

論文内容要旨（和文）

平成 21年度入学 大学院博士後期課程

地球共生圏科学専攻 物理学 分野

氏 名 高橋 裕一



論文題目 A selection of terrestrial species resistant to the cosmic environment. (宇宙環境に強い生物種の選抜)

「生命は地球以外にも存在するのか、ある星の生命は他の星に移動することはできるか？」という問いは古代より問われている根源的な疑問である。

ニコルソン(2006)は微生物が秘めている潜在的な能力で惑星間を移動することができるか検討した。彼は宇宙を移動するステージとして、①生命を宿す惑星から生きた状態で宇宙空間に放出されるステージ、②宇宙環境に耐えての移動するステージ、③目的とする惑星への突入し着陸するステージの3つのステージに分類した。

ここでは②の宇宙環境に耐えて移動するステージを調べる。そのため、日本の「たんぼぼ」、ESAの「Expose-E」とロシアの「Biorisk」などでの実験が国際宇宙ステーション（ISS）の曝露施設で行われている。このような露出実験を行うには、前もって宇宙環境に強い宇宙実験に使用できる生物を選抜しなければならない。

この論文は、国際宇宙ステーション(ISS)の船外の実験施設で行われる曝露実験にふさわしい生物種を選抜することに関係している。我々はその選抜のために地球低軌道（LEO）を模倣した条件で、熱サイクル試験、紫外線照射試験および重粒子線照射試験の3種の試験を実施した。熱サイクル試験は宇宙科学研究所（JAXA）の熱サイクル試験装置を用いて行った。処理条件としては、ISSが地球を一周する時間（90分）に合わせ、80℃から-80℃の間の温度を90分の間隔で変動させた。一部の実験は60℃から-60℃の間の温度を90分の間隔で変動させて行った。紫外線照射試験は、微生物に殺菌効果のある波長である254nmの波長を照射させた。照射量は471mJ/cm²または1413mJ/cm²である。紫外線照射器は我々が使用している機器を用いた。重粒子線照射試験は、放射線医学総合研究所（千葉）のHIMAC(Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)装置を用いた。ヘリウム線のエネルギーは1秒につき150MeV/核子で、流量は 1.2×10^{10} である。炭素線のエネルギーは290MeV/核子で、流量は 2×10^9 である。ヘリウム線と炭素線の吸収線量は、いずれも21Gy、84Gy、168Gyと335Gyである。335Gyの線量は、HIMAC装置が出力できる最大の線量である。これらの線量はLEOで100年から5,000年間に受ける線量である。

結果として、我々はLEOで実験するのにふさわしい対象種：ツブダイダイゴケ（*Caloplaca flavovirescens*）、を選びだすことが出来た。この結果を得るため、我々の目標である最適種を選抜するのに必要な生存確率を求める測定系を確立した。選抜のための対象とした生物は、6種のコケ孢子、3種の真菌の孢子と9種の地衣類である。選抜には、複製能力をみる方法、代謝活性をみる方法、膜の状態をみる方法などがある。この中で、複製能力をみる方法を採用した。その方法としてはコケ孢子では発芽率を、真菌の孢子ではコロニー形成能を、地衣類では菌糸の伸長の度合いをみた。さらに地衣類では、膜が正常かどうかを蛍光色素の取り込みを利用して調べた。生存率について確信を得るために、コケの孢子と数種類の地衣類を同時に同じ条件で処理することで正確な比較を行えるようにした。

得られた結果は、以下の通りである。

- 1) 我々は、9種類の地衣類を調べた。その中の3種は、熱サイクル試験、紫外線照射試験に強い種であった。残りはこれらの処理には強い種ではなかった。
- 2) 重粒子線照射試験は3種の地衣類について行った。熱サイクル試験と紫外線照射試験

験に強い種は重粒子線照射試験にも強かった。

- 3) ツブダイダイゴケは検討した種の中では最も強い種であることがわかった。この種はISSの船外の曝露実験施設では数年間の生存が期待される。
- 4) ヒョウタンゴケは調べた6種のコケの中では最も強い種であったが、地衣類と比べると3種の地衣類のうちで最も弱い種と同等であった。
- 5) 13カ月間のISSでの船外曝露実験施設で曝露したヒョウタンゴケの発芽率は3%であった。同時にISSで曝露した真菌のクラドスポリウムは完全に死滅していた。真菌は、これまでの報告のように強くはなかった。コケ、真菌、地衣類の中では最も弱い生物であった。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成25年2月15日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 柴田 晋平 印
副査 櫻井 敬久 印
副査 横山 潤 印
副査 _____ 印
副査 _____ 印
副査 _____ 印

