

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07701

研究課題名(和文)加熱焼成物を利用した土壌肥沃度改善方法の構築

研究課題名(英文) Construction of technology using pyrolysis materials for improvement of soil fertility

研究代表者

隅田 裕明 (SUMIDA, Hiroaki)

日本大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：70147669

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)：9種類の農業廃棄資材、食品製造廃棄物より加熱焼成物を作成した。供試資材の化学組成によるクラスター分析より5グループに区分された。加熱焼成物および抽出溶液中の有機・無機成分は、焼成温度や植物種などによって大きく異なっていた。また、廃棄物として考えられていた農業、食品廃棄物は300以下の加熱焼成処理によりN、P、K等の有効肥料成分の溶出が認められたことから、農地への還元にも有用な資源になり得る可能性が示唆された。加熱焼成物の土壌施用は土壌肥沃度の向上だけでなく、土壌中に残存する炭化物残渣は土壌物理性の向上、炭素の土壌固定に有効であると認識されているバイオチャーとしての役割も期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然利用とリサイクルを誇った日本は輸入食材に溢れ、廃棄物の有効利用が緊急の課題となっている。廃棄物は「混ぜればゴミ、別ければ資源」であることから、各種廃棄物(輸入穀類、国内産農水産物、食品製造過程残渣)は単一素材から構成される貴重な資源であるばかりでなく、重金属、夾雑物の混入に関する問題も回避可能である。350以下の酸素供給制限下の温度条件で各種廃棄物の焼成物を調製し、焼成物、水抽出液の無機・有機物組成分析より適切な利用方法を確立する。焼成物の適切な製造、利用方法を提言する。都市近郊農業における地産地消の持続的かつ安定な微生物活性を伴わないバイオマス有効利用の技術の確立を追究した。

研究成果の概要(英文)：Pyrolysis (i.e., the thermal conversion of biomass under aerobic conditions) were produced from nine kinds of agricultural and food production wastes. It was divided into five groups by cluster analysis based on the chemical composition of these. Agricultural and food wastes, which were considered as wastes, maybe a practical resource for application to farmland because useful fertilizer components such as N, P, K are present in the extract solution of pyrolysis. The decomposition rate of pyrolysis reflected the cluster by the chemical composition. From the germination test, EC was judged to be an essential factor for the germination rate of plants as compared to the pH of the extracted solution. It suggested that application to soil of pyrolysis derived from agricultural and food production wastes obtained at pyrolysis temperatures below 300 are effective in improving soil fertility, in addition to the carbon storage in soil known as "biochar."

研究分野：農学

キーワード：土壌肥沃度 資源再利用 溶存有機物 有機物分解 炭素循環 物質循環 植物生育

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本や中国の 4000 年にわたる農業の持続性は、適切な植物栄養成分の循環利用にあることを指摘し、日本の農民による徹底した自然利用とリサイクル法を紹介した (F. H. King 1911)。しかし、日本のカロリーベース総合食料自給率は 2015 年には 39%にまで低下し、(農林水産省「食料自給表」2016)。主要先進国の中で最低水準を示している。この自給率の低さは、重量ベースでは約 40%におよぶ食品原料を海外から輸入していることを示し、国外の農地で土壌より吸収、固定した肥料成分が日本に搬入されると共に一部は国内に廃棄されている。

人口が集中する都市近郊の農業地帯では肥沃度の低下を抑制するために様々な有機性廃棄物を原料とした堆肥、コンポストの土壌施用を行い土壌肥沃度の維持向上に努めてきた。しかし、農業従事者の高齢化と減少に伴い有機性廃棄物の土壌施用量は低下し、化成肥料に頼る農業形態に変貌しつつある。都市近郊農業で最も重要な役割である新鮮で安全な農産物、特に葉菜類の供給のためには土壌肥沃度を維持、向上させるための有機性廃棄物の土壌施用は極めて重要な農業活動である。1970 年以降、下水汚泥、都市ゴミなど各種有機物資材を原料とするコンポストの農地施用が積極的に実施された (H. Sumida et al. 2015、隅田ら 1993、山本ら 1985)。また、M. Kawahigashi et al. (2011) は森林火災跡地における植物生育養分の挙動が地形と燃焼温度条件により異なることを明らかにした。

