

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K06433

研究課題名(和文) バイオチャーが森林生態系の有機物堆積層の構造と機能に与える影響

研究課題名(英文) Effect of biochar amendment to structure and function of soil organic layer in forest ecosystem

研究代表者

友常 満利 (TOMOTSUNE, Mitsutoshi)

玉川大学・農学部・助教

研究者番号：90765124

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化の効果的な対策の一つとして、森林生態系へのバイオチャー散布が注目されている。本研究では、林床へのバイオチャー散布が、表層土壌(有機物堆積層)の構造と機能に与える影響を評価した。その結果、バイオチャーは有機物堆積層の物理・化学・生物構造を大きく改変し、リターの分解速度を上昇させた。これは、バイオチャーとして投入された炭素量を数年で相殺すること、また分解にともない放出される栄養塩が林冠木の生産量を上昇させることを意味している。したがって、有機物堆積層の動態が森林生態系全体の炭素吸収・隔離能に大きな影響を与える重要な要素であることが明らかにされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、世界各地で森林生態系へのバイオチャー散布の実証実験が試みられている。本研究は、その中でも最も重要な土壌表層、有機物堆積層の挙動に早く着目し、バイオチャーが「土壌圏への炭素貯留」と「樹木への栄養塩供給」という二つの機能に与える影響とそのメカニズムを解明したものである。これは、森林へのバイオチャー散布を新たな炭素隔離法として提唱していくための重要な根拠となる。また、この挙動が生態系全体の炭素吸収・隔離能に大きな影響を与えることが示され、有機物堆積層の質、すなわち優占種の異なる様々な森林での研究の必要性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：Addition of biochar to forest floor have been focused as an effective strategy for controlling global warming. This study evaluated the effect of biochar amendment to structure and function of soil organic layer (litter layer) in a temperate deciduous forest. In our study, biochar largely changed the physical, chemical and biological structure of litter layer, and increased the leaf litter decomposition. This result indicates that amount of added biochar carbon was canceled by increased carbon emission with leaf litter decomposition. In addition, the released nutrients with the decomposition increased the net primary production of dominated trees. Therefore, biochar was largely effect the carbon balance of ecosystem, and then the dynamics of soil organic layer was important factor for carbon sequestration on the forest ecosystem.

研究分野：生態系生態学

キーワード：バイオチャー 炭素隔離 森林生態系 物質循環

1. 研究開始当初の背景

COP21において締結されたパリ協定の発効にともない、「バイオチャー」を用いた炭素隔離技術がCO₂削減方策の一つとして注目されている^{引用1}。バイオチャーは、農地での作物収量の増加を目的とした土壌改良剤であるが、その付随的な効果として炭素隔離効果が議論されるようになった^{引用2}。森林は、樹木による炭素固定能が高く、世界の陸域面積の約30%を占めるほど広大で、林内にバイオチャーへ加工するための有機物残渣(枯死木や枯葉)を豊富に蓄えている。したがって、森林生態系をバイオチャーによる炭素隔離の場として活用することは、より現実的で効果的なCO₂削減方策になると期待される(図1)。

我々の研究グループはバイオチャー散布が生態系全体の炭素収支(生態系純生産量;NEP)と生態系内部の炭素動態に与える影響に着目し、森林生態系において大規模な散布実験を世界に先駆けて実施している。その結果、樹木の炭素固定量(純一次生産量;NPP)の増加(図1の)に加え、土壌圏からの炭素放出量(土壌呼吸量;SR)の増大(図1の)が明らかになった。もしこの放出の増大が元々土壌圏に存在していた有機物の分解に由来するならば、期待された全体の炭素隔離効果は相殺されてしまう。そこで、簡易的に土壌調査を行ったところ、この増大は森林生態系特有な多量の植物残渣、すなわち落葉などが堆積したリター層の分解に由来することが示唆された。森林土壌の炭素貯留量は農地よりも圧倒的に高いため、生態系全体の炭素収支にも多大な影響を与えていたと推察される。またNPPの増加においても、分解の促進でリターから供給される成分の一部が栄養源になったと考えられる。すなわち森林生態系への散布をより効果的なものとするには、散布がリター層の「炭素貯留」と「栄養塩供給」という二つの機能に与える影響とそのメカニズムを理解することが重要となる。

