

## 第4章 排出放射性炭素の蓄積評価に関する調査研究

### Carbon Transfer and Accumulation in Forests, Wetlands and Farmlands

鈴木 静男, 永井 勝, 多胡 靖宏, 久松 俊一  
環境影響研究部

Shizuo SUZUKI, Masaru NAGAI, Yasuhiro TAKO, Shun'ichi HISAMATSU  
*Department of Radioecology*

#### Abstract

The operation of the spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Japan, is accompanied by the discharge of a small amount of  $^{14}\text{C}$  mainly in the form of  $^{14}\text{CO}_2$ , which is transferred into terrestrial ecosystems and accumulated in them. In order to predict the fate of this discharged  $^{14}\text{C}$ , it is necessary to develop transfer and accumulation models of carbon in terrestrial ecosystems such as forests, wetlands, paddy fields, farmlands and pastures, which are found around the reprocessing plant.

We selected the following as target forests and plantations in the study: a forest co-dominated by beech (*Fagus crenata*) and hiba (*Thujopsis dolabrata*) trees, a deciduous broad-leaved forest dominated by oak (*Quercus crispula*) trees, and two tree plantations of 22-y-old and 68-y-old Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) trees. In FY 2014, we continued various studies to get data for constructing the models and optimized parameters in the models by using all available data.

The net primary productivities at the target forests were obtained as the sum of the growth rate of a tree type and litter fall by field observations and the allometry equation of the tree. To obtain the decomposition rates of soil organic matter and their temperature dependency, soil samples from the forests, wetlands, paddy fields, farmlands and pastures were incubated in the laboratory at different temperatures (10, 20, and 30°C), and respired  $\text{CO}_2$  amounts from the soil samples were measured during the periods for up to ~700 d. The decomposition rate of labile and resistant soil organic matter was approximated by an exponential decay function. The rate constants of decay functions for the labile and resistant soil organic matter were fitted to the Arrhenius equations to obtain the rate constants depending on temperature. To investigate soil microbial communities during the incubation, incubated soils were analyzed using the denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) method. The results showed no major changes in microbial species composition for each incubated period of each soil sample.

To investigate the decomposition rates of plant residues and transfer of decomposed products to soil organic matter in paddy fields, farmlands and pastures, mixtures of  $^{13}\text{C}$ -labelled plant material and soil of each study field were packed into glass-fiber filter bags, and buried in the respective study fields. Amounts of  $^{13}\text{C}$  in the glass-fiber filter bags were measured at predetermined intervals during periods for up to ~1000 d after burying. The decomposition rate of plant residue or litter in each field was approximated by an exponential decay function. The dissolved organic carbon drained to the lower layer of each field were evaluated by lysimeters buried in each study field.

We optimized the parameters of the model programs coded until FY 2013 for the  $^{14}\text{C}$  transfer and accumulation in the target fields by using data obtained, and confirmed reasonable output from them.

## 1. 目的

本調査は、大型再処理施設から排出される炭素-14 ( $^{14}\text{C}$ ) について、施設周辺地域で代表的な森林、牧草地、水田、畑地及び湿地の 5 つの土地形態毎に、植物体や土壌への蓄積及びそれらからの放出を推定するモデルを整備し、大型再処理施設稼動に伴う中長期の影響評価（環境への蓄積等）に資することを目的とする。これまで、土地形態毎の炭素固定速度、土壌有機物分解速度等を調査しており、平成 26 年度は（1）野外における炭素固定速度調査（2）土壌中有機物分解速度の温度依存性試験（3）野外における植物残渣及び土壌有機物の分解速度調査（4）土壌微生物群集調査（5）溶存有機物の流出量調査を行い、これらの結果を総合して（6）耕地（牧草地・畑地・水田）、未耕地における  $^{14}\text{C}$  移行・蓄積モデルの構築を行った。

## 2. 方法

### 2.1 野外における炭素固定速度調査

①ブナ・ヒバ混交林、ミズナラ優占林及びスギ林（林齢 68 年と 22 年）における、樹木個体の胸高直径実測値と文献から得たアロメトリー式を用いて樹木の幹、枝、葉、根現存量を推定し、平成 26 年と 25 年の差から、年間成長量を求めた。②リタートラップ法により年間落葉・落枝量を求め、③イングロースコア法により年間細根成長量を測定した。①②③の結果の総和から純一次生産速度を求めた。

### 2.2 土壌中有機物分解速度の温度依存性試験

野外調査地より採取した土壌を、 $10^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$  及び  $30^{\circ}\text{C}$  で加温する恒温培養実験を好気条件で約 700 日間（及び湛水条件で 400 日間行った。培養瓶内部の  $\text{CO}_2$  放出量より残存炭素量を算出し、各土壌における易・中分解性土壌有機物の分解速度定数と温度依存パラメータを求めた。

### 2.3 野外における植物残渣及び土壌有機物の分解速度調査

リターバッグ法により植物残渣の分解速度定数とその温度依存性を求めた。また、 $^{13}\text{C}$  で標識した植物体を各対象土壌と混合しガラス繊維ろ紙に充填して、野外試験地に平成 23 年度に埋設した。経時的

に回収した内容物の全炭素濃度及び  $^{13}\text{C}$  同位体比を分析し、植物残渣分解産物中の土壌へ移行する割合、土壌へ移行した植物残渣分解産物が易・中分解性有機物へ分配される比及び各土壌有機物の分解速度定数をマルコフ連鎖モンテカルロ法により決定した。

