

第4章 排出トリチウムの生物体移行に関する調査研究

4.1 大気排出トリチウムの大気-植物移行パラメータに関する調査研究

Tritium Transfer from the Atmosphere to Crops

谷 享, 新井 竜司, 多胡 靖宏, 中村 裕二
環境シミュレーション研究部

Takashi TANI, Ryuji ARAI, Yasuhiro TAKO, Yuji NAKAMURA
Department of Environmental Simulation

Abstract

Estimation of the specific activity of tritium in edible parts of crops is necessary to assess the local radiological impact of tritium released from the spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Japan. Chemical forms of tritium in plant are thought to be tritiated water (HTO) and organically bound tritium (OBT). In this study, tritium transfer from the environment to a leafy vegetable plant was described in a three-compartment model consisting of 2 compartments of free water in leaf associated (FW1) and not associated with transpiration (FW2) and organically bound hydrogen compartment in leaf (OBH). Tritium in the environment moves as free water into the FW1 compartment, and a part of the free water accumulated there is released into the atmosphere by transpiration and evaporation. The other part of free water in the FW1 relates to OBH synthesis and decomposition. The FW2 compartment exchanges free water only with the FW1 compartment. Leafy vegetable plants were experimentally exposed to deuterium (D)-enriched water under artificial illumination for 14 hours, and temporal changes in D concentrations of free water in leaf were determined. The model estimates of D concentrations of free water in leaf agreed relatively well with the experimental observation. In order to optimize the values of model parameters, the concentration of organically bound deuterium (OBD) in leafy vegetable plant needs to be determined using a newly developed experimental system.

1. 目的

大型再処理施設の稼働に伴い大気中へ排出されるトリチウムは、葉面からの吸収や根からの吸収により作物へと移行し、この作物摂取を通して人体内に取り込まれる。したがって、作物のトリチウム移行モデルを構築し、収穫物中のトリチウム濃度を推定することは、被ばく線量評価を行うために重要である。

大気中に排出されたトリチウムは、水分子の形態 (HTO) で作物体内に移行する。作物体内の HTO は自由水トリチウム (FWT) と呼ばれる。FWT の一部は代謝によって有機結合型トリチウム (OBT) と

なる。OBT が人体に摂取された場合の被ばく線量は、水の形で摂取された場合の約 2.3 倍高いと評価されていることから (ICRP, 1995)、作物のトリチウム濃度の推定では FWT と OBT を区別する必要がある。

本調査研究では、大気-植物間の FWT の移行パラメータ調査と、植物中における OBT の生成・蓄積に関する調査を行う。これらの調査によって自由水及び有機物としてのトリチウムの移行データを収集し、作物でのトリチウム移行を表現できるモデルの作成を到達目標とする。平成 22 年度は、葉菜での経根吸収による FWT の移行データの取得と、OBT の生成・蓄積に関する調査のための実験系の構築を目

的とした。なお、本調査では、天然存在比が 0.015% の安定同位体である重水素 (D) をトリチウムの代わりにトレーサとして使用した。

2. 方法

大気-植物間の FWT の移行パラメータ調査では、葉菜のコマツナでデータを収集した。播種後 13 日目の明期 (14 時間) に重水を添加した養液を供給し、その後収穫日 (播種後 22 日目) までは通常の養液でコマツナを栽培した。そして、播種後 13 日目の明期から収穫日までの葉自由水中重水素 (FWD) 濃度の時間変化を調べた。

また、葉の自由水を 2 つのコンパートメントに分けた 3 コンパートメントモデルで水素移行を表現し (Fig. 1)、葉 FWD 濃度の時間変化の推定を試みた。モデルでは、大気および土壌中の水が葉の自由水コンパートメント 1 (FW1) に移行する。FW1 は土壌から植物を介して大気に水が移行する蒸散流に直接関与するコンパートメントであり、FW1 に移行した水素の一部は蒸散によって大気中に放出される。ヒマワリでの報告例に基づき (Couchat *et al.*, 1983)、FW1 は葉の全自由水の 84% を占めると仮定する。FW1 と葉の自由水コンパートメント 2 (FW2) の間では自由水の交換が起こり、FW2 の半減期は 30 h とする (Belot *et al.*, 1979)。自由水として葉内に蓄積した水素の一部は、光合成や呼吸などの代謝によって有機結合型水素となる。また、有機結合型水素の一部は呼吸によって自由水に戻る。ここでは、FW1 と有機結合型水素コンパートメント (OBH) の間で代謝による水素の移行が起こると仮定する。