都市近郊農業地帯での堆肥、コンポスト等の有機性廃棄物に由来する農業資材の製造に関しては(1) 堆肥化過程で発生する悪臭、(2) 製造した堆肥の熟度判定、(3) 重金属など植物生育阻害成分の混入、(4) 堆肥後熟に利用する用地の確保などの課題を克服する必要がある。食品廃棄物、特に食品製造段階で排出される廃棄物は単一素材であるばかりでなく、重金属、夾雑物の混入が極めて低い良質な廃棄物である。本研究では各種廃棄物(輸入穀類、国内産農水産物、食品製造過程残渣)を供試材料とし、供試材料を 65℃乾燥後、有機物の焼失温度である 350℃以下の酸素供給制限下の温度条件で一定時間加熱焼成した廃棄物の加熱焼成物について追究した。

2. 研究の目的

かつては徹底した、自然利用とリサイクルを誇った日本は輸入食材に溢れ、廃棄物の有効利用が緊急の課題となっている。廃棄物は「混ぜればゴミ、別ければ資源」であることから、各種廃棄物(輸入穀類、国内産農水産物、食品製造過程残渣)は単一素材から構成される貴重な資源であるばかりでなく、重金属、夾雑物の混入に関する問題も回避可能である。350℃以下の酸素供給制限下の温度条件で各種廃棄物の焼成物を調製し、焼成物、水抽出液の無機・有機物組成分析より適切な利用方法を確立する。さらに植物生育に対する効果を植物発芽試験、ポット試験より把握し、焼成物の適切な製造、利用方法を提言する。都市近郊農業における地産地消の持続的かつ安定な微生物活性を伴わないバイオマス有効利用の技術の確立を目的とした。

3. 研究の方法

食品廃棄物を利用し植物生育に必要な成分の供給を目的とすることから、植物由来残渣だけでなく、窒素供給能が高いと考えられる魚介類に由来する残渣を供試し、65~350℃の焼成温度条件より加熱焼成物を作成する。加熱焼成物、水抽出溶存物(DOM)の有機、無機成分の分析、DOMのイオン組成より養分供給能、土壌環境におよぼす影響を評価する。生分解性を二重指数関数モデルにより易分解性有機と安定有機物の半減期を推定し、各有機物の土壌中での分解過程を把握する。DOMの液肥として利用、加熱焼成試料の土壌への有機物施用の可能性を検討するため、発芽試験、ポット栽培試験を実施した。

(1) 加熱焼成温度の差異による DOM 中における肥料成分の溶出過程の検討

多変量解析を用いて加熱焼成物の化学組成および蒸留水抽出液成分について資材間の特性評価を実施した。農業廃棄資材として油菜、竹、籾殻、葛、稲藁の 5 種、さらに食品製造廃棄物として納豆屑、おから、コーヒー豆残渣、鱗 4 種の合計 9 種類の廃棄資材を供試した。各資材は 65℃で通風乾燥後、200、250、300、350℃のマッフル炉内で 15 分間加熱焼成を行った。各加熱焼成物とガラスウールを交互に充填し、抽出液量比を 1:10 として静置抽出(25℃、24 時間)を行った。

(2) DOM、抽出残存成分の分解特性を CO₂ 発生量より検討

加熱焼成試料および DOM(25℃、24 時間、抽出液量比 1:10)からの CO₂ 発生量を GC 法により測定し、各試料の生分解の特性を二重指数関数モデル(Kalbitz K, et al. 2003)を利用し分解過程を把握した。

(3) DOM、加熱焼成試料の植物生育におよぼす影響

加熱焼成試料および DOM(25℃、24 時間、抽出液量比 1:10)を供試し、DOMは発芽試験シートを利用し、発芽試験を行い根の伸張量よりその生育阻害効果を判定する。また、加熱焼成試料は葉菜類を栽培作物としてノイハバウエルポット試験を実施する。この結果より、適正な加熱焼成試料の組合せおよび化成肥料添加の必要性を検討した。

