

Nakatani RIES プログラム参加報告書

京都大学農学部応用生命科学科 3 年 原田 茉優

ホストラボ：Stockton Lab、Georgia Institute of Technology

PI：Amanda Stockton メンター：Chloe N LeCates

1. ジョージア工科大学での研究活動

要旨

もしこれまで火星に生命が存在していたとしたら、その痕跡や証拠を探すことで生命の起源の謎を解明できるかもしれない。では、その生命の痕跡はどのような手法で探せばよいのか。このロマンある問いの答えに迫るために、Stockton Lab ではアストロバイオロジー（宇宙生物学）と呼ばれる分野の研究を行っています。私は RIES を通して、生物利用可能リン（Bio-P）や DNA の定量データをもとに空間的・時間的比較を行うことで、火星サンプルの採取法や分析法の最適化を目指しました。この研究は、FELDSPAR チームが採取したサンプルの Bio-P 定量において、初めての成功事例になります。この成果によって、Bio-P の空間的・時間的把握やこれまでに収集されたデータと Bio-P との相関の解明を行うことが可能になりました。

背景

これまで、多くの火星における生命探査プロジェクトが実施されてきましたが、DNA や ATP などの生命の存在を直接示すバイオシグナチャーは未だ発見されていません。火星に生命が存在していたとしても、そのバイオマスは非常に低いと考えられ、地球上のサンプルの定量に使われてきた従来の手法では検出能が不足している可能性があります。そのため、サンプルの採取法や分析法を最適化することが不可欠ですが、何度も火星に探査機を飛ばして試行錯誤を行うには莫大な費用と時間を要します。そこで、Stockton Lab を含む FELDSPAR チームでは、アイスランドの火山地帯を火星環境のアナログとして、そのサンプルを用いた研究を行っています。アイスランドの火山碎屑物からなる砂層は、その地理的・化学的性質から、火星の砂漠地形や風成プロセスを理解するためのアナログとして知られています（Baratoux et al., 2011）。

a) 火星



b) アイスランドのサンプリングサイト
(Fimmvörðuháls)



Fig 1 火星とアイスランドのサンプリングサイトの比較

これまでの研究により、火山地帯の微生物バイオマスの不均一性はサンプリングサイトの物理化学的

環境によって影響されることが知られています (Brady et al., 2020)。したがって、火星でのバイオシグナチャーの探索を効率化するには、サンプルの物理化学的性質を測定することが不可欠です。そこで FELDSPAR チームでは、DNA や ATP、16S rRNA 遺伝子配列などの生物指標に加えて、サンプルの含水率や粒径、元素構成などを測定し、そのデータを解析してきました (Cable et al., 2023)。

今回は、生物指標に直接関係する化学指標として、生物利用可能リン (Bio-P) の定量を行いました。Bio-P とは、サンプルに含まれているリンの全量ではなく、そこに生息する生物が抽出したり吸収したりして利用できるリンの量を指します。測定対象にリンを選択した理由には、①DNA や ATP に代表されるように多くのバイオマス指標の主要構成成分であることと、②窒素 (N) や硫黄 (S) とは異なり大気からの湿性/乾性沈着が起こらないため、他の地球環境から隔離された状態で濃度が保存されている可能性が高いことの二点があります。

