

調 査 報 告

表面科学の最近の研究動向

Research Trends in Surface Physics and Chemistry

福 谷 克 之*

Katsuyuki FUKUTANI

はじめに

固体の表面は固相と気相との“接点”という性格を持ち、両相間でエネルギーや物質の交換が行われる場と位置づけることができる。このため表面科学という研究分野は学問的には固体物理学と分子化学との境界に位置すると同時に、結晶成長、電子工学、触媒化学等の分野とも密接な関係があり、それゆえ様々な分野の研究者が渾然一体となって研究を進めていると見ることができる。今回三好研究助成により、表面化学・物理学の研究所としては世界最大規模の研究所である、ドイツのフリッツ・ハーバー研究所を訪問し研究動向を視察する機会を得たので報告する。

研究所の概略

研究所の名前は、空中の窒素からアンモニアを合成する手法を開発した初代研究所長の Fritz Haber に由来する。ハーバー・ボッシュ法と名付けられたこの合成法は、第一次世界大戦でドイツ軍の火薬製造に活躍したことで有名である。1911年に物理化学・電気化学研究所として設立以来、Fritz Haber をはじめ核分裂を発見した O. Hahn, フランク・ヘルツの実験で知られる J. Franck, 電子顕微鏡を発明した E. Ruska, など数多くのノーベル賞受賞者を輩出している。研究所の回りを散策すると、これらの著名な科学者にちなんで名付けられた通りや建物に出会うことができ、その歴史をひしひしと感じさせられる。

研究所は5部門にわかれており、各部門はディレクターのもとに10-20人程度の専属研究員、さらにそのもとにポストドク及び大学院生が数人ずつといった構成で、1部門総勢50人程度である。このうち私が密接に関係するのが Department of Chemical Physics, Department of Physical Chemistry, Department of Surface Physics の3部門である。また近くには、BESSY と呼ばれるシンクロトロン放射光施設があり、この施設を利用して研究している研究者も多

*東京大学生産技術研究所 第1部

い。今回は Department of Chemical Physics, Department of Physical Chemistry, と BESSY を訪問し、研究討論を行うとともに研究室の見学をさせていただいた。

今回の滞在中は研究所に隣接する宿泊施設に宿泊した。バス・トイレ、ベッドルームのほかに机と応接セットを備えた部屋があり、その広さたるやもしかしたら川崎のわが家より広いのではと思うほどであった。新営の駒場Ⅱキャンパスにも、気軽に外部から研究者が訪れしばらく滞在できるような宿泊施設を完備してほしいものと痛感した。良い研究を行うために、研究者間のコミュニケーションや共同研究が重要なことは言うまでもない。将来を担う研究所としては研究上必要な最低限の施設を備えてほしいと思うのは私だけではないはずである。

Department of Chemical Physics

Department of Chemical Physics のディレクターをつとめるのは H.-J. Freund 教授である。Freund 教授は丁度一年前にルール大学からフリッツ・ハーバー研究所のディレクターとして招かれてきたばかりである。まだ立ち上げ中の実験装置も多く、あちらこちらで研究員や大学院生が実験の準備に精を出していた。彼のグループは以前から単結晶金属酸化膜の育成とその表面の化学的・物理的性質の評価に力を入れて研究を行ってきた。バルク材料としての金属（特に遷移金属）酸化物は高温超電導・強相関物質として多彩な物性を示すとともに、化学的にも触媒物質として注目を浴び、近年精力的に研究がなされてきている。表面科学の分野でも酸化物表面の研究は近年注目を浴びつつある。Freund 教授のグループでは、ニッケル、クロム、バナジウム、チタンなどの酸化物薄膜を原子層単位で膜厚と構造を制御しながら精密に作成する技術を開発し、電子分光、赤外吸収分光、フォトルミネッセンス、光脱離、電子スピン共鳴などの手法を用いて作成した試料の物性を超高真空中で測定している。バルク的には不安定な表面の作成にも成功し、さらにこれらの表面が従来とは異なる物性



写真1 Freund教授と筆者.