### 2.4 土壌微生物群集調査

培養実験で用いた土壌から抽出したリボゾーム RNA のうち、細菌の 16S RNA 遺伝子の保存領域について変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法（DGGE 法）を用いて培養実験中の微生物群集を調査した。

### 2.5 溶存有機物の流出量調査

野外調査地にポーラスプレートライシメータ等を設置し、溶存有機態炭素の下方浸透速度を求めた。

### 2.6 耕地（牧草地・畑地・水田）、未耕地における $^{14}\text{C}$ 移行・蓄積モデルの作成

耕地（牧草地、水田及び畑地）、森林の放射性炭素動態を記述するモデルのコンパートメント構造とコンパートメント間の放射性炭素移動を記述する関数等を野外測定値に合うように最適化した。更に、湿地のモデルに用いられているパラメータを、これまでの観測データを用いて最適化した。

## 3. 成果の概要

### 3.1 野外における炭素固定速度調査

対象森林における得られた年間純一次生産量の内訳は、幹増加量が 29～41%、枝増加量が 5～7%、葉増加量が 1～3%、リターフォール量が 33～51%、根（直径 5 mm 以上）増加量が 8.9～12%、細根（直径 5 mm 以下）増加量が 1～6%であり、これらの値は国内の落葉広葉樹林、スギ林での報告値の範囲内であった。

### 3.2 土壌中有機物分解速度の温度依存性試験

各調査地土壌に対して Fig. 1 に示す易・中分解性土壌有機物の分解速度定数と分解速度定数をアレニウス式で表した活性化エネルギー値を決定し、後述するモデル作成の際にパラメータ初期値として用いた。

### 3.3 野外における植物残渣及び土壌有機物の分解速度調査

森林及び湿地におけるリターバッグ法により求

めた植物残渣分解速度定数 $k_d$ をアレニウス式で表すためのパラメータを決定した。また、耕地、森林及び湿地に埋設したガラス繊維ろ紙内容物の分析結果より、 $k_d$ を求めるアレニウス式のパラメータ、植物残渣の分解産物が土壌に移行する割合( $\gamma_d$ )、易・中分解性土壌有機物へ移行する割合( $\tau_{c4c6}$ 及び $\tau_{c4c7}$ )、及び易・中分解性土壌有機物の分解速度定数( $k_6$ 及び $k_7$ )を決定した。また、牧草地における計算値と観測値の結果を Fig. 2 に示した。

### 3.4 土壌微生物群集調査

土壌培養実験に用いた土壌及びガラス繊維ろ紙内の土壌に対して、微生物相を調査し、野外土壌と比較した。ガラス繊維ろ紙の一部で特定の微生物の

増加が一時的に見られたが、概ね、野外土壌の微生物相と類似していた。

### 3.5 溶存有機物の流出量調査

野外調査地にポーラスプレートライシメータ等を設置し、溶存有機態炭素の流出速度パラメータ (Fig. 1:  $\xi_6 \sim \xi_8$ ) を求めた。

### 3.6 耕地(牧草地・畑地・水田)、未耕地における $^{14}\text{C}$ 移行・蓄積モデルの作成

これまでの結果を基に、耕地(牧草地、水田及び畑地)、湿地及び森林の放射性炭素動態を記述するモデルのパラメータを最適化した。また、計算プログラムで試算を行い、炭素移行・蓄積量の正常な出力を確認した。

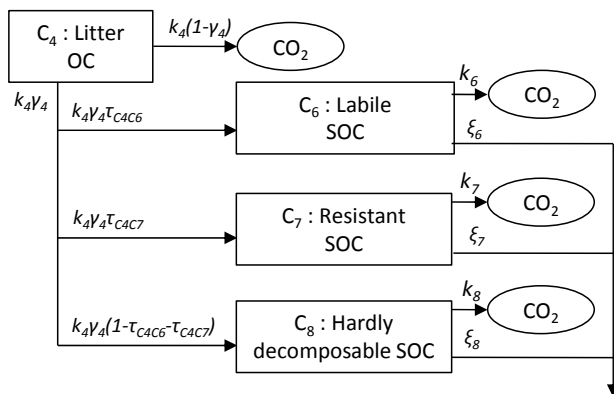


Fig. 1 Scheme of a compartment model for estimating decomposition of litter organic carbon (OC) and soil organic carbon (SOC).

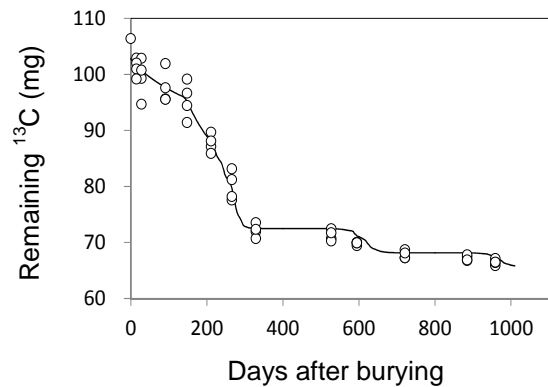


Fig. 2 Remaining  $^{13}\text{C}$  of plant residue and soil organic matter in glass-fiber filter bags buried in a pasture field. Open circles and the line, respectively, indicate observed values and the model estimation using soil temperature.