

トリチウムが葉菜に取り込まれていく過程を高精度に再現することに成功
(研究結果が Journal of Hazardous Materials 誌に論文掲載)

【発表の要点】

- ・ 土壌水や大気水蒸気に存在するトリチウムの一部は、トリチウム水として野菜に取り込まれた後に有機結合型トリチウム (Organically bound tritium: OBT、注1) に変換される。OBT はトリチウム水とは生物体内での動きや被ばく線量評価における重要性が異なるため、OBT への変換の度合いを推定することは、野菜を摂取した際のトリチウムによる被ばく線量をより正確に評価する上で重要である。
- ・ 従来のコンピューターシミュレーションでは OBT への変換経路として光合成 (水と二酸化炭素を材料として光エネルギーにより有機物を合成する化学反応) のみを勘案していたが、本研究では非光合成反応 (光合成によらずに水分子中の水素が有機物に取り込まれる化学反応) を更なる経路として組み込むことで、野菜における OBT への変換度合いの推定精度を顕著に向上させることができた。

【概要】

公益財団法人環境科学技術研究所環境影響研究部の佐藤雄飛副主任研究員、谷享副主任研究員、永井勝研究員、今田省吾副主任研究員及び山上睦シニアスタッフは、トリチウムの挙動を模擬できるトレーサ物質である重水素 (注2) を含む水を土壌に散布したコマツナの栽培実験を行い、コマツナ中における OBT の実測データ (コマツナ可食部の濃度とその時間変化) を取得し、このデータに対して従来のコンピューターシミュレーションモデル (光合成による合成経路のみを組み込み) 及び本研究で開発した新規モデル (光合成と非光合成の両経路を組み込み) の各モデル計算による推定値との比較を行いました。その結果、従来のモデルに比べて新規モデルでは OBT 濃度とその時間変化の再現性が顕著に向上することが明らかとなりました。

これまでのモデルでは周辺環境のトリチウム濃度が顕著に変動した際に起こる植物中の急激な OBT 濃度の変化を十分に再現できませんでしたが、本研究のモデルでは非光合成反応という新たな変換経路を考慮することで、この再現性を顕著に改善することに成功しました。この研究成果は、近年、社会的に注目されている放射性核種であるトリチウムについて、食品 (野菜) の摂取を通じた被ばく線量をより正確に評価するために重要であることに加えて、植物を含む環境中でのトリチウムの動きを正確に把握する上で重要なものです。

(注1) 有機化合物に含まれるトリチウムのこと。なお、有機化合物とは炭素及び水素原子を基本構造とした化合物の総称である。

(注2) 水素の同位体の一つ。天然に存在する水素の殆どは陽子の数が1個(^1H)である。重水素(^2H)は陽子とほぼ同じ重さの中性子が一つ加わった2倍の重さの同位体。

プレスリリース

トリチウム(^3H)は中性子が更に 1 個増えて3倍の重さとなった水素の放射性同位体である。同位体同士は化学的性質が概ね同じであり、この性質が同位体元素の生物体内における挙動解析に利用される。

問い合わせ先：(公財) 環境科学技術研究所 共創センター 共創推進課 伊藤
電話 0175-71-1240 Eメール kanken@ies.or.jp
所在地 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駈字家ノ前 1 番 7
HP <https://www.ies.or.jp/>

当研究所は、六ヶ所村に建設が進められている核燃料大型再処理施設から排出される放射性物質の環境中での挙動や低線量放射線の生物影響について青森県からの委託を受けて調査・研究を行っています。

