

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02250

研究課題名（和文）森林土壌圏の炭素収支における枯死木効果の包括的評価

研究課題名（英文）Effect of CWD in forest soil carbon budget

研究代表者

小南 裕志（Kominami, Yuji）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：70353688

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、日本の5か所のサイトにおいて、2016年に設置したコナラ枯死木を用い、枯死木周辺の土壌呼吸測定と並行して細片化枯死木と落葉リターのポテンシャルフラックス測定を行い、枯死木の分解に伴う土壌炭素収支への影響評価を行った。細片化枯死木サンプルのポテンシャルCO₂放出量は落葉サンプルの20～30%となった。一方枯死木周辺の細片化有機物の堆積はこのポテンシャルフラックスの低さを補う5～10倍程度の有機物蓄積が見られた。枯死木細片化に伴う土壌炭素の増大は土壌蓄積の増加と土壌CO₂放出の増大の双方の機能があることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

伐採を伴わない天然性林においては、成長していく樹木も長期的にはいつかは枯死して分解系に供給される。NPP（純一次生産量）における樹木成長量の寄与は30～50%程度を占めるため樹病や風害などの攪乱が発生すると、長期に蓄えられた樹体成長分の炭素が一気に枯死木として発生するため、土壌呼吸や長期土壌炭素収支における枯死木の関与は大きい。温暖化影響に起因する災害や樹病などの樹木枯死が増加している現状において、枯死木が発生した場合に炭素がどのようにに放出あるいは蓄積するかを明らかにすることは今後の全球炭素収支評価において根本的な知見を提供する。

研究成果の概要（英文）：In this study, potential flux measurements of fragmented deadwood and fallen leaf litter were conducted alongside soil respiration measurements around deadwood at five sites in Japan. The study utilized dead Quercus trees established in 2016 to assess the impact of deadwood decomposition on the soil carbon budget. The potential CO₂ emissions from the fragmented deadwood samples were found to be 20-30% of those from the deciduous litter samples. In contrast, the accumulation of fragmented organic matter around dead trees was 5-10 times higher than this low potential flux. The increase in soil carbon associated with dead tree fragmentation was attributed to both increased soil accumulation and increased soil CO₂ release.

研究分野：物質生産生態学

キーワード：森林炭素収支 枯死木 枯死木CO₂放出 有機物分解 細片化枯死木

1. 研究開始当初の背景

森林生態系の炭素収支において生態系呼吸量の 30~50%程度を占める有機物分解呼吸量は、森林生態系の CO₂ 吸収量の環境応答や群落構造依存性を評価する上で重要な項目である。一方、森林有機物分解呼吸量の放出源となる有機物(リター)はその内容が落葉、落枝、枯死根、枯死木など多岐にわたり、それぞれに発生位置や物理化学特性が異なる。この中で枯死木発生 - 分解過程は落葉などの小型のリターと比較すると、毎年安定しては発生しないことや、発生する場所があらかじめわからないなどの理由で評価が困難である。一方、伐採を伴わない天然性林においては、成長していく樹木も長期的にはいつかは枯死して分解系に供給される。NPP(純一次生産量)における樹木成長量の寄与は 30~50%程度を占め、樹病や風害などの攪乱が発生すると、長期に蓄えられた樹体成長分の炭素が一気に枯死木として発生するため、長期土壌炭素収支における枯死木の関与は大きい。また枯死木は大量の炭素を持った物体が空間的に集中して存在するという特徴を持ち、京都府山城試験地(コナラ天然性林)では枯死木投影面積における炭素量は 1000tC ha⁻¹ 以上となった。そのため、土壌呼吸の空間分布にも枯死木が大きく関与していると考えられる。これらの認識にともない国内外のいくつかのサイトにおいて 2000 年代より森林生態系の炭素循環における枯死木の寄与の評価が徐々になされてきた。しかし、これまでの炭素収支研究において、枯死木は発生量の把握、CO₂ 放出量とも小型リターとは別個に取り扱われており、枯死木が発生して分解が進行しても枯死木は分解に伴って密度が減少するが形状は元の枯死木が維持されるという取り扱いになっている。しかし、現実の枯死木では、分解の進行にともない一部は CO₂ となって大気に放出されるが、一方でもともとは幹の姿をしていた枯死木は細片化や溶脱など物理・化学的变化が生じるため、発生数年後から枯死木周辺は形のくずれた枯死木と細片化した枯死木のデブリの集合体となり、徐々に枯死木の姿を失い小型のリターと同様に森林土壌の一部に移行していく。このような作用は結果的に枯死木周辺の土壌において土壌呼吸および土壌炭素量の双方の大幅な増加をもたらすと考えられるが、その度合いは現状では全く不明である。このような、細片化を含んだ枯死木分解評価を行う場合には、あらかじめ発生時点でのサイズや初期密度などがわかっている枯死木を細片化過程が始まる数年後まで継続して、密度変化と CO₂ 放出を測定しておくことが必須となる。このような長期的なサンプル観測を多量に運用することは森林の炭素収支観測の中でも特に難易度が高く国内では例がない。森林攪乱の頻発する日本の森林の炭素収支評価においては重要ではあるが進捗が困難な項目であるといえる。また、枯死木は小型リターと比較して材内のリグニンなどの難分解性炭素含有率が高いため、その細片化は分解されなかった基質が残って土壌に供給される過程とも考えられ、小型リターとは異なる CO₂ 放出特性を持っている可能性がある。このように複雑な要素を持った枯死木の分解過程を発生から土壌化まで包括的にとらえることは、特に天然性森林の長期的な炭素収支を推定において大きな謎を含んだ重要な課題であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究グループは 2016 年にコナラ成木の枯死木サンプルを全国 5 サイトにおいて各サイト 80 本設置しサンプルのサイズ、密度、含水率、CO₂ 放出量および材内微生物群衆の変遷の観測を継続している。その結果、設置から 5 年が経過した段階で積算 CO₂ 放出量と比

