

令和元年6月13日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H01730

研究課題名(和文) バイオチャーを用いた森林における炭素隔離効果と生態系応答機構の解明

研究課題名(英文) Effect of biochar on carbon sequestration and ecosystem responses in a broad-leaved deciduous forest

研究代表者

小泉 博 (Koizumi, Hiroshi)

早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授

研究者番号：50303516

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では森林生態系の炭素隔離効果に与えるバイオチャーの影響を明らかにするために、落葉広葉樹林を対象にバイオチャーの散布実験を行った。その結果、植物による炭素固定量は増加したが、有機物分解にともなう炭素放出量も増加した。しかしその炭素放出の増加量は、投入されたバイオチャーの炭素量に対してわずかな量であった。すなわち、森林生態系の炭素隔離法の一つとして、バイオチャーの散布は一定の効果があることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を基礎にすることで、有機物残渣からバイオチャーを作成し生態系に散布することにより、土壤中に炭素を長期的に隔離する技術の開発が可能になる。農山村地域では、家庭内での有機物ゴミの他に農耕地や森林からも多くの有機物残渣が排出される。これらの有機物残渣は、一般的には化石燃料を用いて焼却処分されてCO₂の発生源となる。しかし、これらの有機物残渣を用いて地域内でバイオチャーを作成して、これを隣接する森林内に散布することによって、土壤中への炭素隔離だけでなく、土壤中の可給態養分の流出を防ぎ、植物の持つ炭素固定能を向上させるなど生態系サービスとしての炭素固定能を高めることが期待される。

研究成果の概要(英文)： To clarify an effect of biochar on carbon sequestration in a forest ecosystem, we conducted experiments of biochar addition in a warm-temperate deciduous forest, Japan. The biochar addition increased carbon absorption with plant photosynthesis, although it slightly increased carbon emission with decomposition of soil organic matter. However, amount of added carbon as biochar was larger than that of the increasing carbon emission with decomposition. It suggests that the biochar is effective material for carbon sequestration in the forest ecosystems.

研究分野：生態系生態学

キーワード：バイオチャー 森林生態系 炭素循環 生態系純生産 純一次生産 有機物分解

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

気候変動に対する緩和策の推進が必要とされる中で、**IPCC 第 5 次報告書**では持続可能な炭素隔離技術としてのバイオチャーの利用可能性が挙げられている。「バイオチャー」とは人為的に土壌に散布された炭化物の総称で、農地改良の目的で数千年間にわたって人間に利用されてきた。炭化物は分解されにくいために、バイオチャーの散布は農地改良効果と併せてターンオーバーの長い炭素ストックとして土壌中への炭素隔離の機能を持つ。土壌改良と収量増加を目的として、バイオチャーを農地に散布してその効果を検証する研究は、アメリカやオーストラリアなどの大規模農業を行っている国々を中心に行なわれてきたが、その生態系応答については未だ不明瞭な点が多い。特に森林生態系を対象とした野外・室内実験は世界的にみてもほとんど例がない。

2. 研究の目的

野外の森林生態系内と室内の実験生態系内にバイオチャーを散布することによる温室効果ガス、植物への養分供給能、土壌微生物、土壌特性などへの影響を科学的に検証し、バイオチャーの生態系に対する応答のメカニズムを解明するとともに、生態系全体の炭素固定能にどのような変化を及ぼすかを明らかにした。

3. 研究の方法

本課題では、森林生態系に投入するバイオチャーの量を変化させることにより、生態系の応答機構と炭素隔離効果がどのように変化するかを野外操作実験と室内実験を用いて統合的に解析した。また、投入されたバイオチャーの化学特性の変化や投入により変化する養分などの物質動態の解明を行った。

バイオチャーに対する森林生態系の応答性解析とモデル化

生態系の応答に着目した実験においては、埼玉県本庄市の暖温帯コナラ林内に 100m² 方形区を 12 個設置した。それらを対照区と散布量の異なる 2 つのバイオチャー散布区(5 または 10 Mg ha⁻¹)とし、散布区に市販のバイオチャーを層状に散布した。各区画において土壌呼吸量(SR)、枯死・脱落量(LF)、樹木成長量(B)、細根 NPP を測定した。また、純一次生産量(NPP)を LF と B と細根 NPP の和から算出し、従属栄養生物呼吸量(HR)は寄与率を用いて SR から推定した。さらに、生態系純生産量(NEP)を NPP と HR の差から算出した。