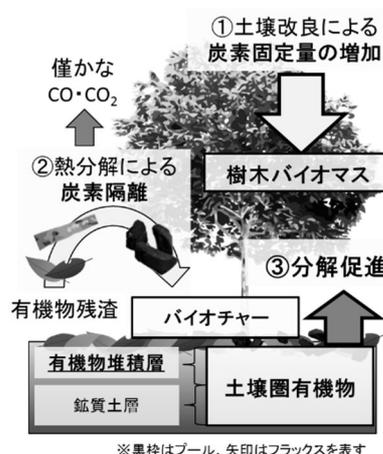


図1: バイオチャー散布に対する森林生態系内の炭素動態の変化

2. 研究の目的

バイオチャー散布によって変化するリター層の物理的・化学的構造とそれにとまなう微生物群集の関係から、リターの分解速度に与える影響を解明し、リター層の持つ炭素貯留と栄養塩供給の機能を評価する。また、自然界における「リター」とは何か、すなわち森林生態系におけるリターの役割を「土壌生成」および「生態系の物質循環」の観点から示す。

3. 研究の方法

(1) 調査区の設定

調査は埼玉県本庄市の本庄早稲田リサーチパーク(北緯36°12'57"、東経139°10'18"、標高105.5m)で行った。本地域は年間平均気温15.9、平均年間降水量1221.8mmで(気象庁)暖温帯に属す。優占種は約50年生のコナラ(*Quercus serrata*)で、亜高木層にエゴ(*Styrax*



図2: 実験区の様子。左から0t区、5t区、10t区の実験区。

japonica)、下層植生にアズマネザサ(*Pleioblastus chino*)が繁茂している。土壌は淡色黒ボク

土 (Alic Hapludands; USDA) に分類される。

本調査地においてバイオチャーの散布実験区を設置した (図 2)。20m×20m の方形区を 12 個用意し、バイオチャーを散布していない 0t 区 (C0 区)、5t ha⁻¹ 散布した 5t 区 (C5 区)、10t ha⁻¹ 散布した 10t 区 (C10 区) をそれぞれ 4 個ずつ作成した。散布には市販のバイオチャー (白鳥スーパー木炭 C、白鳥木材加工協同組合) を用いた。主にコナラやアカマツなどを母材としている。

(2) リター層の機能

バイオチャー散布により変化するリター分解速度から、炭素貯留能と栄養塩供給能を評価した。リターの分解速度はリターバック法によって測定した。リターバック (メッシュサイズ 2mm, ナイロン製) に、旧リターと新リターを風乾重で約 3 g ずつ封入し調査地に設置した。新リターバックは散布したバイオチャーの上層に、旧リターバックは散布したバイオチャーの下層に設置した。それと同時にバイオチャーの分解を調査した。定期的にリターバックを回収し、残存したリターおよびバイオチャーの重量を測定した。

(3) リター層の構造

リター層の化学性においては、回収したリターバック内の残存リターの炭素及び窒素濃度の測定を行った。さらに、炭素の質の違いを捉えるために、全炭水化物量 (セルロース・ホロセルロース量) とリグニン量をクラークソン法 (Osono et al. 2014) により分析した。物理性においては、定期的の実験区において温度と含水率、pH を測定した。リター層の生物性においては、赤外線ガス分析器を用いた通気法によって、回収したリターバックからの CO₂ 放出量を測定した。また、粉末にしたリターに異なる炭素・窒素源を加え、放出される CO₂ 速度を MicroResp 法により測定し、その放出量の増減や応答パターンを回帰した。

