

コンゴ民主共和国サバンナ地域におけるbio-char を利用した土壌改良及び造林技術の開発

日本森林技術協会 相川 真一



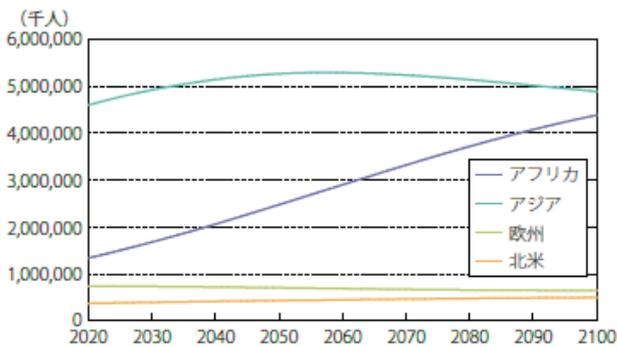
背景



2

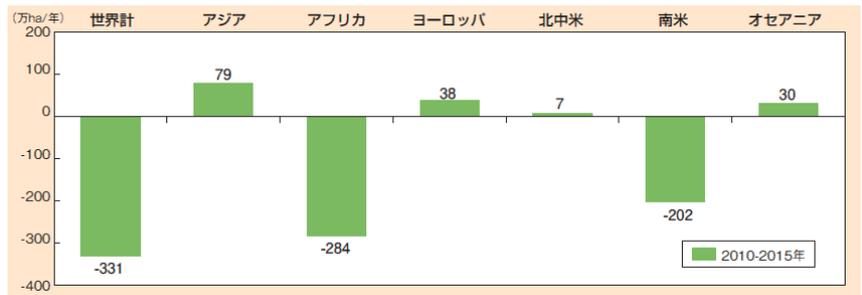
□ 現状

- アフリカ大陸の人口増加は、2100年までの世界の人口増加の主要因となる（左図）。
- アフリカ大陸では、焼畑や燃料用木材の採取により多くの森林が失われており（右図）、今後の人口増加に伴う食料、エネルギー（薪炭）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。



資料：UNPD「World Population Prospect」から作成。（経済産業省）

世界の人口推移

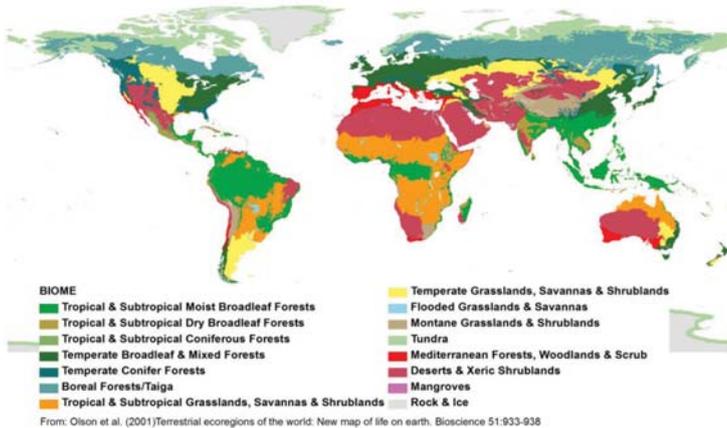


資料：FAO「世界森林資源評価2015」から作成（林野庁）

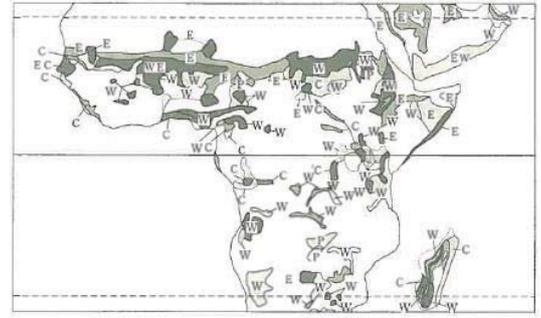
世界の森林面積の地域別純増減

□ 現状

- アフリカ大陸のバイオームはサバンナが広い面積を占める（左図）。
- それらの地域では樹林帯を中心に焼畑による耕作が行われているが、土壌の劣化（右図）により森林が再生せず、耕作放棄される土地も多く見られる。



