

宇宙を旅した箒スギ種子の育苗記録

藤澤 示弘*・齋藤 央嗣**

Seedling raising records of “Houki-sugi” seeds which did a space trip

Tokihiro FUJISAWA*, Hiroshi SAITOH**

要 旨

藤澤示弘・齋藤央嗣：宇宙を旅した箒スギ種子の育苗記録 神自環保セ報 6 :73-79, 2009 2005 年 7 月にスペースシャトル「ディスカバリー号」で野口聡一宇宙飛行士とともに宇宙飛行したスギ種子(天然記念物、箒スギ)の発芽試験を行った。その結果、通常の発芽試験手法を用いた場合は、ほとんどの種子が発芽せず、発芽してもその後の成長が停止し、無菌発芽区の 1 本のみが発芽後も成長を継続した。しかし成長が遅く、幹にねじれが見られるなど形態的な異常が認められた。発芽率が低く成長しなかったこと、成長が遅く幹の形態異常の原因として、宇宙飛行前後の種子保管温度が不適であったことと、宇宙飛行中に浴びた宇宙放射線による影響が考えられた。

キーワード：スギ，種子，スペースシャトル，無菌発芽，宇宙線，重イオンビーム

はじめに

2005 年 7 月に神奈川県出身の野口聡一宇宙飛行士がアメリカ航空宇宙局 (NASA) のスペースシャトル「ディスカバリー号」で 14 日間宇宙飛行を行った。その際、神奈川県では科学技術に対する理解増進を図るため、公式飛行記念品 (OFK : Official Flight Kit) として、国指定天然記念物のスギ (*Cryptomeria japonica*) である箒スギ (ほうきすぎ : 神奈川県足柄上郡山北町中川、幹廻り約 12 m、根廻り約 18m、高さ約 45m、推定樹齢約 2000 年、1934 年天然記念物指定、写真 1) の種子を野口飛行士とともに宇宙飛行させた。

宇宙環境における植物種子の受ける影響についての調査事例は、これまでにトマト (菊山, 1993)、オオムギ (杉本, 2006)、トウモロコシ (長岡, 1993) 等により宇宙放射線による細胞死、奇形、突然変異の誘発などが解析されている (高沖, 2005)。しかし、スギについては、ヤクスギ種子の事例しかない (鹿児島県林業試験場, 2003)。

そこで、今回 OFK としてディスカバリー号に

搭載された箒スギ種子の発芽試験及び育苗試験を行ったところ、発芽率の低下や伸長の停止、苗の変異が見られ、宇宙放射線の影響も考察されたので、その結果を報告する。

材料と方法

1 材料

今回の OFK の選定にあたり、旗やペナントなどは過去に多くの機関の記念品として宇宙飛行をしているため、これらとは異なる神奈川にしかないものの要望があり、樹木の種子が候補となった。神奈川県に自生している樹種 444 種のうち、高木種で寿命が長く、乾燥が容易で真空パック保存が可能な樹種として、針葉樹はスギ、モミ、広葉樹はケヤキが候補となった。この中で、県内で最長寿の樹木であり、天然記念物に指定されている箒スギが選定された (神奈川県林務課, 2001 神奈川県政策課, 2006)。

供試した種子は、箒スギから 2001 年 11 月に採取した。採種にあたっては、球果のついた小枝ご

* 神奈川県自然環境保全センター研究部 (〒243-0121 神奈川県厚木市七沢 657)

