

3-2 農業・林業系固体有機廃棄物の再資源化技術の開発： 農業廃棄物からのバイオチャーの調製

岡山大学大学院環境学研究科・資源循環学専攻
モハマッド アズハ ウッディン

1. 研究概要

本プロジェクトでは、農業・林業系固体有機廃棄物の再資源化のための高度な技術の開発を目的として、アジア・太平洋諸国で発生している農業・林業系固体有機廃棄物を熱分解によってチャー（バイオチャー、活性炭）などの炭素資源に変換するプロセスの開発を行った。大麦わら、稲わら、トウモロコシ葉・茎などの原料からのチャー収率の高低は操作方式、熱分解温度に依存することが分かった。また低温では稲わらから比較的高収率で高比表面積バイオチャーを得ることが出来た。トウモロコシ葉・茎バイオチャーは低比表面積を有するにも関わらず、高い水分吸着率やpH値（アルカリ性）を示し、更に多量のリンを含んでいることが明らかになった。トウモロコシ葉・茎のバイオチャーを土壌改良剤として用いることで植物の生長促進効果が期待される。

2. 交流報告

渡航先：グアム市、グアム大学

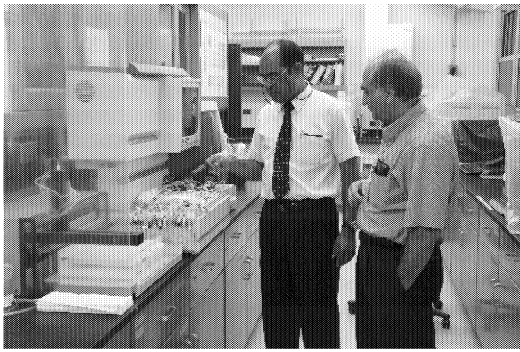
渡航期間：平成 22 年 9 月 20(月)～9 月 24 日 (金)

渡航目的：

グアム大学を訪問し、ゴラビ教授との研究打ち合わせ、研究交流を行うため。

日付*	訪問先	訪問内容
21/09/2010	●University of Guam, College of Natural & Applied Science	グアム大学の Golabi 教授の研究室見学および共同研究打ち合わせを行った。
22/09/2010	●University of Guam, College of Liberal Arts & Social Sciences, Department of Sociology	グアムの廃棄物の状況調査について Johnson 博士と Golabi 先生とのディスカッションを行った。
	●University of Guam, College of Natural & Applied Science	Moore 博士の研究フィールドの見学とディスカッション行い、バイオチャー (Bio char) の調製に関する共同研究打ち合わせを行った。
23/09/2010	●University of Guam, College of Natural & Applied Science	学科長 (Yudin 博士) 副学科長 (Wiecko 博士) との会見
	University of Guam, Compost, Research Field	Golabi 先生のコンポスト研究フィールド, 水処理場を見学した。
	University of Guam, Integrated, Farming Research Field	Marutani 先生 の Integrated, Farming に関する研究フィールドを見学し、ディスカッションを行った。
	●Talofofo, Guam	新しいゴミ埋め立処分所の建設現場見学を行った。
	●Ordot, Guam	現在の一般および産業廃棄物埋め立て地 (Ordot Dump) の見学を行った。

*20日と24日は移動日



① Guam University of Golabi Professor's Laboratory



② Meeting with Johnson Doctor and Golabi Professor regarding the status of waste investigation in Guam



③ Visit to Moore Doctor's Research Field



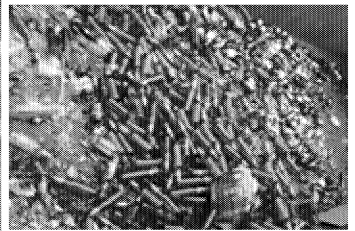
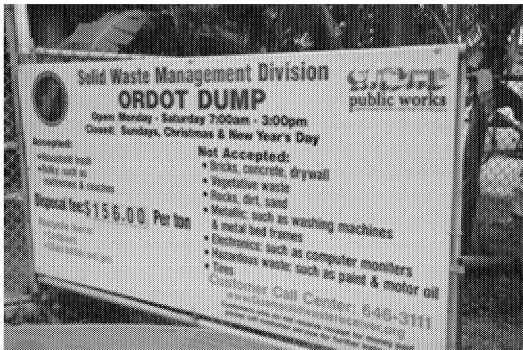
④ Visit to Golabi Professor's Compost Research Field and Wastewater Treatment Plant



