

# バイオチャー(炭)で土壌改良 in Africa

日本森林技術協会 (JAFTA)  
相川真一  
aikawas@jافتا.or.jp

## 概要

### 試験の背景と目的

コンゴ民主共和国では、自然林の伐採による薪炭生産や焼畑による農業が営まれており、同国の森林減少・劣化の大きな要因となっています。また、アフリカ大陸のサバンナ地域は人口密度、人口増加率の高いエリアであり、今後の人口増加に伴うエネルギー（薪炭）、食料需要の急増により、さらに多くの森林が失われると予想される状況にあります。

森林減少を抑制しつつ、人口増加に応える薪炭、食料生産を行うためには、過度な利用により環境が劣化しつつある地域を、アグロフォレストリーなどで農林業を組み合わせて持続的に利用していく必要があります。そこで、荒廃の進むサバンナ地域でアグロフォレストリーを行うために、バイオチャーの施用により土壌を改良する技術開発を行いました。

バイオチャーとは、生物資源（バイオマス）を低酸素濃度下で加熱することで得られる炭化物（チャー）です。この資料ではバイオチャーの施用方法、施用による効果、コストについてご紹介します。

### 結果と課題

現地で入手可能な原料から作成したバイオチャーの物理性、化学性を分析し、バイオチャーによる土壌の保水性、保肥力の改善が可能であることが確認できました。

また現地でのアグロフォレストリー試験地により、バイオチャーの施用が土壌の保水性を改善し、一部の樹種の成長や、キャッサバの収穫量を向上させる効果があることを確認しました。

しかし今後の課題として、育成する樹種、作物に合わせた施用を検討する必要があること、効果の持続性についての検証が必要なこと、コスト低減のために施用量や作業システムの改良が必要であること等が認識されました。



植栽試験地へのバイオチャー施用

## 土壌改良の技術が必要です –アグロフォレストリーによる森林保全・食料生産を目指して–

### サバンナ地域の荒廃が進んでいます。…何とかできないの？

焼畑等の移動耕作は、十分な休閑期を設ければ持続可能な土地利用とされるが、コンゴ民主共和国のサバンナ地域では、長年に渡る過度の利用により土地の荒廃が進行しており、ある程度の休閑期においても植生が十分に再生せず、元の植生よりも貧弱な草地のまま休閑地となっている場所が多く見られる。

このような荒廃地は Arenosols と呼ばれる砂質土壌が分布する地域に多く見られ、これらの地域で木本種の定着、成長を阻害する自然的制限要因は、主に土壌有機物が失われたことで栄養塩や、土壌水分の保持能力が低下したことによるものと考えられる。

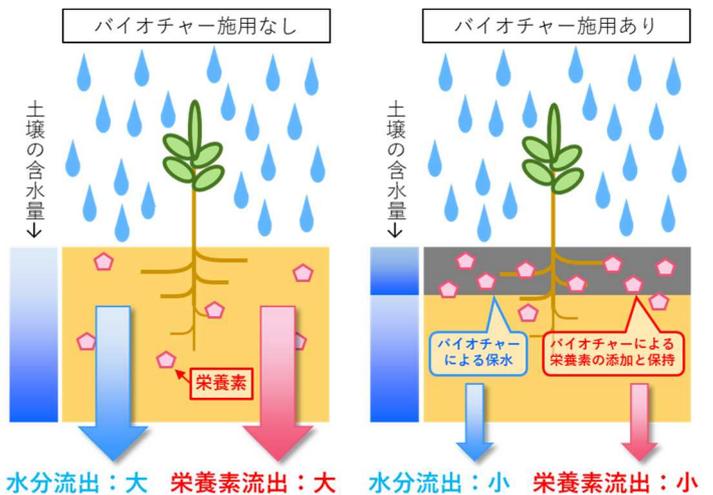
アグロフォレストリーは土地利用サイクルを適正化し、土壌の回復を促しつつ農林業生産を行うことができる、持続可能性の高い土地利用形態である。しかし、貧栄養な砂質土壌でアグロフォレストリーを成立させるためには、土壌の保水性、保肥力を改善することが重要と思われる。



木本種のない草本サバンナの景観

### バイオチャーで土壌の保肥力、保水性を改善する

砂質土壌のサバンナ地域でのアグロフォレストリーを実現するために、我々が着目したのは、バイオチャーによる土壌改良である。現地の砂質土壌の乏しい保肥力、保水力を補うことで、生産性の向上が可能になると考えた。



