

第5章 閉鎖系陸・水圏実験施設における生態系炭素等移行に関する調査研究

5.1 湿地生態系構築と炭素移行に関する試験

Studies on Construction of a Wetland Ecosystem and Carbon Transfer in the Closed Geosphere Experiment Facility

鈴木 静男, 多胡 靖宏, 中村 裕二

環境シミュレーション研究部

Shizuo SUZUKI, Yasuhiro TAKO, Yuji NAKAMURA

Department of Environmental Simulation

Abstract

The Closed Geosphere Experiment Facility (CGEF) with high airtightness is designed to study carbon dynamics in terrestrial ecosystems, including the transfer and accumulation of the radioactive carbon isotope released from nuclear facilities to the environment. A wetland ecosystem dominated by *Phragmites australis*, which is widely found in the cool-temperate brackish marsh near the spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Japan, was introduced into the CGEF where air temperature and CO₂ concentration are both controlled automatically. A mathematical model to estimate the transfer and accumulation of radioactive carbon in the wetland ecosystem was developed. This model consists of photosynthesis and decomposition sub-models, having the structure of nine-pool compartments (three plant, two litter, three soil, and one groundwater compartments). The Bayesian probabilistic inversion analysis and a Markov chain Monte Carlo (MCMC) technique were applied to determine parameters of the carbon transfer and accumulation model. The analysis used nine data sets for carbon reservoirs (leaf, culm, and rhizome biomass carbon, litter layer carbon, microbial biomass and organic carbon in soil, and dissolved organic carbon) and fluxes (ecosystem respiration and methane flux) observed in the CGEF. The comparisons between the simulated values and observed data showed that the model gave appropriate estimates of the carbon reservoirs and fluxes. The ecosystem respiration was adequately simulated by the model. Although the projection of variation in methane flux during a short period was not always successful, the seasonal trend of the variation largely resembled the observed one. The changes in the amount of carbon in plant biomass and litter layer and that of dissolved organic carbon were properly estimated. This study suggests that the combination of the Bayesian statistics and the MCMC technique is very useful to analyze the transfer and accumulation of carbon in a wetland ecosystem.

1. 目的

本調査は、大型再処理施設から大気中に放出された¹⁴Cの陸上生態系における挙動予測を最終目的としている。¹⁴Cは、半減期が5730年と長く、植物の光合成により陸上生態系に取り込まれ環境中を移行する (Amiro *et al.* 1991)。大型再処理施設の周辺地域

には、ヨシが優占する湿地生態系が広範に存在しているため、この生態系を対象とする。¹⁴Cの挙動予測を行うために、閉鎖系陸圏実験施設にヨシ群落からなる湿地生態系を構築し (鈴木, 遠藤 2007)、大気-植物-土壌という生態系の各構成要素における炭素の蓄積量と各構成要素間の炭素移行量の調査を行

ってきた。

湿地生態系において、将来の ^{14}C 蓄積量を予測するためには、数値シミュレーションモデルが必要となる。そのため、平成19年度にヨシ群落湿地生態系における炭素移行・蓄積基本モデルを作成した（鈴木、中村 2008）。この基本モデルは、大気-植物-土壌という生態系の構成要素を有し、要素間の炭素移行経路と要素内の炭素リザーバーで表される。平成20年度は閉鎖系陸圏実験施設を用いて炭素移行・蓄積量データを収集し、モデルパラメータの決定を目的とした。

2. 方法

2.1 湿地生態系における炭素リザーバーとフラックスの測定

植物体の葉と稈バイオマス炭素量をヨシの稈数と稈高からアロメトリー式により求めた。また、根茎炭素量とリター炭素量はイングロースコア法とリターバック法を用いて推定した。土壌中の微生物バイオマス炭素量はクロロホルムくん蒸抽出法により測定し、易・難分解性有機物量は全炭素量と微生物バイオマス炭素量の差により求めた。生態系呼吸速度などの生態系による二酸化炭素交換速度とメタンフラックスは、閉鎖系内の陸圏モジュールにおける空気中の二酸化炭素とメタン濃度変化率、気温、気圧、二酸化炭素供給・回収速度より求めた。

2.2 炭素移行・蓄積モデルのパラメータ決定

湿地生態系の炭素移行・蓄積モデルは、光合成と分解サブモデルで構成され、9個の炭素リザーバー、リザーバー間の移行経路、さらに11個の気体状炭素（二酸化炭素、メタン）フラックスから成る（Fig. 1）。上記の炭素リザーバーとフラックスのデータを基に湿地生態系における炭素移行・蓄積モデルのパラメータをベイズ統計学に基づくマルコフ連鎖モンテカルロ法により解析した。この解析方法によりパラメータは確率的に求まるため、各パラメータの事後確率密度関数から平均値を計算し、全23個のパラメータを同時に決定した。

3. 成果の概要

3.1 観測値に基づくパラメータの事後確率密度関数

マルコフ連鎖モンテカルロ法では、100,000回の試行を3回繰り返した。各パラメータについて、この100,000回の3回繰り返しデータを用いてGelman-Rubin統計量（Gelman and Rubin 1992）を計算したところ、全てのパラメータにおいて1.05より小さい値を示し、収束と判定された。各パラメータの平均値、標準偏差、変動係数をTable 1に記した。炭素リザーバー間の移行に関する分配パラメータの d , f は小さな変動係数を示し、 g は大きな変動係数を示した。また、分解係数パラメータに関して、 k_d , k_f は比較的小さな変動係数を示した。変動係数が小さなパラメータは、アウトプットとしての炭素リザーバーやフラックスの変動に大きな影響を与えると考えられる。

