

2017 年度指定パートナーユーザー活動報告

強相関電子系における量子臨界現象解明のための 共鳴硬 X 線光電子分光および蛍光収量 X 線吸収分光の 複合計測技術の構築

大阪公立大学 大学院工学研究科 三村 功次郎、魚住 孝幸
 公益財団法人高輝度光科学研究センター
 放射光利用研究基盤センター 分光推進室
 保井 晃、河村 直己、雀部 矩正
 公益財団法人高輝度光科学研究センター
 放射光利用研究基盤センター 水牧 仁一郎
 公益財団法人高輝度光科学研究センター
 放射光利用研究基盤センター 回折・散乱推進室 筒井 智嗣
 名古屋大学 未来材料・システム研究所 池永 英司
 広島大学 放射光科学研究センター 佐藤 仁
 九州大学 理学院 光田 暁弘
 名古屋工業大学 大学院工学研究科 大原 繁男

(1)

指定時PU 課題番号/ビームライン	2017A0071/BL09XU							
PU 氏名 (所属)	三村 功次郎 (大阪公立大学)							
研究テーマ	強相関電子系における量子臨界現象解明のための共鳴硬 X 線光電子分光および蛍光収量 X 線吸収分光の複合計測技術の構築							
高度化	共鳴硬 X 線光電子分光計測技術の基盤開発							
利用研究支援	当該装置を用いた利用実験の支援							
利用期	17A	17B	18A	18B	19A	19B	20A	合計
PU 課題実施シフト数	41.875	47.375	44.125	47.75	23.875	35.375	45	285.375
支援課題数	1	2	5	6	8	7	9	38

(2) PU 活動概要

1. はじめに

硬 X 線光電子分光 (HAXPES) は、元素選択的かつバルク敏感な電子状態の情報が取得できるため、広範な物質系において電子状態研究の強力な実験手法となっている。我々は、HAXPES をさらに深化・発展させた共鳴 HAXPES 計測技術の開発を行った。加えて、蛍光収量による X 線吸収分光 (XAS) との複合計測化を達成した。共鳴 HAXPES は、HAXPES を内殻吸収端近傍で励起エネルギーを掃引することで、光電子放

出過程に対する共鳴効果を観測できる強力な実験手法であり、例えば、希土類 5d-4f 電子間のクーロン相互作用^[1]を実験的に評価することが可能となる。これにより、希土類化合物の価数揺らぎに起因した非従来型超伝導や非フェルミ液体など、新奇量子臨界現象の理解において重要なパラメータを実験的に直接評価することができる。しかし共鳴 HAXPES は、実験的・解析的な困難さから 2000 年に報告^[2]があった以外には例がない状況であった。本報告では、我々パートナーユーザー (PU) が実施した共鳴 HAXPES 計測の開

発状況と計測例を紹介し、他の試料系への応用を含め、今後の展望について述べる。

2. 高度化への協力

ID、二結晶分光器、チャンネルカット分光器からなる光学系と電子エネルギー分析器 (Scienta Omicron 社 R4000) との同期制御技術の開発を行った。同社の“SESWrapper”ライブラリと LabVIEW ソフトウェアのマッチングを取ることで、光学系のエネルギー掃引と電子エネルギー分析器の光電子検出を一体化させた共鳴 HAXPES スペクトル計測の完全自動化を達成した。

共鳴 HAXPES スペクトルの自動計測化に加えて、測定シーケンスファイルを作成するマクロを作成した。このマクロは、励起エネルギー、内殻スペクトルの測定運動エネルギー範囲、測定回数などの情報を容易にライブラリ化でき、同一励起エネルギーにおいて共鳴 HAXPES、共鳴 Auger 計測が混在する状況にも対応できる仕様になっている。これにより、測定メニューを手入力する場合と比較して、スペクトル計測までの時間の大幅な短縮化や、入力ミスによる実験トラブルの回避ができるようになった。本マクロによるユーザビリティの向上は、実際に利用したユーザーから高評価を受けており、新規ユーザーを呼びこむ際の障壁の緩和につながっている。

