

## 閉鎖生態系における生物システム Research in closed bio-ecosystems

\*富田一横谷 香織<sup>1</sup>

\*Kaori Tomita-Yokotani<sup>1</sup>

1. 筑波大学大学院生命環境科学研究科

1. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

“惑星と閉鎖生態系における生物システム”をサブタイトルとして、2011年から継続して、地球惑星科学連合大会のセッションとして取りまとめてきた。閉鎖生態系における生物のシステムは、個々の生物の細胞から、有人宇宙活動における工学的な物質循環に至るまで、実に広い分野を含む。それぞれの研究分野における個々のテーマは、次世代に継承される研究であることから、世代を超えた討論の場が必要であると考え、継続して行っている。本セッションにおける個々の発表の概要を説明をする。

キーワード：閉鎖生態系、圏外環境

Keywords: closed bio-ecosystems, extraterrestrial environments

# イオン液体（1-H-3-メチルイミダゾリウムクロリド）を用いた木質バイオマス（*Albizia falcataria*）の溶解

## Dissolution of a woody biomass (*Albizia falcataria*) with an ionic liquid, 1-H-3-methyl imidazolium chloride ([HMIM]Cl)

\*鈴木 利貞<sup>1</sup>、松前 雄也<sup>1</sup>、金 泰旭<sup>1</sup>、片山 健至<sup>1</sup>

\*Toshisada Suzuki<sup>1</sup>, Yuya Matsumae<sup>1</sup>, Taewook Kim<sup>1</sup>, Takeshi Katayama<sup>1</sup>

1. 香川大学農学部

1. Faculty of Agriculture, Kagawa University

### [緒論]

宇宙農業において、樹木は酸素、木材材料、木質バイオマスの供給源として重要な役割を担う<sup>1)</sup>。木質バイオマスは、セルロース、ヘミセルロース、リグニン、及び多様な有用化学成分を含んでいる。木質バイオマスの有効利用は、閉鎖環境下において利益を与えるだろう。木質バイオマスから有用物質を得る方法は、クラフトパルプ法による紙・パルプの生産を代表として、酸加水分解、酵素糖化法などが研究されてきた。しかし、これらの方法には高温高压等の過酷な条件が必要とされる。

イオン液体は、融点100℃以下の塩類であり、優れた溶解性、低い揮発性、難燃性、低粘度性などの特徴的な性質がある<sup>2)</sup>。近年、ある種のイオン液体は、セルロースやリグノセルロースを溶解できることが明らかにされた。また、セルロースフィルムの作成、酢酸セルロースやカルボキシメチルセルロースの合成において、環境に優しい溶媒として利用可能なことが報告されてきた。本研究では、低コストなイオン液体（1-H-3-メチルイミダゾリウムクロリド）を用いて、木質バイオマス（*Albizia falcataria*）の溶解挙動を検討した。

### [実験方法]

試料のファルカタ木材は南海プライウッド(株)から提供していただいた。これをウィレーミルで粉砕し、40~80 meshにふるい分けしたものを使用した。イオン液体である1-H-3-メチルイミダゾリウムクロリド([HMIM]Cl)は合成した。1-イミダゾールと塩酸を混合し、氷冷下で24時間攪拌した。反応液はエーテルで洗浄後、減圧濃縮し、NMRで構造を確認した。0.5gの木粉に15 gの[HMIM]Clを加え、90~120℃で1~24時間攪拌し、木粉を溶解させた。溶解液はろ過後、150 mlの1,3-ジメチル-2-イミダゾリジノンと水で洗浄し、木粉残渣を105℃で乾燥させて溶解率を算出した。木粉残渣はクラソン法によりリグニン量を求め、FT-IR測定を行った。[HMIM]Clの再利用には、木粉またはセルロースを溶解させた[HMIM]Clにエタノールを加えることにより溶解物を析出させ、ろ過、濃縮により[HMIM]Clを回収して使用した。

