

第2回海外留学報告（博士一年目を終えて）

広瀬 凜

Ph.D. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University

2023年7月17日

早いもので、プリンストンに来てからもう一年が経とうとしています。1月末～5月上旬の春学期を終え、現在は3ヶ月半の長い夏休みを研究しながら過ごしています。目下2年目の終わりにあるGeneral試験の通過が目標であり、これを通過すると晴れてPhD candidateとなりますが、不合格だと大抵Master号だけをもらって退学という形になってしまいます。試験名や内容は大学や学科によって様々かと思いますが（Qualifying ExamやCandidacy Examと呼ぶところもあります）、私の学科ではまずコアコースの中から8つ履修し全てB以上の成績で修了すること、その上でPhDに向けた研究計画書の提出、最初の2年間での研究成果の口頭発表とFacultyによるQ&A合計1時間を行い、Facultyの審議で認められると通過となります。PhD学位を目指すものとしてはあくまで通過点であるべき試験ですが、ミニDefenseのような形式と緊張感、そして学科内でここ数年上手いはずに出て行ってしまった人が毎年いる現実から、適度なプレッシャーとなっています。

私は春学期に3つのクラスを履修し、General試験までにあと2つ条件を満たすgraduate levelのコースを取れば良い状態です。それぞれの授業について軽く振り返ると、Geophysical Fluid Dynamics IIではフーリエ解析に始まり、ロスビー波や重力波（ちなみにこれは大気重力波のことで、物理の一般相対論に出てくる重力波とは全く異なる種類のもの）など様々な波、傾圧不安定を詳しく扱いました。毎週のProblem setsに加え、授業内容に関連するトピックについて理論をレビューする形で20-30ページでまとめるレポートと、その数式部分について黒板で説明しQ&Aを受けるという最終発表があり、前学期のGFD1に引き続きなかなか重たい授業でした。教科書は先生オリジナルの全てLaTeXで作成された1700ページ超えのテキストで、学生側も提出課題はLaTeXで書くことが求められ、最終レポートに至っては先生をOverleafの共同編集者にして進捗が見えるようにしなければならなかったため、先生のアカウントがアクティブになっている表示を見るたびに少しヒヤヒヤしていました。Atmospheric Thermodynamicsのクラスでは一般的な熱力学の復習に始まり、断熱湿潤変化やCAPEなど気象学の内容、雲の微物理が扱われました。期末試験の形式が、大学院では珍しい教室受験かつ参考資料の持ち込み禁止で、関数電卓だけ持ち込み可だったのですが、アメリカの学生に比べて自分は電卓を使用しながらの試験に慣れておらず（計算するときは手計算かエクセル）、むしろ関数電卓の練習をして試験に臨むという形でした。このことをアメリカ人の同期に話したら、「電卓なしでどうやって計算問題を解いてきたの!？」という反応で、「高校まではほぼ手計算」と答えたら興味深そうでした。

た。話が多少逸れましたが、もう一つの Atmospheric Chemistry のクラスでは、大気中のオゾンや窒素化合物始め約 30 種類以上の大気中化学物質について、反応や大気滞在時間、周りの環境との関係、時代による変化などを学びました。化学には正直高校時代から苦手意識があったのですが、気候システムの物理やモデルと絡めて学ぶ大気化学は面白く、毎回教授に質問に行っていました。この授業も最終レポートとプレゼンテーションがあったのですが、自身の研究にも繋がりうる北極のオゾンをテーマに GFDL モデルの実験結果をいくつか解析し、学びも多く楽しんで進めることができました。

春学期の途中には、小学校高学年から中学生を対象にしたサイエンスイベントに同期達と学科のブースを出展し、数多くの子供たちやご家族と触れ合う機会もありました。これがアメリカに来て初めての Outreach 経験となり、当日はずっと実験を見せながら喋り続けててんやわんやでしたが、元気と個性溢れる子供たちの真剣な目やワクワクした表情に、こちらがサイエンスの楽しさを再認識させてもらいました。また子供たちからも親御さんたちからも鋭い質問が飛び、分かり易くかつ的確に（もちろん英語で）答えなければならず、良い経験でした。今後も機会があればこうした Outreach 活動に参加していきたいと思います。



(左から) Outreach イベントにて/真鍋淑郎先生と対面で初めてお会いした際/宇宙飛行士候補でプリンストン大学博士課程卒業の諏訪さんが大学に講演にいらした際