4. 研究成果

(1) リター層の機能

リターの重量減少は、旧リターにおいて散布区と C0 区に有意な差が認められなかったが、新リターにおいては散布区の方が C0 区より大きく、特に C10 区で有意な差が認められた (図 3)。また、各季節において分解速度は散布区の方が C0 区よりも常に高い傾向にあった。一方で、バイオチャーの重量は散布後の初期に 5% ほど減少したが、その後、重量減少は認められなかった。すなわち、リターバックからの物理的な抜け落ちがあるものの、ほぼ分解されていないと考えられた。リター分解に伴う年間炭素放出量は C0、C5、C10 区でそれぞれ 4.4、5.2、5.4 (MgC ha⁻¹ yr⁻¹) と推定された。すなわち、バイオチャーの散布により 0.80、0.98 (MgC ha⁻¹ yr⁻¹) の炭素が過剰に放出されたこととなり、これはバイオチャーとして隔離された炭素の 23、14% に相当する。これはバイオチャーとして投入された炭素が数年で相殺されることを意味している。しかし、その効果は数年で収まることから、バイオチャーの散布量や散布方法によっては、炭素隔離効果が高めることが可能であると考えられた。

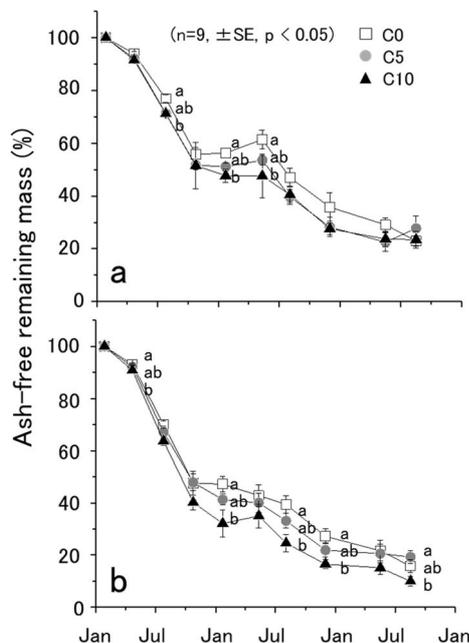


図 3 : リターの重量減少

(2) リター層の構造

・土壌の化学性

新リターにおいては全炭水化物重量はリター重量が約 50% になるまで急激に減少し、その後重量減少は緩やかになった。一方で、リグニン重量はリター重量が約 50% になるまでは緩やかに減少していたが、その後減少速度が速くなったことが認められた (図 4)。C0、C5、C10 区において全炭水化物重量残存率、リグニン重量残存率とリターの累積重量減少のそれぞれの回帰曲線を比較すると、違いは認められなかった。また、全炭水化物重量残存率、リグニン重量残存率はリターの累積重量減少と有意に相関していることが認められた ($p < 0.001$)。旧リターにおいては、全炭水化物重量はリター重量が約 50% になるまで急激に減少し、その後重量減少は緩やかになった。一方で、リグニン重量はリター重量が約 50% になるまでは緩やかに減少していたが、その後減少速度が速くなったことが認められた。C0、C5、C10 区において全炭水化物重量残存率、リグニン重量残存率とリターの累積重量減少のそれぞれの回帰曲線を比較すると、違いは認め

られなかった。また、全炭水化物重量残存率、リグニン重量残存率はリターの累積重量減少と有意に相関していることが認められた ($p < 0.001$)。新リターと旧リターを比較した場合、旧リターの方がリター重量の減少が認められたが、全炭水化物重量残存率、リグニン重量残存率、ともに回帰曲線に違いは認められなかった。