世界のバイオーム



	軽微	中度	強度	合計	比率 (%)	備考
熱帯アフリカ (総面積2500)	48.9	57.3	87.0	193.2	46.4	
W: 水による侵食	75	75.9	7.6	158.5	38.1	
E: 風による侵食	24.5	20.1	6.7	51.1	12.3	
C: 化学的劣化	1.4	7.5	4.8	13.7	3.2	90%は養分損失。次いで塩類化
P: 物理的劣化						すべてアラスト形成と緊密化
合計				416.5	100	

資料：熱帯土壌学（久馬、2001）

熱帯アフリカの人為的土壌劣化

□ 解決すべき社会的課題

- コンゴ共和国のサバンナ地域において、今後の森林減少を抑制しつつ、人口増加に耐える食料、エネルギー（薪炭）生産を行うためには、過去の過度な利用により土壌が劣化した**荒廃地を再生**し、生産林として用いる必要がある。
- 現在、一部の大都市に近いエリアでは薪炭用のアカシア植林が行われているが、都市圏から離れた薪炭需要が小さいエリアにおいては、その**地域のニーズに合った樹種**について植林技術の開発が必要である。
- 森林造成時の数年間は作物の間作を行う**アグロフォレストリー**により収入を確保するのが一般的なので、その体系に組み込める技術が望まれる。

そこで本提案では、放棄された荒廃地において**森林の再生を妨げる土壌条件を改良**し、現地での利用のニーズはあるが、造林技術がない**在来樹種による森林の再生を可能とする**技術の開発を試みる。

➤ また、本提案の波及効果として、**残存林の保全による森林減少の抑制**、**薪炭用アカシア林における生産性の向上**、**農業への波及**等の効果が期待される。

- ・砂質土壌
- ・透水性は高い
- ・水と栄養塩の貯留能力は低い

World reference base for soil resources 2014, Update 2015 (FAO)

□ 解決すべき技術的課題

対象地域は、保水力、保肥力が低い不良土壌（Arenosols）の分布域であり、過度の利用により土壌は疲弊している。また、乾期の水利用についても制限要因となっている可能性が高く、

- **保水性の低い土壌**
- **貧栄養かつ保肥力の低い土壌**

といった劣悪な土壌条件の改良により、植林の成功率を高めることが可能と考えられる。

□ 本事業で取組む技術

- 本提案では、難分解性の土壌改良資材である **biochar** を **全面施用** することにより、**土壌を改良し、植林の樹種の生育を高める** 技術を開発する。
- 近年その効果が注目される **トレファクション（半炭化）** による **樹木の生育促進効果を検証** するため、**現地におけるbiochar** の製造及び施用を試験し、効果を確認する。
- 現地で **利用ニーズの高い在来樹種** を対象として試験を行い、**biochar適用樹種を探索し、技術の拡大** を目指す。

提案技術によって解決される課題と期待される効果（仮説）

Biocharによる土壌改良の効果

- ・ **土壌の保肥力の向上**
- ・ **土壌の保水性の向上**
- ・ 団粒構造の形成促進
- ・ 土壌微生物のすみかの提供
- ・ 土壌pHを上昇（酸性土壌の矯正）



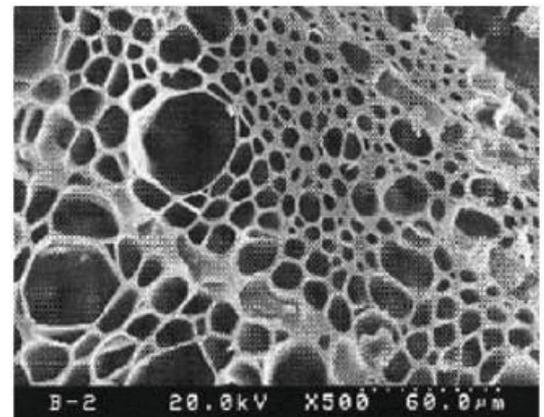
- 現地の土壌で問題となる **土壌化学性の大部分を改良可能** と期待される
- 施肥として試験地造成（刈払い、耕耘）の際に発生する植物残渣のすき込みを行う。
- 現地では植林の際に、農作物の作付けも行う **アグロフォレスト** トリーが一般的であり、農業生産の向上も期待できる