4. 研究成果

(1) 加熱焼成温度の差異による DOM 中における肥料成分の溶出過程の検討

多変量解析を用いて加熱焼成物の化学組成および蒸留水抽出液成分について資材間の特性評価を実施した。

農業廃棄資材として油菜、竹、籾殻、葛、稲藁の5種、さらに食品製造廃棄物として納豆屑、おから、コーヒー豆残渣、鱈4種の合計9種類の廃棄資材を供試した。各資材は65°Cで通風乾燥後、200、250、300、350°Cのマッフル炉内で15分間加熱焼成を行った。各加熱焼成物とガラスウールを交互に充填し、抽出液量比を1:10として静置抽出(25°C、24時間)を行った。

加熱焼成による重量残存率は全ての資材共に300、350°Cで急激な減少を示し、特に食品製造廃棄物に由来する資材の減少割合が高かった。資材の化学組成によるクラスター分析の結果、資材の特性を反映した5クラスターから構成されていた(図1)。蒸留水抽出液成分は主成分分析の結果、3因子による累積寄与率は81.7%以上を示した。65°C、300°Cではクラスター分析結果と類似した分布を示したが、350°Cでは全く異なる分布様式を示し、資材の炭化が進行していた。300°Cでは資材由来の水溶性成分を反映したが、350°Cではそれら成分が大きく変化した。加熱焼成温度と水溶性無機成分の検討から、焼成温度として300°C、350°Cが適切であることが示唆された(図2)。

抽出溶液のpHはカニを除く全ての試料でpH7以下を示したが、300°C以上で急激な上昇傾向を示した。カニのみpH9以上でアルカリ性を示した。ECは鱈が極めて高い値を示し、モミガラ、竹、コーヒーは焼成温度の上昇に伴い減少し、その他の資材は増加傾向を示した。全ての資材、全ての焼成温度において、抽出溶液の総陽イオン含量と総陰イオン含量のイオンバランスは一致せず、稲わらを除く資材で $\Sigma\text{Cation} > \Sigma\text{anion}$ を示した。これら結果は、焼成処理を行うことで、有機酸が生成されたことや各供試資材の構成元素に由来すると推察された。また、全ての資材で主要な陽イオンは K^+ 、 Mg^{2+} を示し、陰イオンは Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} を示した(図3)。水溶性炭素含量は鱈、カニを除く資材で焼成温度の上昇に伴い減少する傾向を示した。水溶性窒素含量はク

