

バイオ炭の土壌中への炭素貯留などに関する最近の研究事例の紹介

利用部 バイオマスグループ 本間 千晶

■はじめに

木炭など植物由来の炭化物（バイオ炭）はこれまでも一定の市場を有し、活用されるとともに、その物性や用途開発の研究も進められてきました。伝統的な用途とともに新たな知見を基にした開発事例も報告されています。

一方、海外でのバイオ炭研究も盛んであり、上記のような物性研究とともに気候変動が自然環境に及ぼすリスクと温室効果ガス排出削減との関係において、土壌中への炭素貯留効果に着目されてきました。その影響もあり、バイオ炭の土壌中への炭素貯留が地球温暖化防止に有効なことが国際的に認知されるようになりました。このことにより、バイオ炭利用が国内において環境分野、農業分野、行政等からより注目されるようになり、バイオ炭研究においても大きな転機となりました。

木材、バイオマスの炭化に係る研究を通じ、地球温暖化防止に向け、有用な情報を発信することは北海道の林業・林産業界にも有益であると考えます。そこで今回は日本炭化学会（2022年より木質炭化学会から日本炭化学会に改称）研究発表会およびその特別講演での発表事例を中心に、最近のバイオ炭利用の取組みについて紹介いたします。

■バイオ炭の炭素貯留やJクレジットに関する取組み

まず重要なポイントとして、2019年IPCC（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change（気候変動に関する政府間パネル）：人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年にWMO（世界気象機関）とUNEP（国連環境計画）により設立された組織）京都総会における「農地・草地土壌に埋設されるバイオ炭の土壌炭素ストックへの影響推計のための算定方法」（「バイオ炭」とは、「燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350°C超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物」と定義されています（IPCCガイドラインより））の新規追加があります。これを受け、2020年度「農林水産省環境政策の基本方針」にて、「バイオ炭等の農地への投入、二酸化

炭素固定能が高い樹木育種、ブルーカーボン（海藻等海洋植物による大気中の二酸化炭素の吸収と隔離・固定）の活用等により、農山漁村における炭素隔離・貯留を推進する。」が盛り込まれています。さらに、農水省地球温暖化対策研究戦略「(1)地球温暖化の進行を防止するための技術開発」において、「温室効果ガス循環モデルを充実し、土壌炭素貯留技術、バイオマス利用技術、省エネ技術等の排出削減技術開発を推進する」とうたわれています。

2019年の炭化学会第17回大会において、環境省地球環境局 脱炭素化イノベーション研究調査室室長 大井通博氏（当時）による「気候変動問題への国際的対応と課題」と題した講演において、気候変動が自然環境に及ぼすリスクと温室効果ガス排出削減に向けたこれまでの取組み、2019年IPCC京都総会の概要と成果、特に「農地・草地土壌に埋設されるバイオ炭の土壌炭素ストックへの影響推計のための算定方法」の新規追加などが報告されました。さらに、バイオ炭に関する検討状況として、バイオ炭貯留量の算定について説明されました¹⁾。

また、エコマテリアル・ラボラトリ（明星大学名誉教授）吉澤秀治氏による「バイオ炭の研究動向と進むべき道」と題した講演では、第4回アジア太平洋バイオ炭会議における発表内容などを基に、世界各地でのバイオ炭研究動向が報告されました²⁾。さらにIPCC、環境省においてもバイオ炭の炭素隔離・貯留の温室効果ガス削減に対する有効性が認知されてきていることから、今後の取組みとして、JBA（日本バイオ炭普及会）においてバイオ炭の規格、農地利用の使用例、基準づくりを行うとのことでした。このほかに、バイオ炭の炭素貯留規格化や炭化技術の普及等について「市販タケ炭の化学的特性」³⁾、「備炭炭窯内の温度測定と評価」⁴⁾、「簡易炭焼き窯による活性炭製造について」⁵⁾、「バイオ炭の炭素貯留規格化と施用量の整理」⁶⁾の研究発表が行なわれました。

2020年の第18回炭化学会大会では、農研機構農業環境変動研究センター上級研究員 須藤重人氏による、「バイオ炭普及研究の今と、今後の展望」と題した基調講演が行なわれました⁷⁾。まず、2015年の