- 木炭の土壌改良効果は、微細な空隙を持つ構造（図6）に由来
- 土中での木炭の分解は非常に遅く、1300-4000年との研究例もある（Hunt *et al.* 2010）

→長期的に継続する土壌改良効果が見込めるのではないかと？

現地の土壌の問題

- ・ 保水性が低い
- ・ 貧栄養、保肥力が低い



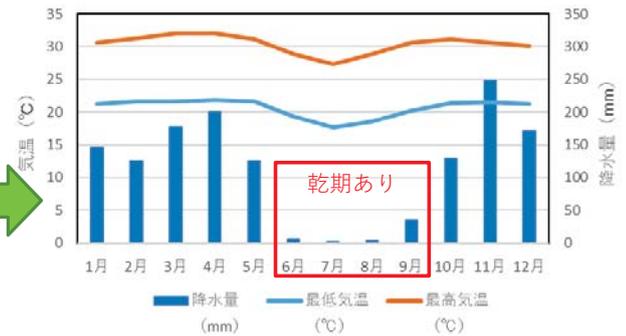
資料：Khan *et al.* (2008)

図6 木炭のSEM画像

試験対象地

7

- 地域名 : キンシャサ州 バテケ高原 イビ村
- 降水量 : 約1,500 mm/年 (4~5ヶ月の乾期あり)
- 平均気温 : 24~25度
- 周辺植生 : サバンナ植生



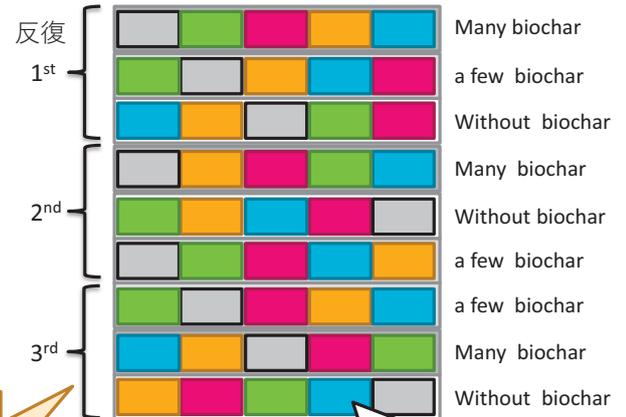
試験対象地 位置図



試験設計 (処理区的设计) 及び報告内容

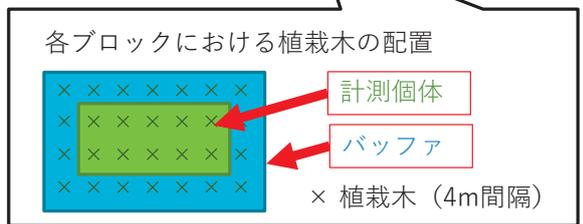
8

処理タイプ	処理数	備考
biocharの施用	3	無・少 (0.5 kg/m ²) ・多 (2.0 kg/m ²) biocharの施用水準は、乾燥重量割合で0.39%、1.54%に相当。 ※既存の研究例では0.5%~5%が多い (岩田ら、2014)
樹種	5	5種 (在来4種・外来種 <i>A. mangium</i>)
反復数	3	3 (各処理3反復×10個体)
計	45	biochar×種数×反復



- 植栽樹種**
- *Acacia mangium* (マメ科)
 - *Pentaclethra eetveldiana* (マメ科)
 - *Millettia laurentii* (マメ科)
 - *Maesopsis eminii* (クワメドキ科)
 - *Terminalia superba* (シクンシ科)

試験区サイズ
 縦 : 144m
 横 : 140m
 面積 : 2.02 ha



試験設計 (試験樹種1/2)

Acacia mangium



- ・マメ科 (外来種)
- ・非常に成長が早い先駆種
- ・窒素固定を行う
- ・貧栄養土壌、酸性土壌でも育つ
- ・現地で、造林の成功事例有り
- ・用途：薪炭材

Pentaclethra eetveldeana



- ・マメ科 (在来種)
- ・成長が速い先駆種
- ・窒素固定を行う
- ・用途：食用イモムシ採取

Millettia laurentii



- ・マメ科 (在来種)
- ・成長が速い先駆種
- ・窒素固定を行う
- ・用途：高級木材

試験設計 (試験樹種2/2)

