. H. W. Kroto et al., Nature 318 (1985) 162.
2. R. E. Haufler et al., J. Phys. Chem. 94 (1990) 8634.
3. Y. Chai et al., J. Phys. Chem., 95 (1991) 7564.
4. A. Thess et al., Science 273 (1996) 483.
5. P. Nikolaev et al., Chem. Phys. Lett. 313 (199) 91.



2001 年に東大にてナノチューブ生成メカニズムについて講演する Rick Smalley



HiPco 単層カーボンナノチューブ合成装置と Rick Smalley