植物の応答に着目した実験においては、対象とする樹木を中心に半径 2 m の円形区を設置後、バイオチャーを 0、5、10、20 t ha⁻¹ の 4 段階で散布し、毎月調査を行った。最大光合成速度(P_{max})、最大カルボキシル化速度(V_{cmax})、電子伝達系潜在速度(J_{max})と気孔コンダクタンス(g_s)については LI-6400 を用いて測定した。また葉内の元素濃度を測定するために葉をサンプリングし、過塩素酸法で全分解した後 ICP-MAS を使用した。さらに面積当たりの葉乾重量(LMA)も算出した。

微生物の応答に着目した実験においては、生態系応答の実験区を使用し、バイオチャー層、その直下の FH 層、A 層 0-5 cm を 2 年間経時的に採取し、無機態窒素濃度、微生物呼吸速度などを測定した。また、リン脂質脂肪酸分析法により微生物バイオマスおよび群集構造の変化を解析した。さらに、Biolog 法により微生物群集がもつ炭素源資化性を調べた。

バイオチャーの特性と動態解明

バイオチャーの特性と表層有機物堆積層への影響に着目した実験においては、生態系応答の

実験区を使用し、約3年間に渡ってバイオチャーおよびリターの重量減少をリターバッグ法により測定した。リターバッグはバイオチャーの上層にあるリター（新リター）、下層にあるリター（旧リター）の2種類を用いて作成した。これらを定期的に回収し、その物理化学的特性の変化も検証した。

バイオチャーの特性と下層鉍質土壌への影響に着目した実験においては、10 m×10 mの方形区を2つ設け、400 kgの炭を土壌表層の上に散布しリターを被せた試験区（散布区）と対照区（非散布区）を用意した。散布前の炭の他に、散布から一年半後の炭と土壌（深さ5 cm）を採取し、その化学特性（全炭素、全窒素、有効態リン、pH、EC）および希釈平板法を用いて微生物相（細菌・糸状菌）を測定した。

4. 研究成果

バイオチャーに対する森林生態系の応答性解析とモデル化

生態系の応答において、HRは3年間を通して、バイオチャー散布区で高い値を示し、有意な増加が散布後2、3年目にみられた（図1）。これは、バイオチャー散布により微生物量が増加し、増加応答が経年的に強まったことに起因すると考えられる。また、LFは3年間を通して、バイオチャー散布による光合成速度の増加に伴い、バイオチャー散布区で高い値を示した。LFの中でも、コナラの生殖器官において、強い増加応答がみられた。これは、バイオチャー散布により土壌中の可給態リンが増加し、生殖器官の成長が促進されたためと考えられる。さらに、Bは樹木現存量が5t区で最小値を示したことに起因し、3年間を通して5t区で最小値を示した。しかし、散布後1年目と比較すると、2、3年目にバイオチャー散布区において、Bが相対的に高い値を示したため、バイオチャー散布により樹木成長が促進された可能性がある。以上の結果より、NPPとNEPは5t区で最小値を示した樹木現存量の影響を受け、3年間を通して、5t区で最小値を示した。

植物の応答においては、Pmaxは散布1、2年目ともに年間を通じて5、10t区で0t区より1.5 - 3倍高い値を示した。同様にVcmaxとJmaxの値も約2倍大きく、バイオチャー散布により炭素固定能が増加したことが明らかになった（図2）。その理由として以下の3つの要因が示唆された。葉内のP、K、Mg、Zn濃度の増加；いずれの元素も5、10t区では0t区より10 - 40%高い値をとっており、バイオチャー散布により光合成に必要な無機栄養が葉内に供給されたと考えられる。gsの増加；5、10t区では0t区より1.5 - 5倍高い値を示しており、光合成の基質であるCO₂の吸収能が向上した可能性が見出された。LMAの増加；LMAは10t区で0t区より40%増加し、光合成に関わる器官が葉面積当たりで増加したと推察される。