Maesopsis eminii



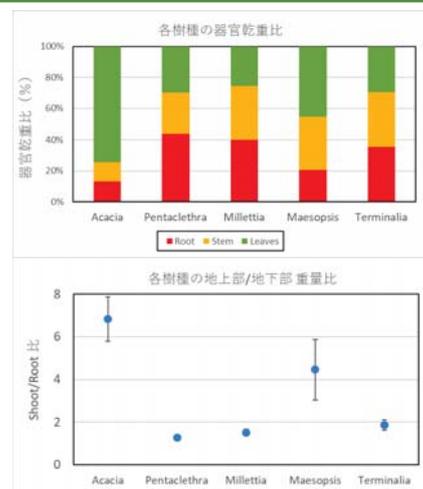
- ・クロウメモドキ科 (在来種)
- ・成長が速い先駆種
- ・森林再生に利用される
- ・用途：建材、薪炭材

Terminalia superba



- ・シクンシ科
- ・在来種
- ・成長が速い先駆種
- ・用途：家具、薪炭材

植栽苗の器官乾重比



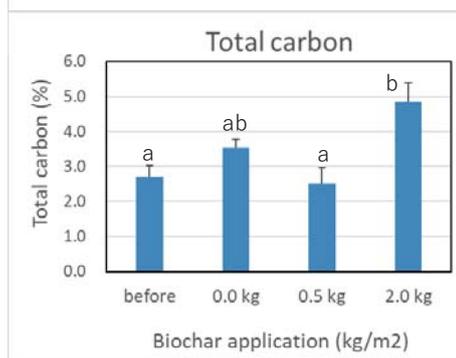
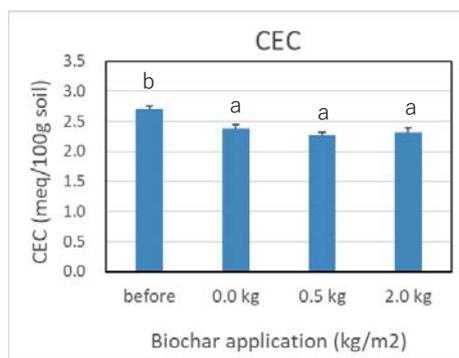
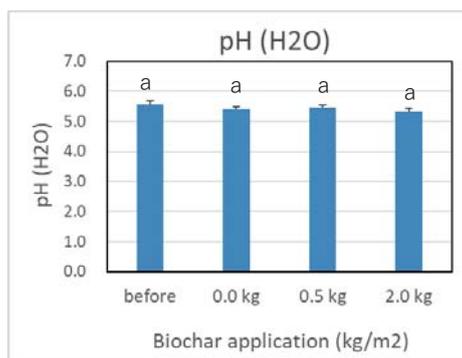
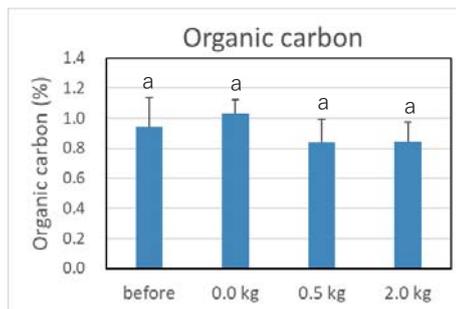
- ・Acaciaは葉の重量比が大きい
- ・Acacia、MaesopsisはShoot/Root比が大きい

試験区の土壌環境_1. 土壌化学性

11

試験区の土壌環境（試験地造成前 vs. 造成後）

- pH (H₂O)、有機炭素量は、処理の影響なし
- CEC (陽イオン交換容量) は、耕起により減少、biocharの影響なし
 - pH、CECは**biochar施用で上昇する想定**⇒サンプルの問題？
 - 大粒径の木炭（2mm以上が88%）は分析から弾かれた可能性あり
- 全炭素量（有機炭素+biochar）は、2.0 kg/m² 施用区で**有意に増加**



