

令和 2 年 12 月 2 日

福島県内でみられる被ばく線量に応じて発生する アカマツの形態異常の発生メカニズムに迫る研究成果

日本学術振興会（JSPS）とロシア基礎科学財団（RFBR）による日露二国間交流事業において、本学環境放射能研究所 ヴァシル・ヨシェンコ教授を代表とする研究チーム（ロシア側代表：ロシア農業放射線生態学研究所 ゲラスキン教授）は、福島県内で異なる線量の放射線を長期的に浴びたアカマツの幼木を対象に、葉の形態、染色体異常の頻度、植物ホルモン濃度を分析しました。

その結果、形態異常（頂芽優勢の消失）は、放射線影響によって、頂芽分裂組織中の複数の植物ホルモンのバランスが変化したために起きたと考えられるものでした。

■ 本論文の背景

ヨシェンコ教授らは 2014 年から 2018 年までの研究で、帰還困難区域内に 4 つのアカマツの幼木の調査区と、本学構内に対照区を設置し、外部被ばく（空間線量を測定）とアカマツに取り込まれた放射性セシウムによる内部被ばく（樹木の放射性セシウム濃度から計算）を考慮して、アカマツの被ばく量と形態を評価しました。その結果、被ばく線量が高いほど形態異常の発生率が高いことを確認しました。2019 年より、調査区と対照区で同様に被ばく線量と形態異常の割合を調査したところ、被ばく線量は対照区の 1 時間あたり 0.25 マイクログレイから帰還困難区域内の 1 時間あたり約 7 マイクログレイまで様々でした（図 1）。さらに各区において正常な形態、形態異常、形態異常から回復の 3 つのグループに分類し（図 2）、各グループにおいて 3-4 本を継続調査しました。

■ 本論文のポイント

- 長期被ばくにより、葉の形態には大きな影響はない一方、壊死の発生率が増加することが判明

アカマツでは 2 枚の葉が一組になっており通常同じ長さですが、汚染や放射線といった環境中のストレス要因で長さが異なる可能性があります。調査区では、葉の長さの差異指標値が、放射線量とともにわずかに増加することを確認しました（図 3a）。この結果は先行研究の結果とも一致するものです。一方、被ばく量と葉の長さや重さの間にははっきりとした関係は認められませんでした。同時に、高い線量の調査区では、葉に重大な損傷を受けたアカマツの割合が増加する傾向があることを確認しました（図 3b）。

➤ **細胞遺伝学的変異と長期被ばくに相関関係を確認**

放射線により細胞遺伝学的変異（染色体の切断や架橋などの染色体異常）が起こります。本研究により、そうした変異の頻度が線量に比例することが分かりました（図 4）。興味深いことに、染色体異常の頻度は、正常な形態、形態異常、形態異常から回復の 3 つのグループ間では大きく異なりませんでした。つまり、染色体異常は形態異常の直接的な原因ではなく、被ばく線量の指標になるということです。細胞遺伝学的変異が果たす役割の解明にはさらなる研究が必要です。

➤ **長期被ばくが植物ホルモンバランスに強く影響することが判明**

植物ホルモンは、ストレス反応など植物の発達に関するあらゆる要素を制御する重要な物質ですが、本論文では、長期被ばくがアカマツの葉における主な植物ホルモンの濃度を変化させることを初めて明らかにしました。特に、オーキシン濃度は対照区の正常グループで最も高く、帰還困難区域の調査区のアカマツや、形態異常のグループでは、濃度が低いことを確認しました（図 5a）。オーキシンは頂芽優勢を維持するのに必要なホルモンと考えられており、オーキシン濃度の低下により、形態異常が増加すると説明できます。同様に、幹の伸長を促進する植物ホルモンであるジベレリン濃度が線量の増加に伴い低下することが分かりました（図 5b）。ジベレリン濃度の低下により、高い線量の調査区ではアカマツの成長が抑制された可能性があります。