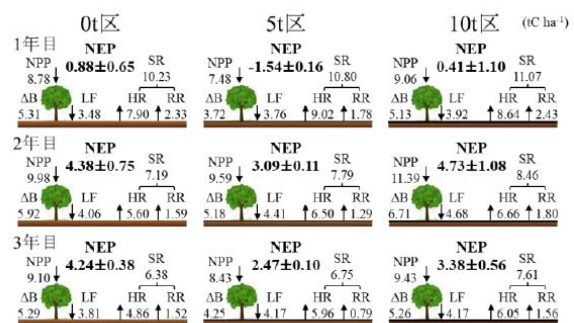


図1：生態系の炭素動態の変化

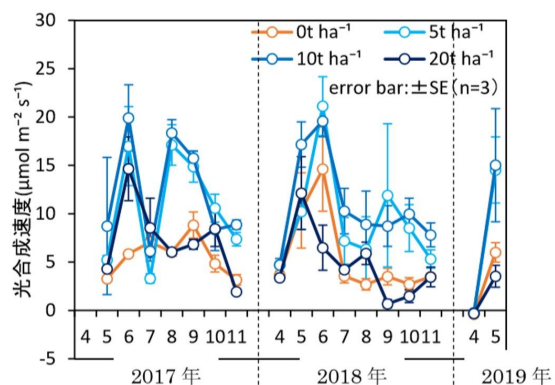


図2：植物の光合成速度の変化

gsの増加；5、10t区では0t区より1.5 - 5倍高い値を示しており、光合成の基質であるCO₂の吸収能が向上した可能性が見出された。LMAの増加；LMAは10t区で0t区より40%増加し、光合成に関わる器官が葉面積当たりで増加したと推察される。

微生物の応答においては、バイオチャー散布区では、特にバイオチャー層直下のFH層で全窒素や無機態窒素濃度が低下した。一方、バイオチャー層中の全窒素・無機態窒素濃度は増加していた。バイオチャー散布はA層における微生物諸特性に影響しなかったが、FH層では微生物バイオマスが減少傾向を示し、群集構造や炭素源資化性も変化した。本結果は、バイオチャーの層状散布がその直下の有機質土壌における栄養塩状態や微生物群集に大きな影響を及ぼすことを示しているが、今後分解が進んでバイオチャー層直下のFH層が消失したあとに鉱質土層に対しても同様の影響が及ぶかについてより長期に渡って調べる必要があるだろう。

バイオチャーの特性と動態解明

表層有機物堆積層への影響の実験において、重量減少はバイオチャーにおいては実験開始から約1割程度の減少が認められたが、その後はほとんど認められなかった。新リターにおいては実験開始から180、360、470日後にバイオチャー散布区で対照区よりも減少した傾向が認められ、特に10 t ha⁻¹区と0 t ha⁻¹区で有意な差が認められた(図3)。旧リターにおいては実験開始から85、360、553、673日後にバイオチャー散布区で対照区よりも減少した傾向が認められ、特に10 t ha⁻¹区と0 t ha⁻¹区で有意な差が認められた。すなわち、バイオチャー自体はほとんど分解されないが、散布によって新リターは実験開始から約1年間、旧リターでは約2年間においては分解が促進された。

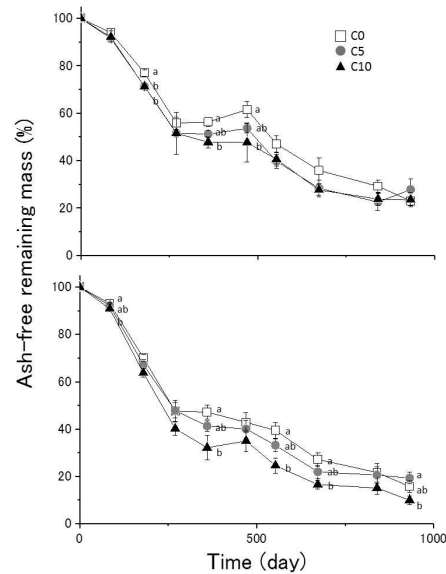


図3：リターの分解速度

また、バイオチャー散布区では乾燥時にリター含水率が向上した傾向が認められた。このことから、バイオチャーの持つ調湿作用や保水性により微生物活性が上昇したことで、リター分解が促進されたと推察された。しかし、バイオチャー散布によるリター分解の促進は一時的であり、炭素隔離効果に対する負の影響はほとんどないと考えられる。

