

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06168

研究課題名（和文）バイオ炭の二酸化炭素貯留量算出に用いる国内基準データの作製

研究課題名（英文）Creation of national reference data for calculation of biochar carbon dioxide sequestration

研究代表者

栗本 康司（KURIMOTO, YASUJI）

秋田県立大学・木材高度加工研究所・教授

研究者番号：60279510

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：バイオ炭による炭素貯留効果を算出する算定式がIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）の改良報告書に記載されるとともに、J-クレジット制度においても「バイオ炭の農地施用」に関する方法論（AG-004）が策定されている。現在、我が国においては、炭素貯留量を算出するパラメータに、施用するバイオ炭のデフォルト値が用いられている。本研究では、伝統的に炭質の評価をJIS M 8812に則って測定した工業分析値を用いてきた経緯から、公定法であるJIS法で得られた測定結果を用いて国際基準に適合した炭素貯留量を見積る手法を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バイオ炭の工業分析値を用いて炭化温度を推定する手法を明らかにした。また、IPCCのパラメータとなるバイオ炭の有機炭素（ $F_c$ ）と100年後に残存する炭素率（ $F_{perm}$ ）との関係が明らかとなり、最終的に工業分析値から炭素貯留量を見積ることができた。バイオ炭を用いた炭素貯留に関して、その品質評価の一手法に工業分析法を活用できることは、国内分析の信頼性や費用の面からも重要であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The formula for calculating the carbon sequestration effect of biochar is described in an improved report by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), and a methodology for "biochar application to agricultural land (AG-004)" has been developed under the J-Credit System. Currently in Japan, the default values of biochar to be applied are used as parameters for calculating the carbon sequestration. However, since Japan has traditionally used proximate analytical values measured in accordance with JIS M 8812 to evaluate charcoal quality, we examined a conversion method to estimate carbon storage in compliance with international standards using measurement results obtained by the JIS method.

研究分野：木質科学

キーワード：バイオ炭 二酸化炭素除去 炭素クレジット 工業分析 固定炭素 揮発分

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

大気中の二酸化炭素など温室効果ガス (GHG) の濃度が増加し地球温暖化が進行していることから、GHG 排出量を抑制することが求められている。そのため、化石燃料の使用を削減し、代替エネルギーとして太陽光や風力による持続可能な自然エネルギーの利用が世界的に推進されている。しかしながら、化石燃料の使用削減だけでは増えすぎた炭素量の低減には繋がらない。そこで、二酸化炭素の削減に大きなポテンシャルを持つ「二酸化炭素回収貯留技術 (CCS)」や「大規模植林 (AR)」などの「二酸化炭素除去技術 (CDR)」の利用が不可欠となっている。

こうした状況のもと、バイオマスを空気制限下で熱処理した炭化物が、農地や草地土壤に埋設されることにより生物の活性化と GHG 削減の両者に効果のあるもの (以下「バイオ炭」と定義する、biochar) として認識され、IPCC 第 5 次評価書の第 3 作業部会報告書 (2014) において実現の可能性の高い CDR の一つとして初めてリストアップされた。また、2018 年 10 月には「特別報告書 1.5 の地球温暖化」において、バイオ炭が CDR の一手法として正式に記載され、更に、2019 年 5 月、京都で開催された IPCC 第 49 回総会では、バイオマスの種類 (木材、もみ殻、木の実の殻など) や製造方法 (熱分解、ガス化)、条件 (温度) が整理され、炭素貯留効果を算出する具体的な算定式が「2006 年 IPCC 国別温室効果ガスインベントリガイドラインの 2019 年改良 (以下、改良報告書)」に記載されるに至っている。

一方、我が国では、古くから独自のバイオ炭規格やビジネス展開があったことから、黒炭や白炭を生産する技術に優れ、品質管理に JIS M 8812 に準じた工業分析値を長年にわたり使用してきた。JIS 法により得られた固定炭素 (100 - 揮発分 - 灰分として評価) はデータの蓄積が多く木炭の品質規格にも指標として取り入れられている。しかしながら、IPCC が規定する有機炭素や (Fc) 100 年後の炭素残存率 (Fperm) などの概念は、燃料を中心とした用途には必要無いことから測定・評価されておらず、工業分析値をそのまま IPCC パラメータの代替値とすることはできない。そこで、これまで木炭の炭質指標として使われ、かつデータ蓄積の多い工業分析値を、IPCC が提案する炭素貯留量算出の代入値と関連づけることにより「我が国におけるバイオ炭の評価基準値を作製する」というのが研究開始当初の背景であり学術的な問である。

