

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00600

研究課題名(和文) 不用なアンモニア性窒素を用いた分別土中木くずの循環系分解システムの構築

研究課題名(英文) Decomposition of wood in soils generated by a disaster as a ground material with unnecessary nitrogen

研究代表者

朝倉 宏 (ASAKURA, Hiroshi)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授

研究者番号：00391061

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、分別土を土木資材として有効利用するために、堆肥化と木材腐朽菌による木くずの生物分解法に着目した有機炭素削減方法を開発した。木の堆肥化時には適切な窒素量を添加すれば堆肥化が速まるはずである。一部では、窒素添加により木質分解が促進されることが分かった。木材腐朽菌が繁殖するのに最適な条件は、培養温度30℃、含水率60%であることが示された。また、窒素添加した試料ほど分解速度は低下し、木材腐朽菌の繁殖に硝酸塩は不適切であることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木材腐朽菌による木質分解を促進する条件が分かったことは、実際の土壌中の分別土分解の実用化につながることであり、学術的に意義がある。分別土リサイクル時の環境保全のための有機炭素含有量上限基準の目安はあるものの、基準を超過する分別土は存在する。最終処分されて廃棄物埋立地の残余容量を消費することは、最終処分量削減の国の方針から逆行している。本研究結果から、分別土から木くず等有機炭素を削減可能であり、これによって分別土の有効利用が広がれば最終処分量の削減が可能である。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to utilize soils generated by a disaster as a ground material, we developed reduction method for organic carbon by biodegradations such as composting and wood rotting fungi. Composting rate should be increased by nitrate addition at adequate quantity for wood composting. In a part of conditions, wood decomposition was accelerated with nitrate addition. The optimal conditions for wood decomposition by wood rotting fungi were found to be 30 degree Celsius and 60% of moisture. Since wood decomposition rates decreased by nitrate addition, nitrate addition was found to be inadequate for activity of wood rotting fungi.

研究分野：廃棄物工学

キーワード：災害発生土砂 木くず 分解 堆肥化 窒素 木材腐朽菌 酸素消費速度

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

平成 23 年の東北地方太平洋沖地震では大量の災害廃棄物（がれき）が発生した。災害廃棄物から金属・コンクリートなどの有価物回収を行いリサイクルに努めてきたものの、最終的に 500 万トン以上の土砂状物（分別土と呼ぶ：図 1）が残存し、利用されないまま堆積している。環境省は、埋戻材や盛土など土木資材として有効活用する方針である。

分別土の土木資材リサイクル時に直面している大きな問題は、家屋由来の木くず等有機炭素が津波による破壊と廃棄物処理（破碎選別）を受けた際に小粒径化し、分別土に混入し、リサイクル時に腐敗することである。分別土中の小粒径化した木くずを除去する手段は現時点で存在せず、木くず含有量の少ない分別土のみがリサイクルされている。腐敗によって、地盤の沈下による上部構造物の傾き、地盤の発熱・発火、汚水発生による周辺環境の汚染、メタンガス発生による爆発等の悪影響がある。このように、有機炭素混入が分別土有効活用を妨げている。

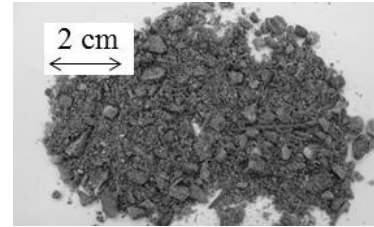


図 1 分別土

研究代表者らは、分別土リサイクル時の環境保全のための有機炭素含有量上限値提案にかかる研究を行っている。基準（現在は暫定値が複数存在）を超過する分別土は存在し、最終処分されて廃棄物埋立地の残余容量を消費し、最終処分量削減の国の方針から逆行している。近年の高度設備を持つ高価な埋立地に、ほとんど土壌と変わらない分別土を最終処分せざるを得ない現状は、循環型社会から大きくかけ離れている。分別土から木くず等有機炭素を削減できれば、有効利用が広がり最終処分量の削減が可能である。

