

森林域におけるCO₂濃度変動特性

東北大学大学院 学生員 ○岡田久子
 東北大学大学院 学生員 多田 毅
 東北大学大学院 フェロー 沢本正樹

1. はじめに

森林は大気中におけるCO₂濃度の時間的・空間的变化に重要な役割を果たしている。植物の光合成活動の過程で大気からCO₂を吸収し、植物の呼吸や土壌の分解の過程で大気中にCO₂を放出する。本研究では、森林域でのCO₂濃度日変動が植物の光合成活動と土壌呼吸によるものと仮定し、また光合成活動は日射量の関数、土壌呼吸は気温の関数とおくことにより、CO₂濃度の日変動パターンを日射量と気温で表すモデルを提案する。そして、筆者らが森林内で通年観測してきたCO₂濃度データをもとに、CO₂濃度変動の特性について検討を加える。

2. CO₂濃度日変動のモデル化

図-1に示すようにボックスを設定し、ボックス内へのCO₂ (mg) の出入りを考える。ここでは、一様な森林を考え移流による横方向の変化は無視できるものとする。

$$\frac{dCO_2}{dt} \cdot V = \underbrace{R_{resp} \cdot A}_{\text{土壌呼吸量}} + \underbrace{P_{hot} \cdot LAI \cdot A}_{\text{光合成固定量}} + \underbrace{k \cdot dCO_2 \cdot U \cdot A}_{\text{外部大気との交換}} \quad \text{より、}$$

$$\frac{dCO_2}{dt} \cdot H = R_{resp} + P_{hot} \cdot LAI + k \cdot dCO_2 \cdot U \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\frac{dCO_2}{dt}$ はCO₂濃度の時間変化率 (mgCO₂/m³ hr)、 R_{resp} は土壌呼吸速度 (mgCO₂/m² hr)、 P_{hot} は光合成速度 (mgCO₂/m² hr)、 LAI は葉面積指数 (m²/m²)、 V はボックスの体積 (m³)、 A はボックスの底面積 (m²)、 H はボックスの高さ (m)、 k は交換を表す係数、 dCO_2 はボックスの上層大気とのCO₂濃度差 (mgCO₂/m³)、 U は風速 (m/s) である。

式(1)において左辺は、宮城県鳴子町川渡の森林域において筆者らが観測している通年データから得られるCO₂濃度の1時間毎の時間変化率を用いて評価する。右辺に関しては、観測地点での情報は得られないため、CO₂濃度に直接結びつくような物理量としてNPP（純一次生産量）を取り上げ、一般的な森林における知見をもとに P_{hot} 、 R_{resp} を推定する。

森林生態系の炭素循環を図-2の記号を用いて考えると、NPP、土壌呼吸量（以下 R_{soil} ）は以下のように表すことができる¹⁾。

$$NPP = P_g - (R_f + R_c) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R_{soil} = R_m + R_u \quad \dots\dots\dots (3)$$

対象とする森林を十分発達した極相林と仮定すると、炭素循環はほぼ動的平衡に達しているため、以下の関係が成り立つ。

$$P_g = R_f + R_c + R_u + R_m \quad \text{より、} \quad NPP = R_{soil} \quad \dots\dots\dots (4)$$

光合成速度

森林群落の光合成速度 P_{hot} は、日射量の双曲線関数で表される単葉の光合成速度の式形を利用する。

$$P_{hot} = \frac{a \cdot I}{b + I} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで I は光合成有効放射量 (W/m²) で全天日射量の $\frac{1}{2}$ とする。係数 b はSellersら²⁾にならい300(W/m²)を用いる。1時間毎の全天日射量を式(5)に代入し、1年分積算して得られる値がNPPと等しいとする。多田³⁾が求めた宮城県の1ヶ

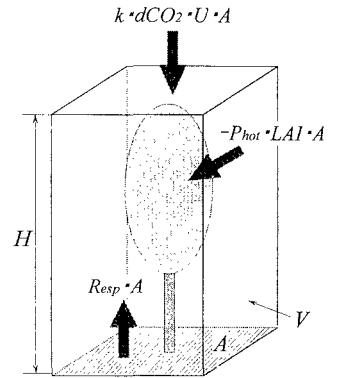


図-1 コントロールボリューム

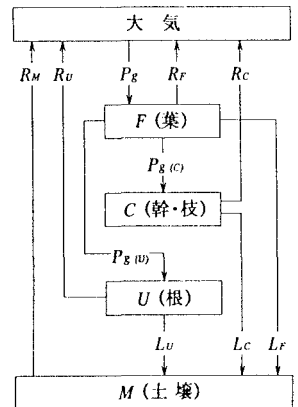


図-2 森林生態系の炭素循環¹⁾

月ごとのNPP値(表-1)を用いると、各月毎の $a \times LAI(i)$ を求めることができる。年間NPPは、 LAI_{max} (8月のLAI値)を用いると次式で表される。

$$NPP = \sum_{i=1}^{12} \left\{ \int_{1\text{month}} \left(\frac{a \cdot I(t)}{b + I(t)} \cdot \frac{LAI(i)}{LAI_{max}} \cdot LAI_{max} \right) dt \right\} \dots \dots (6)$$

