

宇宙農業構想の発展

山下雅道、橋本博文、富田-横谷香織、片山直美、矢沢勇樹、武田 弘、三橋 淳、和田秀徳
宇宙農業サロン

Development of Space Agriculture Concept

Masamichi Yamashita, Hirofumi Hashimoto, Kaori Tomita-Yokoyani, Naomi Katayama, Yuuki Yazawa, Hiroshi Takeda, Jun Mitsuhashi, Hidenori Wada and Space Agriculture Task Force
Space_Agri@surc.isas.jaxa.jp

Abstract: Strategy of space life science is discussed based on the long ranged scope of space exploration for astrobiology conducted on extraterrestrial planetary body. Space agriculture enables manned exploration on Mars. Its concept is developed to define the required exploration to survey available on-site resources. Validation of hyperthermophilic aerobic composting bacterial ecology is planned under its exposure to space environment.

Key words: Space Agriculture

宇宙生命科学と宇宙農業の展開

宇宙での生命科学は、太陽系の起源と惑星の形成につづく、生命の起源・進化・適応の過程を、宇宙から地球環境を相対化する視点もくわえることにより、その普遍的な原理を解明する。

宇宙農業を中核として構成される生物・生態系工学は、人類が宇宙空間に進出することを可能にする。閉鎖生態系による生命維持の実証的な研究のすぐれた基盤が日本にあるし、日本の歴史的、文化的な背景に深く根ざした優れた宇宙農業の概念を確立することにより、この分野の研究を世界において主導することができる。地球周回軌道や月面での研究計画を立案し、その実現にむけ準備をすすめている。

惑星生物学は、生命への重力の影響と重力環境への生物の適応・進化、重力感受による細胞・生理機能調節および生物の形態制御の解明、抗重力反応などを研究対象とし、惑星としての地球の環境が、地球生命の進化・適応をどのように支配しているかを、生命の諸階層にわたり明らかにする。放射線生物学のひとつの目的は、宇宙放射線被曝のリスクを判定する。このような惑星生物学があたえる基礎的な知見のうえに、宇宙農業は構築される。

宇宙農業はそもそも、当面する課題として、火星での圏外生物学（アストロバイオロジー）探査を実現するためのエンジニアリングの一つである。したがって、宇宙農業の構想はアストロバイオロジーの要求との整合をはかる必要がある。また、現地でえられる資源をもとにして宇宙農業を実現するには、太陽系探査計画に、アストロバイオロジーとともに宇宙農業の要求を反映させ、宇宙空間への人類の活動舞台の拡大という大きな潮流をすすめる。

宇宙農業の概念とその発展

宇宙農業は、生物・生態学的な要素により、人間の生命活動に必要な物質を再生循環利用し、さらに生活環境を創生して長期・多人数の火星探査ミッションを実現する。火星現地資源を、物質循環のループから脱落する物質・生元素を補充するためにつかたり、宇宙農業の規模を拡大していくのにつか、100%以上の物質再生循環利用を標榜している。具体的には、水、炭酸ガスのほかに、火星レゴリス鉱物に含まれる K, P, Ca, Mg, Fe などの元素である。レゴリスと非可食のバイオマスなどから作成した資材から農業土壌を生成して、土壌微生物生態系のはたらきも援用しながら作物植物を栽培する。排泄物や非可食バイオマスの堆肥化には、高温好気堆肥菌生態系をもちいる。

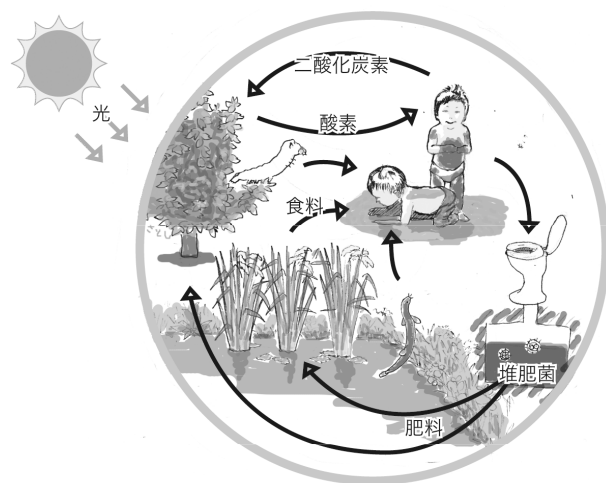


Fig.1 Materials Recycle in Space Agriculture

火星の農業資源探査

火星表層をおおうレゴリスの性状が農業用土壌をつくるのに適合するか、また表面直下に利用できる水が存在するかを確かめるために、火星の資源探査や立地調査を計画して実施する必要がある。

これまでにも、火星隕石の鉱物学的な分析や、火星表面に送られたローバーによる蛍光 X 線による元素分析や表面物質の熱的な性質などからおよその特性は明らかにされている。地球の内部においては、溶融した金属の核とマントルがわかれ、さらにその表層に地殻が分化している。地殻内ではマグマの貫入や熱水のはたらきによりいろいろな鉱物種がつくられる。玄武岩質で覆われる月の海ほどではないにせよ、火星では分化が中程度といえる。火星の表面には粘土鉱物が存在し、石膏、鉄明礬石、炭酸塩などの塩の分布することも知られている。ただし、水を加えたとき火星のレゴリスから農業土壌を生成するシナリオを導くには十分な情報が得られているとはいえない。

