

バンクーバーでの研究員を終えて

永瀬 純也
Junya NAGASE

先端理工学部機械工学・ロボティクス課程 准教授
Associate Professor, Mechanical Engineering and Robotics Course



1. はじめに

2019年4月から2020年3月までの一年間、長期国外研究員としてカナダのサイモンフレーザー大学（Simon Fraser University）での研究活動の機会を頂きました。滞在先はブリティッシュコロンビア州のバンクーバーです。カナダは世界でも有数の移民国家といわれていますが、なかでもバンクーバーは言語・民族が多種多様で、英語が第一言語でない人は人口のおよそ50%であるといわれています。渡航先のサイモンフレーザー大学にも世界各国からの正規留學生がたくさん在籍し、多様性に溢れたキャンパスのなかで楽しい研究生活を過ごさせて頂きました。帰国して2年が経過しましたが当時を振り返りながら滞在時に体験したことや感じたことなどを簡単にご報告したいと思います。

2. 渡航前

ロボティクスは、現在、世界各国で活発に研究されていますが、日本でも数多くの最先端の研究がおこなわれているため、当初は海外に拘らずに研究員を検討していました。しかし、国際学会等で海外の大学・ラボを何度か訪れるなかで、日本とは異なる文化圏の大学で一度研究生活を過ごしてみたいとい

う気持ちが高まり、国外研究員を選びました。

2016年にシンガポールで開催されたIEEEの国際学会 BioRob 2016で指導學生が口頭発表した際に、幸いにも論文賞を頂いたのですが、その授賞式後のコーヒブレイクで、サイモンフレーザー大学の Carlo Menon 教授と話す機会がありました。初対面だったのですが、お互いの研究内容や研究室に関する話題で話が盛り上がりました。特に、私と同じ研究分野のソフトロボティクスや医療デバイスが研究されており、そのいくつかを共同研究に発展できる可能性も感じたことから、国外研究員として1年間お願いできないかと帰国後にメールでお願いしたところ、快く引き受けて下さいました。

国際学会の1年半後の2018年（研究員開始の1年前）に、Menon 教授のラボを訪問し、教授から研究紹介、博士研究員の方から大学やラボの施設案内をして下さったりして、滞在先で実施する研究内容を詰めました。

日本に戻ってから、早速、マンション探しを始めたのですが、バンクーバーの賃料は日本と比べて意外と高額で少し驚きました。私の調べた限りでは、1ベッドルームで、1か月あたり20万円前後のところが多かったです。現地の不動産会社の話では、カナダは移民による人口増加により物価の上昇が続い



図1 マンション近くの海岸



(a) 大学正門付近

ており、なかでもバンクーバーはアジアの富裕層の移民が特に多く、家賃や住宅価格が急騰しているとのことでした。

入居審査も厳しいようです。バンクーバー市内は平均的な部屋でも入居希望者が殺到することが多く、かつカナダでのクレジットカードの使用履歴や滞在歴も重視されるので、私のように滞在歴がないと相手にしてくれない場合も少なくなかったです。ただし、短期滞在向けの専用の仲介業者に依頼すると、滞在歴等がない場合でも契約できることが多いようで私はそれを利用しました。どうにかして賃貸マンションの契約ができ、賃料は1か月21万円とバンクーバーでは平均的な額で、最寄り駅まで徒歩5分、スーパーマーケットとコンビニまで徒歩3分、海岸まで徒歩7分と、私にとっては好条件のマンションに入居することができ一安心でした。

3. 渡航直後

バンクーバーには2019年4月2日に到着しました。4月だと日本ではすっかり春ですが、バンクーバーでは防寒具を着ている人がまだ多くいました。また、バンクーバーは1年を通して雨の日が非常に多く、そのことを指して“レインクーバー”とも呼ばれているようです。実際、私が過ごした1年間で晴天が続いたのは、6～8月の3カ月弱ほどで、残りの9カ月は、1週間のうちの4日は雨もしくは雨雲で覆われた曇り空であったように思います。それでも、冬はカナダのなかではとても温暖で積雪する



