

氏名(本国籍)	赵 鑫 (中華人民共和国)
学位の種類	博士(農学)
学位記番号	農博甲第557号
学位授与年月日	平成23年3月14日
学位授与の要件	学位規則第3条第1項該当
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物環境科学専攻
研究指導を受けた大学	静岡大学
学位論文題目	Study on Soil Microbial Biomass of Beech Forests Along the Altitude Gradient in Naeba Mountain (苗場山の異なる標高に生育するブナ林における 土壌微生物生物量に関する研究)
審査委員会	主査 静岡大学 教授 水 永 博 己 副査 静岡大学 教授 角 張 嘉 孝 副査 岐阜大学 教授 向 井 讓

論文の内容の要旨

本論文は、有機物の分解・無機化などを通じて森林生態系における物質循環や土壌生成に関わる非常に重要な役割を果たしている土壌微生物について、その生物量(Soil Microbial Biomass:SMB)を明らかにすることでグローバルチェンジ環境における森林の炭素循環研究における生態学的な評価をめざしたものである。

冷温帯の主要な構成樹種である苗場山ブナ林を対象に、異なる標高のブナ林における微生物生物量を調べる。土壌微生物量は時空間的に高い不均一性(heterogeneity)を有していることが知られているが、これまでの微生物生物量推定に関する研究は空間的な自己相関、つまり“近くに位置するもの同士の属性が遠くにあるもの同士と比べて、よく似ている(正の相関)、もしくは似ていない(負の相関)”ことを指すが、これを考慮できない。また、これまでの相関分析は自由度が過大に評価されるので誤った判断をしがちだ。ここでは、従来型の統計分析は採用せず、新しい解析手法として地球統計学(Geostatistics:は自然界における様々な現象の空間的、時間的な関連性をモデル化して推定を行うことが可能な統計学の一分野)を利用して、空間自己相関を考え、空間・時間によって分布が変動するデータ(情報)を統計論的・決定論的に分析・モデリングするためにきわめて有効な手法である。従って、本研究の研究目的は、地球統計学手法を用いた苗場山の異なる標高ブナ林における土壌微生物量の時空間上の変化を調べることだが、具体的には1. 土壌微生物量水平分布と要因分析; 2. 土壌微生物量垂直分布と要因分析; 3. 土壌微生物量の季節変化と要因分析

を行っている。

調査対象地は、新潟県南魚沼郡湯沢町苗場山(36° 51' N, 138° 40' E)である。調査サイトは標高 550m、700m、900m、1500m のブナ林成長固定試験地である。

実験方法は以下の通りである。

1. 土壤微生物量の空間変異の調査方法は各試験地に 30m×30m のコドラードを設置し、5m 間隔でマッシュを区分。各マッシュ中心に 30cm まで 10cm ずつサンプリング。測定項目はリター現存量、及び L 層、F 層の厚さ、A 層深さである。

2. 土壤微生物量の季節変化の調査方法は各試験地にランダムに 5 ポイントを選択し、30cm の深さまで 10cm 毎にサンプリングする。6 月から 11 月の間に毎月 1 回サンプリングする。

3. 実験室における分析：1) サンプル処理：実験室で土壤サンプルをふるいにかけて、等分し、4℃に保存する；2) 物理化学的分析：土壤容積密度、根含有量、石含有量、土壤含水量、C/N、土壤有機炭素、全炭素、全窒素、pH を分析する；3) 微生物学的分析：土壤サンプル微生物量を測定する。クロロホルムくん蒸抽出法を用いて各サイト土壤に 10cm 毎の土壤微生物量を求める。4) 統計学分析：地球統計学 (Geostatistics) 手法を用いて、データを分析する。用いた解析ソフトは SAM, Spatial Analysis in Macroecology, Rangel et al., 2006, <http://purl.oclc.org/sam/>, 無料のソフトである。地球統計学ツールは variogram analysis, Variogram model, Moran's I coefficient, Kriging, spatial cross-correlation などが利用。

以上により、以下の結果を得た。

1. 水平分布：全調査サイトにおける SMB は 10~18m ラグ距離で空間自己相関があり、特に、550m サイトでは小スケール (3.5m 以下) 依存性が存在する。SMB と相関があるのは Bulk Density で、550m と 1500m サイトにおいて顕著で、DOC は 700m と 1500m サイトで相関があり、N は 550m と 700m サイトで相関があることを明らかになった。従って、SMB と異なる環境要素との相関関係はいずれも正負の相関関係を示し、局在的に応答している傾向を示す。SMB 予測のため、OLS モデルと GLS モデルの二つのモデルが構築され、GLS モデルは OLS モデルより優れている。さらに MDD (最小検出差) により、SMB 及び他の土壤特性の必要なサンプル数が計算される。例えば、MDD が 20% となる場合、SMB の必要なサンプル数は一般に 10~19 である。
2. 垂直分布：SMB は同じサイトでも深さごとに異なる空間パターンがある；一般に SMB は深さごとに逓減するが、例外(1500m サイトの 10-20cm 層)もある；SMB の単位が密度とすると、SOC と N は pH より相関が高い。単位が濃度となると pH は SOC や N よりも高い相関がある。このように、SMB の単位が違う場合には SMB 空間分布の空間パターン及びコントロール要素が異なる。そこで、SMB の将来研究は応用される単位を十分に明確し、同じ単位から得られた結論はその単位だけに限られたことが非常な必要になった。
3. 季節変化：SMB の季節変化の最大値は高標高サイトで得られ、一番低い値は中標高サイトである。SMB は表層より、10~20cm の層で最も高い値を示した。相関分析により、土壤微生物量は土壤特性 (N、SOC、pH、C/N) と顕著な相関があり、季節変化に

