

### 放射光を用いた光電子分光と 物性研究への期待

谷口雅樹 (広島大学放射光科学研究センター)



私は、東大物性研軌道放射物性研究施設 (SOR 施設) の助手に採用された1979年から、放射光を用いた物性研究に従事してきました。当時は、まさに放射光科学の黎明期で、光物性の新しい時代が始まろうとしている、そんなことを予感させる頃でした。

SOR 施設では、主に放射光源 (380 MeV) の運転と固体物性研究のための光電子分光ビームラインを担当しました。放射光を用いた光電子分光は固体の電子状態を研究するうえで最も強力な手段のひとつであり、固体中の電子のエネルギー分散を高い精度で決められるほか、固体の表面・界面の電子状態の研究にも大きく貢献するものとして、その将来に大きな期待が寄せられていました。

しかし、1980年頃の光電子分光の典型的なエネルギー分解能は $\sim 300$  meV であり、放射光利用研究は、価電子帯の状態密度や半導体表面における内殻準位シフトの決定など、このレベルの分解能でも十分な議論が出来る課題を対象に展開されました。

こうした中、放射光のエネルギー可変性を生かした共鳴光電子分光による金属 Ni やその化合物をはじめとする d 電子系及び Ce 化合物中の f 電子系の電子状態研究に、日本の研究者が実験・理論の両面において卓越した業績をあげたことは特筆に値します。その後、放射光を用いた光電子分光のエネルギー分解能は継続的に改善され、1980年代中頃に100 meV、1990年代に20 meV、2000年代に入って5 meV へと進化した。

物質の多様な性質・機能は、素励起 (フォノン、マグノン) とフェルミ面近傍の電子の相互作用 (10 meV 単位) によって生じます。このことは、フェルミ面近傍の電子状態の詳細を調べるには1 meV 単位かこれより高い分解能が必要であることを意味しています。

2004年、ついに、アンジュレータからの低エネルギー放射光 (紫外線 $\sim$ 真空紫外線域の放射光) を励起光源とする光電子分光で、エネルギー分解能と運動量分解能がそれぞれ  $\Delta E \sim 0.66$  meV 及び  $\Delta k : 4 \times 10^{-3} \text{ \AA}^{-1}$  ( $h\nu = 7$  eV) という画期的な性能が達成され、念願の高分解能角度分解光電子分光が実現しました。励起エネルギー7 eV では光電子脱出深度は数10 Å ですのでバルク敏感なスペクトルが得られ、20 eV にすると表面敏感なスペクトルが得られるという特長も有しています。

更に2010年、今度は物質の磁氣的性質・機能の解明を目指す研究者の長年の夢だった高効率スピン分解光電子分光装置が出現しました。この装置は、従来比100倍以上も高いスピン検出効率を達成しているだけでなく、比較的高いエネルギー分解能と運動量分解能、 $\Delta E = 7.5$  meV 及び  $\Delta k : 1.3 \times 10^{-2} \text{ \AA}^{-1}$  ( $h\nu = 20$  eV)、も合わせて実現しています。

これらの革新では、長期にわたる計測技術の継続的な高度化とノウハウの蓄積が若手人材の成長と連動し

たという点が極めて印象的でした。放射光科学コミュニティの発展には放射光施設のたゆまぬ高性能化が必須で、これを担う優れた若手人材の確保と育成が最重要課題のひとつです。しかし、今後、これを継続的に持続していくことは、昨今顕在化している「若手研究者の職の不安定化問題」の解消なしには困難です。

物性研究では、原子配列の決定に X 線～硬 X 線域の放射光が用いられます。また、電子状態の決定には紫外線～真空紫外線域の放射光が理想的な特性を有しています。この特性は、高分解能光電子分光、或いは、高効率スピン分解光電子分光を用いた高温超伝導体の微細電子状態の研究やトポロジカル量子物質中の電子・スピン状態の研究など、多くの卓越した研究の実績にもとづいて明らかにされました。

X 線～硬 X 線域の高輝度放射光を発生する中型・大型放射光源から紫外線～真空紫外線域の高輝度放射光を発生し利用することは技術的に困難で、紫外線～真空紫外線域の高輝度放射光を発生する小型放射光源から X 線～硬 X 線域の高輝度放射光を発生することも不可能です。物質中の原子配列の情報と電子状態の情報は互いに相補的な関係にあり、これらの重要性は学問的に全く対等です。ここ数年にわたって中型・大型放射光源の整備に関する議論が盛んですが、小型放射光源の更新・高度化も同様に大切であり、必要であると考えています。

今後、このような学術合理性への認識が一層深まり、それぞれの放射光源の特性がバランスよく機能することを通して、放射光科学が科学技術の発展に効果的に寄与していくことを強く望んでいます。

アンジュレータからの放射光を用いた高分解能光電子分光及び高効率スピン分解光電子分光は、共に日本の研究者によって実現されました。このことは、物質中の電子の量子状態を定義する物理量（エネルギー、運動量、スピン）を極めて高い精度で決定する世界トップレベルの研究を、国内にいながらにして推進出来ることを意味しています。将来にわたって更なる高度化に向けた様々な研究努力が継続され、積み上げられ、我が国が世界の放射光コミュニティを先導していくことを願っています。