

2023年のノーベル化学賞には、「量子ドットの発見と合成に関する業績」により、Alexei I. Ekimov氏（米国ナノクリスタルズ・テクノロジー社）、Louis E. Brus氏（米国コロンビア大）、Moungi G. Bawendi氏（米国マサチューセッツ工科大）の3氏が選ばれました。量子ドットは、半導体をナノメートルサイズの粒子（ナノ粒子）にしたものであり、小さな空間に電子が閉じ込められることで量子的な効果が発現し、サイズに依存した様々な性質を示します。今日ではエレクトロニクスやバイオなど様々な分野で量子ドットに関する研究が世界中で活発に行われています。

1980年代はじめ、当時ソ連のバビロフ国立光学研究所でEkimov氏はガラスマトリックス中に半導体ナノ粒子を析出させる方法を開発し、CuClナノ粒子の光学スペクトルが粒子サイズによって変化することを発見しました。同時期に、米国のベル研究所でBrus氏は溶液中のCdSナノ粒子コロイドの光学スペクトルが粒子サイズに依存することを見出しました。どちらも粒子サイズの減少とともに、最低光学遷移エネルギー（バンドギャップエネルギー）が増加することが共通していました。このような半導体のサイズによるバンドギャップエネルギーの変化は、小さな球の中の電子状態を有効質量近似によって計算した結果と一致することを示し、量子閉じ込め効果がはたらいっていることを実証しました。両氏の発見は、量子ドットという概念を具現化した歴史的な出来事となりました。

一方で、当時合成されていた半導体ナノ粒子は、結晶性が悪く、サイズのばらつきも大きかったため、光物性を実験的に詳しく研究するにはナノ粒子の品質向上が望まれていました。1990年代初め、Brus氏が在籍していたベル研究所のポスドクであったBawendi氏は、ルイス塩基性をもつ分子（配位子）が半導体ナノ粒子表面に強く結合することでナノ粒子を安定化できることを見出し、高沸点溶媒中での加熱によってCdSeナノ粒子の結晶性を高め、かつ粒子成長を遅くすることで粒子サイズの細かい制御に成功しました。これにより強い蛍光と鋭い光学スペクトルを示すCdSeナノ粒子が得られるようになり、光学特性のサイズ依存性をより詳しく研究できるようになりました。また、CdSeナノ粒子はサイズを変えるだけで発光波長を可視全域にわたって細かく制御できることから、光学的な応用に非常に有益な材料であることが示され、長らく量子ドット研究の中心物質として広く使われてきました。Bawendi氏の成果は、基礎研究の対象であった量子ドットをより身近な材料へと普及させることに大きく寄与しました。

その後、これらの発見をベースに、世界中の研究者によって化学的手法による量子ドットの合成手法が著しく進展し、100%近い発光量子効率も実現できるようになり、多様な応用が可能になりました。発光色を細かく調整できることから、ディスプレイの発光層としてすでに商用展開されているほか、細胞の蛍光イメージングといった生物学・医療の分野でも利用されています。また、溶媒に均一に分散できることから、インクとして量子ドットを塗膜することができ、工程負荷の小さいプリンテッドエレクトロニクスによるFETや光センサーの作製も可能となっています。さらに、コア/シェル型、シート、ワイヤー、テトラポットなどの複雑な構造をもつ量子ドット合成法も開発され、その特異な電子状態を利用した

太陽電池や光触媒への応用も期待されています。

量子ドット研究は一大分野に成長し、毎年のようにノーベル賞候補に挙げられていましたが、今回満を持しての受賞となりました。現在も基礎・応用の両面で注目度は高く、最近の鉛ハライドペロブスカイト量子ドットの爆発的なブームに見られるように、新しい物質探索と応用研究が日夜進んでおり、私たちの生活をより豊かにするナノ材料としてさらなる展開が期待されます。

(京都大学 猿山 雅亮)