

ハンブルクに滞在して

加速器第6研究系 阿達正浩

2019年5月から2020年3月にかけて、家族とともにドイツ連邦共和国で2番目に人口の多い都市ハンブルク市に渡り、お隣のシェネフェルト市にあるEuropean XFEL GmbH（以下EXFELと記す）[1]に研究滞在した。

ハンブルクにあるDeutsche Electron Synchrotron (DESY)を始点としシェネフェルトを終端とする、全長3.4 kmの自由電子レーザー (FEL) 施設が市街地の地下に掘削されたトンネル内に設置されている。施設全長の半分を占める超伝導加速空洞を備えた直線加速器によって、FEL施設としては世界最高エネルギーとなる17.5 GeVの電子ビームが作り出され、加速器から枝分かれするように掘削されたトンネル内で稼働するアンジュレータによって電子ビームからFELが作られ、FELのみが実験ハッチへ輸送される。

建設済みの5箇所の直線部トンネルのうち3箇所が、すでにアンジュレータが設置され、稼働している。SASE1, 2では波長0.05 nm (25 keV) から0.4 nm (3 keV)の硬X線を、SASE3では0.4 nm (3 keV) から4.6 nm (0.27 keV)の軟X線を作り出している。電子ビームは繰り返し周波数10 Hzで生成される電子パルス(バンチ)から成り、各バンチから2,700個のFELパルスが生成され、実験ハッチには最高で毎秒27,000個のFELパルスが供給される。

現在、加速器を含めた光源開発と、実験ハッチを含む利用ビームラインの開発を続けながら、挿入光源が未設置の残る2箇所の直線部SASE4, 5で展開するサイエンスと光源についての検討が進められている。高電子エネルギー特性を活かして、THzから100 keVに渡るFEL利用可能エネルギー域の驚異的な拡張でサイエンスをさらに広げることが狙った案など、興味深い議論が続けられている。私はEXFEL光源グループの一つ、Simulation for Photon Field (SPF) グループに滞在し、将来光源開発に関する研究協力を行いながらFEL設計技術について学んだ。

さて、ドイツでの生活を通して多くの経験を積ませていただいたので、この場を借りて紹介させていただきたい。これから渡航を検討されている方々の一助になれば幸いである。

90日間で日本国パスポートがドイツでの滞在許可証としての効果を失う。さらに長期滞在するには家族全員の滞在許可証が必要となる。そのためには、住居を探し、住民票を取り、子供の学校を決め、滞在許可証を申請するといった流れになる。しかし、家族構成や滞在期間はもとより、申請場所や担当者によっても(担当者のその日の気分にもよるとのアドバイスも頂いたが)必要書類が変わる。どうやらドイツでは担当者に大きな裁量があるようだった。そ

のような次第で、申請場所を変えるなど、申請が通るまで何度もトライするつもりで通った方がよいと考えるに至った。

私はほぼ全ての手続きをDESY International Office (DESY-IO) と Housing Office (DESY-HO), EXFEL HR Team を中心に頼って進めたが、気づけば90日間の期限が間近に迫る中、不安を感じながら申請を終えることができた。この遅れはハンブルクの住居事情が大きな要因の一つで、近年大幅に増加している移住者によって空き物件数の不足が続いているとのことだった。渡航前に下見のスケジュール調整まで済ませた方がよいとの助言が、物件を探す間、度々思い起こされた。

さて、住居探しは、DESY-HOに希望を記した申請書を送り、希望に沿った物件リストを紹介してもらうことから始まる。その後、物件オーナーに依頼して下見をする。家賃に含まれる電気代や水道代の金額、インターネット環境の有無、郵便物の受け取り方、地下倉庫の有無、水やお湯がちゃんと出るかどうか、暖房などの付帯設備がきちんと動作するかどうかなどなど、私の入居当時は気づかなかった様々な点も含めて下見の時に確認したい。なお、家具無し物件では、流し台を含むキッチン一式も無いことが一般的とのことなので注意したい。

下見ののち、契約書を受け取り、DESY-HOのスタッフとともに契約内容を確認してから契約/入居となる。契約書は手書きを交えてドイツ語のみで書かれていることが一般的で、よほどドイツ語に堪能でなければDESYを介さない賃貸契約はハードルが高い。