### [結果と考察]

[HMIM]Clにより90℃で処理した木粉は、1時間で残渣量が大きく減少したが、その後反応時間を延ばしても、残渣量の変化は少なかった。90℃、1時間の条件で処理した木粉残渣のFT-IRスペクトルには、ヘミセルロースのピークは確認できなかったが、セルロースのピークは認められ、比較的穏やかな処理条件で、ヘミセルロースは[HMIM]Cl中に溶解したと考えられる。120℃で処理した木粉では、反応時間が進むにつれて溶解率は増加し、残渣中におけるクラソンリグニンの割合が増加していた。120℃、24時間の条件で[HMIM]Cl処理した木粉残渣のFT-IRスペクトルでは、セルロースの結晶部分に関するCH<sub>2</sub>変角振動の1429cm<sup>-1</sup>、ヘミセルロースのアセチル基(C=O)に由来する1740 cm<sup>-1</sup>のピークは認められず、リグニンベンゼン環のC=C結合由来の1600、1460 cm<sup>-1</sup>のピークが認められた。120℃、24時間のような高温・長時間の処理により木粉中のセルロースとヘミセルロースがともに[HMIM]Cl中に溶出し、残渣中にリグニンが濃縮されることが示唆された。

セルロース溶解後に回収した[HMIM]Clを用いて木粉の溶解を行うと、回収前の[HMIM]Clとほぼ同等の溶解率となった。一方、木粉溶解後に回収した[HMIM]Clを使用して木粉の溶解を行った場合、溶解率は低く

なった。これは、エタノールを用いて溶出物の析出を行った場合、低分子のリグニン分解物が完全に析出しないためだと考えられる。

[引用文献]

1) Yamashita, M., Ishikawa, Y., Nagatomo, M., Oshima, T., Wada, H., Space Agriculture Task Force. Space agriculture for manned space exploration on mars. *J Space Tech Sci*, 21(2), 1-10, 2005

2) Miyafuji, H. Application of ionic liquids for effective use of woody biomass. *J Wood Sci*, 61, 343-350 (2015)

キーワード：イオン液体、バイオリファイナリー、ファルカタ

Keywords: ionic liquid, biorefinery, falcata

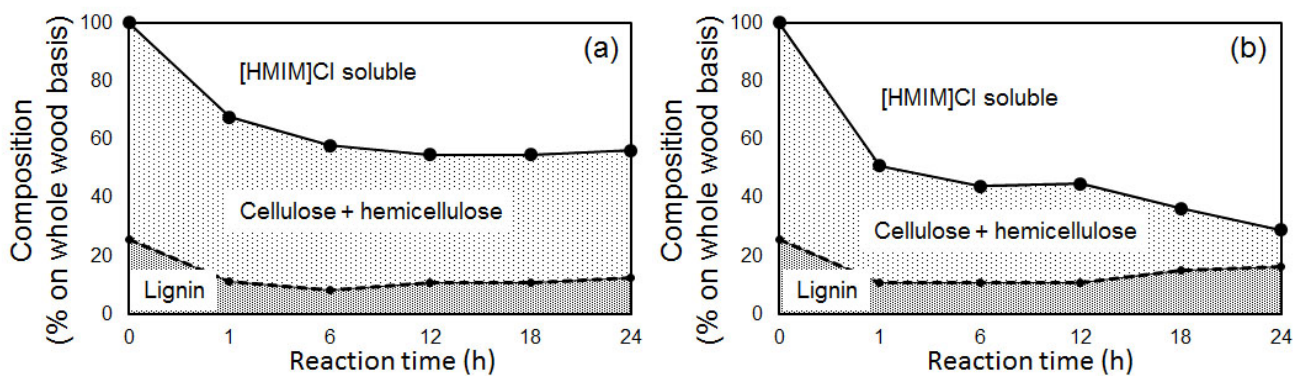


Fig. 1. Composition of wood meal treated with [HMIM]Cl at (a) 90°C and (b) 120°C.

## 陸棲藍藻 *Nostoc* sp. HK-01 の過酷環境における生育と耐性 Growth and tolerance of a terrestrial cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01 under harsh environment

\*木村 駿太<sup>1</sup>、井上 琴美<sup>1</sup>、市川 創作<sup>1</sup>、富田一横谷 香織<sup>1</sup>

\*Shunta Kimura<sup>1</sup>, Kotomi Inoue<sup>1</sup>, Sosaku Ichikawa<sup>1</sup>, Kaori Tomita-Yokotani<sup>1</sup>

