J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 160, p.47 ～ 49 (2025)

ユタ州立大学での学生生活を振り返って

ディクソン（成毛）千尋 [1]

私は三重大学大学院を修了後，アメリカのユタ州立大学（Utah State University, USU）に入学，Scott Jones 先生（以下 Scott）の Environmental Soil Physics 研究室に所属し，苦節 7 年ようやく 2024 年に博士号を取得しました（Photo. 1）．その後，ポスドクとして半年ほど USU で研究を続けたのち，今年 2 月から母校の三重大で助教を務めています．

今回「土粒子」への執筆依頼を受けたものの，何を書いたらいいか少し悩みました．アメリカに行って最初の数年間は留学した皆さん同様とても苦労してつらかったのですが，Scott と USU で出会った先生や友人，夫に助けてもらい，小さな成功体験と慣れを繰り返すうちに，次第にアメリカでの生活や研究が楽しめるようになっていきました．

USU には修士で入学し，最初に取り組んだ研究は熱パルスプローブ（HPP）を使った熱特性や熱フラックスの推定でした．Scott の研究室では電子基板と HPP を組み合わせたセンサを開発していたので，その HPP の性能評価として既存の熱特性センサ（KD-2Pro, Decagon, WA）を使って比較実験することから始まりました．ところが，何度試しても私たちの HPP と KD-2Pro の出す熱特性の値が異なるという結果になり，原因解明のために多くの試行錯誤を繰り返すことになりました．HPP は安価で自作が可能と言われますが，一つ一つ手作業で組み立てていくのは大変であり，さらにハードウェアの不具合や測定値の異常の原因がすぐに特定できず，時間と労力を大きく消費しました．Scott からは「だから僕たちは Re-search するんだ」と元気づけてくれましたが，英語がままならない中での試行錯誤は先が見えず心が粉々になりました．博士課程にも興味があるとは Scott に話していたのですが，入学して 1 年，2 年と授業も忙しく，結果も思うように出ない期間は博士どころか修士も危ういと思っていました．このあたりの自分の心の動きはよく覚えていませんが，研究は結構割り切って，研究室内外でも友人を作り，研究以外のコミュニティでリフレッシュできる場を作ると長期的な留学は楽しいものになると思います．

その後，HPP につながる基板やセンサの樹脂を通して熱が移動することで測定温度が影響することや，温度解析を基板内部でする際に温度が補正されるバグが見つかりました．その試行錯誤を通し，水以外での HPP による熱特性の検量の標準化についての論文を 2 本投稿しました（Naruke et al., 2021; Dixon et al., 2023）．特に，最初の論文では氷と水中での熱特性の違いに注目し，熱特性の推定精度を高めるために当時は比較的新しかったプローブの熱特性も考慮した校正モデル（ICPC モデル）を適用しました．これはイスラエルの Tamir Kamai 先生から，「（アガーで固化した）水のほかにもう一つ検量を検証できる素材はないか」というアドバイスから思いついたものです．また当時イスラエルでポスドクをしていた本学会員である青木伸輔さんや伊藤雄樹さんにもアドバイスをいただき元気づけられました．苦しみながら書いた初めての論文が出版された時はとても嬉しかったです．

HPP の論文をまとめていた矢先，もう博士はいいやと思っていたのですが，Scott から「宇宙での植物栽培にかかわる研究グループで博士課程に行かないか」と声をかけてもらいました．Scott は私の最初の「博士に興味がある」という言葉を覚えていてくれていて，これまでのデータ解析や論文執筆，学会発表を評価してくれたようでした．NASA から学費や生活費も支援されると聞き，お金や研究の目新しさだけで飛びつくのはよくないと 1 割思いつつ，結局お金と好奇心で 9 割目がくらみ，やると答えました．

それから今に至るまで，低重力環境で野菜を長期的



Photo 1　Commencement with Dr. Scott Jones.

[1] 三重大学生物資源学部.
2025 年 6 月 8 日受稿　2025 年 6 月 9 日受理



Photo 2　URRM testing Mizuna cultivation.