仮に、 $LAI_{max}=7$ とすると各月のLAI値は表-1のように決まる。このとき、 $a=504.8$ ($\text{mgCO}_2/\text{m}^2\text{hr}$)であった。

土壌呼吸速度

森林土壌の呼吸速度式は、気温の指数関数で表される以下の式を用いる⁴⁾。

$$R_{esp} = c \times \exp(d \cdot T) \dots \dots \dots (7)$$

ここで、 $d=0.11$ ($1/^\circ\text{C}$)を用いた。土壌呼吸速度についても、1時間毎の気温を式(7)に代入し1年分積算して得られる値が、式(4)の関係よりNPPと等しいと置けるので係数 c が決まる。このとき、 $c=43.3$ ($\text{mgCO}_2/\text{m}^2\text{hr}$)であった。

$$NPP = \int_{1\text{year}} (c \times \exp(d \cdot T(t))) dt \dots \dots \dots (8)$$

3. 結果と考察

式(1)の中で、外部大気との交換に関わる項はとりあえず無視して、光合成固定速度および土壌呼吸速度とその差し引きから得られる結果の一例を図-3に示す。土壌呼吸速度に比べ光合成固定速度が大きく見積もられていることがわかる。この理由を2つの方法で説明する。ここで、 H は10(m)とした。

まず一つ目は、図-3において、実測結果と計算結果の差にあたる陰付きの部分が外部大気との交換量であるという考え方である。このとき、日中は上層大気から植物の方へ CO_2 は流入し、一方夜間は植物群落から外部大気へ CO_2 が放出していると説明できる。これは、大気-生態系間の CO_2 フラックスに関する一般的な知見と一致する。

もう一つは、はじめに定義したコントロールボリューム内での CO_2 の収支を考える。葉が茂っている季節には、土壌から放出される CO_2 は樹幹にトラップされて外部へは放出しないと仮定する。一方、植物の光合成活動によって取り込まれる CO_2 は、外部大気と接している葉は外部から CO_2 を調達し、ボックス内の葉はボックス内から CO_2 を調達すると仮定する。図-4は、光合成固定量の半分は、外部大気から調達し、半分はボックス内から調達する場合の結果である。つまり光合成による CO_2 固定量が半分になっているため、土壌呼吸量との差し引きから得られる計算値は、実測結果と良い一致を見せている。

以上の結果から、はじめに仮定したボックス内での CO_2 の収支には、外部大気との交換を考慮に入れることが必要不可欠であるが、光合成固定速度および土壌呼吸速度式とNPPを用いて確立した今回のモデルは、植物活動に由来する CO_2 濃度変動をある程度説明できたとと言える。

参考文献

- 1) 及川武久: 二酸化炭素濃度と森林生態系の炭素循環, 気象研究ノート, vol.160, pp.121-130, 1987.
- 2) Sellers,P.J., J.A.Berry, G.J.Collatz, C.B.Field and F.G.Hall: Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme., *Remote Sens. Environ.*, vol.42, pp.187-216, 1992.
- 3) 多田毅: 衛星データを用いた広域植生環境評価に関する研究, 東北大学博士学位論文, 1998.
- 4) Nakane,K., H.Tsubota and M.Yamamoto: Cycling of soil carbon in Japanese red pine forest 1. Before a clear-felling, *Bol. Mag. Tokyo*, vol.97, pp.39-60, 1984.

表-1 各月毎のNPP(多田³⁾), LAI

	NPP (kgDW/ha month)	LAI ^a (m ² /m ²)
Jan	12	.0
Feb	25	.0
Mar	65	.0
Apr	333	1.0
May	1,394	4.1
Jun	1,730	4.9
Jul	1,805	5.6
Aug	2,108	7.0
Sep	1,278	6.9
Oct	640	2.3
Nov	218	1.1
Dec	28	.0
Sum	9,635	

^a 1,2,3,12月は観測場所の状況から0とした

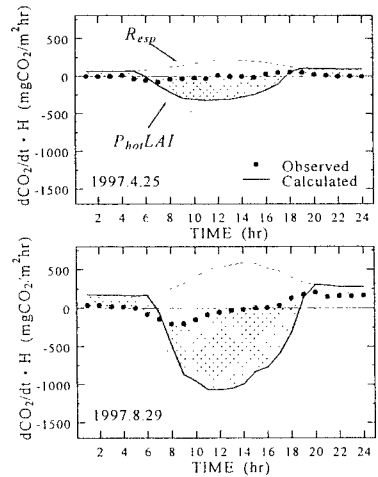


図-3 CO_2 濃度の時間変化率 case1

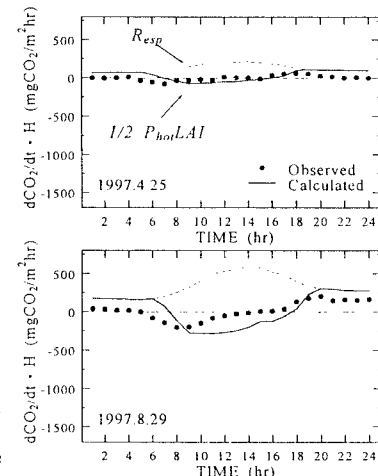


図-4 CO_2 濃度の時間変化率 case2