下層鉱質土層への影響の実験において、非散布区に対して散布区の土壌では、全窒素の減少や有効態リンの増加、さらにはpHの上昇が認められた。また、バイオチャー自体は散布前に比べて全窒素が増加し、有効態リンが大幅に減少した。これらは、リターから土壌へ供給される窒素の一部がバイオチャーに吸着し、またバイオチャーに含まれる有効態リンが土壌に供給されたと推察される。土壌中の細菌・糸状菌のコロニー数は両区の土壌に有意な差は認められなかった。しかし、散布後のバイオチャー自体においては、細菌のコロニー数が土壌の4倍の値を示したことから、バイオチャー自体に土壌微生物の住処としての役割があると考えられる。以上のことから、森林へのバイオチャーの散布は土壌環境へ影響を与え、またバイオチャー自体にも重要な役割があることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Suminokura Nobuhiko, Suzuki Mayuk, Tanami Kent, Tomotsune Mitsutoshi, Yoshitake Shinpei, Koizumi Hiroshi (2018) Non-destructive measurement of soil respiration in a grassland ecosystem using the multiple microchambers method. Ecological Research

[学会発表](計 21 件)

山田理香、山田 靖子、友常満利、坂倉 光祐、小泉博 (2016) 暖温帯コナラ林におけるバイオチャー散布による炭素動態への影響、第 63 回日本生態学会大会

酒井理恵、友常満利、北村今日子、藤嶽暢英 (2016) バイオチャー散布が与える森林土壌への影響 新たな森林管理法を目指して 第 63 回日本生態学会大会

佐宗若奈、山田靖子、墨野倉伸彦、鈴木真裕子、小泉博 (2017) バイオチャー散布がコナラ林土壌圏の無機態窒素動態に与える影響、第 64 回日本生態学会大会

月森勇氣、山田理香、墨野倉伸彦、増田信悟、友常満利、小泉博 (2017) バイオチャー散布が暖温帯コナラ林の炭素動態に及ぼす影響 - 散布量の違いに伴う応答の比較 - 第 64 回日本生態学会大会

南埜幸也、酒井理恵、鈴木武志、藤嶽暢英、友常満利 (2017) 暖温帯コナラ林におけるバイオチャー散布がリターの分解速度に及ぼす影響

大塚俊之、吉竹晋平、飯村康夫、川東正幸、小泉博 (2017) 企画集会 「MAFES: 森林の炭素循環ミステリー」

Tomotsune M., Yamada R., Masuda S., Suminokura N., Tsukimori Y., Honda A., Yoshitake S., Fujitake N., Ohtsuka T., Koizumi H. (2017) Response of soil respiration to biochar addition during three years in a secondary warm-temperate deciduous forest, Japan. Ecology Across Borders

Masuda S., Tsukimori Y., Honda A., Suminokura N., Tomotsune M., Koizumi H. (2017) Effects of biochar application on fine root dynamics in a *Quercus serrata* forest. Ecology Across Borders

増田信悟、月森勇氣、恵日格也、本多朝陽、墨野倉伸彦、友常満利、小泉博 (2018) バイオチャー散布がコナラ林の細根 NPP に与える影響 第 65 回日本生態学会

月森勇氣、友常満利、墨野倉伸彦、本多朝陽、増田信悟、小泉博 (2018) バイオチャー散布が暖温帯コナラ林の炭素動態に及ぼす影響 - 散布後 1 年目と 2 年目における応答の比較 第 65 回日本生態学会

恵日格也、友常満利、月森勇氣、増田信悟、本多朝陽、小泉博 (2018) バイオチャー散布が暖温帯コナラ林における根呼吸と微生物呼吸に及ぼす影響 - トレンチ法を用いて、第 65 回日本生態学会

