

応用研究論文

## 古都エジンバラで最新の顕微鏡技術を学ぶ

### サバティカル研修報告

尾崎紀昭

秋田県立大学生物資源科学部応用生物科学科

筆者は幸運にも本学サバティカル研修制度を利用する機会を得て、2019年4月から約半年間、英国・スコットランドに訪問研究員として滞在することができた。スコットランドの古都であるエジンバラの地に設立されたエジンバラ大学は400年以上の歴史を持つ名門大学であり、2020年QS世界大学ランキングは20位（日本の最高位は22位の東京大学）、これまでに21名ものノーベル賞受賞者を輩出している。理系ではジェームズ・クラーク・マクスウェル、アレクサンダー・グラハム・ベル、ピーター・ヒッグス、チャールズ・ダーウィンなど著名な卒業生・関係者が多く、本稿では滞在期間中に体験した日常での出来事や研究活動について紹介するとともに、エジンバラ大学が誇る最新のバイオイメージング機器であるクライオ電子顕微鏡システムについて解説する。最後に英国の高等教育に対する考え方（特に学費）について日本の現状と比較しながら簡単に考察したい。

**キーワード：**エジンバラ大学、クライオ電子顕微鏡、英国の高等教育

### はじめに

筆者が訪問研究員として滞在したエジンバラ大学は英国北部・スコットランドの首都エジンバラ市に1583年に設立された由緒ある大学であり、3つのカレッジ（人文科学・社会学部、医学・獣医学部、理工学部）からなる。毎年3万人もの学生（うち大学院生は約1万人）が学ぶ総合大学で、これまでに21名のノーベル賞受賞者を輩出しており、欧州を代表する知の拠点でもある。特に理系では著名な卒業生・関係者が多く、物理学者ジェームズ・クラーク・マクスウェルやピーター・ヒッグス、進化論を唱えたチャールズ・ダーウィン、世界初の実用的な電話機を開発した発明家アレクサンダー・グラハム・ベルなど、枚挙に暇がない。余談ではあるが、サバティカル研修申請書を提出する直前まで筆者はこの事実をほとんど知らなかった。筆者が通った理工学部の化学科（School of Chemistry）は二酸化酸素を発見したジョセフ・ブラックの名を冠した歴

史ある建造物であった。建物内の通路は至る所に扉があり、まるで迷路のように複雑で、頻繁に迷子になった。エジンバラ市は英国南部・イングランドの首都ロンドンより北に約600kmの場所に位置し、東京～秋田間と同程度の距離である。モスクワやコペンハーゲンとはほぼ同じ北緯55度にあり、夏至は日の出が午前4時半、日の入りが午後10時過ぎと、一日中明るい印象であった。滞在期間中は平均気温が15℃前後、真夏の最高気温も20℃前後と大変過ごしやすい気候であった。北大西洋海流（暖流）と偏西風の影響で冬季もあまり気温は下がらず降雪もほとんどないが、日照時間が大変短く暴風が吹き荒れることから、10月を過ぎると人々は憂鬱な気分になるらしい。現地の人々から「お前は幸運だ。なぜなら5月から9月はベストシーズンだからだ」とよく言われたものである。滞在中は頻繁に降雨があったが傘をさす人はあまりおらず、筆者も周囲に見習ってフード付きのパーカーで雨を凌いだ。エジンバラ市の人口は約50万人と、日本の宇都宮市と同程度の規模である。オールドタウン（図1）とニュータウンの美し

い町並みはユネスコの世界遺産に登録されており、近代的な高層ビルは一つもなく、あらゆる場所が撮影スポットになり得た。日本でいえば、奈良や京都のような街並みだろうか。このような素敵な街中で留學生活を送れるものと渡航前は考えていたが、筆者の言語能力と準備不足により、滞在期間中は郊外の一軒家に住むこととなった。