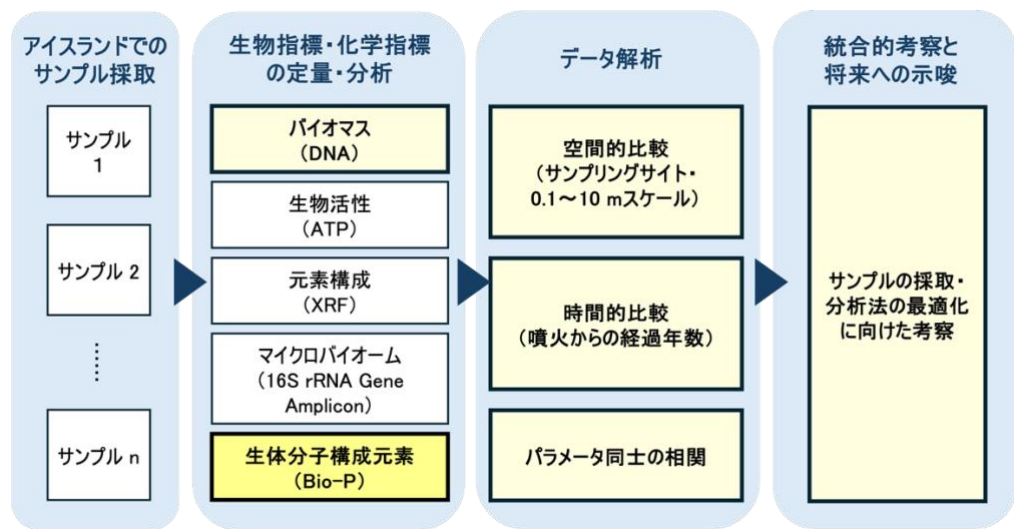


Fig 2 本プロジェクトの流れ

実際に原田が担当した部分を黄色で表した。Bio-P を定量したことにより、後続のプロセスに Bio-P のデータを含めることが可能になった。

手法

リンの定量

今回用いたサンプルのバイオマスは非常に低いため、わずかなコンタミネーションやロスでも定量結果に大きな影響を与えてしまいます。サンプルへの影響を最小化するため、全ての作業をクリーンルーム内で行いました。まず、サンプルを直径 2 mm 以下になるまでハンマーで粉碎します。次に、規定の割合で秤量したサンプルを抽出液と混合し平衡に至るまで静置します。最後にモリブデンブルー法を用いた呈色を測定しリンの定量としました。

データ解析

データ解析にあたっては、空間的比較・時間的比較・パラメータ同士の相関の三項目に着目して行いました。16S rRNA Gene Amplicon データと他の環境パラメータとの相関解析は、R パッケージである MaAsLin2 を用いて行いました (Mallick et al., 2021)。

結果・考察

本研究を通して、以下の三点の結論および将来への展望が得られました。これらは火星におけるバイオシグナチャー探査法の最適化に大きく寄与する成果であると考えています。

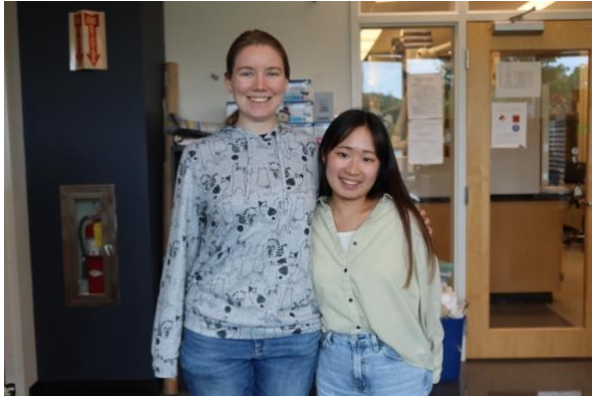
- ① アイスランドのサンプリングサイトは、**噴火からの年度経過に伴って外因性のリンを獲得している**可能性が高い。サンプリングサイトの選択を含めた、サンプルの採取および分析法を再検討する必要性が明らかになった。
- ② *Candidatus Udaeobacter* はリンの抽出や利用に強く寄与している**可能性が高い**。この属の単離培養の重要性を示唆する。
- ③ 環境パラメータ同士の相関について議論する際は生息する**微生物の空間的非均一性**を少なくとも 10 m スケール、可能であれば 1 m スケールで**考慮する必要がある**。

また、合成生物学の専門家である Dr. Styczynski (Georgia Tech) とのディスカッションの結果、微生物にとっての Bio-P 量を厳密に定義するにあたり、今回用いた化学抽出法に加えて**微生物自身のリン濃度検知システムを利用したバイオセンサーの利用**を検討する必要性や、それを実現するために必要なプロセスが示唆されました。

