

標高別ブナ林における土壌呼吸の温度感受性の解明

大貫 真孝

1. はじめに

森林生態系は光合成によって大気中の二酸化炭素を吸収する機能があり、近年問題になっている地球温暖化の緩和に貢献することが期待されている。一方で、同時に森林を構成する樹木自身の呼吸や、土壌などから二酸化炭素は絶えず放出されているため、森林生態系における炭素の吸収や固定、放出に関わる炭素循環プロセスの把握が急務とされ、様々な研究が行われている。

その中でも、森林の土壌微生物が行う二酸化炭素の放出(以下、土壌の微生物呼吸)は、森林土壌から放出される炭素量の全体の 30%から 70%を占めていると既存研究によって報告されており、森林生態系の主要な炭素放出の一つであることが知られている。また、この土壌の微生物呼吸は、温度や水分量などの環境要因、呼吸を行う微生物自体の要因である微生物要因、土壌の化学成分である基質要因に強く影響されている。そのため、土壌の微生物呼吸とこれらの要因を同時に調べることは森林生態系における炭素循環を把握するうえで重要であると考えられる。

過去の既存研究によれば、平均気温が低い高緯度地帯の亜寒帯林の土壌は、他に比べ難分解性の基質が多く蓄積しているおり、その土壌呼吸は低緯度地帯の他の森林に比べ温度上昇に敏感に反応することが知られている。この研究結果は、全球的に考えると地球温暖化による平均温度の上昇が、低緯度地帯に比べ高緯度地帯の森林でより敏感に反応し、二酸化炭素の放出量が増加することを示唆している。さらに、高緯度地帯での二酸化炭素の放出量が増加は、大気中に放出する二酸化炭素量を増やすため、地球温暖化の速度が現在に比べさらに進むのではないかと懸念されている。一方で、日本に限ると、日本の森林は急峻な場所に多く存在し、標高の違いによって平均気温が異なるため、平均気温の低い高標高における森林土壌の微生物呼吸は緯度差と同様に、低緯度に比べ高緯度の土壌の基質は難分解性で、かつ温度上昇に敏感に反応する可能性がある。したがって、日本の高標高の森林も高緯度の森林の研究結果と同様の傾向かもしれない。しかし、日本で全国各地の土壌呼吸について測定し、結果を比較した研究はあるが、同じ地域で同じ樹木が優先する森林に限定して標高別に土壌の微生物呼吸を詳細に測定した研究例は稀である。

そこで、本研究は日本の冷温帯の代表種であり、広

い標高に生息する苗場山麓のブナの森林の土壌に注目した。また、本研究では、基質要因の影響が少ないと考えられる標高が異なる 5つのブナ林から土壌を採取し、実験室内にて土壌の培養実験を行い、「標高違いによってブナ林の土壌の微生物呼吸とその温度感受性、微生物量と微生物相は違うのではないか」という仮説を検証することにより、平均気温が異なる 5つの土壌における微生物呼吸量とその環境要因、微生物要因を測定し、標高差による土壌の微生物呼吸量と温度感受性、微生物量の関係性を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

(1) 調査地

本研究は、森林の炭素循環などの研究が多く行われている苗場山山麓を調査場所として定め、2018 年の 6 月と 7 月末に苗場山麓の西側(新潟県湯沢町)と苗場山麓ジオパーク内の東側(長野県栄村)にある 5つのブナが優占している森林に 50m×50m の調査区を設けた。試験地の標高詳細は以下に示す(図-1.)。

