

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K07851

研究課題名(和文) エチオピアで植栽されるアカシア類の共生微生物の解明とアグロフォレストリーへの応用

研究課題名(英文) The elucidation of microbes colonized by Acacia species in Ethiopia and application to agroforestry.

研究代表者

香山 雅純 (Kayama, Masazumi)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：60435584

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、エチオピア北部のティグライ州の主要樹種であるアカシア類と主要作物を同所に育成し、アカシア類の成長促進と作物の収量増加を目指すアグロフォレストリーの技術の確立を目的とした。

アカシア類の共生菌類の調査結果より、Acacia salignaのみアーバスキュラー菌根菌と根粒菌の根粒を確認したことから、本種の苗木をティグライ州の試験地に平成30年に植栽した。令和元年にコムギ・オオムギ・ガラスマメの種子を播種し、栽培を行った結果、ガラスマメの地上部バイオマスはA. salignaの植栽密度と正の相関を示し、アカシアの根と共生している根粒菌の働きによる窒素の増加の関与が推察された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アカシア類を用いたアグロフォレストリーは、一般にマメ科作物とアカシア類とで根粒菌の種が異なることから開発が進まなかった。しかし、Acacia salignaには多種多様な根粒菌が感染しており、アグロフォレストリーに利用可能と予想されていた。今回の試験では、Acacia salignaの植栽後に同所でガラスマメを栽培することで両種に共生可能な根粒菌がガラスマメに感染し、ガラスマメの成長が促進されたと推察された。このような研究成果は過去の研究で報告されていないことから新規性があり、現地の主要作物であるマメの収量を、A. salignaの先行植栽によって増加させる技術に発展できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research was an establishment of agroforestry technology to promote the growth of acacias and increase the yield of crops by cultivation of same place in Tigray region located in northern Ethiopia.

We investigated the microorganisms, which made a symbiosis with roots of several acacias in 2017. We observed the symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungi and nodules of rhizobium for Acacia saligna, and its seedlings were planted on the field of Tigray region in 2018. We cultivated wheat, barley and grass pea in 2019, and dry mass of aboveground organ of grass pea showed positive correlation with tree density of A. saligna. This trend might be concerned with the increase of nitrogen by symbiosis of rhizobium of A. saligna.

研究分野：樹木生理生態学

キーワード：緑化 アグロフォレストリー アーバスキュラー菌根菌 根粒菌 アカシア

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

アフリカ東部に位置するエチオピア北部のティグライ州では、半乾燥地域の低木林が広範囲に分布し、*Acacia etbaica* を始めとするアカシア類が優占する。低木林の地域では年間降水量が 800 mm を下回り、短い雨季と長い乾季を持つのが特徴である。その一方で、雨季の間の降水による土壌の侵食も深刻であり、農地も土壌侵食の影響を受けやすい。土壌侵食を防止するために、*Acacia etbaica* などの苗木も植栽されてきたが、長い乾季の影響を受けて枯死しやすいのが現状である。

苗木の枯死を防ぐためには、苗木を確実に活着させる必要がある。*Acacia etbaica* は根にアーバスキュラー菌根菌と根粒菌が共生しており、苗木の活着にも重要な役割を果たしている。アーバスキュラー菌根菌を *Acacia etbaica* に接種すると、リンなどの養分の吸収は促進され、光合成速度は増加した。このことから *Acacia etbaica* と微生物との共生関係を強化できれば、苗木の成長を促進し、根系を発達させることで土壌侵食の防止にも役立つと期待される。

また、*Acacia etbaica* の低木林には農地も点在することから、樹木の植栽と作物の栽培を同時に行うアグロフォレストリーを行うことで、作物の収量も増加すると期待される。アカシア類を用いたアグロフォレストリーでは、ティグライ州にも分布する *Faidherbia albida* や、オーストラリア原産でエチオピアにも植栽される *Acacia saligna* を植栽してイネ科作物 (ソルガムやオオムギ) を栽培した例が存在する。これらの作物はアーバスキュラー菌根菌が感染することから、アカシア類にも同じ菌根菌が感染し、相乗効果が得られる可能性が示唆される。一方、アカシア類と共生する根粒菌を利用したマメ科作物のアグロフォレストリーについては報告例が少なく、*Faidherbia albida* を用いたラッカセイの栽培程度しか報告されていない。この原因としては、根粒菌は種特異性が高く、アカシア類と栽培作物の根粒菌の種が異なることが多いためである。しかし、*Acacia saligna* には多種多様な根粒菌が感染しているとの報告もあり、マメ科作物のアグロフォレストリーにも応用が可能ではないかと推測されている。

