

## ■ 会議報告

# International Symposium on Synchrotron Radiation Research for Spin and Electronic States in *d*- and *f*-electron Systems (SRSES2003) 報告

島田賢也 (広島大学放射光科学研究センター)

2003年11月19日から21日までの3日間にわたり、表記の広島大学 COE (複合自由度機能物質研究拠点) の国際シンポジウムが開催された。放射光を用いた *d*, *f* 電子系のスピン電子状態に関する研究をシンポジウムのタイトルとしたが、実験室光源を用いた高分解能角度分解光電子分光, スピン偏極正・逆光電子分光, ナノ構造の作成, 評価も Scope に含めた。招待講演23件 (米国3名, ドイツ3名, 中国2名, スイス2名, ベルギー1名, 日本12名), ポスター発表34件, 参加登録者は68名であった。多数参加した学生が国際シンポジウムの中で active な研究者たちと直接接する機会が持てたことは貴重な経験であったと思われる。本稿ではプログラムにそって招待講演者の講演概要を簡単に報告したい。シンポジウムの proceedings が *Physica B* の351巻・3-4号として出版されているのであわせてご参照いただければ幸いである。

本シンポジウムは S. Hüfner 氏 (Univ. Saarlandes) の “Very high photoemission spectroscopy” の講演から始まった。固体物性を考えるうえで結晶構造と電子構造が重要であるが, 光電子分光を用いると電子構造を直接的に明らかにすることができる。Hüfner グループでは高分解能角度分解光電子分光実験によって遷移金属の表面準位を meV 分解能で精密測定したところトンネル分光, 理論計算と初めて定量的にも一致する結果を得た。Hüfner 氏が書かれた Photoelectron Spectroscopy という教科書を私たちはセミナーで利用している。講演を楽しみにしていた学生も多々おり, 著者からサインをもらう者もいた。S. Shin 氏 (東大物性研) は真空紫外レーザーを用いて meV を切る高エネルギー分解能光電子分光を報告した。強相関希土類化合物, 有機導電体は低温で特異な物性を示すものが数多くある。これまでは分解能, 試料温度の制約から測定が困難であった系についても, ターゲットとなりうる領域が大きく拓けてきた。J. W. Allen 氏 (Univ. Michigan) は  $(V_{1-x}A_x)_2O_3$  ( $A = Cr, Ti$ ) について  $V2p-3d$  共鳴領域も含む軟 X 線光電子分光について報告し, とりわけフェルミ準位近傍の  $V3d$  スペクトル形状を議論した。ペロブスカイト型 Ti, V 酸化物については10年ぐらい前に Fujimori グループで精力的に研究が行われ, 一電子的な状態密度とは異なる特異な光電子スペクトル形状が明らかにされた。重要なパラメータは  $3d$  電子間に働くクーロン相互作用 ( $U$ ) とバンド幅 ( $W$ ) の比  $U/W$  であり,  $U/W$  が大きい



SRSES2003参加者集合写真 (広島大学学生会館)

と一電子的な状態密度に対応するフェルミ準位近傍の “コヒーレント部分” に加えて lower Hubbard バンドに対応する “インコヒーレント部分” が明瞭に観測される。90年代はじめに, 無限次元ハバードモデルに基づいて一粒子励起スペクトルが計算され, 光電子スペクトルはそれと定性的に一致しているように見えた。しかしコヒーレント部分とインコヒーレント部分の強度比をとると真空紫外光電子分光ではインコヒーレント部分が強く出過ぎていた。Allen 氏らは SPring-8 で Suga グループと共同研究を行い, 真空紫外領域で励起した場合に比較して軟 X 線領域ではインコヒーレント部分の強度が抑えられ, 理論計算とより一致する結果を得た。A. Tanaka 氏 (広大院) は  $VO_2$  と  $Ti_2O_3$  の電子構造, 金属絶縁体転移のメカニズムについて理論の立場から議論した。F. Iga 氏 (広大院) は HiSOR BL14 を利用したモット絶縁体  $YTiO_3$  の  $Ti 2p-3d$  光吸収スペクトルの線二色性実験を報告した。理論と実験スペクトルを比較することにより軌道秩序が議論された。D. Feng 氏 (Fudan Univ.) はいくつかの銅酸化物について軟 X 線散乱実験により電荷秩序を調べた例を報告した。S. Suga 氏 (大阪大院) は軟 X 線を利用した高分解能角度分解光電子分光により強相関物質の電子状態の理解が進展したことを報告した。また共鳴非弾性 X 線散乱 (RIXS) による強相関低次元電子系の実験結果を報告し, RIXS はプローブ深さが極めて大きく, かつ波数分解能が高いためバルク電子状態を調べる有効な実験手法の一つと紹介した。Y. Takata 氏 (RIKEN/SPring-8) は SPring-8 で最近急速に進展しつつある硬 X 線光電子分光の現状を報告