この夏休みは、General 試験前の研究に集中できる大事な期間のため、ずっとプリンストンに残って研究を進めています。学期中に比べると時間や心に余裕があるため、同じく残っている博士学生の友人らとランチに行ったりドライブでお出かけをしたり、時にはニューヨークやフィラデルフィアに遊びに行きながら、ゆるゆると好きに研究をしています。テーマとしては、主に北極の大気を分光学的側面から見ることで、極域における水蒸気分布や雲の役割、エネルギー収支の理解を深めようとしています。具体的には、人工衛星の観測データや再解析データ（数値モデルと観測データをデータ同化により統合したもの）による大気上空の熱フラックス量を分析することで各波長帯・場所に

おける温室効果や雲の影響を調べたり、鉛直の大気柱に注目し理想化した大気の特徴を入力情報とし各波長毎に熱収支を計算することで大気の放射の様子を理論的に考察したり、その大気の特徴（地表温度や大気温度プロファイル、大気中の気体の濃度など）を実験的に変えることで熱収支への影響を調べています。地球の表層システムとは非常に複雑で、気温や湿度、海氷、雲、蒸発量、太陽からの入射光、他の場所からの熱など様々な要素が互いに影響し合っており、観測データを読み解くにしるモデル実験を計画するにしる、どの部分に注目してどのようなリサーチクエスチョンを置きどうやってそれを調べ検証するか、というところが肝になってきます。私の学科は特に、教授によるプロジェクトがある訳でなく好きな研究をできる点で自由度が高いため、0から研究の方向性を定めてリサーチクエスチョンを絞って行く必要があるという、研究の醍醐味が実感できる状況になっています。アドバイザーとコアドバイザーの2人がメインで指導してくれており、彼らにとっても北極研究は比較的新しい領域のため、今の所は共に色々と探りつつ研究の方向性を絞っていく過程ですが、大変親身にアドバイスをしてくれています。基本的には紙とペンとパソコンがあればできる理論研究ですので、どこでも研究はできるのですが、アドバイザーらやポスドクの方達と直接会って話しやすいよう、プリンストンに留まって研究を進めています。正直メインの研究を始めるまでに、セキュリティの堅固な GFDL（自身が研究を行っている Geophysical Research Laboratory）のサーバーにリモート接続するための環境構築に始まり、実験データサイトの見方や多次元構造のデータファイルの分析の仕方など、元々大してプログラミングが得意でもなく授業で体系的に学んだことも一度もない自分にとっては越えねばならぬタスクの山が数多く存在したのですが、先輩に聞いたり自分で調べたり（返信がなかなか返ってこない＆リマインドしないと事を進めてくれない）IT 担当の方達とのやり取りを通し、なんとか越えた頃には気づけば自分でできる事も増えていました。



(左から)ニューヨークのメトロポリタンオペラハウス/ニューヨークの自然史博物館にて自分の研究対象である地球のマスコットをお土産に購入/プリンストン高等研究所

競争社会と言われるアメリカにしては、プリンストンは学術の街という落ち着いた雰囲気、最近では寮の周りを蛍が舞っているほど自然や動物も多く、ほのぼのと研究生活を送ることができています。アメリカ博士課程の仲間などがプリンストンに遊びに来てくれる際に色々と案内していますが、特にプリンストン高等研究所は物理的にも雰囲氣的にも俗世から少し離れたような場所で、自身も行くたびに「アインシュタインやノイマンも昔この場所で同じ風景を見ていたのだろうか」などと思いを馳せています。

研究以外では、研究所や学科内外で人の集まりがあるときはできるだけ顔を出してみるようにしています。何度かホームパーティーに呼んでもらう機会もありましたが、主催がご夫婦の場合大抵ご主人の方がキッチンに立って料理担当をしていたのが印象的でした。ほぼ共働きされているご家族でしたが、日本だと共働きでも女性の方がキッチンに立っているイメージが強く、食器洗いと分業している事もあるものの、アメリカで見たように女性の方が客を相手にしていて男性の方が料理を運んでくるという状況は珍しいため、日本でもこうした実例をもっと頻繁にみる機会があれば無意識バイアスも減り全ての人にとって選択肢が増えるのではと感じました。

変化の激しい社会の中で、SNS などメディアでの情報錯綜も進んでいますが、プリンストン高等研究所の閑雅で凜とした趣を自身も身につけ、振り回されないような軸を持っていきたいと思います。特に自身の専門に関わる気候変動は理学的性質を持ちながらもビジネスや政治にも関わりうるため、混沌とした情報が人の間で巡っており、「有名大学の研究によると」や「〇〇賞受賞者」などの権威の付いた文面に人は弱いということを認識させられる機会も多々ありましたが、少なくとも自分の専門周りの分野では中身で自ら判断できるよう、引き続き学びと探求を続けて参りたいと思います。