

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310034

研究課題名(和文) 未利用木質バイオマスを用いた炭素貯留野菜によるCO₂削減社会スキームの提案と評価

研究課題名(英文) Policy Scheme for the low carbon society by utilizing the method of carbon sequestration in farmland

研究代表者

柴田 晃 (Shibata, Akira)

立命館大学・衣笠総合研究機構・教授

研究者番号：60425006

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円、(間接経費) 4,500,000円

研究成果の概要(和文)：京都府亀岡市を実証フィールドとして、地域の放棄竹林整備による竹材を炭化し、その炭化物(バイオ炭)による農地炭素貯留と、その農地で栽培した環境保全型ブランド野菜クルベジの販売を行なった。政策スキームとしての有効性を担保するために、バイオ炭の規格化、LCAによるCO₂削減効果の計測、クルベジの消費者感度調査および小中学校へのクルベジを使った給食による食育を実施した。また、農地炭素貯留による炭素クレジット化のための京都炭素貯留運営委員会を立ち上げ、企業からのCSR協賛および京都府からの環境適応活動認定を受け、2013年度低炭素杯環境大臣賞金賞を得た。この研究期間中、20以上の国内外視察団を迎えた。

研究成果の概要(英文)：In Kameoka city Kyoto, bamboo which was taken through maintenance of neglected bamboo forest, had been carbonized to produce biochar. And, carbon sequestration by biochar at farmland had been practiced. And eco-friendly vegetable "cool vege" cultivated in that farmland had been sold at local super market.

Through these practices, standardization of biochar, measuring of CO₂ reduction effect by biochar farmland sequestration, investigation of consumer purchase sensitivity to "cool vege" and food education through school lunch using "cool vege" had been carried out. And, Kyoto carbon storage management committee had been established, and CSR support by business companies had been done. Then the authorization of environmental friendly activity by Kyoto prefectural government had been issued, and the gold prize of Japanese Environment Minister at Low carbon Cup 2013. During these study period, we received more than 20 study tours from domestic and overseas.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境影響評価・環境政策

キーワード：環境政策 農村地域活性化 バイオマス炭 農地炭素貯留

1. 研究開始当初の背景

近年、再生可能かつカーボンニュートラルと言われているバイオマス資源が化石資源に替わる有用資源として脚光を浴びている。しかし、今のところこのバイオマス利用は化石燃料をすべて代替できる状況にはなっておらず、地表上の炭素量は常に増加している状況にある。バイオマスによる一部代替使用の現状は化石燃料の使用総量を減量させるのであり、化石燃料を使用する限り地表上の炭素循環総量は確実に増え続けている。今後は炭素の回収・貯留 (CCS) による炭素循環総量を減少させる積極的な手法が必要である。バイオマスを原料とした炭 (バイオマス炭、英名: Biochar) による地表上からの安定的な炭素隔離 (Carbon Sequestration) は、このための有効な手法として期待されている。

炭化物を用いた CO₂ の削減は、2006 年に IPCC (気候変動に関する政府間パネル) が発行した Guideline for National Greenhouse Gas Inventories において、将来的に温室効果ガス削減手段として認定可能性がある項目を記述する Appendix の 1 番目に位置づけられている。炭化物を用いた CO₂ 削減効果を科学的に検証することが、気候変動対策の新たな選択肢の提示に結びつくことになる。現在は、バイオマス炭化物を用いた CO₂ 削減に関する国際的な研究ネットワークである International Biochar Initiative (IBI: 国際炭化学会) に参画する研究者を中心に、土壤中での炭素貯留の評価に関する研究成果が蓄積され、その検証作業及び規格化が進められている段階にある。

2. 研究の目的

木質バイオマス資源を炭化し土壌に無機炭素として地表上から隔離することによる地域循環型 CO₂ 削減の社会スキームを提案し、評価することを目的とする。これは、地域スケールの未利用木質バイオマス (主に竹) で炭を作り、その炭埋設農地で栽培された炭素貯留野菜の市場選好評価を行う。同時に炭化から農林地埋設炭素クレジットの流通までを含むバイオマス炭化 CCS (Carbon Capture and Storage) 地域社会スキームを、実例をもって証明する。