### 2. 研究の目的

本研究では、エチオピア、ティグライ州に生育するアカシア類の樹木と共生菌類との相互作用を解明し、アカシア類の確実な活着と成長促進技術と、アカシア類の植栽を応用したアグロフォレストリーを確立することを目的とした。まず、アカシア類の根に共生するアーバスキュラー菌根菌と根粒菌の感染状態を調査し、アグロフォレストリーに用いる樹木としての適合性を検証した。そして、適合性の高いアカシア類を植栽した試験地を設定し、エチオピアで栽培されているイネ科とマメ科の作物を圃場で育成する。さらに、アカシア類の確実な活着と成長促進を目指す技術として、共生微生物と親和性の高い炭を利用した植栽試験を行い、炭の効果も検証した。

### 3. 研究の方法

まず、エチオピア、ティグライ州に分布するアカシア類に共生する微生物について予備的な調査を 2017 年に行なった。対象樹種はアカシア類 4 種 (*Acacia etbaica*, *A. saligna*, *A. abyssinica*, *Faidherbia albida*) とし、アーバスキュラー菌根菌と根粒の観察を行った。アーバスキュラー菌根菌の感染率は各樹種とも 80 % を越え、菌根菌との高い共生関係を有していた。一方、根粒菌については、*A. saligna* では根粒を確認できたが、他の樹種においては確認できなかった。以上のことから *A. saligna* はアーバスキュラー菌根菌と根粒菌の明確な共生が確認されたことから、本種をアグロフォレストリーの試験に利用した。

アグロフォレストリーの試験地は Kilde Awulaelo 郡 Kihen 村の公共地に 21 m × 15 m の試験地を設定した。試験地は周囲を家畜の侵入を防ぐために有刺鉄線を用いた柵で囲んだ。その後、試験地全体について耕起を行った。耕起後、2018 年 7 月に *A. saligna* の苗木を 6 区画に合計 80 本植栽した。2019 年には 6 区画においてコムギ・オオムギ・ガラスマメの栽培試験を行い、区画間で収量などのデータを比較した。6 区画の試験地については 2019 年 5 月に耕起を行い、7 月に 3 作物の種子を 6 区画それぞれに播種した。播種した種子の重量は、1 区画につきそれぞれ 500g である。

さらに、炭の効果を検証するためのアカシア類の植栽試験も行った。ティグライ州内のメケレ大学の苗畑にて、郷土樹種である *Acacia etbaica* と *Faidherbia albida* の苗木を育成した。また、メケレ市内のマーケットで *A. etbaica* 製の木炭を入手し、粒径 1cm 以下に粉碎した。2017 年 7 月にメケレ大学の圃場に 24 m × 22 m の試験地を設定した。そして、炭を添加する処理区を 2 区画、添加しない対照区を 2 区画設定した。この 4 区画に 1m 間隔で穴 (30 cm × 30 cm, 深さ 30 cm) を 20 箇所掘り、*A. etbaica* と *F. albida* の苗木を合計各 40 本植栽した。炭処理区では苗木 1 本につき 1kg 炭を添加して植栽した。植栽後は樹高と根元直径の測定を定期的に行っ

た。また、試験開始時に土壌のサンプリングを行い、化学分析を行った。植栽試験は2018年9月まで行い、試験終了後は器官の乾重量測定と共生菌の感染状況の観察、及び葉と根に含まれる元素濃度の分析を行った。

#### 4. 研究成果

2018年に植栽した *A. saligna* の苗は、その後の乾季に一部が枯死し、ほとんど生存していないブロックも存在した。2019年に実施した作物の栽培試験は、いずれの作物も収穫できず、コムギはほとんど成長しなかったが、オオムギとガラスマメの地上部は残存していたため、2019年11月に地上部を刈り取り、バイオマスを測定した。ガラスマメの地上部バイオマスは *A. saligna* の本数密度には正の相関があり、特に *A. saligna* の本数密度が高いブロックではガラスマメの地上部バイオマスが大きかった (図1)。このことから、*A. saligna* の植栽によって土壌中の養分、特に窒素濃度が増加し、ガラスマメのバイオマスが増加した可能性が高い。オオムギについても同様の傾向はあったが、統計的に有意な相関ではなかった。

