ドイツでの研究留学を通して学んだこと

海外交流

金　　庚 民*

Insights Gained from My Research Experience
at the Fritz-Haber-Institute in Germany

Key Words：Studying Abroad, International Collaboration, Trial and Error

はじめに：カデットプログラムについて

私は2023年11月から翌年３月までの５ヶ月間、ドイツのマックスプランク協会・フリッツハーバー研究所（以下、FHI）にて海外研修を行った。本研修は、指導教員の阿部先生、ドイツ・FHIの塩足 亮隼グループリーダー、Dr. Martin Wolfディレクターのご快諾およびご支援に加え、基礎工学研究科国際化およびインタラクティブ物質科学・カデットプログラムの旅費支援のおかげであり、この場を借りて感謝のお言葉を申し上げたい。

はじめに、私が修士１年生から所属しているカデットプログラムについて簡単に紹介したい。カデットプログラムは、修士・博士の５年間の多様な経験を通して、社会でドクターに求められる高度な専門性を養うだけでなく、俯瞰的視点、コミュニケーション力、国際突破力を身につけることを目標にしている。特色あるカリキュラムとしては、①博士課程の学生に３ヶ月間、在籍する研究室を変えて研究活動に従事させる「研究室ローテーション」、②国内の研究機関や企業において自立して修業する「国内研修」、③海外の研究機関や大学等で新たなテーマに挑戦する「海外研修」などが挙げられ、今回の研修はこの③に該当する。他にも、履修生の経済的支援や授業料免除と言った特長がある。

共同研究から海外研修へ

ドイツ・FHIの塩足 亮隼先生との縁は、修士１年の頃に始まった共同研究に遡る。当時私は、阪大で立ち上げた超高真空装置を用いて、パルスーレーザ堆積法で酸化チタン（TiO_2）の薄膜を成膜する研究を行っていた。そこで作製したTiO_2試料をFHI側の塩足先生のところにお送りし、現地でその試料を測定していただくという形で共同研究がスタートした。その測定結果を元に、阪大側での試料作製条件にフィードバックをかけるというサイクルを繰り返して行ったところ、修士２年の終わり頃にはプレリミナリーなデータが取れ始めた。さらにこの研究を発展させるべく、カデットプログラムのカリキュラムを活用してドイツに渡航したい旨を塩足先生に伺った所、ご快諾を頂いたことで、本海外研修が正式に決定した。

海外研修の準備過程

渡航を本格的に計画するにあたって、**①渡航時期**、**②予算配分**、**③ビザ問題**の３つを重点的に考慮した。

①については、各11月・3月頃に開催されるWE-Heraeus-SeminarとDPG（ドイツ物理学会）に参加できるよう、11月頭〜3月末と渡航期間を決めた。

②従って、約５ヶ月間の滞在となるため、阪大側の予算のみでは家賃を賄いきれない状況であったが、幸いFHIのゲストハウスに空きがあり、宿泊費については研究所側から全額支援いただけることとなり、無事予算の問題も解決した。

③それから２ヶ月程度かけたビザの準備を進めていった。本来なら日本国籍保有者は３ヶ月未満の滞在であればビザなしで渡航が可能だが、私の場合は３ヶ月を超えた滞在であり、研究者（無報酬）ビザの発行が不可欠であった。

* Kyungmin Kim
1998年12月生まれ
大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻（2023年）
現在、大阪大学大学院　基礎工学研究科システム創成専攻　阿部研究室　博士後期課程２年　修士（工学）
専門／表面科学
TEL：06-6850-6304
E-mail：u764704g@ecs.osaka-u.ac.jp

ビザ発行については、事前に日本のドイツ大使館を通して申請する方法と、現地の外国人局で申請する方法があるが、後者は「半年かけても外国人局の予約すら取れない」などかなり悪名高いため、事前に日本のドイツ大使館を通してビザの発行準備を進めることにした。申請書類のほとんどは大使館のHPの指示通り準備すれば難しいことはないが、特に注意が必要な書類が2点あり、①自身の収入を証明する書類と、②FHI側が発行する招聘状＋Hosting agreementである。

①については、私の収入のほとんどは日本学術振興会DC1の給料であるため、JSPSに直接該当書類の発行を依頼した。特に私は「日本を離れても給料が支払われ続ける」という文言を英文で追加してもらった。②は大使館HPに正式な書類様式があり、該当する情報をFHIの秘書さんに提供し、作成していただいた。その後、研究所ディレクターの署名と社印をいただき、内容に問題がないかを確認した上で（実際、私はこの確認段階で日付の間違いを見つけたので、要注意と言える）、書類原本を2組ずつドイツから日本に郵送してもらった。書類準備開始から全て整うまで2ヶ月はかかったので、早めに準備を進めて正解であった。

いざ、ドイツへ

私がドイツに渡航する時は、パンデミック時の減便＋ロシア戦争の影響で、選択肢が少ない上に金額が高い傾向があった。そこで私は飛行機代をなるべく抑えるため、関空（KIX）ーシンガポール（SIN）ーミュンヘン（MUC）ーベルリン（BER）という2回乗り継ぎ（！）の経路を選んだ。フライトだけで合計28時間という長旅だったが、今回利用したシンガポールエアラインは安い割にサービスの質は高く、隣席のドイツ人と談話したり、論文を読んだりして、なんとか耐え抜いた。ただし、到着してからの時差ぼけと疲労は凄まじかったので、体力と精神力に自信がなければ1回乗り換えの経路を取るべきである。幸い、私はロストバゲージなどの被害にも遭わず、無事ベルリン空港につくことができた。鉄道を乗り継いで研究所の最寄り駅で塩足先生と合流し、研究所立ち入りに必要なカードや、ゲストハウスの鍵の受け取りを行った。新たな生活のスタートである（**図1**）。

