

## 福島放射能除染と宇宙農業研究

山下雅道 (JAXA 宇宙研)、金澤晋二郎 (九州大学)、大島泰郎 (環境微生物研)、長谷川克也 (JAXA)、富田-横谷香織 (筑波大学)、加藤浩 (三重大学)、ひまわり作戦

### Space Agriculture for Remediation of Fukushima

Masamichi Yamashita\*, Shinjiro Kanazawa, Tairo Oshima, Katsuya Hasegawa, Kaori Tomita-Yokotani, Hiroshi Katoh, Operation Himawari

\*ISAS/JAXA, Sagamihara, Kanagawa 252-5210

E-Mail: yamashita@surc.isas.jaxa.jp

Abstract: Space agriculture is a concept to manage life support functions on distant planetary bodies under their harsh environment. After the nuclear disaster in Fukushima, we proposed bioremediation of land contaminated by radioactive isotopes of cesium. Feasibility of hyperthermophilic aerobic composting bacterial system is examined to reduce volume of plant bodies for safe storage of nuclear wastes. Health risks of the low dosage exposure and their biological mechanism have been intensively studied in space medicine and radiobiology. Such scientific knowledge helps people for their risk assessment.

Key words: Space Agriculture, Remediation

はじめに

宇宙農業の概念は、圏外の天体上で生態系を構成して、物質を再生循環して生命維持の要求をみたし、生活環境を創生するというものである。2011年3月の東北大地震と福島の原子力発電所の事故による放射能汚染に対して、宇宙農業研究成果を活用し福島県民を中心とする方々への貢献ができないものかと2011年春から 次のような活動を実施してきている。

ヒマワリなど植物による放射能除去のメリットの評価

放射能除去作業における放射線被曝リスクの低減・管理

汚染された植物体や農産物の処理・処分の方法提案

低線量放射線被曝などについて宇宙放射線生物学・医学からする理解

植物などによる放射性セシウムの除去

福島の原子力発電所事故により漏れ出て陸上を汚染した放射性核種のうちヨウ素131は半減期が8日と短いために陸上での濃度は急速に減少した。土壤汚染で問題となっているのは、放射壊変してベータ線とガンマ線をだすセシウムの放射性同位体である。セシウムは植物の肥料の一つであるカリウムと化学的な性質が似ている。土壤中のセシウムを根から植物体の中に取り込ませ、それを収穫し処理することで、土壤の浄化や空間線量率の低減が期待される。

宇宙農業研究では、これまでにアルカリ金属であるナトリウムとカリウムの生態系における循環挙動とその制御を中心的な課題の一つとして研究してきた。同じくアルカリ金属であるセシウムの除去に宇

宙農業の成果を活用できないものかと考えた。

植物の根の細胞がカリウムを選択的に取り込むのは、カリウムイオンチャネルから進化したと見られる輸送体タンパクの働きによる。カリウムにイオン半径などよく似たセシウムは、この輸送体タンパクにより植物体に紛れて取り込まれるのかもしれない。ただし、植物の種やさらに同一種でも品種によりセシウムを取り込む能力には差がある。ヒマワリやカラシナ、アマランサスなどでは能力が高いと報告されている。これは、セシウムを選択的に取り込むセシウムイオンチャネルが種や品種により多寡のあることによるものと推定される。

水耕栽培の実験でヒマワリなどのセシウムの取り込み能力が確認されているが、土壤による植物の栽培には複雑な要因が関与する。そのひとつは、土壤のなかでのイオンの吸脱着である。土壤に含まれる粘土鉱物は植物の肥料成分の一つであるカリウムを強く吸着し保持する。カリウムイオンは水分子をその周囲に配位させて水和する。粘土鉱物のケイ酸のつくる微視的なくぼみの縁の酸素原子の配列がイオンの水和構造での酸素原子の配置と似ており、粘土鉱物のその部位にカリウムが選択的に吸着する。この吸着座をカリウムとイオンの大きさが同じくらいのセシウムとがあらそうが、吸着能はカリウムがまさるので、カリウムの濃度が高いとセシウムは吸着しない。

ところで、電子の数はカリウムイオンの18に対してセシウムイオンは54と多い。このため、セシウムイオンと水分子の相互作用は弱いため、水和構造をあまりつぐらない。土のなかに含まれるケイ酸塩粘土鉱物の一つである雲母は層状の構造をしている。雲母鉱物は、水和しないセシウムイオンをちょうど

それと同じ大きさの隙間をもつ層間構造のなかに引きこみ、いったん入るとなかなか出さない。粘土鉱物に加えてフミン酸など腐植物質にもカリウムやセシウムイオンの吸着能があるが、それらによるイオンの吸着の度合いはpHにより変化し、酸性にするとこれらのイオンは溶脱する。土壌中のセシウムが粘土鉱物に強く吸着されて植物の根により吸収できない状態にあると、植物のはたらきによる放射性セシウムの浄化は困難になる。