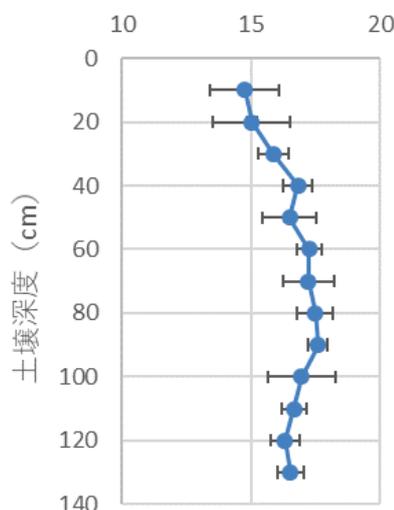
試験区の土壌環境_2. 土壌プロファイル

12

試験区の土壌プロファイル



硬度指数 (mm)



各深度における土壌の化学性

	pH (H ₂ O)	ECe値 (μS/cm)	有機物炭素 (%)	全窒素 (%)	可給態リン (ppm)	Ca ⁺⁺ (meq/100g)	Mg ⁺⁺ (meq/100g)	K ⁺
20cm	5.6	2.4	1.10	0.049	9.37	0.13	0.22	0.058
50cm	5.8	2.2	1.32	0.049	8.88	0.10	0.22	0.034
100cm	5.1	3.0	0.65	0.049	8.90	0.15	0.21	0.069

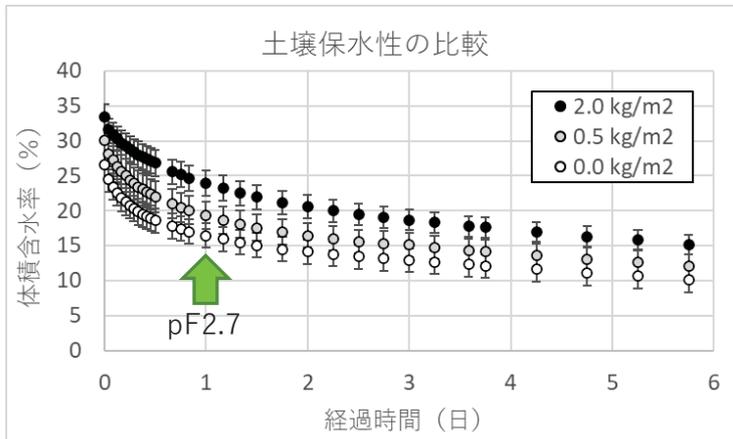
- 土壌断面は、0~40cmは暗褐色で根が多く、60cm以深は黄褐色で根がほとんどない
- 土壌硬度は、耕起された0~20cmまでは比較的柔らかく、それ以降の深度では大きな変化がない
- 土壌の化学性については、全体的に20cmと50cmには大きな違いがなく、100cmでは有機物炭素量が少ない