バイオマス資源は、間伐材等も利用可能であるが、竹材を対象とする。とくに、未利用バイオマスとして、且つ再生可能資源としての放棄竹林に着目し、これを炭化して利用した場合の地域社会スキームを提示する。

本研究で明らかにするものとして、1) 竹林整備による伐採、竹材の炭化および農地埋設までの LC-CO₂ による隔離炭素量の推定と経済コスト評価、2) 農地が保持する炭素クレジットの保証と流通および炭素貯留野菜ブランド規格 (認証機能における課題発見)

3) 炭素貯留野菜の消費者による選好評価、4) 地域小中学校における炭素貯留野菜を使った給食を通じた食育 (地域環境ブランド教育) という 4 課題を設定した。

この CO₂ 削減地域循環社会システムの確立は世界で初めての試みであり、今後世界的な社会モデルとなる。

3. 研究の方法

課題 (1) 竹林整備による伐採、竹材の炭化および農地埋設までの LC-CO₂ による隔離炭素量の推定と経済コスト評価:

竹林整備 (大型機械による伐採およびチップ化)・竹材炭化 (簡易炭化器) における LC-CO₂ と経済評価を実施し、農地への竹炭埋設における難分解性炭素量 (隔離炭素量) の推計に基づいてその実質炭素隔離量を計算する。従来バイオマスの炭化はその機械設備が経済的に非常に高額のため炭自体の価格が高額となっていた。その一方で農山村部には放置竹林や廃棄バイオマスの増加といった未利用バイオマスの処理の問題が増加している。大型竹林伐採機はその効率性と装着簡便性から非常に有用性が高いと考えられる。また簡易炭化器は、非常に簡便かつ安価なため、低コストによる住民参加型のバイオマス炭化モデルを提示することが可能である。本炭化器を用いて、地元ボランティア自治会・京都府林務課・亀岡市との協働による竹林整備・竹材炭化をモデル地区 1~2 カ所で行う。生産した竹炭は、その固定炭素量を計測の上、対象圃場 (農林地) に施用する。そこで LC-CO₂ と経済評価を実施し、農地への竹炭埋設における難分解性炭素量 (隔離炭素量) の推計に基づいてその実質炭素隔離量を計算する。

課題 (2) 農地が保持する炭素クレジットの保証と流通および炭素貯留野菜ブランド規格 (認証機能における課題発見)

炭を使った農地のカーボンクレジットの実現性評価とボランティアマーケット創設・参入に向けた課題抽出および炭素貯留野菜ブランドの規格設計と検証を行う。課題 1 による固定炭素量推計のもとで、竹炭の農地投入埋設確認手法とその実質炭素貯留量の確認体制を検討する。具体的には、炭堆肥生産時の確認と堆肥の散布の確認作業及びフォーマット上の課題を検証する。その上で、大手企業担当者を対象とした聞き取り調査によりそのカーボンクレジットの買い取りの可能性と課題を明らかにする。また同時に、炭素貯留野菜認証の規格化を行いその課題を抽出する。

課題 (3) 炭素貯留野菜の消費者による選好評価

地域市場 (地域の道の駅等) における炭素貯留野菜の選好評価を実施する。炭素貯留野

菜について地域住民の理解度を調査するために店頭選好評価を行う。

課題(4) 地域小中学校における炭素貯留野菜を使った給食を通じた食育(地域環境ブランド教育)

地元小中学校での炭素貯留野菜を用いた給食を通じて、教育(食育)(紙芝居・講義等)をおこなう。そこで地域販売店での地域炭素貯留野菜の販売量の変動や意識・行動調査をおこなうことによって、地域環境ブランド教育の浸透の可能性を調査・検討する。