較して材の密度変化から推定した重量減少量が超過していることがわかっている。つまり材の重量減少は CO₂ 放出だけでは説明がつかず、細片化などによる枯死木材の物理・化学的变化による材の消失が考えられた。これはさらに周辺の土壌圏への炭素供給につながるものが予想されるため、これらのサンプル群を用い、材特性の変動、CO₂ 放出の測定を継続し、これに周辺土壌の土壌呼吸、土壌炭素プロファイル、溶脱炭素量の測定および、影響範囲の抽出を行うことによって枯死木の長期的な分解過程が森林土壌の炭素収支に与える影響を評価が可能となる。さらにこの結果を分解モデル (YassoModel) の改良に用いることにより枯死木炭素収支を土壌圏炭素収支に包括的に組み込むことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究においては全国 5 か所のサイトにおいて (図 1) 2016 年に設置したコナラの丸太 (直径 30~40cm) を利用して

1. 枯死木からの CO₂ フラックスと並行して枯死木下および周辺の土壌呼吸分布の測定を行い、細片化枯死木の供給による土壌呼吸への影響観測を行った。

2. 基質の違いによる CO₂ 放出量の違いを評価するために、細片化枯死木および枯死木由来 SOM のサンプリングを行い、これらをインキュベータ内において温度および含水率を最適化しポテンシャル (最大) CO₂ フラックスを求める (基質導入法、SIR method)。これと、すでに測定が行われている (Sato et al. 2019) ポテンシャル落葉分解 CO₂ フラックスと比較することにより枯死木由来有機物のフラックス強度の炭素重量当たり強度を明らかにした (図 2)。

3. 枯死木下および周辺の土壌円筒サンプリングを行い、これと非枯死木影響土壌との比較をすることにより、枯死木の発生後、中長期経過後の枯死木が土壌炭素の増加に与える影響の評価を行った。

これらの測定を組み合わせ、枯死木の発生によって大量かつ多くの難分解性炭素を含んだ複雑な炭素が森林土壌に供給されるという現象が発生した場合に、大量の炭素が供給されるために土壌呼吸自体は大きくなる、一方、葉リターと比較すると多くの難分解性炭素を含んだ枯死木由来炭素は炭素重量当たりのポテンシャルフラックスは小さいために、より長期にわたって安定した炭素を土壌内に保持可能である。という双方に促進的な効果の定量を行った。

