



地球惑星科学連合 (JpGU) 2019 A-GE31 New roles of soil science for extraterrestrials (土壌科学の地球外での新しい役割) 開催報告

登尾浩助¹・溝口勝²

Kousuke NOBORIO¹ and Masaru MIZOGUCHI²

1. はじめに

Malin and Edget (2000) が発表したばかりの火星表層の水に関する論文を溝口と登尾は偶然にほぼ同時期に読んで興奮した (2 人とも学部時代あるいは大学院時代に地球外重力下の事象に興味を示していたことに起因する)。なぜなら、火星表層レゴリス中の氷の存在と時折地上に流出する液状水の動態の機構が明らかでないと報じていたからである。溝口と登尾はこれこそ土壌物理学者が解決しなければならない課題だと直感した。このとき既に溝口は、宇宙における土壌学的重要性を「火星に生命体!?’という刺激的なタイトルで本誌に寄稿していた (溝口, 1996) ので、一も二もなく共同研究が決まった。そして、2000 年に宇宙科学研究所 (当時) の研究費 (代表: 溝口, 分担: 登尾) を獲得して、低圧条件下での多孔質体中の水分移動に関する研究に着手した (溝口ら, 2001)。火星には大気がほとんど存在しないから低圧条件下での実験が必要だろうと単純に考えた。その後、2004 年に日本宇宙フォーラム (当時) の研究費 (代表: 登尾, 分担: 溝口) を獲得して大きめの減圧土壌カラムを作成したが、大きいゆえに土壌カラムの気密性を保つことが極めて困難であった。そのためカラム内で水分の質量保存を達成できなかった。そんなこんなで日本宇宙フォーラムへの研究報告書は、最低評価に近い「C」を頂戴した。そのせいかこの後、日本宇宙フォーラムからの研究費獲得にはことごとく失敗し、地球外環境を想定した研究は暫くの中断に追い込まれた。再び女神が微笑んだのが 2012 年と 2013 年であった。JAXA の学生無重力実

験コンテストに登尾の研究室の学部学生による提案が連続して採択され、初めて微小重力 (μG) 下における多孔質体中の水分移動実験を行った。微小重力実験は常圧条件下で行い、液状水が受ける重力の影響に焦点を当てた (Nagura et al., 2018)。この研究成果をもとに 2014 年に科研費挑戦的萌芽研究 (代表: 登尾, 分担: 溝口) を獲得して、更に航空機と落下塔を使った μG 実験を実施した。

毛管上昇は、ジュレンの式 (宮崎ら, 1995) :

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r} \quad (1)$$

で表される。ここで、 σ は水の粘性、 θ は接触角、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 r は毛管半径である。 r が一定の場合は、(1) 式から予測できるように、直管と曲管の違いに関わらず $g \rightarrow 0$ になると液状水は毛管上端まで上昇 ($h \rightarrow \infty$) した。しかし、細い直管の上に太い直管を繋いだ場合は、液状水は細い直管から太い直管へは侵入しなかった (丸尾ら, 2019)。即ち、Nagura et al. (2018) が発見したように、微小重力条件下では管の継ぎ目や管の上端の凸部を液状水が乗り越えられなかった。

このように多孔質体中を液状水が移動する場合は、地球上の重力 (1G) 以外では我々が現在使っている理論をそのまま適用できないことが徐々に明らかになりつつある。従ってそろそろ新しい土壌科学あるいは土壌物理学が提案されても良い時代ではないかと考えた。

2. 地球外土壌科学 (Extraterrestrial Soil Science) の幕開け

2019 年 5 月 28 日に日本地球惑星科学連合 2019 年大会において「New roles of soil science for extraterrestrials

¹School of Agriculture, Meiji University, 1-1-1 Higashimita, Tama-ku, Kawasaki, Kanagawa 214-8571, Japan. Corresponding author: 登尾浩助, 明治大学農学部.

²Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan.