棚澤由実菜、友常満利、墨野倉伸彦、山中椎奈、加藤夕貴、小泉博 (2018) バイオチャー散布が暖温帯コナラ林の光合成に与える影響、第 65 回日本生態学会

加藤夕貴、嶋田彩加、墨野倉伸彦、本多朝陽、月森勇氣、山中椎奈、小泉博 (2018) バイオチャー散布が暖温帯コナラ林の土壌表層に与える影響、第 65 回日本生態学会

市川順也、墨野倉伸彦、友常満利、山田理香、増田信悟、月森勇氣、小泉博 (2018) 森林生態系における林床へのバイオチャー散布が土壌微生物群集に及ぼす影響、第 65 回日本生態学会

山中椎奈、坂斉友梨、棚澤由実菜、加藤夕貴、墨野倉伸彦、小泉博 (2018) バイオチャーの散布がコナラ実生の炭素収支に与える影響、第 65 回日本生態学会

吉竹晋平、友常満利、墨野倉伸彦、小泉博、大塚俊之 (2018) 森林生態系における林床へのバイオチャー散布が土壌微生物群集に及ぼす影響、第 65 回日本生態学会

Koyama Y., Tomotsune M., Koizumi H. (2018) Inter-annual variations in biometric-based

net ecosystem production between cool-temperate young and old-growth forests dominated by *Pinus densiflora*. American Geophysical Union Fall Meeting
 Tomotsune M., Yamada R., Tsukimori Y., Minamino Y., Fujitake N., Koizumi H. (2018) Effect of biochar amendment to soil respiration during three years in a secondary warm-temperate deciduous forest, Japan. American Geophysical Union Fall Meeting
 恵日格也、月森勇気、友常満利、小泉博 (2019) バイオチャー散布が暖温帯コナラ林の土壌炭素フラックスに及ぼす影響、第 66 回日本生態学会大会
 月森勇気、友常満利、恵日格也、棚澤由実菜、小泉博 (2019) 暖温帯コナラ林におけるバイオチャー散布後 3 年間の炭素動態、第 66 回日本生態学会大会
 ②棚澤由実菜、月森勇気、友常満利、鈴木武志、小泉博 (2019) バイオチャー散布が暖温帯コナラ林の光合成に与える影響 - 無機栄養塩との関係 -、第 66 回日本生態学会大会

6 . 研究組織

- ・ 研究分担者氏名：近藤 美由紀
 ローマ字氏名：**Miyuki Kondo**
 所属研究機関名：国立研究開発法人国立環境研究所
 部局名：環境計測研究センター
 職名：研究員
 研究者番号：**30467211**
- ・ 研究分担者氏名：関川 清広
 ローマ字氏名：**Sekikawa Seiko**
 所属研究機関名：玉川大学
 部局名：農学部
 職名：教授
 研究者番号：**40226642**
- ・ 研究分担者氏名：藤嶽 暢英
 ローマ字氏名：**Fujitake Nobuhide**
 所属研究機関名：神戸大学
 部局名：農学研究科
 職名：教授
 研究者番号：**50243332**
- ・ 研究分担者氏名：吉竹 晋平
 ローマ字氏名：**Yoshitake Shinpei**
 所属研究機関名：岐阜大学
 部局名：流域圏科学研究センター
 職名：助手
 研究者番号：**50643649**

- ・ 研究分担者氏名：川東 正幸
 ローマ字氏名：**Kawahigashi Masayuki**
 所属研究機関名：首都大学東京
 部局名：都市環境科学研究科
 職名：准教授
 研究者番号：**60297794**
- ・ 研究分担者氏名：飯村 康夫
 ローマ字氏名：**Iimura Yasuo**
 所属研究機関名：滋賀県立大学
 部局名：環境科学部
 職名：助教
 研究者番号：**80599093**
- ・ 研究分担者氏名：加藤 拓
 ローマ字氏名：**Kato Taku**
 所属研究機関名：東京農業大学
 部局名：応用生物科学部
 職名：准教授
 研究者番号：**90571828**
- ・ 研究分担者氏名：友常 満利
 ローマ字氏名：**Tomotsune Mitsutoshi**
 所属研究機関名：早稲田大学
 部局名：教育・総合科学学術院
 職名：講師（任期付）
 研究者番号：**90765124**

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。