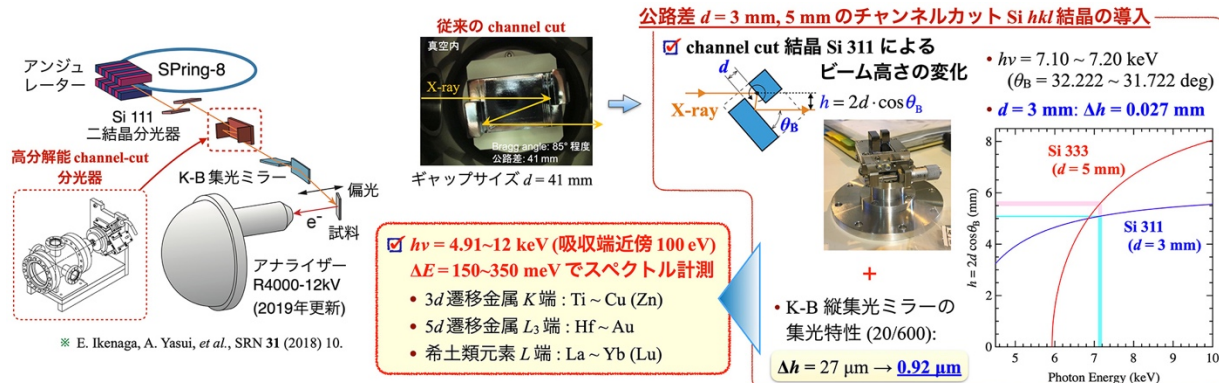
従来の高分解能チャンネルカット結晶 (ギャップサイズが ~ 40 mm と広い) は、エネルギー掃引に伴う試料上でのビーム照射位置の変化 (高さ変動) により光電子捕集効率が大きく変動し、共鳴 HAXPES スペクトルの励起エネルギー依存性を正確に観測することが困難であった。我々はこの問題を、ギャップサイ

ズ 5 mm の Si 333 および 3 mm の Si 311 チャンネルカット結晶を組み込むことで解決した (図 1)。例えば、ギャップサイズ 3 mm の Si 311 チャンネルカット結晶を用いて 7100-7200 eV のエネルギー掃引を行う場合、高さ変動はわずか $27 \mu\text{m}$ である。さらに、K-B 縦集光ミラーの集光特性 (1/30) により、100 eV 掃引時の高さ変動は $0.92 \mu\text{m}$ に抑えられる。以上により、4.91 $\sim$ 12 keV 領域において、特定の内殻元素吸収端の 100 eV の範囲にわたって光電子捕集効率を損なうことなく共鳴 HAXPES スペクトル計測が行える環境を整えた。これにより、大半の遷移金属元素や希土類元素に対して安定的に共鳴 HAXPES 計測が行えるようになった。

さらに我々PUは、2個の Si 311 チャンネルカット結晶によるダブルチャンネルカット分光器 (DCCM) 機構のテストを実施した。BL09XU 常設の K-B 集光ミラーの高さ駆動範囲に限界があり、DCCM 光を集光することができなかつたため、実利用には至らなかったが、DCCM を利用したエネルギー掃引に関する知見など、BL09XU のビームライン改修に対してフィードバックできるデータを提供するに至った。

さらに、単素子 X 線検出器を光電子分光装置の測定槽に設置し、立ち上げ作業を行った。蛍光エネルギーのキャリブレーションおよび蛍光収量シグナルの飽和問題を解決できたことで、蛍光収量による XAS の観測が可能になった。加えて、K-B 集光ミラーの下流側にカプトン散乱体を設置し、共鳴 HAXPES 計測中にリアルタイムで入射光強度 (I_0) モニタリングを可能にした。

また、共鳴 HAXPES スペクトルの解析において問題となっていた、異なるエネルギー間での光電子放出



強度の規格化方法について検討を行い、解決策を得た。様々な計測および解析を行った結果、 I_0 による規格化に加えて、一連の共鳴 HAXPES スペクトルのベースライン強度で規格化できることを突き止めた。そこで、GUI ベースの解析用マクロを作成し、共鳴 HAXPES 計測中に解析ができる環境を構築した (図 2)。このマクロは、データの読み込みからスペクトル強度の規格化、特定ピークの励起エネルギー依存性である定始状態 (CIS) スペクトル描画までを瞬時に行うことができる。これによりユーザーは、正常な共鳴 HAXPES 計測ができているかをリアルタイムでチェック可能である。本高度化は、ユーザーが実験に集中できる環境を提供できることは勿論、生産性の向上という点においても非常に意義は高く、実際に本マクロを利用したユーザーから高評価を受けた。