⑤ Visit to Marutani Professor's Integrated Farming Research Field at Guam University



⑥Talofofo（グアム市）の新しいゴミ埋め立処分所建設現場の見学



⑦現在のグアム市の一般および産業廃棄物埋め立施設（Ordot Dump）の見学

3. 研究報告

3. 1. 緒言

近年、世界中で温室効果ガス削減への動きが広まりつつあることから、バイオマスの燃焼・分解から排出する温室効果ガスの一種である CO₂ の一部を地中に貯蔵することのできるバイオチャーに世界中から注目されている。バイオチャーは農業・林業廃棄物を原料としており、これらの減量にもつながる。また地中に用いることで、土壌の保水性の向上や酸性土の中和、ミネラルの補充といった土壌改良効果が期待される。一般的にバイオチャーは植物などの有機物を嫌気性条件下で燃焼させることで調製される。本研究は高品質なバイオチャーの開発を目的とし、様々な炭化条件下で大麦わら、稲わら、トウモロコシ葉・茎などの農業廃棄物を原料としたバイオチャーを調製、評価した。

3. 2. 実験方法

3. 2. 1. バイオチャーの調製

先ず原料の大麦わら、稲わら、トウモロコシ葉・茎を3日間自然乾燥させ、7 cm 程度に切ったものを40本~50本用意し、110℃、3 h 乾燥させた。次にこれを皿に乗せたまま反応管に入れ、400℃~500℃、1 min の炭化条件下、大麦わらとトウモロコシに 1.0 L/min、稲わらに 2.5 L/min の窒素をそれぞれ流した (Fig. 1)。また操作方式を、反応後直ぐに高温の反応管からバイオチャーを回収する瞬間的操作、反応管内の温度が十分に下がるまで放置した後にバイオチャーを回収する連続的操作に区別し、計 18 種類のバイオチャーを調製した。

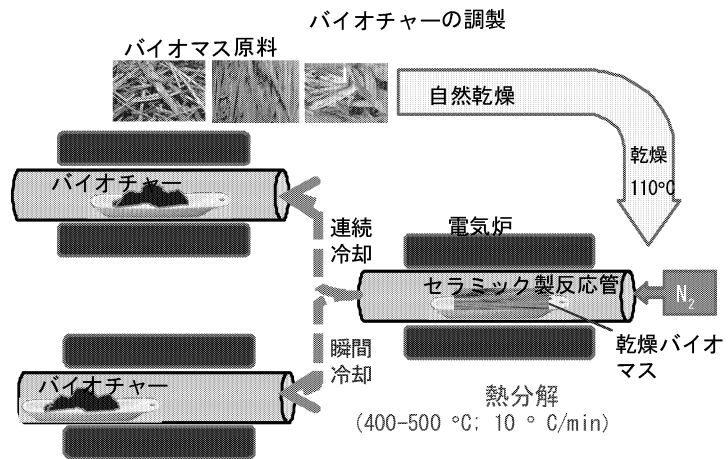


Fig. 1 バイオマス熱分解装置区

3. 2. 2. バイオチャーの特性評価

110℃、3 h 乾燥前の質量を基準としてバイオチャーの収率を求めた。またバイオチャー1~2本を110℃、1 h 乾燥させ、イオン交換水を置いて25℃に保ったデシケーター内へ皿に乗せた状態で入れた。24 h 後に試料の質量を測り、水分吸着率を算出した。更にイオン交換水 20 ml 中にバイオチャーを 0.05 g 加え、6 h 攪拌して水洗処理を、同様に 3 N/L の塩酸 5 ml + イオン交換水 15 ml 混合溶液を用いて塩酸処理を行った。各処理後の水溶液を濾過し、濾液のリン濃度をモリブデン青吸光光度法で測定した。水洗処理後の水溶液では pH の測定を行った。その他に N₂ 吸着 BET 法による比表面積測定、またバイオチャーを 630℃、Air 中で燃焼させて灰分を取り出し、元素分析を行った。