## 開発者の着眼

焼畑は現地で一般的に用いられている耕作技術ですが、耕作を2年程度行った後は休閑地に戻されており、焼畑による土壌改良効果はごく短期で失われるようでした。そこで、より長期間に渡って効果を発揮することを期待してバイオチャーの利用を考えました。

土壌中でバイオチャーは長期に渡って残存することが知られており、IPCCの2019年改良ガイドラインでは、600℃以上で炭化した木炭の100年後の炭素残存率は89%となっています。

また焼畑による草木灰の施用が農業生産を増加させることは、現地でもよく知られているため、植物性原料を炭化させたバイオチャー（同じような原料で、焼き方を変えたもの）の施用は現地の農民にとって理解しやすく、受け入れやすい技術になるだろうとの期待もありました。

## 技術開発の意義

FAOの世界森林資源評価2020によれば、アフリカは2010～2020年にかけて世界で最も森林減少の大きい地域となっています。国別でもコンゴ民主共和国は、ブラジルについて世界第2位の森林減少面積を示しています。

また、国連の推計による同国の人口増加については、2050年には2020年比で約2.2倍、2100年には約4.0倍の人口となる見通しが示されており、人口とともに増加する燃料、食料需要を満たす手段を講じなければ、森林減少がさらに加速することは確実な情勢です。

バイオチャーを活用したアグロフォレストリーにより持続可能な土地利用で燃料、食料生産を行うことは、地域住民の生活を守り、森林減少を抑制し、炭素貯留によるCO<sub>2</sub>削減も期待できる、非常に多くのメリットのある取り組みです。

## どんなバイオチャーで、どのような土壌改良が可能なのか？

### バイオチャーの原料、焼き加減による効果の違いは？

バイオチャーの性質は、原料や焼き加減によって異なる。原料による違いとしては、一般に動物系のバイオマス（家畜排泄物等）はリン等の栄養塩に富み、植物系のバイオマス（木材、農業残渣等）は孔隙の多いバイオチャーとなる。焼き加減については、炭化度の低いバイオチャー（半炭）の方が保肥力（陽イオン交換容量：CEC）は高く、炭化度の高いバイオチャー（炭）は保水性が高い（孔隙量が大きい）傾向にある。

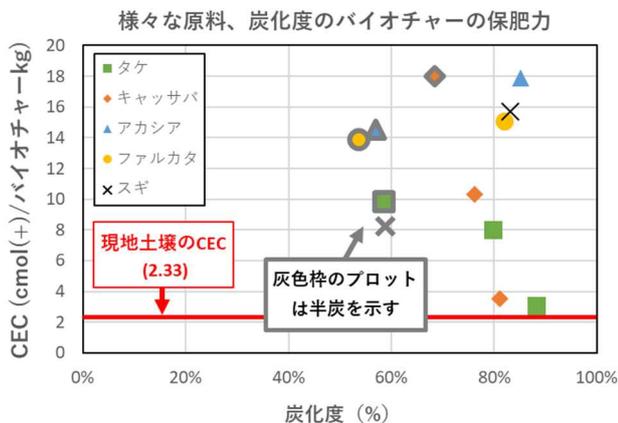
どのような土壌改良を目的として、どのようなバイオチャーを施用するのか、対象地の状況や植栽する樹木、栽培する作物に合わせたバイオチャーの利用を検討する必要がある。



### バイオチャーの化学性～保肥力への効果

保肥力の指標となる陽イオン交換容量（CEC）は、多くの原料、焼き加減（炭化度）のバイオチャーで現地土壌よりも高い値を示した。このことから、バイオチャーの施用は土壌の保肥力の改善に役立つものと考えられる。

これらのバイオチャーを 2.0kg/m<sup>2</sup> 施用した場合、現地土壌表層（0～10cm）の保肥力を、2～11%向上させることができる。



### 原料と焼き加減で変わるバイオチャーの性質

本試験及び既存の文献資料から整理した、バイオチャーの原料、焼き加減によるメリット○、デメリット×は、下表のとおりである。

	原料かさ密度小	原料かさ密度大
<b>半炭 (低炭化度)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○保肥力が高い</li> <li>○保水性が高い</li> <li>○原料あたりの効果高い</li> <li>○土壌中での分解が遅い</li> <li>△pH は酸性</li> <li>×大量生産技術がない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○保肥力が高い</li> <li>△保水性はあまり高くない</li> <li>○原料あたりの効果高い</li> <li>○土壌中での分解が遅い</li> <li>△pH は酸性</li> <li>×大量生産技術がない</li> <li>×燃料需要と競合</li> </ul>
<b>炭 (高炭化度)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△保肥力は低い場合あり</li> <li>○保水性が高い</li> <li>◎分解が非常に遅い</li> <li>△pH はアルカリ性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△保肥力は低い場合あり</li> <li>△保水性はあまり高くない</li> <li>◎分解が非常に遅い</li> <li>△pH はアルカリ性</li> <li>×燃料需要と競合</li> </ul>