(b) Applied Science 学部の入り口付近

図2 サイモンフレーザー大学バーナビーキャンパス

ことはほとんどなく、夏は湿度が低く冷房いらずで、年間を通して非常に過ごしやすかったです。

バンクーバーに到着してからすぐに、これからお世話になるサイモンフレーザー大学に向かいました。教授は不在でしたので、秘書の方と博士課程の学生さんに対応して頂き、大学の施設案内をして下さったり、入館証の作成や学内ネットワークIDの作成などを手伝って下さいました。2日目には教授と直接会い、研究室で取り組む具体的な研究内容について打ち合わせを行いました。研究テーマは、この1年前に研究室に事前訪問した際に決定済みのクローラロボットと受動跳躍の研究をするはずだったのですが、教授から肺用のファイバースコープの研究にも積極的に関わってほしいとの要望があり、そのテーマを担当しているインド人の博士課程の学生さんから研究内容の説明がありました。研究内容を

聞く限りでは私の専門外である熱流体に焦点を置いた研究であったため、正直、少し不安を感じましたが、新しい分野にチャレンジして研究の裾野を広げるチャンスだという期待感もあり、計3つの研究テーマに取り組むことになりました。

3日目～5日目は、大学の研究設備・施設を使用するための学内の講習会とトレーニングの受講、およびそのオンライン試験を受験しました。講習会とトレーニングはそれぞれ1日を通して行われたのですが、薬品や危険物の取り扱いに関するものや消火訓練が中心でした。講習会とトレーニングの講師は、学内の教授、技官、職員の方々だったのですが、どの講習会もユーモアに溢れ、模型を使ったデモンストレーションや簡単な化学実験を交えながら、受講者を飽きさせないような工夫がされていました。また、受講者の姿勢が非常に積極的で印象に残りました。会場は300名を収容可能な階段型の大教室で、参加人数は150名を超えていたように思いますが、講習中、講師から受講者に対して問いかけがあると、毎回3割以上の学生が一斉に手を挙げ、積極的に答えようとする姿勢が見られました。また、一人の学生の発言に対して他の学生が割り込んで意見をしたり、その場で学生同士で軽いディスカッションが始まったりと、活気に溢れた講習会でした。オンライン試験は問題数が非常に多く、大学の設備や安全対策、装置の取扱い方の他、道徳・倫理に関する内容まで多岐にわたり、全て終えるまでに丸1日掛かった記憶があります。

4. サイモンフレーザー大学

サイモンフレーザー大学は、1965年に創設され、カナダ西海岸を開拓した探検家であるサイモン・フレーザーに因んで命名されました。この大学は特に、環境学やビジネス、犯罪学/刑事法学の名門校として知られています。学生数は学部生が約29,700名で大学院生が約5,500名、これまでの全卒業生数は111,000名を超え世界約130ヶ国に分布しています。

キャンパスは、バンクーバー郊外に位置するバーナビー市内のバーナビー山にあるバーナビーキャンパス（メインキャンパス）の他、バンクーバーの市街地に位置するバンクーバーキャンパス、そしてサレー市のサレーキャンパスがあります。

大学本部のバーナビーキャンパスは、山頂の広大な敷地に建つ広々としたキャンパスで、その大自然の前には圧倒されました。また、龍谷大学瀬田キャンパスのような落ち着いた雰囲気も感じられました。私はこのキャンパスで1年間研究を行うことになりました。一方で、サレーキャンパスは、最寄り駅まで徒歩1分と近く、ショッピングセンターが隣接しているため、バーナビーキャンパスとは対照的にとてもにぎやかな雰囲気でした。

理工系のキャンパスは、もともとはバーナビーキャンパスに属していましたが、滞在時はサレーキャンパスに引越しの最中で、所属先の研究室も2つのキャンパスにまたがって属していました。そのため研究室のメンバーは実験設備の関係でテーマに応じて両キャンパスに分かれて研究をしていました。理工系が2つのキャンパスに分かれているため、講義においては、1時限目はサレーキャンパスで受講し、2時限目はバーナビーキャンパスで受講するというような、1日の内に両キャンパスを行き来するケースが少なくなく、キャンパス間の移動に1時間を要するため学生さんはなかなか大変そうでした。

研究の合間によくキャンパス内を散歩していたのですが、キャンパス内の至るところの自習スペースで、たくさんの学生がノートPCやテキスト、論文を机上に広げて勉学に励んでいる光景が印象的でした。一般に北米の大学は日本の大学と比べて課題が非常に多く、卒業も難しいといわれていますが、自身の専攻分野や講義で学んだことを私に熱心に語ってくれた学生さんにも数多く出会い、興味を持って勉学に打ち込む一生懸命さがひしひしと伝わってきたのを覚えています。

