

### 1.3 人体内における放射性炭素・トリチウム代謝に関する調査研究

#### Metabolism of Radiocarbon and Tritium in the Human Body

増田毅, 松下兼作, 多胡 靖宏, 高久雄一, 久松 俊一

環境影響研究部

Tsuyoshi MASUDA, Kensaku Matsushita, Yasuhiro TAKO, Yuichi TAKAKU, Shun'ichi

HISAMATSU

*Department of Radioecology*

#### Abstract

In the radiation safety assessments for nuclear facilities including the first commercial spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Japan, the internal doses of the public due to ingested  $^{14}\text{C}$  and tritium have been estimated using the dose conversion factors based on the simple ICRP metabolic models in the human body. Although the biological half-life of tritium water (HTO) in the human body was examined in several cases, actual data on the metabolism of organic  $^{14}\text{C}$  and organically bound tritium (OBT) in diet are quite limited. The objectives of this research program are to establish experimentally the metabolic models of organic  $^{14}\text{C}$  and OBT in the human body for more realistic dose estimation. To obtain metabolic parameter values of  $^{14}\text{C}$ , which are also utilized for OBT, as a substitute for  $^{14}\text{C}$  we used the stable isotope of  $^{13}\text{C}$  to label organic molecules for oral administration experiments.

Until FY 2018, various  $^{13}\text{C}$ -labeled nutrients were administered to volunteers, followed by measuring the  $^{13}\text{C}$  concentration in their breath and hair as representatives of inorganic and organic excreta, respectively. Metabolic models were constructed based on our results for each nutrient. The 50-year cumulative body burden for  $^{14}\text{C}$ , as an index of the committed dose of the radioisotope  $^{14}\text{C}$ , was estimated by each model. The combined metabolic model, named the IES model ( $^{14}\text{C}$ ), was developed using the models for each nutrient. The dose coefficient from ingested organic  $^{14}\text{C}$  in uniformly contaminated foods having average nutritional compositions according to the National Health and Nutrition Survey by the Japanese government was calculated by the IES model ( $^{14}\text{C}$ ). In FY 2018 and 2019,  $^{13}\text{C}$ -labeled ingredients (peanut and soybean) were administered to volunteers and metabolic models were constructed for each ingredient. All processes of the experiment were approved by the IES Review Board for Human Subject Experiments, and written informed consents were obtained from all volunteers. The conservative estimations of the 50-year cumulative body burden by the IES model ( $^{14}\text{C}$ ) corresponding to the nutrient compositions of those ingredients were larger than the conservative estimations by the individual metabolic models for those ingredients. Therefore, we concluded that the IES model ( $^{14}\text{C}$ ) was adequate to obtain a dose coefficient for ingredients and, consequently, for members of the general public. The IES model ( $^3\text{H}$ ) was developed by modifying the IES model ( $^{14}\text{C}$ ). The conservative estimation of the dose coefficient value for ingested OBT ( $9.5 \pm 3.5 \times 10^{-11}$ ) was larger than the value recommended by the ICRP ( $4.2 \times 10^{-11}$ ).

#### 1. 目的

大型再処理施設の稼動に伴い排出される放射性炭

素 ( $^{14}\text{C}$ ) とトリチウム ( $^3\text{H}$ ) は、被ばく線量評価  
上重要な核種である。現行の ICRP による  $^{14}\text{C}$  及び

$^3\text{H}$  経口摂取に対する内部被ばく線量換算係数は、人体内における代謝データの不足から極めて単純化された ICRP 代謝モデルに基づいて求められている。そこで、ICRP 代謝モデルの安全裕度を確認するため、安定同位体炭素 ( $^{13}\text{C}$ ) で標識した幾つかの物質を用いた投与実験から代謝モデルを作成し、ICRP 代謝モデルの安全裕度を確認することを目的とする。

平成 30 年度までに  $^{13}\text{C}$  標識物質投与実験結果から IES 代謝モデル ( $^{14}\text{C}$ ) を作成した。令和元年度にはこれを  $^{14}\text{C}$  標識食材投与実験により検証することを目標とした。また、IES 代謝モデル ( $^{14}\text{C}$ ) を利用して IES 代謝モデル ( $^3\text{H}$ ) を作成することを目標とした。

