

林野庁補助事業

途上国森林再生技術普及事業

令和3年度報告書

令和4年 3 月

公益財団法人 国際緑化推進センター (JIFPRO)

目次

要約	1
Summary	6
1 背景・目的及び事業の進め方	11
1.1 背景・目的	11
1.2 事業の進め方	12
2 既存の森林再生技術の整理・分析及びデータベース	15
2.1 森林再生技術テクニカルノートの構造	15
2.2 森林再生テクニカルノートの英語版	23
3 熱帯乾燥林における M-StAR 長根苗を用いた森林再生技術開発	25
3.1 実証する森林再生技術の背景と課題	25
3.2 本試験の目的	26
3.3 試験地の概要	27
3.4 試験の方法	28
3.5 試験結果	34
3.6 当該技術の普及に向けたコスト試算	52
3.7 試験対象国における技術普及説明会	53
3.8 実証試験の総括と今後の展開	53
3.9 成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況	54
3.10 参考文献	54
4 高吸水性高分子材（SAP）を用いた半乾燥地における植林技術開発	56
4.1 SAP に保水された水分の土壌物理学的な有効性評価	56
4.2 苗木ポット試験による SAP 保水材の有効性評価	67
4.3 当該技術の普及に向けたコスト試算	74
4.4 試験対象国における技術普及説明会	74
4.5 成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況	75
4.6 参考文献	75
5 保育ブロック工法を用いた緑化の技術開発	76
5.1 実証する森林再生技術の整理・分析	76
5.2 試験の目的及び計画	78
5.3 試験地の概況	81
5.4 試験方法	86
5.5 試験結果	92
5.6 沖積草原土でのモニタリング	101
5.7 当該技術の普及に向けたコスト試算	102
5.8 試験対象国における技術普及説明会	105
5.9 実証試験の総括と今後の展開	105

5.10	成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況	108
5.11	参考文献	109
6	Biochar を利用した土壌改良及び造林技術の開発	110
6.1	実証する森林再生技術の整理・分析	110
6.2	本試験の目的	112
6.3	試験地の概況	112
6.4	試験の方法	118
6.5	試験結果	126
6.6	保水性試験②、化学性分析②と植栽試験①、②の結果から示唆されること	137
6.7	当該技術の普及に向けたコスト試算	137
6.8	試験対象国における技術普及説明会	140
6.9	実証試験の総括と今後の展開	141
6.10	成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況	141
6.11	参考文献	141
7	マングローブ再生ガイドブックの作成	144
7.1	マングローブ再生ガイドブックの趣旨・目的	144
7.2	マングローブ再生ガイドブックの表紙及び著者一覧	145
7.3	マングローブ再生ガイドブックの目次一覧	145
8	森林再生技術普及セミナー（ワークショップ）	147
8.1	開催概要	147
8.2	各講演の概要	148
8.3	アンケート結果の分析	150
9	委員会での検討結果	155
9.1	第1回委員会	155
9.2	第2回委員会	163
9.3	第3回委員会	170
10	添付資料	179
10.1	森林再生技術普及セミナー（ワークショップ） 公開資料	179
10.2	最終成果物（実証試験とりまとめ） 公開資料	200

要約

国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会合で採択された「パリ協定」において、温室効果ガスの人為的な排出と吸収の均衡を今世紀後半に達成することが掲げられ、植林による炭素固定の重要性が高まってきている。新たに植林を実施するためにはそのための土地が必要となるが、気候や土壌条件に恵まれた地域・土地は農地として食糧生産のために優先的に利用されている。したがって、新たな植林の対象地域・土地は、途上国の農・牧畜等によって著しい土壌劣化が進行した荒廃放棄地や降水の少なさのために植生回復が難しい乾燥林地域、逆に過剰な水分等が問題となる湿地林やマングローブ域等に限られることになる。

本事業では、こうした制限のかかった地域・土地（以下、まとめて「荒廃地」とする。）で植林を実施し成功させるために、従来の関連技術を整理・体系化すると同時に、期待できる植林関連技術を新たに探索・抽出し、その実証を通じて現地に適用可能な技術として確立・普及することを目的としている。

1. 既存の森林再生技術の整理・分析

荒廃地での森林再生を行う上での主要な制限要因である乾燥、過湿、強酸性、火災、病虫害等毎に、それら各要因に付随する具体的な問題点とそれが顕著に見られる地域を特定したうえで、既存の森林再生技術の情報を収集・整理した。これらの技術情報については、文献調査を行うと共に、当該技術を適用した経験を有する団体等へのヒアリング等を通じて得られる情報を加え、現地適用に際し利便性の高い技術情報として整理した。

2. 途上国森林再生技術データベース(森林再生テクニカルノート)の構築

途上国における森林再生に関心のある民間企業・NGO 等への情報提供を目的として、「途上国森林再生技術データベース(森林再生テクニカルノート)」を構築し、植林技術を「技術集」としてまとめ、ウェブ上で公開している。毎年コンテンツの増強をはかっているところだが、令和3年度は、制限要因毎に植林に適した代表的造林樹種、約 40 種を紹介した。

3. 実証試験の実施

本事業において整理・分析する森林再生技術の中には、比較的新規性が高く森林再生技術として有望かつ広範な適用・応用が可能な技術が含まれている。それらの技術については、実証試験を通して想定される課題の解決策を明らかにし、技術的にもコスト的にも現場適用性を担保した技術として確立することとする。尚、実証試験は事業実施主体である国際緑化推進センター（JIFPRO）だけでなく、本事業の中で有効な技術を民間企業等から公募し、その適用可能性について分析したうえで、効果的な森林の再生に大きく貢献すると見込まれる技術については、それを提案したものに実証試験を委託した。

令和3年度に実施した主な事業内容は以下の通りである。森林再生の対象地となる荒廃地の中でも特に面積が大きく、温暖化防止や貧困削減の観点からポテンシャルとインパクトが大きい「乾燥林地域」にて3件の実証試験を行い、この他にも「貧栄養地」での実証試験を行った。また、令和3年度から新たに、マングローブ再生に関する既存文献を基にガイドブックを作成した。

実証試験①	M-StAR 長根苗を用いた森林再生技術開発		
試験実施者	国際緑化推進センター (JIFPRO)	対象地	ケニア半乾燥地
試験概要	ミャンマー等の熱帯乾燥地での従来の植林方法は、厳しい乾季前に根系発達を促すために、①大穴を掘り、②乾季になると灌水等もするため、植栽コストが高くなりがちである。また、③植栽時期が雨季初期に限られているため、農繁期と植栽のタイミングが重なりやすいといった課題もある。そこで、乾燥地での従来法に代わる植林技術として、通常よりも深めの容器で育苗した「長根苗」の技術開発を行った。乾燥地でも土壌深層には常時水が残っているため、長根苗により植栽後の土壌深層への素早い根の発達を促せれば、上記①～③の課題解決になると考えた。 本試験では、長根苗の育苗容器として、日本人が開発した M-StAR コンテナを使用した。M-StAR はシートを丸めて容器にしているため、苗が簡単に取り出せ、かつ容器も再利用でき低コストでできるためである。 2017～2020 年はミャンマー中央乾燥地にて長根苗の育苗方法や植栽後の効果について明らかにした。2021 年は長根苗技術の適用地域を広げるため、ケニア乾燥地の造林樹種 25 種を用いて、「長根苗ができる樹種のスクリーニング」を行った。 育苗して約 5 か月間の時点で、23 樹種の根が深さ 60 cm の長根苗コンテナの深さ 40cm 以上まで、そのうち 15 樹種は底(深さ 60 cm)まで到達しており、ほぼ全樹種で長根苗が育苗できそうなことが分かった。ただし、根鉢が上から下まで(深さ 0-60 cm)までしっかりと形成されたのは数種だけで、他の樹種については根鉢が固くなるまで、更に育苗する必要があることが分かった。引き続き育苗を続け、根鉢が固くなるまでの必要な育苗期間を各樹種で特定する予定である。		