** 神奈川県環境農政部森林課 (〒231-8588 神奈川県横浜市中区日本大通 1)

と採取し、球果を天日で乾燥し種子を精選した。採種時の発芽率は25%、1g当粒数は187粒であった。

種子は採種後に乾燥調整後、冷蔵(5℃)で保存した。2002年12月に保管した種子のうち、目視で充実していると見られる種子を選定し、真空パックに密封してNASAへ送付した。しかし、2003年2月のスペースシャトル・コロンビア号の事故により、2003年3月に予定されていた飛行も含め以降のシャトル打ち上げが延期になった。このため、冷蔵保存していた予備種子を2004年8月に発芽検定後、野口飛行士の飛行半年前の2005年1月にNASAへ再送付した。なお、再送付した種子量は約11g(約3,000粒)、送付前の発芽検定結果は11%(供試粒数300粒)、送付方法は真空パック梱包の上、送付した。送付種子はNASAにて梱包されてディスカバリー号に搭載され、2005年7月26日から8月9日の14日間、野口飛行士とともに高度約300kmの低周回軌道を飛行した(宇宙航空研究開発機構, 2005)。2005年8月9日にディスカバリー号が帰還後、2005年10月21日にNASAより自然環境保全センターへ返還された種子は、冷蔵庫で5℃保存後順次供試した(写真2)。

2 発芽試験区

試験区は通常発芽区、カビ防止剤区、無菌発芽区の3区を設定した。

(1)通常発芽区

発芽率検査は、常法(林業試験場, 1969)によった。ただし通常100粒の種子について4反復(計400粒)行うが、3反復(計300粒)で実施し、その平均値を発芽率とした。すなわち、直径9cmの滅菌プラスチックシャーレ(IWAKI製 SH90-20)に水道水で湿らせたろ紙(東洋濾紙株式会社製定性濾紙 ADVANTEC FILTER PEPPER №2 85mm)を3枚敷き、その上に種子をまいて23のインキュベータ内に設置し約1ヶ月間観察した。

(2)カビ防止剤区

前述した通常発芽区の方法のうち、水道水に替

えてカビ防止剤(ベンレート殺菌剤 0.2%液)を使用し、他は通常発芽区と同様の方法を用いた。

(3)無菌発芽区

種子表面を殺菌後、無菌的に発芽育苗を試みた。本手法はカビ防止剤を使用しなくとも病原菌の影響を完全に排除できる。したがって、成長が遅い苗でも病害による枯損の恐れがなく、カビ防止剤による発芽やその後の成長に与える影響がない手法である。

無菌発芽は、種子の表面殺菌 → 素寒天培地上に播種 → 室温培養 → 根系と子葉生育確認 → 順化 の流れで行った。まず石井(1989)の手法を参考に採種園産の一般スギ種子を用いて予備試験を行い、最適殺菌条件を求めた。2006年1月30日に、筭スギ種子約400粒の表面殺菌と播種を行った。手順は次のとおりである。

種子を流水で良く洗浄 → 以降の操作は全てクリーンベンチ(無菌箱)内で実施

70%エタノールを入れた滅菌100ml ガラスビーカーに種子を入れ、マグネチックスターラで攪拌処理(2分間)

滅菌濾紙をセットした滅菌ガラスロートにかけ、滅菌水を流し込み滅菌棒で攪拌

種子を滅菌ガラスビーカー内の10%過酸化水素水に入れ、攪拌(2分間)

滅菌濾紙をセットした滅菌ガラスロートに掛けて、滅菌水を流し込み滅菌棒で攪拌

滅菌水がなくなったら再び滅菌水を注いで攪拌、これを3回繰り返す

滅菌濾紙を敷いた滅菌9cm ガラスシャーレに種子を入れクリーンベンチ内にて風乾1時間

0.5%素寒天平板培地を分注した直径9cm 滅菌プラスチックシャーレ20枚に各20粒を播種、室内培養(写真3)

発芽種子は新しい素寒天平板培地へ移植し、子葉伸長するまで室内培養(写真4)