パリ協定における温室効果ガス削減に関する合意内容が説明されました。そして、その目標達成に向けた温室効果ガスの削減とネガティブエミッション技術（自然界の二酸化炭素吸収増大や、化学工学的技術による大気中からの二酸化炭素除去に関する技術、例えば広域での植林・森林管理、バイオ炭等の地中埋設など）、バイオ炭による炭素の貯留とその効果、今後のバイオ炭を活用した地球温暖化対策研究の展開について説明されました。明星大学 吉澤らによる「竹林整備での伐採竹の炭化処理によるCO₂発生と竹炭中の炭素隔離に関するLCA」では、自燃式炭化装置で竹炭を製造した場合の、二酸化炭素発生と炭素隔離についてのLCA(ライフサイクルアセスメント)が検討されました⁸⁾。秋田県立大学 栗本らによる「二クロム酸・硫酸混液による木炭及びタケ炭の有機炭素測定」では、有機炭素の評価方法として、乾式燃焼法と湿式酸化法による値の相違について検討されました⁹⁾。中京大学 村瀬らによる「ガス化炉で炭化したもみ殻くん炭」では、もみ殻くん炭の走査電子顕微鏡画像解析、熱分析等による特性評価結果が報告されました¹⁰⁾。

2021年の第19回炭化学会大会では、秋田県立大学教授 栗本氏による特別講演「CDR(二酸化炭素除去技術)としての炭利用 -工業分析値を用いた炭素貯留量の算出-」において、バイオ炭の農地施用による炭素貯留量算出を簡便に行うための規格提案に向け、JIS M8812の工業分析値を用いた検討を行い、有用な知見を見出したことについて報告しました¹¹⁾。明星大学吉澤らによる「もみ殻炭の農地施用による野菜生育促進と炭素貯留 -福島県川俣町での事例-」¹²⁾、立命館大学 金井らによる「もみ殻を原料としたバイオ炭の製炭および施用に伴う温室効果ガス排出量」¹³⁾、明星大学 吉澤らによる「連続炭化装置で製造したもみ殻炭の農地施用による炭素貯留のJクレジット申請」¹⁴⁾、弓削商船高専 森による「備長炭窯内の温度測定と評価-第2報-」¹⁵⁾、紀伊の森 土谷による「紀州備長炭の窯の素材による炭化の差異」¹⁶⁾、の研究発表が行われました。2022年の第20回炭化学会大会にて、林野庁経営課特用林産対策室 室長(当時)塚田直子氏が、Jクレジット制度に言及し、バイオ炭の分野において、環境と収益の両立を期待する旨が述べられました。さらに、農研機構 岸本文紅氏による特別講演「脱炭素に向けたバイオ炭の役割と今後の展望」では、脱炭素に向けたバイオ炭への期待、IPCC 2019年改良ガ

イドラインで、「農地・草地土壌に埋設されるバイオ炭の土壌炭素貯留推計方法」が新規追加されたことの重要性、バイオ炭のJクレジット制度での認証に向けた取り組み、海外の動向と今後の展望について述べられました¹⁷⁾。また、明星大学 吉澤らによる「紙食器(edish)炭の農地施用による野菜生育促進と炭素貯留」¹⁸⁾、立命館大学 金井らによる「もみ殻を原料としたバイオ炭施用および製炭時に発生する熱利用による温室効果ガス削減効果の試算」¹⁹⁾の研究発表が行なわれました。

2023年の第21回炭化学会大会では、立命館大学 土井らによる「バイオ炭プロジェクトのカーボンクレジット算定方法分析」²⁰⁾、立命館大学 沖森による「バイオ炭クレジットの国際市場動向と参入の意義」²¹⁾、明星大学 吉澤らによる「紙食器(edish)炭の果樹圃場施用による炭素貯留」²²⁾、株式会社フジタ 山茂らによる「副生バイオ炭における固定炭素の年変動調査」²³⁾、和歌山工技センター 宮崎らによる「バイオ炭の熱重量分析による炭素貯留量の推定」²⁴⁾、創価大学 村上らによる「ホテイアオイ原料バイオ炭の燃料及び土壌改良材利用におけるライフサイクルアセスメント(LCA)」²⁵⁾の研究発表が行なわれました。

