

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

永井 勝, 鈴木 静男, 新井 竜司, 小松原 修, 坂田 洋, 多胡 靖宏, 久松 俊一
環境影響研究部

Masaru NAGAI, Shizuo SUZUKI, Ryuji ARAI, Osamu KOMATSUBARA,
Hiroshi SAKATA, 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}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 ^{14}C discharged from the reprocessing plant, it is necessary to develop a transfer and accumulation model of carbon in terrestrial ecosystems, including the processes of photosynthetic fixation of carbon and the decomposition of organic matter in soil. Various ecosystems, such as forests, wetlands, paddy fields, farmlands and pastures are found around the reprocessing plant. In FY 2012, we investigated: 1) the net primary productivity (NPP) in forests and tree plantations, 2) the gross primary productivities (GPPs) of carrot using the Closed Plant Experiment Facility, and 3) the decomposition rates of organic matter in soils by field and room experiments.

We selected the following as target forests and plantations in the study: a forest co-dominated by beech (*Fagus crenata*) and hiba (*Thujaopsis dolabrata*) trees, a deciduous broad-leaved forest dominated by oak (*Quercus crispula*) trees, and two tree plantations of 20-y-old and 66-y-old Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) trees. The NPPs at the target fields were obtained as the sum of growth rate of the ground part biomass from 2010 to 2012, annual fine litter fall rate in 2012, and fine root growth rate in 2012. Although the obtained results were in the range reported in the literature, the estimation errors were large in the forests, and further study was required for getting precise results.

The GPPs of carrot were measured at three growth stages of the plants by pot cultivation experiments using soil from actual farmland. The air and soil temperatures, soil moisture, and light intensity were controlled to simulate conditions of the actual farmland. Both maximum GPPs and the initial slopes for photosynthesis capability of carrot decreased with the increasing number of days after sowing.

To investigate the decomposition rate of soil organic matter in forests, wetlands, paddy fields, farmlands and pastures, mixtures of ^{13}C -labelled plant powder and soil of each study field were packed into glass-fiber filter bags, and buried in each study field in FY 2011. Concentrations of ^{13}C in the bags were measured several times during the period to ~200 d after burying. The decomposition rates of soil organic matter were calculated using the measurement results; however, the obtained values were generally higher than those in the literature. Since coarsely cut plant matter was generally used in the previous studies, which differed from the present buried plant shape, this may be one of the reasons for the higher values of the present study.

To obtain temperature dependency of the decomposition rate of organic matter in soil, soil samples

from forests, wetlands, paddy fields, farmlands and pastures were incubated in the laboratory at different temperatures (10, 20, and 30°C), and respired CO₂ amounts from the soil samples were measured to obtain the decomposition rates. The organic carbon decomposition was approximated by an exponential decay function with a constant term representing the hardly decomposed fraction. The rate constant of the decay function was fitted to the Arrhenius equation to obtain the rate constant at any temperature around the examined temperatures.

1. 目的

大型再処理施設から排出される炭素-14 (¹⁴C) 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つの土地形態ごとに、植物体や土壌への蓄積・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。平成24年度は、(1) 植物-土壌試験系における炭素固定量調査 (2) 土壌有機物分解試験 (3) 土壌の有機物分解に関する温度パラメータ取得試験を行った。

2. 方法

2.1 植物-土壌試験系における炭素固定量調査

スギ林（林齢66年と20年）、ブナ-ヒバ混交林及びミズナラ優占林における、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各部位の乾燥重量を推定し、樹木個体の地上部現存量を算出した。そして、平成24年度の地上部現存量と平成22年度の差から、樹木個体の地上部年間成長量を得た。また、リタートラップ法により、落葉や落枝などの1年間のリターフォール量を推定し、地上部年間成長量とリターフォール量の総和から地上部純一次生産速度を求めた。さらに、地上部と同様に胸高直径の実測値から根（直径5mm以上）の現存量の増加分を求め、イングロースコア法によって求めた細根成長量との和から地下部純一次生産量を得た。

ニンジンの炭素固定量を評価するために、閉鎖系植物実験施設においてニンジンポット土耕法によって栽培し、総一次生産速度への光と温度の影響を検討する短期の実験を成長段階別に3度行った。総一次生産速度は、栽培施設内CO₂の収支から求めた。

2.2 土壌有機物分解試験

土壌に供給された植物の分解速度、土壌有機物各分画の残留性を評価するため、¹³Cで標識した植物体（ヨシの葉と稈、スギ葉、ブナ葉、ダイコン葉、ニンジン葉、チモシーの根と稈、及びイネの根と稈）をそれぞれの対象土壌と混合し、ガラス繊維濾紙に充填して、野外試験地に平成23年度に埋設した。それぞれの調査地において、1回当たり3本のガラス繊維濾紙を経時的に回収し、内容物を粉碎後、試料中の全炭素濃度及び¹³C同位体比を分析し、内容物の分解速度定数を算出した。

2.3 土壌の有機物分解に関する温度パラメータ取得試験

土壌有機物分解速度に与える温度の影響を明らかにするため、野外の湿地、森林、牧草地、畑地、水田より採取した土壌を、2mmメッシュの篩で選別後、土壌水分量を最大容水量の60%として、10°C、20°C及び30°Cの恒温培養実験を90日間行った。定期的に培養瓶内部の気体を採取し、測定したCO₂放出量より残存土壌中炭素量を算出した。各温度で得られた数値をもとに、易分解性有機物の分解速度定数と温度に関するパラメータである活性化エネルギーを求めた。