(土壌科学の地球外での新しい役割)」と題したセッションを開催した。招待講演者による基調講演を含む口頭5課題とポスター4課題の発表があった。

1970年代にNASAが実施した火星生物探査であるバイキングミッションで使用された観測機器よりも高感度の開発中の顕微鏡を使った火星表土中の生物探査プロジェクトを進めている玉川大学農学部の吉村義隆先生を招待して「Life search on Mars by Life Detection Microscope (LDM)」と題した基調講演をお願いした(Fig. 1)。吉村先生の火星生物探査に関する基調講演に続いて、東京大学の溝口勝先生による「減圧蒸発過程における砂中の水分移動」では、名指しで聴衆に質問するインタラクティブ授業さながらの口頭発表が行われた。減圧条件下では常温で凍土が生成され、溶存塩分濃度に依存して土壤凍結具合が変化したことを報告した。次の明治大学ポスドクの佐藤直人博士は、放物線飛行によって作り出される微小重力条件を使った研究成果である「ガラスビーズ多孔質体中の水分挙動と重力の関係」を発表した。重力が小さくなるにつれて水分浸潤速度が低下するという実験結果であった。さらに明治大学の大学院生である野川健人さんは、「低重力下における粘度の変化が浸潤速度に及ぼす影響」の中で、微小重力条件下で毛管中の液状水移動速度が低下する現象は、液状水の粘性が高くなるせいではないかと提案した。最後に岡山大学の森也寸志先生に「重力の異なる惑星下における浸透現象」に関して、重力が大きくなると溶液の下方移動距離が大きくなる現象についての発表をお願いした。

口頭発表に先立ってポスター発表が行われたが、発表時間帯のせいか観客数は多くなかった。夕方まで掲示しておいたので、1日の終わり頃にポスターの前に立ち止まる観客も見られた。ポスター発表は発表者と観客がじっくりと論議する時間が取れる長所がある一方で、コアタイムの時間帯が悪いと手持ち無沙汰に立ち尽くす羽目になる短所もある。

3. おわりに

Table 1 と Table 2 にそれぞれ口頭発表とポスター発表の発表者と発表題名をまとめた。JpGU の中ではもともと存在が小さい土壌物理関連であるので、一朝一夕に多くの人々の注意を引く存在にはなれないが、地球外環境における多孔質体中の物質とエネルギー

の移動といえば地球外土壌物理学 (Extraterrestrial Soil Physics) の名前が挙がるよう、研究成果を出し続ける必要があると痛感したセッションであった。最後に口頭・ポスター発表をしていただいた著者の皆さまにお礼を述べてセッション開催の報告とする。

引用文献

- Malin, M.C. and Edgett, K.S. (2000): Evidence for recent groundwater seepage and surface runoff on Mars. *Science*, 288 (5475): 2330–2335.
- 丸尾裕一, 佐藤直人, 登尾浩助 (2019): 形状の異なるガラス細管中の微小重力下における毛管上昇. *International Journal of Microgravity Science and Application*, 36 (2): 360206-1-360206-7. doi: 10.15011/jasma.36.360206
- 宮崎毅, 長谷川周一, 粕渕辰昭 (2005): 土壌物理学, p. 138. 朝倉書店, 東京.
- 溝口勝 (1996): 火星に生命体!?. *土壌の物理性*, 74: 93.
- 溝口勝, 登尾浩助 (2001): 低温・低圧・微重力条件下の多孔質体中における水の移動現象. *Space Utilization Research*, 17: 116–118.
- Nagura, R., Watanabe, Y., Sato, N., Komiya, S., Suzuki, S., Katano, K., Minami, H. and Noborio, K. (2019): Water movement on the convex surfaces of porous media under microgravity. *Advances in Space Research*, 63: 589–597. doi:10.1016/j.asr.2018.09.036



Fig. 1 招待講演者による基調講演風景.

Table 1 口頭発表者名と発表題名.

発表者名 (所属)	発表題名
吉村 義隆 (玉川大学)	Life search on Mars by Life Detection Microscope (LDM)
溝口 勝 (東京大学)	減圧蒸発過程における砂中の水分移動
佐藤 直人, 長沼 菜摘, 野川 健人, 丸尾 裕一, 登尾 浩助 (明治大学)	ガラスビーズ多孔質体中の水分挙動と重力の関係
野川 健人, 佐藤 直人, 丸尾 裕一, 長沼 菜摘, 登尾 浩助 (明治大学)	低重力下における粘度の変化が浸潤速度に及ぼす影響
森 也寸志 (岡山大学)	重力の異なる惑星下における浸透現象

Table 2 ポスター発表者名と発表題名.

発表者名 (所属)	発表題名
登尾 浩助 (明治大学)	地球外宇宙における土壌科学の役割
岩崎 正義, 森 也寸志 (岡山大学)	近・中赤外線による土壌炭素の特徴抽出
丸尾 裕一, 佐藤 直人, 長沼 菜摘, 野川 健人, 登尾 浩助 (明治大学)	微小重力下における毛管中の水分移動速度の低下
長沼 菜摘, 佐藤 直人, 野川 健人, 丸尾 裕一, 登尾 浩助 (明治大学)	Challenges to measuring of the contact angle and the surface tension of water under reduced gravity