



## 低線量放射線被ばくの遺伝影響調査 —スギとサクラを対象としたDNA塩基配列のゲノムワイド研究—



東日本大震災と原子力発電所の事故から10年以上たったけど、発電所の事故が生き物に与えた影響ってわかっているのかな？



2011年3月に起きた福島第一原子力発電所の事故による放射性物質の拡散で、周辺地域で通常よりも高い放射線量が計測されているよ。そして、多くの植物には影響が観られない一方で、モミの木やアカマツなどの針葉樹で、通常と異なる枝ぶりが観察されるといった報告があるよ。



確かに、植物が放射線被ばくの影響を受けることは、様々な実験を通じて明らかになっているよ。ただし、その影響の度合いについては、その世代限りの影響である場合と、何世代にも渡って残る影響とでは全然違うから、慎重に区別して説明しないといけないよ。



放射線をあびた世代の影響も大変だけど、世代を超える影響があったら、問題がもっと長引きちゃうもんね。



植物は種子という形で次世代に遺伝子を引き継ぐよね？ もし本体に放射線による遺伝子の突然変異があったとしても、それが種子に引き継がれるかどうかはまた別の話であり、だからこそ区別して話をしないといけない、ということになるよ。

本ファイルは自由にダウンロード、印刷、再配布できますが、改変は禁止します。(CC BY-NC-ND 4.0)



例えば、様々な実験で使われており、比較対象として分かりやすい「シロイヌナズナ」の場合、かなりの量の放射線を当てないと突然変異が顕著に増大しないことと、種子に影響が出るには、種子が生産される生殖成長期に受けた影響が一番大きいことが明らかになっているよ。



その研究については聞いたことあるよ!!  
遺伝子の突然変異の影響は、良くわからないうって聞くことが多かったから、びっくりしたの。ちゃんと調べられるんだね(参考文献)。



そうなんだ。どんな生き物でもっていうわけではないんだけど、シロイヌナズナでは、新しい突然変異の発生や放射線被ばくした時にどれくらい修復されるかなど、かなりわかってきているよ。



それらの研究に基づいて考えれば、福島県内で放射線量の高い帰還困難区域であっても、実験で当てられた放射線量より相当小さな値であることが分かっているよ。ということは、この実験から見限りでは、野生環境で次世代に引き継がれるような影響が現れる可能性は低いと推定することができるよ。



それならひとまずは安心ってことかな。  
放射性物質の汚染の影響がこれからもずっと続いていくのは嫌だもんね。



とはいえ、制御された環境の実験室と、制御されていない野生では、条件が異なるという問題は避けられないよ。ほとんど同じ結果が出る可能性が高いとはいえ、本当にそうなのかは調べてみないと分からないところがあるよ。



そして何よりも、「帰還困難区域の樹木に突然変異の上昇は本当に無いのか？」と質問をされたら、そこは実験室での実験結果をあれこれこねくり回すより、野生環境で調査した結果を出した方がすっきり分かりやすく説明できるよね？



それは確かにそう思う。大丈夫なはずって言われても、現地の実際のデータで確認できた方が安心できるよね。



ということで、森林総合研究所と福島大学の研究チームは、帰還困難区域や、比較のためにそれ以外の地域に生息する「スギ」と「ソメイヨシノ」について、母樹（つまり樹木本体）と、そこに成っている種子の塩基配列の違いを大量に調べ、新しい突然変異の数や頻度を調べてみたよ。



ところでなぜスギとソメイヨシノなのかというと、以下の理由だよ。まずスギは、比較的低い放射線量でも形態が変化しやすいとされる針葉樹の仲間だよ。だから放射線の影響を受けやすい可能性が高いね。さらに長年いろんな研究がされているので、過去のノウハウを元に研究がしやすいという理由があるよ。