実証試験②	高吸水性高分子材(SAP)を用いた半乾燥地における植林技術の開発		
試験実施者	国際緑化推進センター (JIFPRO)	対象地	国内試験
試験概要	土壌保水材としての SAP の特性や効果を科学的な検証はあまり行われておらず、その利用も進んでいない現状がある。 【SAP 中の水の土壌物理学的手法による有効性評価】 SAP に吸収された水の植物に対する有効性を評価したところ、SAP は排水されやすい水分を土壌にとどめ、高いポテンシャルの(pF の低い)水分を多く含むため 7 割以上が易有効水と分類できた。 【ポット試験による SAP 添加生育培地が苗木初期成長に及ぼす影響】 スギとヒノキのコンテナ苗を植栽したところ、スギ苗木の発根量、葉の展開量は SAP		

	を添加したポットの方が無添加より有意に多く SAP は苗木の活着率を高める効果が期待された。 【SAP 添加生育培地が乾燥条件下における苗木の生存期間に及ぼす影響】 上記の苗木ポットの灌水を停止し、枯死までの日数、その間の蒸発散量等を測定した。スギの場合、SAP 添加量が 0.2% 以上の場合、枯死までの生存期間日数は有意に延びた。一方、ヒノキは同様の傾向が認められたものの有意差はなかった。 【まとめ】 SAP の施用は乾燥による苗木の枯死リスクを低くしたり、灌水頻度を減らして管理コスト削減したりする効果が期待できる。ただし、土壌の種類や植栽樹種によって保水効果や反応が異なるので、植林の現場でそれらの効果を確認してから使用計画を作成することが望ましい。
--	---

実証試験③	保育ブロック工法を用いた緑化技術開発		
試験実施者	応用地質株式会社	対象地	ウズベキスタン砂漠地帯
試験概要	保育ブロックは土・粘土・堆肥等を基材とした円筒形の土壌ブロックであり、育苗時に空中根切りを行うことにより、山出し時に根が物理的に切断されることがないので、植栽後には、直根が水分条件の良い地中深くまで早期に伸長できる。また、同じく空中根切りを行うコンテナ苗等と比較すると、保育ブロック苗は根の周りに水分を含んだ円筒形の土塊が付いているため、乾燥地に植栽した場合、その土塊が緩衝材となり、苗木への乾燥ストレスが軽減される。このため、乾燥地等の厳しい環境条件下での植林に保育ブロック苗を用いることで、植栽初期の生残率の向上や成長の促進が期待される。本試験では、ウズベキスタン共和国アングレンの荒廃山地において <i>Fraxinus</i>（トネリコ属）の保育ブロック苗を植栽し、世界各国で使用されているポット苗と生残率や生長量を比較した。（1）ポット苗、保育ブロック苗ともに 90% 以上の生残率を得た。また、樹高の増加量も約 25cm と違いがなく、保育ブロック苗による生残率の向上や初期生長の促進は認められなかった。（2）一方で、植栽 2 年後の根の平均伸長量は、ポット苗が約 51cm、保育ブロック苗が約 61~65cm であり、保育ブロック苗の根がより深くまで伸長していた。このことから、保育ブロック苗の使用により、早期により深くまで根を伸ばすことができる可能性が示された。（3）植栽コストの試算では、従来の大苗植栽は 1 本あたり約 719 円以上、保育ブロック苗は 1 本あたり約 335 円となり、費用を抑えることができる結果となった。 乾燥地等の厳しい環境条件における植林に際しては、植栽初期の生残率の向上、成長の促進、並びに、植林コスト及び労力の低減が期待される保育ブロック苗の使用が有効であると考えられる。今後、保育ブロック苗を普及するにあたっては、適用可能な環境条件の確認、さらに保水剤や団粒化剤等との併用による適用範囲の拡大についても考慮が必要である。		

実証試験④	Biochar を利用した土壌改良及び造林技術の開発		
試験実施者	日本森林技術協会	対象地	コンゴ民主共和国サバンナ地域
試験概要	コンゴ民主共和国のサバンナ地域では、長年に渡る森林伐採や焼畑により、土壌の保肥力(CEC)や保水性が低い荒廃地がひろがっている。そこで、難分解性のバイオチャー(全炭)による土壌改良材としての効果を植栽試験や国内試験により明らかにした。 【バイオチャーの化学性分析】 現地で入手可能な未利用バイオマス資源(タケ、キャッサバ茎、トウモロコシ芯、オイルパーム等)を炭化し化学性分析を行った。陽イオン交換容量(CEC)は、多くの原料、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。 【バイオチャーの物理性試験】 同上のバイオチャー試料を用いて土壌保水力の改善効果を試験した。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高い値を示したことから、バイオチャーには土壌保水力を高める効果があることが分かった。 【現地でのアグロフォレストリー試験】 薪炭材生産のための植林実績のあるアカシアと、現地で利用ニーズのある郷土樹種 4 種について、キャッサバを間作するアグロフォレストリーの試験を 2019 年から実施した。約 2.2 年間の追跡調査の結果、5 樹種中 2 樹種(Millettia、Terminalia)においてバイオチャー施用区画での成長増加がみられた。 【技術適用のためのコストの検討】 バイオチャーの施用を行うことで、通常のアグロフォレストリーと比較して、201 USD/ha(施用量 0.5 kg/m²)、739 USD/ha(施用量 2.0 kg/m²)のコストが増化した。		

実証試験⑤	マングローブ再生ガイドブック(立地条件及び荒廃要因に応じたマングローブの再生技術)		
試験実施者	国際航業 株式会社	対象地	全世界
試験概要	マングローブ生態系は炭素(ブルーカーボン)の貯留、水産資源の涵養と供給、防災・減災など様々なサービス機能を有している。しかし、近年、世界的にマングローブの劣化・減少は著しく、このため、気候変動の緩和を始めとするその多面的な機能の維持・回復を実現するためのマングローブの持続的管理ならびに再生が世界的に喫緊の課題となっている。 現在では、マングローブ林再生のための技術マニュアル類や事例が国際機関など様々な団体によって既に多く提供されているが、対象地域が限定されたものが多い。このため本ガイドブックでは、様々な地域を対象とした既存のマングローブ再生に関する文献資料を基に、荒廃要因及び立地条件に適した樹種及び再生方法を		

	整理して提示した。併せて、近年急速な進歩を見せるリモートセンシングによる空間情報技術の適用可能性についても触れた。また、世界における既存のマングローブ植林に関する技術マニュアル・事例を地域・国別に整理して情報提供した。
--	---

4. ワークショップの開催

途上国で植林活動に興味がある NGO や民間企業を対象に、2021 年 12 月 17 日にオンラインにてワークショップ(セミナー)を開催した。東京大学の丹下教授とコマツと坂井部長が基調講演として熱帯地域の植林の課題や技術を紹介するとともに、本事業で行った実証試験の成果報告や森林再生技術データベース「森林再生テクニカルノート」の紹介を行った。ワークショップに参加した人数は 164 名であった。

Summary

The "Paris Agreement" adopted at the 21st Session of the Conference of the Parties (COP21) to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) advocates the achievement of equilibrium between man-made emission and absorption of greenhouse gasses in the second half of this century. In the IPCC climate and society scenarios, large-scale alterations in the energy system and land utilization are suggested, namely the necessity for the expansion of renewable energy and large-scale tree planting. In order to increase the rate of afforestation, land is needed; however, in regions with favorable climatic or soil conditions, priority is given to agriculture for food production. Therefore, land available for afforestation is limited to barren or degraded areas in developing countries, where the soil has undergone considerable degradation due to agriculture or animal grazing; dry woodlands, where vegetative regeneration is difficult because there is little rainfall and while on the other hand marsh forests and mangroves, where the problem is an excessive wetness, etc.