これらの原料や焼き加減により性質の異なるバイオチャーを、目的に合わせて利用することが肝要です。

### 未利用資源を活用する！



現地において、家庭燃料等に利用されているバイオマス資源をバイオチャーの原料とした場合、既存の利用ニーズとの競合が発生します。そういった競合を避けるため、現地で未利用の資源を利用できれば好都合です。

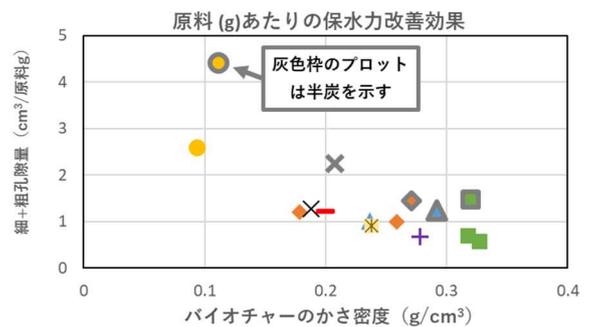
本試験では、コンゴ民主共和国サバナ地域で入手可能な未利用バイオマス資源として、タケ、キャッサバ茎、トモロコシ芯、オイルパームの幹・葉柄を収集、炭化し、土壌改良材としての性能を比較しました。

### バイオチャーの物理性～保水力への効果

バイオチャーは多孔質な構造を持ち、その微細な孔隙に水を保持する事ができる。保水力の指標となる細孔隙量+粗孔隙量は多くの原料、かさ密度のバイオチャーで現地土壌よりも著しく高い値を示した。

これらのバイオチャーを 2.0kg/m<sup>2</sup> 施用した場合、現地土壌表層（0～10cm）の保水力を、9～49%向上させることができる。

また、かさ密度の低いバイオチャーの方が保水力は高いが、原料 1g あたりの保水性改善効果は炭よりも半炭で大きくなった。



### 草木灰と木炭（バイオチャー）の違いとは？

焼畑により土壌に添加される草木灰と、木炭（バイオチャー）の性質はどのような点が異なるのでしょうか？

草木灰の pH はアルカリ性です。カリウム、カルシウム、リン等を多く含有することが知られていますが、その含有量は原料によりバラツキがあります。

木炭の pH は低炭化度では酸性、高炭化度ではアルカリ性となります。栄養塩の含有量は原料により異なり、特に低炭化度では保肥力の向上を期待できます。草木灰と異なり多孔質の構造を保持しているため、保水性の向上も期待することができます。

## バイオチャー施用の方法とその効果 ～植栽木への効果～

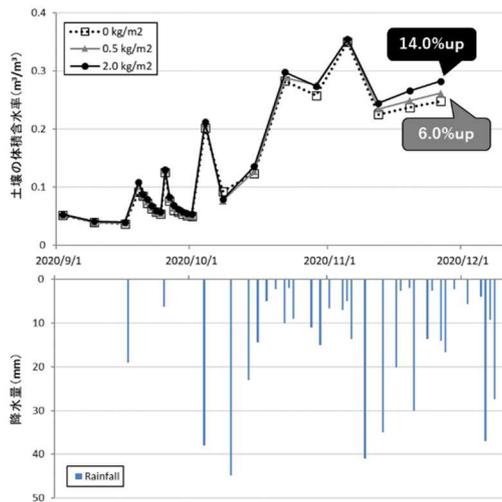
### -バイオチャーの施用方法

- 現地のアグロフォレストリー試験地では、雨期の初めにバイオチャーを施用した。
- バイオチャーは、現地で入手が容易なアカシアの木炭（炭化度：約 91%）を使用し、粉碎して土壌表層にすき込んだ。
- 施用量は無施用を含めて 3 段階（0kg/m<sup>2</sup>、0.5kg/m<sup>2</sup>、2.0kg/m<sup>2</sup>）とし、施用量による効果の違いを検証した。