### 2. 研究の目的

国内で生産されるバイオ炭を農地施用した際、二酸化炭素貯留量の算出に用いることができる具体的な数値データを得ることを目的とし、併せてこれらを科学的根拠とともに国内外に発信することを行う。

### 3. 研究の方法

#### 1) 標準炭の調製と市販炭の収集

アカマツ、コナラ、モウソウチク、果樹剪定枝、そば殻等を試料に電気炉に設置した半密閉の鉄製容器中で熱処理 (300 - 900 ) して標準炭を調製した。各温度では、昇温速度 1 /min、保持時間 3 時間とした。また、市販炭として複数のタケ炭、黒炭、粉炭等を国内の生産者から収集した。

#### 2) 分析

調製および収集したバイオ炭の分析は、以下の方法で行った。まず標準となる分析として JIS M 8812 に準拠した工業分析を行い、水分、灰分、揮発分、固定炭素を求めた。さらに、「改良報告書」に規定されたパラメータの有機炭素 (Fc) を元素分析装置で得た全炭素から無機炭素を引いた値として求めた。尚、無機炭素の測定は ASTM D4373-14 に従って行った。また、100 年後の炭素残存率 (Fperm) は、文献 1 に従い土壤温度 14.9 での Fperm を、元素分析により求めた水素と有機炭素 Fc のモル比から (1) 式により求めた。

$$F_{perm} = 1.04 - 0.635(H/Fc) \quad (1)$$

### 4. 研究成果

#### 1) 炭化温度と工業分析値の関係

タケ炭の炭化温度と工業分析で求めた揮発分と固定炭素の重量比 (VM/FC) の関係を図 1 に示す。

は 300 から 800 で調製した標準炭である。また、他の記号は幾つかの文献からの引用データである。このようにタケ炭の炭化温度と VM/FC の関係に有意な回帰式が得られた。また、こうした関係は、他の炭材においても認められ有意な回帰式を得た。従って、オンサイト製炭など炭化温度が未知の試料は、工業分析で得た VM/FC からその生成温度域を推定することが可能である。

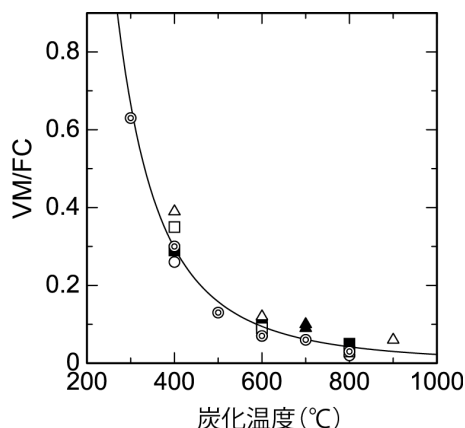


図 1 炭化温度と揮発分/固定炭素 (VM/FC) の関係

2) 固定炭素と Fc または Fperm の関係

バイオ炭の農地施用に伴う炭素ストック変化量の算定式を図2に示す。炭素貯留量はバイオ炭の種類に応じてバイオ炭の施用量に Fc と Fperm を乗じて算出される。

タケ炭における固定炭素と有機炭素の関係を図3に示す。また、固定炭素と Fperm の関係を図4に示す。いずれにおいてもは前述の 300 から 800 で調製したモウソウチク炭である。また、は国内で収集したタケ炭（13 試料）である。

図から明らかなように、固定炭素は、有機炭素あるいは Fperm の関係において有意な正の相関が認められ、有機炭素、Fperm とともに固定炭素値を用いた関数で表現できることが明らかである。

3) 固定炭素と Fc × Fperm の関係

工業分析値の固定炭素と IPCC パラメータ Fc × Fperm の関係を図5に示す。ここでは、タケ炭に加えて黒炭と粉炭のデータを追記している。図から明らかなように、供試したバイオ炭の種類に関係なく Fc × Fperm は固定炭素の関数で表すことができた。このことから、図2に示す炭素ストック変化量は固定炭素をパラメータとした関数で代替することが可能である。

以上のことから、JIS 法の工業分析で得られた測定結果を用いて国際基準に適合した炭素貯留量を見積ることができ、当初の研究目的を達成した。

引用文献

1) Woolf, D.; Lehmann, J.; Ogle, S.; Kishimoto-Mo, A.W.; McConkey, B.; Baldock, J. A greenhouse gas inventory model for biochar additions to soil, Environ. Sci. Technol. 2021, <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02425>.

