

## 海外留学・滞在記

川野 竜司 (公益財団法人神奈川科学技術アカデミー  
人工細胞膜システムグループ)

2006年から2009年までアメリカ・ソルトレイクシティにあるユタ大学化学科Henry S. White研究室に留学しました。帰国して4年たちましたが、当時のことを思い出しながらソルトレイクでの生活を紹介したいと思います。

## 1. 留学のきっかけ

学生時代の研究では、イオン液体中での電荷輸送機構を電気化学的手法により評価し、色素増感太陽電池の電解質へ応用する研究に取り組んでいました。イオン液体は水・有機溶媒に続く第三の新しい溶媒として注目されている液体であり、難揮発性、不燃性、高いイオン伝導性といった性質は電池の電解質材料として理想的です。しかし一般的にイオン液体は、イオン同士のクーロン相互作用により粘性が高く、電気化学デバイスへの応用を考えると、イオン移動度の低下が問題となっていました。博士課程の研究では、イオン液体電解質において、色素増感太陽電池内で電荷を輸送するヨウ素レドックスカップル( $I^-/I_3^-$ )が、水中のプロトンホッピングに類似の高速電荷輸送を行うことを見いだしました。超微小電極を用いた電気化学測定から、この高速電荷輸送と通常の物理拡散の拡散係数を定量的に見積もることもできました。ただ、実際に用いる太陽電池の光電極は直径10 nmほどのTiO<sub>2</sub>微粒子で構成されており、その平均孔径は15 nm程度です。筆者はこの非常に微小な空間内での電荷輸送メカニズムに興味を持ち続けていましたが、ランダムに存在するナノ空間内での電荷輸送の取り扱いが困難で、これを明らかにできませんでした。そんなある日、*Chemical Review*誌に掲載された“Three-Dimensional Battery Architectures”という論文を後輩の田畑誠一郎君(現ソニー)に教えて貰いました。その論文では3次元のナノ・メソ空間におけるイオン輸送や電池の電極材料への応用について述べられており、この論文の著者であるユタ大学のHenry S. White研究室に行けば、ナノ空間内での電荷輸送や物理化学に関してもっと詳しく研究できるのではないかと考えました。そこで日本学術振興会海外特別研究員制度に「ナノ空間内での物質輸送に関する研究」で申請書を提出したところ、運良く採択されユタ大学に留学することになりました。

## 2. ユタ大学とHenry S. White研究室

ユタ大学はソルトレイクシティの中心部に位置する州立総合大学です。大学の歴史は比較的古く、ミシシッピ川以西では最も古い1850年に創立されています。ユタ大



**Figure 1.** (Color online) ユタ大学での生活風景. a) 筆者とHenry White教授. b) 同じ建物内にあったJACSのオフィス. c) 研究風景. 電極作製中. d) 標高3000 mの高所にある湖でフィッシング. e) Bryce canyon 国立公園の奇岩に囲まれて.

学出身者としてはコンピュータの父と呼ばれているアラン・ケイや、ブッシュ政権時代に活躍したカール・ローブなどがおり、また教員としては反応速度論(Eyringの式)で有名なヘンリー・アイリング教授、ちょうど筆者が留学していたときにノーベル医学・生理学賞を受賞したマリオ・カペッキ教授など優秀な研究者が数多くいます。ユタ大学の化学科はアメリカ化学会の中で重要な役割を担っており、JACSとJOCのOfficeが同じ建物の中にありました(Fig. 1b)。Henry(と呼んでいた)もJACSのEditorの一人です。

ここでHenryについて紹介したいと思います。Henryは1956年生まれで、ノースカロライナ大学のRoyce Murray先生の研究室で学士を、テキサス大学のAllen J. Bard研究室でPh.Dを取得した、まさにアメリカの電気化学の本流に位置する先生です。当時のWhite lab.はポスドク(筆者を含む)2名、学生6、7名の体制で、地下階にある広い研究室でのびのび研究を行っていました(Fig. 1c)。コアタイムは特になく、アメリカ人は朝9時から17時くらい、筆者を含むアジア人は朝10時から19時くらいまでがWorking Timeで、土日に来る人はほとんどいません。Group Meetingは週1回で2人ずつ、それ以外に分析・材料・物理化学系の7研究室が合同で行うセミナーを月に1度行っていました。学生は基本的にすべてPh.Dコースで、

給料を貰って研究を行っています。筆者がいた間に会った優秀な学生ですと、卒業までの3年間でACS系論文に10報近く投稿した人が2名いました。その間に研究態度が悪くクビになった学生や、Ph.D取得をあきらめてMasterの学位で卒業する学生などもありましたが、