渡航後2週間ほどで物件を決めたものの、入居は5月末になった。ドイツの集合住宅では、共同の洗濯機、共同の洗濯物干し部屋を使うことも多いようだ。しかし、1台の洗濯機を小さなノートでスケジュールを管理してシェアすることに不安を覚え、地下の暗い洗濯物干し部屋におのき、キッチンに洗濯機を入れてもらうことにした。しかし、設置工事はなかなか終わらず、入居日が延び、契約書の取得日が延びた。なお、入居時には前払いの家賃に加えて、家賃3ヶ月分ほどの敷金などが必要となるので、それなりの金額を準備しておく必要がある。

住民票の申請のため、研究所からの招聘状やドイツ国内の保険会社の医療保険加入証明書などといった各種証明書を携えて地区の役所を訪ねた。ここでまず驚かされたのはエレベーターである(図1)。扉の無い2人乗りほどの小さな箱の連なりが2系統、エスカレーターのように常に上下方向に動いており、タイミングを見計らって飛び乗り、目的の階で飛び降りる。子供にはちょっとしたアトラクションだ。乗ろうとした箱に人が乗っている場合もあるので要注意だが、とにかく沢山の箱が巡ってくるので慣れると使いやすい。



図1 エスカレーター風エレベーター

住民票を取得すると、学齢期の子供はハンブルクの教育システムに自動登録される。後日、学校を選んで入学許可証を取得するように教育機関から通知が届く。同僚からいろいろな助言を得つつ、DESY-IOを訪ねて教育機関に問い合わせてもらいながら近隣の学校を絞り込んでもらい、学校に電話で事情を伝えてもらい、受け入れのための面接を予約してもらった。その後、DESY-IOスタッフの通訳に助けられつつ面接を終え、晴れて入学許可を得た。幸い近所の学校に受け入れてもらえたが、年齢などの条件によっては電車を30分以上乗り継いでドイツ語を話せない子供向けの学校に行く必要があった。

息子が通った小学校は、4年生までが在籍するGrundschuleと呼ばれる公立小学校だった。日本の小学校との様々な違いに戸惑う日々だったが、1時間目の後からお昼までの休み時間に食べるお弁当（家でも朝食を食べる）、教室には自分の決まった席は無く毎日好きな席に座ることができること、そして毎週金曜日はぬいぐるみやレゴ、ポケモンカード、ベイブレードなどのおもちゃを持参することがOKなど、多くの事に驚かされた。ちなみに、教室には様々な席が用意され、窓の外を向いた席までであった（図2）。クラスメートの年齢は様々で、基本となる年齢に対して1-2歳前後して学年を選ぶことができるようだった。

必要書類が揃い、DESY-IOからハンブルク市庁舎の裏手にあるWelcome Centerの申請予約をしてもらい、当日家族揃って申請を終えた。なお、申請時には指紋情報を登録するので、家族全員で訪れる必要がある。

ようやくもらえた滞在許可証を手取得までの苦勞が思い起こされるとともに、日本滞在中に在東京ドイツ大使館で滞在許可証を取得しておけばよかったと後悔の念がよぎ



図2 黒板では無く外を望む席

った。

滞在中の生活で、あらためてそのありがたみに気付かされた事は多いが、銀行口座とハンブルクの公共交通機関は特にそう思う。銀行口座を作ると、家賃を手渡しや国際送金ではなく自動送金で支払うことができ、現地小学校の給食費、医療費の支払い、そしてEXFELのエスプレッソ代などもすべてオンラインで済ませられる。ハンブルクの公共交通機関は非常に発達していて、車の運転に気後れした私には、通勤をはじめとした生活の足になった。滞在期間が長く利用頻度が高ければHVVカードの利用がおすすめである。電車や地下鉄、バス、フェリーといった公共交通機関が、購入カテゴリーに応じた区域、時間帯で乗り放題となる。ちなみに私の場合は月90ユーロほどのカテゴリーを選び、ハンブルクからEXFELまでの移動もそれに頼った。渡航後しばらくはバス運転手から切符を購入していたが、お釣りが不足で硬貨を要求されることが多かった。HVVカードを入手してからは硬貨を用意しておかなければならない煩わしさから解放された。ただし、街中のトイレは有料が多く、結局のところ硬貨から完全に解放されることは無い。

