

## Nakatani RIES 2025 最終報告書

中村 健 東京大学工学部計数工学科システム情報工学コース 3 年

Host Lab: Sulchek BioMEMS and Biomechanics Lab, Georgia Institute of Technology

PI: Prof. Todd Sulchek, Mentor: Hoseyn A. Amiri

### 1. ジョージア工科大学での研究活動

#### ● 研究内容

本プログラム期間中には、ノイズの多く含まれた画像からわずかな損傷部位がある細胞の形状を検出する技術に関する研究に取り組みました。帰国後の現在も共同で研究を進めており、未発表の段階である都合上、ここではその概要についてのみご説明させていただきます。

#### 【背景と目的】

本研究で扱うのは、内部を流体で満たしたマイクロチャネルを単一の細胞が高速で通過する実験系です。このチャネルの途中には細胞よりも狭い箇所があり、細胞がそこを通過する際に物理的な圧縮を受け、細胞膜が損傷し一時的に変形します。このとき、細胞膜上には Bleb と呼ばれる突起のようなものが生じることが知られています<sup>[1]</sup>。

この変形の度合いや変形後の形状、変形前後の挙動は細胞ごとに様々です。本研究の目的は、この一連のダイナミクスから細胞が受けているダメージ度合いを定量化する手法を確立することです。

この技術は、細胞膜に意図的に小さな穴を開けて特定の物質を注入する Mechanoporation 技術や細胞治療、遺伝子編集などといった分野への応用が期待されています。

今回の対象は Jurkat 細胞（ヒト急性 T 細胞性白血病由来細胞株）でした。正常な細胞は真円に近い綺麗な形状をしています。が、損傷を受けると Bleb が生じたり、形状が歪んだりします。そのため、時間的な形状変化の情報をもとに細胞のダメージ度合いを評価するためには、まず各時点において Bleb を持つ細胞の形状を正確に把握することが不可欠です。しかし、Bleb 細胞は輪郭が曖昧であり、さらにカメラの性能による制約のため得られる画像の解像度が低く、ノイズが多く含まれてしまうゆえに、既存の細胞セグメンテーションモデルではその形状を正確に捉えることが困難でした。

#### 【具体的な取り組み】

上記の課題を解決するため、以下の内容に取り組みました。

##### ①Bleb 形状を捉えた画像データセットの作成

研究室に保管されていた、細胞の変形ダイナミクスをハイスピードカメラで撮影した膨大な映像データから、各フレームにおける細胞のクロップ画像を作成しました。指導教官やメンターとアノテーションの方針を策定した後、約 23,000 枚の画像に対して、Bleb 部分を含む細胞のマスク画像作成と、その細胞が Bleb 細胞か否かのラベル付けを行いました。このようなデータセットは我々の知る限り世界初のものであり、将来的にはオープンソースとして公開することを予定しています。

##### ②機械学習モデルの構築と評価

作成したデータセットを用いて、以下の 3 種類のモデルを構築・評価しました（訓練用のデータセッ

トとは別に、テスト用のデータセットも作成しました。訓練用のデータとテスト用のデータは異なる動画から取り出されたものになっています。

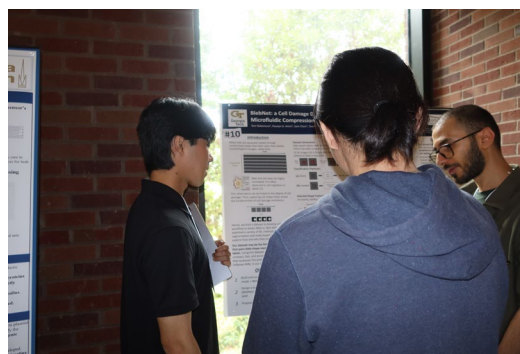
1. セグメンテーションモデル：Bleb 細胞の形状を正確に捉えるための、U-Net<sup>[2]</sup>ベースの小型ニューラルネットワークモデル。
2. 細胞画像からの Bleb 分類モデル：元の細胞画像から直接 Bleb 細胞か否かを判定する CNN モデル。
3. マスク画像からの Bleb 分類モデル：セグメンテーション後のマスク画像（細胞領域が白色、背景が黒色のバイナリ画像）から Bleb 細胞か否かを判定する CNN モデル。

### ③Bleb 細胞推定パイプラインの構築と評価

単一の画像から Bleb 細胞を推定するため、複数のアプローチを組み合わせたパイプラインを構築し、その性能を評価しました。具体的には、

1. 元の細胞画像から直接分類する手法
  2. 一度セグメンテーションを行い、得られたマスク画像をもとに CNN で分類する手法
  3. マスク画像の形状から様々な特徴量を算出し、古典的な機械学習手法で分類する手法
- の3通りを比較検討しました。