3. 3. 結果と考察

3. 3. 1. 熱分解操作方式の影響

本研究で用いた原料と 450°C で調製したバイオチャーの写真を Fig. 2 に示す。各操作

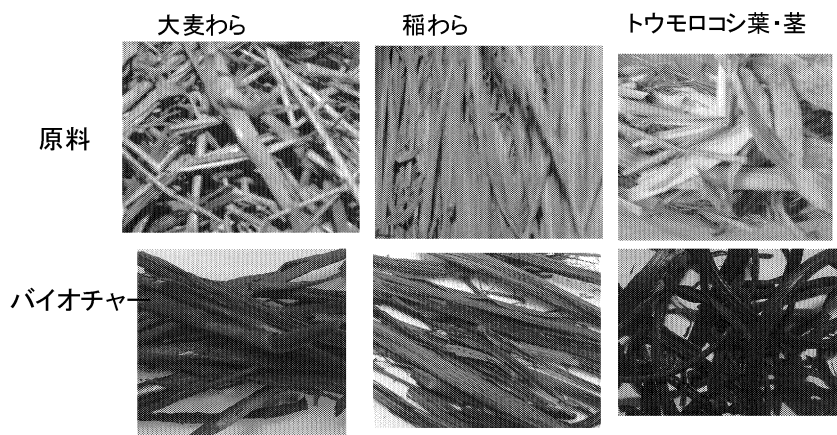


Fig. 2 原料と 450°C で調製したバイオチャーの写真

方式のもたらす影響の例として炭化温度 450°C での結果を Fig. 4 に示す。収率は、いずれの原料を用いても瞬間的操作 (R) の方が連続的操作 (S) を行うよりも低収率になっており、

この結果は他の炭化温度の場合も同様であった。このような差ができる原因として、試料を反応管から取り出す際、瞬間的操作では反応管内の温度が高く、完成したバイオチャーが空気中の O₂ に触

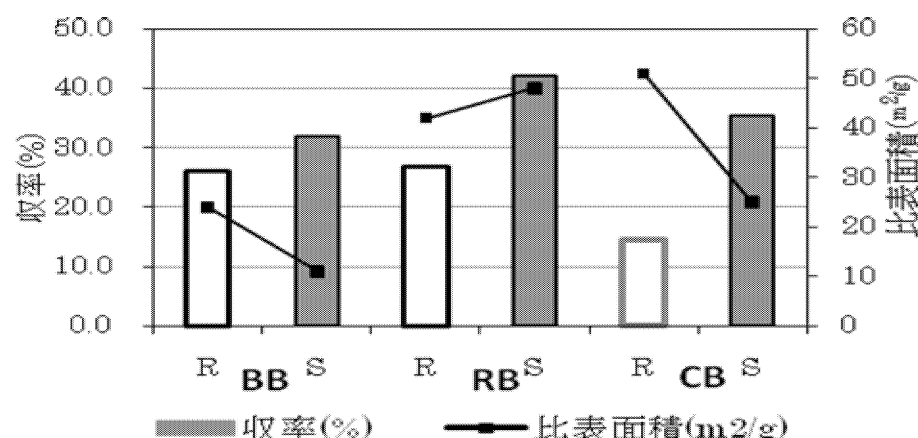


Fig. 3 炭化温度 450°C の条件下、操作方式の違いがもたらす収率・比表面積への影響

れることで燃焼反応が活発になり、重量の減少が大きくなったためと考えられる。また比表面積について、炭化温度 450°C では大麦わらのバイオチャー (BB)、トウモロコシ

のバイオチャー (CB) で、瞬間的操作での比表面積 (R_{sa}) の方が連続的操作での比表面積 (S_{sa}) よりも大きく、稲わらのバイオチャー (RB) ではその逆の結果となった。しかし炭化温度 400°C の場合は全てのバイオチャーで $S_{sa} < R_{sa}$ 、そして炭化温度 500°C の場合は BB、RB で $R_{sa} < S_{sa}$ 、CB で $S_{sa} < R_{sa}$ というように操作方法と比表面積の大小に関連は見られなかった。

3. 3. 2. 炭化温度の影響

炭化温度 500°C、450°C、400°C の下、連続的操作によって調製した BB、RB、CB の収率、比表面積を Table 1 に示す。いずれのバイオチャーも炭化温度が高いほど収率が低くなるのが分かった。これは反応温度が高いほど炭化速度が速くなり、細孔形成や揮発性ガス

の発生が活発になったためと考えられる。なお、RB は比較的高い収率を示す傾向にあることも分かった。また RB は収率が高いほど比表面積が大きくなったが、BB、CB については同様の傾向が見られなかった。