This project began in 2017 and is scheduled to be implemented over the next 5 years, till 2021. The objective of this project is to gather and systematize relevant techniques established previously, and at the same time to search out and identify other techniques relevant to tree planting, which could be useful to successfully carry out tree planting in regions and land beset by these limitations (referred to collectively below as "degraded land"), and, to establish and popularize them as techniques that can be used in the field through field trials.

1. Analysis and organization of existing forest restoration techniques

Each of the principal restricting factors when carrying out forest restoration in degraded land were specified: aridity, excessive wetness, strong acidity, disease, fires, etc. Concrete issues associated with each of these factors, the regions in which these issues are observed, and information on existing forest restoration techniques were gathered and organized on this basis. In addition to information obtained through literature searches, technical information, including information obtained through interviews with authorities experienced in applying this information, was filed as potentially useful for application in the field.

2. Construction of a forest restoration technique database for developing countries (Technical Note for Tree Planting Practices (TPPs))

We developed the *Forest Restoration Technique Database for Developing Countries (A Technical Note for Tree Planting Practices (TPPs))* and made it available on the Web to offer information to private companies, NGOs, etc., which are interested in forest restoration in developing countries. In 2021, we provided information on characteristics of major silvicultural species for each type of degraded land.

3. Field trials

The forest restoration techniques analyzed and organized in this study include desirable techniques with wide ranging applicability, as they are comparatively novel for forest restoration. Measures to address conceivable issues with these techniques were clarified through field trials, and they have been established as technically and economically applicable in the field. It should be noted that the field trials were carried out not only by Japan International Forestry Promotion and Cooperation Center (JIFPRO), the body carrying out this project; techniques used in this project were also publicly offered by private corporations, and after analysis of their possible applications, field trials on techniques expected to make a major contribution to effective forest restoration were commissioned to the authorities that had proposed them.

Field trial (1)	Development of Techniques for Long-Rooted Seedlings in the Central Dry Zone of Myanmar by Using M-StAR Container		
Conductor	JIFPRO	Place	Kenya
General description	In order to promote root system development before the severe dry season, conventional afforestation methods in tropical drylands required (1) digging large holes, (2) irrigating in the dry season, which made planting cost higher. In addition, (3) the planting season is short, and the timing of planting coincides with the busy farming season, made it difficult to devote time and effort to afforestation activities. Therefore, as an alternative to the conventional method of afforestation in arid lands, we developed the technology of "long-rooted seedlings," which are grown in a container that is deeper than usual. Since water always remains in the deep soil layer even in arid areas, if long-rooted seedlings can promote rapid root development in the deep soil layer after planting, it is expected to solve the above issues (1) to (3). In this study, the M-StAR container developed by the Japanese was used as a seedling container for long-rooted seedlings, as M-StAR containers are made of rolled-up sheets, making it easy to remove the seedlings and reuse the containers at a low cost. In 2017~2020, five tree species were used in the central drylands of Myanmar to clarify the methods of raising long-rooted seedlings and their effectiveness after planting. In 2021, to expand the application area of long-rooted seedling technology, a "screening of tree species capable of producing long-rooted seedlings" was conducted, using 25 species of plantation trees in Kenya's drylands. After about 5 months of seedling cultivation, roots of 23 tree species had reached a depth of at least 40 cm of the 60 cm deep long-rooted seedling container, and 15 of them had reached the bottom (60 cm deep), indicating that long-rooted seedlings could be grown in almost all tree species. However, only several species had firmly formed a root pot from top to bottom (0-60 cm deep), indicating that further seedling cultivation was		

	necessary for the other species until the root pots were solidified. We plan to continue to grow seedlings and identify the required seedling period for each tree species until the root pot becomes hardened.
--	---

Field trial (2)	Development of Techniques for Afforestation in Semi-arid Area by Using SAP		
Conductor	JIFPRO	Place	Japan
General description	There has been little scientific verification of the properties and effectiveness of SAP as a soil water retention material, and its use has not progressed much. 【Evaluation of the effectiveness of water in SAP using soil physical methods】 When the effectiveness of water absorbed into SAP on plants was evaluated, more than 70% of the water could be classified as easily available water because SAP retains water in the soil that can easily be drained away and contains a large amount of high potential (low pF) water. 【Effect of SAP-added growth medium on early seedling growth in a pot trial】 When container seedlings of cedar and cypress were planted, the amount of rooting and leaf development of cedar saplings was significantly greater in pots with SAP than in pots without SAP, indicating that SAP is expected to increase the seedling live rate. 【The effect of SAP-added growth medium on the survival time of saplings under dry conditions】 The irrigation of the above pots of saplings was stopped, and the number of days to withering and the amount of evapotranspiration during that time were measured. In the case of cedar, the number of days until withering was significantly extended when the amount of SAP added was 0.2% or higher. On the other hand, the same trend was observed for cypress, but there was no significant difference. 【Summary】 SAP application is expected to reduce the risk of sapling mortality due to drought and to reduce management costs by reducing irrigation frequency. However, since water retention effects and responses differ depending on the soil type and tree species planted, it is advisable to confirm these effects at the afforestation site before preparing a usage plan.		

Field trial (3)	Development of Greening Technology using Nursery Block Construction Method		
Conductor	Oyo Corporation	Place	Uzbekistan
General description	Nursery blocks are cylindrical seedling pot mostly composed of soil, clay, and compost, etc., and are expected to improve survival rates and promote early growth by allowing seedling to quickly develop its root deep into the ground. In this field trial, nursery block seedlings of <i>Fraxinus</i> (genus ash) were planted in a devastated mountain		

	area in Angren, Republic of Uzbekistan, and the survival rate and growth were compared with those of pot seedlings used in other countries in the world. (1) Over 90% survival was obtained for both the potted and nursery block seedlings. There was no difference in tree height growth, which was approximately 25 cm, and no improvement in survival rate or acceleration of initial growth was observed with the nursery block seedlings. (2) On the other hand, the average root growth two years after planting was about 51 cm for the potted seedlings and 61 to 65 cm for the nursery block seedlings, indicating that the roots of the nursery block seedlings grew more deeply. This indicates that the use of nursery block seedlings may enable the seedlings to extend their roots deeper at an earlier stage. (3) The cost of planting the seedlings was estimated to be about 719 Japanese yen or more per seedling for conventional planting of large seedlings and about 335 yen per seedling for nursery block seedlings, indicating that the cost could be reduced.
--	---