図1 エジンバラの旧市街。石畳の道路が特徴である

### サバティカルでサバイバル

海外での長期滞在は当時45歳になっていた筆者にとって初めての経験であり、準備不足もたまたま様々な困難に遭遇した。英国は日本人であればビザなしでも最長6ヶ月間滞在できるため、入国は容易ではあったが、賃貸借契約や家賃の振込に必要な銀行口座の開設が容易ではなかった。特に住居探しには大変苦労した。現地の不動産会社は非常に強気の対応で、滞在期間が半年以内であること、保証人となるボスの年収が規定に届かなかったことなども貸せないことの理由にされた。一週間強のホテル暮らしを経て、幸運にも現地の日本人研究者と知り合う機会を得た。彼の知人（日本びいきのスコットランド人）を通じてエジンバラ市郊外の閑静な住宅地にある一軒家に何とか入居することができた（図2）。二階建てで一人暮らしには十分すぎる広さであったが、賃料は飯島公舎の約5倍、国際フェスティバルが開催された8月は、さらに上乗せされて閉口した。キャンパスから自宅まではバスで15分、バス停から徒歩10分ほどの距離で、自宅周りにはショッピングセンターやパブなどの飲食店はなかったが、エジンバラ市内はバス路線が網目状に張り巡らされており、不便さを

感じたことはなかった。住居があるエリア（クレイグミラ一城周辺）はアジア系住民がほとんど住んでおらず物珍しかったせいか、近所の活発な子供たちに絡まれることもあった。後で分かったことだが、比較的治安の良いエジンバラ市内でも屈指の悪評高いエリアだったそうである。現地での生活に慣れていくうちに、英国は階級社会であることを実感することになる。その一例がスーパーマーケットである。上流階級、中流階級、労働階級によって利用するスーパーが異なる傾向にあるのだ。筆者は当然のことながら労働階級が集う、安くて新鮮な食品が陳列しているドイツ系の格安スーパーに足繁く通った。EU内で生産された新鮮な野菜や果物が100円ほどで購入できることに感激したが、ブレグジット（EU離脱）後には一体どうなってしまうのだろうか。上流階級が通うスーパーにも数回足を運んでみたが、明らかに客層が異なっていた。現地の人々に話を聞くと、中流階級と労働階級の差は徐々になくなりつつあるとのことであった。エジンバラは観光都市ということもあり、評判の良い飲食店（ただし英国料理を除く）が多かったが、予想以上に値が張るので、週に6日は自炊を心がけた。そのおかげで週に1度の楽しみであった英国パブで出会った大麦麦芽を発酵・蒸留してできる「命の水」と表現される飲料に深く傾倒することとなった。難儀した銀行口座の開設だが、日本のパスポートと英訳された給与明細の提示に加え、博士号取得者であることが分かった途端、応接室に案内されて上級スタッフの笑顔とともに無事に口座開設できたことを付け加えておく。



図2 エジンバラ郊外の自宅。

### ラボでの研究活動

筆者がお世話になった材料化学研究室を主宰するのは

Fabio Nudelman 博士で、彼とは 2017 年の国際学会で初めて知り合った。ブラジル出身で、筆者の研究分野（バイオミネラルゼーション）では世界的に著名な Steeve Weiner 教授（イスラエル・ワイツマン研究所。筆者は 1999 年に訪問）のもとで博士号を取得した。現在はエジンバラ大学の Senior Lecturer（上級講師。日本の准教授に相当）として化学科の大学院長（専攻長に相当）を務めている。また、理工学部のクライオ電子顕微鏡の総責任者であり、EU 内から多くの利用者を集めていた。彼は合気道を嗜み、片言の日本語を話せると言っていたが、日本語での会話は成立しなかった。研究室には Fabio 以外にスタッフ（ポストドク含む）はおらず、スペイン出身のローラ、エジプト出身のダリア、米国出身ヤズミンの大学院生 3 人娘だけであった。彼女たちは化学専攻であったため、研究室のセミナーで話される物理化学系の専門用語やデータ解釈は筆者にとっては難解で、フォローするのがやっとであった。Fabio も冷静かつ容赦なく彼女たちが報告する実験データに対する疑問を投げかけ、解釈上の矛盾点をあぶりだした。久しく激しい討論を経験していなかった筆者は時折お腹が痛くなると同時に、彼女たちの鍛え抜かれたディフェンス能力に脱帽した。理工学部の各実験室では入室する際、白衣、ゴーグル、手袋の着用が常に義務付けられており、ハイレベルな安全対策がとられていた。また、研究を開始するにあたり、学科の安全管理担当スタッフから初心者教育プログラムを受講させられ、ウェブ試験で合格ラインを超えるまで実験の許可が下りなかった。研究室の彼女たちは笑いながら「頑張っってね、Nori」と励ましてくれたが、決して手伝ってはいくれなかった。実際起こりうる事故を想定した動画には実在の学生が出演しており、彼らの迫真の演技に感心すると同時に、リスクアセスメントを考える良い機会となった。この点は本学でも見習うべきことと思う。研究室には海洋性植物プランクトンである円石藻が培養されていたが、あまりにも粗放であったため、13 年ぶりに継体培養の腕前を披露した。担当者であったローラは amazing! を連呼していたが、その後、帰国するまでの 5 カ月間、筆者が円石藻の培養担当となった。幸い、滞在中に円石藻関連の良いデータを取ることができ、Journal of Structural Biology 誌に成果の一部を発表することができた。現在も筆者が作製した試料を用いて英国、フランスとの国際共同研究が継続中である。余談ではあるが、帰国直前に 20 年越しの夢であったイングランド南端“ドーバーのホ