【参考資料】

トリチウムが葉菜に取り込まれていく過程を高精度に再現することに成功

論文の要点

- 背景： 環境中におけるトリチウムからの被ばくを考える上で、野菜へのトリチウムの移行度合いを推定することは重要な課題である。
- 課題： 従来のコンピューターシミュレーションモデルによる移行度合いの推定では、植物に取り込まれたトリチウムが有機結合型トリチウム (Organically bound tritium: OBT) に変換される過程を再現する際、急激な OBT 濃度の変化が起きた場合に過小評価しやすいという課題があった。
- 成果： 従来モデル（光合成反応のみを計算）を改良した新規モデル（光合成及び非光合成の各反応を計算）では、実際の葉菜（コマツナ）中における OBT 濃度の再現性が顕著に向上した。
- 意義： 環境中にトリチウムが放出された際に野菜中に生成する OBT 量により正確な推定が可能となる。また、植物を含む環境中でのトリチウムの動きをより正確に把握することが可能となる。

研究の概要

- ① 葉菜であるコマツナについて重水素を含む水を土壤に添加した栽培実験により同植物中における OBT 濃度の時間変化を模擬した測定データを取得した。
- ② この測定データを、従来モデル（光合成のみを計算）及び新規モデル（光合成及び非光合成の各反応を計算）各々の推定結果と比較した。
- ③ 新規モデルは従来モデルに比べて実測データに対する再現性が高く、特に濃度変動が急激に起こる期間においてその再現性が顕著に向上した（図 1）。
- ④ モデル推定に非光合成反応を組み込むことにより、従来モデルでは再現が困難だった植物中 OBT 濃度の急激な時間変化が推定可能になった。

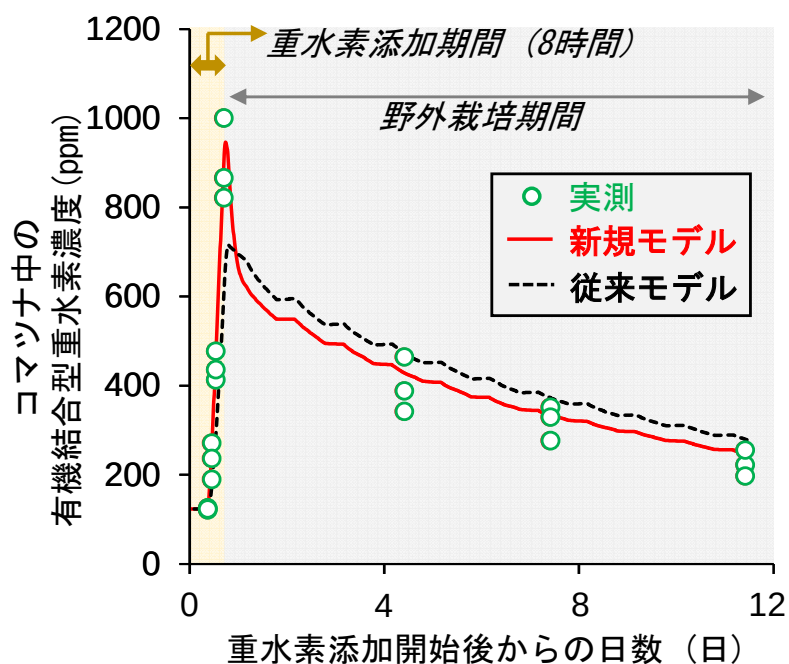


図1 コマツナ中の有機結合型重水素濃度の時間変化

図中の凡例において、丸は測定データ、線はモデル推定値を示す。また、モデル推定値において赤は新規、黒は従来の各々のモデルを用いた推定結果である。本研究では最初の8時間に室内実験室において土壌に重水素を含む水を添加し（重水素添加期間）、その後、屋外圃場に移動した栽培を実施した（野外栽培期間）。新規モデルの方が実測データをよりよく再現しており、特に、土壌に重水素を含む水を添加した直後の急激な変化に対して顕著に再現性が向上している。



写真1 重水素添加期間のコマツナ栽培実験の様子

実験室の植物栽培装置内に、ポット栽培のコマツナをセットし、土壌に重水素を含む水を添加している様子（一定量で8時間）。その後、ポットごとコマツナを野外に移して栽培した（写真2）