今後の研究では、植物ホルモンとそれらのバランスが頂芽優勢の消失や回復に果たす役割をさらに明らかにしたいと考えています。

【掲載誌・論文】

- 掲載誌: *Science of the Total Environment*
- 論文タイトル: “Multifaceted effects of chronic radiation exposure in Japanese red pines from Fukushima prefecture”
- 著者: Stanislav Geras'kin^{1*}, Vasyi Yoschenko², Sofia Bitarishvili¹, Ekaterina Makarenko¹, Denis Vasiliev¹, Alexandr Prazyan¹, Maria Lychenkova¹, Kenji Nanba²
- 1: Russian Institute of Radiology and Agroecology / ロシア農業放射線生態学研究所
- 2: 福島大学環境放射能研究所
- *Corresponding author: stgeraskin@gmail.com
- 論文 URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142946>
- 公開日: 2020 年 10 月 14 日付

※本研究は JSPS-RFBR 二国間交流事業 JPJSBP120194806 による支援を受けたものです。

(お問い合わせ先)

環境放射能研究所 教授 ヴァシル・ヨシエンコ

電 話 : 024-504-2724 メール : r705@ipc.fukushima-u.ac.jp

所長 難波謙二

電 話 : 024-548-8273, 024-504-2720

メール : nanba@sss.fukushima-u.ac.jp

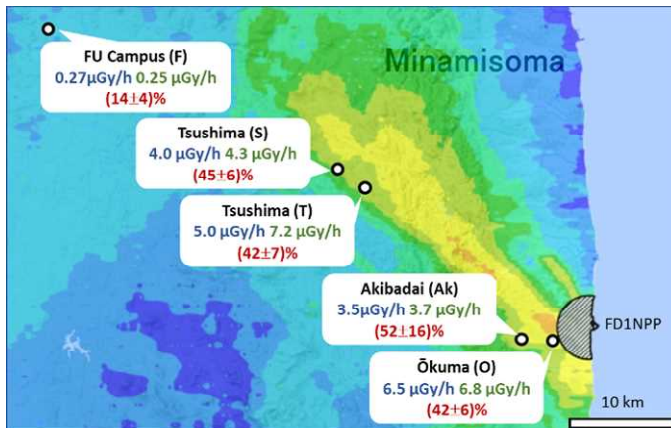


図 1. 調査区の場合と、出葉後 2 年目の葉と若芽の平均被ばく線量、および形態異常の割合。

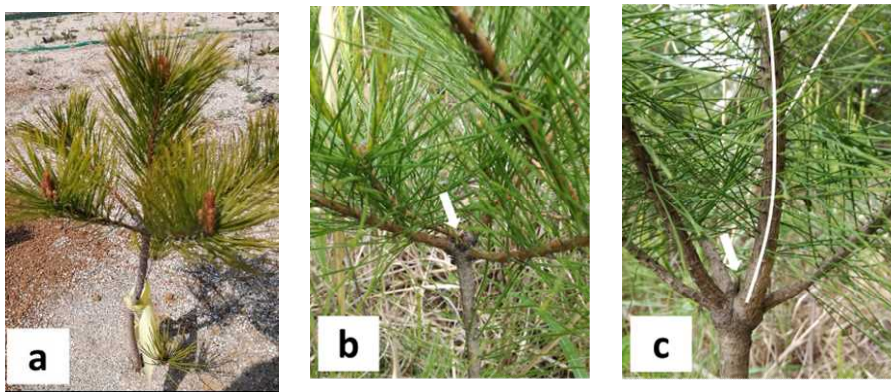


図 2. アカマツの発達における (a) 正常な形態、(b) 形態異常（頂芽優勢の消失）、(c) 形態異常からの回復。(b) の白い矢印は伸長しなかった頂芽を示し、頂芽優勢の消失となっている。(c) では、側枝の一本が幹となり、頂芽優勢が回復している。