ワイトクリフ”を訪れる機会を得て、体が震えるほどの感動を覚えた（図 3）。電子顕微鏡でしか見ることができないマイクロな円石藻が、何万年もかけて築き上げた膨大な量の石灰岩として地表に現れる白い断崖の絶景は一生忘れることはないだろう。



図3 ドーバーのホワイトクリフ。円石藻が海底に堆積して化石化し、地殻変動により隆起して地上に出現した白い断崖として有名

### クライオ電子顕微鏡

今回のサバティカル研修最大の目的であるクライオ電子顕微鏡は、理工学部だけで 2 台も所有しており、そのうち 1 台はクライオ透過型電子顕微鏡（Cryo-TEM）、もう 1 台が冷却集束イオンビーム・走査型電子顕微鏡複合装置（Cryo-FIB-SEM）である（図 4）。どちらも 1 台 2 億円以上の価格と高額な維持費がかかるため、購入するのは容易ではない。EU だけではなく、筆者のような EU 以外の国からの利用者も多い。テーマの分野・種類に限らず、エジンバラ大学所属の研究者を通じてユーザー登録をすれば、比較的格安の料金で利用可能である。機器には専属のオペレーター（ケンブリッジ大学出身の博士研究員）がついており、試料作製から分析条件の検討、膨大な画像データの保存まで支援してくれた。ところでクライオ電子顕微鏡は 2017 年度ノーベル化学賞の話題で有名になったが、簡単にいうと極低温条件下で生命活動（生体高分子）を瞬間冷凍し、様々な向きから像を撮影することで分子の立体構築ができる。生体高分子（特にタンパク質）の立体構造解析法といえば X 線結晶解析法や NMR 法が知られているが、結晶化の煩雑さや分子質量に制限があった。Cryo-TEM は

ごく少量の溶液試料を用いて原子レベルの分解能を達成できる革新的な立体構造解析法として注目されるようになった。筆者は日本から持ち込んだイネのケイ酸体（シリカ粒子の集合体）を Cryo-FIB-SEM で分析することに成功し、今まで見る事ができなかったケイ酸体の内部構造を極低温条件下、ナノレベルで観察することができた。結果の詳細は省くが、ケイ酸体内部においてシリカ粒子と有機マトリックスが混在することを初めて視覚的に捉えることができたのである。Fabio からの助言もあり、滞在期間中にドイツで開催されたバイオミネラリゼーションの国際学会で成果の一部を発表することができた。国内ではクライオ電顕ネットワークという組織が立ち上がっているが、医薬系のプロジェクトが中心であり、筆者のような基礎科学分野の研究課題は利用が許可（採択）されるまでの敷居が高い。国内で自由に利用できるようなるまでには、かなりの時間がかかりそうである。



図4 最新の Cryo-FIB-SEM システム。

### 英国の高等教育

エジンバラ大学は既に述べたように世界最先端の分析機器が揃っており、学生たちは手厚い研究・教育環境で学ぶ機会を得られる。欧州では優れた教育を受けるためにはそれなりの経費が必要であると考えている国が多い。筆者がお世話になった化学科では大学院生の約 3 割がアジアからの留学生で、そのうち 9 割以上が中国をルーツとする人々であった。Fabio から聞いた話では、出身国によって授業料が異なるとのことであった。スコットランド出身者はほぼ無料、EU 内出身者も比較的格安で教育を受けられるが、なんと同じ英国内のイングランド出身者だけは高い