深度ごとの土壌硬度

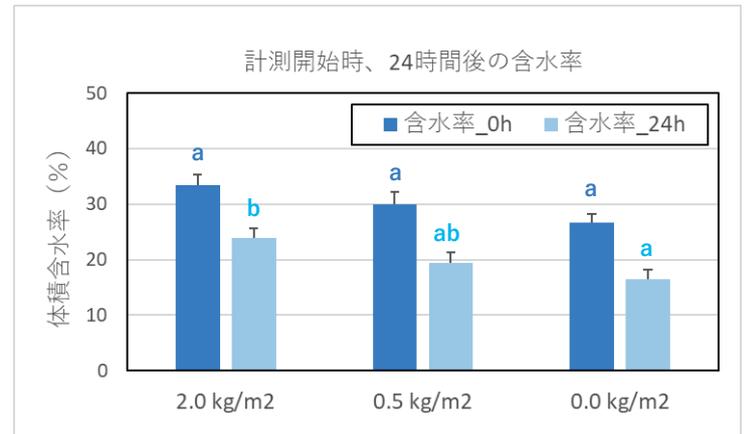
biochar施用による土壌保水性の変化（素焼き板法による測定）

- biochar施用により、**容水量が増加**する
- biochar施用により、脱水が遅くなる（**保水性が向上**）

↓アルファベットは各時間における処理間の比較（0h vs. 24hではない）



↑24時間後までの含水率の減少は、2.0kg/m²で遅くなる

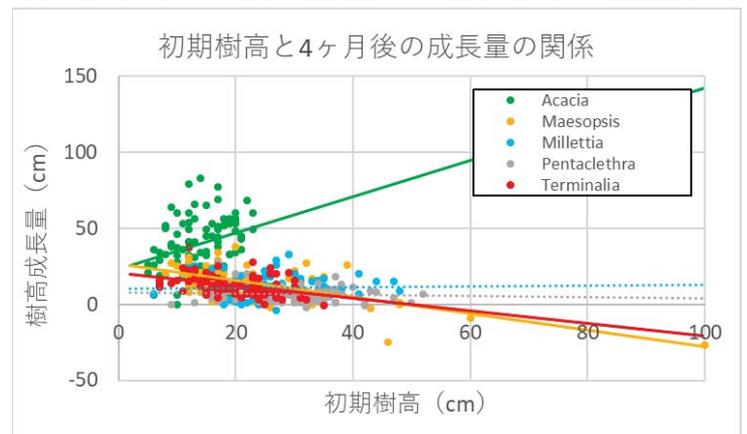
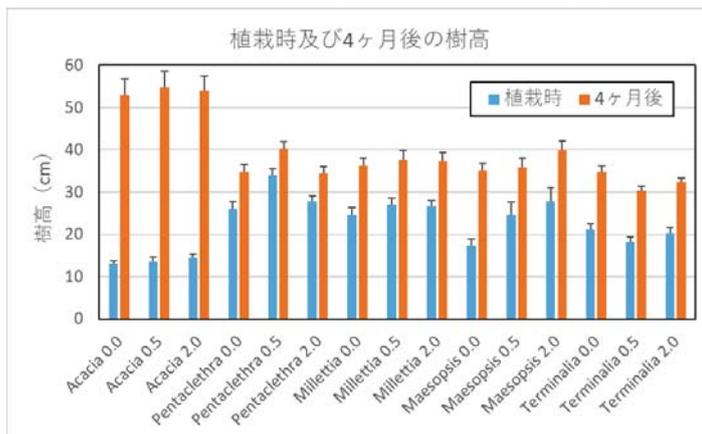


↑24時間後の含水率は、2.0kg/m²で有意に高い

植栽木の追跡調査_1. 樹高成長

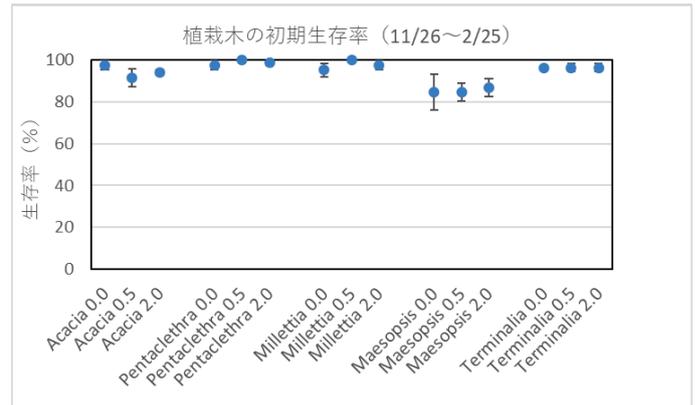
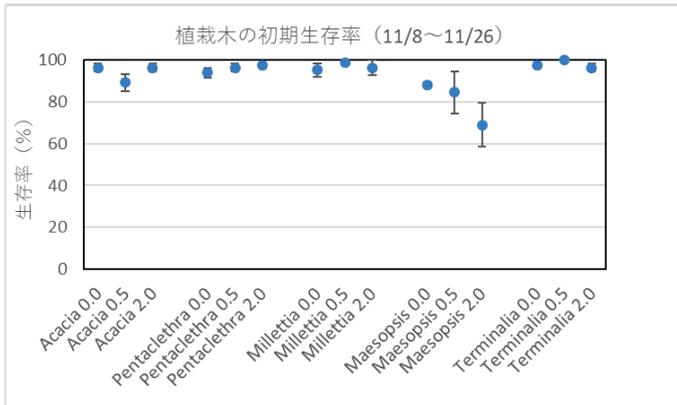
植栽木の追跡調査（樹高、基部直径、SPAD値）

- 植栽直後、植栽4ヶ月後に各個体の樹高、基部直径、葉のSPAD値（1回目のみ）を測定
 - Acaciaは他の在来種と比較して、樹高成長量が著しく大きい
 - 樹高成長量への効果は、樹種、初期サイズ、樹種×初期サイズの交互作用が有意となった
 - Biocharの施用による影響は、現時点では有意でなかった
 - Acaciaは初期樹高と成長に**正の相関**、非マメ科の在来2種では**負の相関**、マメ科在来2種は**無相関**