発芽した種子は子葉伸長確認後にシャーレから取り出し、滅菌処理した水苔を固く詰めた黒ビニールポット(直径10.5cm)に植え付けた(写真5)。

ポットは自然環境保全センター内植物育成室にて、温度 16～20℃、相対湿度 70%、照度 5000lux(16hr 日長) の条件で約 2 ヶ月間順化を行った。

結果

1 通常発芽区

数粒の種子については、種皮をわずかに膨潤させて幼根を覗かせたが、すぐに伸長を停止し、その後は伸長せず、正常な発芽が得られなかった(写真 6)。また、播種してから発根するまでの期間は通常 10～20 日間程度であるが、供試種子は発根開始が遅いものが多く、30 日以上かかった種子も見受けられた。結局健全個体の発芽は認められなかった(表 1)。また、試験中に著しいカビの影響が認められた。

2 カビ防止剤区

通常発芽区と同じく、数粒の種子については種皮をわずかに膨潤させて幼根を覗かせたが、その後伸長を停止し、結局正常な発芽に至った種子はなかった(表 1)。

3 無菌発芽区

無菌播種した 406 粒のうち 6 粒が幼根を覗かせたが、うち 4 粒はその後伸長を停止した。残り 2 粒については子葉伸長まで至ったが、うち 1 粒はその後の成長が極端に遅く、約 4 ヶ月後にはカビ被害により枯死した。残り 1 粒については成長を継続し、順化終了後の 2006 年 4 月 20 日にはガラス温室内の育苗施設へ移動可能になるまで成長した(写真 7)。2007 年 12 月には苗畑へ定植した結果、2009 年 1 月現在、苗高約 2m にまで成長した(写真 8)。試験区別の発芽率は表 1、無菌発芽区の処理の経過は表 2 のとおりである。

表 1 試験区別の発芽率

試験区	通常発芽区	カビ防止剤区	無菌発芽区
供試種子粒数	300	300	406
播種年月日	2005/11/25	2005/11/25	2006/1/30
発芽粒数	0	0	2
発芽率(%)	0	0	0.5

表 2 無菌播種後成長した苗木の経過

年月日	内容
2006/1/30	表面殺菌、播種
2006/2/15	発根
2006/2/23	滅菌水苔ポットへ移植、植物育成室へ
2006/3/15	種皮除去処理後、植物育成室で育苗
2006/4/20	ポットを温室へ移動、隔日自動散水、週 1 回液肥施肥
2006/7/10	苗高約 8cm、根元径約 2mm に生長
2007/4/16	苗を 8 号鉢へ移植、温室内で引き続き育苗
2007/7/1	苗高約 50cm、根元径約 6mm に生長
2007/10/24	苗高約 70cm に生長
2007/12/13	苗畑へ定植
2009/2/3	苗高約 200cm、根本径 36mm、胸高直径 1cm、枝張約 110cm

考察

スギ種子の発芽率は通常 0.6～69.4%、平均 27% であり(浅川ら, 1981)、今回供試した種子の発芽率を NASA 送付前に計測したところ 11% であった。しかし、宇宙飛行後に返還された種子の発芽率は約 0.5%、得苗率は約 0.25% と極端に低かった。その理由の一つとして、種子の移送時や NASA における保管期間中に望ましい保管状況を維持できなかった可能性が考えられる。スギ種子を室内に放置すると一夏で発芽力はほとんど失われる(浅川ら, 1981)。本来スギ種子は低温・低湿度で保管されるべきものであるが、NASA への移送時や NASA 保管中は、常温下に置かれ種子保存に適した状態を維持できなかったために発芽率が低下したと考えられた。特に NASA のスペースシャトル発射場であるケネディ宇宙センターは、気候の温暖なアメリカ合衆国フロリダ州ケープカナベラルにあり、密封はされているものの、厳しい温度条件下に置かれたと推定される。

また、発芽率の低下と発根開始が遅く、さらに、一旦発芽してもその後の成長が著しく遅い現象が見られた原因としては、宇宙放射線の影響が考えられる。宇宙放射線が生物に与える影響としては、直接又は間接的に遺伝子 DNA に鎖切断や塩基損傷を生じさせることから始まり、突然変異や染色体異常をもたらす可能性がある(大西, 2004)。スペースシャトルと同軌道を飛行する国際宇宙ステーション(ISS)の内部では、宇宙放射線量は 1 日あたり約 1mSv と概算されており、この値は地表の約 1,000 倍に相当する(大西,