我々 PU の理論解析グループは、計算コードの提供に向けた整備を行った。これまで、HAXPES、XES、XAS のスペクトル解析に対して実績があるコードについて公開に向けて再整備・パッケージ化を行い、さらに計算の高速化を目指したコードの見直しを行ってきた。GUI ベースでパラメータセットからスペクトル描画ができるソフトウェアを構築し、現在、最終段階として BL09XU にてコードを公開する準備を進めている。

以上のように、我々 PU は、複合計測・解析と同時に理論計算までが一つのビームラインで完結する世界に類を見ない環境を構築した。

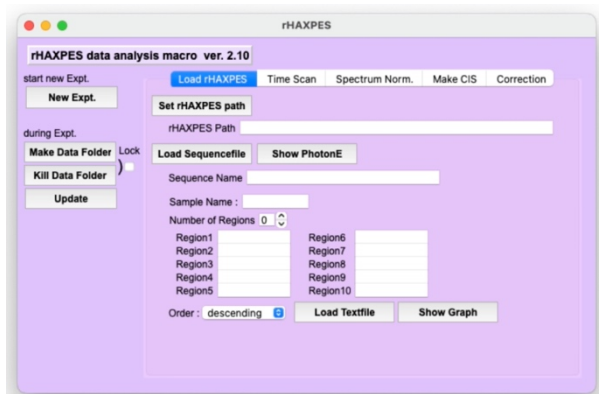


図 2 共鳴 HAXPES 解析マクロのフロントパネル。上部の各タブは、用途に応じて“共鳴 HAXPES および I_0 のデータ読み込み・描画”、“スペクトルの規格化”、“CIS 抽出”、“エネルギー校正”から構成されており、ユーザーは容易かつ迅速にその場解析を行うことができる。

3. 研究成果

先に述べたように、希土類 4f-5d 電子間のクーロン斥力 (U_{fd}) は、近年報告された価数揺らぎに起因した新奇量子臨界現象の鍵^[1]であり、その定量評価が急務である。そこで PU の利用実験では、高度化を行った共鳴 HAXPES 測定技術の実用化に向けて、種々の希土類化合物に対して希土類 L_3 吸収領域で共鳴 HAXPES 計測を行った。測定データとその理論解析を通して決定された物理パラメータ (希土類 4f - 伝導電子間の混成強度 V_{cf} , 電荷移動エネルギー Δ , 特に U_{fd}) が、希土類化合物の価数揺らぎ・価数転移、特に量子臨界現象の発現に如何に関与しているのか、その物理的描像の解明を目指した。以下、成果の内いくつかを解説する。

3.1. $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.21}\text{Ge}_{0.79})_2$ の共鳴 HAXPES

– 温度誘起価数転移における U_{fd} の効果 –

$\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.21}\text{Ge}_{0.79})_2$ は、価数転移温度 $T_v = 84 \text{ K}$ で一次の温度誘起価数転移を示す^[3]。価数揺らぎに起因する量子臨界現象を説明する理論によると、一次の価数転移は、 U_{fd} の変化に伴い、系の状態が $U_{fd} - \epsilon_f - T$ からなる相図上の一次の価数転移面を通過することで生じる (ϵ_f は裸の 4f 準位、 T は温度)。そこで、 $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.21}\text{Ge}_{0.79})_2$ の温度誘起価数転移における U_{fd} の効果を検証するため、 $T_v = 84 \text{ K}$ の上下 2 点 (20 K と 130 K) で Eu L_3 吸収領域の $3d_{5/2}$ 内殻共鳴 HAXPES 計測を行った。図 3 に示すように、 Eu^{2+} および Eu^{3+} $3d_{5/2}$ 内殻成分は、明瞭な励起エネルギー依存性を示した。共鳴増大を視覚化するため、 Eu^{2+} および Eu^{3+} $3d_{5/2}$ 主ピークの光電子放出強度の励起エネルギー依存性である CIS スペクトルを抽出した。CIS スペクトルは、 Eu^{2+} , Eu^{3+} 成分共に励起エネルギーに対して Fano 型の共鳴増大を示す。また Eu^{2+} , Eu^{3+} L_3 吸収端の違いに伴い、共鳴増大を示す励起エネルギーが異なることが確認された。このように、Eu 化合物に対する Eu L_3 共鳴 HAXPES および CIS スペクトルの観測に世界に先駆けて成功した。