3. 成果の概要

3.1 植物-土壌試験系における炭素固定量調査

スギ林（林齢66年と20年）、ブナ-ヒバ混交林及びミズナラ優占林において、単位地上面積当りの樹木個体の地上部及び地下部純一次生産量を求め、年間純一次生産量を算出した（Table 1）。これらの値はこれまでにスギ林及び落葉広葉樹林で報告されている数値の範囲内であった。

閉鎖系植物実験施設で栽培したニンジン、野外と類似した成長量を示した。大気から畑地への炭素の移行過程である総一次生産速度を単位葉乾重当たりと単位葉面積当たりで評価したところ、ニンジンの総一次生産速度に関連したパラメータ（光 - 光合成曲線の初期勾配と最大光合成速度）は、成長段階で変化することが明らかになった。

3.2 土壤有機物分解試験

ガラス繊維濾紙内容物の ^{13}C 残留量の測定から、各土壤における植物体中の易分解性有機物分解速度定数を求めた。推定された易分解性有機物分解速度定数は $1.6 \times 10^{-2} \text{ d}^{-1}$ (チモシー)、 $1.2 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ (イネ)、 $5.4 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ (ダイコン)、 $5.9 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ (ニンジン)、 $3.7 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ (ヨシ)、 $2.0 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ (ブナ)、 $2.0 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ (ミズナラ)、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ (スギ)であった。これらの数値は植物遺体の分解速度定数として報告されている値と近いものであったが、本研究では植物体を粉末化しているため、全体的に高い数値を示した。今後、非粉末の植物体の分解速度定数をリターバッグ法などで調査する必要がある。

3.3 土壤の有機物分解に関する温度パラメータ取得試験

実験結果を基に、有機物分解を以下の式で表した。

$$C = C_{1,0} \exp(-k t) + C_2 \dots (1)$$

$$k = k_0 \exp(E(T - T_0) / (R T_0 T)) \dots (2)$$

ここで、 C は全炭素量 ($\text{mg-C mg}^{-1}\text{-dry soil}$)、 $C_{1,0}$ は易分解土壤有機物炭素量の初期値 ($\text{mg-C mg}^{-1}\text{-dry soil}$)、 k は易分解土壤有機物の分解速度定数 (d^{-1})、 C_2

Table 1 NPPs of tree plantations and forests from field observations

Vegetation type	NPP ($\text{kg-dry m}^{-2} \text{ y}^{-1}$)
<i>C. japonica</i> tree plantations	
20-y-old tree plantation	1.6 ± 0.6
66-y-old tree plantation	1.4 ± 0.2
<i>F. crenata</i> - <i>T. dolabrata</i> co-dominated forest	1.3 ± 2.2
<i>Q. crispula</i> -dominated forest	0.8 ± 1.0

NPP: net primary productivity

は難分解土壤有機物炭素量 ($\text{mg-C mg}^{-1}\text{-dry soil}$)、 R は気体定数であり、(1)式に合うように各温度における k を求めた。さらに、 k の温度依存性を Arrhenius の活性化エネルギー E (J mol^{-1}) と土壤温度 (K) を用いて(2)式のように表し、全ての温度において、各温度 (T) で得られた k を同時に満たすパラメータ (k_0) と活性化エネルギー (E) を決定した。

得られたパラメータを用いて、易分解性有機物の分解速度定数を温度の関数として表すことが出来た (Fig. 1)。 30°C での分解速度定数はスギ優占林と湿地が高く、これらの土壤を用いた実験では二酸化炭素放出量が多かった。今後、長期的に実験を続けることで、難分解土壤有機物の分解速度の温度依存性を明らかにする。

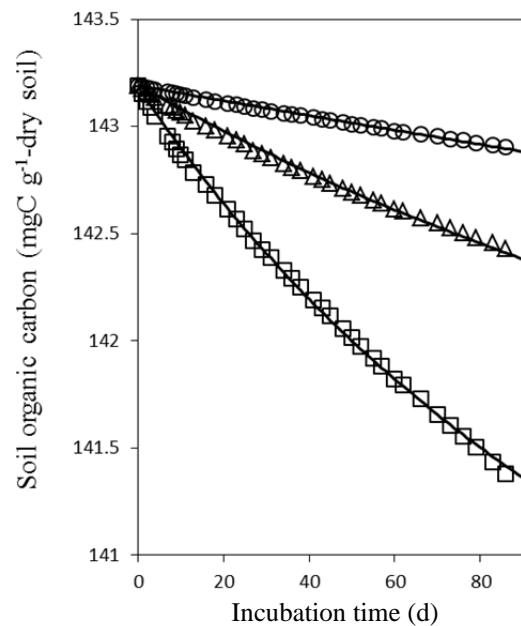


Fig. 1 Decrease in soil organic carbon incubated in oak (*Q. crispula*) tree-dominated forest soil at 10°C (\circ), 20°C (\triangle), and 30°C (\square).

Lines show estimated amounts of soil organic carbon by the model equation obtained in this study.