

木質バイオマス発電に伴い発生するバイオ炭の農業用途への 再利用に関する研究

環境学部環境学科 金 相烈・福永こひろ

1. はじめに

鳥取市は、環境省が実施した第3回脱炭素先行地域に選定された（2023年4月）。選定された地域は交付金等国の支援を重点的に受けることができる。現在、鳥取市は若葉台地域と佐治町を対象に脱炭素に向けた取り組みを行っている。その1つとして、佐治町に熱電併給型の木質バイオマス発電「分散型超小型バイオシステム Volter 40」^[1]が導入される予定である。

導入される設備から発生する焼却灰は産業廃棄物として処理しなければならない。しかし、Volter40では、燃料には未利用木材を加工した木質チップが使用されており、木質チップを完全燃焼させるのではなく、熱分解するため、焼却灰は木炭のような炭化物の形となる。燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物はバイオ炭と呼ばれ^[2]、Volter40から発生する焼却灰もバイオ炭となる（以下、本文ではバイオ炭と呼ぶ）。

バイオ炭は難分解性の炭素であるため、農地へ施用することで土壤中に炭素を貯留するとともに、土壌の透水性、保水性、通気性の改善などに効果があるとされている。バイオ炭を農地に土壌改良資材として使用することは、地力の向上と気候変動対策の両方に寄与することができるため、国際的にも認められた活動となっている。

これらの理由から、木質チップを熱分解して発生したバイオ炭は、産業廃棄物として処理するのではなく、土壌改良資材として佐治町内で利用することにより、経済的にも環境的にも有益な取り組みだと思われる。

2. 研究の目的

本研究では、木質バイオマス熱電併給設備から発生するバイオ炭を佐治町内で土壌改良資材として再利用するために以下の2点を明らかにすることを目的とした。

- I. 事業対象の佐治町内で、バイオ炭を土壌改良資材として再利用するために、佐治町の農家の方々にヒアリング調査を行い、その調査からバイオ炭の再利用に関する考えや意見を把握し、また佐治町に合った土壌改良資材の特性を明らかにする。
- II. バイオ炭の再利用に向けた土壌改良資材としての可能性を検討するため、バイオ炭の化学的また物理的な特性を明らかにする。

3. 研究結果と考察

3.1 佐治町の農家の方々へのヒアリング調査

佐治町の農家の2名（以下、AさんとBさんと呼ぶ）を対象として以下の質問項目に沿いながらヒ

アリング調査を行った。

- ① 栽培されている作物の種類と規模について
- ② 栽培されている作物の土壌の種類や特徴、またどのような土壌が望ましいかについて
- ③ 普段施用されている肥料や特徴について、またどのような肥料が望ましいかについて
- ④ 農業におけるバイオ炭の利用方法や効果についてのご意見
- ⑤ 普段土壌改良資材を利用しているかや、利用する予定があるかについて
- ⑥ 木質バイオマス発電に伴う焼却灰を土壌改良資材として用いることへの意見や懸念事項について
- ⑦ 土壌改良資材の提供を有償あるいは無償で受けたいかについて
- ⑧ 他のコメントがあれば、どうぞご自由にお話してください。

ヒアリング調査の結果、バイオ炭を土壌改良剤として積極的に利用していきたいという意見は得られなかったが、何かしらの効果があれば利用したいという意見が得られた。そのためにも、バイオ炭を土壌改良資材として利用するならば、バイオ炭の構造や有効・有害成分、pH、バイオ炭を土壌に混ぜた時の水はけの変化について明らかにする必要があると分かった。また、佐治町にあった土壌改良資材としては、梨の栽培などにおいて、水はけの調整や、土壌のpHの調節に利用されるのが理想的である。土壌改良剤以外のバイオ炭の利用用途として、融雪剤として使いたいという意見を得ることができた。降雪量の多い山間地域の佐治町に合ったバイオ炭の活用方法の1つになりうるかもしれないことが明らかになった。

3.2 バイオ炭の特性調査

3.2.1 本研究で用いた試料

本研究には、フォレストエナジー株式会社から提供していただいたスギを原料としたバイオ炭を用いた(写真1)。また、土壌は、ヒアリング調査に協力して下さった農家の方々から提供していただいた、黒ボク土と赤土を用いた(写真2)。



写真1 実験で用いたバイオ炭



写真2 実験に用いた土壌 (左:黒ボク土、右:赤土)

3.2.2 化学的的特性調査

バイオ炭に含まれる元素や酸化物の結果を以下の表1と表2に掲載する(波長分散型蛍光X線分析による測定)。Mg以上の元素の中では、CaとKが、酸化物ではCaOとK₂Oが全体のおよそ90%を占めるという結果となった。