V_{cf} が弱い極限では、共鳴 HAXPES 中の Eu^{2+} , Eu^{3+} 状態の重心間のエネルギー差が $|\Delta - U_{fc}|$ 、CIS の Eu^{2+} , Eu^{3+} 間の閾値のエネルギー差が $|\Delta - U_{fc} + U_{fd}|$ の情報を与え、これらの差分から U_{fd} を実験的に決定

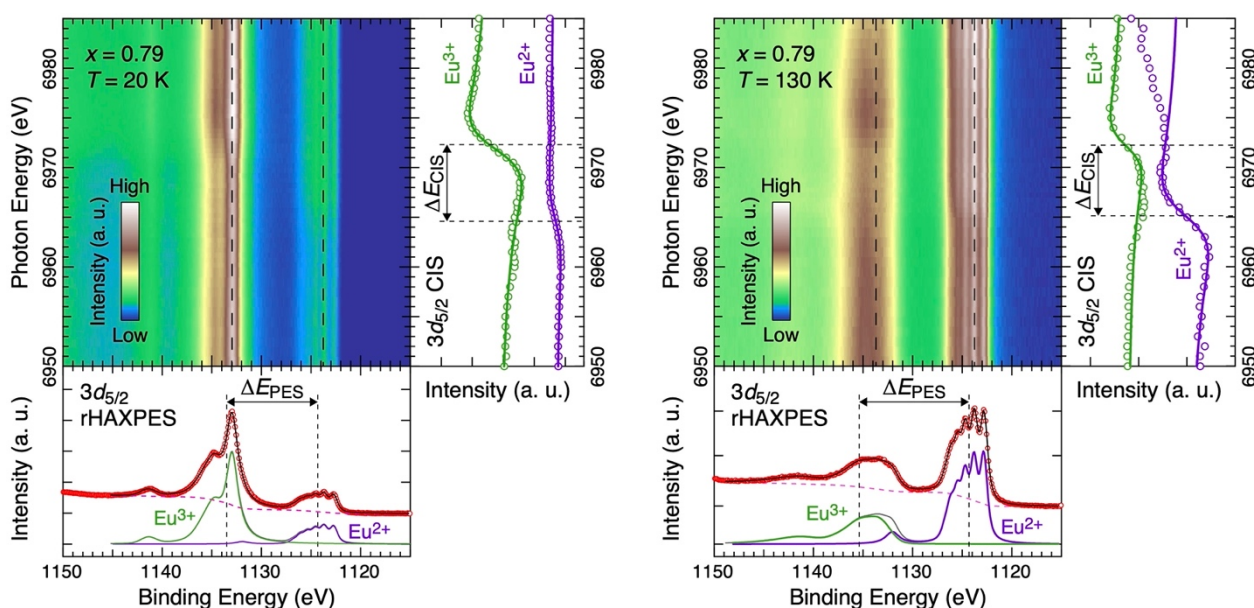


図3 $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.21}\text{Ge}_{0.79})_2$ に対する Eu L_3 吸収領域の $3d_{5/2}$ 内殻共鳴 HAXPES スペクトルの温度変化。 Eu^{2+} , Eu^{3+} 成分からそれぞれ CIS スペクトルが抽出される。HAXPES の各成分の重心間のエネルギー差および CIS 閾値間のエネルギー差から U_{fd} が実験的に決定される。

することができる (U_{fc} は内殻正孔ポテンシャル)。本研究では、 $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.21}\text{Ge}_{0.79})_2$ の転移温度前後における U_{fd} を導出し、20 K と 130 K において、それぞれ $U_{\text{fd}} = 2.18, 3.96$ eV と、転移の高温相において U_{fd} が増大することを明らかにした。この結果は、低温相から高温相に向けて U_{fd} が増大することで、一次転移の境界面を超えて価数状態が変化することを示唆しており、価数揺らぎに起因する量子臨界現象のモデルと矛盾しない。また、2 価優勢である高温相で U_{fd} が増大する事実は、Eu サイトの 5d 電子は転移の前後でほとんど増減しておらず、Eu の価数変化 (電荷移動) の担い手は、主に Ni, Si, Ge 価電子であると示唆される。