を示すことを立証しており大変興味深い結果であった。また最近ではこの酸化物薄膜の上に金属クラスターを作成し、その物性研究も手がけている。また我々が金属単結晶表面で行っているレーザー励起脱離の研究をこれらの酸化膜表面で進めている。今回の滞在中、双方の研究結果に基づき広く物理的・化学的見地から議論を行った。今後の研究方針をさだめる上でも非常に有益な議論をすることができた。また滞在2日目には、グループ内のセミナーで講演をする機会を得、グループ内の多くの研究者と広く議論をすることができた。

Freund教授は現在新しい実験棟を設計中である。我々の研究分野では、固体の表面を観察するために走査トンネル顕微鏡や電子顕微鏡などの実験手段を用いる。この時原子像を観察するためには実験装置の除振が不可欠である。Freund教授は既存の建物では対応できないと判断し、新たに専用の実験棟を建設することになったようである。1階部分が床ごと除振を施した実験室、2階3階に居室を配置しており、個々の研究が進めやすいように各研究員と議論した上で建物の仕様や全体の構成を決めた、と教授は目を輝かせながら語ってくれた。我々生研の新しい建物もここに負けない良いものになってくれることを祈るばかりである。

Department of Physical Chemistry

Department of Physical Chemistryのディレクターは1992年に「固体表面における化学と物理の新しい発展への寄与」により日本国際賞を受賞したG. Ertl教授である。彼のグループでは、白金やニッケルなど触媒活性のある金属単結晶表面における化学反応を物理・化学双方の立場から解明すべく研究を行っている。よく知られているように、自動車の排気ガス処理(窒素酸化物、一酸化炭素、炭化水素の除去)のためには、白金・ロジウム触媒が用いられている。Ertl教授のグループでは光電子顕微鏡や電子回折を

用いて反応中の表面を観察し、表面における化学反応速度が均一ではなく、時間的・空間的に大きく変動することを発見しその素過程を明らかにしてきている。さらにこれらの現象の中にカオスやソリトン波等の現象を見だし、物理的見地からも詳細な研究を行っている。また最近では、超短パルスレーザーを用いて金属内の電子の緩和過程の測定に成功し、励起寿命や電子-電子散乱の解明を行っている。実際にこれらの研究を担当しているH. Rotermund博士とM. Wolf博士に実験室を案内してもらった。

光電子顕微鏡の装置は思っていたより小さく、非常にコンパクトに設計・作成されていた。これまでの実験結果をまとめたビデオを見せてもらったが、その実に多彩な顕微鏡像に感嘆させられた。また最近ではエリプソメトリ等も活用し、超高真空中だけでなく大気圧のもとでの反応中の表面観察にも成功しており、実際の触媒表面における反応が超高真空中における反応と本質的には同じであることを明らかにしている。一方、超短パルスレーザーによる時間分解測定装置は、広大な光学除振台の上にレーザー装置一式と超高真空槽が乗せられ、全体をクリーンブースで囲うという非常に大きな装置である。ここでは約50フェムト秒の分解能で金属内の電子及び吸着分子内の電子のダイナミクスを追跡しており、フェルミ液体論に基づくシミュレーションとよく一致することを示していた。我々の行っているレーザー励起過程の研究とも密接な関係があり、詳細にわたって議論してもらった。

BESSY

BESSYはシンクロトロン放射光施設の略称で、研究所からベルリン中心部に向かって地下鉄で3駅離れたところ、歩いても30分程度の距離のところにある。BESSY自身は研究所の施設ではないが、地理的な便利さから、設立以来フリッツ・ハーバー研究所の研究員が、ビームラインの建設・測定器の開発を担当し、この施設を利用して表面研究に多大な貢献をしてきている。壁に掲げられるポスターを見ても、フリッツ・ハーバー研究所の研究員の名前が多く見られ、アクティビティの高さを物語っている。日本では言えばつくばの高エネルギー物理学研究所内にあるフォトンファクトリーに相当する。施設は既に建設以来15年以上の年月を経ており、やや老朽化しつつあるという感否めはないが、未だに第一線の研究結果を生み出しているのには感嘆させられる。なお現在次世代の放射光施設BESSY IIを旧東独内に建設する計画が進行中であり、ついでにそちらも見学させてもらった。とは言っても、まだ建物ができただけの段階で放射光施設の姿・形は見えない。前述のFreund教授のグループはここに専用のビームラインを2本建設する予定となっている。日本でも東大物性研が中心となって同程度の放射光施設を柏新キャンパスに建設予定

である。やや後塵を拝している感はあるが、表面科学の研究には欠かせない研究設備であり、早く建設してほしいものである。

お わ り に

今回のドイツ滞在は、狭くは現在の自分の研究に関して細部にわたる討論ができた一方で、より広くはドイツにお

ける表面科学研究のあり方を見ることができ今後の自分の研究の指針を感じとることができた、という点で非常に有意義であった。

財団法人生産技術研究奨励会の三好研究助成によりこのような機会を得ることができましたことをここに深く感謝いたします。 (三好研究助成報告書1997年5月27日受理)