2004)。宇宙放射線に含まれる高LET (linear energy transfer: 線エネルギー付与) 放射線 (α 線、重粒子線、中性子線など) は、 X 線や γ 線に比べて生物影響の「めやす」を表すRBE (relative biological effectiveness: 相対的生物効果比) が高い(大西, 2004) とされている。

こうした宇宙放射線のスギに対する発芽率の影響について、2000年にスギ(ヤクスギ)種子が毛利衛宇宙飛行士とともにスペースシャトル「エンデバー号」で宇宙飛行した事例がある(鹿児島県林業試験場, 2003)。NASAから返還後に発芽試験を実施した結果、ヤクスギの平均発芽率 4.3% に対して、宇宙飛行したヤクスギ種子の発芽率は 0.5~2.5% で大幅に低下した。この報告では発芽率のみで、伸長の停止の考察はない。今回は無菌処理区のうち 1% が伸長を停止している。長期の保管温度の影響とあわせて、宇宙飛行中に種子が何らかの影響を受けた可能性がある。したがって、供試種子が 14 日間の宇宙飛行中に浴びた宇宙放射線により何らかの影響を受けたために、発芽率低下と成長遅延現象が発生したと考えられた。

現在成長を継続している苗木は、播種後半年経過した時点での大きさが苗高約 8cm、根元径約 2mm であり、同時期に同様の方法で播種した普通のスギ苗の苗高約 16cm、根元径約 3mm に比較して成長が遅かった(写真 9)。さらに、幹の一部がねじれて成長しており(写真 10)、成長点組織の一部が異常を来していると推察される(平, 私信)。宇宙放射線は、前述したとおり、生物に突然変異や染色体異常をもたらす可能性がある。宇宙機内では宇宙放射線が機体等にあたって発生する二次放射線も加わる(高沖, 2005)。さらに、宇宙放射線の中でも重粒子線(重イオンビーム)は効率よく突然変異体を誘発することから、その特性を利用した植物の新品種開発が既に実用化されている(田中, 2003)。このため、形態の異常、成長の遅延は宇宙放射線の影響が考察される。

これまでの宇宙環境が草本種子に与える影響の調査結果については、トマトで 2 群のうち 1 群に

ついて発芽率低下とその後枯死した事例(宇宙航空研究開発機構, 2008)や、トウモロコシに比べてダイズがより放射線に敏感であるとの報告(長岡, 1993)がある。一方、オオムギについては発芽率は 100% であり栽培にも成功している(杉本, 2006)。植物種間で結果に差異がある理由は、植物種により生物的感受度が異なるためと考えられている(長岡, 1993)。

今回の試験結果により、宇宙放射線は樹木であるスギ種子についてもトマトやダイズ種子と同様の影響を与える可能性があり、さらに今回新たに成長過程での異常が認められたことから、宇宙放射線は発芽率低下のみではなく、その後の成長速度や形態にも影響がある可能性がある。

今後は育苗に成功した個体の形態変化を継続観察するとともに、当該個体の挿し木クローンにも形態変異が認められるかについても調査する予定である。

おわりに

宇宙を旅した筈スギ種子の一部は、子どもたちに宇宙へのあこがれや科学技術に対する興味を持つ機会と、科学の楽しさを体験する場を提供し、科学技術に対する理解増進を図ることを目的として、2006年7月から神奈川県立青少年センター並びに野口宇宙飛行士の母校である茅ヶ崎市立浜須賀中学校に展示されている(写真 11)。また、得られた実生苗の正常な枝からは差し穂を採種して挿し木苗を増殖中である(写真 12)。増殖後の苗は植樹行事等に利用していただき、県民の方々に「宇宙を旅した筈スギ」を広くそして永く見ていただくことで、科学に興味を持つ「きっかけ」づくりとして活用される予定である(神奈川県政策課, 2006)。この苗木には、宇宙空間の厳しさが刻まれており、野口宇宙飛行士の功績を後生に伝えらるとともに、科学技術の振興に役立てば幸いである。