3.2. YbInCu_4 の共鳴 HAXPES

– 温度誘起価数転移における U_{fd} の効果 –

YbInCu_4 は、 $T_v = 42$ K で一次の温度誘起価数転移を示す Yb 系の中でも珍しい化合物である^[4]。 YbInCu_4 に対して Yb L_3 吸収領域で Yb 3d 共鳴 HAXPES 実験を行い、 $T_v = 42$ K をはさむ 70 K と 20 K で Yb^{2+} , Yb^{3+} $3d_{5/2}$ 成分の明瞭な共鳴現象を観測することに成功した。得られた Yb 3d 共鳴 HAXPES および CIS スペクトルを不純物アンダーソン模型に基づいた解析により再現することで、高温相の $U_{\text{fd}} = 4.0$ eV から

低温相では $U_{\text{fd}} = 3.0$ eV と U_{fd} が 1.0 eV 減少すること、すなわち U_{fd} が YbInCu_4 の価数転移の駆動力であることを示唆する結果を得た。

3.3. YbRh_2Si_2 , YbCu_2Si_2 の共鳴 HAXPES

– 臨界価数揺らぎにおける U_{fd} の効果 –

Yb 系化合物の中でも価数揺らぎに起因した量子臨界点近傍に位置するとされる YbRh_2Si_2 ^[5] および重い電子系である YbCu_2Si_2 ^[6] に対して試料温度 20 K で Yb 3d 共鳴 HAXPES スペクトルから抽出された Yb^{2+} , Yb^{3+} CIS スペクトルは、Yb L_3 吸収領域において明瞭な共鳴増大を示す。Yb 3d 共鳴 HAXPES 中の Yb^{2+} , Yb^{3+} 状態の重心間のエネルギー差および CIS の Yb^{2+} , Yb^{3+} 間の閾値のエネルギー差から U_{fd} を実験的に評価したところ、 YbRh_2Si_2 の U_{fd} は YbCu_2Si_2 と比較して 0.37 eV 大きいことがわかった。 YbCu_2Si_2 と YbRh_2Si_2 間の U_{fd} の差は、価数揺らぎに起因した量子臨界現象を説明する拡張周期アンダーソン模型から予測される結果と矛盾しない。つまり、この結果は臨界価数揺らぎの理論における U_{fd} の重要性を実験的に裏付けたものであると言える。

YbCu_2Si_2 で注目すべき点は、Yb $3d_{5/2}$ 内殻スペクト

ルが共鳴増大を示すと同時に、価電子帯の 4f 成分が共鳴増大を示す点である。この事実は、 L_3 吸収 ($Yb\ 2p_{3/2} \rightarrow 5d$ 吸収) 過程において 5d 軌道へ吸収された電子と 4f 電子間で相互作用が働くことを示す決定的な証拠に他ならない。つまり、共鳴 HAXPES 計測技術が我々の予想通り希土類化合物の U_{fd} を実験的に明らかにできることを示す結果であり、分光学的見地から見ても興味深い成果であると考えられる。

3.4. $CeCu_2Ge_2$, $CeCu_2Si_2$, $CeRu_2Si_2$ の共鳴 HAXPES

– 従来型の量子臨界現象における U_{fd} の効果 –

以前から注目されていた磁気揺らぎに起因する量子臨界現象として議論されている Ce 化合物 ($CeCu_2Ge_2$: 近藤温度 $T_K \sim 5\text{ K}$ ^[7,8], $CeCu_2Si_2$: $T_K = 10\text{ K}$ ^[9,10] および $CeRu_2Si_2$: $T_K = 20\text{ K}$ ^[11]) における U_{fd} の有用性を検証することを目的として、共鳴 HAXPES 実験を行った。共鳴 HAXPES スペクトル計測は、試料温度 20 K、入射 X 線のエネルギーを Ce L_3 吸収端近

傍 (5695-5755 eV) として行った。

図 4 に示すように $CeCu_2Ge_2$, $CeCu_2Si_2$, $CeRu_2Si_2$ の Ce 3d スペクトルは、 $4f^0$, $4f^1$, $4f^2$ 終状態に起因する 3 つの構造から構成される。各終状態の光電子放出強度の入射エネルギー依存性である CIS スペクトルには明瞭な共鳴増大が観測され、 $4f^0$ および $4f^1$ CIS スペクトルのピーク位置には顕著な試料依存性が観測された。Eu, Yb 化合物の共鳴 HAXPES や CIS と異なるのは、Ce 化合物の場合は、 $4f^0$, $4f^1$, $4f^2$ 終状態に起因する共鳴構造が折り重なるため、単純な差分による U_{fd} の評価が困難な点である。そこで、Ce 3d 共鳴 HAXPES および CIS スペクトルの入射エネルギー依存性を再現するため、不純物アンダーソン模型を基にした理論解析を行った。理論解析では、まず非共鳴の Ce 3d HAXPES の再現を行い、従来の電子状態解析と同様に、 T_K が大きくなるにつれて、 V_{cf} は大きくなり、裸の 4f 準位のエネルギー位置に等価である $|\Delta|$ が小さくなる傾向を得た。その上で、共鳴スペクトル