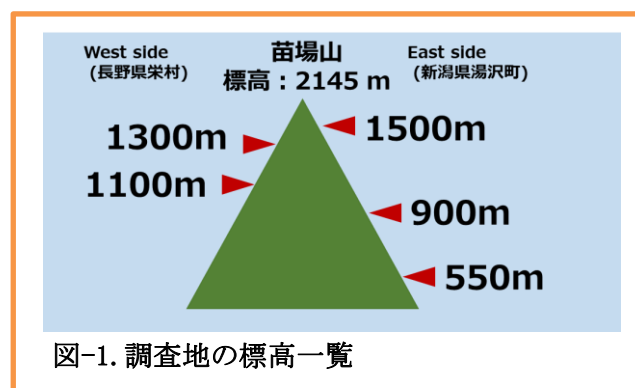


図-1. 調査地の標高一覧

(2) サンプル回収と測定

サンプル回収と測定は以下の手順で行った。

a) 2018 年 8 月下旬に 5つの調査区内の 50m×50m の範囲でランダムに 4 箇所から土壌サンプルの回収を行った。サンプルは土壌表面(20cm×20cm)のリター層を取り除き、そこから 10 cmまでの土壌を対象として、塩化ビニール製の袋に入れ、速やかに研究室に持ち帰った。サンプルは 5 試験地×4 繰り返し用サンプルで合計 20 個のサンプルを回収した。

b) 回収した土壌サンプルは、その後、2mm のふるいで細根や落葉などを取り除いた後、土壌の微生物呼吸用と化学分析用のサンプルを塩化ビニール製の袋に分け密閉し、サンプル測定直前まで 4℃の冷蔵庫に保存した。

c) 化学分析用のサンプルは、紙袋に移し、乾燥機で絶乾させた後、土壌の含水比を計算し、粉碎した

後、全炭素・窒素量を C/N アナライザー(JM1000 システム 日本 ジェイ・サイエンス・ラボ社製)により定量し、C/N 比を算出した。C/N 比とは炭素と窒素量の比率であり、土壌有機物の質を調べる指標として使われている。一般的に C/N 比が低いと微生物などの分解者は土壌中の炭素と窒素を利用しやすいといわれている。本研究では、各標高による土壌の化学組成を評価するために C/N 比を使用した。

d) 土壌の微生物呼吸用のサンプルは、土壌含水比を一定に調整した後 20℃の環境保存し、その後、各測定温度 (5℃、15℃、25℃) で 24 時間培養した。その後、土壌の微生物呼吸量と微生物量の間接的な指標である SIR 量を赤外線ガスアナライザー (GMP343, フィンランド Vaisala 社製) を使用して測定した。

e) 土壌の微生物呼吸量は温度に対し、指数的に呼吸量が増加することが知られている。その関係性を使用して、測定した各温度における土壌の微生物呼吸量を使用して Q_{10} を算出した。 Q_{10} とは微生物呼吸量の温度感受性を評価する指標であり、ある温度における微生物呼吸量と 10℃温度が上昇した時に増加した微生物呼吸量との割合を計算して求めた値である。この指標は同時に土壌の微生物相の違いを間接的に示すことが出来る。本研究では、微生物呼吸の測定だけでなく、SIR 法による微生物量と Q_{10} を算出することにより、間接的に微生物量と微生物相を定量化し、土壌における微生物呼吸を簡易的に評価するために、これらの方法を組み合わせて使用した。

(3) 環境要因の測定

2018 年 7 月下旬に各試験地内に土壌温度計(おんどとり Jr. 日本 T&D 社製)を土壌表面に各 1 個ずつ設置し、1 時間ごとに地温の測定を行った。その後、およそ 2 か月後の 2018 年の 10 月下旬にデータと土壌温度計を回収した。

(4) 統計解析

研究によって得られたデータは各試験地の標高差を説明変数として 1 元配置分散分析によって統計解析を行い、有意差 ($p < 0.05$) が認められた時にのみ、TukeyHSD テストを使用して多重比較を行った。また、一部の結果はサンプルの分布が正規分布ではなかったため、Log 変換をしてから統計を行った。これらの統計解析は全てフリーソフトである R (Version. 3.5.1; R core team 2018) を使用した。

3. 結果

各調査地の気温

各調査地に設置した地温計の結果を以下に示す(図-2.)。2018 年 7 月末から 10 月初旬までの 2 か月間の平

均地温は、550m が 19.21℃、900m が 17.81℃、1100m が 17.50℃、1500m が 15.72℃だった。なお、設置直後に地温計が故障したため、1300m の調査地の地温は結果から除いた。全体的に、標高が高くなると平均地温は低下する傾向にあったが、900m と 1100m に関してはほとんど同じだった。また、最も標高が高い調査地と低い調査地では地温に約 3.5℃の差があった。