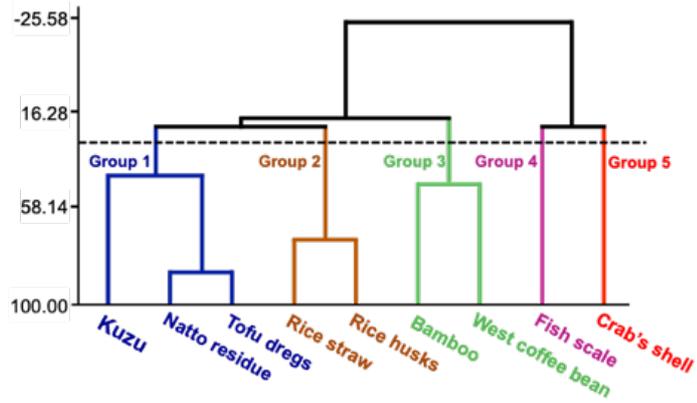


図1 資材の化学組成によるクラスター分析結果

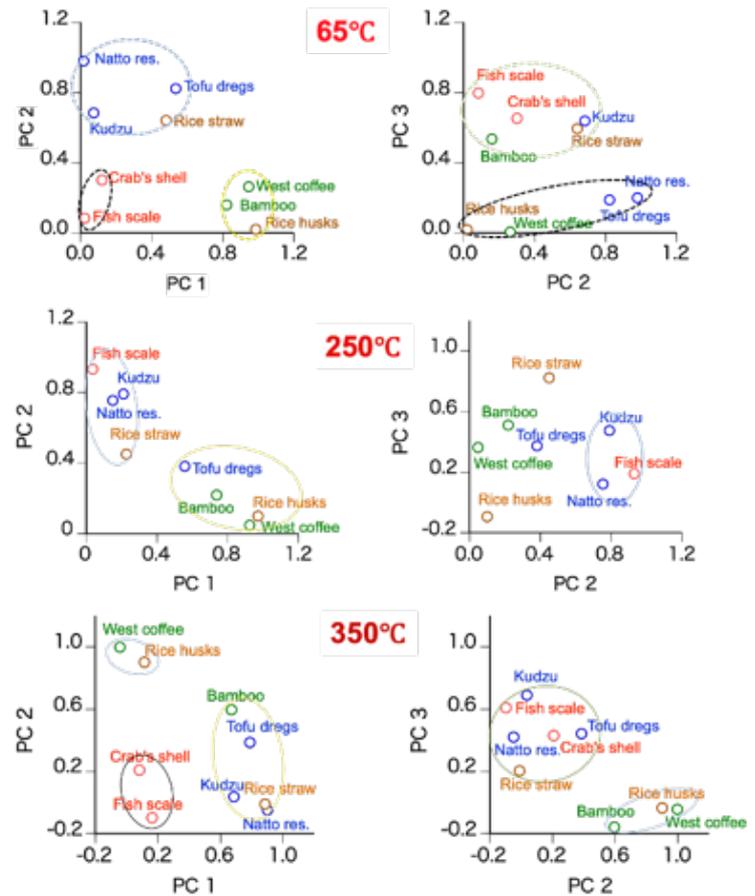


図2 DOMの化学組成による因子分析結果

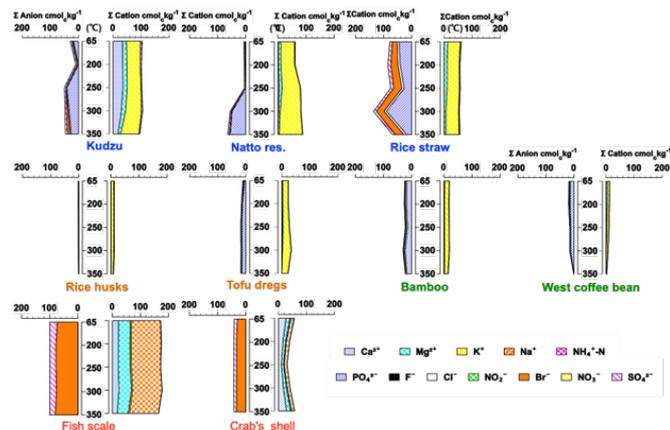


図3 加熱焼成物より得られた水抽出液中のイオン組成の変化

ズや食品廃棄物で高い含量を示した結果、全ての焼成温度でC / N < 20を示した。水溶性有機態炭素はDAX-8樹脂を用いて親水性炭素と疎水性炭素に分離し、各含量を測定した結果、竹、納豆くずを除く資材で親水性画分 > 疎水性画分を示した。また、モミガラを除く全ての資材で親水性画分は焼成温度の上昇に伴い減少し、250~300℃で最も低い値を示した。加熱焼成物の土壌施用は土壌肥沃度の向上だけでなく、土壌中に残存する炭化物残渣は土壌物理性の向上、炭素の土壌固定に有効であると認識されているバイオチャーとしての役割も期待される。