このように、バイオ炭の土壌炭素貯留やその評価方法の検討、バイオ炭の地産地消に向けたLCAの検討、Jクレジット制度での認証に向けた取り組みなど、脱炭素に向けたバイオ炭への期待とともに、バイオ炭の利用や普及に向けた多くの事例が報告されました。

■バイオ炭の土壌改良資材としての利用

バイオ炭を農地に施用した場合、炭素貯留の機能と同時に土壌改良材としての機能、農地から温室効果ガスの発生を抑制する効果が期待されています。それらに関する報告例をご紹介します。

2019年の炭化学会第17回大会において、バイオチャーが土壌改良に及ぼす効果について、創価大学 ロマンらによる「Effects of Chelators and Biochars on Solubility and Fractions of Heavy Metals in an Alkaline Mine contaminated Soil」²⁶⁾、元東邦大学 大森らによる「大気汚染物の硫酸による草木の消滅と木炭による防止」²⁷⁾、創価大学 姫野らによる「有機肥料を原料としたバイオ炭からの栄養塩の溶出評価」²⁸⁾の研究発表が行われました。

2020年の第18回炭化学会大会では、創価大学 姫

野らによる「高栄養バイオマス由来のペレット肥料炭の土壌施用効果」²⁹⁾で、ペレット肥料炭の保肥効果が報告されました。

2021年の第19回炭化学会大会では、鳥取大学教授西原栄治氏による「作物生産としてのバイオ炭の利用」と題した基調講演が行われ、近年報告されたバイオ炭の農地施用効果の事例とともに今後解決すべき課題が述べられました³⁰⁾。そして、創価大学姫野らによる「有機肥料原料のバイオ炭ペレット肥料の施用効果」³¹⁾、摂南大学佐野らによる「ゴルフ芝（高麗芝）へのバイオ炭施用効果」³²⁾、愛媛大学溝手らによる「籾殻炭の施用が温室効果ガスの発生に与える影響」³³⁾、創価大学村上らによる「ホテイアオイ原料バイオ炭の炭団化における添加結着材と有機物の最適化」³⁴⁾、東京大学大平らによる「バイオマスの混焼が籾殻シリカ灰の結晶化に及ぼす影響」³⁵⁾、京都先端大学藤井らによる「炭化温度と竹炭の肥料成分の変動」³⁶⁾、創価大学戸張らによる「酸性化バイオ炭によるカドミウム汚染土壌のファイトレメディエーション」³⁷⁾、福島大学荒らによる「卵殻カルシウム担持もみ殻炭の水中リン吸着性能と評価—速度論と吸着機構解析」³⁸⁾、創価大学小平らによる「異なる金属処理したコーヒー粕由来の機能性バイオ炭による栄養塩吸着性能」³⁹⁾の研究発表が行なわれました。

2022年の第20回炭化学会大会において、摂南大学教授佐野氏による特別講演「炭化物を施用した農地土壌の実態調査と課題」では、バイオ炭の農地施用による利点、適正な炭化物施用量、貯留されている炭素量の推定に関する紹介と共に、その現状と課題について説明されました⁴⁰⁾。創価大学斎藤らによる「ホテイアオイ由来の金属処理バイオ炭を用いたリン酸吸着性能」⁴¹⁾、福島大学平澤らによる「Ca担持もみ殻炭へのリン吸着の速度論的解析」⁴²⁾、創価大学戸張らによる「ホテイアオイ由来機能性バイオ炭による土壌からの硝酸態窒素の溶脱防止効果」⁴³⁾、道総研林産試験場本間らによる「ガス化発電副産物及びその造粒物の吸放湿能」⁴⁴⁾、道総研林産試験場西宮らによる「木質ペレット由来ガス化発電副産物の土壌化学性物理性改善効果」⁴⁵⁾の研究発表が行なわれました。