写真2 野外栽培期間のコマツナ栽培の様子

重水素添加期間（写真1）の後に、ポットごとコマツナを野外に移し、野外環境で通常の水を与えて生育させた。一部はシートによって遮光（半遮光）した。

【補足資料】

1. 研究の背景

トリチウムは天然にも存在しますが、人為的に環境中に放出される代表的な放射性核種の一つです。そのため、原子力エネルギーの運用等に関連した安全評価を目的として、世界中の研究者が土壌や大気から植物へのトリチウムの移行度合いを推定するためのコンピューターシミュレーションモデル（以下、モデルと記述）を開発しています。これらのモデルは、環境中からのトリチウムの移行度合いを植物中の有機物に結合して存在するトリチウム（OBT）として計算し、実際の植物中 OBT 濃度を概ね再現可能であることが報告されています。その一方で、この OBT 濃度の時間変化が激しい場合には、モデル計算の再現性が顕著に低下することが確認されていました。

従来のモデルは植物に取り込まれたトリチウムが OBT に変換される過程として主に光合成反応のみを考慮しています。光合成生産物の生成速度を勘案すると、この従来モデルでは数日スケールの OBT 濃度の時間変化には対応できる一方で、それより短期間（数時間スケール）の濃度変化は再現できないという懸念が考えられました。そこで本研究では、この光合成反応に加えて、数時間スケールに対応できる非光合成反応も考慮したモデルを開発し、重水素を用いたコマツナの栽培実験により得られた実測データに対して、各モデルによる推定値を比較することで、本研究における新規モデルの有効性を検証しました。

2. 今回の成果

土壌に重水素を含む水を添加した直後に観測された実測濃度の急激な変化に対して、従来モデルでは実測濃度を大きく過小評価していた一方で、新規モデルでは実測データを適切に再現していました（図 1）。また、栽培実験後半の実測濃度が減少する過程においても、従来モデルではやや過大評価となる傾向にあったのに対して、新規モデルでは初期と同様に適切に再現していました。これらのことから、非光合成反応を考慮した新規モデルは従来モデルに比べて、コマツナ（葉菜）中における OBT 濃度の再現性が顕著に改善されたと考えられます。

3. 成果の意義

トリチウムは電力生産に関連した原子力エネルギーの利用や原子力事故及びその事後処理などの各過程において環境中へ放出される代表的な放射性核種です。そのため、原子力エネルギーの安定的な運用や原子力事故への備えとして、トリチウムの環境動態を予測する手段を構築しておく必要があります。その中でも野菜等の食品への移行過程の予測は重要です。本研究において日本の代表的な葉菜のコマツナにおける OBT 移行過程をより高精度に推定可能にしたことは、特に食品へのトリチウムの移行がより正確に把握できるようになったという意味において、重要な成果であると考えられます。また、食品以外の一般植物に適

用することで、環境中でのトリチウムの動きをより正確に把握することも可能になると考えられます。

4. 重水素の利用について

本研究では、トリチウム（水素の放射性同位体）に関する測定値を得るために水素の安定同位体である重水素を用いています。これによって、屋外環境での栽培など、より実環境に近い条件での実験が可能になっています。同位体同士は化学的性質が概ね同じであり、一般的な水素に対して重水素は 2 倍、トリチウムは 3 倍の重さがあり、重さが異なりますが、生物体内における挙動などは同様であることがわかっています。

5. 掲載論文

題名 : Necessity of considering non-photosynthetic metabolism to reproduce the behavior of organically bound tritium in a leafy vegetable

（葉菜中における有機結合型トリチウム動態の再現にとっての非光合成反応への考慮の必要性）

著者 : Yuhi Satoh（佐藤雄飛：栽培実験、分析、データ解析、論文執筆）

Takashi Tani（谷享：栽培実験、データ解析、モデル計算、論文執筆）

Masaru Nagai（永井勝：栽培実験、分析、論文執筆）

Shogo Imada（今田省吾：栽培実験、論文執筆）

Mutsumi Yamagami（山上睦：栽培実験、論文執筆）

掲載誌 : Journal of Hazardous Materials

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/>)

掲載日 : 2025 年 8 月 10 日（上記 URL にて公開）

DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139518>