1. 筑波大学大学院生命環境科学研究科

1. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

A terrestrial cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01, has several abilities; photosynthesis, nitrogen fixation, utility as food, and tolerance to extraterrestrial environments. *Nostoc* sp. HK-01 may be utilized for biochemical circulation in closed bio-ecosystems, such as Mars. Tolerance to extraterrestrial environments are important for transportation to Mars. Akinetes, which are dormant cells of *Nostoc* sp. HK-01, are tolerant against dry heat, upto 100 °C for 10h. These results indicate that some functional substances which provide tolerance against heat exist in the akinete cells. Akinetes of *Nostoc* sp. HK-01 could be transported to Mars. Before we introduce *Nostoc* sp. HK-01 to Mars' environments, we need to understand its growth in an environment with poor nutrition. We tested whether akinetes of HK-01 can grow using components of their dead cells or/and Martian regolith simulant. We will discuss the possibility that a colony of HK-01 can be grown in an environment with poor nutrition. *Nostoc* sp. HK-01 could contribute to soil formation from Martian regolith, so that plants could grow. *Nostoc* sp. HK-01 is a good candidate for an initial organism to introduce into the Martian environment.

キーワード：閉鎖生態系、藍藻、乾熱耐性、火星模擬レゴリス、*Nostoc* sp. HK-01

Keywords: Closed bio-ecosystems, Cyanobacteria, Dry heat tolerance, Martian regolith simulant, *Nostoc* sp. HK-01

## 極限環境下で棲息可能な陸棲藍藻 *Nostoc* sp. HK-01 (NIES-2109) のドラフトゲノム解析

### Draft genome sequence analysis of the extreme environment grown cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01 (NIES-2109)

\*加藤 浩<sup>1</sup>、木村 駿太<sup>2</sup>、兼崎 友<sup>3</sup>、藤澤 貴智<sup>4</sup>、中村 保一<sup>4</sup>、吉川 博文<sup>3</sup>、富田一横谷 香織<sup>2</sup>

\*Hiroshi Katoh<sup>1</sup>, Shunta Kimura<sup>2</sup>, Yu Kanesaki<sup>3</sup>, Takatomo Fujisawa<sup>4</sup>, Yasukazu Nakamura<sup>4</sup>, Hirofumi Yoshikawa<sup>3</sup>, Kaori Tomita-Yokotani<sup>2</sup>

1. 三重大学、2. 筑波大学、3. 東京農業大学、4. 国立遺伝学研究所

1. Mie University, 2. University of Tsukuba, 3. Tokyo University of Agriculture, 4. National Institute of Genetics

私たちの生活に不可欠な酸素を地球上で最初に作り出したのは光合成生物であるシアノバクテリア（藍藻）と考えられている。陸上でも棲息可能な耐乾燥性を持つ陸棲藍藻は砂漠や南極などの過酷な環境で棲息している。イシクラゲ (*Nostoc commune*) という世界至る所に存在する陸棲藍藻の藻塊から単離された *Nostoc* sp. HK-01 (NIES-2109) は放射線耐性を有すること、低真空条件で火星土壌を模擬したレゴリス上で生存すること、乾燥状態で高温に耐えることが報告されている。この宇宙利用に貢献すると考えられる *Nostoc* sp. HK-01 (NIES-2109) のゲノム情報から物質循環および極限環境適応に関わる遺伝子の解析を進める必要がある。本研究では *Nostoc* sp. HK-01 (NIES-2109) のドラフトゲノム解析を進め、HK-01 の物質循環と宇宙環境耐性について考察する予定である。

キーワード：藍藻、極限環境、ゲノム、宇宙

Keywords: cyanobacteria, extreme environment, genome, space

## 火星導入候補微生物および植物の生長と元素循環

### Growth of candidate materials and element cycle on Martian Regolith simulants

\*富田一横谷 香織<sup>1</sup>、井上 琴美<sup>1</sup>、木村 駿太<sup>1</sup>、加藤 浩<sup>2</sup>

\*Kaori Tomita-Yokotani<sup>1</sup>, Kotomi Inoue<sup>1</sup>, Shunta Kimura<sup>1</sup>, Hiroshi Katoh<sup>2</sup>

1. 筑波大学大学院生命環境科学研究科、2. 三重大学

1. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Mie University

有人宇宙活動における火星初期導入候補生物として注目される微生物および植物を材料として、火星模擬レゴリス上での培養および栽培を行った。候補微生物の藍藻および植物の必須栄養が一部欠如した火星のレゴリス上で、双方とも生長できることを確認した。特に藍藻は、生長に必要な元素を細胞に取り込み増殖できることを詳細に示すことができた。特に、陸棲藍藻 *Nostoc* sp.HK-01 の乾燥藻体が、加水された後に火星模擬レゴリスの元素成分および自身の死細胞構成成分を取り込み、生長と増殖が可能であることを、実験的に初めて明らかにしたので、これらの結果を中心に紹介する。