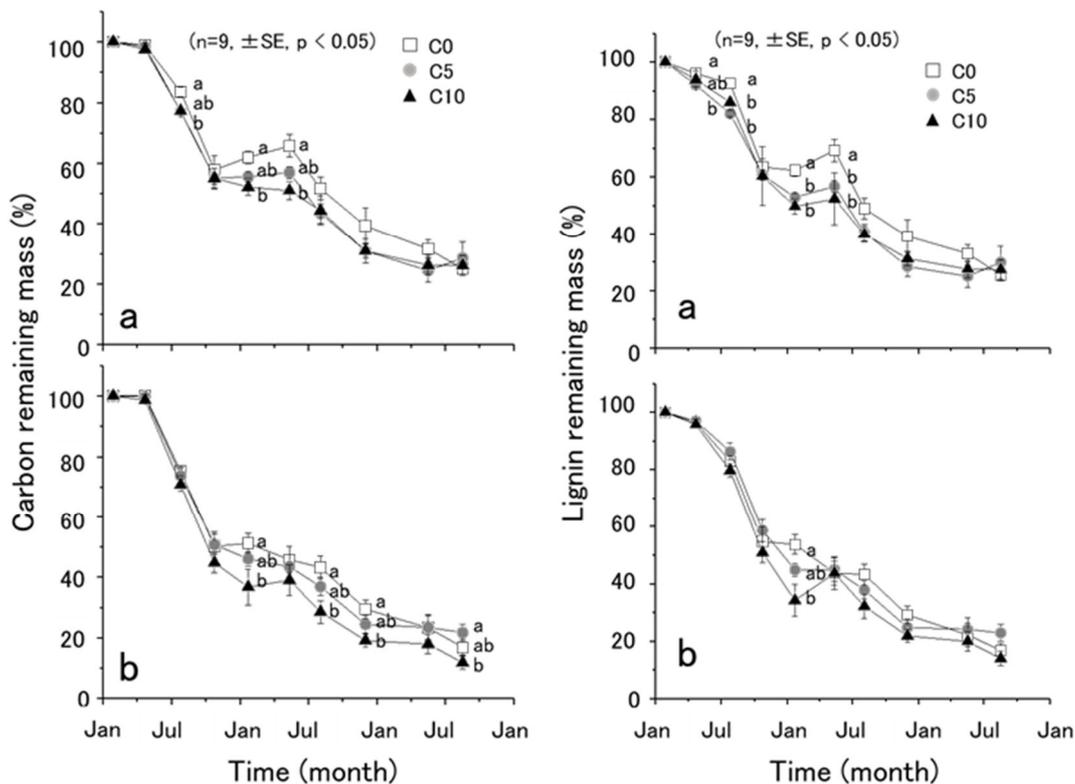


図4：リター中の全炭水化物とリグニンの重量減少

・リターの物理性

新リターは、C0区 10.2~64.7%、C5区 7.90~68.5%、C10区 11.8~68.5%の含水率を示した。C0区の含水率が50%を上回った時、C5、C10区とC0区の含水率に差は認められなかった。一方、50%を下回った時は、C5、C10区でC0区よりも高い含水率を示した傾向が認められた。特にC10区ではC0区と比較して一部で有意な差が認められた。旧リターは、C0区 18.4~59.7%、C5区 20.2~61.2%、C10区 24.9~63.8%の範囲を示した。C0区の含水率が50%を上回った時、C5、C10区とC0区の含水率に差は認められなかった。一方、50%を下回った時は、C5、C10区でC0区よりも高い含水率を示した傾向が認められた。特にC10区ではC0区と比較して一部で有意な差が認められた。新リターC0区と旧リターC0区を比較すると、旧リターの方が含水率の3年間におけるバラつきが小さいことが認められた。また、新リター及び旧リターの散布区同士で比較した場合でも同様に旧リターの方が含水率の3年間におけるバラつきが小さいことが認められた。一方で、リターの温度やpHに有意な差は認められなかった。以上のことから、有機物分解の促進は、バイオチャー散布によるリター層の保水性の改善が大きな要素になっていると考えられた。