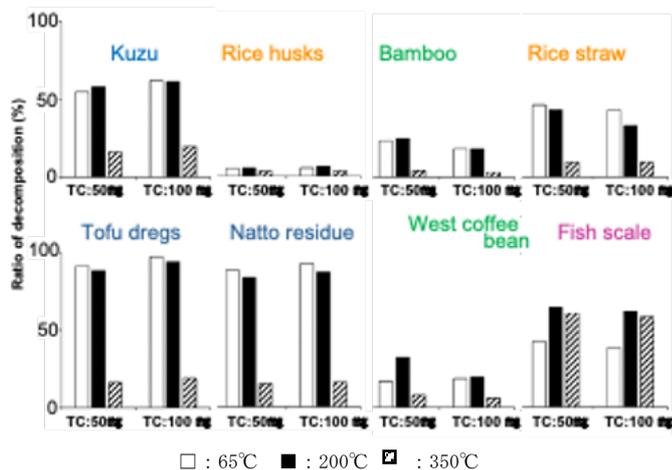


図4 加熱焼成物の保温静置期間に発生したCO₂量より算出した分解率

(2) DOM、抽出残存成分の分解特性をCO₂発生量より検討

全炭素含量 100mg 当たりの各加熱焼成物の日数経過によるCO₂積算発生量の多項近似式より得られた10日目のCO₂発生速度を算出した。納豆、おからは65℃、200℃で分解速度は14~19 (CO₂-C mg/day)を示し、分解速度は他加熱焼成物に比べ速やかで易分解性であった。クズ、鱈は全ての加熱焼成温度、稲藁は65℃および200℃で分解速度は2~11 (CO₂-C mg/day)と中程度を示し、分解の程度はすべての加熱焼成物中で中程度であった。籾殻、竹、珈琲屑は全加熱焼成温度で、納豆、おから、稲藁は350℃で0~3 (CO₂-C mg/day)を示し、分解速度は極めて遅く、難分解性焼成物であった。図4に保温静置中に発生したCO₂量から算出した各焼成試料別の炭素当たりの分解率を示した。全加熱焼成温度で炭素含量が低い籾殻、炭素含量が高い珈琲屑と竹は2~33%の低い分解率を示し、炭素含量が最も低い鱈は38~65%の高い分解率を示した。一方、炭素含量が390~446 (g/kg)のクズ、納豆、おから、稲藁は65℃、200℃では33~98%の高い分解率を示したが、350℃では分解率は9~20%に低下した。また、加熱焼成温度別に分解率を比較した結果、鱈以外の加熱焼成試料は焼成温度が上昇するに伴い分解率は低下するが、鱈は焼成温度が上昇しても分解率は高い結果を示した。これらの結果より、分解率が高いクズ、納豆、おから、稲藁、鱈は易分解性有機物を多く含み、速効性肥料として一方、分解率が低い籾殻、竹、珈琲屑は難分解性有機物を多く含むと考えられ、緩効性肥料としての利用が期待される。

(3) DOM、加熱焼成試料の植物生育におよぼす影響

発芽試験結果を図5に示した。全体伸長は、200℃と350℃の鱈以外の試料では蒸留水の試験区に比べ伸長した。伸長した試料の中で、200℃では籾殻、350℃では稲藁が最も高い伸長を示し、クズは両温度で他の試料に比べ低い結果を示した。供試試料中で鱈65℃は最も低い発芽率を示し一方、稲藁350℃は最も高い発芽率を示した。地上部では、65℃は鱈以外が蒸留水による発芽試験の伸長と同様の結果を示した。200℃は全試料が蒸留水による試験の伸長より高い結果を示した。350℃では鱈以外は蒸留水による試験の伸長より高い値を示した。地下部は、全体伸長と同様の結果を示した。地上部と地下部で、地上部が伸長した試料はクズ、おから、稲藁、竹であった。発芽率が80%未満を示したものは、ECが高い試料であったことから、0~40%の場合20倍希釈、40~80%は10倍希釈した各焼成試料抽出水溶液を用いて発芽試験を行った。希釈後の各焼成試料抽出水溶液のECは0~25 (mS/m)を示した。希釈後の発芽試験では鱈の発芽率は原液では約10%であったが、全加熱焼成温度での発芽率は100%に近似した。クズ65℃、200℃の焼成物の発芽率は100%以上を示した。発芽率ではpHに比べECが植物の発芽率に重要な要因であると判断された。さらに、植物由来の試料溶液には植物生育促進効果が認められ、魚介由来の試料溶液では阻害傾向が確認された。