植栽木の初期生存率

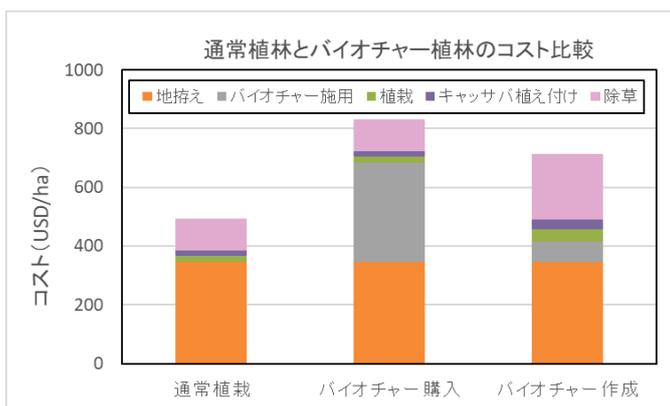
- 植栽から約半月後の生存率は、Maesopsisが顕著に低かった
 - 根系が貧弱なことが影響したものと思われる
- 再植実施後、3ヶ月後までの生存率についても、Maesopsisが顕著に低かった
- それ以外の在来樹種については、現時点では高い生存率を示している



作業コスト

作業コスト

- biocharを購入して施用した場合、作成して施用した場合の作業コストを通常植林と比較した
 - biochar (木炭) を購入した場合と、1巡目の植栽木から自作した場合を想定
 - 購入した場合の作業コストは、通常植林の1.7倍となった
 - 作成した場合の作業コストは、通常植林の1.4倍となった



購入した木炭を施用する想定
 通常植栽 + 木炭購入費 + 木炭粉砕費 + 木炭すき込み費用
 (施用量: 2.0kg/m²)

植林1巡目にアカシアを植栽し、そこから得た木炭を施用して、2巡目の植栽で目的樹種を植える想定
 通常植栽2回分 + 炭焼き費 + 木炭粉砕費 + 木炭すき込み費用
 植林を2巡させるため、植栽費、キャッサバ植え付け費、除草費は2回分計上した

植林コスト (USD/ha) の比較

作業項目	通常植栽	バイオチャー購入	バイオチャー作成
地拵え	345.5	345.5	345.5
バイオチャー施用	0.0	337.0	68.6
植栽	21.1	21.1	42.1
キャッサバ植え付け	17.7	17.7	35.3
除草	110.5	110.5	221.0
計	494.8	831.7	712.6

□ 半炭化biocharの試作

- biocharの効果は、原料や焼成温度によって変化する
 - アカシア、灌木、タケを用いて半炭化biocharの試作を行った
 - 半炭化biocharの収量は、焼いた炭の**2~10%**程度
 - 通常biocharと半炭化biocharの化学性は来年度分析予定
- 現地で調達可能なバイオマスから最適な原料を探索



原料	炭化温度 (°C)	水分保持能力	栄養塩保持能力
ウッドチップ	400	適	適
	600	適	
	800	適	
タケ	400	適	適
	600	適	
	800	適	
もみから	400		適
	600		
	800		

資料：Kameyama *et al.* (2017)より改変

原料・生成温度による効果の違い

まとめ

□ biocharの効果

- 保水性→**biochar施用による土壌保水性の向上を確認**
- 保肥力→**biochar施用による効果は確認できず**
 - サンプル、分析方法の問題？
 - 来年度、再分析を行う
- 植栽木の生存、成長→ **現時点（植栽後4ヶ月）ではbiochar施用による効果は確認できず**
 - 来年度も、追跡調査を継続
 - 6月から植栽後、初めての乾期を迎えるため、生存率等に差が出る可能性あり

□ コスト

- 現時点の想定→biochar施用により**作業コストは1.4~1.7倍**になる
 - 収益増まで加味した検討が必要
 - 低コスト化の検討

□ 原料、焼成温度の検討

- アカシア、灌木、竹で半炭化biocharの試作を行った
 - 来年度は、他の原料についても検討し、化学性の分析も実施する