分別土中の有機炭素の 8 割強は木くず由来であり、また数 mm 以下のサイズであることから、手選別は不可能である。木くずが他の土砂構成物に比べて比重が小さいことを利用し、混合物である分別土を水中に投入して浮上物（木くず）として分離する機械選別が考えられる。しかし、堆積保管中に雨水により木くず内部まで濡れると比重が大きくなり土砂構成物との比重差がなくなることで、水に分別土を投入することから汚水処理工程・濡れた分別土乾燥工程が追加で必要なこと等から効率的な方法ではない。そこで、木くずが生物分解性物質であることに着目すると、簡便な木くず削減方法として堆肥化処理や木材腐朽菌などの生物分解法が挙げられる。

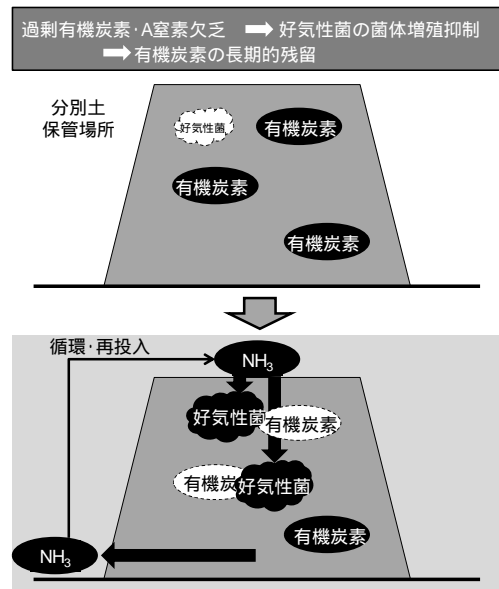


図 2 アンモニア性窒素による好気性菌の増殖と、有機炭素の削減

堆肥化処理とは作物育成に必須なリン酸等栄養塩を含む家畜糞尿や不用植物から、田畑を腐敗させる原因となる有機炭素を好気性菌によって分解・削減することであり、木くずも堆肥の材料として利用される。分解主体である好気性菌が増殖するためには細胞合成用のアンモニア性窒素が必須である。木くずは窒素含有量が少なく、単体での分解速度は非常に遅いため、堆肥化する際には大量のアンモニア性窒素含有物である家畜糞尿などが混合される。以上から、堆積した分別土上部からアンモニア性窒素を投入すれば、移動させることなく、堆肥化により有機炭素を削減できるのではないかと（図 2）。

堆肥化以外の生物分解を行う微生物の一種として、木材腐朽菌が挙げられる。木材腐朽菌は木材の主要成分であるセルロースやリグニンを腐朽分解し栄養源とする。この木材腐朽菌の働きによって、土砂中の木くず等有機炭素を分解できるのではないかと考えた。木材腐朽菌は主に 2 種類に分類され、褐色腐朽菌と白色腐朽菌に分類される。特に白色腐朽菌は、木材の主要成分の中でも難分解性であるリグニンの分解に優れている。以上のことから、土砂に白色腐朽菌を添加し培養することにより、木材の主要成分の分解が行われれば、木くず等有機炭素の削減が可能なのではないかと考えた。

2. 研究の目的

(1) 堆肥化による分別土中木くずの分解

本研究では、分別土を土木資材として有効利用するために、木くず堆肥化に必要な塩化アンモニウム最小量の定量的決定を行う。堆肥化によって窒素をどれだけ添加すれば有機炭素減少が速まるかを求めることで、資材量・時間を見積もることも可能となる。また、費用面を考慮しても最適な塩化アンモニウム添加量の決定は必要である。以上より、堆肥化実験の際に塩化アンモニウムの濃度を7段階設定し、各炭素/窒素比(C/N比)ごとの有機炭素減少速度をみることで、木くず堆肥化に必要な塩化アンモニウムの投入量・投入方法の検討を行いたい。本研究では、分別土に対する塩化アンモニウムの添加量を変化させ、堆肥化による有機炭素削減に効果のある最少添加量及び有機炭素減少を長時間持続させるために必要な最少添加量を求める。