5. 研究環境

研究環境について簡単に触れたいと思います。私は、主にサイモンフレーザー大学のバーナビーキャンパスで研究を行っていました。研究場所は、教授からポストドク部屋の一角に机と椅子を与えて下さり、そこでシミュレーションや調査、簡単な実験を行っていました（通常の実験には別の複数の実験部屋を使用していました）。そのポストドク部屋には、インド人の博士課程の学生とドイツ人の博士研究員がいました。彼ら2人は基本的に寡黙で、1日を通して自身の研究に黙々と打ち込んでいましたが、2人ともサイクリングが趣味であったことから、休日には3人で時々サイクリングを楽しんでいました。バンクーバーでは、公道や公園に自転車専用レーンやサイクリングコースが数多く作られており、街の至る所にはレンタル自転車、さらに自転車専用の信号の押しボタンがあるなど、まさに自転車天国です。

昼食や歓談のための小部屋がポストドク部屋に隣接しており、昼食時には付近の研究室の学生、研究員でいつも賑わっていました。私もそこで昼食をとっていたのですが、国外から来られた研究員や留学生が多いためか出身国の文化や風習についての話題も多かったです。また、日本のアニメ・漫画が好きなカナダ人が意外と多く、その知識量にはいつも圧倒されました。また、私が剣道経験者だということを話すと、大学の剣道部に所属しているカナダ人学生



図3 市内のシェアサイクル

から剣道部への入会を誘って頂いたことがありました。防具・道着などを持っていなかったので入会はしませんでした。何度か見学させて頂いてリフレッシュしていました。カナダに単身で滞在したこの1年間は、日本人や日本語と接する機会はほぼ無かったので、日本文化を直に感じられるような機会はありがたかったです。

研究ミーティングは週1回のペースでおこなわれました。全員が一度に集まっておこなう全体ミーティングは無く、チーム毎のミーティングが主でした。研究室は、博士研究員約5名、博士課程の学生約15名、修士課程の学生約15名、その他テクニカルスタッフなども含めて総勢約40名に対して指導教員は教授1人のため、場所と日程の関係上、チームごとのミーティングのみの形態をとられているようでした。研究ミーティングでは、各人がパワーポイントを使って10分ほどで研究の進捗状況を英語で報告し、その後、10~20分間のディスカッションを行っていました。私も同様に研究報告とディスカッションを週1回のペースでおこなっていました。また、そのような研究ミーティングとは別に、主には博士課程の学生が企画していたのですが、研究室学生を集めて各人の研究内容を互いに紹介し合ったり意見交換をしたりアイデアを出し合ったりするような機会を学生自ら設けていました。毎回、活発で有意義な議論で研究のヒントになることも多々あり、刺激的で良い経験をさせて頂きました。

6. 研究内容

サイモンフレーザー大学でおこなった研究テーマの一部である受動跳躍の研究について紹介させていただきます。

6.1 受動的ロコモーション

通常、ロボットで歩行や走行、跳躍をおこなうには、センサーでロボットの姿勢の傾きや重心をフィードバックしながら、コンピュータ制御によってモータのトルクや角度を制御する必要があり、既存

の多くのロボットはこの方法で移動しています。

一方で、受動的ロコモーションとは、モータやセンサー、制御を一切用いずに、機械のみで、緩やかな下り坂を自然な歩容で移動する移動形態です。この受動的ロコモーションはエネルギー効率が高いことで知られ、ヒトの歩行に近いとも言われています。受動的ロコモーションを歩行ロボットに应用することで、エネルギー消費量が HONDA 社の二足歩行ロボット「ASIMO」の 1/10 に低減されたという研究報告もなされています。この受動的ロコモーションの重要な性質にリミットサイクル（極限閉軌道）というのがあります。受動的ロコモーションの軌道がリミットサイクル上にある限り、歩行・走行は継続されます。また、リミットサイクルが安定となる場合、多少外乱が加わって姿勢が崩れても、元の安定軌道に復帰するという自己安定化機能をもっています。

この安定なリミットサイクルの存在は、歩行と走行において確認されていますが、カンガルーのような跳躍（ホッピング）には確認されていません。そのため、“受動跳躍は不安定”が現在の学説です。

一方で、カンガルーの跳躍を観察してみると、荒野や砂漠をとてとても軽やかにかつ安定的に移動している様子が見られます。また、カンガルーの跳躍は、歩行や走行をおこなう動物よりもエネルギー消費量が低いことが運動生理学者の研究によって明らかにされています。