以上の研究成果について、9月24日に開催されたシンポジウムにてポスター発表を行いました。



シンポジウムでの発表の様子

### ● 研究の進め方

私の研究は研究室内での実験を伴わないものであったため、ラボや大学の図書館、滞在先の自室など、時間を問わず好きな場所で研究作業を進めることができました。平日は途中に食事や休憩をはさみながら朝9時から夜9時頃まで、時には深夜まで作業に没頭することもありましたが、週末には観光に出かけるなど、メリハリのある生活を心がけていました。

研究は、最初の1週間で先行研究の調査とテーマ設定、具体的な研究計画の策定を行い、残りの4週間でデータセット作成からモデル構築、評価、そしてポスター発表の準備までを行いました。毎週の個別ミーティングでは、PIのTodd Sulchek先生から進捗に対する的確なアドバイスをいただき、研究を円滑に進めることができました。また、メンターには日頃から大変お世話になり、不明点があれば深夜でもメッセージに返信をしてくださるなど、手厚くサポートしてくださいました。

プログラム期間中はジョージアテックにおいて「Affiliate」という身分でしたが、大学のメールアドレスが付与され、現地学生のような扱いを受けることができました。例えば、メールアドレスを用いて Google Colab Pro サブスクリプションを無料で利用することができ、機械学習モデルの訓練にとっても役立ちました。

今回、研究テーマの策定からポスター作成まで、その大部分を私自身の裁量に任せていただけたことで、研究者としての主体性が養われたように感じています。また、画像認識や異常検知といった技術が、実際の課題解決にどのように応用されるのかを実践を通じて学べたことは、大変貴重な経験となりましたし、今後の研究においても役立つことと思います。

## 2. 研究活動における日米の違い

ここでは、これまでに東京大学における2つの研究室で研究インターンシップを行った経験と、今回の経験を比較して感じた違いについて述べます。一部主観的な意見も含まれていることをご了承ください。

- ミーティングの仕方

ジョージアテックで私が所属したラボでは、個別のミーティングに加え、毎週全体でのミーティングがあり、そこでラボメンバー一人ひとりが週ごとに各々の研究内容や進捗について1~2時間ほど話し、メンバー全員でそれについて議論を行っていました。このような機会が定期的に設けられていることで、お互いの研究内容や進捗具合を詳しく知ることができますし、研究に対するフィードバックを集めたり、困っていることを相談したりできるのがとても良いと思いました。私の所属したラボでは、あるメンバーの研究について、他のメンバーもまるで自分の研究であるかのように真剣に議論を行っていたのがとても印象的でした。

- ラボ内の雰囲気と交流

米国の研究室では、ラボメンバー同士の仲を深めることをかなり重視されているように感じました。全体ミーティングでの発表の最後には近況報告や趣味について話す時間が設けられていたり、ボーリングなどのソーシャルイベントが頻繁に開催されていたりしました。あるメンバーの誕生日にはサプライズでケーキを用意したり、パーティーゲームをしたりするなど、とても温かい雰囲気がありました（私も一度参加させていただくことができました！）。

- ラボメンバーの多様性

日本に比べて、非常に多様なバックグラウンドを持つ学生が集まっていました。出身国や出身大学、専門分野も様々であるため、議論では多角的な意見がすぐに集まるのが印象的でした。米国では学部と博士課程とで大学を変えることもよくあるそうです。

- Ph.D.に対する捉え方

米国のPh.D.の学生は、自身を「学生」というよりも「自立した研究者」と捉えており、プロフェッショナル意識が高いように感じました。教授とも対等な立場で議論を交わす姿が印象的でした。日本では博士課程進学に対し「就職が遅れる」といったネガティブなイメージが根強いですが、米国ではPh.D.の取得がキャリアに直結する、あるいはそれ自体がキャリアの一部であるという認識が一般的であるように思われました。

- 学部生と研究室との関わり

米国では、Ph.D.の学生が学部生を指導する文化があり、1人が複数の学部生を同時に抱えている、といったことも珍しくはありませんでした。これは、Ph.D.の学生にとっては指導を通じて自身の研

究や分野への理解を深めつつ、研究作業の一部を学部生に分担して任せることで研究自体を効率化できるという利点があり、他方で学部生にとっては早期に研究経験および実績が積めて、実際の研究活動を通じてその分野に対する理解を深められるといった利点があります。また、PI にとっては直接学部生を指導する負担がなくなるという利点もあります。Ph.D.の学生がやや忙しくなってしまうことを除けば、全体にとって有益な素晴らしい文化だと思いました。