(2) 木材腐朽菌による分別土中木くずの分解

土砂に混入している木くず等有機炭素の簡便な削減方法を開発する。削減の方法としては生物分解させることを採用し、木材腐朽菌の働きによって木くず等有機炭素の削減を目指す。本研究では、木材の主要成分の中でも難分解性であるリグニンの分解に優れているとされる白色腐朽菌を使用する。木材腐朽菌の働きによって木くずを分解できることは、既往の研究によって明らかである。しかし、それはあくまで滅菌された状態であり、土砂堆積現場などで繁殖するかは確認されていない。そこで、無滅菌状態での繁殖可能性を確認し、菌が繁殖するのに最適な温度と含水率を把握することで、土砂堆積現場でも適用できると考える。また、既往の研究によると窒素の添加によって木材の分解率が向上するとされているため、本研究では、窒素源として硝酸の添加によって分解速度の向上を評価する。また、木材腐朽菌の繁殖条件の一つとして、酸素が必要であるとされている。土砂堆積現場での土砂中への酸素の供給は限られているため、分解の過程において酸欠を起こすことが懸念される。そのため、木材腐朽菌の働きによってどの程度の酸素を消費するのか確認を行う必要がある。

以上のことから、本研究では上記の2点を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 堆肥化による分別土中木くずの分解

堆肥化による有機炭素削減の促進に効果があると考えられる塩化アンモニウムの最少添加量を決定するために、粒度調整した粉碎木質を密閉容器内に入れ、幅広くC/N比を設定し、インキュベータ内に静置し、設定期間後の有機炭素量を測定した。堆肥化による有機炭素の減少は微生物の好氣的分解によるため、好気性菌を植種し、含水率を適切に調整・制御し、また栄養塩を添加した。

固体の有機炭素は、固体全有機炭素(TOC)計で測定することができる。しかし、有機炭素には易・難分解性の特性がある。すなわち、グルコースなどは易分解性であるが、セルロース・黒鉛・フミン質などは難分解性であるためにすみやかな微生物分解を受けない。しかし、固体全有機炭素(TOC)計による測定では、測定目的とする易分解性有機炭素と、同じ炭素量を持つ難分解性有機炭素との判別が付かない。このとき、微生物の栄養源である易分解性の有機炭素が減少するため酸素消費が減少すると考えられる。

有機炭素量の変化は、乾燥重量、強熱減量、全有機固体炭素(TOCs)およびCHN元素を測定して考察した。さらに、有機炭素の分解活性を把握するために、酸素消費速度を測定した。塩化アンモニウム濃度を7段階設定し、窒素濃度が低い方からN0, N1, ..., N6とした。

(2) 木材腐朽菌による分別土中木くずの分解

木くず等有機炭素の分解速度を速める要因と速度を把握するために、木材腐朽菌を用いた生物分解実験を行った。木質として、木材の混合物のおがくずを使用し、木材腐朽菌として、木材の主要成分の中でも難分解性であるリグニンの分解に優れているとされる白色腐朽菌(カワラタケ菌系ボトル)を使用した。白色腐朽菌による分解速度に影響を与える要因として、試料の含水率、培養温度、栄養塩の有無が挙げられる。本研究では2種類の実験を行い、最適な試料の含水率と培養温度を把握するために、軟膏壺を使用した実験を行った(以後、軟膏壺実験とする)。また、栄養塩の有無及び最適な添加量を把握するために、100 mL ビーカーを使用した実験を行った(以後、ビーカー硝酸塩実験とする)。両実験共に複数のパラメータを変化させ、設定時間

まで培養し、各測定を行った。測定項目として、有機炭素残存量を把握するために、湿重量及び乾燥重量、強熱減量、全有機炭素（TOC）を測定した。また、有機炭素の分解活性及び実際の現場で用意すべき酸素量を把握するために、酸素消費速度を測定した。