4. 研究成果

課題(1) 竹林整備による伐採、竹材の炭化および農地埋設までのLC-CO₂による隔離炭素量の推定と経済コスト評価:

関谷・柴田・鐘ヶ江(2013)では、新たな環境社会モデルであるカーボンマイナススキームにおけるバイオ炭の農地貯留技術に対して、ライフサイクルの観点から二酸化炭素削減効果の評価を行い、その効果の可能性を示した。京都府亀岡市で展開している亀岡カーボンマイナス・プロジェクトにおける炭素貯留農法を事例として、バイオ炭の原料に、稲わら・もみ殻・竹林間伐材、そして貯留農地に水田と畑地を設定し、これらのシナリオにおける二酸化炭素量の収支を算出した。その結果、原料調達のプロセスにてメタンの排出削減を想定する稲わらを用いたシナリオでは、最大条件では最も二酸化炭素削減に導いたが、最少条件では排出に転じた。その一方で、もみ殻および竹林間伐材を原料に用いたシナリオでは、全条件で削減がなされることを明らかにした。

課題(2) 農地が保持する炭素クレジットの保証と流通および炭素貯留野菜ブランド規格(認証機能における課題発見)

規格化のための基礎実験

亀岡カーボンマイナス・プロジェクトの実現には、農地に施用する炭による炭素貯留量の認定が不可欠である。一般に、炭素量の測定には、CN コーダ、NC アナライザー、全自動元素分析装置などが用いられているが、いずれの装置も完全燃焼法による二酸化炭素の定量による炭素の定量法である。これらの装置は、装置自身が高価である上に維持コストも掛かるため、導入は研究所などに限られる。安価な方法で炭素量の推定が可能であれば炭素施用の普及には必要であると考えられる。低コストで誰でも炭を作ることが出来る簡易炭化器で作製された炭を用いて、容易に測定できる電気抵抗が炭素量の指標の要素として適当か検討した。

製炭には(株)モキ製作所製の無煙炭化器(ステンレス製の逆円錐台で上部直径約60cm、下部直径約34cm、高さ約20cm)を用いた。炭化は、6月18日(夏季)と12月

3日(冬季)に行った。平地に炭化器を5台、間隔をあけて設置し、種火を起こした。炭が炭化器の上層まで到達するまでモウソウチクを連続して投入した。炭化に用いたタケは2010年12月に伐採し野積みしていたもので、平均含水率は夏季で33.3%、冬季で25.4%であった。炎が見られなくなれば、水を掛けて炭化を停止させた。炭化器ごとに炭化物試料として竹炭の試料を上層3か所、中層1か所、下層3か所の計7か所から竹炭を採取した。炭の一部は風乾後、高速粉砕機(ワンダーブレンダーWb-1)355 μ m以下の粉末に調整した。炭は水分含量、電気抵抗、炭素率、灰分を測定した。

投入生竹と生成竹炭の絶乾質量の関係については、冬季の製炭の方が得られる炭が多いことが分かった。収炭率は夏季で12~18%、冬季で14~20%であった。夏季の炭化で収炭率33%という炭化器があったが、おそらく含水率が20%程度の枯竹を多く原料としたためであろう。炭化時間と生成竹炭の関係を比較すると、炭化時間は夏季が90~120分、冬季は60~80分であった。冬季に多く炭が得られたのは夏季に比べ冬季は空気が乾燥して火の回りが早かったこと、材料のタケ自身の含水率が平均で冬季は8%程度低かったことが原因と考えられる。季節により炭化時間と生成竹炭量に変化は生じるが、生竹の含水率が低ければ、季節に関係なく多くの炭を得ることが可能であると考えられる。