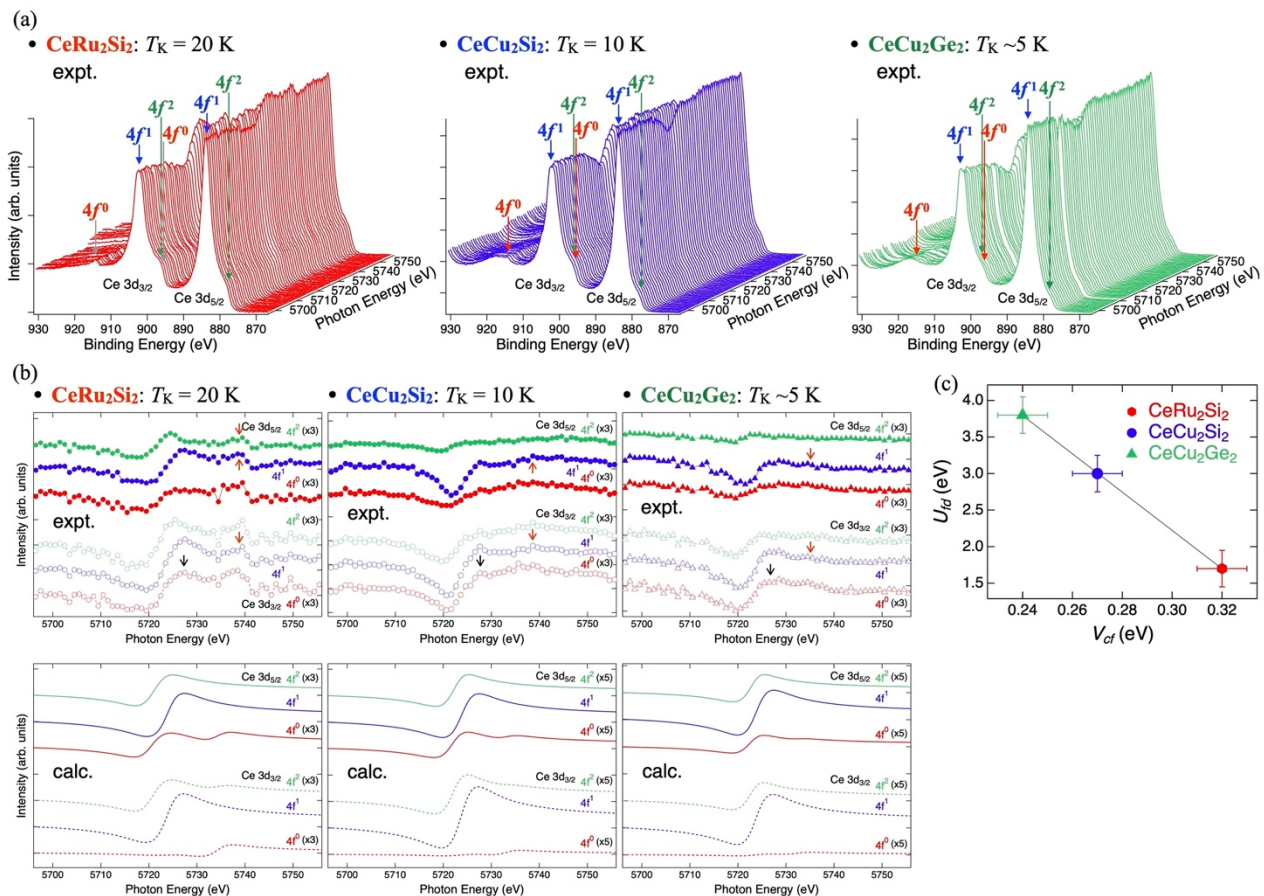


図 4 (a) $CeRu_2Si_2$, $CeCu_2Si_2$, $CeCu_2Ge_2$ の Ce 3d 共鳴 HAXPES スペクトルの励起エネルギー依存性。(b) 共鳴 HAXPES 実験から得られた CIS スペクトルおよび不純物模型に基づく解析から再現された CIS スペクトル。(c) c-f 混成強度と U_{fd} の関係。