4. 研究成果

(1) 堆肥化による分別土中木くずの分解

35 での木質堆肥化実験における、0 日目の純乾燥重量を 0 と換算したときの見かけ乾燥重量の経時変化について濃度別に図 3 に示す。有機炭素減少速度と窒素添加比(N/C)の関係から、それぞれ N2, N3 について、0.038, 0.030 と重量経時変化率が大きいことが分かる。このことから、N2, N3 は比較的堆肥化の効果が大きいといえる。

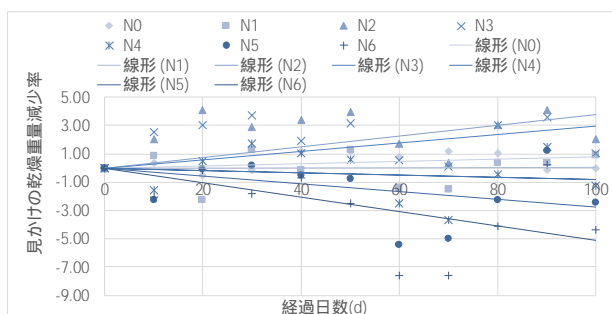


図 3 0 日目の純乾燥重量を 0 としたときの見かけの乾燥重量減少率経時変化 (35)

軟膏壺内試料の有機炭素減少速度について、全有機炭素固体燃焼装置測定(以下 TOC 計測定)から求められた有機炭素含有率から評価する。有機炭素含有率は、以下の計算式より算出した。また、初期有機炭素含有率について、0 を基準とした。

$$\text{有機炭素含有率 (kg-C / kg-C}_0\text{)} = \frac{\text{初期有機炭素含有量 (g)} - \text{測定終了時有機炭素含有量 (g)}}{\text{初期有機炭素含有量 (g)}}$$

TOC 計測定から有機炭素減少速度の算出を行った(図 4)。N/C 比 0.013 での添加時が最も木質分解の効果が高かったと考える。しかし、CHN 元素測定による計算結果では、木質分解効果について N0 よりも N1, 4, 5, 6 の方が低く、何らかの微生物活性阻害が起こったと考える。

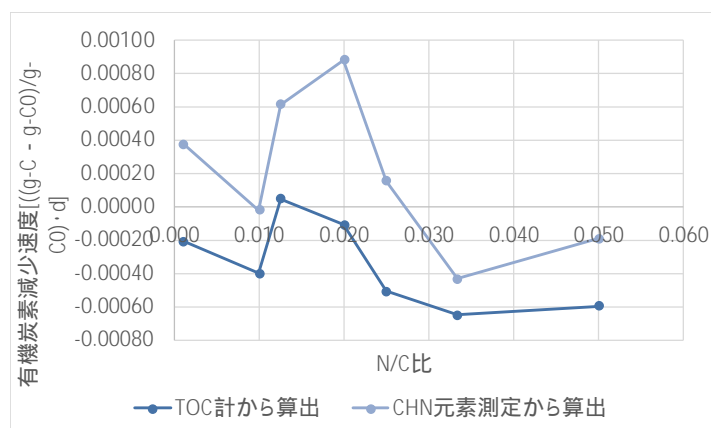


図 4 有機炭素減少速度と窒素添加比の関係 (TOC 計による)

本研究では、分別土中木くずの有機炭素削減手法として、木質堆肥化を想定し、削減を促進する塩化アンモニウムの添加量を変化させ、有機炭素削減に効果のある最少添加量及び有機炭素減少を長時間持続させるために必要な最少添加量を調べた。粒度調整した粉碎木質を密閉容器内に入れ、幅広く C/N 比を設定し、培養温度を 35 とし、設定期間後の有機炭素量を測定した。また、密閉容器内には、好気性菌を植種し、含水率を適切に調整・制御し、また栄養塩を添加した。結果として、窒素添加により木質分解が促進されることが明らかになった。さらに、塩化アンモニウムの添加量に関しては、C/N 比 80 (N/C 比 0.013) での添加時が最も木質分解の効果が高かった。具体的には、有機炭素減少速度が、無添加時 - 0.00021 kg-C / kg-C₀ · d から C/N 比 80 添加時 0.0005 kg-C / kg-C₀ · d (TOC 計測定による算出) と上昇した。しかし、繰り返し測