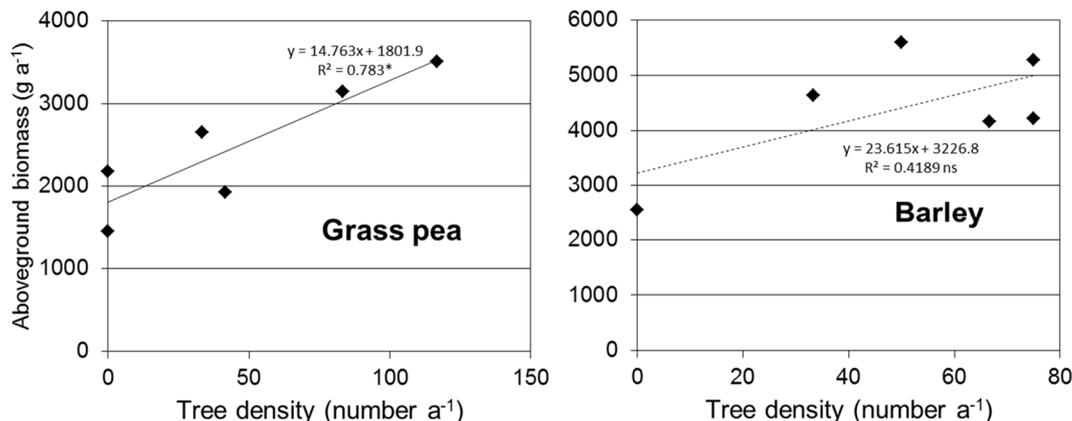


図1 *A. saligna* の本数密度に対するガラスマメ (左図)、オオムギ (右図) の地上部バイオマスの関係。*A. saligna* の本数密度とガラスマメのバイオマスとの関係において有意な正の相関を示した ( $P < 0.05$ )。

アカシア類の植栽に対する炭の添加効果を検証した植栽試験では、炭の添加によって増加した土壌中の元素濃度はなかった。植栽から14ヶ月に後における *A. etbaica* の生存率は、対照区は90%であったのに対し、炭添加区では動物 (*Lepus habessinicus* の可能性が高い) による被害を受けた区画があり60%と低くなった。同時期における *F. albida* の生存率は、対照区は45%であったのに対し炭添加区では65%となり、炭添加によって増加した。植栽から14ヶ月の苗木の乾重量については、*A. etbaica* の葉の乾重量と *F. albida* の葉と根の乾重量は増加した (図2)。共生微生物については、アーバスキュラー菌根菌の感染は炭の添加にかかわらず観察したすべての根において感染が認められたが、根粒は確認できなかった。

植物体中の元素濃度の分析の結果、*F. albida* は葉内窒素濃度と、葉内・根内カリウム濃度において炭添加区で有意に増加した (図3)。一方、*A. etbaica* については炭添加によって有意に増加した元素濃度はなかった。このことから、元素濃度だけでなく、葉全体に含まれる元素の総量 (元素濃度 × 器官の乾重量) についても検討した。その結果、*A. etbaica* の葉内元素量については窒素・リン・カルシウム・マグネシウムにおいて炭添加区で増加した (図4)。*A. etbaica* の根内元素量についてもカルシウムにおいて炭添加区で増加した。*F. albida* については、葉内・根内の元素量がマグネシウムを除く4元素について炭添加区で有意に増加した。

これらの結果から、*A. etbaica* と *F. albida* は炭の添加によって養分の吸収が促進され (図3, 4)、実験終了時における乾重量の増加に関与したと考えられた (図2)。このような結果が得られた原因については、炭は空隙率が高いことから養分の保持能力の増加に関与すると報告されており、植栽した苗木は炭によって保持された養分を効果的に吸収できたと考えられる。また、*F. albida* については炭の添加によって乾季による枯死が低下し、苗木の生存率が増加したことから、苗木の活着にも効果があると考えられる。炭と共生菌の関係については、アーバスキュラー菌根菌の感染率は両処理区において100%に近い値で、炭の添加していない対照区において菌根菌の感染率が高かったため、添加効果を確認できなかった。一方、根粒菌については根粒を観察できなかったが、*F. albida* の葉内窒素濃度は炭の添加で増加した (図3)。根粒菌は根粒の形成がなくても *F. albida* の根に感染していることがあり、炭の添加によって根粒菌の窒素固定能力は促進される。このことから、*F. albida* は炭の添加によって根粒菌の窒素固定に関する活性