表1 バイオ炭の元素分析（金属元素換算）結果

バイオ炭 (mass%)				バイオ炭 (mass%)			
元素	1回目	2回目	平均	元素	1回目	2回目	平均
Mg	1.19	1.46	1.33	Ni	ND	0.02	0.02
Al	0.16	0.17	0.17	Cu	0.04	0.06	0.05
Si	0.36	0.32	0.34	Zn	0.08	0.06	0.07
P	0.77	0.75	0.76	Rb	0.06	0.06	0.06
S	2.30	2.28	2.29	Sr	0.18	0.19	0.18
Cl	1.00	1.07	1.03	In	0.01	ND	0.01
K	27.74	27.68	27.71	Sb	0.03	ND	0.03
Ca	64.72	64.40	64.56	I	0.04	ND	0.04
Mn	0.33	0.32	0.32	Ba	0.30	0.33	0.32
Fe	0.70	0.82	0.76				

表2 バイオ炭の元素分析結果（酸化物換算）

バイオ炭 (mass%)				バイオ炭 (mass%)			
酸化物	1回目	2回目	平均	酸化物	1回目	2回目	平均
MgO	1.71	2.11	1.91	NiO	ND	0.02	0.02
Al ₂ O ₃	0.27	0.28	0.28	CuO	0.04	0.05	0.04
SiO ₂	0.65	0.59	0.62	ZnO	0.07	0.05	0.06
P ₂ O ₅	1.50	1.45	1.48	Rb ₂ O	0.04	0.04	0.04
SO ₃	4.79	4.75	4.77	SrO	0.14	0.14	0.14
Cl	0.82	0.88	0.85	In ₂ O ₃	0.01	ND	0.01
K₂O	25.43	25.36	25.40	Sb ₂ O ₃	0.02	ND	0.02
CaO	63.35	63.00	63.17	I	0.02	ND	0.02
MnO	0.27	0.27	0.27	BaO	0.22	0.24	0.23
Fe ₂ O ₃	0.65	0.77	0.71				

また次に、環境庁告示46号に従い溶出試験を行った後、濾過した溶液のpH、陽イオン（Na⁺、NH₄⁺、K⁺）の含有量の測定を行った。その結果を以下の表3に掲載した。

表3 バイオ炭のpHと陽イオンの溶出量

試料	pH	含有量 (ppm)		
		Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺
試料1	13.40	69.48	56.56	9054.4
試料2	13.92	66.48	56.84	8888.6
平均	13.66	67.98	56.7	8971.5

化学的特性として、Ca, Kが多く含まれることが分かった。また、一般的なバイオ炭のpHは9～11^[3]とされており、今回測定したバイオ炭のpHは高めであることが分かった。また、その要因として、陽イオンの測定結果でK⁺の含有量が高いからではないかと考えた。そこで、実際に、K⁺の含有量の平均値を用いて、理論上でのpHの計算を行った。その結果pHは13.5となり、測定結果と変わらない値が算出されK⁺がpHを主に高くした原因だと分かった。アルカリ成分は水によって洗い出されるため、バイオ炭を土壤に施用した場合、水やりや湛水によってpHは、中性になっていく。バイオ炭を土壤に施用する際には、初期はpHが高く、徐々に低下していくことに気を付ける必要があることが分かった。

3.2.3 物理的特性調査

バイオ炭の構造を明らかにするために走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察した。その結果、写真3のような多孔質な構造が観察できた。

また次に、バイオ炭を土壤に施用することでの水はけの変化を調べるために飽和透水係数（土壤中の水の流速の大きさを示す指標）と最大用水量（土壤中の孔隙がすべて水で満たされた時の乾土100gあたりの水の重量）を求める実験を行った。また、実験時の土壤試料の条件について表4に示した。なお、試料は、「土壤の種類の前文字、

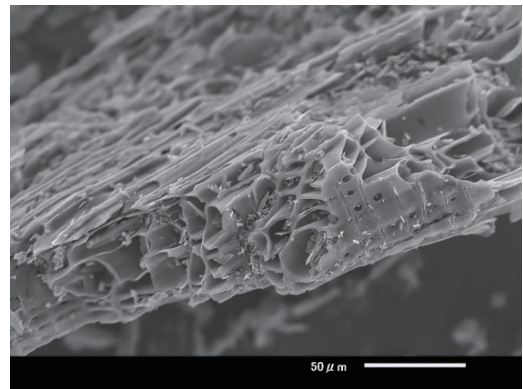


写真3 バイオ炭の構造 (SEMによる測定)

土壤の割合：バイオ炭の割合、試料番号」の順で命名された。例えば、「K90:10-1」は黒ボク土90%とバイオ炭10%を混合させた試料の1つ目を表している。測定結果も表5と表6に掲載した。