宇宙農業は、生命探査対象を地球由来の生物や有機物により汚染しないというアストロバイオロジー探査から要求に従わなければならない。これからの火星探査計画のなかに、宇宙農業を設計し建設していくための調査項目を、科学探査項目にあわせて加えていく必要がある。

宇宙食の設計

火星での食品の構成やその献立については、栄養学的な要求をみだし、限られた空間の有効利用のために収率が高く、栽培に困難のない作物であることを条件にして設計する。コメ、ダイズ、サツマイモ、コマツナなどの緑黄色野菜に、カイコ、ドジョウを動物性食品として塩とともにくわえる食材構成を設計し、栄養学的な要求をみだすそれぞれの食品材料の量比をあきらかにしている。

イネとアカウキクサとドジョウをくみあわせた水田農業は、アカウキクサによる窒素固定やドジョウによるリンなどの肥料成分の攪拌作用が期待できる。食材としてのアカウキクサやドジョウの利用方法についても検討している。東アジアにおける伝統的な献立、たとえばドジョウ、青菜、トーフのスープに米飯といった献立が栄養学的にすぐれたものであることがわかる。

また、食品を単に栄養学的な要求をみだすものとしてとらえるのではなく、健康の増進や食べるよこびといった広い側面からみることもしている。た

例えば、乳酸菌による発酵食品をふくむ機能性食品に注目し、消化管内の細菌叢をととのえるといったプロバイオティクスに着目し、宇宙で健康を維持するための、あたらしい宇宙食・宇宙農業を提案する。

宇宙の食文化ということでは、日本、アジアに限定することなく、アフリカなどひろく世界に目をむけて、それぞれの地域の優れた提案をとりこもうとしている。昆虫食についても、クワの木を栽培しその葉でカイコを飼育するといった、非可食のバイオマス可食の食材へと昆虫により変換するばかりでなく、排泄物などをハエの幼虫の餌として利用し、物質の再生循環利用をさらにすすめる概念も検討している。

高温好気堆肥菌生態系の宇宙環境耐性

宇宙農業構想においては、高温好気堆肥菌生態系により、人間の排泄物や非可食のバイオマスを処理し、生命維持にかかわる物質を再生循環利用する。高温好気堆肥菌生態系は、おおくの細菌種が共生的な関係のもとに生態系を構成している。宇宙放射線などの宇宙環境がこの堆肥菌生態系の菌相とその堆肥化機能に、どのような影響をおよぼすのかについて、実験的に明らかにする計画を検討している。

宇宙環境に曝露された高温好気堆肥菌生態系が、曝露によりどのような影響をうけるのか、あるいは曝露にもかかわらず宇宙農業が要求する機能を与えるのかを判定する。これらは、宇宙農業の開発にとり早期に確証しておくべき事項である。高温好気堆肥菌を活性状態、不活性状態で宇宙環境要素に曝露し、細菌相が曝露によりかわるか、産生する堆肥化関連の酵素が変化するか、総括的な酵素化反応や作物植物や土壌細菌に生理的な影響をおよぼす堆肥化産生化学種などに変化があるかを、総合的に検索する。近年、土壌微生物生態系や腸内細菌叢のように難培養性の微生物を解析しその特性をあきらかにする手法として、メタゲノミクスと総称されるいくつかの手法が発達している。高温好気堆肥菌生態系も、これら手法の格好の対象である。高温好気堆肥菌は高温といった極限環境に適応している菌であり、かりに宇宙環境曝露への耐性が高いことがしめされるならば、生物の極限耐性にかかわる分子細胞生物学的な解明にもつながる。このような地球の菌類に問題がある場合は、腐植土の可溶性成分であるフルボ酸などの有機物を利用した農業体系も研究されている。

このような宇宙農業研究を系統的に組み立てるために、アストロバイオロジーやそのほかの分野で

の研究計画とも、あらかじめ十分に調整したうえで進めることとする。

宇宙農業サロン 論文・解説 (2007 年度)

S. Kanazawa, Y. Ishikawa, K. Tomita-Yokotani, H. Hashimoto, Y. Kitaya, M. Yamashita, M. Nagatomo, T. Oshima, H. Wada and Space Agriculture Task Force; Space agriculture for habitation on Mars with hyper-thermophilic aerobic composting bacteria, *Adv Space Res*, online (2007).

Tairo Oshima, Toshiyuki Moriya, Shinjiro Kanazawa, Masamichi Yamashita; Proposal of hyperthermophilic aerobic composting bacteria and their enzymes for space agriculture, *Biol Sci Space* **21**, (2007) .