が増加したと推察される。

以上の結果より、共生微生物と親和性の高い炭はアカシア類、特に *F. albida* の苗木における活着と成長促進を増加させることが植栽試験で明らかになった。

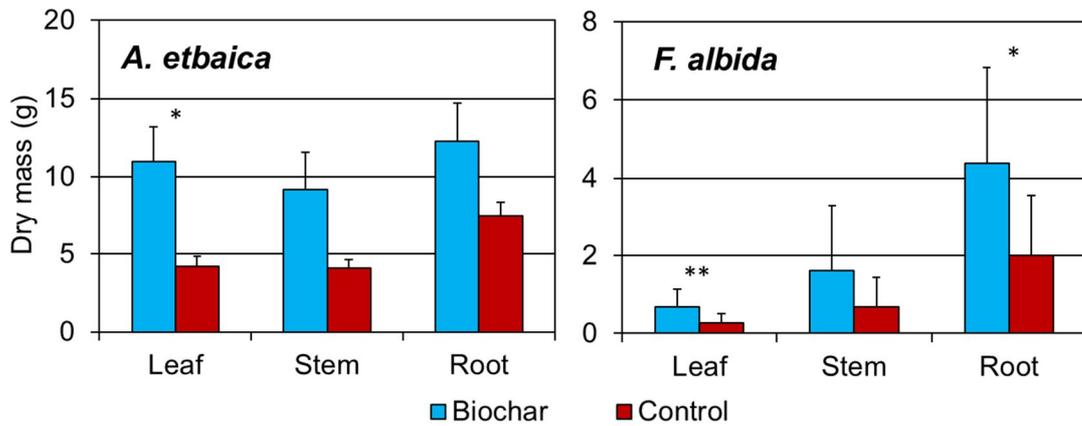


図2 アカシア類苗2種における各器官の乾重量に対する炭の添加効果 (2018年9月)。

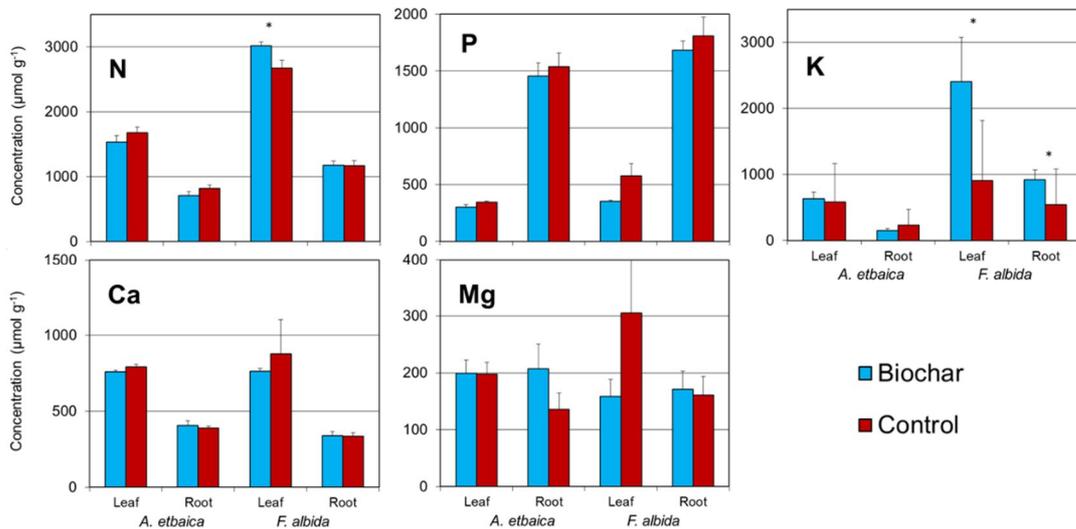


図3 アカシア類苗2種における葉内・根内元素濃度に対する炭の添加効果 (2018年9月)。

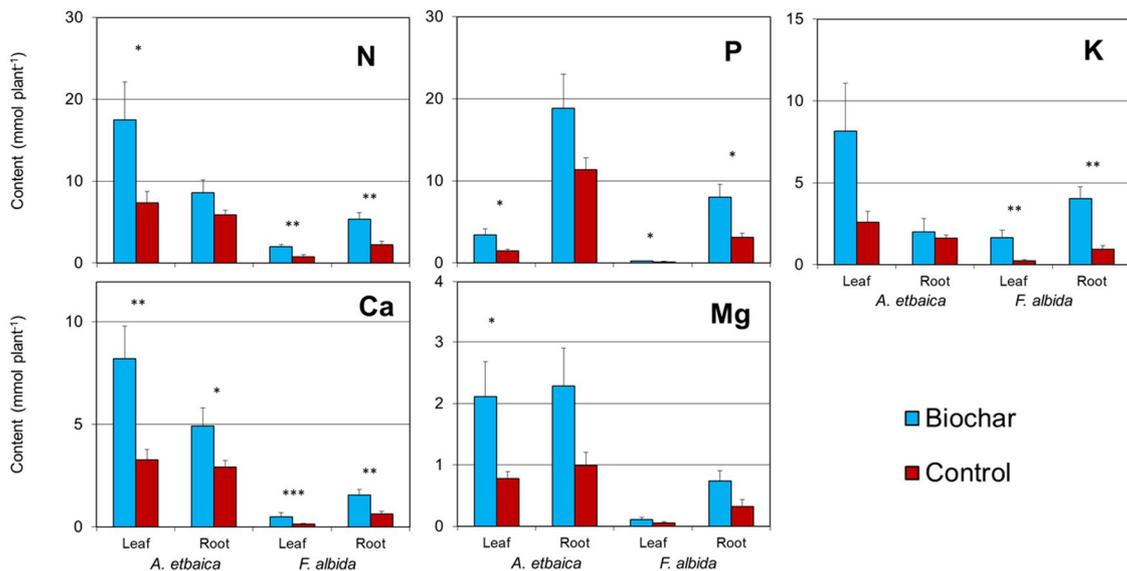


図4 アカシア類苗2種における葉内・根内総元素量に対する炭の添加効果 (2018年9月)。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Kayama, M., Takenaka, K., Abebe, B., Birhane, E.	4. 巻 45
2. 論文標題 Effects of biochar on the growth of <i>Olea europaea</i> subsp. <i>cuspidata</i> and <i>Dodonaea angustifolia</i> planted in Tigray, northern Ethiopia.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本緑化工学会誌	6. 最初と最後の頁 115-120
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 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Kayama, M., Abebe, B., Birhane, E.	4. 巻 55
2. 論文標題 Effects of biochar on the growth of <i>Vachellia etbaica</i> and <i>Faidherbia albida</i> planted in Tigray, northern Ethiopia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japan Agricultural Research Quarterly	6. 最初と最後の頁 -
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 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kayama, M., Takenaka, K., Koda, K., Sakai, T., Oniki, S., Hirata, M., Ogawa R., Abebe, B., Girmay, G., Berha, M., Gebreanenia, B., Birhane, E.