2023年の第21回炭化学会大会では、北海道大学教

授当真氏による特別講演「バイオ炭の農業利用は本当に地球温暖化を抑制するのか？」が行なわれました⁴⁶⁾。創価大学増渕らによる「異なる酸処理における機能性バイオ炭のエチオピア土壌における団粒形成への影響」⁴⁷⁾、創価大学Kamiuchiらによる「Improving resistance and resilience of soils to hydrological stresses through Improving resistance and resilience of soils to hydrological stresses through biochar application」⁴⁸⁾、創価大学市谷らによる「ホテイアオイ由来金属処理バイオ炭による土壌団粒への影響」⁴⁹⁾、道総研林産試験場西宮らによる「木質ペレット由来ガス化発電副産物の土壌改良効果—チャーの優位性の検証—」⁵⁰⁾、創価大学Yanらによる「Ammonium adsorption capacity of biochar clay composites using water hyacinth as feedstock」⁵¹⁾、創価大学Fentieらによる「Long term effects of locally produced biochar derived from water hyacinth on soil nutrients and bread wheat production in Ethiopia」⁵²⁾、創価大学小平らによる「機能性バイオ炭を用いた土壌からの嫌気性消化液由来窒素の損失低減」⁵³⁾、北海道大学溝手らによる「北海道の小麦畑における籾殻炭の施用がGHG排出に与える影響」⁵⁴⁾、岩崎炭焼き窯普及会岩崎らによる「モウソウチク、マダケなどのイネ科植物白炭のカリウム肥料としての応用」⁵⁵⁾の研究発表が行なわれました。

以上のように、バイオ炭の農地施用による土壌物理性改善効果、温室効果ガス削減効果、硝酸態窒素の溶脱防止効果などの研究事例が報告されました。農地施用は、バイオ炭の機能を農業生産に役立てながら、同時に土壌中への炭素貯留による地球温暖化防止を進めることができる有用な取組みと考えます。大まかではありますが、「2. バイオ炭の炭素貯留やJクレジットに関する取組み」および「3. バイオ炭の土壌改良資材としての利用」で紹介しました研究発表（講演）を、報告された内容ごとに分類しました（表1）。なお、報告内容が複数にまたがるものは、文献番号を複数記載しています。

■おわりに

ここまで説明しましたように、バイオ炭の製造技術や用途開発など従来の研究課題とともに、炭素貯留、Jクレジットなどに関する話題が積極的に議論されるようになりました。これらにより、地球温暖化防止に対するバイオ炭利用の効果がより目に見える形になってきたと思います。

さらに、バイオ炭の機能性を活用した用途開発として、農地利用だけでなく、工業的な利用、環境浄化等様々な利用技術の提案が行なわれております。こちらについては、また別の機会に詳細をご紹介しますと思います。

今回紹介した情報が、地球温暖化防止に向けた取り組みの一助となることを期待いたします。

表1 報告内容毎の研究発表（講演）件数

報告内容	文献番号
木炭	4, 5, 9, 15, 16, 23, 24, 27, 32, 37, 40, 44, 45, 50,
もみ殻炭	10, 12, 13, 14, 19, 24, 33, 35, 38, 42, 54,
竹炭	3, 8, 9, 36, 46, 55
その他のバイオ炭	18, 22, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 34, 39, 41, 43, 47, 48, 49, 51, 52, 53
バイオ炭物性・化学組成	3, 4, 6, 9, 10, 11, 15, 16, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 47,
自燃式炭化技術	4, 5, 14, 15, 16,
炭素貯留	1, 2, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 40,
Jクレジット	13, 14, 17, 20, 21, 22
LCA	8, 13, 14, 19, 20, 25,
温室効果ガス削減	1, 2, 7, 8, 11, 13, 14, 17, 19, 20, 22, 25, 30, 33, 46, 54
施用効果	12, 18, 19, 22, 28, 29, 31, 33, 45, 46, 50, 52, 54
土壌物理化学性	28, 29, 31, 32, 37, 39, 42, 43, 45, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54
阻害低減	26, 27, 37,

参考文献

- 1) 大井:第17回木質炭化学会・日本バイオ炭普及会 合同研究発表会講演要旨集（別冊），5-12(2019)
- 2) 吉澤：同上，13-14(2019)
- 3) 栗本，梶本，小澤，井上，柴田:第17回木質炭化学会・日本バイオ炭普及会、合同研究発表会講演要旨集，46-49(2019)
- 4) 森，半田，渡邊，渡辺：同上，50-51(2019)
- 5) 岩崎，空閑，松本：同上，52-55(2019)

