

土壌呼吸に対する根呼吸割合の簡易測定

Estimate of the contribution of root respiration to soil respiration

阪田匡司*¹・平井敬三*¹Tadashi SAKATA *¹ and Keizo HIRAI *¹

* 1 森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba, Ibaraki 305-8687

要旨: 森林生態系炭素動態の解明に必要である土壌有機物分解や根呼吸の特性を明らかにするため、土壌呼吸における根呼吸および微生物呼吸の分離測定法について検討した。簡便に用いることができる培養法を用いて、茨城県加波山山麓のヒノキ人工林土壌を対象に測定した。培養法によって推定された根呼吸は 0.94 MgC/ha/y、土壌微生物呼吸は 3.53 MgC/ha/y と推定され、土壌呼吸に対する根呼吸の割合は約 20%であった。培養法によって推定された根呼吸と土壌微生物呼吸の合計はチャンバー法によって測定された土壌呼吸 (4.73 MgC/ha/y) とほぼ同水準であったことから、培養法による推定は妥当であったと考えられる。培養法は、多地点への適用も容易であり、また、既往のデータを用いた推定が可能であるため、土壌呼吸の根呼吸割合の推定には有用な手法であると考えられる。

キーワード: 培養法、微生物呼吸、温度特性

Abstract: In order to clarify the mechanism of soil organic matter dynamics and forest ecosystem carbon dynamics, there is a need to clarify the characteristics of soil organic matter decomposition and root respiration in many sites. However, the separation method of measuring root respiration and microbial respiration in soil respiration has not been established. Therefore, in order to examine the useful separation methods, we have investigated in a cypress forest at Mt. Kaba in Ibaraki prefecture using an incubation method which can be used in relatively simple. As a result, the root respiration and the soil microbial respiration were estimated to be 0.94 and 3.53 (MgC/ha/y), respectively, using the incubation method. The ratio of root respiration to soil respiration was about 20 % in this study site. Since the sum of the root respiration and the soil microbial respiration was almost the same level as the soil respiration (4.73 MgC/ha/y), which is measured at control plots by the chamber method, the incubation method was considered to be reasonable. Since the incubation method can be relatively easily in many sites and may be estimated using previous data, the method appears to be a useful technique for estimating the root respiration ratio of soil respiration.

Keywords: incubation method, soil microbial respiration, temperature sensitivity

I はじめに

土壌呼吸による CO₂ 放出量は生態系呼吸の 50%以上を占め (7)、全球レベルでは約 100 PgC/y になると推定されている (1)。また、気温の上昇に伴う土壌呼吸の増大によって、さらなる気温上昇を引き起こす正のフィードバック作用の可能性も指摘されている (2)。土壌呼吸は土壌有機物の分解(微生物呼吸・分解呼吸・従属栄養呼吸)と植物根の呼吸(根呼吸・根圏呼吸・独立栄養呼吸)に分けられ、それぞれ温度などの環境要因に対する応答性が異なることから、さまざまな要因が複雑に関与している。そのため、土壌呼吸の将来予測や生態系の炭素収支を考える上で根呼吸と微生物呼吸を分離して考える必要がある。

根呼吸と微生物呼吸の分離手法には、トレンチ法 (6)、根量回帰法 (3)、培養法 (5)、同位体比法 (11) などが

挙げられる。それらの手法にはそれぞれ長所・短所があり、それらについて議論がなされている (4)。中でも培養法は現地と異なる状況で測定するため、かく乱の影響を無視できないという短所があるが、温度や水分条件など環境条件を任意に設定、制御することができ、微生物呼吸・根呼吸の温度依存性について単純化できる大きな長所がある (8, 4)。また、簡便に計測できるため、土壌呼吸の温度依存性のメカニズム解明や多地点の微生物呼吸や根呼吸を比較するためには有用な方法である。

培養法を用いた報告例の多くは根呼吸推定に培養法を適用し、現地観測によって得た土壌呼吸から差し引いて微生物呼吸の推定をおこなっている。そのため、試料根のかく乱影響をどのように評価するかが問題となっている。そこで、本研究では、培養法を根呼吸だけでなく微生物呼吸

にも適用し、その合計と別途測定した土壌呼吸との比較をおこない、培養法の妥当性を検討した。

II 調査方法

1. 調査地

茨城県桜川市の加波山北麓に位置する天岳良試験地で調査をおこなった。本試験地は 40 年生ヒノキ人工林で、林床植生は少ない林分である。標高は 250 m、年平均気温は 14.0°C、年間降水量は 1130 mm、土壌型は火山放出物および花崗岩を母材とする適潤性淡黒色土で、ほぼ平坦な地形である。