Field trial (4)	Development of Soil Conditioning and Afforestation Technology Using Biochar		
Conductor	JAFTA	Place	Democratic Republic of Congo
General description	In the Democratic Republic of the Congo, large areas of savanna have been degraded and show low cation exchange capacity (CEC) (an indicator of soil's fertilizer retention capacity) and low water retention capacity because of such factors as deforestation and slash-and-burn agriculture. To address this issue, we investigated the effects of refractory biochar as a soil amendment by conducting planting experiments and laboratory experiments in Japan. 【Biochar chemical analysis】 Locally available unused biomass resources (bamboo, cassava stalks, corn cores, oil palm, etc.) were carbonized and chemically analyzed. Cation exchange capacity (CEC) values were higher than those of local soils for many raw materials and degrees of carbonization of biochar. 【Biochar physicality test】 The same biochar samples were tested for the soil water-retention enhancement effects. The water-filled porosity (coarse and fine porosities), an indicator of water retention capacity, was higher for many materials and bulk densities of biochar than for local soils, suggesting that biochar have the potential to improve soil water retention capacity. 【Agroforestry trials in the field】 An agroforestry trial was conducted starting in 2019 to intercrop cassava with Acacia, a proven plantation for firewood production, and four local tree species with local use		

	needs. After about 2.2 years of follow-up, growth increases were observed in two of the five tree species (<i>Millettia</i> and <i>Terminalia</i>) in the biochar-applied plots. 【Cost study for technology application】 Biochar application increased costs by 201 USD/ha (0.5 kg/ m ² applied) and 739 USD/ha (2.0 kg/ m ² applied) compared to regular agroforestry.
--	---

Field trial (5)	Guidebook for Mangrove restoration (Mangrove restoration techniques in accordance with site conditions and degradation factors)		
Conductor	Kokusai Kogyo Co., Ltd.	Place	World wide
General description	Mangrove ecosystems have various service functions such as carbon (blue carbon) sequestration, recharge and supply of fishery resources, and disaster prevention and mitigation. However, in recent years, mangroves have been severely degraded and depleted worldwide. Therefore, sustainable management and restoration of mangroves to maintain and restore their multifaceted functions, including climate change mitigation, is a pressing issue worldwide. Although many technical manuals and case studies for mangrove forest restoration have already been provided by various organizations such as international organizations, most of them are limited in their target areas. Therefore, this guidebook presents a list of tree species and regeneration methods that are suitable for the factors of degradation and site conditions, based on the existing literature resources on mangrove regeneration covering various areas. In addition, the possibility of applying spatial information technologies through remote sensing and GIS, which have shown rapid progress in recent years, was also discussed. Moreover, existing technical manuals and case studies on mangrove reforestation in the world were organized by region and country, and information was provided.		

4. Workshop

A workshop was held online on December 17 for NGOs and private companies interested in afforestation activities in developing countries. As keynote speeches, Pro. Tange and Dr. Sakai introduced general situation of afforestation activity in tropical countries and advanced afforestation research. We shared the progress of the field trial in this project which are the outputs of this project and introduced the "Technical Note for Tree Planting Practices" a database of reforestation techniques. The number of participants in the workshop was 164.

1 背景・目的及び事業の進め方

1.1 背景・目的

国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会合で採択された「パリ協定」において、IPCC（気候変動に関わる政府間パネル）第 5 次評価報告書の政策提言を背景として、温室効果ガスの人為的な排出と吸収の均衡を今世紀後半に達成することが掲げられた。その対策の一つとして、REDD+ の実施と支援が盛り込まれた。一方、IPCC の気候・社会シナリオでは、エネルギーシステムと土地利用の大規模な変更、すなわち再生可能エネルギーの拡大と共に大規模な植林の必要性が提言されている。新たに植林を拡大するためにはそのための土地が必要となるが、気候や土壌条件に恵まれた地域・土地は農地として食糧生産のために優先的に利用されている。したがって、新たな植林の対象地域・土地は、途上国の農・牧畜等によって著しい土壌劣化が進行した荒廃放棄地や降水の少なさのために植生回復が難しい乾燥林地域、逆に過剰な水分等が問題となる湿地林やマングローブ域等に限られることになる。

UNEP（国連環境計画）によると、乾燥地とは、乾燥度指数（＝年降水量／蒸発散位）が 0.65 よりも小さくなる気候下にある地域で、地球上の陸地の約 41%を占め、主にアフリカのサヘルや南部、中央アジア、南米等に広く分布し、世界の人口の 35%が居住している。

乾燥地の中でも、極乾燥地以外は、ある程度降水量が見込め、潜在的に木本植物の生育が可能であるが、農業や放牧等の人為的な活動によって森林が消失し土地劣化が広がっている。Zika and Erb (2009)によると極乾燥地域を除いた乾燥地の約 23% ($11,803 \times 10^5 \text{ha}$) の土地が劣化しているとある。劣化した乾燥地は、一般に生産性が低く農業や牧畜に不適であり、加えて、潜在植生である乾燥林の自然状態での再生も極めて難しく、経済・環境的な便益を生み出さないまま放置されていることが多い。

気候変動に関わる政府間パネル第 5 次評価報告書では、大規模な植林による吸収源の必要性が提言されているが、気候や土壌条件に恵まれた地域・土地は、既に農地等の食糧生産のために優先的に利用されている。今後、大規模に広がり続ける劣化し放置された乾燥地での造林技術の開発は、気候変動や SDGs の観点からも重要になってくることが予想される。

そこで、本事業では、こうした制限のかかった地域・土地（以下、まとめて「荒廃地」とする。）での森林再生に貢献することを目的に、従来の関連技術を整理・体系化すると同時に、期待できる植林関連技術を新たに探索・抽出し、現地に適用可能な技術として確立するための実証試験を行った。それらの結果は、開発途上国、我が国の民間企業や団体、援助機関へ、森林再生データベースやワークショップを通して普及した。

