

ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林における異なる斜面方位の土壤呼吸量と土壤特性

松島克¹・小坂泉¹・内野陸人¹・清水一樹¹・瀧澤英紀¹・阿部和時¹

1 日本大学生物資源科学部

要旨: ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林における土壤呼吸量の特徴および土壤特性を明らかにするため、日本大学水上演習林内の標高 900 m に位置する北側および南側斜面の 2 プロットにおいて、2017 年 6 月から 2019 年 9 月までの積雪の無い日に、月 1 回程度の頻度で土壤呼吸量の多点観測を実施した。その結果、春季から夏季では、北側より南側斜面で地温は高く、土壤呼吸量は大きくなる傾向を示したが、冬季において、地温は南側より北側斜面で高く、土壤呼吸量は北側斜面より南側斜面で大きかった。両斜面における固相率および C/N 比の違いはみられなかったが、土壤 1 g あたりの土壤微小菌類の出現コロニー数は北側よりも南側斜面で多くみられた。

キーワード: 土壤呼吸, ブナ, 地温, 土壤特性, 土壤微小菌類

**Soil respiration and soil properties at different topographical locations
in a cool-temperate deciduous broadleaf forest dominated by *Fagus crenata***

Suguru MATSUSHIMA¹, Izumi KOSAKA¹, Rikuto UCHINO¹,
Kazuki SHIMIZU¹, Hideaki TAKIZAWA¹ and Kazutoki ABE¹

College of Bioresource Sciences, Nihon University, Fujisawa, Kanagawa 252-0880

Abstract: To investigate the characteristics of the soil respiration rate and soil properties in a cool-temperate deciduous broadleaf forest dominated by *Fagus crenata*, the soil respiration rate was measured during the non-snow-cover periods from June 2017 to September 2019 at 2 plots facing north and south (900 m a.s.l.) in Nihon University Forest in Gunma Prefecture, Japan. During spring and summer, the soil temperature and soil respiration rate were higher at the south-facing slope than at the north-facing slope. In winter, soil temperature was higher at the north-facing slope than at the south-facing slope, but the soil respiration rate was higher at the south-facing slope. The differences in the solid and C/N ratios at the north- and south-facing slopes were not significant. There were more colony-forming units per gram of soil of soil microfungi at the south-facing slope than at the north-facing slope.

Key-word: soil respiration, *Fagus crenata*, soil temperature, soil properties, soil microfungi

I はじめに

土壤呼吸量を定量化することは森林生態系における炭素循環を理解する上で重要であるが、その変動特性は地温や土壤含水率などの気象環境や、斜面部位などの土壤特性の違いによって様でないことが報告されている(4)。本試験地における先行研究として、高田ら(2)は、日本大学水上演習林内の同一標高(標高 900 m)に位置する北側および南側斜面において土壤呼吸量の多点観測を実施し、信頼区間 95 %で誤差 20 %以内の条件において空間代表性のある土壤呼吸量の値を得るために必要なサンプリング数は 8~27 点であることを報告している。高野ら(3)は、2017 年から 2018 年の無積雪期間において高田ら(2)と同地点である北側および南側斜面において土壤呼吸量の多点観測を実施し、土壤呼吸量は北側よりも

南側斜面で大きくなることを報告しているが、その要因については明らかにされていない。

そこで本研究では、北側および南側斜面の土壤呼吸量の違いがどのような要因によって引き起こされているのかを目的とする。そのため、高野ら(3)と同様の方法で両斜面の土壤呼吸量を測定することに加えて、土壤の固相率、C/N 比および土壤微小菌類について調べ、土壤特性を評価する。

II 材料と方法

1. 調査地 調査地は、群馬県利根郡みなかみ町にある日本大学水上演習林(36°48'N, 139°02'E, 標高 650-985 m)であり、優占樹種はブナ(*Fagus crenata*)であり、その他の樹種としてミズナラ(*Quercus crispula*)などの落葉広

葉樹が混在した平均樹高 15 m 程度の 50~60 年生の二次林である。調査項目は、土壌呼吸量、地温、土壌含水率、C/N 比、固相率、土壌微小菌類の 6 項目である。