3.2 観測値とモデル計算値との比較

測定データに基づいて決定された23個のパラメータを炭素移行・蓄積モデルに代入し、湿地生態系の各炭素リザーバー量とフラックスを予測し、実測値との比較を行った。生態系呼吸速度は、生物活性の高い夏季において良く一致した。一方、メタン放出量の短期変動の予測は必ずしも適合していないが、長期変動の予測はよく一致した。また、植物バイオマス炭素量、リター炭素量、溶存態有機炭素量等は、一致は良好であった。今後、実験施設及び野外で代表性のあるデータを収集することにより、予測精度の高い炭素移行・蓄積モデルを構築する。

引用文献

- Amiro, B. D. *et al.* (1991) *Health Physics*, **61**, 825-829.
- Gelman, A., Rubin, D. B. (1992) *Statistical Science* **7**: 457-511.
- 鈴木静男, 遠藤政弘 (2007) 平成18年度環境科学技術研究所年報, 45-47.
- 鈴木静男, 中村裕二 (2008) 平成19年度環境科学技術研究所年報, 49-51.

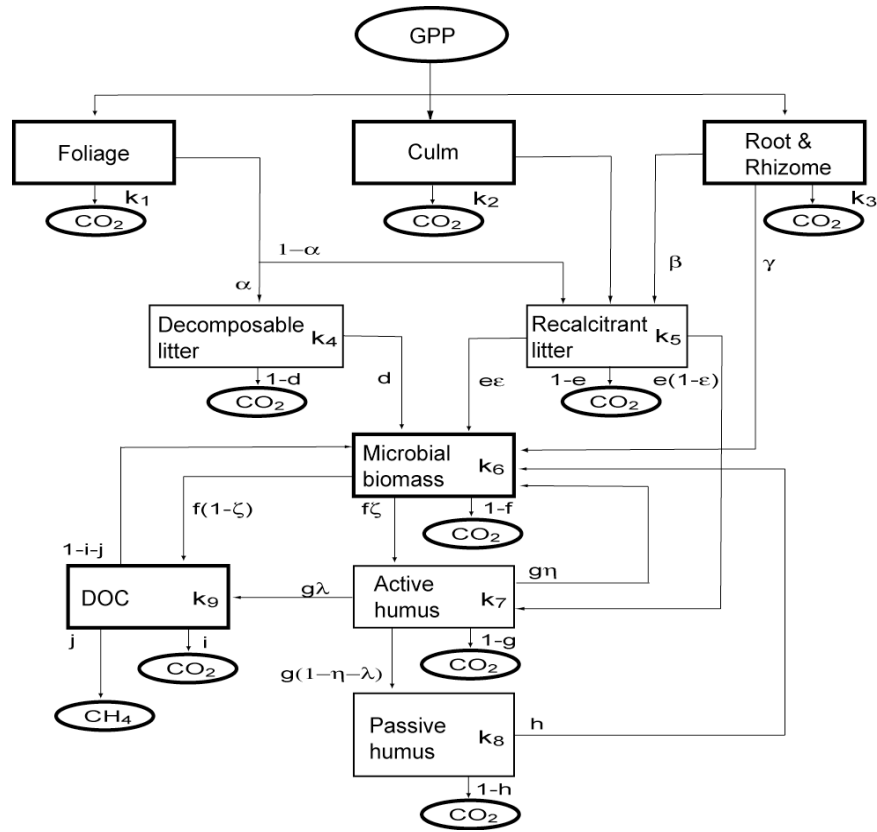


Fig. 1 Schematic of the carbon cycle model in the wetland ecosystem. Rectangles, ellipses, and lines show carbon reservoirs, gaseous carbon fluxes, and carbon transfers, respectively. k_1 to k_9 represent carbon transfer coefficients, d to j and the Greek letters represent the allocation of carbon transfer.

Table 1 Determined parameters of the carbon transfer and accumulation model

Parameter	Mean	SD	CV (%)	Parameter	Mean (day ⁻¹)	SD (day ⁻¹)	CV (%)
d	5.00×10^{-1}	0.30×10^{-1}	6.0	k_1	9.14×10^{-4}	2.80×10^{-4}	30.6
e	4.82×10^{-1}	1.48×10^{-1}	30.7	k_2	7.01×10^{-3}	0.42×10^{-3}	6.0
f	4.03×10^{-1}	0.27×10^{-1}	6.7	k_3	9.20×10^{-5}	2.87×10^{-5}	31.2
g	4.99×10^{-1}	1.49×10^{-1}	29.9	k_4	3.31×10^{-3}	0.26×10^{-3}	7.9
h	4.98×10^{-1}	1.51×10^{-1}	30.3	k_5	6.47×10^{-4}	1.62×10^{-4}	25.0
i	5.04×10^{-1}	1.38×10^{-1}	27.4	k_6	6.90×10^{-2}	1.72×10^{-2}	24.9
j	6.36×10^{-2}	0.85×10^{-2}	13.4	k_7	6.13×10^{-5}	2.01×10^{-5}	32.8
α	4.98×10^{-1}	1.50×10^{-1}	30.1	k_8	3.02×10^{-6}	1.00×10^{-6}	33.1
β	6.23×10^{-5}	1.36×10^{-5}	21.8	k_9	4.87×10^{-1}	0.69×10^{-1}	14.2
γ	5.04×10^{-4}	0.74×10^{-4}	14.7				
ϵ	5.20×10^{-1}	1.51×10^{-1}	29.0				
ζ	1.71×10^{-1}	1.40×10^{-1}	81.9				
η	5.02×10^{-1}	1.50×10^{-1}	29.9				
λ	1.00×10^{-1}	0.30×10^{-1}	30.0				