

### 原子・分子・物質の多様性に着目した 放射光相互作用の研究を

旗野嘉彦 (東京工業大学名誉教授)



International Book Project “Charged Particle and Photon Interactions with Matter” (1995–2011) を主宰し、前編を2004年に後編を2011年に出版して、この度、プロジェクトを終了しました (参照: <http://www.taylorandfrancis.com>)。この経験を踏まえて、ここに一言述べさせていただきます。

このプロジェクトは、さらに遡って、永年にわたる IAEA 国際プロジェクト (1985–1995) “Atomic and Molecular Data for Radiotherapy and Radiation Research” から大きい動機付を与えられ開始されました。この IAEA プロジェクトは、間もなく新しい世紀を迎えるに当たって、Curie, Roentgen らによって前世紀末に発見された放射線の物質との相互作用に関するおよそ100年間にわたる基礎研究の成果をまとめるとともに、その成果の社会への重要な波及効果の一つとして、がんの放射線治療(特に重粒子線治療)について、その基盤を確立することを目的としました。このプロジェクトの成果は IAEA Report にまとめられるとともに、Roentgen による X 線発見100年を記念した第10回国際放射線研究会議 Wurzburg (1995) および第19回原子衝突物理学国際会議 Whistler (1995) において旗野によって報告されましたが、よりサーキュレーションのよい方法の検討から、この Book Project が発案され、旗野が主宰することになりました。

Curie, Roentgen ら以降100年間にわたる研究は、その前半の現象論的研究と後半の「相互作用」の本質を解明しようとする研究とに大別されます。後半の研究は、1950–1960年頃から1970年代に至るアルゴンヌ国立研究所・シカゴ大学における R. L. Platzman, U. Fano, M. Inokuti (PFI) を中心とする理論研究とそれを実証するための日本、欧米での1970年頃からの実験研究にまとめられます。PFI 理論では、放射線と物質の相互作用の初期過程(物理的過程)を高エネルギー粒子と原子・分子の衝突過程と捉えて、これを Bethe 理論で記述し、この相互作用は広いエネルギー領域における光学的振動子強度で表されるとしました。この理論研究の初期に、放射線作用をこのように解析する途上で、シンクロトロン放射 (SR) が将来きわめて有用・有効な光源として期待されるという指摘が初めて行われました。上記の IAEA プロジェクトでは、フォトンファクトリーで初めて可能になった SR による私共の光学的振動子強度(光吸収断面積)、光電離断面積、光解離断面積、光電離量子収量(光電離効率)の各絶対測定値に基づいて、PFI 理論の検証が初めて行われるとともに、重粒子線治療の基盤が確立されました。多くの分子に関するこれらの断面積絶対値は、VUV–SX 領域を中心とした広範なフォトン・エネルギー領域においてその関数としてまとめられ評価されて、基礎的物理量として初めてコンパイルされました(参照: Landolt-Boernstein, Springer, 2003)。

以上の放射線作用初期過程に関する理論研究と実験研究の成果は、初期過程に後続する物理化学的過程、化学的過程、生物学的過程、医学的過程に関する新たな研究を大きく促すとともに、より広汎な基礎科学、応用科学・技術の多くの分野に対して多大な波及効果を及ぼしています。基礎科学へのインパクトの例とし

---

ては、光学的振動子強度を算出するための新しい量子力学的手法の開発、超励起分子の電子状態（振動・回転励起した高 Rydberg 状態、2 電子励起状態、内部コア励起状態）とその解離ダイナミクスの解明およびこれに基づいた新しい量子化学、分子動力学理論などの開発を挙げることができます。応用科学・技術へのインパクトの例としては、物質、生命・生物、環境、エネルギーの各理工学、宇宙・上層大気の物理学・化学、粒子検出器の開発、医学診断・粒子線治療など多くの分野での新領域の構築を挙げることができます。これらの研究の詳細と将来展望は、上記 Book Project で出版された前・後編の各 Chapter にまとめられています。

以上、二つの国際プロジェクトに関連してここに紹介した内容は、放射光研究の基礎としての、VUV-SX フォトンと分子の相互作用による分子の励起・電離・解離過程メカニズムの解明、その応用としての、放射線・物質相互作用の解明、さらにこれら研究成果の基礎科学、応用科学・技術への波及効果に関するものに大別されます。これらの話を踏まえて、以下に、放射光研究の将来を検討する際に、その材料の一助となることを期待して、簡単な提言を送ることにします。

放射光の光源とその周辺技術には、特に最近、格段の進歩が見られます。また、放射光利用による基礎科学・応用科学・技術の広汎な領域における新展開も顕著で、その将来展望も活発です。その一方で、フォトンと物質の相互作用の本質にかかわる新しい研究の進歩が相対的に停滞しているように感じられます。このような観点から、上記の技術面での進歩と基礎科学、応用科学・技術の新展開に対して、さらに刺激を与えて先行するような研究が期待されます。その一つとして、原子・分子・物質の多様性に着目した、これらとフォトンの相互作用の本質に迫る研究が望まれます。例を挙げると、上記の各断面積絶対値が明らかにされコンパイルされた原子・分子は、全体として何十万種類ある原子・分子のうちのわずかに数十種類にすぎません。まだ研究対象とされていないその他の多数で多様な原子・分子に対する、新規性が高くユニークな着眼点からのアプローチが望まれます。安定な原子・分子のみでなく、これらの励起状態、イオン、フリーラジカルなどを対象にすると基礎・応用ともにさらに格段に新しい展開が可能でしょう。以上の例はすべて気相孤立系の原子・分子についてであり、これらの凝縮相（特に液相）にまで対象を拡げると、フォトンとの相互作用の解明はほとんどすべて今後の研究を待たねばならない状況といえることができます。電離閾値ですらあいまいな例が多い状況です。光電離量子収量（または光電離効率：100個のフォトン吸収で何個の電子が放出されるか）の絶対値の測定が望まれます。新規性が高くユニークな発想のもとに選ばれた新しい原子・分子・物質とその状態に関する研究に、新たに考案された実験法が組み合わせられて、新しい現象が見出され、新しい解釈が生み出されることが期待されます。その結果、新しい基礎科学へのインパクトが生じ、さらにその応用科学・技術、社会への新しい波及効果が期待されるものと信じています。