電気抵抗:炭化直後の濡れた状態と風後状態で電気抵抗を測定した。いずれの場合も風乾時の方電気抵抗値が高く、冬季の場合乾燥時の値は、保水時の値の2倍以内程度であった。夏季は少ないものは2倍程度であったが、差が大きいもので5~6倍の値になった。炭化器の部位による電気抵抗値の分布を調べたところ、夏季は上部が最も高かったが冬季は上部が最も低い値を示しており、一様の傾向は見られなかった。次に、得られた炭の炭素率と電気抵抗の関係を調べたところ、炭素率が77%および電気抵抗4000と他のプロットと著しく外れた点があったが、炭素率80~90%、電気抵抗が2000以下にアトランダムにプロットが点在しており、明確な関係がみられなかった。このことから、電気抵抗を炭素率の尺度とするのは難しいことが示唆された。

炭の性質:簡易炭化器で作成した炭は夏季10回、冬季10回であり、それぞれ炭化につき7か所からサンプリングを行った(一回だけ6か所からのサンプリングになっている)。それらの炭素率は84~90%の範囲であった。炭素以外の成分として灰分を測定したが、5%~10%程度の範囲であった。タケにはシリカが多く含まれていることが知られており、灰分の主成分はケイ素と考えられる。

炭素率の尺度として電気抵抗を考えていたが、不可能であった。著しく炭素率が異なる

る炭では電気抵抗の差異があるのかもしれないが、この程度では測定できなかった。炭素率はあくまでも全炭素を測定していることから、有機炭素の比率によって電気抵抗値が変化する可能性も考えられる。しかし、有機炭素測定法として知られているチューリン法では、無機炭素と考えられる炭素も検出するため、その確認も困難である。結局、指標となる値は見つからなかったが、簡易炭化器で製炭した場合、少なく見積もって炭素率80%としておけば問題はなさそうであることはわかった。

難分解性炭素の規格案の検討

農地炭素貯留によるクレジットの認証のためには、使用するバイオ炭に含まれる安定的で分解され難い炭素集合体に関する規格が必要となる。井上・柴田(2014)では、そのための暫定的な企画案を示した。バイオ炭に含まれる元素状炭素をRCと定義する。

バイオ炭のJIS M8812の固定炭素の値をRC含有量とする。バイオ炭の充填容積と、バイオ炭の充填容積あたりのRC重量を用いる実測法、またはバイオ炭の充填容積と、バイオ炭の原料ごとに規定した簡易RC換算係数を用いる簡易法によってバイオ炭のRC質量を算定した。原料および炭化方法の異なるバイオ炭のRC含有量と全炭素量の比較から、本RC含有量測定法の妥当性が示された。

課題(3) 炭素貯留野菜の消費者による選好評価

農地炭素貯留による農作物のブランド化は、低炭素社会と地域農業の経済的活性化を同時に実現させる可能性を持つ。田摩・柴田・鐘ヶ江(2014)では、そのような環境保全型ブランド野菜が消費者に受容される可能性について、社会調査データを用いた計量分析によって検討した。

第1に、二酸化炭素削減という環境保全価値は、「味が良い野菜」や「新鮮な野菜」といったような人々が野菜に期待する基本的な価値や、「安全な野菜」「生産者がわかる野菜」「地元産の野菜」といったような「安心・安全」の概念につながる価値との比較においては明確な優位性を持たず、そのような基準によって消費者が選択を行った場合、環境保全型ブランド野菜が積極的に選ばれる可能性は低いといわざるを得ないことが明らかとなった。しかし一方で、「見た目の良い野菜」や「低価格の野菜」といった価値との比較においては、環境保全価値の一定の優位性が示された。特に「低価格の野菜」に対して優位性を持っているという知見は、環境保全価値に対する追加的な支払いの可能性を示すものであり、極めて重要である。環境保全型ブランド野菜を創りあげることによって、ある程度まで高い価格設定でも受容されるのであれば、地域農業がブランド化を推進するメリットが大きくなるからである。

第2に、二酸化炭素削減という環境保全価値は、男性よりも女性に、若年層よりも高齢層に受容される可能性が高いことが明らかとなった。このような知見は、環境保全価値を軸として地域農業のブランド化を推進するために、どのようなマーケティング戦略をとればよいのかという問いに対しての手がかりとなる。しかしながら、性別と年齢層以外に、環境保全価値の評価に影響を及ぼしている要因を発見することができなかった。環境意識のような社会心理学的要因や、ライフスタイルのような文化的要因のようにつかの候補が考えられる。