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 地球共生圏科学専攻
氏 名 高橋 裕一

2. 論文題目（外国語の場合は、その和訳を併記する。）

A selection of terrestrial species resistant to the cosmic
environment. (宇宙環境に強い生物種の選抜)

3. 審査年月日

論文審査 平成25年 1月23日 ～ 平成25年 2月15日
論文公聴会 平成25年 2月15日
場所 理学部地球科学棟2.3番教室
最終試験 平成25年 2月15日

4. 学位論文の審査及び最終試験の結果（「合格」・「不合格」で記入する。）

(1) 学位論文審査 合格
(2) 最終試験 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨（1,200字程度）

別紙のとおり

6. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

別 紙

専 攻 名	地球共生圏科学専攻	氏 名	高橋 裕一
学位論文の審査結果の要旨			
本学位論文は最近急速に発展している宇宙生物学(Astrobiology)に関するものである。地球以外の宇宙のあらゆる天体における生命の存在の可能性、存在するとすればその条件や多様性を科学的に研究出来る時代になり急速に発展している。その中でも本論文は生命の天体間の移動の可能性に関する基礎研究を行っている。 第一章では、課題の解決のために宇宙環境に強い生物種の選抜の重要性が先行研究との関係において述べられている。 第二章では、実際の宇宙環境における実験計画、とくに、国際宇宙ステーションにおける実験の各国の計画について述べられている。また、本研究の位置づけがなされている。 第三章では、国際宇宙ステーションでの暴露実験を想定して物理的に生物がさらされる環境について検討されている。 第四章では、(1)実験対象生物の基礎選定によってコケ、真菌、地衣類から対象生物が選ばれたことが述べられ、(2)宇宙環境を模擬する実験として、真空と温度変化(摂氏+80 度から-80 度の変動を 90 分で繰り返す)、紫外線照射、重粒子線照射を取り上げ、それぞれの実験セットアップに関して述べられ、(3)各環境下における生存率の測定方法の開発について述べられている。 第五章では、実験結果が示され検討されている。以下のことが示されている。(i)コケ胞子、カビ胞子、地衣類の いずれでも3種の処理に強い種と弱い種があった、(ii)最も強い種はコケではツブダイダイゴケ、カビではクラドスポリウム胞子、地衣類ではツブダイダイゴケであった、(iii)今回検討した中では地衣類のツブダイダイゴケが最も強かった、(iv)熱サイクル・真空(乾燥)処理に強い種はUV および重粒子線処理にも強かった、逆に弱い種はいずれの処理にも弱かった、(v)±80 度に 13 ケ月曝露した場合の生存率予想値は、ツブダイダイゴケで 5×10^{-8}、ツブダイダイゴケで5%であった。 第六章では、結果のまとめと議論をしているが、さらに予定より早く実現した国際宇宙ステーションのロシア棟における暴露実験の結果もしめされている。13ヶ月の暴露でヒョウタンゴケは19.5%の高い生存率をしめし、真空(乾燥)に対して高い耐性を持つことが宇宙における実験で示されたことは意義深い。 以上の成果は、Takahashi Y., Hashimoto H., Nakagawa T., & Shibata S., 2011, Biological Science in Space, 25, 83-92 として出版され、さらに、Takahashi Y., Shibata S., Yokoyama J., Hashimoto H., & Yokobori S., 2012 として Biological Science in Space 誌に投稿済みである。 本論文で開発された実験方法および明らかにされたことは宇宙生物学をはじめ、人類にとって新しく重要な知見であり本論文は博士の学位に値するものと判断される。よって、学位論文の審査結果を合格とする。			
最終試験の結果の要旨			
学位論文を中心とし、関連ある科目について口頭試問により最終試験を行った。その結果、物理学(特に宇宙線、紫外線に関する項目)、宇宙物理学(特に、星の進化、宇宙の構造、宇宙環境、天体の軌道などに関する項目)、および生物学(特に、生命現象に関する基礎的理解、分類や進化に関する項目)に関する基礎的応用的知識、さらに実験の技能および知識は十分であり、また、研究者として共同研究する力においても優れた能力を示した。 従って、最終試験は合格と判断する。			