

第4章 閉鎖系植物及び動物・居住実験施設等における炭素の移行・代謝に関する調査研究

4.1 炭素移行モデル作成試験

4.1.1 大気から作物への動的炭素移行モデルの作成

Development of a Transfer Model of Carbon from the Atmosphere to Crops

谷 享, 新井 竜司, 野副 晋, 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, Susumu NOZOE, Yasuhiro TAKO, Yuji NAKAMURA

Department of Environmental Simulation

Abstract

Estimation of activity concentration of ^{14}C in edible parts of crops is necessary to assess the local radiological impact of ^{14}C released from the spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Japan. In this study, carbon transfer in rice plant was described by a mathematical model consisting of two compartments of an edible part (ears) and a vegetative shoot part (leaves and culms) which supplies carbon storage compounds for the growth of ears. Transfer coefficients of carbon getting into and leaving these compartments were estimated using growth curves of the edible and vegetative shoot parts. The ratio of carbon fixed at each growth stage to the total carbon in the edible part at harvest ($R(t)$) was predicted by the model. The predicted $R(t)$ and experimentally measured $R(t)$ were compared to the growth rate ($G(t)$) of the edible part normalized by its total carbon at harvest. Both $R(t)$ s were higher than $G(t)$ from the early vegetative growth to milk stages, which implied the existence of translocation of carbon stored in the vegetative shoot part to the edible part. The results indicated that the effect of translocation of carbon stored in the vegetative shoot part to the edible part could be properly taken into account for predicting activity concentration of ^{14}C in the edible part of rice plant using the two-compartment model.

1. 目的

大型再処理施設から大気中に放出される ^{14}C の一部は、光合成によって作物に固定される。したがって、ヒトの経口摂取による ^{14}C の被ばく線量を評価するためには、作物の可食部の ^{14}C 量を推定する必要がある。

これまでの被ばく線量評価における ^{14}C 濃度の評価には比放射能法が用いられているが、大気中の ^{14}C 濃度が時間的に変動する場合には、動的な評価法が必要となる。そこで、主要作物であるイネでの炭素

移行をコンパートメントモデルで表現することを試みた。これまで作物への $^{13}\text{CO}_2$ ばく露実験で、収穫日のイネの穂（可食部）に含まれる炭素全量に対する各生育時期に固定された炭素の寄与率（ $R(t)$ ）のデータを取得してきた。この $R(t)$ の実測値とモデルによる推定値を比較することで、モデルの有効性を検討することを目的とした。

2. 方法

イネの穂の成長は、穂の成長時に光合成で大気か

ら取込まれた炭素と、茎葉に貯蔵されている炭素の両方に依存する (Okawa *et al.*, 2002)。ここでは穂の ^{14}C 量 (Bq) を推定するモデルとして、穂と茎葉の 2 コンパートメントで構成されるモデルを仮定した (Fig. 1)。穂および茎葉コンパートメント内の炭素量の時間変化は、

$$\frac{dW_E}{dt} = p_{EC}(t) + k_{SE}(t)W_S(t) - k_{EA}(t)W_E(t) \quad (1)$$

$$\frac{dW_S}{dt} = p_{SC}(t) - k_{SE}(t)W_S(t) - k_{SA}(t)W_S(t) \quad (2)$$

と表される。ここで、 $p_{EC}(t)$ と $p_{SC}(t)$ は大気から穂および茎葉コンパートメントへの炭素移行量 (g-C day^{-1})、 $W_E(t)$ と $W_S(t)$ は穂および茎葉コンパートメントの炭素量 (g-C)、 $k_{SE}(t)$ は茎葉コンパートメントから穂コンパートメントへの炭素移行係数 (day^{-1})、 $k_{EA}(t)$ と $k_{SA}(t)$ は穂および茎葉コンパートメントから大気への炭素移行係数 (day^{-1}) である。穂および茎葉コンパートメント内の ^{14}C 量 (Bq) の時間変化は、(1)式および(2)式の右辺各項に炭素供給源となる大気、穂または茎葉コンパートメントの ^{14}C 濃度 (Bq g-C^{-1}) を乗じることで計算される。