課題(4) 地域小中学校における炭素貯留野菜を使った給食を通じた食育(地域環境ブランド教育)

環境保全型ブランド野菜「クルベジ」を題材とした、小学生向けのマンガ教材を開発した。また、それをベースとして、小学校低学年向けのアニメーション教材を編集した。さらに、亀岡市内の小中学校の学校給食に、月に数回程度クルベジを導入した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

1. 井上芳樹・柴田晃, 「バイオ炭中の難分解性炭素に関する規格案の検討」『木質炭化学会誌』木質炭化学会, 10巻2号, pp.74~86, (2014)
2. 田摩裕祐・本多彩夏・柴田晃・鐘ヶ江秀彦, 「農地炭素貯留から派生する環境保全型ブランド野菜の受容可能性 消費者の価値評価の計量分析」『創地共望』立命館大学地域情報研究センター, 3巻, pp.39~49, (2014)
3. 関谷諒・柴田晃・鐘ヶ江秀彦, 「バイオ炭の農地貯留に対するライフサイクルの観点からの二酸化炭素削減効果に関する研究 水田・畑地におけるメタン排出削減を含めた炭素貯留農法を事例として」『木質炭化学会誌』木質炭化学会, 10巻1号, pp.22~34, (2013)
4. 田摩裕祐・柴田晃・鐘ヶ江秀彦, 2013, 「農地炭素貯留による農村地域開発の可能性と諸課題 亀岡カーボンマイナスプロジェクトを事例として」『創地共望 立命館大学地域情報研究センター 紀要』2:71-80.

[学会発表](計13件)

1. Akira Shibata and Steven McGreevy, "Cool Villages" US Biochar Initiative, 2013 USBI North American Biochar Symposium, University of

- Massachusetts, USA, October 13-16, 2013
2. 柴田晃, 「農地炭素貯留による地域開発プロジェクト 進捗報告」, 日本バイオ炭普及会, H25 年度日本バイオ炭普及会大会, 九州大学, 2013 年 8 月 3 日
 3. 上田昌志, 柴田晃, 「小豆の生育に対するバイオ炭の影響評価と炭素貯留効果」, 日本バイオ炭普及会, H25 年度日本バイオ炭普及会大会, 九州大学, 2013 年 8 月 3 日 (ポスター発表)
 4. 柴田晃, 「亀岡カーボンマイナスプロジェクト現況報告」第 11 回木質炭化学会研究発表会, 新潟市, 朱鷺メッセ (新潟コンベンションセンター), 2013 年 6 月 6 日 .
 5. Shibata Akira, “CO2 Mitigation and Rural Development through Farm Land Carbon Storage by Biochar and Environmental Friendly Vegetable Cool Vege,” International Conference on Solid Waste 2013, Hong Kong SAR, 5-9 May 2013.
 6. Shibata Akira, “GHG Reduction at Farmland & Area Brand Agricultural products to sustain the environment(Cool Vegetable),” 日伯バイオチャーシンポジウム, 九州大学, 2012 年 8 月 27 日 .
 7. Yusuke Tanabiki, “How can we support local farming? :a brief introduction of Cool-Vege,” Biochar colloquium, James Hutton Institute, Aberdeen, 2012 年 8 月 13 日 .
 8. 本多 彩夏・田摩 裕祐, 「炭素貯留野菜クルベジ®の需要感度に関する研究」, 第 10 回木質炭化学会大会, 岩手県盛岡市, 2012 年 6 月 28 日 .
 9. 柴田 晃, 「農地土壌における炭素貯留と GHG 発生抑制を通じた農業活性化と地域開発」, 第 10 回木質炭化学会大会, 岩手県盛岡市, 2012 年 6 月 28 日 .
 10. 井上 芳樹・柴田 晃, 「日本バイオ炭普及会 (JBA) バイオ炭規格案 難分解性炭素の検討」第 10 回木質炭化学会大会, 岩手県盛岡市, 2012 年 6 月 28 日 .
 11. Shibata Akira. 2011. “Carbon Minus Project Through Biochar and Carbon Sequestered Vegetable COOL VEGETM towards Rural Development.” International Symposium on Biochar

for Climate Change Mitigation and Soil and Environmental Management. Biochar Research Center (BRC). Kangwon National University (Korea). December 8-9, 2011.