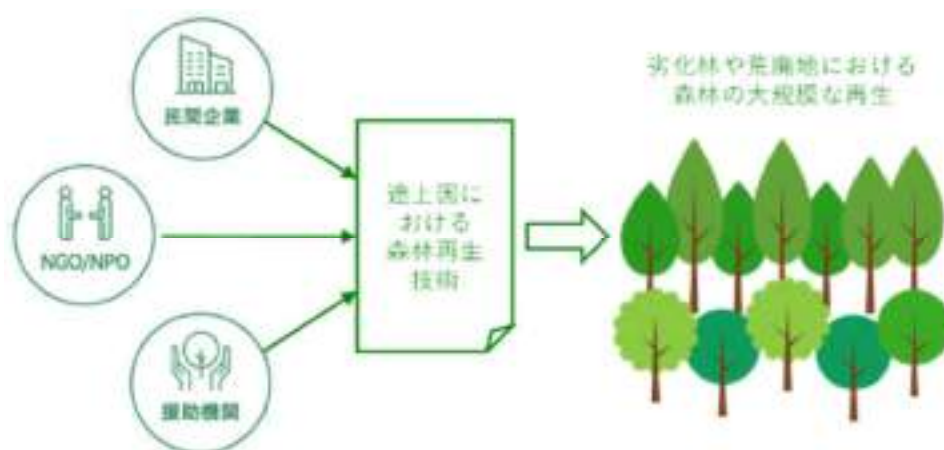


図 1-1 本事業の目的

1.2 事業の進め方

前述の目的を達成するため図 1-2 の通り事業実施項目を設けて事業を進めた。

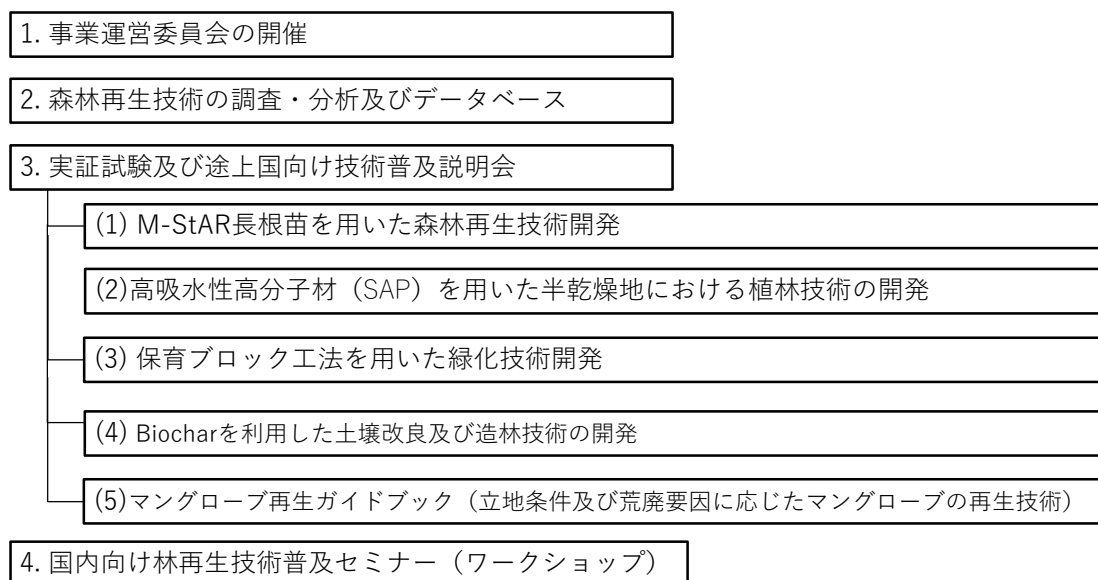


図 1-2 本事業の目的本事業の事業内容

1.2.1 事業運営委員会の開催

事業運営委員会（以下「委員会」という。）を設置し、事業方針、事業計画、実施方法、成果の取りまとめ等、本事業の運営に関する事項を検討した。委員会は、気候変動、森林減少・劣化、国際林業協力、民間部門による途上国の森林保全の取組等に関する知見を有する者 6 名の委員で構成される（表 1-1）。今年度はコロナ感染症拡大防止のためオンラインとの併用で 3 回開催した。委員会での検討結果は 9 章に記した。

表 1-1 運営委員会の委員

氏名	所属	専門
岩田 英治	日本製紙株式会社 基盤技術研究所 植林研究室 主任研究員	民間部門(産業植林)
宇都木 玄	森林総合研究所 研究ディレクター	造林部門(育苗・植栽)
丹下 健	東京大学大学院農学生命科学研究科 教授	気候変動(造林全般)
松根 健二	住友林業株式会社 森林・緑化研究センター チームマネージャー	民間部門(産業植林)
谷本 哲朗	国際協力機構(JICA) 地球環境部 技術審議役	国際林業協力
吉川 賢	岡山大学 名誉教授	森林減少・劣化(乾燥林地域)

1.2.2 森林再生技術の調査・分析及びデータベース

荒廃地を対象とする既存の森林再生技術について、途上国におけるニーズと併せ、国内外の文献調査や関係機関へのヒアリング等を通じて整理・分析を行った。これらの整理・分析にもとづき、その適用条件等を整理した森林再生技術に関するデータベースを構築し公開した(2章参照)。

1.2.3 実証試験及び途上国向け技術普及説明会

上記で整理・分析した技術のうち、森林の再生に大きく貢献すると見込まれるもので、現場適用性の観点から現地での実証試験が必要と考えられる技術について、専門家や国内外の研究機関等の助言を踏まえながら実証試験を実施した。

令和2年度実施した5つの実証試験のうち2つは本事業実施主体である国際緑化推進センター(JIFPRO)が昨年度から引き続き行った。残りについては、森林再生に有効な技術を民間企業等から公募し、効果的な森林の再生に大きく貢献すると見込まれる技術を提案した団体に実証試験を委託した。



図 1-3 これまで本事業で実施した実証試験

実証試験を行うに当たっては、表 1-2 の通り各試験を通してなるべく多くの森林再生技術(方法)を開発し普及することを目指し、その結果は前述のデータベースに掲載するとともに、試験対象国に試験概要を示したポスターやマニュアルを提供することにより当該国の政府機関及び研究機関等へ普及を図った。これらの実証試験の結果は第 3、4、5、6 章に記す。また、今年度はマングローブ再生に係るガイドブック作成を民間企業に委託した。その概要は第 7 章に記す(本編は森林再生テクニカルノート(データベース)のウェブサイトに掲載・公開)。

表 1-2 各実証試験の概要と試験を通して普及を目指す技術要素

実証試験	実施者	実施年	実証試験を通して普及を目指す技術要素
長根苗等を用いた森林再生技術開発	国際緑化推進センター	H29～R2 (ミャンマー)、 R3 (ケニア)	ココナッツピートの育苗培地としての利用方法(H29～)
			M-StARコンテナによる育苗方法(H29～)
			エンジンオーガーによる細長い植栽穴の掘削方法(R1～)
			長根苗による植栽技術(H29～)
			保水材としてのココナッツピート添加した植栽方法(R1～)
			深植えの適正樹種と植栽方法(R1～)
SAPを用いた半乾燥地における植林技術の開発	国際緑化推進センター	R2～R3 (ミャンマー、国内)	長根苗用の培地の「かさまし」材としてもみ殻燐炭の利用(R3～)
			SAPの種類や添加量による保水能力の違い(R2～)
			育苗時のSAPの利用方法(H29～)
保育ブロック工法を用いた緑化技術開発	応用地質株式会社	H29～R3 (ウズベキスタン)	植栽時のSAPの利用方法(R2～)
			現地資材を使った保育ブロックの作成方法(H29～H30)
			砂漠植物の保育ブロック苗の育苗方法(H29～H30)
			保育ブロック苗の植栽方法(H30～)
湛水育苗による低湿地造林技術開発	東京大学	H29～H30 (タイ)	土壌改良剤による土壌硬度の軽減、透水性・保水性の向上方法(R1～)
			メラルーカの湛水育苗方法(H29～H30)
			湛水育苗及び低湿地造林に適した湿地性在来種の選抜(H29～H30)
ヤシ殻を利用した海岸砂丘造林造成技術	オイスカ	H30～R2 (フィリピン)	M-StARコンテナによる育苗方法(H30～R2)
			ココナッツピート培地によるオオハマボウ挿し木育苗方法(H30～R2)
			植栽時の保水材としてのココナッツピート利用方法(H30～R2)
			植栽時のマルチとしてのココナッツハスク利用方法(H30～R2)
			竹を利用したコンテナ育苗器の開発(R2)
バイオチャー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	R1～R3 (コンゴ民主共和国)	様々な原料で作ったバイオチャーによる砂質土壌の物理性改良効果(R1～)
			様々な原料で作ったバイオチャーによる砂質土壌の化学性改良効果(R1～)
			バイオチャーの植栽時の施用方法(R1～)
マングローブ再生ガイドブック作成	国際航業株式会社	R3 (全世界)	荒廃要因及び立地条件に応じたマングローブの樹種及び再生方法を整理(R3～)