## 2. 方法

平成30年度に、 $^{13}\text{C}$ 標識ラッカセイ投与後の呼気中  $^{13}\text{CO}_2$ 濃度データを得た被験者群から採取した毛髪試料の $^{13}\text{C}$ 濃度を測定した。また、新たに選択した健康な日本人男性及び女性被験者各3名に、連続した4日間の昼食前に、それぞれ $^{13}\text{C}$ 標識ダイズを経口投与し呼気試料を継続的に採取して $^{13}\text{C}$ 濃度を測定した。さらに、実験終了前に2回目の追加投与を行い毛髪を採取した。全ての実験は環境科学技術研究所研究倫理委員会により承認を受けて実施した。これらの実験データからラッカセイ $^{13}\text{C}$ 代謝モデル及びダイズ $^{13}\text{C}$ 代謝モデルを作成し、それぞれに1 Bq  $^{14}\text{C}$ を含んでいた場合の50年積算負荷を求めた。その際、投与 $^{13}\text{C}$ ののうち回収されなかった部分については脂肪組織に貯蔵されるとして排出速度 $0.0017\text{ d}^{-1}$ を与えた。また、ICRPは実効線量を求めるために必要な組織加重係数 (Tw) を脂肪組織に与えていないため、Twを0、0.12 (その他組織のTw)、1.0 (全身のTw) と仮定した非保守的、保守的、及び極保守的な調整を加えた積算負荷 (それぞれER, EC, 及びEX) を求めた。これらを、ラッカセイ及びダイズの栄養成分構成に従ってIES代謝モデル ( $^{14}\text{C}$ ) によって計算するそれぞれのER, EC,及びEX

の予測結果と比較した。

IES 代謝モデル ( $^{14}\text{C}$ ) を非交換型有機結合型トリチウム(OBT)の体内動態を表すモデルとして利用し、これに自由水トリチウム(HTO)コンパートメントを加えて IES 代謝モデル ( $^3\text{H}$ ) を作成し、日本人の栄養摂取状況に対する線量換算係数を求めた。

## 3. 成果の概要

平成30年度に $^{13}\text{C}$ 標識ラッカセイを投与した被験者から採取した毛髪を分析し $^{13}\text{C}$ 濃度データを得、ラッカセイ $^{13}\text{C}$ 代謝モデルを作成した。また、令和元年度に $^{13}\text{C}$ 標識ダイズを投与した被験者から呼気及び毛髪 $^{13}\text{C}$ 濃度データを得、ダイズ $^{13}\text{C}$ 代謝モデルを作成した。IES代謝モデル ( $^{14}\text{C}$ ) によるEC及びEXの予測値は、ラッカセイ及びダイズのいずれの場合においてもそれぞれの食材 $^{13}\text{C}$ 代謝モデルによる推定値よりも大きかった (図1)。IES代謝モデル ( $^{14}\text{C}$ ) は8種類の栄養素構成成分の代謝データから得られた8サブモデルから構成されているが、さまざまな栄養素が複合した食材 (ラッカセイ及びダイズ) に適用した場合に保守的な予測を与えたことから、これを線量評価に使用することの妥当性が検証されたと判断した。これにより、現行線量換算係数の安全裕度を明らかにするという目標を $^{14}\text{C}$ について達成した。なお、IES代謝モデル ( $^{14}\text{C}$ ) による保守的な線量換算係数推定EC ( $5.6 \pm 2.6 \times 10^{-10}$ ) とICRPによる現行線量換算係数 ( $5.8 \times 10^{-10}$ ) が概ね一致していたことは平成30年度に確認し報告した通りである。

IES代謝モデル ( $^3\text{H}$ ) を作成し、日本人の栄養摂取状況に対する線量換算係数を求めたところ、ICRPによる現行の線量換算係数 $4.2 \times 10^{-11}$ はER ( $2.4 \pm 0.1 \times 10^{-11}$ ) より大きかったが比較的保守的に求めた値EC ( $9.5 \pm 3.5 \times 10^{-11}$ ) より小さかった。