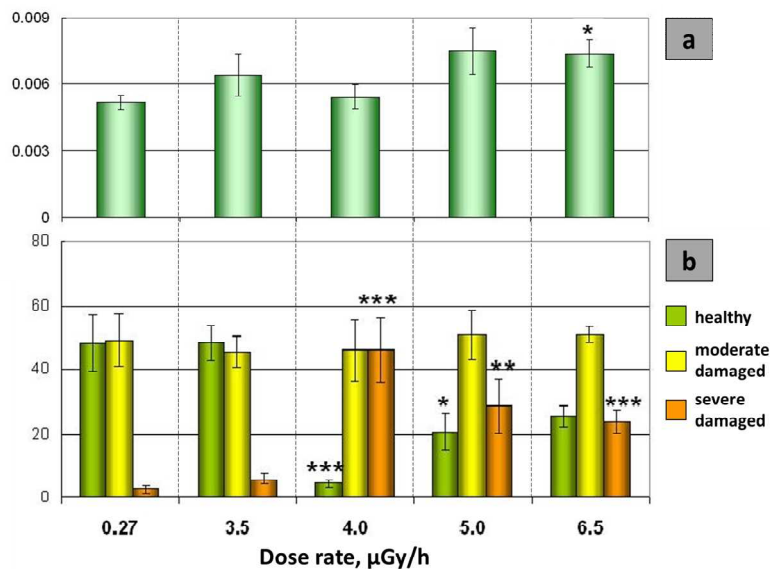


図 3. 調査区における (a) 葉の長さの差異指標値、(b) 損傷を受けた葉の割合

*:95%以上、**:99%以上、***:99.9%以上の確率で、統計的に有意な差であることを示す。

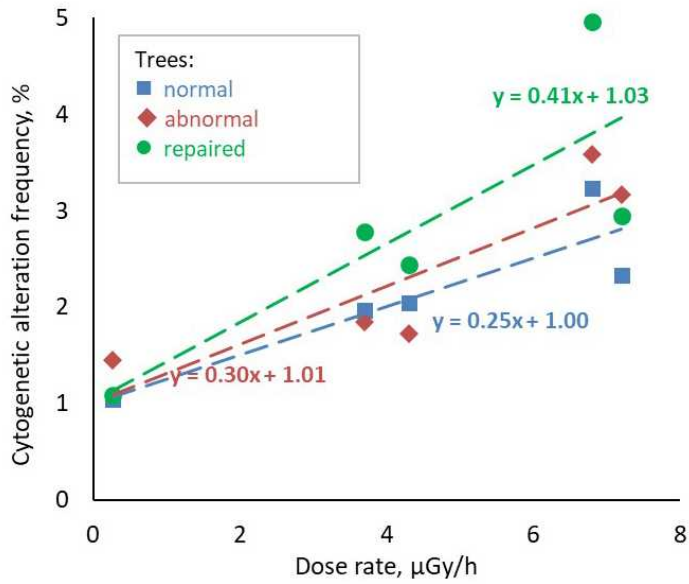


図 4. 細胞遺伝学的変異の発生率の被ばく線量による変化

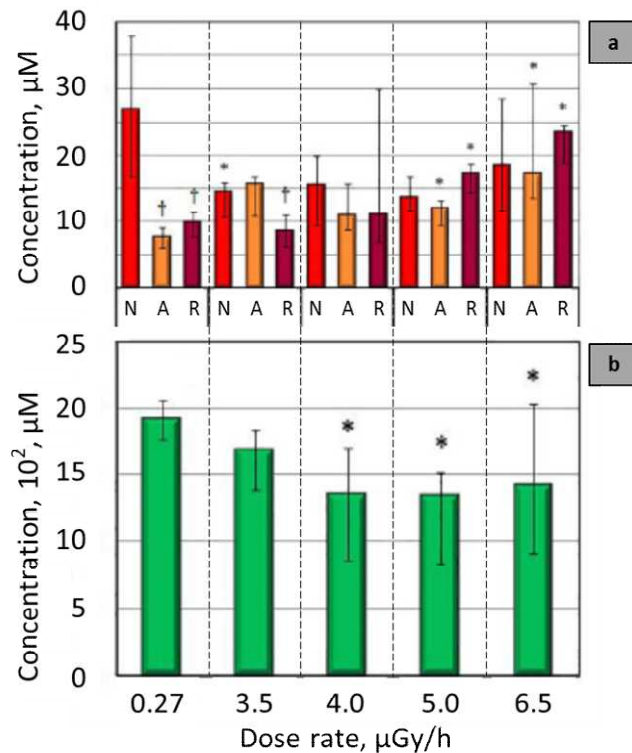


図 5. アカマツの葉における (a) オーキシシン (b) ジベレリン濃度。N、A、R はそれぞれ、正常な形態、形態異常（頂芽優勢の消失）、形態異常からの回復、の 3 グループを示す。
 , +: 対照区 () または正常グループ (+) と 95% 以上の確率で統計的に有意な差であることを示す。