最後に、事業最終年度である今年度は、全ての実証試験の概要・結果をまとめたものを最終成果物として森林再生テクニカルノート(データベース)のウェブサイトに掲載・公開した。それらは10.2に付す。

1.2.4 国内向け技術普及ワークショップ(セミナー)

我が国の民間企業、団体、援助機関等への技術の普及を目的としたワークショップ(セミナー)をオンラインにて開催した。ワークショップでは上記 1.2.2 及び 1.2.3 の成果を報告した。国内向け技術普及ワークショップの結果は第 8 章に記すとともに、発表資料を 10.1 に付す。

2 既存の森林再生技術の整理・分析及びデータベース

途上国における森林再生にあたっては、対象となる荒廃地において、成林を妨げる制限要因の有無を把握することが極めて重要である。制限要因は、植林した樹木の活着を妨げる自然環境要因(気候・土壌等)、又は活着後に植林木を保育管理する際に発生する要因(獣害や病中害等)に大別される。これらの制限要因に着目して、世界各地の森林再生技術について、既存の書籍、論文及びレポート等をレビューした。

レビューした森林再生技術を整理・分析し、森林再生技術データベース(通称:森林再生テクニカルノート)として取りまとめた。このデータベースは、途上国における森林再生に関心のある民間企業、NGO/NPO 及び援助機関等を利用者として想定しており、平成 29 年度より、ウェブサイト上で一般公開している(<https://jifpro.or.jp/tpps/>)。

2.1 森林再生技術テクニカルノートの構造

森林再生テクニカルノートは、①森林再生技術集、②制限要因別に利用可能な代表的樹種の紹介、③実証試験の近況報告、及び④記事紹介:現地からの 4 本柱で構成される(図 2-1)。

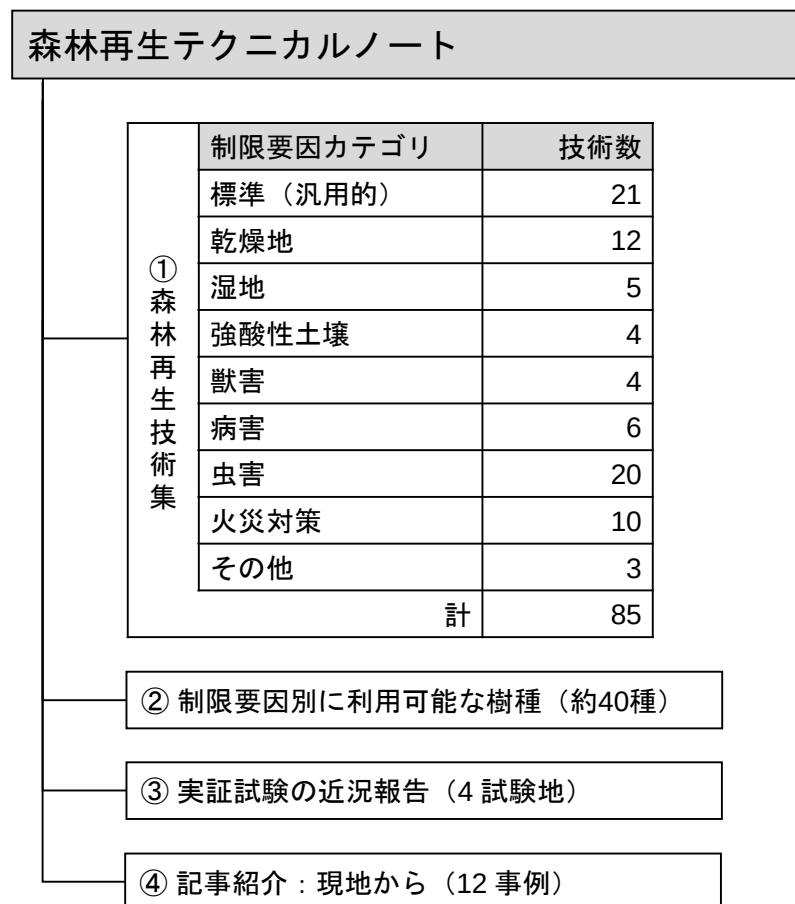


図 2-1 森林再生テクニカルノートの構造

2.1.1 森林再生技術集

汎用的で標準的な森林再生技術、並びに、荒廃地における成林を妨げる代表的な制限要因（乾燥地、湿地、強酸性土壌、火災対策、獣害、病害、虫害、及びその他）をカテゴリとして設定し、それらのカテゴリ別に対処方法として、森林再生技術を提供している（図 2-2）。