また、学部 1, 2 年生のうちから研究室に参加する学生が多いことには驚かされました。日本では学部生の早い段階から研究室に参加するという人はまだまだ少ない現状があります。このことは、米国の大学では日本の大学に比べて履修を柔軟に調整しやすかったり、研究活動が単位として認定される制度があったりすることも影響しているようです。

### 3. アトランタでの生活、米国の文化などについて

- 生活環境（気候・治安・物価）

アトランタの気候は東京よりやや気温が低く乾燥していました。日差しが強いため日焼け止めがあるとよいかもしれません。また、時折スコールのような突発的な豪雨に見舞われることもあるため、折りたたみ傘を常に携帯しておくとう安心です。街なかの治安の悪さは予想以上で、道端にはホームレスの方が沢山いるような状況でした。夜間の外出は危険であるため避けるようにしていました。物価は日本と比べて非常に高く、外食をすれば普通の食事であっても 1 食 10 ドル程度はかかってしまいます。日本の治安の良さや食事が安くて美味しいことなどのありがたみを改めて実感しました。

- 食事面

物価高に対応するため、日本から調味料や調理器具を大量に持参し自炊していました。ホテルで提供される朝食も活用することで大幅に節約できました（普段は、朝食と昼食はホテルで朝に提供される食事で済ませ、夕食は自炊をする、といった生活でした）。滞在先から徒歩圏内に複数のスーパーマーケット（Publix, Whole Foods Market など）があり、食料品の調達にはほとんど困りませんでした。大学構内および周辺にはアジア料理店（中華料理、韓国料理、日本料理、ベトナム料理など）も多数ありました。ただし、日本食は特に高価でラーメン 1 杯が 18 ドルほどしました。

- 日常生活

洗濯・乾燥はホテルのコインランドリーで行えますが、それぞれ 25 セント硬貨（クォーターコイン）が 8 枚ずつ必要で、事前に銀行などで紙幣を両替しておく必要がありました。滞在先の近くにある Chase bank では現地で口座を開設していなくても快く両替に応じてくれました（10 ドル紙幣をクォーターコイン 40 枚の束に交換してもらうことができます。このことを a roll of quarters などと言います.）。

大学構内や周辺での移動は徒歩で特に問題を感じませんでしたが、Lime や Bird などといったサービスの電動スクーターを用いればより素早く移動できます（大学構内や街なかのいたるところにスクーターが置いてあり、現地の学生もよく利用していました）。治安の悪い危険なエリアは電動スクーターを用いて移動の方がよいとおっしゃっている方もいました。大学周辺を離れて観光に行くような場合には基本的に車での移動となります。Uber を使ったり、メンターや現地の学生の車に乗せていただいたりしていました。Marta という鉄道システムもありましたが、あまり使用する機会はありませんでした。

- コミュニケーション

積極的に話しかけてくださったり、こちらの意図を汲み取ろうと努めてくださったりする方が多く、コミュニケーションにストレスを感じることは特にありませんでした。

#### 4. 本プログラムの成果・意義

本プログラムは、私の今後のキャリアや人生にとってかけがえのない経験となりました。研究面・生活面の両方で人間として大きく成長できたと実感しています。具体的には以下のような点が挙げられます。

- 国際的な視点を持った研究者としての成長

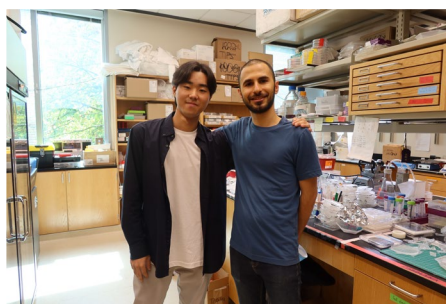
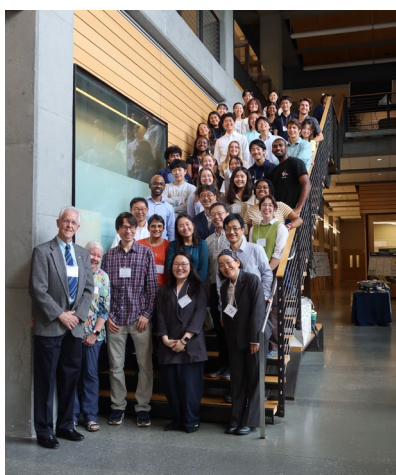
研究テーマの策定からデータ収集、モデル構築、そして発表まで、研究のプロセスを一貫して自分の裁量で経験できたことで主体的に研究を進める力がつきましたし、自信にも繋がりました。また、日米の研究環境や文化の違いを肌で感じることができ、沢山の新たな視点を得ることができました。