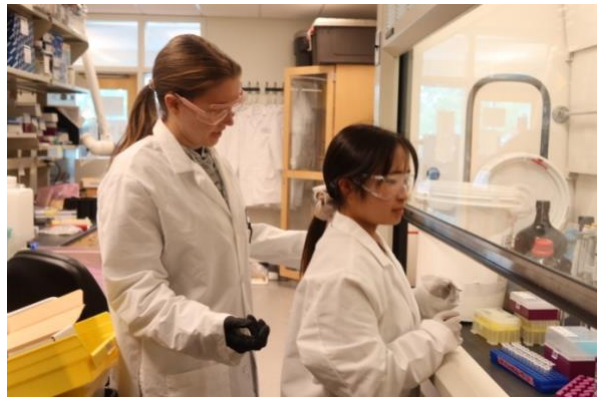
2. 研究活動における日米の違い

研究面では予想していたほど大きな違いを感じませんでした。安全面や衛生面への意識も同程度であるように感じましたが、他の JP/US fellows の話を聞き限りラボそれぞれなのだと思います。ただ、研究を始める前に受けた安全講習の動画の中で、実際の死亡事故の事例が紹介されていたのは印象的な違いでした。京都大学の安全講習も受けたことがありますが、法律違反事例や大学におけるルールなどは紹介されていても、具体的な事故については触れられていなかったと記憶しています。アメリカでは、目を背けたくなるような写真や事実にも半ば強制的に向き合う必要があるカリキュラムが組まれているのだと思います。これは、タバコの箱の注意書きに肺癌患者の肺の写真を載せるのと同じ考えに基づいているのかもしれませんが。個人的には、アメリカの講習の方がインパクトが大きく、実験の安全面への意識が高まったように感じました。

一方で、かなり大きな違いを感じたのが、PhD 学生の意識です。アメリカの PhD 学生は研究を学んでいる学生というよりは、**既に自立した研究のプロの一員として働いているという意識**を強く感じました。ラボミーティングでも、他の PhD の研究発表に対するアドバイスや質問は、PI よりも PhD の方が主体となって行っていました。正直、数年後に私が同じようなパフォーマンスができていないか不安にもなりましたが、メンターに尋ねると「PhD 学生になると、研究の経験を積む中で心持ちに変化が起きて、自信と責任感が得られるようになる」との答えが返ってきました。環境が人を作るという言葉は的を射ていると感じると同時に、自分自身が研究のプロとして成長するために、将来そのような環境に身を置いて研究に取り組みたいと考えるきっかけになりました。



Mentor の Chloe とラボにて



実験中の様子

3. 米国の文化・生活面での発見・苦労等

一番印象に残っているのは、**アメリカの学生は多方面にアクティブ**であるということです。休日に US fellows と遊びに行く機会が多かったのですが、その日の予定を聞いてみると、私との予定以外にも複数の予定を詰めている人が多いと感じました。US fellows が日本に来ていた時も同じことを感じていたので、海外にいるから・国外を訪問中だからという理由ではなく、彼ら自身がアクティブだからなのだと思います。また、その予定は研究などアカデミックなものから、クラブ活動のミーティングや家族との小旅行まで多岐に渡っていましたが、**自分が所属するコミュニティを全て大切にしている**という印象を受けました。渡航前、アメリカではワークライフバランスを意識している人が多いというイメージを抱いており、実際そのイメージに合わない場面も多かったですが、「ワーク」も「ライフ」も忙しく充実させている人が多いというのが新たな気づきでした。私は個人的に毎日予定が詰まっていて忙しい方が快適に過ごせるので、アメリカのライフスタイルは比較的合っていると感じました。

今回の渡航で一番不安だった治安面については、夜間に 1 人で出歩かないことや道端で話しかけられても聞こえないふりをする事で対処することができました。しかし、道端で話しかけてくる人の中には本当に道を尋ねる目的の人もあり、私も実際、数人に駅の位置を聞かれて答える機会がありました。返事をしても大丈夫かどうかの見分けが難しかったのですが、1 人で歩くときにはヘッドフォンを着用するようにすると、話しかけられることが減り安心でした（ただし交通面ではより注意が必要になりますが）。また、夜間にメンターや alumni に車で送っていただく機会が多かったのですが、車を降りてから車を見送ろうとすると、「危ないから早く入って、ここから見送っているから！」と言われました。日本では、送ってもらった側が感謝の意を込めて見送ることがスタンダードなので、ここにも文化の違いを感じました。