山下雅道、片山直美、橋本博文、富田-横谷香織；火星をめざす宇宙農業構想 -日本・アジアからの発信、マイクログラビティ応用学会誌、**24**, 340-347 (2007)

山下雅道；火星で農業、農林水産技術 研究ジャーナル、**31**, 7-9 (2008)

和田秀徳；地球の農業と火星の農業、*Biol Sci Sci*, **21**, (2007)

三橋惇；閉鎖空間での昆虫の利用、*Biol Sci Sci*, **21**, (2007)

矢沢勇樹・齋藤麻衣子・武田弘；地球沙漠と月・火星沙漠の相違点～火星の表層物質と農業的利用の可能性～、*Biol Sci Sci*, **21**, (2007)

発表

Naomi Katayama, Masamichi Yamashita, Yoshiro Kishida, Chung-Chu Liu, Charles Van Hove, Iwao Watanabe, Hidenori Wada, and Space Agriculture Task Force; *Azolla* as a Dish of Space Diet for Habitation on Mars, *Humans in Space Symposium*, Beijing, 2007.

Masamichi Yamashita; Conceptual Study of Space Agriculture for Support of Life on Mars, *Mission to Mars Conference - The African Perspective*, Owerri, 2007

山下雅道、能登谷正浩、野瀬昭博、富田(横谷)香織、橋本博文、北宅善昭；宇宙農業での Na と K の循環、生態工学会年会、岐阜 (2007)

山下雅道；火星 100 人 20 年の宇宙農業構想、機械学会「宇宙サロン」宇宙で生きる：宇宙農業、相模原 (2007)

山下雅道；火星有人探査をささえる宇宙農業 - 初心にかえる宇宙活動と日本の貢献、第 5 回宇宙ミッション・シンポジウム、三鷹 (2007)

山下雅道；火星での宇宙農業の構想、応用物理学会秋季スクール、札幌 (2007)

橋本博文、中山伸、山下雅道、宇宙農業サロン；宇宙農業におけるカイコの低圧飼育、第 51 回宇宙科学技術連合講演会、札幌 (2007)

浅野真希、田村憲司、富田-横谷香織、太田誠一、橋本博文、青木俊夫、和田秀徳、山下雅道、宇宙農業サロン；火星模擬レゴリスを用いたミヤコグ栽培実験-宇宙農業研究における土壌、日本宇宙生物科学会 第 21

回大会 (2007)

新井真由美、富田-横谷香織、佐藤誠吾、橋本博文、大森正之、山下雅道、宇宙農業サロン；藍藻 *Nostoc* sp. HK-01 の火星環境導入による宇宙農業の可能性、日本宇宙生物科学会 第 21 回大会 (2007)

橋本博文、中山伸、山下雅道、宇宙農業サロン；低圧環境におけるカイコの飼育、日本宇宙生物科学会 第 21 回大会 (2007)

岩澤弘子、富田-横谷香織、平石香苗、橋本博文、宮川照男、山下雅道；ソバ・スプラウトの機能性成分の量的変化とその活性 -疑似微小重力環境が与える影響-、日本宇宙生物科学会 第 21 回大会 (2007)

Hirofumi Hashimoto, Masamichi Yamashita, Naomi Katayama; Space Agriculture for Manned Mars Mission, *International Symposium on Application of a Closed Experimental System to Modeling of 14C Transfer in the Environment*, Aomori (2007)

片山直美 宇宙食と宇宙農業、スペースライフ・サイエンス -宇宙生活の科学-、日本宇宙生物科学会 公開講演会 (2007)

山下雅道；ナイジェリアからとのおく火星をあおぎ、そして質量分析、TMS 研究会 2007 年度第 2 回講演会 (2007)

紹介

フジ TV 2007 年 6 月 2 日 (土) FNN スーパーニュース Weekend 塩味野菜「バラフ」

朝日新聞 2007 年 6 月 10 日 日曜ナントカ学 宇宙農業

International Herald Tribune / The Asahi Shimbun, 2007 年 8 月 10 日 Japanese researchers cook up Martian menu for astronauts

JAXAs 2007 年 10 月 016 号 pp.16-17; 人類が火星で暮らす日のために - 地球圏外の極限環境に挑む「宇宙農業」

Discover Magazine, Nov., 2007 The Future of Space Food: Bugs
<http://discovermagazine.com/2007/nov/is-this-the-new-space-food>

Pravda (Russia) : Astronauts may grow and eat bugs during long space missions in future 26.10.2007
http://english.pravda.ru/science/tech/26-10-2007/99605-bugs_space%20-0

Race to Mars: Dinner on Mars: silkworms with a side of sweet potato Oct.16.2007 By: Brian Jackson
<http://www.racetomars.ca/mars/spaceNews.jsp?ID=1443>

<http://www.wienweb.at/content.aspx?menu=13&cid=143114> Astronauten sollen Insekten essen

Dspace 2007.11 vol.1
http://www.mitsubishielectric.co.jp/dspace/column/c0711_1.html 火星で和食。主役は「カイコ」?

山下雅道；ナイジェリアからとのおく火星をあおぐ。ISAS Mail Magazine, 167 (2007.11.27)

山下雅道；ナイジェリアから遠く火星をあおぎ キャッサバを食す、ISAS ニュース、(2008)

宇宙農業サロン web page
http://surc.isas.jaxa.jp/Space_Agriculture/