影響する環境要素は、土壌湿度、土壌温度で、特に土壌湿度は SMB ともっと緊密な相関がある。

得られた成果は、苗場山ブナ林生態系において SMB の時空間上のパターンが時空間的に非常に複雑であることを示した。さらに、地下生態系におけるグローバル気候変化の効果をさらに解明するためには、さらなる研究（微生物の組成、SMB と土壌呼吸の関連など）が必要となることが明らかになった。

審 査 結 果 の 要 旨

この論文は、日本海側の多雪地帯に広く分布するブナ林を対象に、土壌微生物の現存量の推定法について研究したものである。土壌微生物は有機物の分解や無機化を通して生態系における物質循環や土壌生成といった非常に重要な役割を果たしている。土壌微生物による土壌呼吸は最も大きな森林生態系における炭素の放出であり、グローバル環境下における天候の異常な変化と深い関係がある。ここで取り上げられた土壌微生物量はこの土壌微生物呼吸に深く関係がある。しかしながら、このように重要な土壌微生物量に対して、その時空間的な分布についての解析は極めて不十分な段階にある。土壌微生物量の推定は土壌呼吸の時空間変動、さらに森林生態系の環境応答や変化を解明するための重要な“鍵”である。

申請者はこの問題の解決のため、新しい地球統計学を適用し、微生物量の時空間分布が標高により異なる様子を初めて明らかにした。

具体的には

新潟県南魚沼郡湯沢町における苗場山ブナ林の、標高 550m、700m、900m、1500m の異なる海拔高において、ブナ成長固定試験地内に 30mx30m のプロットをもうけ、深さ 30cm までの土壌に 10cm 毎に土壌サンプルを採取し、クロロホルム燻蒸法によって土壌微生物量を定量した。また、土壌微生物量に関連する環境因子も調べた。

これらのデータは水平的、垂直的および季節な変化として分析している。

本研究の結果より、

- ① ブナ林生態系中では二重のスケール(小さなスケール (3.5m 以内) 及び林分スケール (10～18m 以内)) の空間自己相関が存在することが初めて示された。**Saetre (1999)** 及び **Ritz et al. (2004)** によってこれまで、このような可能性について言及されていたが証明はしていない。初めて申請者によって証明された。
- ② 普通相関分析により、土壌微生物量と関係のある環境因子はサイトによって異なる。地球統計学方法により、これらの環境因子もまた土壌微生物量と 0.05 レベルで相関があるが自由度及び相関程度が低くなる。また、全サイトに共通に有意な相関がある環境因子はない。同じ環境因子であっても、サイトによって相関は異なる(正或いは負)。これにより、土壌微生物量に影響を与える環境要素は局部的に異なる反応を示す。さらに大きなスケール(landscape)では、この関係がより複雑になり、さらなる調査が必要になる。
- ③ 土壌微生物量の季節変化は 130.4～5558.0 $\mu\text{g g}^{-1}$ の範囲で、これまでに報告された数値より大きい。これまで調べられた日本森林生態系における土壌微生物量と

同じ程度である。また、土壤微生物量の季節変化は、「季節変化は小さい」とする報告と「季節変化は相当大きい」とする報告があり、本研究の結果は後者を支持する。

- ④ 環境因子(温度、湿度)、特に土壤湿度は土壤微生物量の季節変化に重要な影響を及ぼす。また、pHは深さ20~30cm土壤層の土壤微生物量の季節変化に重要な影響を与える要素である。

苗場山ブナ林の生態系において土壤微生物量の時空間的パターンは非常に複雑である。土壤生態系におけるグローバル気候変化の効果をさらに解明するためには、さらにより詳細な研究(微生物の組成、土壤微生物量と土壤呼吸の関連など)が必要となるとしている。

以上について、審査委員全員一致で本論文が岐阜大学大学院連合農学研究科の学位論文として十分価値あるものと認めた。

基礎となる学術論文は以下の通りである。

- 1) Xin Zhao, Quan Wang, Yoshitaka Kakubari: Stand-scale spatial patterns of soil microbial biomass in natural cold-temperate beech forests along an elevation gradient. *Soil Biology & Biochemistry* 41,1466-1474, 2009
- 2) Xin Zhao, Quan Wang, Yoshitaka Kakubari: Seasonal dynamics of soil microbial biomass C shows close correlation with environmental factors in natural *Fagus crenata* forests. *Acta Agriculturae Scandinavica Section in press 2010*