



研究奨励賞を受賞して

佐藤直人¹

1. はじめに

このたび、2024年度土壌物理学学会賞（研究奨励賞）を受賞しました。このような栄誉ある賞をいただけたことを嬉しく思うのと同時に、身の引き締まる思いです。ご推薦いただいた先生ならびに選考委員の先生方に心より感謝申し上げます。本稿では私の研究内容と土壌物理学会との関わりについて記します。

2. 地に足のついた研究

私の主たる研究テーマは「低重力下における土壌中の水分挙動」です。国際宇宙探査協働グループ (ISECG) のロードマップでは、2020年代の有人月探査と2030年以降の有人火星探査の実現を目標として掲げており、宇宙船内で食糧生産を行う宇宙農業の実現が求められています (ISECG, 2024)。国際宇宙ステーション ISS で実施された作物栽培実験では栽培培地の吸水不良が発生し、ロメイニレタスの発芽に失敗するなど、低重力下の ISS における土壌中の水分量制御が、地上と比べて困難であることが明らかになっています (Massa et al., 2017)。そのため、低重力下における土壌中の水分挙動が地上重力 (1 G) 下と異なる原因を明らかにする必要があります。

私たち明治大学の研究グループは、土壌中の水分挙動は水の物性と土壌の間隙構造により決定されることから、これらのいずれかが低重力下で変化した可能性があると考えて研究を開始しました。これまで、水の表面張力や接触角には重力依存性が無いこと (長沼ら, 2020)、粒径の均一な多孔質体では、低重力下における浸潤速度が1 G 下と一致すること (Sato et al., 2024)、粒径の不均一な多孔質体では低重力下において透水係数が低下し、浸潤速度が小さくなること (佐藤ら, 2023; 佐藤ら, 2024) を明らかにしました。現在は低重力下における間隙構造の変化に焦点を当てて、低重力下における水分移動モデルの構築に取り組んでいます。

低重力実験には地上実験には無い特有の制約がいくつかあります。第一に、重力の存在を前提とした実験手法が採用できません。例えば水の表面張力を測定する手法には、毛管上昇高を測定する毛管上昇法や、細い針先に垂れ下がった液滴形状から算出する懸滴法があります

(石原・星埜, 2006)。ところが微小重力下では、毛管上昇高は無限大になりますし、針先に液滴は垂れ下がりません。そこで私たちは水中に差し込んだ細管から空気を押し出す際の最大気泡内圧力から表面張力を算出する最大泡圧法を採用し、低重力下における水の表面張力を測定しました (長沼ら, 2020)。また地上で浸潤実験を行う際は、水頭圧が作用しないようにするためにマリOTT水源を用いますが、微小重力下ではマリOTT管の原理は機能しません。どうしたら良いかしばらく考えた後、微小重力下ではそもそも水頭圧など作用しないということに気がつき、ただの円筒カラムを水源にすることにしました (Sato et al., 2024)。

二つ目の制約は、低重力環境継続時間の短さです。低重力環境の作出手法には、落下塔、航空機の放物線飛行、宇宙ステーションの利用などが挙げられますが、これらのうち宇宙ステーションの利用機会はなかなか得られるものではありません。そこで、落下塔や航空機の放物線飛行を利用して低重力環境を作出することになります。落下塔とは実験装置を搭載したカプセルを高い位置から自由落下させ微小重力環境を作出する手法です。微小重力継続時間は、例えば北海道赤平市にある50 m 落下塔 (COSMOTORRE, 北海道宇宙科学技術創成センター) を用いると2.4秒程度です。また、航空機を放物線飛行させるパラボリックフライトと呼ばれる手法では、微小重力環境のみならず、任意の低重力環境を作出することが可能で、落下塔より長い低重力環境を得ることが可能ですが、それでも20秒程度です。普段私たちが行うような透水試験や浸潤実験は数分から数時間、あるいは数日かかることもあるため、同じ実験手法を低重力実験に採用することはできません。そこで私たちは短時間微小重力下で起こるわずかな浸潤を繰り返し観察することにより浸潤速度を評価する手法 (断続浸潤実験) を開発し、微小重力下における浸潤速度を測定しました (佐藤ら, 投稿中)。

三つ目の制約は、過重力環境の存在です。パラボリックフライトでは微小重力の直後に1.5 G が、落下塔ではカプセルが着地する際に最大20 G が作用します (景山, 2006; 藤田, 2020)。過重力下で水分や土粒子が移動してしまうため、実験後の土壌を研究室に持ち帰って観察しても、低重力下で何が起こっていたか分かりません。したがって、低重力下で起こる現象はその場で観察し記録