このようなことから、私は、“受動跳躍に安定なリミットサイクルが存在しない”という説にどうも納得できず、受動跳躍の安定性を解析する研究に着手しました。

6.2 受動跳躍の安定性解析

受動的ロコモーションのリミットサイクルの安定性は、通常、数値シミュレーションによって解析・評価されます。

図 4 は受動跳躍モデルを示しています。このモデルは、胴体部、脚部、股関節バネ、脚バネで構成さ

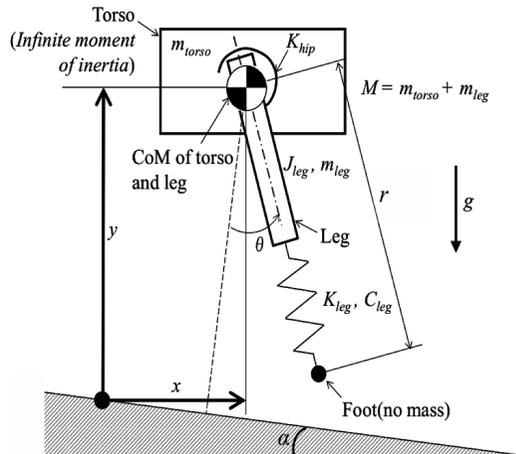


図 4 受動跳躍モデル

れています。股関節バネはねじりバネであり、胴体と脚のなす角度に比例した弾性力を発生します。また、脚バネは圧縮バネであり、脚先が地面に接地している間、そのバネの圧縮量に比例した弾性力を発生します。

この受動跳躍モデルの数値モデル（運動方程式および衝突方程式）を立式し、数値計算をおこなうことで、連続した跳躍のシミュレーションができます。また、数値計算の結果を使って、安定なリミットサイクルが存在するかどうかを調べることができます。具体的には、力学系の流れを不動点まわりで線形近似して求めたヤコビ行列の固有値の絶対値が 1 を下回れば、リミットサイクルは漸近安定と判断できます。図 5 は、各物理パラメータに対する固有値の絶対値を示しています。図 2 より、固有値の絶対値が 1 を下回る物理パラメータが多数存在することがわかり、受動跳躍に安定なリミットサイクルが存在することが明らかになりました。

図 6 は、跳躍開始後 5 歩目で、脚長に対して 40% の高さの段差を出現させた時の各状態（脚の角度、角速度、脚長の変位速度）の変化を示しています。図 3 からわかるように、段差を通過した後、各状態は段差通過前の安定な状態に収束しており、驚くべきことに全長の 40% もの段差に対しても転倒することなく受動的に跳躍を継続できることが確認