Table 1 各種バイオチャーの各条件下での収率、比表面積

Biochar	炭化温度(°C)	収率(%)	比表面積(m ² /g)
BB	500	28.4	34
	450	31.8	11
	400	33.8	21
RB	500	40.7	42
	450	42.0	48
	400	43.1	70
CB	500	35.7	10
	450	39.6	25
	400	41.7	8

3. 3. 3. バイオチャーの物性

炭化温度 500°Cの下、連続的操作によって調製した各バイオチャーの pH、リン濃度、水分吸着率を Table 2 に示す。pH については BB < RB < CB の順に高くなり、いずれもアルカリ性を示した。そこで各種バイオチャーの原料と BB、RB、CB を 630°C, in Air で燃やして灰分量を測定したところ、大麦わら→BB で 9.0%の、稲わら→RB で 18.0%の、トウモロコシ→CB で 21.9%の灰分増加が見られた。この灰分中のカリウム、カルシウムなどのアルカリ成分が pH に影響をもたらすと考えられる。これらの結果から、バイオチャーを用いること

Table 2 500°Cで調製した各種バイオチャーの水分吸着率、pH、リン含有量

Biochar	水分吸着率 (%)	pH	リン含有量(mg/g)	
			塩酸処理	水洗処理
BB	4	7.46	1.3	0.2
RB	41	9.63	7.4	6.7
CB	32	10.87	14.5	13.3

で酸性土壌への中和作用が期待される。また水洗処理後のリン濃度は BB < RB < CB に高くなり、特に CB は多くのリンを含むことが分かった。塩酸処理を行うと、リン濃度が僅かに高くなった。これは酸の影響でリンが多く溶出したためと考えられる。なお塩酸処理後のリン濃度の大小は、水洗処理の場合と同様であった。リンは植物の生長における必須元素であり、リン酸は肥料の三要素の一つである。そのため今回の結果から、バイオチャーを用いることで植物の

生長促進への効果が期待される。更に比表面積と水分吸着量の関係は、Fig. 4 に示すように両者の間に相関が見られなかった。

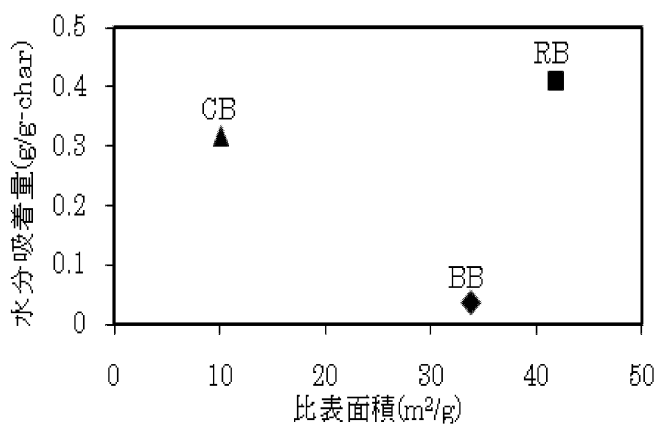


Fig. 4 各種バイオチャーの比表面積と水分吸着量

3. 4. 結言

本研究では高品質なバイオチャーの開発を目的とし、様々な操作条件下で大麦わら、稲わら、トウモロコシ葉・茎を原料としたバイオチャーを調製し、その諸特性を評価した。

得られた成果は以下の通りである。

- ・原料からのチャー収率の高低は操作方式、炭化温度に依存しており、稲わらバイオチャーは低温で比較的高収率を示すことが分かった。
- ・バイオチャーの比表面積については炭化温度や操作方式との関連が見られなかった。
- ・トウモロコシ葉・茎バイオチャーは高い水分吸着率や pH を示し、更に多量のリンを含んでいることが分かった。そのためトウモロコシ葉・茎バイオチャーは土壌改良剤として特に優れた働きが期待される。

4. 今後の計画

今後は、本年度までの成果を踏まえ、目的達成のために以下の計画を遂行する。温度、昇温速度、保持時間などをパラメータとしてバイオマスの熱分解条件の最適化を行う。また、バイオチャーの物理・化学的性質を詳しく評価し、バイオチャーとしての特性（水分保持量、カチオン交換容量、酸・アルカリ性、炭素分の安定性など）を把握する。さらに、実用化のために必要な課題を明らかにし、研究成果の実用化のためのデータを蓄積する。