2. 土壌呼吸量、地温、土壌含水率の測定 月 1 回程度の土壌呼吸量、地温、土壌含水率の集中観測は、演習林内高平山の同一標高(標高 900 m)である北側と南側斜面の 2 地点に設置されたプロットにおいて、1 m 間隔に区切った 4 m 四方の格子上的 25 点で行われた。

土壌呼吸量の測定は、赤外線ガスアナライザー(LI-6262, LI-COR)と自作の閉鎖循環型チャンバーを用いて行われ、密閉されたチャンバー内の CO₂ 濃度を 10 秒毎に 1 分間計測し、CO₂ 濃度の時間変化を求めることで、次式より土壌表面からの CO₂ 放出量を算出した。

$$F_{soil} = \frac{V}{A} \cdot \rho_a \cdot \frac{dc}{dt} \quad (1)$$

ここで、 F_{soil} は土壌呼吸量($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、 V はチャンバー容積(0.0023256 m^3)、 A はチャンバーの面積(0.042828 m^2)、 ρ_a は空気密度(mol m^{-3})、 dc/dt はチャンバー内の CO₂ 濃度の時間変化($\mu\text{mol mol}^{-1} \text{s}^{-1}$)であり、 ρ_a は次式で求めた。

$$\rho_a = \frac{P}{R(T+273.15)} \quad (2)$$

ここで、 P は気圧(90,613.6 Pa)、 R は気体定数($8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)、 T は温度($^{\circ}\text{C}$)である。一般的に T はチャンバー内温度を用いるが(例えば、 T)、本研究では地表から垂直方

向 12 cm の平均地温を用いた。この平均地温はチャンパー内温度に比べやや低いことが想定されるが、本研究では高野ら(3)が報告した土壌呼吸量と対比させるため、高野ら(3)と同様の方法で土壌呼吸量を算出した。

地温および土壌含水率については、棒状温度計(AD-5612A, A&D)および土壌水分センサー(CS-620, Campbell)を用いて、長さ 12 cm のプローブセンサーをチャンパー脇の地表から垂直方向に挿入し、深度 0~12cm の平均地温および平均土壌含水率を 1 地点につき 1 回ずつ計測した。測定時間に関しては、地温は約 1 分後の出力値を、土壌含水率はセンサー挿入時の瞬間値を記録した。これらの測定は、2017 年 6 月 30 日、8 月 1 日、8 月 29 日、9 月 29 日、11 月 13 日、2018 年 5 月 29 日、6 月 29 日、7 月 20 日、8 月 29 日、10 月 5 日、11 月 16 日、12 月 11 日、2019 年 5 月 29 日、6 月 25 日、7 月 23 日、8 月 27 日および 9 月 27 日の合計 17 回実施した。ただし、2017 年 6 月 30 日、2018 年 8 月 29 日、12 月 11 日、2019 年 5 月 29 日および 7 月 23 日に関しては、4 m 四方のプロット 25 点中、4 隅と中央の計 5 点のみ測定した。

本研究では、集中観測では得られない長期的な地温の連続データを取得するため、北側および南側斜面の測定プロットから 2 m 程度離れた箇所に、深度 5 cm に地温計(TR-52i, T&D)を常設し、30 分毎の瞬間値を記録させた。