各コンパートメント内の水素量の時間変化は、

$$\frac{dM_{F1}}{dt} = I_{AF}(t) + I_{RF}(t) + k_{OF}M_O(t) + k_{21}M_{F2}(t) - k_{12}(t)M_{F1}(t) - P_L(t) - k_{FA}(t)M_{F1}(t) \quad (1)$$

$$\frac{dM_{F2}}{dt} = k_{12}(t)M_{F1}(t) - k_{21}M_{F2}(t) \quad (2)$$

$$\frac{dM_O}{dt} = P_L(t) - k_{OF}M_O(t) \quad (3)$$

と表される。ここで、 $M_{F1}(t)$ 、 $M_{F2}(t)$ は、それぞれ葉の自由水コンパートメント 1 (FW1) と葉の自由水

コンパートメント 2 (FW2) の水素量 (mol H) であり、 $M_O(t)$ は葉の有機結合型水素コンパートメント (OBH) の水素量 (mol H) である。また、 $I_{AF}(t)$ 、 $I_{RF}(t)$ 、 $P_L(t)$ は、それぞれ、大気から FW1 へ、根から FW1 へ、FW1 から OBH への水素移行速度 (mol H d⁻¹) を表す。さらに、 k_{OF} 、 $k_{FA}(t)$ 、 $k_{12}(t)$ 、 k_{21} は、OBH から FW1 へ、FW1 から大気へ、FW1 から FW2 へ、FW2 から FW1 への水素移行速度係数 (d⁻¹) を表す。

植物中における OBT の生成・蓄積に関する調査では、OBT の生成に関与する光合成活性を測定するための同化箱を作成し、コマツナ個体の光合成活性測定に適用できるかどうかを検討した。また、OBT には自由水中の水素と容易に交換する交換型 OBT と炭素原子に結合した非交換型 OBT があり、有機物としてのトリチウムの移行を評価するためには両者を区別する必要がある。ここでは、有機物に結合した水素 (OBH) 全量に対する交換型 OBH の比率を求めるため、通常条件で栽培したコマツナの葉の乾燥試料を濃度既知の重水にばく露し、同位体交換により試料中の水素が D に置換される割合を調べる方法について検討した。

3. 成果の概要

重水を経根吸収させたコマツナの、葉 FWD 濃度の時間変化を Fig. 2 (黒丸) に示す。重水添加養液での栽培開始後、FWD 濃度が急激に増加し、栽培開始から 8 時間後にほぼ平衡に達した。重水添加養液での栽培終了後、葉 FWD 濃度は減少していった。この減少は、蒸散による FWD の消失と葉の成長による FWD 濃度の希釈のためと考えられる。葉 FWD 濃度の時間変化は、蒸散と葉の成長を考慮に入れたモデル (Fig. 1) によって比較的精度よく推定できた (Fig. 2)。

光合成活性は、同化箱に供給する空気と同化箱から排気される空気の CO₂ 濃度差から求められる。本調査で作成した同化箱では、供給側と排気側の空気中 CO₂ 濃度を安定して測定できたことから (Fig. 3)、光合成活性の測定が可能であることが示された。

葉の乾燥試料の全 OBH に対する交換型 OBH の比率を求めるための同位体交換の方法には、試料を重

水素濃度既知の水に混合する方法と重水水蒸気によく露する方法がある。2つの方法を比較した結果、重水水蒸気によく露する方法で同位体交換が起りやすく (Fig. 4)、交換型 OBH の比率の推定に適していると考えられた。

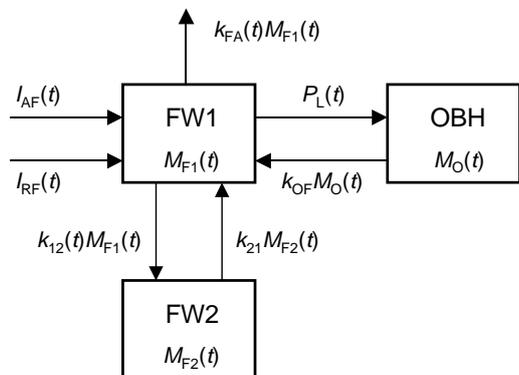


Fig. 1 Conceptual diagram of a dynamic three-compartment model.