2. 方法

土壌呼吸：土壌呼吸測定はチャンバー法を用いて行った(10)。地表面に内径 30 cm 高さ 15 cm プラスチック製円筒チャンバーを数 cm 差し込んだものを用い、チャンバーに蓋をして 0, 10, 20 分後のチャンバー内空気を 40mL 採取した。採取したガス試料は実験室に持ち帰り、ガスクロマトグラフィーにて CO₂濃度を分析し、その経時変化から土壌呼吸速度を測定した。また、別途、設置したチャンバー内の A₀層を大きく乱さないように採取し、内径 30cm 高さ 15cm プラスチック製容器に入れ、土壌呼吸と同様に、A₀層からの CO₂放出速度を測定した。観測は 2000 年 5 月～2001 年 12 月で、頻度は 1 か月に 1～2 度程度でおこなった。土壌深さ 5 cm の地温を 1 時間間隔で測定記録した。

培養法：根試料は深さ 40cm 程度までの根を出来るだけ根を乱さないように土壌をほりあげ、根の周りについた大きな土塊は根を傷つけないよう優しく潰して除去し、長さ 10～20cm 程度の根系を採取した(2002 年 9 月 10 日、5～8 反復)。その後、水洗にて土粒子を除去し、直径別(0・2, 2・5, 5・20mm)に分けた。土壌試料は深さ 0・5, 5・10, 10・20, 20・30, 30・40cm の 5 深度から採取後(2001 年 9 月 20 日、各 5 反復)、篩 2mm メッシュを通したのち根を除去した。根試料および土壌試料を密閉容器に入れ(根試料は数 g 程度、土壌試料は 100g 程度)、5°C で一晩放置した。これら処理は現地から採取した同日中におこなった。翌日、容器内を室内空気と置換した後、5°C のまま数時間培養し、その間の密閉容器内の CO₂濃度変化から培養試料からの CO₂放出速度を測定した。その後、同日内に 15, 25, 35°C と培養温度を変化させ、同様に各温度での CO₂放出速度を測定した。得られた CO₂放出速度と温度の関係を指数関数式で回帰し、単位重量あたりの呼吸速度(μgCO₂/kg/s)の温度特性式を求めた。現地の根量および土壌容積重は各深度 100mL 採土円筒を用いて測定した

(5 反復)。培養によって得られた回帰式に現地の地温を代入、深さ 40cm までの根量または土壌容積重を乗じて、現地の面積あたりの根呼吸および土壌微生物呼吸(μgCO₂/m²/s)を推定した(式-1, a および b はパラメータ)。

$$\text{根呼吸または微生物呼吸} \quad (\text{式-1}) \\ = \{a \times \exp(b \times \text{地温})\} \times \{\text{根量あるいは容積重}\}$$

統計処理：指数関数による非線形回帰モデルは SigmaPlot (Systat Software Inc, Version11) を、重回帰分析およびその他の統計量の計算には JMP (SAS Institute Inc, Version6) を用いた。

III 結果

培養によって得られた深度毎の土壌微生物呼吸、直径毎の根呼吸は全ての試料において温度の指数関数式で有意に回帰された(図-1, 表-1)。同じ温度条件では表層ほど微生物呼吸は大きく、直径が小さいほど根呼吸は小さかった(図-1, 表-1)。また、温度に対する応答性(パラメータ b)は深層の微生物呼吸ほど、直径が大きい根呼吸ほど大きい傾向が見られた(表-1)。これらの回帰式に土壌呼吸を測定したときの地温を代入し、根量および容積重(表-2)を乗じて根呼吸および微生物呼吸を推定した結果、どちらも土壌呼吸と有意な正の相関が見られた(図-2)。推定された根呼吸と微生物呼吸に別途測定された A₀層からの CO₂放出速度を合計すると土壌呼吸とほぼ同じ水準の 1:1 の直線上に図示された(図-2)。チャンバー法で得られた土壌呼吸は深さ 5 cm の地温により有意に指数関数式で回帰された(式-2)。

$$\text{土壌呼吸}(\mu\text{gCO}_2/\text{m}^2/\text{s})=20.3 \times \exp(0.066 \times \text{地温}(\text{C})) \quad (\text{式-2})$$

この回帰式から推定された土壌呼吸と培養法から推定された根呼吸、微生物呼吸はほぼ同様の季節変化を示した(図-3)。また、地温 1 時間値を用いて年間積算値を推定したところ、根呼吸は 0.94 MgC/ha(表-3)と推定された。土壌呼吸に対する根呼吸の割合は夏高く冬低くなる季節変化を示し(図-3)、土壌呼吸の年間積算値に対する根呼吸の割合は約 20%であった(表-3)。