2. 発表標題 The conservation of the forest of <i>Acacia etbaica</i> located in Tigray region, northern Ethiopia for the sustainable utilization.
3. 学会等名 XXV IUFRO World Congress Forest Research and Cooperation for Sustainable Development（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香山雅純, 酒井徹, Abebe, B., Birhane, E.
2. 発表標題 エチオピア北部、ティグライ州に生育する <i>Acacia etbaica</i> の成長に関わる立地要因.
3. 学会等名 第67回日本生態学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 香山雅純、竹中浩一、Buruh Abebe、Emiru Birhane
2. 発表標題 エチオピア北部に植栽した樹木の炭の添加効果
3. 学会等名 関東森林学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香山雅純、竹中浩一、Buruh Abebe、Emiru Birhane
2. 発表標題 エチオピア北部に植栽したアカシア類の植栽における炭の添加効果
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

エチオピアで植栽されるアカシア類の共生微生物の解明とアグロフォレストリーへの応用 <a href="https://www.ffpri.affrc.go.jp/ipo/jointresearch/biseibutsu/index.html">https://www.ffpri.affrc.go.jp/ipo/jointresearch/biseibutsu/index.html</a>
---

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	大和 政秀  (Yamato Masahide)  (00571788)	千葉大学・教育学部・教授    (12501)	

6. 研究組織（つづき）

	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	内海 俊樹  (Uchiumi Toshiki)  (20193881)	鹿児島大学・理工学域理学系・教授    (17701)	

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			
エチオピア	メケレ大学			