3. 土壌特性 土壌サンプリングについては、土壌呼

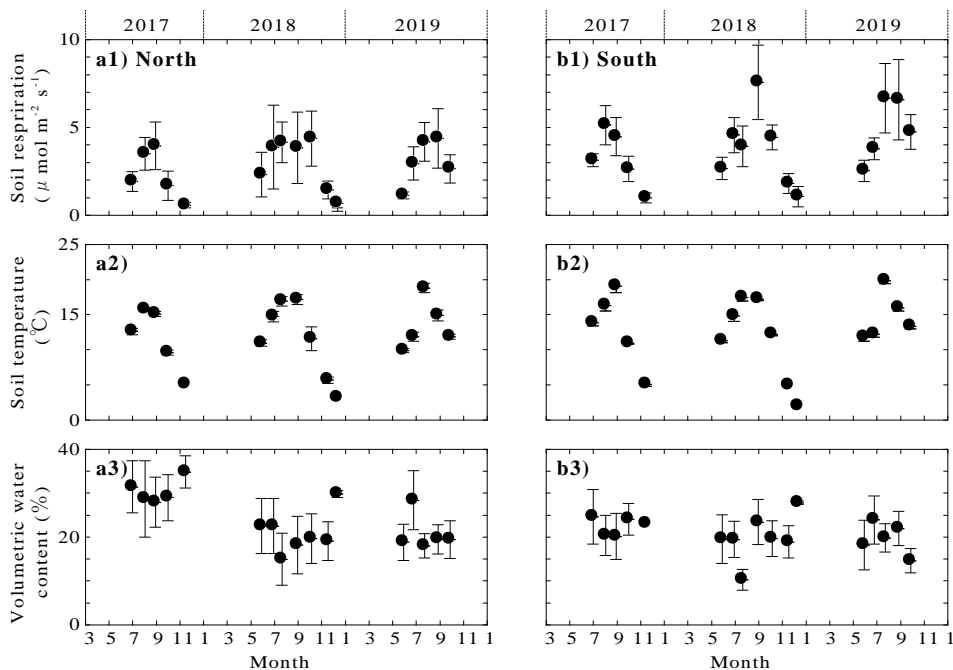


図-1 a) 北側および b) 南側斜面の 1) 土壌呼吸量、2) 地温および 3) 土壌含水率の季節変化

Fig.1 Seasonal changes in 1) soil respiration, 2) soil temperature, and 3) volumetric water content at the a) north- and b) south-facing slopes in 2017 to 2019. Error bars in the figure indicate the standard deviation.

吸量の測定プロット付近において上部、中部、下部の3エリアに分け、100 cc サンプラーを使用して、1エリアにつき3サンプル、合計9サンプルを採取した。

固相率については、絶乾状態にした土壤サンプルを用いて、土壤三相計(DIK-1130, 大起理化)で測定した。1つのサンプルにつき3回測定し、その平均値を固相率とした。固相率の計測では、2018年5、8、9、10月および2019年8、9月に採取したものを使用した。

C/N比については、絶乾状態にした土壤サンプルを2mmメッシュの振るいで礫と粗大有機物を取り除いた後、乳鉢ですり潰した300 mg以上の土壤試料を全窒素・全炭素測定器(SUMIGRAPH NC-220F, 住化)で計測した。本研究では、2018年5、8、9、10月にサンプリングした土壤試料を用いた。

土壤微小菌類を調べるため、本研究では希釈平板法を採用した(5)。両斜面の各エリアから1個ずつ計6個採取した未乾燥土を2mmメッシュの振るいで礫と粗大有機物を取り除いた後、土壤10gを使用した。希釈倍率は100,000倍とし、その希釈液1mlと麦芽寒天培地(精製水1,000ml中、麦芽エキス25.0g、寒天20.0g)9mlを直径9cmのシャーレに混和させた。平板は両斜面の試料から18枚ずつ、計36枚を作成した。平板は20°Cの恒温培養器内で2週間培養し、出現する土壤微小菌類のコロニー数を培養後3日間までは毎日、培養後1週間目と2週間目に記録した。希釈平板法では、2019年8月および9月において採取した土壤サンプルを用いた。

III 結果と考察

1. 3年間の土壤呼吸量 図-1は、2017年6月から2019年9月における a) 北側斜面および b) 南側斜面の 1) 土壤呼吸量、2) 地温および 3) 土壤含水率の季節変化を示す。図において、多地点で測定された各測定項目の平均値を丸印で、標準偏差をエラーバーで示す。

2017年および2019年における北側および南側斜面の土壤呼吸量の季節変化は、地温のものと概ね同様であり、春季から夏季にかけて増加し、夏季から冬季にかけては減少する傾向を示した。2018年5月から6月にかけて地温の上昇に伴い土壤呼吸量の増加が見られた。しかし、6月から7月にかけて地温は両斜面で上昇したが、土壤呼吸量は北側斜面ではあまり変化せず、南側斜面ではやや低下した。