IV 考察

本研究では培養法によって得られた根呼吸と微生物呼吸を合計した値が土壌呼吸とほぼ同水準であったことか

ら、本培養法による推定は妥当であると考えられた。本法では、培養法によって深さ 40 cm までの直径 20 mm までの根呼吸についておこなった。根の分布は表層に集中し、深くなるほど急激に減少していたため、深さ 40 cm 以上の根について余り影響しなかったと考えられた。また、粗大な根の呼吸については、過去の報告では根呼吸全体に占める直径 20mm 以上の根の呼吸の割合が落葉広葉樹林で 9% (12)、2 mm 以上の根の呼吸の割合がマツ林で 29% (9) であったことから、本地点もこれらと同水準と仮定しても、根呼吸と微生物呼吸の合計値 (4.56~4.73 MgC/ha) は土壌呼吸とほぼ同水準であった。ただし、地点によっては根の垂直分布や根径分布は異なることも予想され、地点によって深度や根径の培養試料の採取範囲を考慮する必要があると考えられる。

本調査地の根呼吸割合は夏に高くなる傾向があった。この季節変化は夏季の A₀ 層からの CO₂ 放出速度の割合の低下が反映したためと考えられる。本報告では A₀ 層からの CO₂ 放出は現地での測定に限ったが、培養法によって、温度だけでなく水分との関係を明らかにすることによって、より詳細で正確な推定が可能になると考えられる。このように、培養法は簡便に根呼吸の割合を推定できるだけでなく、土壌層位や根の形態別にそれらの CO₂ 放出速度と環境要因と特性を明らかにすることによって、土壌 CO₂ 動態、土壌有機物動態のメカニズムを明らかにすることができると考えられる。

引用文献

(1) BOND-LAMBERTY, B., THOMSON, A. (2010) Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature* **464**:579-582

(2) KIRSCHBAUM, M.U.F. (2000) Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming? *Biogeochemistry* **48**: 21-51

(3) BEHERA, N., JOSHI, S.K., PATI, D.P. (1990) Root contribution to total soil metabolism in a tropical forest soil from Orissa, India. *Forest Ecology and Management* **36**:125-134

(4) KUZYAKOV, Y. (2006) Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biology and Biochemistry* **38**: 425-448

(5) LARIONOVA, A.A., YEVDOKIMOV, I.V., KURGANOVA, I.N., SAPRONOV, D.V., KUZNETSOVA, L.G., de GERENJU, V.O.L. (2003) Root respiration and its contribution to the CO₂ emission from soil. *Eurasian Soil Science* **36**: 173-184

(6) LEE, M.S., NAKANE, K., NAKATSUBO, T., KOIZUMI, H. (2003) Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a cool-temperate deciduous forest. *Plant and Soil* **255**: 311-318

(7) LONGDOZ, B., YERNAUX, M., AUBINET, M. (2000) Soil CO₂ efflux measurements in a mixed forest: impact of chamber disturbances, spatial variability and seasonal evolution. *Global Change Biology* **6**:907-917

(8) RAKONCZAY, Z., SEILER, J.R., SAMUELSON, L.J. (1997) A method for the in situ measurement of fine root gas exchange of forest trees. *Environmental and Experimental Botany* **37**: 107-113

(9) RYAN, M.G., HUBBARD, R.M., PONGRACIC, S., RAISON, R.J., McMURTRIE R.E. (1996) Foliage, fine-root, woody-tissue and stand respiration in *Pinus radiata* in relation to nitrogen status. *Tree Physiology* **16**: 333-343

(10) SAKATA, T., ISHIZUKA, S., TAKAHASHI, M. (2004) A Method for Measuring Fluxes of Green House Gases from Forest Soils. 森林総合研究所研究報告 - Bulletin of FFPRI **3**: 263 - 269

(11) SAKATA, T., ISHIZUKA, S., TAKAHASHI, M. (2007) Separation of soil respiration into CO₂ emission sources using C-13 natural abundance in a deciduous broad-leaved forest in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition* **53**:328-336

(12) TOMOTSUNE, M., YOSHITAKE, S., WATANABE, S., KOIZUMI, H. (2013) Separation of root and heterotrophic respiration within soil respiration by trenching, root biomass regression, and root excising methods in a cool-temperate deciduous forest in Japan. *Ecological Research* **28**:259-269

表-1. 土壤微生物呼吸と根呼吸の温度特性パラメータ

Table 1 Temperature sensitivities parameter of soil microbial respiration and root respiration.