に育てるためのシステム Utah Reusable Root Module（URRM）を開発するグループ（Emerson, 2025）で研究をしていました．このプロジェクトは 3 つのフェーズ（Phase-A, -B, -C）からなり，各フェーズ約 3 年で，およそ 10 年かけて最終的に宇宙ステーション（ISS）内に設置する植物栽培システムを開発するというものでした．最終的に提案したプロトタイプは地球上でのプランター栽培とほとんど同じ（Photo. 2）で，プランターには水分量センサーと土中灌漑のための多孔質パイプが設置されています．しかし，低重力下で 2 年以上の長期的な運用を目的にしているため，細部に工夫があります．例えばこのプランターはロケット打ち上げ時の瞬間高重力（最大 7 g）にも耐え，軌道に乗って低重力条件になるまでしっかり固定されつつ，ペイロードを考慮し軽量であり，自動で灌漑をし，防水，防火仕様，また長期間にわたり宇宙飛行士が ISS 内で野菜を収穫してそのまま食べられる “Pick-and-eat” が可能であることなどです．

この研究グループの中で，まず自分が初めに行ったのは植物培地の選定でした．低重力環境の植物培地の歴史は寒天培地から始まり，今では Aggregated Calcined Clay（以下 Arcilite）と呼ばれる団粒構造のある焼成粘土が主流となっています．これは，滅菌処理が可能なことに加え，粒径が比較的均一で粉塵が舞いにくいという点に多く起因します．ただし Arcilite は van Genuchten の水分保持モデルでいうところの傾き，つまり n の値が大きく，マトリックポテンシャルがゼロ（飽和）からマイナス数十センチ程度で不飽和透水係数が数オーダーで変化し，団粒間間隙で保持されていた水がほとんど排水されます (Heinse et al., 2005)．つまり保水を担うマトリックポテンシャルの領域が数センチ単位と限られており，灌漑管理が極めて難しいという課題がありました．また，ロケットの打ち上げや輸送中に粒子同士の接触が変化するだけで水理特性が変化する可能性もあります．

そこで私たちは園芸土として一般的に使われているピートモスを培地として提案をしました．私たちが着目したピートモスは繊維が比較的粗く，高い間隙率と比較的広い粒径分布を持ち，軽量でありながら乾燥湿潤を繰り返しても体積変化が少ないことが特徴でした．宇宙空間でのピートモスを用いた培地は世界初となりますが，地球上で数か月以上栽培実験を同じ培地で繰り返しても植物の成長に大きな影響がみられないことが確認できた点も，選定の後押しとなりました．

次に着目したのは，複数の多孔質層が存在する植物栽培システム内での水の移動でした．システムにはピートモス培地のほかに，多孔質の灌漑パイプ，親水性でウィックの役割をする Capillary mat，種子を培地に固定する糊やテープ，蒸発防止用のバリア，そして低重力下での培地の飛散を防ぐメッシュなど，様々な素材が重層的に構成されています．それぞれの素材の選定には物理性や水理性を個別に評価し，システムとして組みこんだ後も機能するかどうかを全体的に評価する必要がありました．特に灌漑パイプの間隙径はばらつきが大きく，灌漑を均一に行うための試行錯誤を繰り返しました．さらに Capillary mat はヒステリシスが大きく，乾湿を繰り返すうちに撥水性を生じることが分かり，今回の栽培システムには適さないということが分かりました．また，複数の層を組み合わせた植物栽培実験では，数値計算においても地球上での実験の実測値を非常によく再現しており，低重力下における水分分布の予測も示すことができました．

URRM の研究をかなり駆け足で要約しました．宇宙での植物栽培という目的は壮大と思われますが，私がやったことは土壌物理学に首尾一貫した研究で，HPP の研究同様に多くの試行錯誤を繰り返し，「私たちは Research しているんだ」と言い聞かせて少しずつ理解を深めていくものでした．

三重大に着任して数か月，あっという間に過ぎました．研究者としてはまだまだ自分が得意とする研究も特にありませんが，アメリカで培った経験や人脈はかけがえのない大切なものです．この数年間はこの経験を活かし，研究者としての基礎が作れるよう頑張りたいです．この度は「土粒子」を執筆させていただき，編集委員の皆様に感謝いたします．また，土壌物理学会員の皆様，これからご指導とご鞭撻のほどよろしくお願い致します．

引用文献

Dixon, C., Sheng, W., Zhou, R., Horton, R. and Jones, S.B. (2023): Thermal property standards using granular media with air-pluviation and heat pulse probe measurements. Agric. For. Meteorol., 330: 109303. doi:10.1016/J.AGRFORMET.2022.109303.

Emerson, T. (2025): Inside USU’s mission to grow crops in microgravity. Utah State Mag. https://utahstatemagazine.usu.edu/research/inside-usus-mission-to-grow-crops-in-microgravity/.

Heinse, R., Humphries, S.D., MacE, R.W., Jones, S.B., Steinberg, S.L., Tuller, M., Newman, R.M. and Or, D. (2005): Measurement of porous media hydraulic properties during

parabolic flight induced microgravity. SAE International.

Naruke, C., Sheng, W., Zhou, R. and Jones, S.B. (2021): Standardizing heat pulse probe measurements for thermal property determination using ice and water. Agric. For. Meteorol., 308–309: 108610. doi:10.1016/J.AGRFORMET.2021.108610.