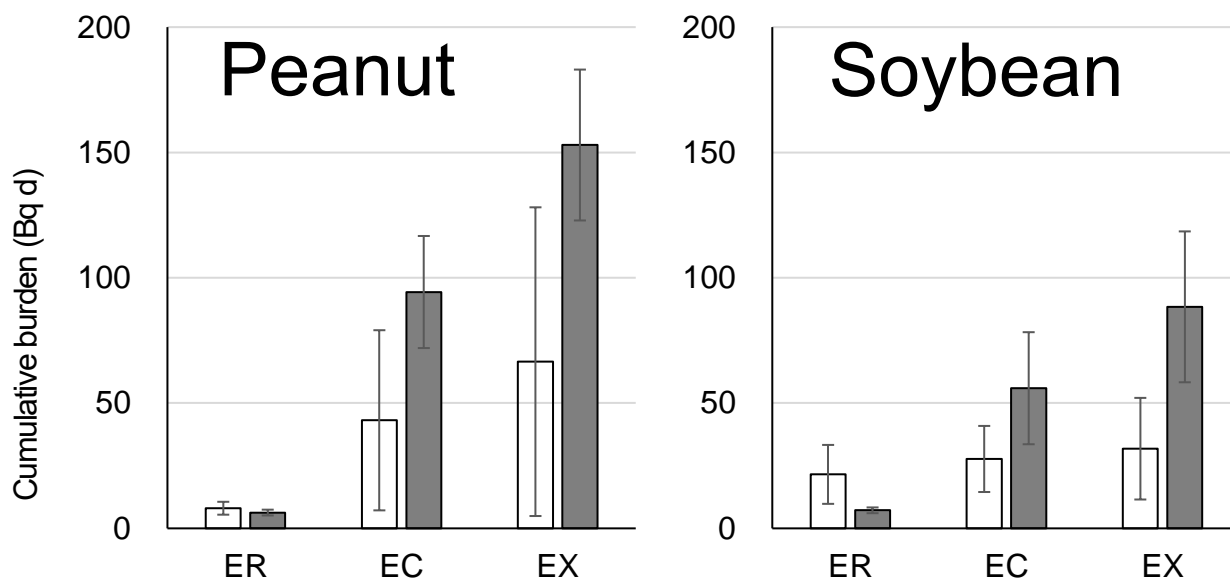


Fig.1 Cumulative body burden for 50 years after an ingestion of 1 Bq of  $^{14}\text{C}$  in each ingredient. Open bars show the estimation by the  $^{13}\text{C}$  metabolic model for each ingredient. Shaded bars show the prediction by the IES model ( $^{14}\text{C}$ ) corresponding to the nutrient composition of each ingredient. ER, not conservative estimation. EC, conservative estimation. Ex, extra-conservative estimation.

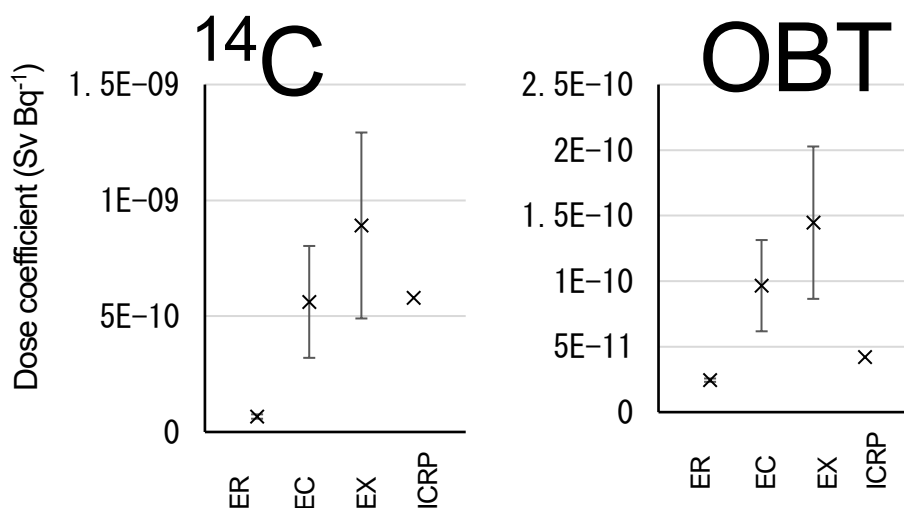


Fig.2 Dose coefficients for organic  $^{14}\text{C}$  and OBT ingestion. OBT, organically bound tritium. ER, not conservative estimation. EC, conservative estimation. Ex, extra-conservative estimation. ICRP, recommended dose coefficient by the ICRP.