2. 北側および南側斜面における土壤呼吸量の比較

図-2は、北側および南側斜面における土壤呼吸量を比較したものである。図の凡例は、多地点で測定した土壤呼吸量の平均値を季節毎に印を変えて表示し、図中の直線

は1:1のラインを示した。図-2において南側斜面の土壤呼吸量の多くのデータが1:1のラインの上側に分布していた。しかしながら、2018年7月の土壤呼吸量については、南側より北側斜面で唯一大きくなった。このときの土壤含水率は両斜面で15%以下となり、観測期間で最も土壤含水率が低下した(図-1 a3)および b3)参照)。2018年7月と同じく夏季に測定された2017年8月1日および2019年7月において、南側斜面の土壤呼吸量は北側斜面のものに比べ1.5倍程度大きくなり、土壤含水率は両斜面とも比較的高かった(図-1 a3)および b3)参照)。このことから、2018年7月における土壤呼吸量が南側より

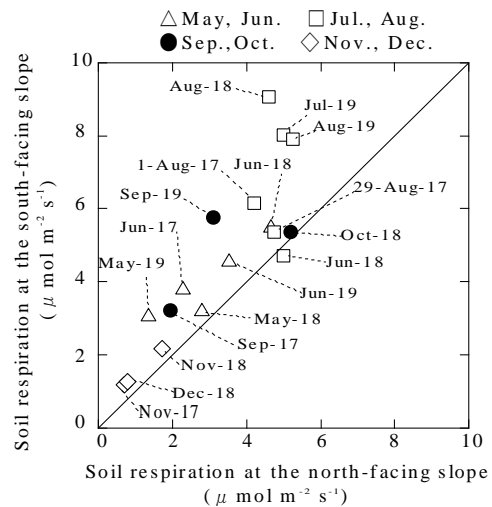


図-2 北側および南側斜面における土壤呼吸量の比較
Fig.2 Comparison of soil respiration at the north- and south-facing slopes.

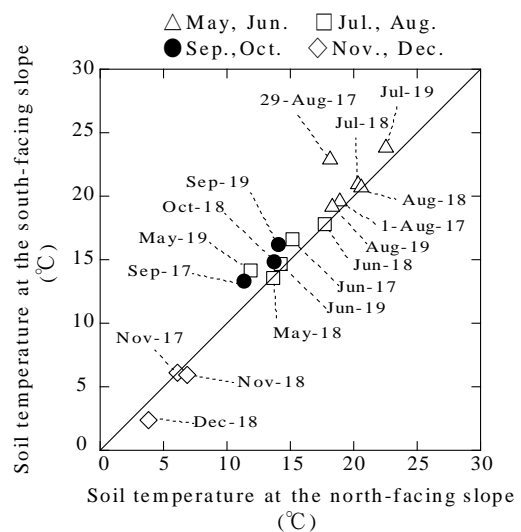


図-3 北側および南側斜面における地温の比較
Fig.3 Comparison of soil temperature at the north- and south-facing slopes.

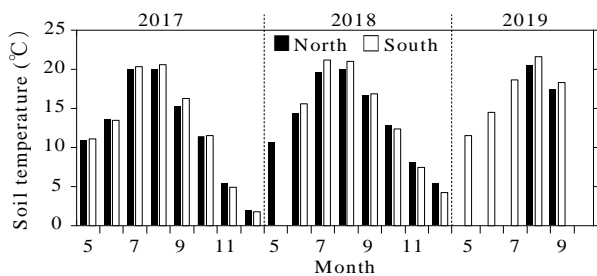


図-4 北側および南側斜面における地温の季節変化
Fig.4 Seasonal changes in soil temperature at the north- and south-facing slopes.