$$\Delta BC_{C_{ms}} = \sum_p (BC_{TOT_p} \times F_{C_p} \times F_{perm_p})$$

- $\Delta BC_{C_{ms}}$  : バイオ炭の農地施用に伴う鉍質土壌の炭素ストック変化量 [t-C/yr]
- $BC_{TOT_p}$  : 当該年に鉍質土壌耕地に施用されたバイオ炭 p の量 [t-d.m./yr]
- $F_{C_p}$  : バイオ炭 p の炭素含有率 [t-C/t-d.m]
- $F_{perm_p}$  : バイオ炭 p の 100 年後残存率 [t-C/t-C]
- p : バイオ炭の種類 (白炭、黒炭、竹炭、粉炭、オガ炭)

図2 バイオ炭の農地施用に伴う鉍質土壌の炭素ストック変化量の算出式

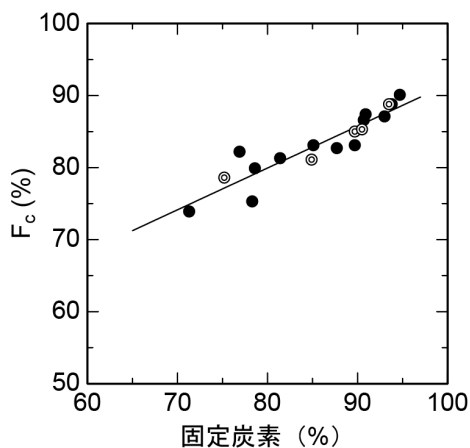


図3 タケ炭の固定炭素と有機炭素(Fc)の関係

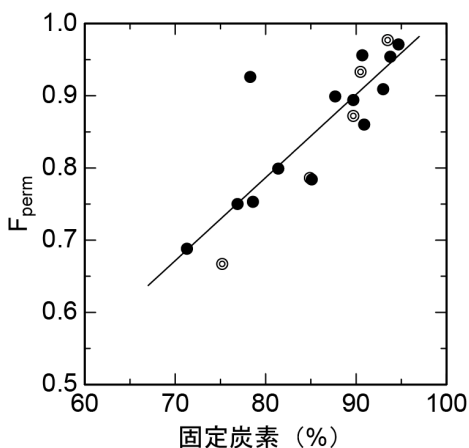


図4 タケ炭の固定炭素と Fperm の関係

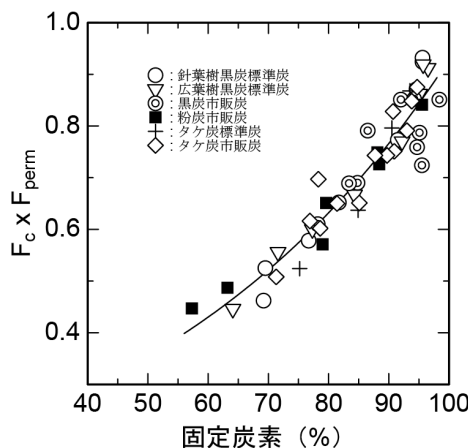


図5 固定炭素と Fc × Fperm の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 栗本康司	4. 巻 15
2. 論文標題 二酸化炭素除去（CDR）とバイオ炭利用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生物資源	6. 最初と最後の頁 14-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wakamiya S., Kurimoto Y., Sugimoto H., Aoki Y., Kato S., Ogasawara M., Kanazawa N., Hosokawa N., Hayakawa A., Takahashi T., Ishikawa Y.	4. 巻 77(3)
2. 論文標題 Physicochemical properties of biochar derived from wood of <i>Gliricidia sepium</i> based on the pyrolysis temperature and its applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Soil and Water Conservation	6. 最初と最後の頁 322-330
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2489/jswc.2022.00083	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 栗本康司
2. 発表標題 CDRとしての炭利用 - 工業分析値を用いた炭素貯留量の算出 -
3. 学会等名 第19回木質炭化学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗本康司, 松村周平, 梶本武志, 小澤史弘, 井上芳樹, 柴田晃
2. 発表標題 二クロム酸・硫酸混液による木炭およびタケ炭の有機炭素測定
3. 学会等名 第18回木質炭化学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米谷俊司, 安藤大将, 澁谷栄, 栗本康司
2. 発表標題 耐火試験におけるカラマツとスギの燃焼挙動の違い
3. 学会等名 第20回日本炭化学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栗本康司, 澁谷栄, 安藤大将, 米谷俊司
2. 発表標題 灰分が木材と炭化物の燃焼に与える影響
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 栗本康司(分担執筆)川田俊成、伊藤和貴編	4. 発行年 2021年
2. 出版社 海青社	5. 総ページ数 255
3. 書名 木材化学講座4「木材の化学」	

〔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	澁谷 栄  (Shibutani Sakae)  (50404851)	秋田県立大学・木材高度加工研究所・准教授   (21401)	

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