の再現、すなわち U_{eff} の導出を行った。図 4(b) 下段の計算スペクトルを見ると、全試料における $4f^0$, $4f^1$, $4f^2$ 終状態の入射エネルギーに伴う共鳴増大は、 V_{eff} 、 Δ に加えて U_{eff} を用いてよく説明されることがわかる。加えて U_{eff} の値が CeCu_2Ge_2 , CeCu_2Si_2 , CeRu_2Si_2 の順に小さくなることを見出した。このことは、従来の磁気揺らぎに起因する量子臨界現象を理解する場合においても、 U_{eff} を考慮して議論を行うべきことを示唆しており、希土類化合物が示す量子臨界現象の理解に一石を投じるものであるといえる。

4. ユーザー支援

PU は、本計測（共鳴 HAXPES、共鳴 Auger）に興味を持つユーザーと密に連絡を取り、課題申請を促した結果、各期に数件ずつの利用者からの相談があり、実際に新規での課題申請を行っていただいた。BL09XU は全体的に課題申請数が多いこともあり、全てが採択された訳ではない。しかし、図 5 に示すように着実に共鳴 HAXPES 関連の採択課題数は増加している。

我々 PU が希土類化合物における U_{eff} の評価を念頭に置いていることもあり、希土類化合物の電子状態研究を主とする研究者からの申請が多い状況にあった。その様な中でも、触媒、遷移金属 5d 系のエレクトロニクス材料、金属材料を主たる研究テーマとする研究者・企業からの課題申請が複数件あったことは、本共鳴計測の裾野を広げられたことに他ならない。

共鳴 HAXPES、共鳴 Auger スペクトルの自動計測については、試料の真空槽導入、測定シーケンスファイルの作成から自動計測までのマニュアル、測定した

スペクトルの解析マニュアルを作成し、ビームラインのユーザビリティ向上に貢献した。特に本実験に慣れていないユーザーに対しては、実際に現地にて試料導入から測定・解析までの一連の指導を行った。現地指導について、PU 代表が対応できない場合は、PU 代表の所属研究室学生が対応した。これらの技術的支援により、ユーザー実験時の技術的障壁を下げることに成功した。

我々 PU の理論解析グループによるスペクトル解析コードについては、提供までには至っていないが、公開に向けた整備が整ってきた状況である。PU 課題期間後とはなるが、コードを公開することで十分な利用者支援ができることは間違いないと考えている。

5. 共鳴 HAXPES 計測の将来展望

本 PU 課題における BL09XU での共鳴 HAXPES の高度化を通して、希土類化合物が示す価数揺らぎによる量子臨界現象において重要な物理量である U_{eff} を定常的に評価できる環境が整えられた。共鳴 HAXPES に関連した招待講演数が 9 件（国際 2 件、国内 7 件）、国際会議における受賞が 3 件を数えた点は、本計測が強相関電子系の分野において国内外で注目されて高く評価されていることを意味する。

BL09XU は 2021A 期にアップグレードが施され、DCCM が実装された。これまで以上に安定的な励起エネルギー掃引ができることで、より精度が高い共鳴 HAXPES スペクトル計測が可能になった。これにより一層の共鳴 HAXPES の成果創出が拡大することが期待される。例えば、遷移金属を含む光触媒に対する共鳴 HAXPES 計測は、助触媒と光触媒間の電荷移動を定量化できるため、触媒機構の機能解明や更なる高効率触媒の合成に繋がると期待される。また、遷移金属や希土類元素を含む機能性材料の機能解明に対しても、共鳴 HAXPES 計測が有用であると期待される。

現在、最終公開に向けて準備中である理論解析ソフトウェアが BL09XU に公開されれば、非常にインパクトのあるビームラインになると期待する。理論解析プログラムを所有するビームラインは非常に貴重な存在になるであろう。今後、BL09XU で共鳴 HAXPES 計測が活発に行われることを期待する。