4. 研究成果

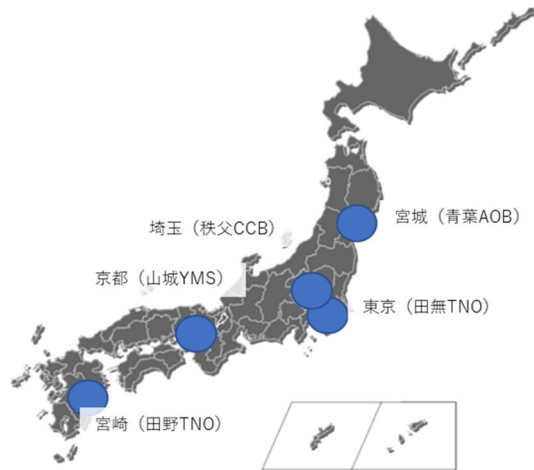


図 1 測定サイト



枯死木サンプルの含水比調整

現場でのフラックス測定

図 2 小型 IRGA を用いた SIR 法測定

初年度に全国5サイトにおいて枯死木周辺の土壌呼吸の多点測定を行い、枯死木からの距離による細片化した枯死木起源有機物による土壌呼吸ホットスポットの発生を確認した(図3)。二年度以降は基質導入法(SIR法)による細片化枯死木と葉リターのポテンシャル呼吸量比較を行った。その結果細片化枯死木は落葉リターと比較するとポテンシャルフラックスが3倍程度低いことが確認された(図4)。一方細片化枯死木が発生した林床面のA層炭素量の測定を行ったところ、細片化枯死木の供給により、供給がない林床面と比較して約5倍程度の炭素量が確認された(図5)。これらのことから枯死木発生後の細片化の機能として土壌呼吸と土壌炭素蓄積のホットスポットの双方の機能をもつことができることを明らかにした。この段階で当初予想された枯死木が細片化していく過程で土壌炭素収支に与える影響の基本的な機能特性の把握に成功したといえる。この研究過程で小型の赤外線CO₂アナライザを用いた多点土壌呼吸測定システムおよびSIR法測定システムの開発を行い、手持ちのツールボックスサイズに集積したシステムにより、遠隔の森林サイトにおいてもこれらの実験が可能なシステムおよびプロトコルを確立した(図2)。森林のCO₂吸収の真の定量化においては発生する様々な枯死有機物が長期的に自身の姿を変えながらCO₂を放出し、またより安定性の高い炭素となって土壌に蓄積していく複雑な過程を理解する必要があり、またより多くの状態の異なる森林における情報の集積が必要となることが予想され、本研究において開発された手法がその一助となることを期待する。

残された課題として、これまでの枯死木研究において、枯死木の全分解量は材の一部をサンプリングしその密度減少をもって分解量としてきた。しかし設置から8年経過した時点で枯死

木の分解に伴い一部のサンプルにおいて全体の形状の変化が無視できなくなった。このため最終年度に現場運用可能な水置換法による材容積測定機材を開発し枯死サンプルの容積減少量測定を行った。その結果密度損失による炭素消失の1/3程度の容積減少寄与が明らかとなった(図6)。しかし水置換法による容積測定も材分解が進行すると適用できないこと

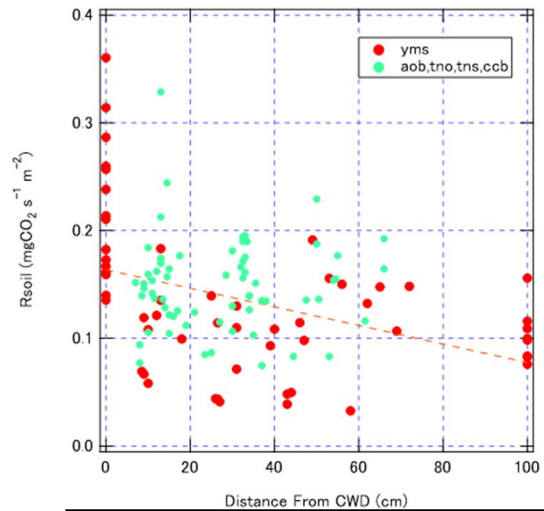


図3 枯死木からの距離と土壌呼吸の関係

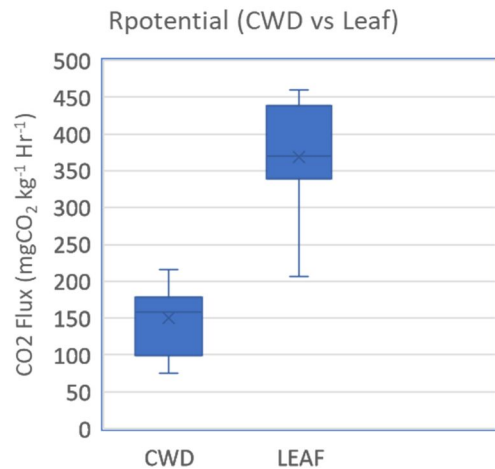


図4 細片化枯死木と落葉リターのポテンシャルフラックス比較(T=25)