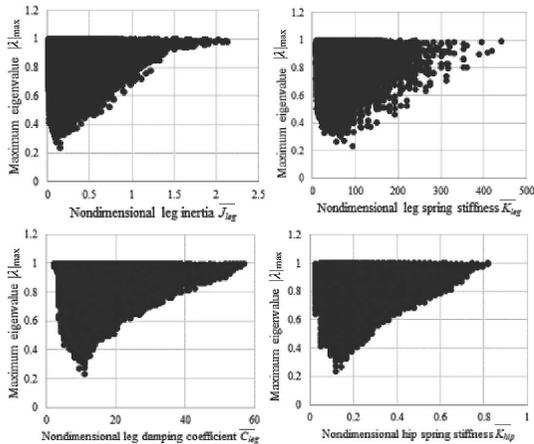


図5 無次元パラメータとヤコビ行列の固有値

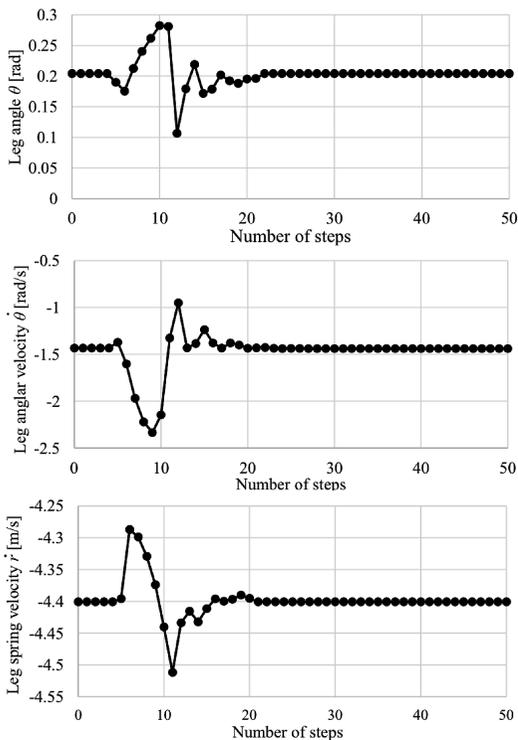


図6 段差乗り越え時の各状態の変化

できました。

本研究成果は従来の学説を覆すものであり、学術雑誌に掲載済みで、今後の受動跳躍研究の飛躍的進展につながるものと考えられます。

7. バンクーバーでの生活

これまでの研究生活を中心に述べさせて頂きましたが、以降はバンクーバーでの生活について簡単に紹介させていただきます。

7.1 食生活

移民国家といわれているカナダのなかでも移民の割合が特に多いバンクーバーは、街中では様々な国の飲食店を目にしました。なかでも多く目に入ったのは、インド、中国、韓国、アメリカ、メキシコそして日本の飲食店でした。

日本食は特に人気が高く、街中を歩いていて見かける行列の多くは日本食レストランだったように思います。特に、ラーメン店はどこも行列で、日本の有名店や系列店も多く出店していました。メニューが豊富でサービスの質も日本並みに高く、美味しかったです。値段が高いことが唯一の難点で頻繁に通うことはできませんでしたが、それでも週末は時々利用して、研究のための活力を養っていました。日本の焼肉チェーン店である牛角も大人気でした。知り合いのカナダ人や韓国人を連れて食事をしましたが、日本の焼肉は上品で洗練されていると大絶賛でした。また、バンクーバーの市街地には、非常に多くのカフェがありました。スターバックスだけでも街の中心部に大体 100 m おきに点在し、平均的に 10 分も歩けばどこかの店舗にたどり着けていたと思います。また、日本の食材・食品が販売しているスーパーマーケットが市内に何店舗もあり、自炊生活を中心だった私にとって、とても重宝しました。

7.2 現地の人々との交流

バンクーバー滞在時は、受け入れ先の研究室の教授、学生の他、学内外の様々な方と交流をしました。

サイモンフレーザー大学の Applied Science 学部には機械系、電子・情報系、ロボット・メカトロ系のような日本の大学にも多く見られるような工学系

の学科の他、人間や動物の運動学や運動生理学に関する学科などもありました。私は特に自分とは少し異なる分野の学科・研究室のホームページを時折見では、興味を持った研究室の教授にメールでアポを取り、昼休みなどを利用して、教授の部屋や食堂で軽い意見交換をさせて頂いていました。英語の拙い私からの突然のメールに快く対応してくださった教授の方々には大変感謝しています。

また、研究室の学生の紹介を通して、学外の方々な人と交流する機会がありました。出身国は、カナダの他、イギリス、イタリア、香港、中国、韓国、インド、メキシコなど様々で、まさに移民国家ならではのと思いました。ブリティッシュコロンビア大学の学生や、公官庁に勤務されている方、映画のディレクター、脚本家、不動産鑑定士、大工、アニメオタクなど、バックグラウンドも様々でした。お会いした方の半数近くは英語ネイティブでは無い海外出身者でしたが、その英語力は私より桁外れに高いのはもちろん、英語習得までに至る努力や執念たるや只々凄まじいと感じるばかりでした。

休日には彼らと近くの山にハイキングに出かけた

り、フェリーでバンクーバー島に小旅行したり、レンタカーを借りてブリティッシュコロンビア州周遊の旅に出たりするなど、休日はアウトドアを中心にリフレッシュしていました。また、現地の民間企業に勤めるカナダ人の友人から勤務先のクリスマスパーティーにも招待して頂き、カナダ人の働き方に対する考え方・価値観を肌で感じました。

8. おわりに

この1年間はあっという間でしたが、国内外の色々な方々からの支えやアドバイスのお陰で、非常に濃密で有意義な時間を過ごすことができました。この経験を糧に、今後の教育・研究に勤しみたいと思います。

最後になりますが、客員研究員の受け入れを快く引き受けて頂き1年間楽しく研究させて頂いたサイモンフレーザー大学の Carlo Menon 教授、ラボのメンバーの方々、ならびにバンクーバーでお世話になった皆様、そして研究員にともない多大なご配慮とサポートを頂いた先端理工学部の方と職員の皆様に心より感謝申し上げます。