深さ(cm)	土壌		根		
	a	b	直径(mm)	a	b
0-5	0.217	0.092	0-2	7.025	0.087
5-10	0.047	0.101			
10-20	0.020	0.080	2-5	2.563	0.099
20-30	0.010	0.106			
30-40	0.003	0.121	5-20	1.206	0.102

表-2. 各深度の根量および土壌容積重

Table 2 Root biomass and soil bulk density at each soil depth.

深さ(cm)	根量(kg/m ³)			土壌容積重(kg/m ³)
	0-2mm	2-5mm	5-20mm	
0-5	0.269	0.009	0	26.0
5-10	0.178	0.034	0.089	42.0
10-20	0.098	0.034	0	44.8
20-30	0.075	0.038	0	45.3
30-40	0.033	0.008	0	

表-3. 土壤呼吸、土壤微生物呼吸、根呼吸の年間推定値

Table 3 Estimated annual values of soil respiration, soil microbial respiration and root respiration

	微生物		根			土壌呼吸
	Ao層	鈣質土層	0-2mm	2-5mm	5-20mm	
年間呼吸量	1.96	1.56	0.85	0.09	0.02	4.73
(割合)		(75%)		(20%)		(100%)

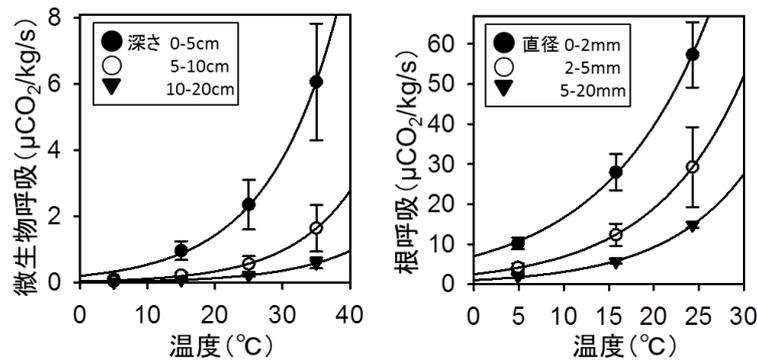


図-1. 土壤微生物呼吸および根呼吸の温度特性 (エラーバーは標準偏差)

Fig. 1 Temperature sensitivities of soil microbial respiration and root respiration.

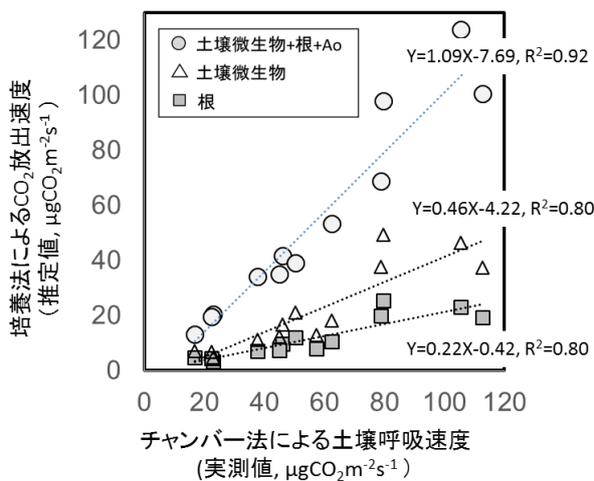


図-2. 培養法とチャンバー法による土壌呼吸の関係

Fig. 2 Relationship of the estimated soil respiration by the culture method and the chamber method.

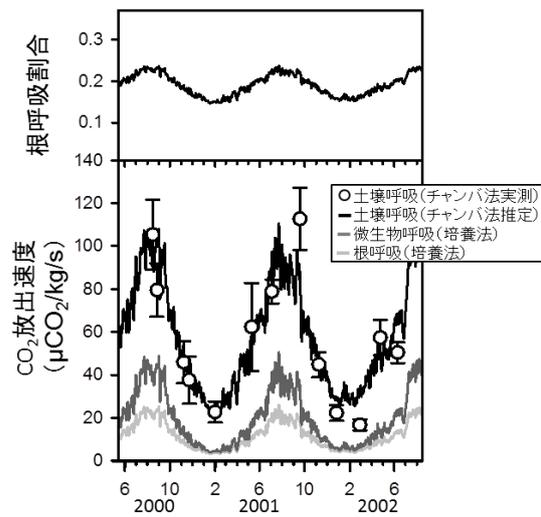


図-3. 土壌呼吸、微生物呼吸、根呼吸の季節変化

(エラーバーは標準偏差)

Fig. 3 Seasonal fluctuation of soil respiration, soil microbial respiration and root respiration.