謝辞

筈スギ種子の OFK 選定から返還にあたり、神

奈川県企画部科学技術振興課（現政策部総合政策課科学技術・大学連携室）の皆様には多大なご助力をいただきました。種子の採種にあたっては文化庁及び山北町教育委員会の許可をいただきました。報告にあたっては、元新潟大学教授 平英彰氏に重イオンビームがスギ種子に与える影響について示唆に富むご意見をいただきました。発芽試験及び育苗の実施及びとりまとめにあたっては、自然環境保全センター研究部の皆様にご協力をいただきました。

ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- （独）宇宙航空研究開発機構（2005）野口宇宙飛行士搭乗スペースシャトルミッション STS-114 プレスキット Rev.B：1-3．
- （独）宇宙航空研究開発機構（2008）宇宙科学研究本部宇宙農業通信 39，神奈川．
- 浅川澄彦・勝田証・横山敏孝・小林義雄（1981）スギ属 90-101 .日本の樹木種子 針葉樹編．浅川澄彦・勝田証・横山敏孝編，150pp，林木育種協会，東京．
- 石井克明（1989）林木の種苗増殖の実際 6 ヒノキ．85-87．最新バイオテクノロジー全書 6 木本植物の増殖と育種．最新バイオテクノロジー全書編集委員会編，269pp，農業図書，東京．
- 鹿児島県林業試験場（2003）宇宙ヤクスギ発芽・育苗試験．鹿児島県林業試験場業務報告 51：39-40．
- 神奈川県林務課（2001）野口宇宙飛行士に託す神奈川の樹木の種子の選定について．神奈川県林務課
- 神奈川県政策課（2006）記者発表資料 野口宇宙飛行士と宇宙を旅した「筍（ほうき）スギの種」を公開，神奈川県企画部．
- 菊山紀彦（1993）有人宇宙活動と放射線．放計協ニュース 12．
- 長岡俊治（1993）宇宙放射線の生物影響の検討と宇宙飛行士の放射線防御対策の開発，宇宙航空研究開発機構ふわっと 92 宇宙実験成果報告，361-388．
- 大西武雄（2004）宇宙放射線の生物影響研究．ヒューマンサイエンス 15：26-31．
- 林業試験場（1969）林木種子の検査方法細則．林業試験場，東京．
- 杉本学（2006）宇宙空間でのオオムギ種子の発芽実験について 岡山大学平成 18 年 9 月定例記者発表資料．
- 高沖宗夫（2005）主要な宇宙実験成果 ライフサイエンス分野 .1-9 .我が国の宇宙実験 - 成果と教訓 - ．井口洋夫監修，403pp，宇宙航空研究開発機構，東京．
- 田中淳（2003）イオンビーム育種技術の開発と特徴．放射線と産業 99：4-10．



写真1 筈スギ



写真2 NASA から返還された OFK 種子



写真3 無菌播種状況



写真4 発根後素寒天培地へ移動した種子



写真5 水苔ポットへ移植した子葉の伸長した苗



写真6 発根後に伸長停止する種子(矢印)



写真7 順化後、温室内での育苗状況（手前）



写真8 定植した箒スギ実生苗(3年生)



写真9 左：通常スギ実生 右：箒スギ実生
(左の通常スギは同一時期に播種したが1ポット当たり3本植栽)



写真10 幹のねじれ状況(矢印)



写真11 種子の展示の状況
(県立青少年センター)



写真12 宇宙を旅した箒スギ実生の挿し木苗
(写真前列)