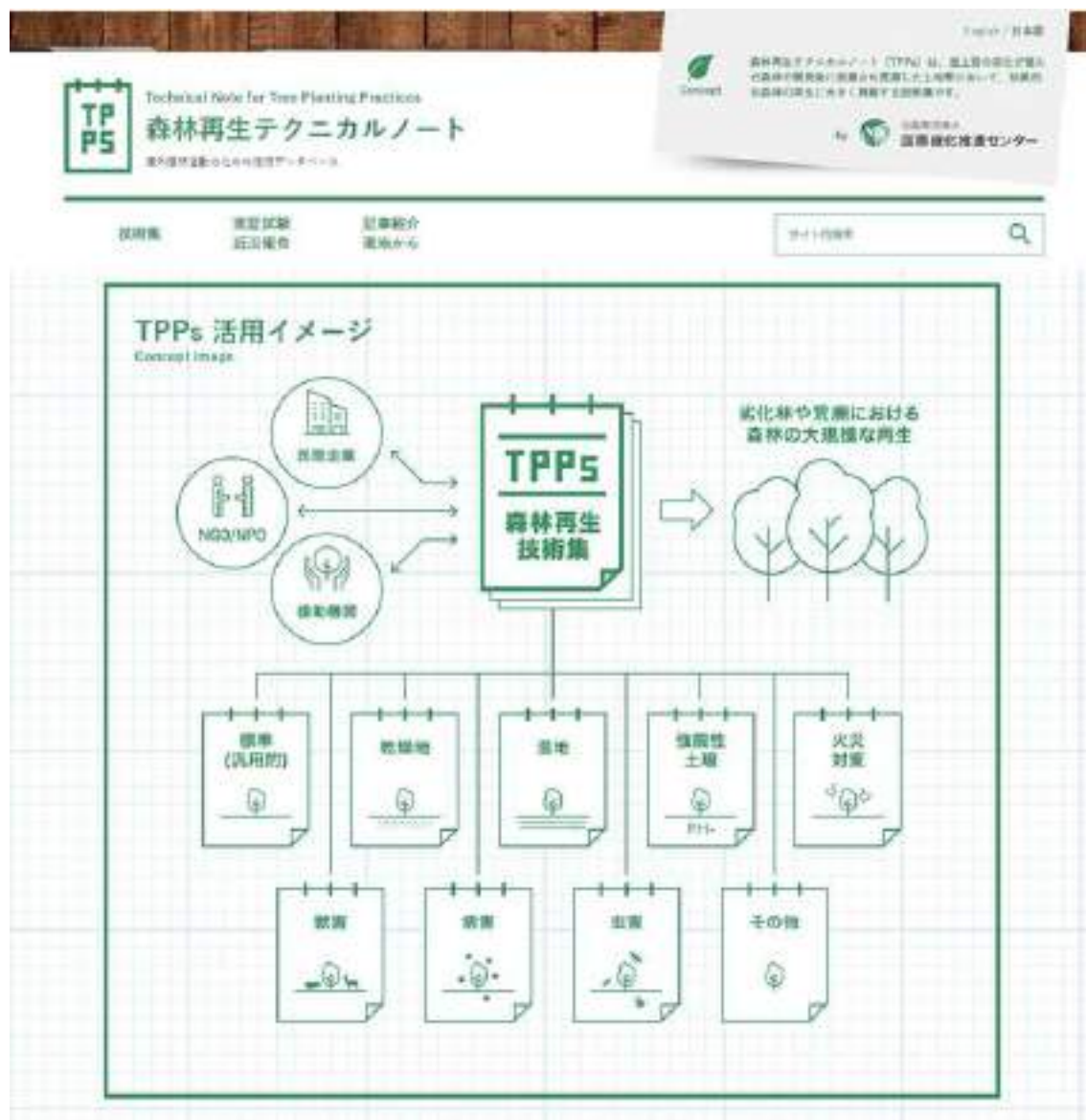


図 2-2 森林再生テクニカルノート:「森林再生技術集」制限要因別の検索画面

利用者が関心のある森林再生技術を探す際には、上述の「適用条件(制限要因)でさがす」に加えて、「生育ステージでさがす」、「運用実績のある国でさがす」、又は「キーワードでさがす」を通じて検索することができる構造となっている（図 2-3）。


森林再生の技術をさがす
 Technology Search

適用条件でさがす


☐ 虫害
 ☐ 病害
 ☐ 獣害
 ☐ 標準(汎用的)
 ☐ 強酸性土壌
 ☐ 乾燥地
 ☐ 火災対策
 ☐ 湿地
 ☐ その他



生育ステージでさがす


☐ 保育
 ☐ 選地判定
 ☐ 植栽
 ☐ 樹種選定
 ☐ 保護
 ☐ 育苗
 ☐ その他



適用実績のある国でさがす


☐ アジア
 ☐ 中米
 ☐ 中東
 ☐ 南米
 ☐ アフリカ
 ☐ その他



キーワードでさがす


 キーワードの一覧へ

図 2-3 森林再生テクニカルノート:「森林再生技術集」項目別の検索画面

2.1.2 制限要因別に利用可能な代表的樹種の紹介

制限要因別に、利用可能な代表的樹種、約 40 種を紹介している(表 2-1)。この樹種紹介ページのイメージとして、マメ科のアフリカン・ブラックウッド(*Dalbergia melanoxylon*)の例を示す(BOX 2-1)。

表 2-1 制限要因別に利用可能な代表的樹種

制限要因	地域	科名	種名	原産地
乾燥 (乾期4～5ヶ月以上)	汎熱帯	フトモモ科	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	豪州
			<i>Eucalyptus alba</i>	豪州・PNG・チモール
		マメ科	<i>Acacia auricaliformis</i>	豪州
			<i>Albizia lebbbeck</i>	インドマラヤ～北豪州
			<i>Gliricidia sepium</i>	中南米
			<i>Prosopis juliflora</i>	中南米
			<i>Leucaena leucocephala</i>	東南アジア
			<i>Senna siamea</i>	東南アジア
			<i>Tamarindus indica</i>	東アフリカ
			<i>Vachellia (Acacia) tortilis</i>	アフリカ
			<i>Vachellia nilotica</i>	アフリカ、中近東～インド亜大陸
		センダン科	<i>Azadirachta indica</i>	バキスタン～ミャンマー
		ウルシ科	<i>Anacardium occidentale</i>	ブラジル北東
		ワサビノキ科	<i>Moringa oleifera</i>	インドヒマラヤ
	アジア	マメ科	<i>Senegalia catechu</i>	南・東南アジア
			<i>Prosopis cineraria</i>	西アジア～インド
		シソ科	<i>Tectona grandis</i>	インドシナ
	アフリカ	マメ科	<i>Dalbergia melanoxylon</i>	中南部
			<i>Pterocarpus angolensis</i>	南部
		センダン科	<i>Melia volkensii</i>	東部
	中南米	センダン科	<i>Cedrela odorata</i>	南米
		マメ科	<i>Parapiptadenia pterosperma</i>	ブラジル東部
			<i>Paubrasilia echinata</i>	ブラジル東部
塩性化 (耐塩性)	汎熱帯	フトモモ科	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	豪州
			<i>Eucalyptus robusta</i>	豪州
			<i>Eucalyptus urophylla</i>	東インドネシア
		マメ科	<i>Acacia crassicaarpa</i>	豪州
	アジア	フトモモ科	<i>Melaleuca cajuputi</i>	ベトナム～豪州北部
海岸砂丘 (砂地、高波)		モクマオウ科	<i>Casuarina equisetifolia</i>	東南アジア、豪州北部、太平洋諸島、(マダガスカル)
		マメ科	<i>Millettia pinnata</i>	熱帯アジア、豪州、太平洋諸島
		シクンシ科	<i>Terminalia catapa</i>	アジア、豪州、太平洋諸島、マダガスカル
		アオイ科	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	アジア・オセアニア、フロリダ～プエルトリコ等に野生化
		テリハボク科	<i>Calophyllum inophyllum</i>	東アフリカ～東南アジア、豪州、太平洋諸島
湿地 (淡水)	汎熱帯	フトモモ科	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	豪州
			<i>Eucalyptus grandis</i>	豪州
			<i>Eucalyptus robusta</i>	豪州
			<i>Eucalyptus urophylla</i>	東インドネシア
	アジア	フトモモ科	<i>Melaleuca cajuputi</i>	ベトナム～豪州北部
泥炭地		フタバガキ科	<i>Shorea balangeran</i>	スマトラ、ボルネオ
		テリハボク科	<i>Calophyllum inophyllum</i>	東アフリカ～東南アジア、豪州、太平洋諸島
		マメ科	<i>Adenanthra pavonine</i>	旧熱帯、中南米～フロリダに野生化
		カンラン科	<i>Dacryodes rostrata</i>	ベトナム～ボルネオ
		ブナ科	<i>Lithocarpus dasystachys</i>	マレー半島～ボルネオ
		フトモモ科	<i>Melaleuca cajuputi</i>	ベトナム～豪州北部
鉱山跡地・酸性 土壌	汎熱帯	フトモモ科	<i>Eucalyptus robusta</i>	豪州
		マメ科	<i>Acacia mangium</i>	豪州
			<i>Acacia auricaliformis</i>	豪州
	アジア	フトモモ科	<i>Melaleuca cajuputi</i>	ベトナム～豪州北部
山火事	汎熱帯	マメ科	<i>Pinus caribbea</i>	中米
			<i>Pinus Kesiya</i>	東南アジア
	アジア	フタバガキ科	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	インド～ベトナム
			<i>Shorea roxburghii</i>	インド～ベトナム
	アフリカ	マメ科	<i>Dalbergia melanoxylon</i>	中南部
			<i>Pterocarpus angolensis</i>	南部

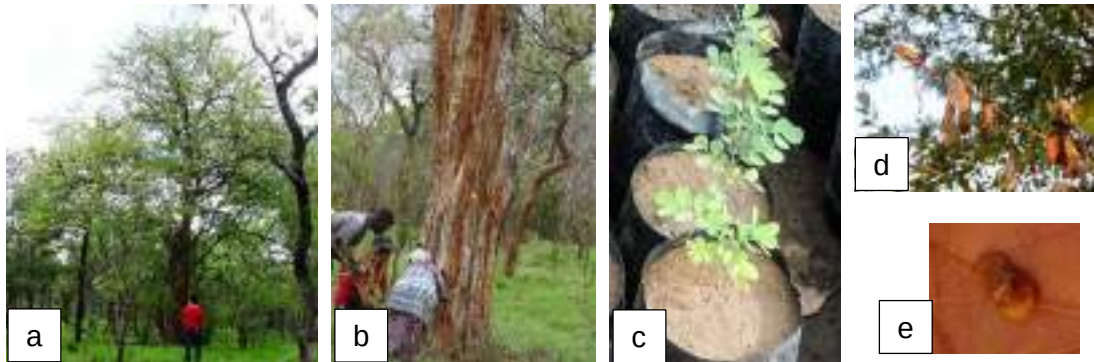
BOX 2-1. 樹種紹介ページ

アフリカン・ブラックウッド(マメ科)

Dalbergia melanoxylon Guill. & Perr.