授業料を払わなければならない。アジア出身の場合はどうかと聞くと、年間で約 350~400 万円と聞いて驚きを隠せなかった。日本の国公立大学の 7 倍以上、日本の著名な私立大学の 3 倍以上の授業料である。日本の現状しか知らない筆者は、学生は年中アルバイトばかりしているのかと愚考したが、彼らは空いた時間を趣味（主に海外旅行）やボランティア活動に充てる。文献によると、<sup>1</sup> 英国では授業料を在学期間中に支払う必要がなく、貸与型奨学金で賄うことができるそうである。生活費ローンも整備されているため、生活費を稼ぐためのアルバイトをする必要がなく、教育・研究に専念できる点が日本とは大きく異なる。卒業後に返済義務が生じた場合でも所得連動型であることから、無理なく返済ができるシステムになっているとのことである。さらに 30 年経過すると債務が帳消しとなり、老後のローン返済に苦しむことも少ないそうである。そして優秀な学生には給付型奨学金なども用意されているとのことから、それらが勉学意欲を高めるモチベーションになっているのかもしれない。我が国で進めようとしている教育無償化は質的補償を高めることにつながるのだろうか。英国の制度を参考にすることも必要ではないだろうか。

### おわりに

エジンバラでの半年間、非常に有意義な時間を過ごせたことに大変感謝している。滞在期間中はブレッグジット直前と言われていた英国であったが、大きなトラブルもなく、寧ろ他の EU 諸国との近さを実感した。隣の研究室の大学院生は週末にスウェーデンまで実験データを取りに行っていたし、筆者の専門分野の国際学会が開催されたドイツ・ミュンヘンにはわずか 3 時間強のフライトで移動できた。フランスから訪問してきた博士研究員と Fabio と筆者の 3 人で円石藻の共同研究を新たに開始することができたのも物理的、心理的な距離の近さによるものであろう。日本もアジア諸国との地理的な利点を活かして、もっと活発な研究交流が行われても良いはずである。個人的な話題で最後を締めることをお許しいただきたいが、どちらかという控えめな性格の筆者が発起人となって、エジンバラ大学理系日本人の会（洋酒の会）を立ち上げることができたことは感慨深い。ロンドンとは異なり、エジンバラでは比較的マイノリティな日本人同士の交流がもっとあっても良いのではないかと強く感じたからである。初回はエジ

ンバラ大学に籍を置く医学・理工系の研究者・学生を 8 名ほど集めて交流会を開催することができた。筆者が帰国後も継続しているとの報告を受けている。また、帰国直前に研究室のメンバーを筆者の自宅に招待し、日本食を振舞ったことも良い思い出となった (図 5)。ビーガンやハラールに対応しなくてはならず、肉や牛乳を一切使わない日本式カレーやラーメンの調理に必要な材料選びに苦心したが、Nori はシェフとしても十分にやっていけるよとお世辞を言ってくれたことが嬉しかった。最後になったが、筆者を快くサバティカル研修に送り出してくれた全ての秋田県立大学の教職員の皆さまにこの場を借りて御礼申し上げる。



図5 自宅で開催したさよならパーティー。

### 文献

木村誠 (2018). 『大学大崩壊：リストラされる国立大，見捨てられる私立大』。朝日新聞出版。

〔 令和 2 年 6 月 30 日 受付  
令和 2 年 7 月 16 日 受理 〕

# Experiences of the Latest Microscopy Techniques in the Ancient City of Edinburgh

Report of 2019 Sabbatical Leave

---

Noriaki Ozaki

*Department of Biotechnology, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University*

The author had the opportunity to stay as a visiting scholar in Scotland during his university sabbatical leave. Located in Edinburgh, the ancient capital of Scotland, the University of Edinburgh is a prestigious university with a 400-year history and a rather high QS World University Ranking. During its long history, it has produced 21 Nobel laureates. In this paper, the author introduces the cryo-electron microscope system housed at the University of Edinburgh. It is the newest bio-imaging device in the world. Finally, the author briefly discusses the UK approach to higher education (especially tuition) by comparing it to Japan's system.

**Keywords:** The University of Edinburgh, cryo-electron microscope, tuition