これまでの放射線についての研究やスギについてのいろんな研究が、今回の研究で役に立っているんだね。



ソメイヨシノは、全ての個体が挿し木などで増やされた同じ個体（＝クローン）であるという点が利点だよ。例えばスギのような普通の樹の場合、個体ごとに遺伝子が違うから、他の個体と突然変異などの比較をする時に、この違いを考慮しないとイケないよ。



しかし、ソメイヨシノはクローンなので、個体ごとの遺伝子の差はほとんどないから、違いの考慮が不要という利点があるよ！また、異なる放射線量や地点で採集した場合、個体は同一であるという点から、同じ強さの放射線量は同じ影響を与えると仮定することができるよ。



ソメイヨシノはお馴染みのサクラの品種だけど、クローンっていうことが今回の研究では大切だったんだね。



春の時期には桜前線の予報がされているけど、あれも個体は一緒であり、日照や気温から開花時期を単純に導くことが可能だからこそ、まるで前線のように開花時期が南から北へと移動していくよ。ソメイヨシノが選ばれたのは、このような利点を今回も生かしているからと言えるよ。



スギについては合計約1億7000万塩基、ソメイヨシノは合計約2億1000万塩基について解析し、母樹と種子や実生、つまり親子同士での比較を行ったよ。



親子同士で比べることで、世代を超えて伝えられる突然変異を調べることができるんだね。それにしても1億7000万とか2億1000万ってすごい数。

表. 調査地の空間線量率と新規突然変異数

| 樹種     | 調査地       | 空間線量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 分析した個体数 |      | 新規突然変異数<br>(100万塩基当たり) |
|--------|-----------|-------------------------------|---------|------|------------------------|
|        |           |                               | 母樹数     | 次世代数 |                        |
| スギ     | 帰還困難区域内-1 | 3.99                          | 5       | 21   | 1.05                   |
|        | 帰還困難区域内-2 | 2.50                          | 12      | 59   | 0.65                   |
|        | 帰還困難区域内-3 | 6.86                          | 3       | 26   | 0.31                   |
|        | 福島市内      | 0.18                          | 4       | 20   | 0.34                   |
|        | 郡山市内      | 0.26                          | 3       | 8    | 0.93                   |
|        | 喜多方市内     | 0.08                          | 4       | 12   | 7.47                   |
| ソメイヨシノ | 帰還困難区域内   | 3.18                          | 7       | 33   | 0.00                   |
|        | 福島市内      | 0.18                          | 6       | 20   | 0.01                   |
|        | 福島市内      | 0.12                          | 3       | 16   | 0.03                   |



確かに凄い数の塩基数を調べてるんだけど、特別な方法ってわけではなくて、分子生態学や遺伝学分野ではよく使われる方法なんだ。



実績ある分析法で調べてるのは安心だね。この研究のポイントは、分析手法じゃなくて、新規突然変異が検出しやすいスギやサクラの次世代に着目したってところなんだね。



その結果、スギでもソメイヨシノでも、突然変異の有無には種子を採集した場所や枝の違いといった、個々の環境による違いはあったけど、空間線量率や放射性セシウムの蓄積量といった、放射線に関する要因では違いがみられなかったよ。



調査地の空間線量率や放射性セシウムの蓄積量とかは、新規突然変異の数とは関係なかったんだね。



例えば、放射線量が高い帰還困難区域内同士と比較でも、放射線量と突然変異の数に相関関係はみられなかったよ。あるいは、放射線量の高い帰還困難区域より、通常の区域で最も放射線量の低い喜多方市の調査地の方が突然変異の数が多くて、直観とは逆の傾向が見られたよ(表)。



また、ソメイヨシノについては、帰還困難区域とその他の地域で、突然変異の数にほとんど違いは観られず、むしろ放射線量が高いはずの帰還困難区域で、突然変異が全く見つからなかったという結果すら得られたよ!



