

植物を用いた放射性Cs制御技術の開発を目指す基礎研究の取組み

アダムス 英里
Adams Eri

東日本大震災に伴う東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故により、広範囲にわたる放射能汚染が起こった。中でも半減期が比較的長い放射性Csによる農地等の汚染が大きな問題となっている。除染方法としては、汚染された土壌を剥離することが最も直截的かつ確実ではあるが、大量の放射性廃棄物を生み出すことから、全ての汚染地域で実施することは現実的でない。また農地の場合、肥沃な表土を失うことにより、再び農作物の栽培に適した土壌にするためには長い年月が掛かることが予想され、その経済的損失も考慮しなければならない。そこで植物を用いた環境改善技術であるファイトレメディエーションが注目されている。これは、植物への汚染物質の吸収を促して土壌の浄化を図るファイトエクストラクションや、汚染物質の可動性を制限することにより植物への取り込みを抑制するファイトスタビライゼーション等の技術を含む。前者は汚染物質を吸収した植物を乾燥・焼却することにより劇的に廃棄物量を減らすことができるが、放射性Csの場合、吸収効率の低さが難点である。後者は低汚染農地における農作物の安全を確保する目的での応用が期待される。これらの技術は表裏一体であり、まずは植物におけるCs吸収・輸送・応答機構の解明が肝要となる。本稿では、著者の研究室で行われている基礎研究分野での取組みを紹介する。

これまでの放射性Csに対するファイトレメディエーションの取組みとしては、高吸収植物

種や品種の選抜が主で、分子生物学的な知見は非常に乏しい。そこで筆者の研究室では、CsとKの化学的性質が類似していることを利用し、K輸送体を過剰発現、又はノックアウトした植物を用いて、植物におけるCs取り込み口の模索を行っている。Kは植物の必須栄養素であり、モデル植物であるシロイヌナズナのK輸送体の幾つかがCsの取り込みに関与していることが示されている^{1,2)}。Csの取り込みに関わるK輸送体を操作することにより、植物への放射性Csの蓄積を促進又は抑制できると考えられる。また、突然変異体を用いた遺伝学的スクリーニングにより、Cs蓄積や応答、シグナル伝達に関わる遺伝子の単離や、Cs応答に関与するホルモン経路³⁾や代謝経路の特定も行っている。さらに、植物の分野では比較的新しいケミカルバイオロジーの手法を用い、Cs吸収や耐性に寄与する有機化合物の単離を目指しており、本稿ではこの成果について報告する。

放射性、非放射性に関わらず、高濃度のCsは植物の生長を阻害する。これは必須栄養素であるKと競合的に吸収され、細胞内でKの生理作用を阻害するためと考えられている。Csによる生長阻害を緩和する化合物を単離するため、一万種の低分子有機化合物から成るケミカルライブラリーをスクリーニングした⁴⁾。高濃度Cs(非放射性)を含んだ培地に植物を発芽・生長させ、根の生長阻害や地上部が白くなる白化現象を緩和させる作用のある化合物を選抜した。その結果、五種の化合物が植物にCs耐性

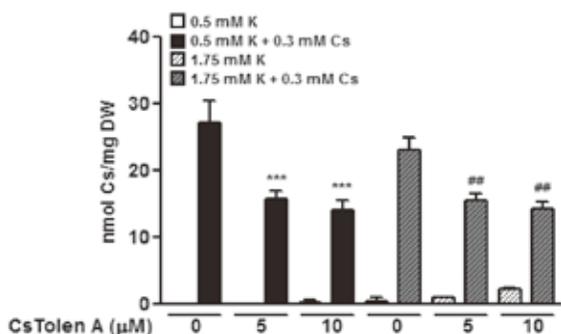


図1 液体培地で培養した植物体内のCs含有量 (nmol/mg 乾燥重量)

シロイヌナズナを最適K条件 (1.75 mM) 又は準最適K条件 (0.5 mM) においてCs存在下 (0.3 mM) で7日間生育させた場合、CsTolen A添加によって植物体内のCs含有量が有意に減少したのが分かる⁴⁾

を付与する化合物として単離された。そのうちの一種、CsTolen A (Cesium Tolerance Enhancer A, シストレンエー) には植物におけるCs蓄積を大幅に低下させる効果があることが分かった。CsとCsTolen Aを含んだ液体培地で植物を培養すると、Csだけを含む培地で培養した場合に比べ、植物体内のCs量が減少し、液体培地のCs残留量が増加した(図1)。また、CsTolen Aで前処理した植物をCsを含む培地に移すと、前処理をしなかった植物と同等のCsを蓄積することから、CsTolen Aは植物体内で効果を発揮するのではなく、植物の根におけるCs取り込みを阻害しているものと推察された。量子力学的理論モデリングを駆使した結果、CsTolen AはCsと強く結合すること、またこの結合は他のアルカリ金属であるNaやKにも起こり得るが、水和状態のCsと選択的に結合することが分かった。このことは、CsTolen Aが過剰なNaやKによる植物の生長阻害を緩和しないことから裏付けられた。次にCsTolen Aの類似化合物であるピリミジンや

イミダゾピリジンなど理論上はCsと結合する化合物について調べたところ、植物におけるCs蓄積の減少やCsによる生長阻害の緩和効果が見られなかったことから、CsTolen Aの特異的構造が植物におけるCs吸収の阻害に貢献していると考えられる。さらに、CsTolen Aの作用は土壤実験においても検証された。Csを含む土壤に生育する植物にCsTolen Aを与えると、白化現象が緩和され、植物体内のCs蓄積量が減少したほか、地上部の乾燥重量が増加が見られた。これらのことから、CsTolen AはCsと選択的に結合することにより、Csが植物の根に吸収されるのを阻害し、植物のCs耐性を高めることが分かった。この作用は土壤でも確認されることから、放射性Csによる低濃度汚染農地における農業復興を見据え、放射性Csが農作物に吸収されにくくする技術開発の一助となることが期待される。

今後は更に一万種の化合物から成る別のライブラリーから選抜された、植物のCs応答に関与する化合物やCs高蓄積に寄与する化合物の作用機序を精査する。また、Cs取り込み口の特定やCs応答に関与する遺伝子・代謝経路の解析から得られた知見を統合し、植物のCs吸収・輸送・貯蔵・応答に関する一連のメカニズムを解明することを目指す。

参考文献

- 1) Qi, Z., et al., *Journal of Experimental Botany*, **59**, 595-607 (2008)
- 2) Kobayashi, D., et al., *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **74**, 203-205 (2010)
- 3) Adams, E., et al., *International Journal of Molecular Sciences*, **14**, 4545-4559 (2013)
- 4) Adams, E., et al., *Scientific Reports*, **5**, 8842 (2015)
(理化学研究所 環境資源科学研究センター)