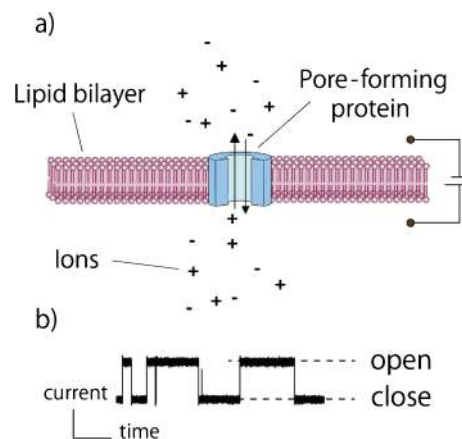
### 3. ソルトレイクシティでの生活

留学が決まってからソルトレイクの情報をWebで収集しましたが、あまり多くの情報はありませんでした。しかし、当時ユタ大学物理学科で研究をしていた松井龍之介さん（現三重大学准教授）が留学生生活を綴ったホームページを公開しており、面識はありませんでしたがメールを送ったところ、快くいろいろな情報を教えてくれました。渡米後も他の日本人研究者や現地で働いている日本人を紹介してくれるなど、ずいぶんお世話になりました。渡米後も他の日本人研究者や現地で働いている日本人を紹介してくれるなど、ずいぶんお世話になりました。現在も仲良くさせて頂いています。ユタ大では日本人がそれほど多くなく、そのため他の学部の日本人研究者と交流する機会が増え、分野を超えた研究話ができたと思います。例えば、原始宇宙で惑星が作られる状態を計算する話（宇宙物理学）や、数学科の友人からはカラビ-ヤウ多様体の話を聞かせて貰いました（この話はさっぱりわかりませんでした）。

ソルトレイクでは妻と二人で生活をしていました。海外生活を一人で送るのと家族と一緒に送るのとでは大きく違うと思います。一人だと自由な反面、やはり寂しかったり食事の面など不便なことがあると思います。ユタ州はグランドサークルと呼ばれる国立公園密集地の中にあり、夏にはザイオン国立公園やプライスカニオン国立公園に行き（Fig. 1d, e）、冬はダウントウンから車で40分ほどの場所に3つあるスキー場に遊びに行きました。ソルトレイクは2002年に冬季オリンピックが開かれており、ウィンタースポーツの施設はとても充実しています。また、年明けにはサンダンス映画祭という国際的な映画祭が開かれ、毎年楽しみにしていました。アメリカに住んでいる間に米国内旅行も随分と楽しみました。

### 4. Henry White 研究室での研究と帰国

渡米する前から、Henryとはメールでプロジェクトの話をしていました。ナノ空間での物質輸送を定量的に評価するために、脂質二分子膜中に再構成したPore-forming proteinsを使おうということになりました。具体的には、 $\alpha$ -hemolysinというペプチドチャネルを用い、直径1.4 nmのナノ孔を脂質膜中に再現性よく形成する方法です。実験ではナノ孔を持つ脂質膜の両サイドに電極を配置し、ナノチャネルを流れるイオンを電流として観測します（Fig. 2a）。この手法では単一ナノ孔の電流をpAレベルで計測できることから（Fig. 2b）、標的分子がナノ孔を通過してイオン電流を阻害すると、その阻害電流と阻害時間から一分子レベルでの分子認識が可能になります。これは最近ナノポア計測として知られてきており、特に次世代のDNAシーケンサ（ナノポアシーケンス）ができるのではと期待されています。私が行った研究でも、ポリアニオンであるDNA一分子がどのような輸送様式でナノ孔を通過するのか、ナノ空間内媒体の粘性の影響や、一次元拡散の活性化エネルギーの算出を行いました。またサンディエゴにあるバイオベンチャーとナノポアシーケ



**Figure 2.** (Color online) ナノポア計測。a) 脂質二分子膜中に再構成したペプチドポア。ナノポアを流れるイオン流を微小電流として計測する。b) ナノポアを流れる実際の電流。ナノポアを通過する分子がイオンの流れを阻害し、ブロッキング電流が表れ、一分子レベルでの挙動が観測できる。

ンスに関する共同研究をしていたので、短期間サンディエゴで研究をする機会もありました。

海外学振の制度は2年間でしたので、2年目が終わる頃にもう少しここで研究したいと思いHenryに相談したところ快諾を頂き、さらには海外学振の時に貰っていた給与と同じ額で雇用して頂きました。これは普通のポストドクの約1.5倍の額で、学生2人分の給料にも相当するので非常に恐縮しましたし、その分の働きをしなければと身が引き締まる思いでした。しかし2008年のリーマンショック以降、米国の財政状況が極めて悪くなり、グラントの額も一時的ではがかなり縮小されました。そうした状況下でいつまでも好待遇でお世話になるのは申し訳ないという気持ちもあり（Henryは好きなだけ居ていいよと言ってくれましたが）、日本での職を探しました。帰国してもナノポアの研究を続けたいと考えWebで探し、東大生産技術研究所の竹内昌治研究室を見つけました。竹内先生に直接メールを送ったところ、ちょうど神奈川科学技術アカデミーで人工細胞膜のプロジェクトを発足するタイミングと重なり、研究員の職を得ることができました。

### 5. 終わりに

一般的によく言われることですが、日本の研究レベルや設備は海外（米国しか経験していませんが）と遜色ないと思います。ただ、英語での議論やプレゼンテーション、異国での研究・日常生活を通して文化の違いを肌で実感することは非常に良い経験になると感じました。また留学の間に知り合った研究者や、研究者以外の友人が多くできたことは、自分の人生をより豊かにしてくれたと思います。この先、短期間でも良いので、また海外で研究する機会を作れたらと考えています。

最後になりますが、学生時代、国際学会に何度も行く機会を設けて下さり、留学がより身近になるように指導して下さいました横浜国大の渡邊正義教授に感謝します。また、留学をサポートして下さいました日本学術振興会と、海外生活を共に送ってくれた妻に感謝します。