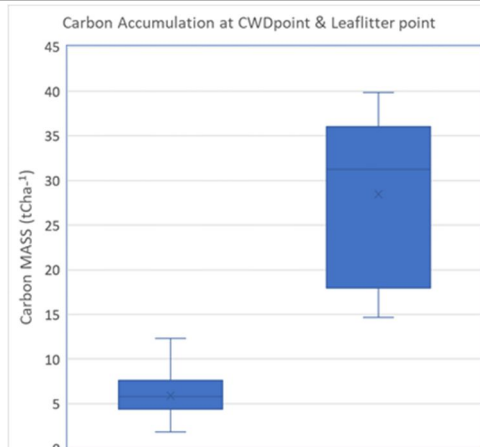


図5 枯死木周辺とそれ以外のA層炭素量

が明らかであり（図7）非常に単純な問題ではあるが、枯死材がどれだけ残っているかをどのように測るかというのは枯死木分解に伴う炭素収支評価で非常に重要な課題であるといえる。

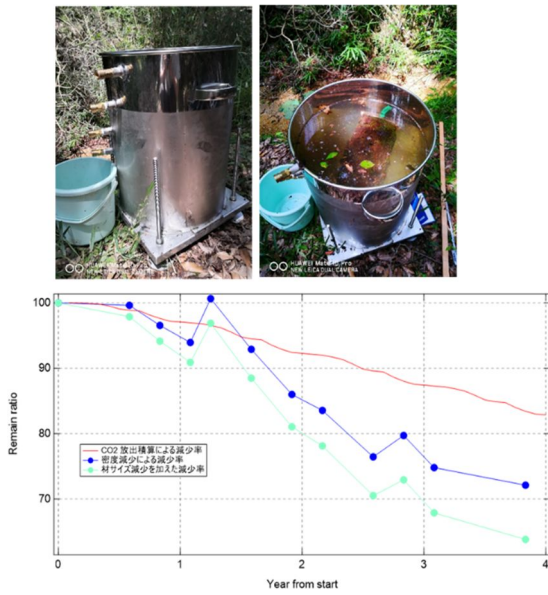


図6 水置換法による材容積測定(上)と容積サイズ変化を考慮にいれた分解推定
 (赤:積算CO₂放出による残存量推定、
 青:密度変動のみ、薄青:容積変動+密度変動)



図7 細片化が進行し枯死木の残存量評価が困難なサンプル例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小南裕志、深澤遊(東北大学)、高木正博(宮崎大学)、鈴木智之(東京大学)、竹本周平(東京大学)、平田晶子、高梨聡
2. 発表標題 森林の枯死木が土壌炭素循環に与える影響の包括的評価の試み
3. 学会等名 日本生態学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木村瑳月(東北大学)、深澤遊(東北大学)、小南裕志、高木正博(宮崎大学)、松倉君予(日本大学)、潮雅之(香港科技大学)、小林真(北海道大学)、鈴木智之(東京大学)、竹本周平(東京大学)、田中延亮(東京大学)、上村真由子(日本大学)、門脇浩明(京都大学)、衣浦晴生、山下聡
2. 発表標題 ナラ枯れがコナラ枯死木の菌類群衆構造および材分解に与える影響
3. 学会等名 日本生態学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小南裕志、平田晶子、勝島隆史、北村謙三、松井哲哉、深山貴文、溝口康子、森下智陽、清水貴範、高梨聡、安田幸生、吉藤奈津子、平田竜一(国環研)、高橋善幸(国環研)、石戸谷重之(産総研)、前田高尚(産総研)、村山昌平(産総研)、齋藤拓(岐阜大学)、深澤遊(東北大学)、高木正博(宮崎大学)、鈴木智之(東京大学)、竹本周平(東京大学)
2. 発表標題 New scheme for estimation of spatio-temporal forest Carbon budget in Japan.(日本の森林の炭素収支の時空間変動を把握する新しい枠組み)
3. 学会等名 AsiaFlux Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小南 裕志, 深澤 遊 (東北大学), , 高木 正博 (宮崎大学), 鈴木 智之 (東京大学), 竹本 周平 (東京大学)
2. 発表標題 土壌呼吸ホットスポット要因としての枯死木の効果
3. 学会等名 日本生態学会2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kominami Y., Fakasawa Yu, Takagi M., Suzuki T., Takemoto S
2. 発表標題 Change in soil carbon budget by Oak wilt disease in Japan
3. 学会等名 Asia Flux Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021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	鈴木 智之 (Suzuki Satoshi) (20633001)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・助教 (12601)	
研究分担者	深澤 遊 (Fukasawa Yu) (30594808)	東北大学・農学研究科・助教 (11301)	
研究分担者	高木 正博 (Takagi Masakazu) (70315357)	宮崎大学・農学部・教授 (17601)	

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
---------	---------