- 自分自身に対する理解が深められ、進路がより明確になった

自分自身が海外での生活にもすぐに順応できることがわかり、そして何より研究が好きであるということを確認することができました。これにより、これまで漠然としていた今後の進路についての考えが様々な選択肢としてより明確になりました。現地でお会いした日本人 Ph.D.学生の方々に自分の進路について直接相談を行えたことも、今後の人生の目標やキャリアパスを具体化する上で大きな助けとなりました。

そして、本プログラムで関わったすべての方々、特に日本全国から集まった志の高い仲間たちとの出会いは、私の人生にとって貴重な財産です。この繋がりを今後も大切に、将来的には共同で何かに取り組む機会があればと今から楽しみにしています。

また、本プログラムを終えて、新たな環境に飛び込むことの重要性を再認識しました。最初の一步を踏み出さなければ、ここに記した学びや出会いは何一つ得られませんでした。今後ともこの精神を忘れることなく持ち続けたいと思います。



シンポジウム後に撮った全体写真（左）お世話になったメンターと（右）

## 5. 最後に

私は本プログラムを通じて、今後の人生における目標とそれを実現させるための道筋を明確に見据え、自分が今なすべきことをはっきりとさせることができました。

この報告書をここまで読み進めてくださった方の中には、本プログラムに少なからず興味をお持ちの方も多いことと思います。応募を考えられているという方はぜひその思いのままに、もし迷っているという方がいらっしゃれば応募してみることを強くおすすめします。ここでは言語化しきれなかった、直接現地へ赴き自らの手で研究に取り組むことを通じて初めて得られる学びや経験が間違いなくあります。これまでの研究経験の有無は関係ありません。挑戦してみたいという気持ちが少しでもあるならば、まずは応募してみたいと願っています。

このようなプログラムをきっかけとして海外での学びや研究に挑戦し、そこでの経験を日本に持ち帰って研究や仕事、日常生活に活かせるような人が増えれば、日本の未来はより豊かで明るいものになると信じています。私自身はまだまだ未熟な身ではありますが、この報告書がどなたかにとって、そのような挑戦を後押しする一助となれば幸いです。

## 謝辞

本プログラムの遂行にあたり、以下の皆様からご支援とご協力を賜りました。この場をお借りして心より御礼申し上げます。

本プログラムに際し多大なるご支援を賜りました、公益財団法人中谷財団の皆様、並びに関係者の皆様。

渡航前からプログラム期間中にわたり、多方面で手厚くサポートしてくださった中谷財団の小川様、藤川様。

渡航に際して様々なご手配をしてくださったジャパNSTディツアーの林様。

ビザの取得や渡航前の手続きをサポートしてくださり、現地でのコーディネートをしてくださった Soojung Lee 先生、高山先生。

私のことを快く研究室に受け入れ、親身にご指導くださった Todd Sulchek 教授。

研究に関して日常的にアドバイスをくださったメンターの Hoseyn A. Amiri さん。

私を温かく迎え入れてくださった研究室メンバーの皆様。

そして、かけがえのない時間を共に過ごした RIES 2025 US/JP Fellows の皆さん。

皆様の温かいご支援なくしてこの貴重な経験はあり得ませんでした。ここに深い感謝の意を表します。

## 今後の目標

私は、海外の優れた研究環境で得た知識や経験を日本に持ち帰って研究開発に活かせるような人材がもっと増えれば、それが日本の国際競争力の向上にも繋がると信じています。そして、私自身が率先してそのような人材になることを目指し、当面は現在所属する大学において学業に励み、研究経験と実績を積んだ後に、国内外問わず様々な地で経験を積み、最終的には何らかのかたちで日本の研究開発に貢献したいと考えています。

直近では、本プログラムに続いて中谷財団のご支援のもと、来年春にドイツ人工知能研究センター (DFKI) を訪問する機会をいただきました。ここでは自分の興味分野に直接関わる内容の研究に携わらせていただ

けることになっています。ここでも多くのことを吸収し、自身の成長に繋げてまいりたいと考えています。皆様からいただいたご恩をお返しできるようになるまでにどれほどの時間がかかるかは分かりませんが、今後とも引き続き、どうか温かく見守っていただけましたら幸いです。

---

## References

- [1] García-Arcos, J. M., Jha, A., Waterman, C. M., & Piel, M. (2024). Blebology: principles of bleb-based migration. *Trends in Cell Biology*, 34(10), 838-853.
- [2] Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015, October). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention* (pp. 234-241). Cham: Springer international publishing.