## 擬似微小重力環境下におけるトマトの生活環 Life cycle of tomato under the microgravity

\*高瀬 由杏<sup>1</sup>、井上 琴美<sup>2</sup>、阿部 友亮<sup>2</sup>、木村 駿太<sup>2</sup>、富田一横谷 香織<sup>2</sup>

\*Yuan Takase<sup>1</sup>, Kotomi Inoue<sup>2</sup>, Yusuke Abe<sup>2</sup>, Shunta Kimura<sup>2</sup>, Kaori Tomita-Yokotani<sup>2</sup>

1. 國學院高等学校、2. 筑波大学

1. Kokugakuin High School, 2. Univ. Tsukuba

人間が宇宙環境に長期間滞在する際に、必要な食料をその場で確保することが必要となると考えられる。その手段の一つは、植物を宇宙環境で種から栽培し実を収穫し、そこからまた種を採取することである。これまでに、シロイヌナズナが宇宙の微小重力環境下で、正常な生活環（種子の発芽から結実採種まで）を完了することが既に報告されているが、果実を作る植物が、微小重力下で、食糧となる果実を得られるかどうかの詳細は、まだ確かめられていない。本研究は、果実を作る植物として矮性トマトを用い、自作のクリノスタットを用いて擬似微小環境を作出し、地上重力環境と生育の比較実験を行い、擬似微小重力がトマトの生活環に及ぼす影響を調べた。その結果、微小重力環境は、葉や茎および果実の形態的变化や果実の種子が採取できないなどの変化を引き起こした。その原因の1つとして、植物に必須な主要元素の個体内における分布が、異なることがわかった。成長に必要な栄養成分が関係している可能性が考えられたことから、更に葉や実の成分分析を行い、より詳しい検証と考察を行った。

キーワード：微小重力、トマト

Keywords: Microgravity, Tomato

## 宇宙居住をめざした食材の食品としての機能と調理例

### Food functions and cooking recipes to several species as food material for habitation in space

\*木村 靖子<sup>1</sup>、木村 駿太<sup>2</sup>、加藤 浩<sup>3</sup>、富田一横谷 香織<sup>2</sup>

\*Yasuko Kimura<sup>1</sup>, Shunta Kimura<sup>2</sup>, Hiroshi Katoh<sup>3</sup>, Kaori Tomita-Yokotani<sup>2</sup>

1. 十文字学園女子大学、2. 筑波大学、3. 三重大学

1. Jumonji University, 2. University of Tsukuba, 3. Mie University

人類が火星などの宇宙居住をめざすとき、限られた環境の中でどのような食材を調達し、それら食材を有効に組み合わせて調理するかは、身体的にも精神的にも健康な生活を送るうえで重要な課題となる。我々は、これまでに宇宙環境で構築される農業や閉鎖型環境システム内への導入生物種の候補とされる藍藻（陸棲藍藻 *Nostoc* sp. HK-01）や樹木（サクラ属樹木 Japanese cherry tree, *Prunus* sp.）の食品の機能性について検証し食資源の可能性を示した。本発表では、これら候補生物種とともに宇宙実験において宇宙環境で生育・栽培可能な候補とされる生物種の食品として機能を検討し、さらに食材として組み合わせて想定できる調理例を提案する。

キーワード：宇宙居住、健康、食材、食品の機能性、調理例

Keywords: habitation in space, health, food material, food functions, cooking recipes



## 陸棲藍藻 *Nostoc* sp. HK-01 の過酷環境におけるアミノ酸分析 Analysis of amino acid in a terrestrial cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01, under the harsh environment

\*オン 碧<sup>1</sup>、木村 駿太<sup>1</sup>、木村 靖子<sup>2</sup>、味岡 令子<sup>1</sup>、富田一横谷 香織<sup>1</sup>

\*Midori Ong<sup>1</sup>, Shunta Kimura<sup>1</sup>, Yasuko Kimura<sup>2</sup>, Reiko Ajioka<sup>1</sup>, Kaori Tomita-Yokotani<sup>1</sup>