・リターの生物性

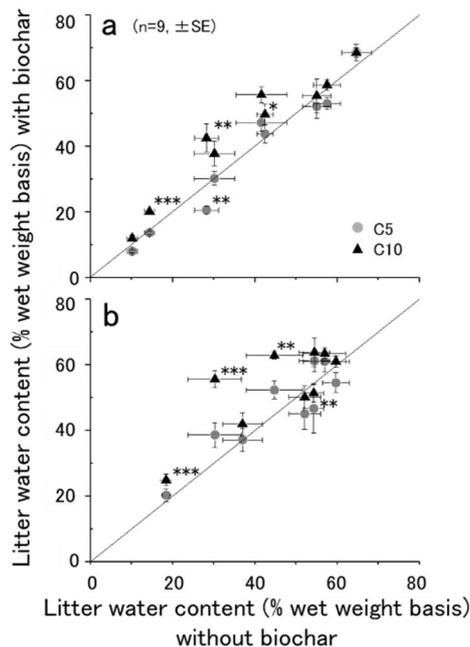


図5：リターの含水率

新リターは、3年間に於いてC0区とC5、C10区で有意な差は認められなかった(図6)。旧リターは、いくつかの月においてバイオチャーの散布量が増加するにしたがって呼吸速度が増加する傾向が認められた。しかし、3年間に於いてC0区とC5、C10区で有意な差は認められなかった。新リターと旧リターを比較すると、どの試験区どうしを比較しても旧リターの方が新リターよりも呼吸速度が速い傾向が認められた。また、Microresp法の結果からは、微生物の組成や活性に大きな変化は認められなかった。一方で、リター層と下層の土壌からの炭素放出量は、散布後3年目にC5、C10区で増加していたが、その後には差は見られなくなった。年間HR量は3年目では散布区で増加傾向を示したが、その後には明瞭な傾向は見られなかった。1年間あたりのHR増加量はC5、C10区でそれぞれ0.9、1.0tCであった。したがって、バイオチャー散布によるリター層の保水性の改善が微生物の活性を向上させ、リターの分解速度を上昇させていること、またそれらの現象は数年で収まることが示された。

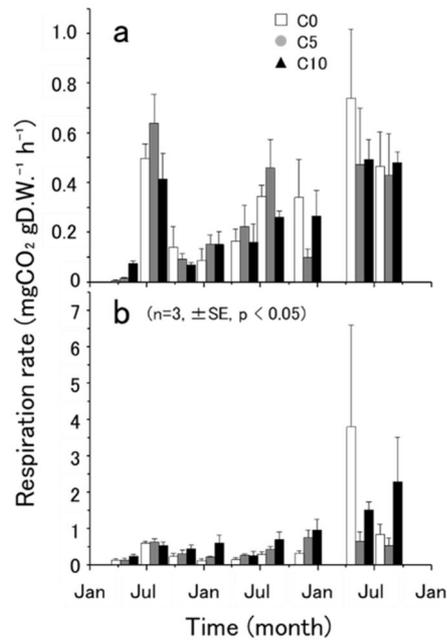


図6：リターからの微生物呼吸速度

5. 結論

バイオチャーは有機物堆積層の物理・化学・生物構造を大きく改変し、特にリターの保水性を高め、微生物の活性を向上させることで、リターの分解速度を上昇させた。これは、バイオチャーとして投入された炭素量を数年で相殺すること、また分解にともない放出される栄養塩が林冠木の生産量を上昇させることを意味している。したがって、有機物堆積層の動態が森林生態系全体の炭素吸収・隔離能に大きな影響を与える重要な要素であることが明らかにされた。