12. Shibata Akira. 2011. “Country and Region Report: Japan” 第 2 回アジア太平洋バイオ炭大会 . 立命館大学 . 2011 年 9 月 15-18 日 .
13. Sekiya Ryo and Y. Tanabiki. 2011. “A study of LCA Analysis in Kameoka Carbon minus project” 日本環境共生学会第 14 回 (秋季) 学術大会 . 立命館大学 . 2011 年 9 月 17-18 日 .

〔図書〕(計 4 件)

1. Shibata Akira and Steven McGreevy, “Mobilizing Biochar: A Multi-Stakeholder Scheme for Climate-Friendly Foods and Rural Sustainable Development,” T Goreau, R. Larson and J. Campe (Ed.) Geotherapy: Innovative Methods of Soil fertility Restoration, Carbon Sequestration, & Reversing CO2 Increase, CRC Press, pp.12~13, 20.(2013).
2. 鐘ヶ江秀彦, 2013, 「炭素埋設農法を通じた持続可能な地域開発・亀岡モデル」大貝彰・宮田譲・青木伸一 (編著) 『都市・地域・環境概論 持続可能な社会の創造に向けて』朝倉書店 . 総項数 213
3. 鐘ヶ江秀彦, 「サステナビリティの構築 (気候変動への対応) 災害と都市」周瑋生 (編著) 『サステナビリティ学入門』法律文化社 . 総項 218 項 2013
4. 井上芳恵編 . 2011 . 『炭を使った農業と地域社会の再生』公人の友社 . 総項 131 項

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 出願年月日 :
 国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :

取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

亀岡カーボンマイナス・プロジェクト
<http://www.6minus.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴田 晃 (SHIBATA, Akira)
立命館大学・衣笠総合研究機構・教授
研究者番号：60425006

(2) 研究分担者

井上 芳恵 (INOUE, Yoshie)
龍谷大学・政策学部・准教授
研究者番号：20342412

鳥居 厚志 (TORI, Atsushi)
独立行政法人森林総合研究所・関西支所・
地域研究監
研究者番号：40353784

大槻 知史 (OTSUKI, Tomofumi)
高知大学・地域協働教育学部門・准教授
研究者番号：40399077

高尾 克樹 (TAKAO, Katsuki)
立命館大学・政策科学部・教授
研究者番号：50143681

城月 雅大 (SHIROTSUKI, Masahiro)
名古屋外国語大学・現代国際学部・講師
研究者番号：60532265

富野 暉一郎 (TOMINO, Kiichiro)
龍谷大学・政策学部・教授
研究者番号：70263499

田摩 裕祐 (TANABIKI, Yusuke)
立命館大学・立命館グローバル・イノベー
ション研究機構・研究員
研究者番号：80619065

鐘ヶ江 秀彦 (KANEKAE, Hidehiko)
立命館大学・政策科学部・教授
研究者番号：90302976

藤井 康代 (Fujii, Yasuyo)
京都学園大学・バイオ環境学部・教授
研究者番号：90434662

熊澤 輝一 (KUMAZAWA, Terukazu)
総合地球環境学研究所・研究推進戦略セン
ター・助教
研究者番号：90464239

総合地球環境学研究所・研究推進戦略セン
ター・助教
研究者番号：10700172

大西 学 (Onishi, manabu)
立命館大学・衣笠総合研究機構・客員研究員
研究者番号：00425018
(2012年4月で削除)