1. 筑波大学、2. 十文字女子大学

1. University of Tsukuba, 2. Jumonji University

人類が長期間、宇宙環境に滞在することは、人類の将来のひとつの挑戦である。有人宇宙活動に際し、宇宙環境の場で食糧生産を行うことが必要となると考えられる。これまでに、我々は、圏外環境の場における食糧生産に関する研究を宇宙農業として行ってきた。食料を現地で安定的に確保することは重要な課題である。現在、火星における宇宙農業構想研究が進められている。この中で、過去の地球環境の物質循環に多大な影響を与えたとされている光合成微生物のラン藻は、火星の初期導入生物として期待できる生物と考えられている。これまでに、陸生ラン藻 *Nostoc* sp. HK-01 は、高い宇宙環境耐性を備えることが報告されている。本藍藻は、食料としての価値も検証されてきた。その過程で、本藍藻が、高いアミノ酸生産を行うことがわかっているが、光の強度と個々のアミノ酸量の関係はまだ示されていない。そこで、個々のアミノ酸量と、特に、過酷環境として強光環境曝露下における生産量の変化を、将来の圏外環境における農業に重要な情報となると考えを行った。

キーワード：アミノ酸、光環境、*Nostoc* sp. HK-01、宇宙農業

Keywords: Amino acid, light environment, *Nostoc* sp. HK-01, Space Agriculture

## 乾燥耐性ラン藻 *Nostoc* sp. HK-01 の乾燥及び蘇生過程に関するタンパク質の探索

### Analysis of proteins involved in processes of desiccation and rehydration in a terrestrial cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01.

\*安部 智子<sup>1</sup>、小松原 椋<sup>1</sup>、飯室 瑠里香<sup>1</sup>、木村 駿太<sup>2</sup>、加藤 浩<sup>3</sup>、木村 靖子<sup>4</sup>、富田一横谷 香織<sup>2</sup>  
\*Tomoko Abe<sup>1</sup>, Ryo Komatsubara<sup>1</sup>, Rurika Iimuro<sup>1</sup>, Shunta Kimura<sup>2</sup>, Hiroshi Katoh<sup>3</sup>, Yasuko Kimura<sup>4</sup>, Kaori Tomita-Yokotani<sup>2</sup>

1. 東京電機大学理工学部、2. 筑波大学大学院生命環境科学研究科、3. 三重大学、4. 十文字学園女子大学  
1. School of Science and Engineering, Tokyo Denki University, 2. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 3. Mie University, 4. Jumonji University

*Nostoc* 属はネンジュモとも呼ばれるラン藻であり、陸棲の種は乾燥に対し強い耐性を示すことが知られている。特に *Nostoc commune* は乾燥ストレスに対し強い耐性を示し、菌体が乾燥した状態でも長期間生存可能であることが以前から知られている。本実験に用いた菌株 *Nostoc* sp. HK-01 は、乾燥耐性を指標に、陸棲シアノバクテリアの中でも特に乾燥に強い株として新たに陸上から単離された株である。乾燥後にデシケーター内に長期間放置した後でも、液体培地で培養すると乾燥前と同様に増殖を始めることが確認されている。さらに、本菌株は乾燥状態で高い耐熱性（100°C, 10時間）を示すことも報告されており、過酷環境耐性研究の分野でも注目されている。

本研究では、*Nostoc* sp. HK-01 株のこのような高い過酷環境耐性の獲得に関与する遺伝子を明らかにすることを目的とした。そのため、まず本菌体が湿潤状態（液体培養中）から乾燥状態に移行する際に特異的に増加・減少するタンパク質、または乾燥状態から湿潤状態に戻る過程（蘇生）で増加・減少するタンパク質を SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動法を用いて同定することにした。*Nostoc* sp. HK-01 株を液体培地中で十分に増殖させた後に集菌し、デシケーター中で乾燥させた。菌体が十分に乾燥するまでの間、乾燥過程にある菌体を経時的にサンプリングした。次に、2週間以上乾燥させた菌体に液体培地を加え、膨潤させた。乾燥過程と同様に、蘇生過程においても経時的にサンプリングを行った。それぞれサンプリングした菌体は、超音波で破碎し、細胞タンパク質を SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動に供して解析した。その結果、乾燥過程あるいは膨潤過程で特異的に発現量が増加あるいは減少するタンパク質がいくつか確認された。これらのタンパク質は本菌株の過酷環境耐性に関与している可能性がある。

キーワード：シアノバクテリア、乾燥耐性、ストレスタンパク質

Keywords: cyanobacteria, desiccation tolerance, stress protein