土壌の C/N 比

各調査地におけるサンプルの C/N 比の結果を以下に示す(図-3.)。本研究の結果では 1 元分散分析の結果、各標高における試験地間で有意な差が見られ(one-way ANOVA: $p < 0.05$)、多重比較を行った結果 1500m-1300m、1500m-1100m、1500m-550m に有意な差があった(TurkeyHSD: $p < 0.05$)。したがって、1500m-1300m、1500m-1100m、1500m-550m の C/N 比は明らかに異なることを示している。

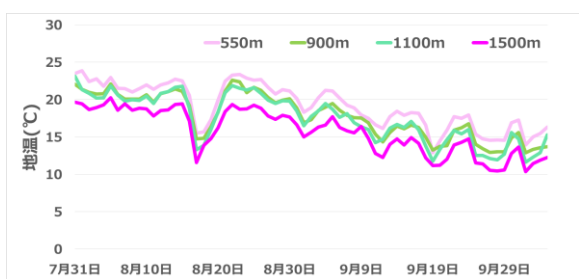


図-2. 各調査地の地温

土壌の微生物呼吸量と微生物量

土壌の微生物呼吸量とその温度の感受性を調べるため、試験地の標高別の土壌の微生物呼吸を測定した結果、標高による各測定温度におけるサンプルの微生物呼吸量に有意な差がみられなかった(図-4.)。また、標高差による土壌の微生物呼吸量の温度感受性や微生物相の指標である Q_{10} や、微生物量の間接的な指標である SIR 量にも同様に有意な差がみられなかった(図-5. 図-6.)。土壌の微生物呼吸各測定温度における土壌の微生物呼吸量とその温度性、微生物量の結果をまとめると、土壌の微生物呼吸量や微生物量、微生物相は各試験地の標高差による影響はみられなかった。

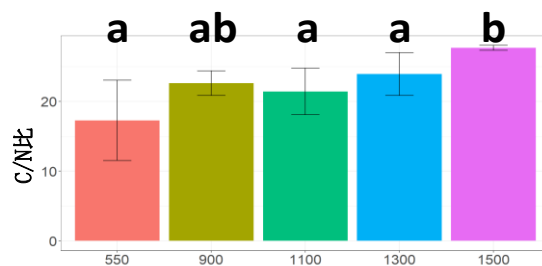


図-3. 各調査地の C/N 比
※ 有意差: Tukey HSD ($p < 0.05$)