¹ School of Agriculture, Meiji University, Kawasaki, Kanagawa 214-8571, Japan. Correspondence: noboriok@meiji.ac.jp; Tel.: +81-44-934-7156 Corresponding author. 佐藤直人 明治大学農学部
2025年2月25日受稿 2025年3月3日受理



Fig. 1 落下塔実験装置の大破の様子。鉛直に6本立てた多孔質体カラムが(a)、カプセルの着地の衝撃で飛び上がり(b)、バラバラになった(c)。

する必要があります。加えて、過重力に耐えられるよう、実験装置を頑丈に設計する必要があります。私には落下塔実験の際、開発した実験装置が1回目の落下で大破した経験があります(Fig. 1)。落下塔のある北海道に1週間滞在しながらの実験でしたが、滞在期間のほとんどを半べそをかきながら装置の修理に充てることになりました。現在では、どこを持って振り回しても壊れないような強度を持つ実験装置の設計と製作を心がけています。

その他にも、低重力下では手動の操作が難しいため、実験を可能な限り自動化したり、ネジやテープで固定していないものは全て浮いてしまうため、たとえばピンを刺しただけの電子部品やたるみのある配線も必ず固定したりと、低重力実験特有の留意事項を挙げるときりがありません。低重力下では普段の当たり前が通用しないため、実験を成功させるためには入念な準備と想像力が必要です。日常から、重力の存在を意識することも大切になります。これが低重力実験の面白いところなのですが、難しいところでもあります。私が研究を開始した当初、準備不足による失敗を何度も経験しました。仮説や実験手法に不備があり良いデータが取れなかったことが多くあります。上述した実験装置の大破もその一つです。

博士前期課程の時にある研究助成に応募したことがありました。結果は不採択だったのですが、その際について寸評が忘れられません。「地に足のついた研究をするべき」。当時は「地に足が着かないのはあたりまえ。宇宙だけに。」などと、いただいた寸評に素直に向き合うことをしませんでした。今はこの寸評の意味が分かります。研究目的の説得力や仮説の根拠が乏しく、ただやってみただけの研究、地に足の着いていない研究になってしまっていたのだと思います。現在では当時と比べると多くの時間を仮説の立案など実験開始前の準備に充てるようになりました。学会大会で先生方からいただくコメントも大変勉強になります。少しずつですが、地に足がついてきたかもしれません。

次の年、もう一度同じ研究助成に挑戦しました。結果はまた不採択で、ついた寸評は一言「宇宙農業とは、時代を先行し過ぎている」というものでした。この寸評には面を食らいましたが、やはり研究目的の説得力に欠けたのだと思います。一方で、自分の研究は時代を先行しているのだ、と前向きに捉え、その後もコツコツと研究を継続してきました。

あれから10年経って、いよいよ月周回宇宙ステーション「Gateway」の建設が本格的に始まろうとしています。いくつか、共同研究に携わらせていただく機会も増えてきました。これまで宇宙農業の研究を諦めずに続けることが出来たのは、いつも熱く研究の話ができる共同研究者をはじめ、学会大会等でたくさんのコメントをくださる先生方や学生の皆さんのおかげです。林(2004)の著書「研究者という職業」の表紙にはこう書いてあります。「流行のテーマを追うのではなく、自身が本質的と考える主題に取り組むならば、研究者は生涯かけてその研究生生活を楽しむことができる」。地に足をつけた研究をするという面ではまだまだ修行が必要な私ですが、様々な方々のご支援のおかげで、自身が本質的と考える主題に取り組むことができ、研究生生活を楽しむことができます。

3. 土壌物理学会への貢献

2023年度から学会事務局が明治大学に移行したことに伴い、会計幹事を務めています。前会計幹事の三重大学坂井勝先生、元会計幹事の東京農工大学西脇淳子先生には多大なサポートをしていただきました。感謝申し上げます。この間、これまで窓口に行く必要があった送金をインターネットバンキング経由で行えるようにし、また、銀行口座の一本化を行いました。少し時代に遅れていた会計のシステムを改善できたと思います。