- 6) 沖森，梅澤，井上，木村，吉澤，柴田，岩谷，広若，佐藤，凌：同上，56-57(2019)
- 7) 須藤：第18回木質炭化学会研究発表会講演要旨集，47-49(2020)
- 8) 吉澤，播摩：同上，24-25(2020)
- 9) 栗本，松村，梶本，小澤，井上，柴田：同上，40-41(2020)
- 10) 村瀬，国枝，古田，脇坂，野波：同上，42-45(2020)
- 11) 栗本：第19回木質炭化学会研究発表会講演要旨集，71-73(2021)
- 12) 吉澤，菅野，宮地：同上，64-65(2021)
- 13) 金井，土井，柴田，中野：同上，24-25(2021)
- 14) 吉澤：同上，26-27(2021)
- 15) 森：同上，30-33(2021)
- 16) 土谷：同上，34-35(2021)
- 17) 岸本：第20回日本炭化学会研究発表会講演要旨集，78-84(2022)
- 18) 吉澤，築瀬：同上，41-42(2022)
- 19) 金井，土井，柴田，中野：同上，55-56(2022)
- 20) 土井，柴田，中野：第21回日本炭化学会研究発表会講演要旨集，5-6(2023)
- 21) 沖森：同上，7-8(2023)
- 22) 吉澤，築瀬：同上，9-10(2023)
- 23) 横山，松澤，倉澤，中村，袋：同上，11-12(2023)
- 24) 宮崎，梶本，栗本，柴田：同上，13-14(2023)
- 25) 村上，佐藤：同上，19-20(2023)
- 26) ロマン，佐藤：第17回木質炭化学会・日本バイオ炭普及会 合同研究発表会講演要旨集22-23(2019)
- 27) 大森，岩崎：同上，38-41(2019)
- 28) 姫野，佐藤：同上，42-43(2019)
- 29) 姫野，佐藤：第18回木質炭化学会研究発表会講演要旨集,34-35(2020)
- 30) 西原：第19回木質炭化学会研究発表会講演要旨集，66-67(2021)
- 31) 姫野，佐藤：同上，56-57(2021)
- 32) 佐野，深尾，柴田：同上，58-59(2021)
- 33) 溝手，当真，上野：同上，60-63(2021)
- 34) 村上，佐藤：同上，28-29(2021)
- 35) 大平，斎藤，黒河内：同上，35-37(2021)
- 36) 藤井，岡本，水口：同上，38-39(2021)
- 37) 戸張，佐藤：同上，2-3(2021)

- 38) 荒, 浅田, 大野, 小瀬, 川田 : 同上, 6-7(2021)
- 39) 小平, 佐藤 : 同上, 8-9(2021)
- 40) 佐野 : 第20回日本炭化学会研究発表会講演要旨集, 85-86(2022)
- 41) 齋藤, 佐藤 : 同上, 47-48(2022)
- 42) 平澤, 浅田, 大野, 小瀬, 川田 : 同上, 49-50(2022)
- 43) 戸張, 佐藤 : 同上, 51-52(2022)
- 44) 本間, 西宮, 畑 : 同上, 25-26(2022)
- 45) 西宮, 本間, 畑 : 同上, 29-30(2022)
- 46) 当真 : 第21回日本炭化学会研究発表会講演要旨集, 29-32(2023)
- 47) 増渕, 佐藤 : 同上,33-34(2023)
- 48) Kamiuchi, 佐藤 : 同上,35-36(2023)
- 49) 市谷, 佐藤 : : 同上,37-38(2023)
- 50) 西宮, 本間, 中村 : 同上,39-40(2023)
- 51) Yan, 佐藤 : 同上,41-42(2023)
- 52) Fentie, 佐藤 : 同上,43-44(2023)
- 53) 小平, 佐藤 : 同上,45-46(2023)
- 54) 溝手, 喜島, Ikemefuna, 当真 : 同上,15-18(2023)
- 55) 岩崎, 空閑, 木村 : 同上, 25-28(2023)