

I-SITERU (アイシテル) In-Situ niTrogEn Regeneration and Utilization
- 火星上の窒素循環システムの構想 -

第20回 君が作る宇宙ミッション APOLLO班：

尾崎 杏華 (高2) 【山形県立東桜学館高等学校】、本岡 飛明 (高2) 【京都市立京都工学院高等学校】、
井上 隆太郎 (高2) 【愛知県立明和高等学校】、谷口 奈奈世 (高2) 【岐阜県立岐阜高等学校】、
山本 夢 (高2相当) 【Bloor Collegiate Institute】、吉川 千華 (高3) 【明治大学付属明治高等学校】

1. 要旨

火星での地産地消を実現することを目的とし、窒素を基準とした循環モデルの提案を行った。そして循環モデルの実現可能性を定量評価した。

2. 研究の背景・目的

現在の世界では、米国のスタートアップであるスペースXが進める火星移住計画のような、地球に依存しない宇宙空間での自立した生活の実現を目指す計画が進んでいる。そこで火星の環境に着目したところ、窒素は大気全体の2.7%を占めているが、地中にはほとんど存在しないことが分かった。窒素は生き物の体を形作るタンパク質を構成する元素であり、人間が生きる上で必要不可欠である。ところが、現在比較的宇宙空間における窒素のサイクルは注目されていない。したがって、火星で窒素元素のサイクルを確立させることが、地球の資源に依存しないような、数万人規模での人類の火星での生活につながるかと私たちは考えた。

本研究での目的は、火星での“地産地消”を実現することである。“地産地消”は、“火星上で人間が最低限の生活を営むことの出来る条件を満たすこと”と定義する。私たちは、窒素循環システムを確立することで食料に関する地産地消が達成できると考えた。

3. 提案

火星での窒素循環システムとして図1を提案する。なお、このモデルはすでに火星上にコロニー等の環境が準備されていることを前提とする。まずコロニー外から火星大気を取り込み、空気中の各成分の吸着特性の差を利用して、各成分に分離する方法である吸着分離法で窒素ガスを取り出す [1] (図1中の1)。これらを行う機械が空気分離装置である。その後、根粒菌などの窒素固定菌と遷移金属を用いた還元反応 [2]でアンモニアを生成する(図1中の2)。この際アンモニアの循環量が安定してきたら窒素固定菌のみ使用する(図1中の3)。このアンモニアは様々な微生物によ

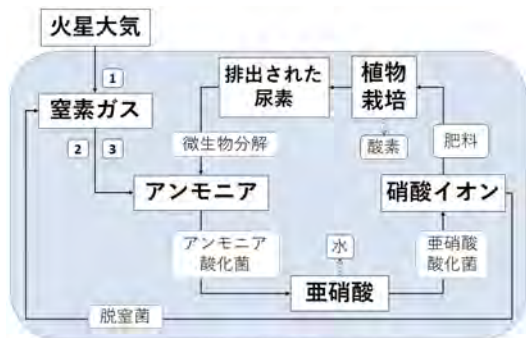


図1 循環図の様子

り硝酸イオンに変換され、水溶液の形で肥料として植物に吸収される。植物は人間等によって消費され、窒素は尿素として排泄される。これを再びアンモニアに戻し窒素が循環する。

4. 議論

図1の循環図が地産地消を行っていく上で機能しているかを確認するために定量評価を行った。そのためにまず、農業に必要な窒素量を定義した。厚生労働省の「日本人の食事摂取基準(2020年版)」[3]に基づいて、タンパク質、脂質、炭水化物、ビタミンCの基準を満たすように、大豆、トマト、アスパラガス、キャベツ、ブロッコリー、じゃがいもの6つの野菜の生産量を設定し線形計画法を行った。その結果トマトを231 kg、大豆を61 kg生産するのが最も窒素の消費量が少ないパターンとなった。また、吸着分離法の効率率を上記の結果と参考文献から、一年あたりで

- 農業に必要な窒素量 4.663×10 kg/人
- 吸着分離法の窒素生成量 1.096×10⁷ kg/台
- 人の排泄物から得られる窒素量 2.968 kg/人
- 土壌からの窒素無機化量 0.245 kg

と数値を設定でき

$1.096 \times 10^7 \div (4.663 \times 10 - 2.968 - 0.245) = 2.46217 \times 10^5$ となる。以上の結果から空気分離装置一機で最大約24.62万人の人口を養える計算になった。

5. まとめ

私たちは、火星での地産地消の実現のため窒素の循環システムを提案した。これらを火星で発展させることによって人類の未来の宇宙進出に大きく貢献できると考える。この窒素循環を既存の水循環や酸素循環に組み込むことにより、さらに地球から自立した宇宙での生活が可能となるだろう。

参考文献 (最終アクセス：2022/01/22)

- [1] エア・ウォーター・クライオプラント株式会社, "空気分離法の種類," 6 8 2021. [Online]. Available: <http://sac.co.jp/pdf/kiso2.pdf>.
- [2] Y. A. K. N. K. e. a. Ashida, "Nature 568, 536–540," 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1134-2>.
- [3] 「日本人の食事摂取基準」策定検討会, "日本人の食事摂取基準(2020年版)," 2019. [Online]. Available: <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586553.pdf>.