1月末にドイツで最初の新型コロナウイルス感染例が報道された。そして、2月末にはハンブルクでも最初の感染例が確認された。3月からは急速に感染が拡大し、それとともに規制が強化されていった。そのような中、DESYやEXFELもキャンパスが閉鎖され、執行職員などごく少数の限られたスタッフ以外の立ち入りが禁止された。帰朝前の数週間は、市中のお店が次々に閉店となり、開店しているスーパーやドラッグストア、薬局では、長期保存食品や生活備品の陳列が減り、レジスタッフを感染から守るための透明プラスチック板が設置され、入店制限も始まった。普段は日本の通勤電車さながらに混雑する通勤バスは閑散とし、運転手側の入口は閉め切られたうえに、車内はロープで仕切られて運転手側には立ち入れなくなった（図3）。非常事態であることを十二分に感じさせられる中、帰朝のために数ヶ月前に購入した航空便は欠航となり、代わりに



図3 運転手側への立ち入りが制限されたバス車内

急遽購入し直した航空便も欠航となり、さらに購入した便も搭乗前に急に欠航になるなど、非常事態故の苦労が絶えなかった。DESY, EXFEL, KEK, そして現地の友人からの励ましの言葉に支えられながらなんとかハンブルクを飛び立ち、乗り継ぎ空港までたどり着いた。そして、搭乗口近くの窓の外に駐機している機体にANAのマークを目にした時は、涙が出る程嬉しく、安心した。

波乱万丈なドイツ滞在でしたが、かけがえの無いたくさんの経験を積むチャンスを頂きました。この場を借りて、関係者の皆様に感謝申し上げます。

References

- [1] <https://www.xfel.eu/>
- [2] <https://www.desy.de/>
- [3] <https://www.hvv.de/en>

PF ユーザーが科学技術分野の文部科学大臣表彰受賞者に選ばれました

文部科学省から、令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰受賞者の決定についての発表がありました。詳細は<https://www2.kek.jp/imss/news/2020/topics/0407MEXTAwards/>をご覧ください。

令和2年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 研究部門 百生 敦氏

東北大学 多元物質科学研究所の百生敦 教授は、令和2年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞に選ばれました。業績名は「X線位相イメージング法の開拓およびその応用に関する研究」です。

X線位相イメージングは、X線が波である性質を利用し

た手法で、医療でよく使われている吸収イメージング（いわゆる「レントゲン写真」）では見えにくいもの、特に軽元素から構成されている生体軟部組織を従来の数百倍程度の感度で見ることができます。百生教授は、株式会社 日立製作所 基礎研究所の研究者だった1990年ごろに、当時PFにあった日立製作所のビームラインで手法開発に取り組み、1990年代半ばに、世界で初めて放射光を利用したX線干渉計を用いた位相イメージングCTに成功しました。

この手法を実用的にするのに大きな役割を果たしたのが、フォトンファクトリー（PF）のBL-14に設置されている世界で唯一の「垂直ウィグラー」です。通常の放射光は横長のビームで波の振動方向は水平方向に揃っていますが（水平偏光）、垂直ウィグラーの放射光は縦長で垂直偏光した光のため、重力や床の振動の影響が小さい実験配置が可能になるからです。これを利用した大型分離型干渉計はBL-14Cに設置され、世界で唯一実用的な撮像が実現できています。

最近では、BL-14Cのもう一つの特徴である白色光を利用してX線回折格子位相イメージング法の開発と応用研究に取り組んでいます。この手法の最大の特徴は、実験室のX線源を用いた装置化が可能なこと、医療や非破壊検査等への応用が進んでいます。

令和2年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 研究部門 加藤 昌子氏

北海道大学大学院 理学研究院 加藤 昌子 教授は、令和2年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞に選ばれました。業績名は「環境感応型クロミック金属錯体の開発と光機能に関する研究」です。

加藤教授は、外部環境に応じて発光する金属錯体を多数開発しています。PFおよびPF-ARにおいても放射光を用いたXAFS法やX線回折法を用いて、開発した材料の構造的な評価を行っています。平成29年度から開始した加藤教授が領域代表を務める新学術領域研究「ソフトクリスタル」では、自治医科大学の佐藤 文菜 講師を研究代表とする研究グループが、PF-ARのNW14Aを用いてX線分子動画像撮影法によるソフトクリスタルの外場応答過程の観測に取り組んでおり、物構研の福本 恵紀 特任准教授、足立 伸一 教授ら多くの物構研スタッフが研究に参加しています。

令和2年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 研究部門 工藤 昭彦氏

東京理科大学 理学部 第一部応用化学科 工藤 昭彦 教授は、令和2年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞に選ばれました。業績名は「水素製造と二酸化炭素資源化のための人工光合成光触媒の研究」です。

工藤教授は、太陽光による水の分解反応を利用した人工光合成の構築について研究を進めており、光触媒材料開発の世界的な第一人者です。PFおよびPF-ARにおいても、主にXAFS法を用いて、開発した光触媒の構造的な評価を行っています。中でも、2003年に発表した高効率で水