6. 引用文献

1. COP21 (2013) *Paris Agreement*
2. Lehmann et al. (2013) *Soil Biology & Biochemistry*

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Minamino Y., Fujitake N., Suzuki T., Yoshitake S., Koizumi H., Tomotsune M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Effect of biochar addition on leaf litter decomposition at the soil surface during three years in a warm-temperate secondary deciduous forest, Japan.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-53615-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tomotsune M., Suzuki Y., Kato Y., Masuda R., Suminokura N., Koyama Y., Sakamaki Y., Koizumi H.	4. 巻 10
2. 論文標題 Comparison of carbon dynamics among three cool-temperate forests (<i>Quercus serrata</i> , <i>Larix kaempferi</i> and <i>Pinus densiflora</i>) under the same climate conditions in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Protection	6. 最初と最後の頁 929-941
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/jep.2019.107055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Iimura, Y., Natsuhara, M., Ohtsuka, T., Tomotsune, M., Yoshitake, S., Koizumi, H.	4. 巻 65
2. 論文標題 Priming effect of <i>Miscanthus sinensis</i> derived biochar on brown forest soil.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soil chemistry and soil mineralogy	6. 最初と最後の頁 550-556
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2019.1672101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tomotsune M., Arai H., Yoshitake S., Kida M., Fujitake N., Kinjo K., Ohtsuka T.	4. 巻 43
2. 論文標題 Effect of crab burrows on CO ₂ efflux from the sediment surface to the atmosphere in a subtropical mangrove forest on Ishigaki Island, southwestern Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Estuaries and Coasts	6. 最初と最後の頁 102-110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12237-019-00667-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Tomotsune M., Yoshitake S., Ohtsuka T., Fujitake N., Tsukimori Y., Masuda S., Enichi K., Koizumi H.
2. 発表標題 Effect of biochar amendment on biometric net ecosystem production during three years in a secondary warm-temperate deciduous forest, Japan.
3. 学会等名 2019 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshitake S., Tomotsune M., Koizumi H., Ohtsuka, T.
2. 発表標題 Three-year's responses of soil nutrients and microbial community to the biochar amendment in a warm-temperate deciduous forest in Japan.
3. 学会等名 2019 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tanazawa Y., Tomotsune M., Suzuki T., Koizumi H., Yoshitake S.
2. 発表標題 Effects of biochar amendment on photosynthesis of oaks in a warm-temperate climate, Japan.
3. 学会等名 2019 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Enichi K., Tsukimori Y., Tomotsune M., Koizumi H., Yoshitake S.
2. 発表標題 Effects of biochar amendment on soil carbon flux for three years in a warm-temperate deciduous forest in Japan.
3. 学会等名 2019 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 友常満利, 吉竹晋平, 大塚俊之, 藤嶽暢英, 月森勇氣, 増田信悟, 恵日格也
2. 発表標題 暖温帯コナラ林におけるバイオチャー散布が生態系の炭素隔離能に及ぼす影響
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 恵日格也, 友常満利, 小泉博, 吉竹晋平
2. 発表標題 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は3年で減衰する
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉新昌平, 久保田大雅, 棚澤由実菜, 友常満利, 吉竹晋平
2. 発表標題 バイオチャー散布がコナラ実生栽培実験における土壌層位間のCNP動態に与える影響
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 棚澤由実菜, 友常満利, 鈴木武志, 小泉博, 吉竹晋平
2. 発表標題 野外でのバイオチャー散布がその後3年間のコナラ若木の光合成に与える影響
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤夕貴、友常満利、塩手文也、小山悠太、小泉博、吉竹晋平
2. 発表標題 同一地域の異なる森林タイプにおける7年間にわたる炭素収支の比較
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomotsune. M, Yamada R., Tsukimori Y., Minamino Y., Fujitake N., Koizumi H.
2. 発表標題 Effect of biochar amendment to soil respiration during three years in a secondary warm-temperate deciduous forest, Japan.
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minamino Y., Tomoki C., Fujitake N., Suzuki T., Tomotsune M.
2. 発表標題 Effect of biochar amendment to soil respiration during three years in a secondary warm-temperate deciduous forest, Japan.
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 恵日格也, 月森勇氣, 友常満利, 小泉博
2. 発表標題 バイオチャー散布が暖温帯コナラ林の土壤炭素フラックスに及ぼす影響
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 棚澤由実菜, 月森勇気, 友常満利, 鈴木武志, 小泉博
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 南埜幸也, 藤嶽暢英, 吉竹晋平, 鈴木武志, 友常満利
2. 発表標題 暖温帯コナラ林におけるバイオチャー散布がリター分解に及ぼす影響
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 月森勇気, 友常満利, 恵日格也, 棚澤由実菜, 小泉博
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	藤嶽 暢英 (FUJITAKE Nobuhide) (50243332)	神戸大学・農学研究科・教授 (14501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	吉竹 晋平 (YOSHITAKE Shinpei) (50643649)	早稲田大学・教育・総合化学学術院・専任講師 (32689)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関