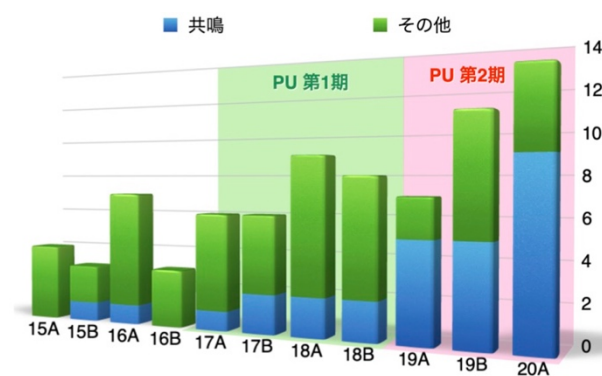


図 5 PU 期間中における共鳴 HAXPES 課題数の推移。特に PU 第 2 期の採択数が多いことがわかる。

参考文献

- [1] S. Watanabe and K. Miyake: *Phys. Rev. Lett.* **105** (2010) 186403.
- [2] H. Ogasawara *et al.*: *Phys. Rev. B* **62** (2000) 7970.
- [3] H. Wada *et al.*: *J. Phys.: Condens. Matter* **9** (1997) 7913.
- [4] I. Felner and I. Nowik: *Phys. Rev. B* **33** (1986) 617.
- [5] O. Trovarelli *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **85** (2000) 626.
- [6] N. D. Dung *et al.*: *J. Phys. Soc. Jpn.* **78** (2009) 024712.
- [7] F. R. de Boer *et al.*: *J. Magn. Magn. Mater.* **63&64** (1987) 91.
- [8] D. Jaccard *et al.*: *Phys. Lett. A* **163** (1992) 475.
- [9] F. Steglich *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **43** (1979) 1892.
- [10] A. Severing *et al.*: *Phys. Rev. B* **39** (1989) 4164.
- [11] J. D. Thompson *et al.*: *Solid State Commun.* **56** (1985) 169.

(3) 成果リスト (査読付き論文)

SPRING-8 利用研究成果登録データベースに登録済みで、PU 課題番号が関連づけられた査読付き論文のみを掲載します (その他、PU として支援した一般課題の発表論文やポスター発表、受賞歴など多数の成果がありますが、掲載スペースの都合上割愛しています)。

- [1] SPRING-8 Publication ID = 36462
E. Ikenaga *et al.*: “Hard X-ray Photoemission Spectroscopy at Two Public Beamlines of SPRING-8: Current Status and Ongoing Developments” *Synchrotron Radiation News* **31** (2018) 10-15.
- [2] SPRING-8 Publication ID = 39662
K. Maeda *et al.*: “Yb L_3 Resonant Hard X-Ray Photoemission Spectroscopy of Valence Transition Compound YbInCu₄” *JPS Conference Proceedings* **30** (2020) 011137.

三村 功次郎 MIMURA Kojiro

大阪公立大学 大学院工学研究科
〒599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1
TEL : 072-254-9367
e-mail : k.mimura@omu.ac.jp

魚住 孝幸 UOZUMI Takayuki

大阪公立大学 大学院工学研究科
〒599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1
TEL : 072-254-9365
e-mail : uozumi@omu.ac.jp

保井 晃 YASUI Akira

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 分光推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0833
e-mail : a-yasui@spring8.or.jp

河村 直己 KAWAMURA Naomi

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 分光推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0833
e-mail : naochan@spring8.or.jp

雀部 矩正 SASABE Norimasa

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 分光推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0833
e-mail : sasabe@spring8.or.jp

水牧 仁一朗 MIZUMAKI Masaichiro

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0833
e-mail : mizumaki@spring8.or.jp

筒井 智嗣 TSUTSUI Satoshi

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 回折・散乱推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0833
e-mail : satoshi@spring8.or.jp

池永 英司 IKENAGA Eiji

名古屋大学 未来材料・システム研究所
〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
TEL : 052-789-5893
e-mail : ikenaga@imass.nagoya-u.ac.jp

佐藤 仁 SATO Hitoshi

広島大学 放射光科学研究センター
〒739-0046 広島県東広島市鏡山 2-313
TEL : 082-424-6293
e-mail : jinjin@hiroshima-u.ac.jp

光田 暁弘 MITSUDA Akihiro

九州大学 理学研究院
〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744
TEL : 092-802-4074
e-mail : 3da@phys.kyushu-u.ac.jp

大原 繁男 OHARA Shigeo

名古屋工業大学 大学院工学研究科
〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町
TEL : 052-735-5156
e-mail : ohara@nitech.ac.jp