(1)式の $p_{EC}(t)$ と $k_{SE}(t)W_S(t)$ および(2)式の $p_{SC}(t)$ は、

$$p_{EC}(t) = \{1 - a(t)\} \{N_E(t) + k_{EA}(t)W_E(t)\} \quad (3)$$

$$k_{SE}(t)W_S(t) = a(t) \{N_E(t) + k_{EA}(t)W_E(t)\} \quad (4)$$

$$p_{SC}(t) = N_S(t) + k_{SA}(t)W_S(t) + a(t) \{N_E(t) + k_{EA}(t)W_E(t)\} \quad (5)$$

で表した。ここで、 $a(t)$ は t に穂コンパートメントに移行した炭素全量 ($N_E(t) + k_{EA}(t)W_E(t)$) に対する t に茎葉コンパートメントから穂コンパートメントに移行した炭素 ($k_{SE}(t)W_S(t)$) の比率、 $N_E(t)$ と $N_S(t)$ は成長曲線の微分によって得られる穂および茎葉における単位時間当たりの純炭素増加量 (g-C day^{-1}) である。

モデル計算のためには $a(t)$ 、 $k_{EA}(t)$ 、 $k_{SA}(t)$ の値を決定する必要がある。茎葉コンパートメントから穂コンパートメントへの炭素移行量 (g-C day^{-1}) が $N_E(t)$ に比例すると仮定すると、 $a(t)$ は以下の式で表せる。

$$a(t) = \phi N_E(t) \quad (6)$$

ここで ϕ は比例定数である。イネ子実中の炭水化物に対する茎葉に一時的に貯蔵された炭水化物の寄与率が 20～30% に達するという報告例 (Cock and

Yoshida, 1972; Murthy, 1976) の最大値を用いると、栽培終了日 (T) における穂中の貯蔵炭素量は $0.3W_E(T)$ であり、

$$\int_0^T a(t)N_E(t)dt = 0.3W_E(T) \quad (7)$$

が成り立つような ϕ の値を求めた。 $k_{EA}(t)$ と $k_{SA}(t)$ は、穂および茎葉の成長効率である $N_E(t)/\{N_E(t) + k_{EA}(t)W_E(t)\}$ と $N_S(t)/\{N_S(t) + k_{SA}(t)W_S(t)\}$ が、それぞれ 0.83 (Shinano *et al.*, 1993)、0.6 (Yamaguchi, 1978) という条件で求めた。

$R(t)$ を推定するために、播種後 t 日目だけ大気中 ^{14}C 濃度を 1 Bq g-C^{-1} に設定した条件でモデル計算を行い、収穫日の穂コンパートメントの ^{14}C 濃度 (Bq g-C^{-1}) を求めた。さらに、 $^{14}\text{C}_{\text{air}}(t)$ を 1 Bq g-C^{-1} に設定した播種後日数 (t) と収穫日の穂コンパートメントの ^{14}C 濃度の関係を表す曲線をその曲線下の面積で規格化し、 $R(t)$ の推定値とした。

3. 成果の概要

穂の成長が成長時の光合成で固定された炭素のみに依存するのであれば、 $R(t)$ は $N_E(t)$ を収穫日の穂炭素量で規格化した関数 $G(t)$ (Fig. 2) と一致する。しかし実際には、穂の成長には茎葉の貯蔵炭素が寄与するため、 $R(t)$ の実測値は生育中期で $G(t)$ よりも高くなった。同様の結果が、 $R(t)$ のモデル推定値にも見られた。 $R(t)$ のモデル推定値が生育中期に $G(t)$ よりも高くなるという結果は、生育中期に光合成で固定された後茎葉に貯蔵された炭素が収穫日までに穂に転流されるという炭素移行パターンを、モデルによって表現できたことを意味する。

大気中 ^{14}C 濃度の時間変化を考慮に入れて作物可食部の ^{14}C 量を推定するためには、固定時期の異なる炭素を区別する必要がある。本試験結果は、光合成で固定された炭素と貯蔵炭素という固定時期の異なる 2 種の炭素を区別した今回のモデルが、作物可食部の ^{14}C 量の推定に有用であることを示唆している。

引用文献

Cock, J.H. *et al.* (1972) *Proc. Crop Sci. Soci. Japan*, **41**,

226-234.