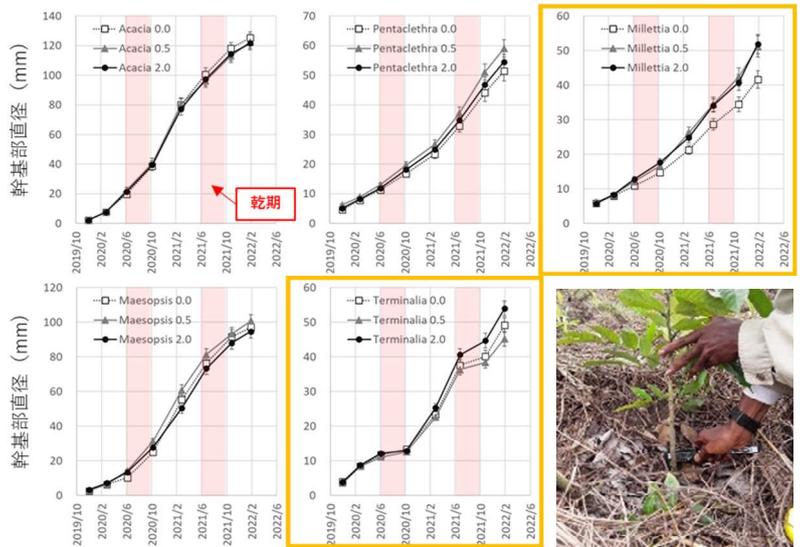
### -土壌保水性への効果

- バイオチャー施用区画で、**土壌含水率が上昇**した。  
0.5kg/m<sup>2</sup> 施用区：無施用区より 6.0% 上昇  
2.0kg/m<sup>2</sup> 施用区：無施用区より 14.0% 上昇



### -植栽木の成長（幹の直径成長）への効果

- バイオチャー施用区画で**成長が増加する樹種がみられた**（Millettia、Terminalia）。
- 成長に違いが見られない樹種もみられた（Acacia など）。



### Acacia mangium

- マメ科
- 窒素固定を行う
- 貧栄養土壌でも育つ
- 現地で、造林事例有り（コントロールとして選択）
- 用途：薪炭材



### Pentaclethra eetveldeana

- マメ科
- 窒素固定を行う
- 貧栄養土壌でも育つ
- 用途：食用イモムシ採取



### Millettia laurentii

- マメ科
- 窒素固定を行う
- 熱帯雨林～木本サバナに分布
- **肥沃で、湿った土壌を好む**
- 用途：高級木材



→成長にバイオチャーの効果あり

### Maesopsis eminii

- クロウメモドキ科
- 4ヶ月までの乾期に耐える
- 土壌が深く、肥沃で湿った砂質壤土を好む
- 用途：建材、薪炭材



### Terminalia superba

- シクンシ科
- 4ヶ月の乾期がある地域に分布
- **砂質土壌では、長い乾期は苦手**
- **根は浅い**
- 用途：家具、薪炭材



→成長にバイオチャーの効果あり

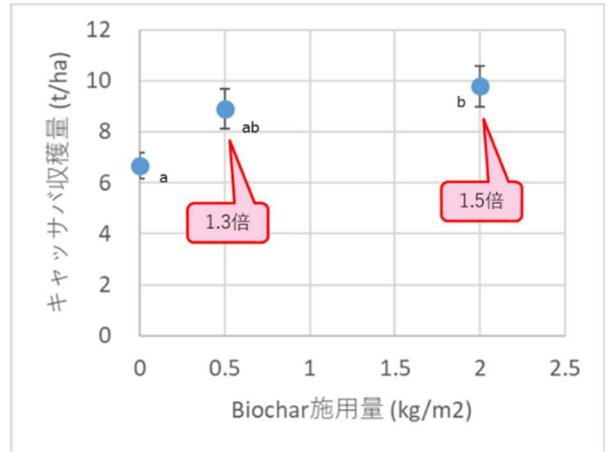
### 何故これらの樹種を選んだか？

植栽樹種の選定にあたっては、現地で利用ニーズがあることを重視しました。アカシアは新炭生産のためにサバナ地域でも植林されていますが、人口密度の低い地方ではニーズが縮小します。そのため、薪炭以外の用途で利用される樹種も含めて、多様な樹種を選定しました。