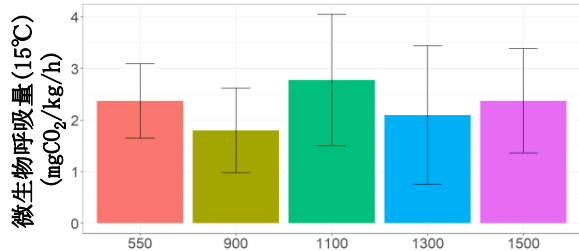


図-4. 各調査地の15°Cの微生物呼吸量

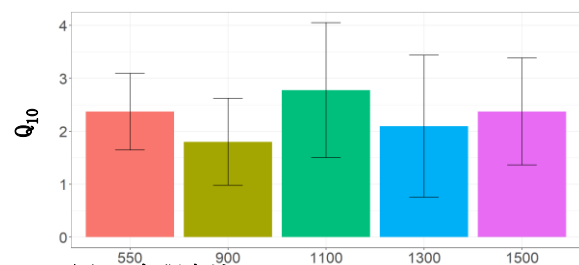


図-5. 各調査地のQ₁₀

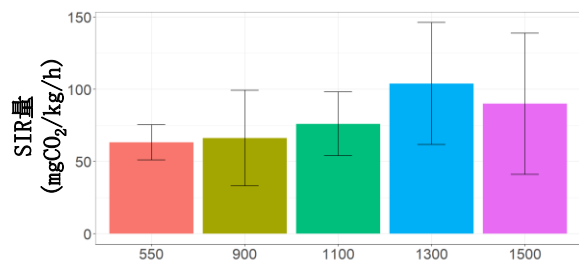


図-6. 各調査地のSIR量

4. 考察

過去の研究において、土壌のC/N比の違いは、短期的、中長期的にも土壌の微生物呼吸の温度感受性に影響を与えることが示唆されている。本研究では、「標高の違いによってブナ林土壌の微生物呼吸とその温度感受性、微生物量と微生物相は違うのではないか」という仮説を立て、検証を行った。しかし、いくつかの試験地間で、平均地温や土壌のC/N比が明確に異なったものの、各測定温度の土壌の微生物呼吸とその温度反応性は標高による違いは見られなかった。また、Q₁₀やSIRの結果から、同様に土壌の微生物呼吸を行う微生物相や微生物量の間接的な指標も標高による違いは見られなかった。これらの結果を総合すると、一部の試験地において、標高の違いによる平均地温の差によって、試験地間の明確なC/N比の差が生じたが、これらの基質要因の差だけでは土壌の微生物呼吸や微生物相、

微生物量にあまり影響を与えない可能性が示唆された。したがって、本研究の仮説は否定された。

同じような結果は緯度による比較を行った過去研究でも報告されている。例えば、フィンランドの北部と南部のマツ林とトウヒ林の土壌を使った過去の研究では、北部と南部で平均温度が4.5°C異なったが、微生物呼吸の温度感受性はほとんど同じだった。本研究の結果とこれらの結果を考慮すると、少なくとも日本のブナ林やフィンランドのマツ、トウヒ林の土壌において、緯度や標高差に関わらず数度程度の平均温度の差で生じたC/N比の違いは、微生物自体に深刻な影響を与えない可能性がある。

一方で、本研究は今年度始めたばかりであり、十分に環境要因を測定出来なかった。今後、長期間環境測定をすることによって、より詳細に環境要因を把握することが可能であると考えられる。また、異なる季節にサンプルを採取することにより、土壌呼吸の季節変動が、土壌の微生物呼吸量やその温度感受性、微生物相に与える影響を詳細に把握できる可能性がある。さらに、本研究で使用した微生物相や微生物量の推定法は直接的な定量ではなく簡易的で間接的な推定法であり、PLFAやクロロホルム燻蒸法などの直接的な測定法を使用することにより、土壌の微生物相と微生物量をより詳細に測定できるものと考えられる。

5. 謝辞

本研究の試験地選定に際し、新潟県津南町役場の高橋氏、同町のジオパーク推進室の中澤氏、長野県栄村教育委員会の藤木氏に協力して頂きました。また、本研究は苗場山麓ジオパーク助成金による助成を受けて研究を行いました。この場を借りましてここに厚くお礼を申し上げます。

要旨

地球温暖化に対する森林の役割が期待される中、森林生態系における炭素の吸収や固定、放出に関わる炭素循環プロセスの把握が急務とされている。森林の土壌の微生物呼吸に伴う CO_2 放出は、森林生態系の主要な炭素放出の一つであり、平均気温が低い高緯度地帯において温度上昇に敏感に反応することが知られている。日本の森林は急峻な場所に多く存在し、標高によって平均気温が異なるため、平均気温の低い高標高における土壌の微生物呼吸は緯度差と同様に、温度上昇に敏感に反応する可能性がある。そこで、本研究は標高が異なる 5 つのブナ林から土壌を採取し、実験室内にて土壌の培養実験を行うことによって、平均気温が異なる 5 つの土壌における微生物呼吸の温度反応性と微生物量や微生物相の関係を解明することを目的とし、研究を行った。その結果、いくつかの試験地間で、平均地温や土壌の C/N 比が明確に異なったものの、各測定温度の土壌の微生物呼吸とその温度反応性は標高による違いは見られなかった。また、 Q_{10} や SIR の結果から、同様に土壌の微生物呼吸を行う微生物相や微生物量の間接的な指標も標高による違いは見られなかった。これらの結果を総合すると、一部の試験地において、標高の違いによる平均地温の差によって、試験地間の明確な C/N 比の差が生じたが、これらの基質要因の差だけでは土壌の微生物にあまり影響を与えない可能性が示唆された。