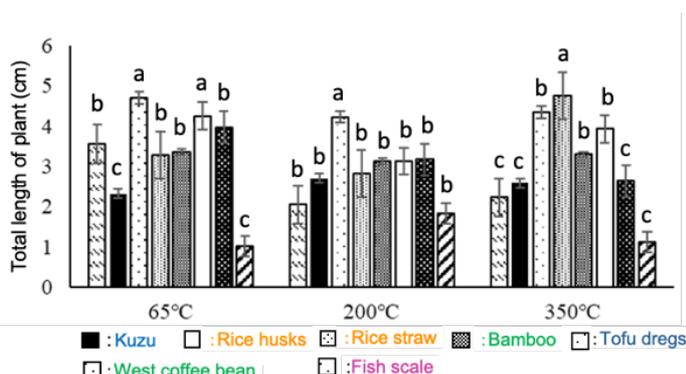


図5 コマツナを用いた加熱成物抽出水溶液の希釈溶液による発芽試験 エラーバーは標準誤差を示す。異なる英字間はTukey法により、試験区間で有意差があることを示す(P<0.05)。

化成肥料、稲ワラ、クズ、納豆屑、おからを供試加熱焼成物として、窒素含量を300 mgに相当する焼

成物残渣を添加し、コマツナを供試植物としてノイハバウエルポット試験を行った結果、生育には差異が認められたものの、コマツナ乾物収量は化成肥料に比べ、有意な差異は認められなかった。

〈引用文献〉

Famers of Forty Centuries, or Permanent Agriculture in China, Korea and Japan. *Madison, Wis.: Mrs. F. H. King. p. 441.*, 1911

各種コンポストの施用が土壌養分の消長におよぼす影響, 山本一彦・隅田裕明・松坂泰明, 日本土壌肥科学雑誌, 56 巻 123-129, 1985

有機物施用土壌のアミノ酸画分の動態, 隅田裕明・山本一彦・松坂泰明, 日本土壌肥科学雑誌, 64 巻 289-295, 1993

H. Sumida, T. Kobayashi, M. Kawahigashi, 2015. Development of resource recovery technology from plant waste to maintain soil fertility: XIX INQUA Congress (Nagoya), T20-06

Effect of fire on solute release from organic horizons under larch forest in Central Siberian permafrost terrain., M. Kawahigashi, A. Prokshkin, H. Sumida, *Geoderma*, Vol. 166, 171-180, 2011

Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties, K. Kalbitz, J. Schmerwitz, D. Schwesig, E. Matzner, *Geoderma* Vol.113, 273-291, 200

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 並木淳吾・小林孝行・高味充日児・矢島博文・隅田裕明
2. 発表標題 竹堆肥に由来する抽出液の無機・有機成分の特性
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki SUMIDA, Yuki TAMURA, Takayuki KOBAYASHI, Akira NOGUCHI, Sadao NAGASAKA and Masayuki KAWAHIGASHI
2. 発表標題 Property of biochar from plant and food residues prepared from pyrolysis at different temperatures and its implication on soil fertility improvement
3. 学会等名 13th International Conference of ESAFS (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 隅田裕明・田村勇樹・小林孝行・長坂貞郎・川東正幸
2. 発表標題 植物残渣、食品原料廃棄物より調製した加熱焼成物による土壌肥沃度改善の可能性
3. 学会等名 日本土壌肥料学会仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村勇樹・小林孝行・隅田裕明
2. 発表標題 加熱焼成温度が植物残渣、食品廃棄物を材料とする焼成物の水溶性有機・無機成分に及ぼす影響
3. 学会等名 日本土壌肥料学会仙台大会
4. 発表年 2017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	川東 正幸 (KAWAHIGASHI Masayuki) (60297794)	首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授 (22604)	
研究分担者	野口 章 (NOGUCHI Akira) (20222193)	日本大学・生物資源科学部・教授 (32665)	
研究分担者	長坂 貞郎 (NAGASAKA Sadao) (70318385)	日本大学・生物資源科学部・教授 (32665)	
研究分担者	小林 孝行 (KOBAYASHI Takayuki) (10551228)	日本大学・生物資源科学部・講師 (32665)	