# バイオチャー施用の方法とその効果 ～農作物への効果～

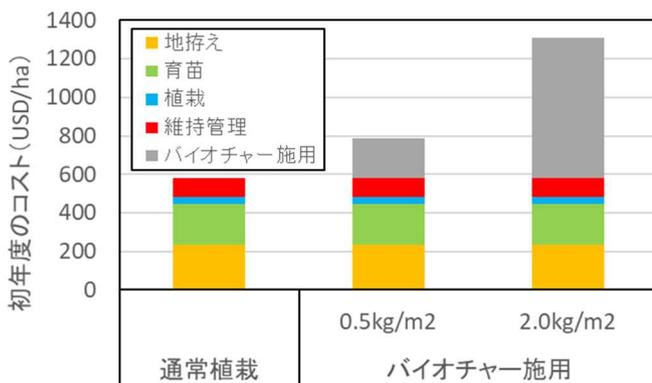
## -キャッサバの収穫量への効果

- バイオチャー施用区画では、**キャッサバの収穫量が大きく増加**した。1 回あたり **343USD/ha (施用量 0.5kg/m<sup>2</sup>)**、**484USD/ha (施用量 2.0kg/m<sup>2</sup>)** の**収入増**につながる。
- アグロフォレストリー1 サイクルで、アカシアの植栽区では、キャッサバの耕作は 1 回のみ (樹冠が閉鎖するため)、その他の樹種の植栽区では、2 回の耕作が可能となる。



## 技術適用のためのコスト

- バイオチャーの施用を行うことで、通常の植栽と比較して、**206USD/ha (施用量 0.5kg/m<sup>2</sup>)**、**727USD/ha (施用量 2.0kg/m<sup>2</sup>)** の**コストが増加**する。
- 施用量 0.5kg/m<sup>2</sup> ではキャッサバ収穫 1 回、2.0kg/m<sup>2</sup> ではキャッサバ収穫 2 回目以降 (上記の収入増が持続する場合) で通常植栽よりも利益が大きくなる。



## コスト低減のための課題は？

バイオチャーの施用を行うことで増加するコストは、①原料バイオマスの収集、②炭焼き、③粉砕、④施用の 4 項目です。

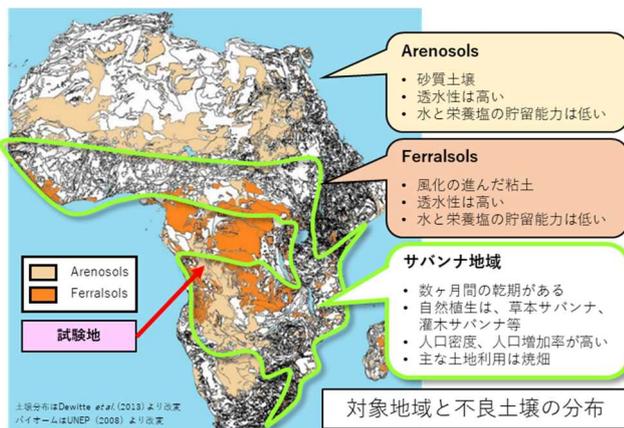
これらのコストを低減するためには、

- ①収集：今回の試算ではバイオチャー施用コストの 65%を占めます。生活の中で自然に集まる原料 (トウモロコシ芯、キャッサバ茎など) を利用することで、コストを削減できます。
- ②炭焼き：日常生活の一部として燃料生産のための炭焼きは行われているため、そのついでに土壤改良用のバイオチャーも作成できるといでしょう。
- ③粉砕：施用コストの 23%を占めます。多量のバイオチャー粉砕は、人力では辛いので、チップパーや車両の利用等、何らかの機械化を検討する必要があります。
- ④施用：地拵えのついでに行うような、一貫作業システムで作業を行えば、手間を減らすことができそうです。

また、左記のとおり、施用量を最小限とすること、効果の持続時間の長いバイオチャーを用いることも非常に重要です。

## 他地域への適用可能性・課題

この試験は、不良土壌 (Arenosols) の分布するサバンナ地域での土壤改良技術を開発するために実施しました。現地には、もう一つ Ferralsols という不良土壌が広く分布しています。Ferralsols も保水力、保肥力が低い土壌であるため、バイオチャーによる土壤改良が可能と期待できます。



ただし、バイオチャーの施用にあたっては、以下の点に留意が必要です。

- **土壌や、栽培する植物の特徴に合わせて**、改良すべき土壌の性質を検討
- 調達可能な未利用バイオマス資源から**最適な原料を選定**する
- **目的に合わせた焼き加減、施用量**を検討

## バイオチャー施用のさらなる可能性

近年、土壌へのバイオチャーの施用は、本試験の目的である「生産性向上のための土壌改良」以外の用途においても世界的な注目を集めています。

炭素隔離、すなわち温暖化対策として土壌にバイオチャーを添加することが認められ、その算定方法が 2019 年改良 IPCC ガイドラインに記載されたためです。

バイオチャーの施用は、近年の森林減少が著しいコンゴ民主共和国あるいはアフリカ大陸のサバンナ地域において、温暖化対策としての効果も期待できます。