福島においてヒマワリの数品種を播種して栽培してみると、その品種の限りでは期待したほどにはセシウムを取り込まなかった。イボクサやオオイヌタデ、ヨモギなどのほうがセシウム取り込み能力の高い。

セシウムの取り込みに関与するひとつに、土壌中の生態系がある。土壌中の菌根菌は、植物と共生する。菌根菌は植物に炭素源を依存し、植物は地中にひろくのびる菌糸のたすけで養分を吸収している。キノコは種によってはセシウムを子実体中に高濃度でとりこみ蓄積するのが福島においても見られた。子実体中のセシウム濃度が周囲の土壌・腐植中の濃度より10倍近く高いこともあった。土壌中の微生物や菌根菌などから構成される生態系のはたらきは、植物によるセシウムのとりこみを促進するかもしれない。

#### 放射線被曝リスクの低減・管理

人工放射性物質が管理区域外の広い区域を汚染し、人びとに被曝の危険をあたえている状況がある。植物などによる放射能汚染除去のメリットが確かめられて除洗作業をすすめるにせよ、播種や栽培・収穫などの作業をする者の放射線被曝や、放射性セシウムを取り込んだ植物体から発する放射線への被曝などのリスクを評価・低減し、被曝について管理すべきことを訴えてきた。

宇宙農業では、厳しい放射線環境にある地球圏外の空間や天体上での生活について、どのような対策をほどこしたらよいかについて検討してきた。線量の高い部分での作業には無人化機械を導入したり、生活空間の放射線に対して遮蔽するなどの方策が、福島における対策立案に有効な示唆を与えると期待している。

次項にのべる高温好気堆肥菌による処理の実証試験では、作業中の体外被曝量について計測するのに加えて、作業環境に浮遊する放射性の塵埃を吸引して体内被曝を引き起こすリスクについて、HEPAフィルターを吸気ポンプ・ラインに挿入して塵埃をサンプリングして分析することにより評価している。

#### 汚染植物体・農産物の高温好気堆肥菌による処理

放射性の廃棄物に該当するかもしれない収穫した植物体やそのほかの腐植や雑草をあつめ、安全に貯

蔵するには、貯蔵設備の容量が限られることから、減容化が求められる。

宇宙農業では、代謝産物や非可食のバイオマスを処理するために、生物的に「燃焼」する高温好気堆肥菌システムを研究してきている。これを放射性廃棄物に該当するの実証試験を実施している。減容化には焼却式の設備での処理がひとつの方法であるが、処理中に放射能を外へ漏らさないために、低温燃焼・除煙のでだてが必要である。

高温好気堆肥菌システムによる処理温度は100°Cと低く、放射能の封じ込めにはむいていられるかもしれない。バイオマス中の炭素、水素、酸素分のほとんどは処理により二酸化炭素と水となり、カリウムやセシウム、リンなどミネラル分が固相の残渣にのこる。減容率は植物体の炭素、水素、酸素元素の含量を差し引いた残与の部分割合に近い値となることが期待される。しかし減容化の過程で有機物が脱水して炭素の含有率の高い高分子を生成したり、炭化することもあるので、実現出来る減容率はこれより大きな値になるので、試験により減容率などを調べている。

#### 低線量放射線被曝などについて宇宙放射線生物学・医学からする理解

大気層や磁場により宇宙線が遮蔽されている地表とはことなり、宇宙空間での放射線環境は線量率も高く、また生物影響の大きな高エネルギー重粒子線の割合が高いことを特徴とする。低地球周回軌道（有人の場合400km）では、線量率は地上のおよそ100倍であり、地上での職業被曝の基準（20 mSv/year）を適用することができず、40歳以上でとびはじめの男性宇宙飛行士には生涯1,200mSvの基準が適用される。急性に1,200mSvを被曝すると、吐き気そのほかの確定的な影響がみられ、4,000 mSvでは死亡する率も高い。ところが、低線量率被曝では生体の障害修復能も寄与して、急性に被曝する場合とくらべて被曝影響は軽微であることが明らかにされている。宇宙飛行のメリットと被曝のリスクを比較して、被曝を甘受するかを判定する。

宇宙飛行士の放射線被曝の晩発性の効果については、まだ統計が可能なほどにはなっていない。一方、航空機乗員の数は多く、疫学の対象となる。航空機は高度10kmを飛ぶことが多く、地上の10倍の放射線環境にある。航空機乗員の重篤な固形ガンの発症は一般の対照群と比べて皮膚ガンや乳ガンをのぞくと、少ない。福島の方々は人工放射線被曝のメリットはないので、一般公衆に対する被曝基準を緩和する理由はない。宇宙飛行士や航空機乗員のように検診や健康維持を十分におこなえば、健康を維持できることを福島の方々に訴えている。

科学者の社会的な責務をまっとうしたいと考えている。