北側斜面で大きくなった要因として、南側斜面では北側斜面に比べ、土壌の著しい乾燥に伴い土壌中の微生物の有機物分解や根呼吸が不活発になったことが影響している可能性がある。

2018年8月の南側斜面の土壌呼吸量は北側斜面のものに比べ2倍程度大きくなり、1:1のラインから隔たりが大きい。これは、2018年7月から8月にかけて土壌含水率の変化が北側よりも南側斜面で大きいことに起因していると考えられる(図-1 a3)および b3)参照)。

3. 北側および南側斜面における地温の比較 図-3は、北側および南側斜面における地温を比較したものである。図中の凡例は、図-2と同様である。図-3において両斜面の地温が15°C以上の場合では、1:1のラインに対して南側斜面の地温が常に上側に分布している。両斜面の地温が10°C以下の場合では、1:1のラインに対して北側斜面の地温が下側に分布している。このことは、春季から夏季の地温は北側より南側斜面で高いが、冬季の地温は北側より南側斜面で低くなることを示している。

図-4は、深度5cmに常設した地温計で得られた長期的な連続データを月平均した地温の季節変化を示す。図中の黒棒および白棒は、それぞれ北側および南側斜面の地温を示す。測定期間における地温は、春季から夏季では北側よりも南側斜面で高くなり、秋季から冬季では北側より南側斜面で低くなった。この傾向は、図-3で示した土壌呼吸量の集中観測時に実施した地温の傾向と同様であることがわかる。

4. 北側および南側斜面の土壌評価 表-1は、北側および南側斜面における固相率、C/N比および土壌1gあたりの出現コロニー数を示す。出現コロニー数は、土壌を採取した8月および9月のものと、両者の平均値を示す。北側および南側斜面の固相率は、それぞれ11.98±2.81%および10.39±2.13%となり、両者の違いはあまりみられない。北側および南側斜面のC/N比は、22.30±1.55および22.95±1.61となり、ほぼ同じであった。土壌

表-1 北側および南側斜面における土壌特性(固相率, C/N比および土壌微小菌類のコロニー数)

Table.1 Soil properties (solid ratio, C/N ratio, and colony-forming units (CFU) of soil microfungi) at the north- and south-facing slopes.

Topographical location	Solid ratio (%)	C/N ratio	CFU (CFU/g)		
			August	September	Average
North	11.98±2.81 (n=29)	22.30±1.55 (n=22)	187	667	427
South	10.39±2.23 (n=29)	22.95±1.61 (n=24)	1222	1111	1167

の1gあたりの出現コロニー数は、8月、9月ともに北側よりも南側斜面で多く、南側斜面で平均した出現コロニー数は北側斜面のもの約3倍であった。

これらの結果をまとめると、春季から夏季では北側より南側斜面で地温は高く、土壌呼吸量は大きくなる傾向を示したが、冬季では北側より南側斜面で地温は低いにもかかわらず土壌呼吸量が大きかった。一方で8月と9月に測定した出現コロニー数は南側斜面で北側斜面より3倍多いことから、土壌呼吸量に影響を与える土壌微生物の量が南側斜面で北側斜面よりも多い可能性が示唆された。しかしながら、表-1で示した出現コロニー数は、夏季のみのデータであり、土壌サンプル数も限られていることから、今後も継続してデータを蓄積して検証する必要があると考えている。

引用文献

- (1) 溝口康子 (2009) 林床におけるCO₂放出フラックスの変動特性に関する研究. 森林総合研究所研究報告 8(1): 1-50
- (2) 高田名津海・小坂泉・大越亮介・鎌田真友・黒澤里紗・村田真純・両川光流・瀧澤英紀・阿部和時 (2018) ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林における異なる斜面方位での土壌呼吸量の空間変動. 関東森林研究 69(1): 111-112
- (3) 高野和貴・小坂泉・田村沙理奈・杉山悠太・本城沙樹・瀧澤英紀・阿部和時 (2019) ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林における北側および南側斜面の土壌呼吸量の差異. 関東森林研究 70(1): 123-124
- (4) 玉井幸治・清水貴範・大貫靖浩・石塚成宏 (2010) 斜面部位による土壌呼吸量の空間変動—熊本県北部のスギ、ヒノキ林の場合—. 森林立地 52(1): 1-10
- (5) 徳増征二 (1982) 自然環境からの菌類の採集・分離・観察法 - リター菌類と土壌菌類を中心に -. 防菌防黴 10: 527-534