表4 実験試料の条件

条件	試料の命名
黒ボク土 100%	K100:0-1, K100:0-2, K100:0-3
黒ボク土 90% バイオ炭 10%	K90:10-1, K90:10-2, K90:10-3
黒ボク土 80% バイオ炭 20%	K80:20-1, K80:20-2, K80:20-3
赤土 100%	A100:0-1, A100:0-2, A100:0-3
赤土 90% バイオ炭 10%	A90:10-1, A90:10-2, A90:10-3
赤土 80% バイオ炭 20%	A80:20-1, A80:20-2, A80:20-3

表5 最大容水量測定結果

試料	絶乾土壌重量(g)	飽和土壌中の 水分重量(g)	最大容水量(%)	最大容水量平均(%)
K 100:0-1	12.65	16.35	129.24	129.60
K 100:0-2	13.70	17.51	127.78	
K 100:0-3	12.67	16.70	131.78	
K 90:10-1	10.99	16.56	150.70	150.97
K 90:10-2	11.16	17.06	152.86	
K 90:10-3	11.45	17.10	149.36	
K 80:20-1	12.01	18.04	150.13	149.23
K 80:20-2	11.90	17.91	150.52	
K 80:20-3	12.83	18.86	147.04	
A 100:0-1	18.32	14.76	80.57	83.65
A 100:0-2	17.35	14.71	84.78	
A 100:0-3	18.95	16.23	85.61	
A 90:10-1	19.01	16.00	84.17	84.26
A 90:10-2	18.76	15.85	84.49	
A 90:10-3	19.60	16.49	84.13	
A 80:20-1	16.24	15.77	97.11	94.39
A 80:20-2	15.66	14.45	92.27	
A 80:20-3	15.80	14.82	93.80	
A 70:30-1	15.96	17.42	109.14	109.63
A 70:30-2	16.11	17.75	110.19	
A 70:30-3	16.18	17.72	109.55	

表6 飽和透水係数測定結果

試料	時間 (sec)	飽和透水係数	飽和透水係数平均
K 100:0-1	75	7.65	6.44
K 100:0-2	91	6.31	
K 100:0-3	107	5.36	
K 90:10-1	193	2.97	2.56
K 90:10-2	222	2.59	
K 90:10-3	269	2.13	
K 80:20-1	1357	0.42	0.53
K 80:20-2	866	0.66	
K 80:20-3	1164	0.49	
A 100:0-1	126	4.56	3.51
A 100:0-2	228	2.52	
A 100:0-3	166	3.46	
A 90:10-1	487	1.18	0.99
A 90:10-2	571	1.01	
A 90:10-3	719	0.80	
A 80:20-1	806	0.71	0.95
A 80:20-2	533	1.08	
A 80:20-3	541	1.06	

最大容水量と飽和透水係数を求める実験から、最大容水量の増加は水持ちの良さを表し、飽和透水係数の減少は水はけの悪さを示しており、矛盾の無い結果となった。バイオ炭を土壤に施用することで、土壤の保水性は向上し、透水性は低下することが分かり、バイオ炭の施用は土壤の水持ちを良くしたいときに有効だと考えられた。

4. 結論

本研究では、鳥取市佐治町に導入される予定の木質バイオマス熱電併給設備から発生するバイオ炭を土壤改良資材として佐治町内で再利用が可能か検討した。ヒアリング調査の結果、土壤の水はけや酸度矯正などの改良効果があれば、佐治町内で利用される可能性があることが分かった。またその他にも、バイオ炭の成分の安全性が示され、バイオ炭が粉末ではなく大きな粒のような形であれば利用しやすいという意見や、バイオ炭を融雪剤として使えるならば使いたいという意見が得られたが、これらについて研究を進めることができなかった。今後の展望として、環境庁告示46号の溶出試験から得られた溶液が土壤環境基準を満たしているかを分析すること、バイオ炭を造粒する方法について検討すること、バイオ炭の融雪剤としての効果について調べる必要がある。

また、バイオ炭の化学的特性調査では、本研究で用いたバイオ炭のpHが一般的なバイオ炭よりも高く、その要因として K^+ の溶出量が極めて多いことが関係していることが分かった。Kは水に洗い出される成分であり、pHは次第に低下していくと思われるが、どれくらいの水分量で洗い流せばどれだけpHが低下するのかは明らかになっていないため、今後調査をすることが必要である。

バイオ炭の物理的特性調査では、バイオ炭の構造や、バイオ炭を土壤に施用することで土壤の水持ちが良くなることが分かった。今後は、バイオ炭を施用した土壤で実際に作物が育つかを検証し、農家の方々のバイオ炭利用につながる情報を集めていく必要がある。

5. 参考文献

- [1] VOLTER JAPAN, 分散型超小型バイオシステム, Volter 40
- [2] 農林水産省, J-クレジット制度における「バイオ炭の農地施用」の方法論について, 2022年5月
- [3] 日本バイオ炭普及会, 土壤改良用バイオ炭の施用目安, 平成31年1月31日