を分解する光触媒の局所構造に関する論文は 1200 を超える高い被引用数（2019 年 6 月現在）を誇っています。平成 29 年度から開始した新学術領域研究「革新的光物質変換」では、物構研の野澤俊介准教授を研究代表とする研究グループと共同で、PF-AR の NW14A を利用し、時間分解 XAFS 法による光触媒反応の可視化に取り組んでいます。

令和 2 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞 飯村 壮史氏

東京工業大学 元素戦略研究センターの飯村 壮史 助教は、令和 2 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞に選ばれました。業績名は「鉄系高温超伝導体の電子相図に関する研究」です。

飯村助教は、鉄系高温超伝導体 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{H}_x)$ について、ランタン (La) と酸素 (O) が作る層において酸素を水素 (H) に置換し、電子濃度を上昇させることにより従来知られていなかった「第 2 の超伝導相」を発見しました。これが発端となって、この第 2 の超伝導相とその周りの電子相についての研究が急速に進展し、物構研との共同研究へと発展しました。共同研究では J-PARC MLF BL21 高強度全散乱装置 NOVA で水素を含む結晶構造・磁気構造の解析のほか、J-PARC MLF ミュオン D1 実験装置にてミュオンスピン緩和を利用した磁気相図決定も行うなど、物構研のマルチプローブを活用しています。尚、このマルチプローブ研究は、物構研 構造物性研究センター（2020 年 3 月に発展的改組）に置かれた元素戦略プロジェクト副拠点 電子材料研究グループ (PL: 村上 洋一 教授) において進められました。

令和 2 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞 本多 智氏

東京大学大学院 総合文化研究科 本多智 助教は、令和 2 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞に選ばれました。業績名は「高分子形状の組換えに基づく機能性材料の研究」です。

高分子形状を組換えする方法論の開発は国内外で盛んに行われてきました。しかし、高分子形状の違いを活かした実用的新素材の創出と、環境にやさしく生活環境でも簡便に利用可能な高分子形状操作法の開発が課題となっていました。本多助教は、高分子鎖を集団化して高分子形状の効果を増幅させることで、実的に重要な機能を示す材料の開発を達成してきました。また最近では、いつでもどこでも誰でも生活環境で簡単に高分子形状を組換えられる高分子形状初期化法を考案・実現しました。また、高分子形状初期化法のコンセプトを検証する上で重要な役割を果たしたのが、物構研の高木 秀彰 助教らと共同で実施した放射光 X 線小角散乱法による分析でした。

PF トピックス一覧 (5 月～7 月)

PF のホームページ (<https://www2.kek.jp/imss/pf/>) では、PF に関する研究成果やイベント、トピックスなどを順次掲載しています。各トピックスの詳細は PF ホームページをご覧ください。

2020 年 5 月～7 月に紹介された PF トピックス一覧

- 5.13 【プレスリリース】火星コア物質の音速測定に成功～火星コアの組成と火星の起源解明に向けて～
- 5.19 【プレスリリース】新機構が生み出す過去最小の磁気渦粒子を発見 - 超高密度な次世代情報担体としての活用に期待 -
- 5.21 【トピックス】私にスピンをわからせて！～第 6 回「電子以外のスピンって？」～陽子の巻 (上)
- 6.4 【プレスリリース】遷移元素を含む物質の「隠れた秩序」の観測に成功 - 重い元素の示す奇妙な振る舞いの理解に向けて -
- 6.5 【プレスリリース】結晶構造解析の自動化～ブラックボックス最適化により熟練者を上回る性能を達成～
- 6.9 【プレスリリース】原子サイズの凹みを持つ金属酸化物クラスターによる分極の誘発とアルカンの臭素化に対する反応性の制御に成功
- 6.16 【物構研トピックス】PF ユーザーの東京大学などの研究グループ、四極子による磁気異方性のメカニズムを解明
- 6.23 【プレスリリース】原子が振動しながら共有結合が形成されていく様子を直接観測～光化学反応において、初期の構造変化を 10 兆分の 1 秒単位で追跡～
- 7.2 【プレスリリース】スピンのねじれが起こす電子の変位を発見～マルチプローブが明らかにするマルチフェロイックの微視的発現機構～
- 7.13 【トピックス】総研大の大学院説明会をオンラインで開催
- 7.21 【プレスリリース】先端 X 線分析により原発事故由来の不溶性セシウム粒子の生成・放出過程を解明