引用文献

Belot, Y. *et al.* (1979) *Health Phys.*, **37**, 575-583.
 Couchat, P. *et al.* (1983) *Health Phys.*, **45**, 757-764.
 ICRP (1995) ICRP publ. 72, Pergamon Press, Oxford.

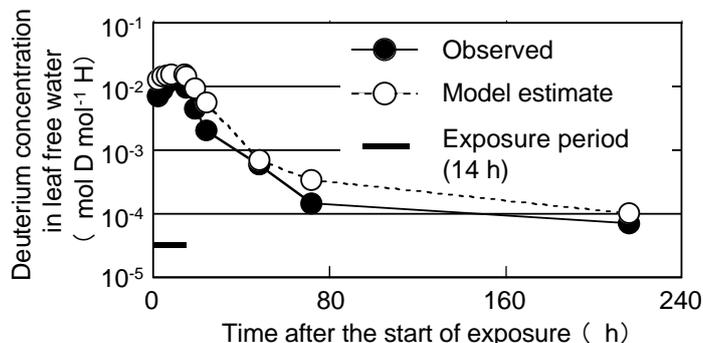


Fig. 2 Temporal changes in the observed and estimated deuterium concentrations of free water in leaf.

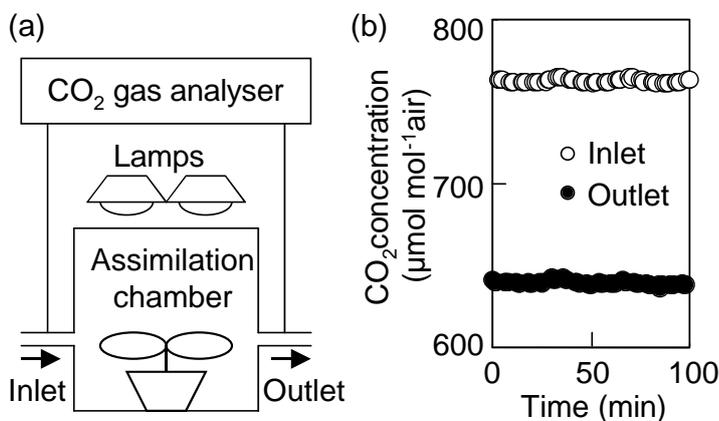


Fig. 3 (a) Schematic illustration of an assimilation chamber. (b) Changes in CO_2 concentrations measured at the inlet and outlet of the assimilation chamber containing a leafy vegetable plant. Photosynthetically active radiation at the top of the plant was $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during the measurement.

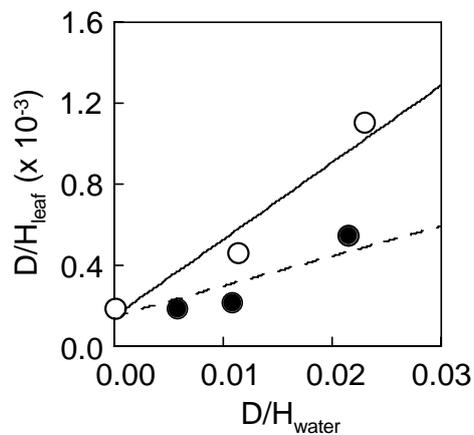


Fig. 4 Deuterium isotopic ratios (D/H) in dried leaf samples equilibrated separately with water vapor (open circle) and liquid water (closed circle) with different D concentrations. The gradient obtained by the linear regression method, which indicated the ratio of exchangeable OBH to the total OBH, was larger in the case of water vapor than in the case of liquid water.