し、半導体、希薄磁性半導体等のバルク・界面電子状態について最新の研究を紹介した。広大放射光グループも当初からこのプロジェクトに参加しており、本学会誌に解説記事が掲載されている<sup>1)</sup>。M. Donath 氏 (Univ. Münster) はスピン分解逆光電子分光によって Co/Cu(100) のスピン偏極した量子井戸状態の観測について報告した。A. Kakizaki 氏 (東大物性研) は、スピン角度分解光電子分光により Rh(001) 上に成長した fct Fe の磁性と電子状態について議論した。M. Hoesch 氏 (Univ. Zurich) はスピン角度分解光電子分光による Ni のフェルミ面マッピングを報告した。実験は Swiss Light Source で行われ、静電半球型電子エネルギー分析器で角度分解、エネルギー分解を行った後、小型モット検出器二台を用いてスピンの向きも決める「完全実験」であった。Ni/Cu(001) は layer by layer のエピタキシャル成長であるとされ、膜厚を増やしながらフェルミ面マッピングを行うとわずかに数 ML でバルク的なフェルミ面が観測されると報告した。Donath 氏、Kakizaki 氏、Hoesch 氏らが明快に示すように真空紫外領域のスピン角度分解正・逆光電子分光は磁性超薄膜の電子構造の研究で大いに威力を発揮している。H. Maruyama 氏 (広大院) はペロブスカイト型  $Mn_3ZnC$  の多彩な磁気構造を硬 X 線 MCD で調べた結果を報告した。S. Qiao 氏 (広大放射光) は (Sm, Gd)Al<sub>2</sub> について軟 X 線 MCD 実験を行い、スピン、軌道モーメントが特異な温度依存性を示すことを明らかにした。J.-F. Jia 氏 (中国科学院) は Si(111) 表面上に作成した Co ナノ構造について鮮明な STM 像を報告した。A. Kimura 氏 (広大院) は Fe/Co(001) や Mn/Cu(001) などの磁性超薄膜のスピン角度分解光電子分光、軟 X 線 MCD などによる電子状態の評価を報告した。F. J. Himpsel 氏 (Univ. Wisconsin) は Si(553) や (557) 上に作成した Au のナノワイヤーについて見事な角度分解光電子分光の結果を示した。人工的に作成したナノ構造体は、基礎・応用の両面から今後最も注目される研究対象となるだろう。J. Ghijsen 氏 (Univ. Namur) は光電子分光により有機 LED の金属・有機物界面電子状態について議論した。K. Shimada (広大放射光) は HiSOR における高分解能光電子分光実験の現状と希土類化合物の高分解能光電子分光実験、SPring-8 での硬 X 線光電子分光実験について報告した。P. Aebi 氏 (Univ. Neuchâtel) はヘリウム放電管を用いた角度分解光電子分光実験を 1T-TaS<sub>2</sub> について行い、フェルミ面、フェルミ準位近傍のバンド分散を報告した。電荷密度波 (CDW) が生じると超周期構造が出現し Brillouin 域が折り畳まれてバンド分散が分断される。Aebi 氏らは CDW 転移に伴う劇的なバンド構造の変化を直接観測した。この系については M. Arita らが HiSOR のアンジュレータービームラインで放射光を用いた高分解能角度分解光電子分光実験を行い同様の結果を報告している。低次元電子系であっても  $k_z$  方向の弱い分散効果や遷移行列要素の励起光エネルギー依存性は一般に完全に無視できない。L. Kipp 氏 (Kiel Univ.)

は、層状半導体 TiTe<sub>2</sub> の角度分解光電子分光を励起光エネルギーを変えながら行った例を報告した。また DESY で進行中の VUV-FEL 利用計画についても説明があった。ゾーンプレートを用いてサブ  $\mu\text{m}$  程度に光をフォーカスして微小領域の光電子分光実験を予定しているとのことであった。T. Takahashi 氏 (東北大院) は Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>n-1</sub>Cu<sub>n</sub>O<sub>2n+4</sub> ( $n=1-3$ ) の高分解能角度分解光電子分光を行い、フェルミ面の場所や CuO<sub>2</sub> 面の枚数によるバンド分散の折れ曲がりの特徴を議論した。またフェルミ分布関数の温度広がりを利用して非占有電子状態も含めて Bogoliubov 準粒子状態を観測し、転移点以下では BCS 理論の枠組みで解釈できると報告した。D. H. Lu 氏 (Stanford Univ.) は hole-doped Ca<sub>2-x</sub>Na<sub>x</sub>CuO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> および electron-doped Nd<sub>2-x</sub>Ce<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> について真空紫外放射光を用いた高分解能角度分解光電子分光によりモット絶縁体から超伝導体へと電子構造がどのように変化するかを議論した。A. Fujimori 氏 (東大院) は放射光を利用した角度分解光電子スペクトルの定量的な形状解析から比熱や電気抵抗率などを議論した。こうした議論は分解能が高くなってはじめて可能となったもので、今後、高分解能角度分解光電子分光によるフェルミオロジーへの期待はますます高まるだろう。Concluding remarks は F. J. Himpsel 氏にお願いした。光電子分光の励起光エネルギーは 1-1000 eV のオーダーの広い範囲にわたり、それぞれのエネルギー領域で励起した場合の特徴が概観された。とりわけここ数年ほどの間に 1 meV を切る測定が現実的になってきたこと、超伝導体のエネルギーギャップや自己エネルギーの直接的検証、輸送現象との直接比較が可能になってきたことなどが述べられた。非占有電子状態については逆光電子分光の他にも Scanning Tunneling Spectroscopy (STS)、レーザーを利用した pump probe 法、フェルミ分布関数の温度広がりを利用して光電子分光から求めるなどの方法があると述べられた。また RIXS のように光をプローブとした研究の意義も述べられた。最近、自己組織化を利用して 0 次元、1 次元、2 次元のナノ構造が作成できるようになり、新しい物理が拓かれつつあることが述べられた。とりわけ次元電子系 (朝永-ラッティンジャー流体) は現在のところなかなかその実体が捉えにくい、今後の研究の方向性についてコメントがなされた<sup>2)</sup>。

ポスターセッションでは学生が多数発表をし、活発な議論が繰り広げられた。今後も放射光を利用した物質科学研究に多くの学生が集まってますます盛んになることを期待したい。

## 参考文献

- 1) 高田恭孝: 放射光 **17**, 66 (2004).
- 2) 光電子分光による朝永-ラッティンジャー流体の研究については最近本学会誌で紹介されている。石井廣義: 放射光 **17**, 194 (2004).