このことから、スギやソメイヨシノの突然変異の数を単純に放射線量で説明することはできず、むしろ個別の環境や個体による影響の方が大きいと言えるよ。ということは、今回調べた限りでは「帰還困難区域でスギやソメイヨシノの突然変異は増えていない」と言えるよ。



これまで心配されてきた塩基配列の突然変異は増えていないし、世代を超えた影響も無さそうってことだね。



このように「突然変異が増えていない」というデータは「突然変異がある」というデータよりも数が少なく、報告としてもマイナーなので、とても貴重だよ。むしろ、フィクション等を通じて定着しているイメージとしては、少しでも被ばくがあれば確実に悪影響が出る、というものじゃないかな?



そういうイメージというか誤解はあるよね。  
めばえちゃん、福島県の阿武隈山地出身で、  
特技は木とお話することなんだ。今度心配して  
いるスギやサクラの木にあったら、この研究を  
説明してあげるね。

今回調べたスギやサクラが、特別に放射線  
に強いってことは無いの？



スギやサクラだけがたまたま放射線に強い  
って可能性は低いだろうね。でも、種ごとに  
放射線の影響は違うだろうから、いろんな生き  
物で研究をすることは大切だと思うよ。



放射線による確率的影響というのは理解が難  
しい上に、今回のような「突然変異が増えてい  
ない」という報告自体がマイナーだし、影響が  
現れる線量で実験を行っている報告例の方  
が多いことも、誤解を与える背景にあるのかも  
しれないね。



風評被害や誤解、不安と言った原子力発電  
所事故のネガティブなイメージは、福島県、東  
北地方、あるいは東日本といった広い範囲に  
及んでいるからね。なかなか払拭できないこ  
れらの問題を解決するうえで、今回の研究は  
活用が期待されるよ。



まずは誤解を解くことが大切なんだね。  
だから、この研究成果をわかりやすく解説し  
たり、国外に向けて英語で情報を発信したり  
してるのかな。



そして、突然変異というのは放射線だけで起  
るものじゃないんだ。紫外線、化学物質、ウイル  
スといったものも突然変異の原因となることが  
知られているよ。これらは放射線と同じく、野  
生環境での影響度というのはあまり知られて  
いないよ。



突然変異というのは、これらの影響で傷つい  
たDNAの損傷が修復されずに残るものだから、  
今回の研究の手法を応用することで、放射  
線に限らず、他の影響による野外環境での突  
然変異の影響を具体的に数値化できる可能  
性を秘めているよ！



色々と不確実性の高い野生環境は、制御され  
た実験室とは異なり、なかなか研究というの  
がしづらい領域だよ。手つかずの領域の多い  
野外環境で研究が行えるというのは、これか  
らの発展が大いに期待される、という点でも、  
この研究はスゴいと言えるんだよ！



実は、すごい研究だったんだ。  
原子力発電所事故が植物にどんな影響を与  
えるかがわかったことはとても大切。それだ  
けじゃなくて、他にもいろんなことに使えるか  
もしれないのが面白いね。

めばえちゃん(福島大学公式マスコット) &  
彩恵りり(@Science\_Release)  
彩恵りりイラスト:由紀ウサギ(@Yukiusagi\_inkya)

#### この解説についての原著論文

Ueno, S., Hasegawa, Y., Kato, S., Mori, H., Tsukada, H., Ohira, H., & Kaneko, S. (2023). Rapid survey of *de novo* mutations in naturally growing tree species following the March 2011 disaster in Fukushima: The effect of low-dose-rate radiation. **Environment International**, 174, 107893. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412023001666>



#### 参考論文(放射線を照射したシロイヌナズナ的全ゲノム解析論文)

Hirao, A. S., Watanabe, Y., Hasegawa, Y., Takagi, T., Ueno, S., & Kaneko, S. (2022). Mutational effects of chronic gamma radiation throughout the life cycle of *Arabidopsis thaliana*: Insight into radiosensitivity in the reproductive stage. **Science of The Total Environment**, 838, 156224. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722033216>

