

# 客員所員を経験して

東北大学 多元物質科学研究所 虻川 匡司

2014 年度に松田巖先生のホストで極限コヒーレント光科学センター(軌道放射光)の客員准教授としてお世話になりました。SPring-8 の東京大学アウトステーション BL07LSU の時間分解光電子分光装置を利用した研究に携わらせていただきました。高輝度放射光リングから得られる非常に強い X 線や、最新の光電子分光装置に触れることができ、大変有意義な一年となりました。

私は博士課程を東北大学で修めましたが、実は博士論文の半分は当時の物性研の軌道放射光施設のお世話になったものであります。ちょうど博士後期課程に進学した頃、当時の柿崎明人先生、木下豊彦先生が筑波のフォトンファクトリーに東大物性研のビームラインを立ち上げ中でした。幸運なことに立ち上げの途中から参加させていただき、ユーザーに一般解放される前からビームラインのテストを兼ねて表面光電子分光のビームライン BL18A を自由にに使わせていただきました。木下先生のお話によると、私が BL18A の最初のユーザーなのだそうです。BL18A は、アンジュレータなどの挿入光源ではなくベンディング磁石からの放射光でしたが、それでも当時としては大変明るく、それを使って表面状態のバンド分散を描いたり、内殻準位の光電子回折で原子やサイトを選択した表面構造解析を行ったりいたしました。当時は、現在のようにエネルギー分散や角度分布を一度に検出できる電子分光器は一般的ではありませんでしたので、バンド分散も光電子回折も、試料や電子分光器の角度を手作業で一点一点回しながら測定したのを懐かしく思い出します。東北大学科学計測研究所の助手になってからも、しばらくは BL18A を利用いたしましたが、15 年ほど前に研究の主軸を電子回折による表面構造解析に移してからは、放射光や光電子分光を気にかけても、光電子分光の現場からはすっかり離れてしまいました。若い人たちが次々と活躍し、私が戻る場所がなかったというのが本当のところではあります。

これまで表面の構造と電子状態に関して研究を進めてまいりましたが、先に述べたように最近ではもっぱら電子回折法による表面構造解析を行っております。逆格子空間を広く 3 次元的に調べることで大量のデータを測定し、できるだけ簡単に表面の 3 次元的な構造を決定するというコンセプトで新しい手法を幾つか開発し、静的な構造に関してはある程度解析できる目処がつかしました。次は表面の動的な構造変化を捉えることをターゲットと考えて、時間分解電子回折法を進めています。その過程で、当たり前のことですが、原子の動きを理解するためには電子の動きを理解することが必要であることを痛感しておりました。時間分解光電子分光で電子状態の動きを調べてみたいと思っていたわけです。

そのようなおりに松田先生に声をかけていただき、再び放射光の世界に呼んでいただいたことは大変嬉しいことでした。時間分解光電子分光による表面電子状態のダイナミクス研究というテーマは、ちょうど考えていたことでありますし、チャレンジングなテーマでもあったわけです。研究対象はシリコン表面にレーザー光を照射した時に生じる光キャリアのダイナミクスを時間分解光電子分光で捉えるというものでした。光照射で発生した光キャリアの動きは、いわゆる太陽電池の原理である光起電力の理解に欠かせないものです。松田研究室では、すでにシリコン表面の光起電力のダイナミクスに関する研究が進められておりましたので、その方法を発展させることを考えました。半導体では、表面とバルクのフェルミ準位の位置を一致させるようにバンドが湾曲していますが、光キャリアが生じるとその湾曲したスロープに沿ってキャリアが移動し、湾曲が解消するように電位(表面光起電力)が生じます。この電位の変化を BL07LSU の時間分解光電子分光による Si の 2p 内殻準位のシフトとして捉えることができます。この電位は、光照射が止まった後には様々な緩和過程に応じて特定の時定数を持って最初の平衡状態に戻りますが、その時間変化からキャリアの拡散ダイナミクスや寿命に関する知見が得られるわけです。私は、特に光の照射により表面構造の変化も伴うような系に興味を持ちました。構造の変化は電子状態の変化も伴うため表面近傍のキャリアダイナミクスは大きく影響を受けると予想できます。

はじめのテーマは、Si(111) 7x7 周期構造が 830°C で 1x1 構造に変化するとき表面起電力のダイナミクスとしました。高温に保った Si 表面において時間分解光電子分光を測定するために、パルス加熱電源をビームラインに持ち込んで実験を行いました。これはパルス状の放射光による光電子測定時には、通電を 2 $\mu$  秒ほどオフにして、通電による磁場や電場の