食事については、渡航前に予想していたほど不便を感じることはありませんでした。朝食はホテルのビュッフェを楽しみ、その一部をランチボックスに入れて昼食に持って行き、夕食はルームメイトと自炊したり友人と外食したりしました。ただ、帰国して数日間は日本のお食事のおいさと値段のありがたさに毎日感動していたので、心の底では日本を恋しがっていたのかもしれません…。



ルームメイトとの自炊



フルーツパーティ



外食といえば…

4. 本プログラムに参加した成果・意義

「研究に没頭する生活を楽しむ。」これが、RIESに参加した最大の目的であり目標でした。RIESでは、この目標を達成することができ、これから研究者としてのキャリアを追究していく自信と意欲を手に入れました。特に、メンターとのディスカッションや自分なりの工夫を通じて、wet実験の正確性と効率性を高めることができ、3週間という短い実験期間にも関わらず多くのデータを手にいれることができたことは自信に繋がりました。

また、研究の道を進む上で不可欠な人脈を作れたことも成果の一つです。配属された Stockton Lab のメンバーはもちろんのこと、合成生物学の専門家である Dr. Mark Styczynski (Georgia Tech) や環境微生物学者である Dr. Anne Dekas (Stanford University) とのディスカッションを通じて、自分の興味がある分野への理解を深める機会を得ることができました。特に Dr. Dekas のラボを訪問した際には、自分の考えていた研究案（かなりラフな段階ですが）にお墨付きをいただけたことで、その分野に対する意欲が膨れ上がったことが忘れられません。

一方で、研究のプロとして必要なスキルが不足しているという課題を認識できた夏でもありました。まず、データ解析などの dry 実験をより正確で効率的に行うスキルを向上させる必要があります。これまで習得してきた R 言語のスキルアップに加え、Python での解析も行えるようになりたいです。また、英語能力が障害となって、研究内容のディスカッションの中で思うように意見を伝えきれず、悔しい思いをする場面がありました。RIES ではメンターが頑張って理解してくれましたが、実際の研究の場ではスムーズなコミュニケーションは不可欠です。この先専門分野の英語を猛勉強して、会話が律速段階にならないような研究を行えるようにしたいと考えています。

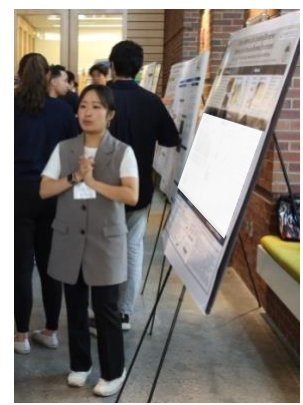
最後に、RIES で得た成果を語る上で欠かせないのが JP fellows や US fellows をはじめとした同年代との出会いです。研究に関する真面目な話から趣味の話まで、毎日のように語り合いました。帰国後も、研究と同じ熱意をもって努力している仲間の存在を意識することが、私の日々のモチベーションになっています。



Nakatani 2025 JP fellows



JP & US fellows



ポスター発表

5. その他

RIES2025 年の夏は、研究スキル・人脈の広さ・将来観など、様々な意味で人生を変える 2 ヶ月になりました。このような貴重な機会をくださった中谷財団様に心より感謝申し上げます。また、私を受け入れてくださった Dr. Stockton や Ms. LeCates をはじめとする Stockton Lab の皆様、現地で手厚いサポートをくださった Dr. Takayama および Dr. Soojung、出発前から帰国後のイベントまでサポートをいただいた小川様と藤川様、ともに素晴らしいときを過ごした JP Fellows、US Fellows、Alumni の方々、および関わってくださった全ての皆さまに、心から感謝を申し上げます。

最後に、もしこの報告書を読んで、将来 RIES に参加してみたいと思った方がいれば、是非チャレンジしてみてください！何か不安なことがあれば、私の LinkedIn アカウント（Mayu Harada; <http://www.linkedin.com/in/mayu-harada>）を通じてご連絡ください。お力になれば嬉しいです。