定不実施のため有機炭素減少率において時間経過に対し明確な増減を示さなかった。今後、実試料である分別土を用いて、本研究で決定した N/C 比 0.013 付近での繰り返し測定を伴う木質堆肥化実験が必要である。

(2) 木材腐朽菌による分別土中木くずの分解

木材腐朽菌による木くず等有機炭素の分解速度の向上を図るため、窒素源として硝酸塩を添加し、ピーカー硝酸塩実験を行った。軟膏壺実験の結果から、実験条件を培養温度 30℃、含水率 60%とし、硝酸塩の添加量を変化させて実験を行った。試料別の分解速度を図 5 に示す。左の 3 つの試料は硝酸塩を添加していない試料、右の 3 つは硝酸塩を添加した試料を示している。硝酸塩を添加していない試料の分解速度が速いことがわかる。逆に、硝酸塩を添加した試料の分解速度は非常に遅く、硝酸塩の添加量が多いほど分解速度が遅くなるという結果となった。硝酸塩を添加するとむしろ分解速度が低下、もしくは全く分解しなくなった。したがって、木くずの分解のためにはむしろ硝酸塩の混入を排除しなければならないと言える。

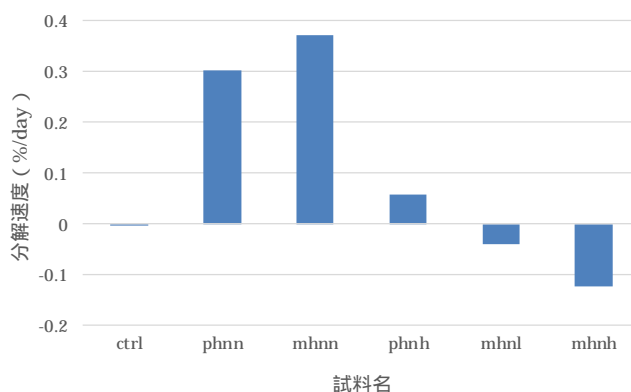


図 5 試料別の分解速度

本研究では基礎研究として、有機物源として木くずを用い、無滅菌状態における木材腐朽菌による木くず等有機炭素の分解が可能であるか確認し、菌の繁殖に最適な温度と含水率を確認した。結果として木材腐朽菌が繁殖するのに最適な条件は、培養温度 30℃、含水率 60%であることが示された。

また、窒素源として硝酸塩の添加による分解速度の向上を評価したが、硝酸塩を添加した試料ほど分解速度は低下し、木材腐朽菌の繁殖に硝酸塩は不適切であることが判明した。今後は違う窒素源を添加することによって分解速度を評価する必要があると考えられる。酸素消費速度を測定し、分解の過程において土砂中が酸欠を起こさないか確認した。土砂中に木くずが 8%以上含まれている場合、木質腐朽菌によって消費される酸素を確保するために、通気パイプなどを設置する必要があると考えられた。酸素進入深さが 0.3 m なら、パイプ 1 本で上下 0.3 m に酸素が供給されるとして、 $0.3 \times 2 = 0.6$ m おきにパイプを設置すれば、好気ゾーンを確保できることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kohei Takamura, Hiroshi Asakura
2. 発表標題 Elution of organic carbon from wood and generation of methane gas
3. 学会等名 2019 Joint symposium of postgraduate students between Shanghai Ocean University and Nagasaki University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川越智貴, 遠藤和人, 朝倉宏
2. 発表標題 木質からの有機炭素の溶出とメタンガスの発生
3. 学会等名 地球環境シンポジウム
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----