諸泉(2023)は本誌153号の巻頭言で「事務局は、それまで余り面識のなかった会員と事務局会議や総会・シンポジウムの準備を通して親しくなる好機となり、思いのほか楽しいものである」と述べていますが、その通りだと思います。負担を感じることもありましたが、一方で楽しいこともたくさんありました。比較的若い事務局メンバーであったことも、楽しめた要因だと思います。

一方で、任期の終了間近になってやっと、会計幹事の仕事の全体像が見えてきて、もっとこうした方が良かったのではないかという思いも芽生えてきています。まだ現役生活は30年以上残っていて、今後また事務局に関わる機会もあるでしょうから、その時の宿題にしたいと思います。

ところで、登尾(2023)が指摘したように土壌物理学会が抱える最も大きな懸案事項は会員数の減少です。2001年には450名いた正会員は2024年に200名を下回りました。一方で学生会員数は2001年に26名であったのが、2024年には79名に増加しました。シニア会員も含

めた直近5年間の合計会員数は増加に転じています。学会の会員数を維持するためには、学生会員が進学・就職したあとも正会員として残りとなるような魅力を作っていくことが必要です。そのためには登尾（2023）が指摘した学会誌の魅力の向上に加えて、渡辺（2024）が指摘した「人の魅力」を維持することも大切です。私自身、先生や先輩方が生き生きと研究する姿を見て、現在の進路に進みました。若手の研究者が生き生きとした姿を学生に見せることで、おのずと次の若手が学会に残ってくれるようになるはずで、次は私が生き生きとした姿を学生に見せることで、本学会のさらなる発展に貢献していきたいと思っております。

4. 最後に

本稿の執筆に際して、自分のこれまでの研究や土壌物理学との関わりを振り返る機会を得ることができました。多くの方に支えられて今日に至ることを改めて実感します。いつも温かくご指導ご支援くださる皆様にご場をお借りしてお礼を申し上げます。この度の研究奨励賞の受賞を励みにして、より一層研究に打ち込んでいきたいと思っております。今後ともご指導ご鞭撻のほど、よろしくお願い申し上げます。

引用文献

- 藤田 修 (2020): 50 M 微小重力実験施設“コスモトール”の概要. https://www.hastic.jp/wp-content/uploads/2020/03/droptower3_Japanese_200326.pdf (2025年2月25日).
- 林周二 (2004): 研究者という職業, p. 1. 東京図書, 東京.
- International Space Exploration Coordination Group (ISECG)(2024): The Global Exploration Roadmap. <https://www.globalspaceexploration.org/wp-content/isecg/GER2024.pdf> (2025年2月25日).
- 石原清貴, 星埜由典 (2006): 表面張力測定法. 色材協会誌, 79(9): 404–409.
- 景山大郎 (2006): 航空機による微小重力実験の概要及び簡易無重力実験. 日本マイクロ重力応用学会誌, 23(4): 191–196.
- Massa, G.D., Dufour, N.F., Carver, J.A., Hummerick, M.E., Wheeler, R.M., Morrow, R.C. and Smith, T.M. (2017): VEG-01: Veggie hardware validation testing on the international space station. *Open Agriculture*, 2: 33–41.
- 諸泉利嗣 (2023): 「土壌物理学+会+事務局」と私. 土壌の物理性, 153: 1–2.
- 長沼菜摘, 野川健人, 丸尾裕一, 佐藤直人, 登尾浩助 (2020): 蒸留水の接触角と表面張力の重力依存性評価. 明治大学農学部研究報告, 69(2): 73–79.
- 登尾浩助 (2023): 会員に有用な学会誌になるために. 土壌の物理性, 154: 1–3.
- Sato N., Maruo, Y., Naganuma, N., Nogawa, K., Aoki, S. and Noborio, K. (2024): Water infiltration rate in fine glass beads under micro- and partial gravities. *Adv. Space Res.*, 74(8): 4189–4195.
- 佐藤直人, 丸尾裕一, 野川健人, 人見晋貴, 伊東雄樹, 西田亮也, 登尾浩助 (2023): 重力変化に伴う粗粒多孔質体中の透水係数の変化. 土壌物理学大会講演要旨集, 65: 50–51.
- 佐藤直人, 丸尾裕一, 野川健人, 人見晋貴, 伊東雄樹, 西田亮也, 登尾浩助 (2024): 微小重力下における粗粒多孔質体中の浸潤速度. 農業農村工学会大会講演会概要集, 73:82.
- 渡辺晋生 (2024): 10年後も元気な学会. 土壌の物理性, 156: 1.