図1　ベルリン・フリッツハーバー研究所。手前の建物がオフィス棟、奥の黄色い建物がラボ棟である。

研修生活の始まり

FHIの雰囲気はかなりフレンドリーかつオープンであり、普段から2階のコーヒーマシンでフランクに話を交わしたり、部門内の研究者全員が集まってセミナーを開いたり、クリスマスパーティを開いたりなど、かなり楽しく働いている印象であった。特に自身が所属したグループは少人数（4人）だったこともあり、普段から食事を共にし（**図2**）、協力して実験を進めるのがとてもスムーズであった。

図2　現地のグループメンバーとの食事会。左からAji（インド）、Max（ドイツ）、私、そして塩足先生である。

マシンタイムと学会タイムの両立

私がFHIで使用した装置は人気が高く、グループ内の他の研究者とマシンタイムを分け合う必要があった。そのため、マシンタイム時は時間や週末を問わずフルエフォートで実験を行い、それ以外の時期はヨーロッパ各地で開かれる学会に参加し、研究成果を発表するといった具合で、滞在期間を最大限効率的に活用できた。例えばオーストリアのザルツブルクに開かれた *14th International Workshop on Oxide Surfaces (IWOX-14)* では、酸化物表面の研究に精通するから多数の質問と非常にポジティブなフィード

図3　オーストリア IWOX-14 での口頭発表の様子。人生で最も熱い反応を受けたことを未だ鮮明に覚えている。

バックを受けた（**図3**）。またこの発表を契機に、*Friedrich-Alexander-University* からグループから人生初の招待講演の依頼を受けることにも繋がっており、得たものは非常に大きかったと言える。

悪戦苦闘の始まり

一方、実験の方は終始トラブルに見舞われていた。そもそも今回のプロジェクト自体、**1. 装置の調子**（真空度・コンタミ）、**2. 試料表面のクォリティー**、**3. 探針のプラズモン応答**の3拍子を全て完璧に揃えるのが前提のかなり難易度の高いものだった。根性だけは自信があるつもりであったが、週末も深夜まで努力を注ぎ込んでいたにも関わらず、3月初旬に入っても良いデータが取れなかったため、心が折れかけた時期もあった（おまけにドイツの冬は、寒いだけでなく日照量が少ないため、日本のような日当たりの良い国から来た人はビタミンDが不足しがちで、精神的に辛く感じることが多いそう）。

しかし3月中旬、最後のマシンタイム一週間を残したタイミングで、奇跡的に原子レベルで平坦な TiO_2 表面が得られ始めた。この表面の清浄化を行う際は、真空中でアルゴンイオンを試料にぶつけることで表面をナノスケールで削るスパッタリングという手法と、試料を加熱し平坦にするアニーリングという手法：スパッタ＆アニール法を用いる。通常は数回～10回程度で目標の表面が得られるはずだが、装置のトラブル等も続き、原子レベルで平坦な表面が得られたのは49回目のスパッタ＆アニール後であった（**図4**）。この表面をSTM観測した結果、

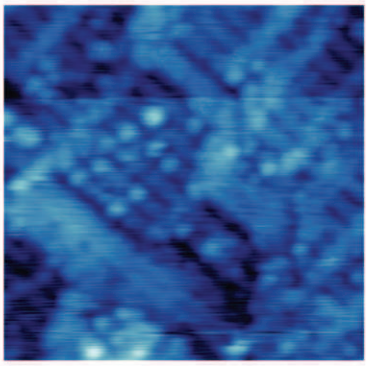

図4　スパッタアニール49回目で得た TiO_2(110)-(1x2) 表面再構成の STM 像。

作製条件が厳しいとされており、研究が比較的進んでいないレアな TiO_2(110)-(1 x 2) 表面再構成であることが明らかとなった。

これを機に実験は「フィーバータイム」に入り、5日程度かけて約100ヶ所の原子列・欠陥・吸着分子上にて、TERS スペクトルを取得することに成功した。5ヶ月間の試行錯誤の積み重ねと、小さな奇跡が重なって得られた結果と言える。

ドイツ物理学会での成果発表

直前のフィーバータイムで取ったデータを、急ピッチで全て解析し、ポスターに反映するまでおおよそ2日だったが、無事 TU Berlin で開かれたドイツ物理学会に間に合わせることができた。幸い、当日は分野に精通する研究者に沢山訪れていただいた上、多くの質問と数々の改善策などの有意義な議論が行われた（**図5**）。

図5　ドイツ物理学会でのポスター発表の様子。

おわりに

この長くも短い5ヶ月間を通して、研究にはトラブルや困り事がつきものだが、それを一つ一つ乗り越えることで根性が鍛えられ、帰国する頃にはどこでもやっていける自信がつくということを、身をもって実感した。これを糧に、残りの博士論文研究にも拍車をかけ、立派な一人前の研究者として成長できるよう精進していきたい。最後にもう一度、本研修で大変お世話になった塩足先生と、遠方からもいつも以上にサポートしてくださった阿部先生、そしてカデットプログラムをはじめとする大阪大学関係者各位に感謝申し上げたい。