Murthy, K.S. (1976) Rice production manual, pp48-55,
New Delhi, India

Okawa, S. *et al.* (2002) *Soil Sci. Plant Nutrit.*, **48**,
237-242.

Shinano, T. *et al.* (1993) *Plant and Soil.*, **155/156**,
207-210.

Yamaguchi, J. (1978) *J. Fac. Agric. Hokkaido Univ.*, **59**,
59-129.

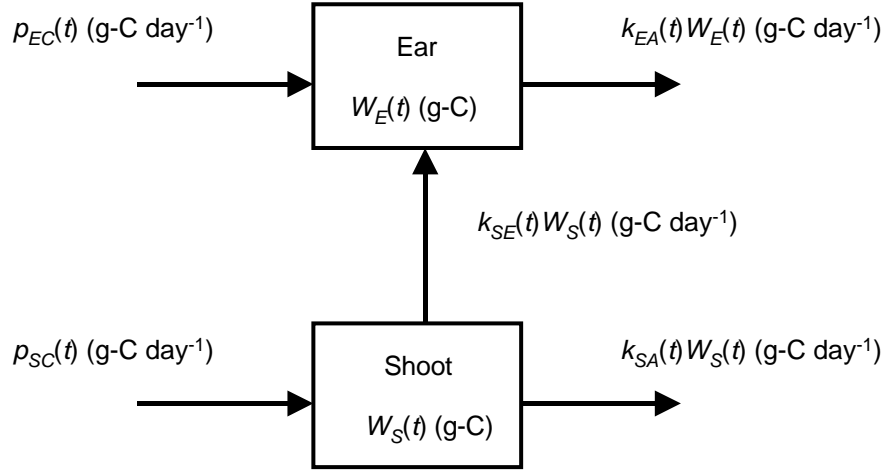


Fig. 1 Block diagram of the compartment model. The symbols are as follows: $p_{EC}(t)$, carbon transfer rate from air to ear compartment (g-C day⁻¹), i.e. translocation rate of carbon fixed by shoot (leaves and culms) at t into ears; $p_{SC}(t)$, carbon transfer rate from air to shoot compartment (g-C day⁻¹); $W_E(t)$, amount of carbon in ear compartment (g-C); $W_S(t)$, amount of carbon in shoot compartment (g-C); $k_{EA}(t)$, transfer coefficient from ear compartment to air (day⁻¹); $k_{SA}(t)$, transfer coefficient from shoot compartment to air (day⁻¹); $k_{SE}(t)$, transfer coefficient from shoot compartment to ear compartment (day⁻¹).

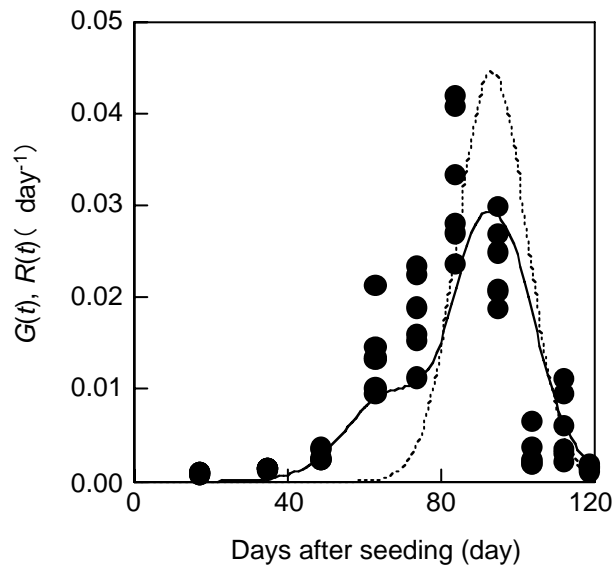


Fig. 2 Measured (black circles) and predicted (solid line) values of the ratio of carbon fixed at different days after seeding to the total carbon in ears of a rice plant at harvest ($R(t)$). The dotted line shows the ratio of growth rate of ears (g-C day⁻¹) to the total carbon in ears at harvest ($G(t)$).