英語: African blackwood, スワヒリ語: Mpingo

天然分布
(国単位)



【概要】 アフリカ中南部の熱帯季節林に広く分布するが、黒く硬い心材が木管楽器材に珍重されるため、資源は著しく減少し、現在はタンザニアとモザンビークが主産地である。本種は楽器材のみならず重要な蜜源樹種であることから、植栽による後継樹の育成が急がれている。なお、本種を含むツルサイカチ属(*Dalbergia*) は、2017 年 1 月より属全体がワシントン条約の付属書 II に掲載され、国際取引には輸出国政府の許可が必要になった。

【形態】 一般に樹形は捻れ樹高 10m 以下のものが多いが、ときに通直な幹で樹冠を広げ樹高 15-20m に達する(写真 a)。樹幹には縦に深い溝が入る(写真 b)。枝や小枝の先端は刺となり、葉は奇数羽状複葉(長さ 8-20cm、小葉 6-9 枚)、互生で乾季に落葉する。雨季の始めに白い花冠の円錐花序を房状に付ける。果実は乾季に熟し、長さ 3-5cm の薄い莢果(写真 d)に 1-2 個の腎形の種子(7-9mm、写真 e)が入っている。

【生態】 年降水量 400mm 以上の半乾燥～亜湿潤気候下の様々な立地に生育するが、とくにアフリカ東南部のミオンボ林とその周辺に多い。土壌条件の良い混交林に樹形の良い大径木を見るが、他樹種より成長が遅いため隣接木に被圧されやすい。一方で、乾燥や過湿への耐性が強く、明るい場所を好むため、他樹種との競争を逃れて岩石地に、あるいは雨季に滞水する湿地周辺で優占することがある。根には根粒菌を持ち窒素固定する。

【繁殖・育苗】 実生、根株萌芽、根萌芽による更新を行う。実生は地上部が野火による焼失と萌芽を繰り返して、根を太くしてから大きく成長する。また、伐根の周りの裸地に根萌芽起源の幼木が散生することがある。種子は繊細で莢から取り出すと傷つき易いため(写真)、育苗では天日で乾燥した莢をちぎって不要な部分を捨て、莢ごと貯蔵、播種している。種子は 4-5℃で 3 年は保存でき、休眠はほとんどなく、一晩水に浸せばよく発芽する。苗は 2～3 ヶ月で 10-15cm(写真 c)になり、5～6 ヶ月で山出しできるようになる。

【成長・その他】 成長が遅く(7 年で樹高～3m)、草丈を超えるまでは下刈りが必要、収穫サイズ(dbh35 cm～)に達するまで 70-100 年を要するとされる。材の気乾比重 1.23-1.33。

2.1.3 実証試験近況報告

ミャンマー、フィリピン、及びウズベキスタンにおける実証試験の近況報告を適宜更新し、情報提供している(図 2-4)。



図 2-4 森林再生テクニカルノート:「実証試験の近況報告」

2.1.4 記事紹介:現地から

これまで海外で植林を行った事例は数多いが、学术论文になったものは少ない。また学术论文は特定の研究に目的が絞られるとともに、専門的な内容及び専門用語が多く、専門出ない人にとっては読みづらい。そこで、森林・林業を専門としていない人(他分野の NGO/NPO や一般企業の CSR 担当者等)でも理解しやすいように、海外の森林事情や植林に関する実践事例について、リード文を分かり易く作成し提供している。貴重な森林再生の実践事例が掲載されている技術雑誌、『海外の森林と林業¹』等の中から好適な事例や関連記事を選んで紹介している(図 2-4、表 2-2)。

利用者のメリットとしては、以下が期待される。

- 個別技術の具体的な適用事例を知る
- 類似の植林現場から、先人の創意工夫等を学ぶ
- 植林活動による環境改善、CO₂ 吸収・固定、生計向上等の具体的事例を知る
- 企業や NPO、JICA 等の植林事例を紹介することで、同様の活動の参考となる

¹ 1966 年に熱帯林業協会の情報交換誌として発行された「熱帯林業」を前身とし、2008 年からは「海外の森林と林業」と名称を変えて年 3 回発刊し続けている実践事例の宝庫。

表 2-2 記事紹介リスト

No.	タイトル	出典
1	＜超＞強酸性土壌にも適応できる樹種	田原(2009)熱帯の酸性硫酸塩土壌に適応する樹種の選抜とその生理特性
2	マレーシア早生郷土樹種植林後8年目の成長を評価	大谷(2010)半島マレーシアビドーにおけるJICA試験地の再評価
3	よい苗木とは	森(2015)海外植林の豆知識:(5) 健全な苗木
4	砂漠の植林では湿土層を狙え	榎本(2015)荒廃地に木を植える:マリ共和国での植林技術の開発
5	ラテライトの硬盤層に水たまりを作る	同上
6	造林地の成長を最大にする植林密度と期間	斉藤ら(2008)早生樹種の成長量を最大にする造林方法:(2) 密度と栽培期間
7	石炭採掘跡地の森林回復	仲摩ら(2014)インドネシア南カリマンタン州における石炭採掘跡地の森林回復技術
8	森林の生物多様性アセスメントの方法	中静&市川(2008)森林の生物多様性はどのように行うべきか
9	マダガスカルにおけるユーカリ造林の成長を予測する	松平昇(2010)マダガスカルにおけるCDM試験植林地(第二報)2年間の成長状況と地形・土壌要因と成長の関係解析
10	熱帯早生樹による用材利用のための森林造成	吉田&佐藤(2008)サバ州での用材生産を目指した熱帯早生樹植林
11	不揃いな植林地の炭素吸収量の推定方法の検討	森&仲摩(2010)CDM植林プロジェクトの炭素吸収量モニタリング方法について
12	異なる地域のユーカリに適用可能な現存量推定式	宇都木ら(2010) <i>Eucalyptus camaldulensis</i> の現存量推定手法の提案:オーストラリア半乾燥とベトナム熱帯モンスーンのデータを用いて



図 2-5 森林再生テクニカルノート:「記事紹介:現地から」

2.1.5 アクセス状況

平成 29 年度に森林再生テクニカルノートを公開して以来、アクセス数は増加し、2022 年 3 月時点では、毎日 100 回前後のアクセスがある(図 2-6)。2020 年 8 月下旬、及び 2021 年 2 月下旬には、それぞれ 1 日 500 回、及び 600 回以上のアクセスがあった。これは、それぞれ、アメリカのカリフォルニア大森林火災、及び栃木県足利市の山火事の際に、火災対策に関する情報がネット検索された際に、この森林再生テクニカルノートがヒットしたと推察される。

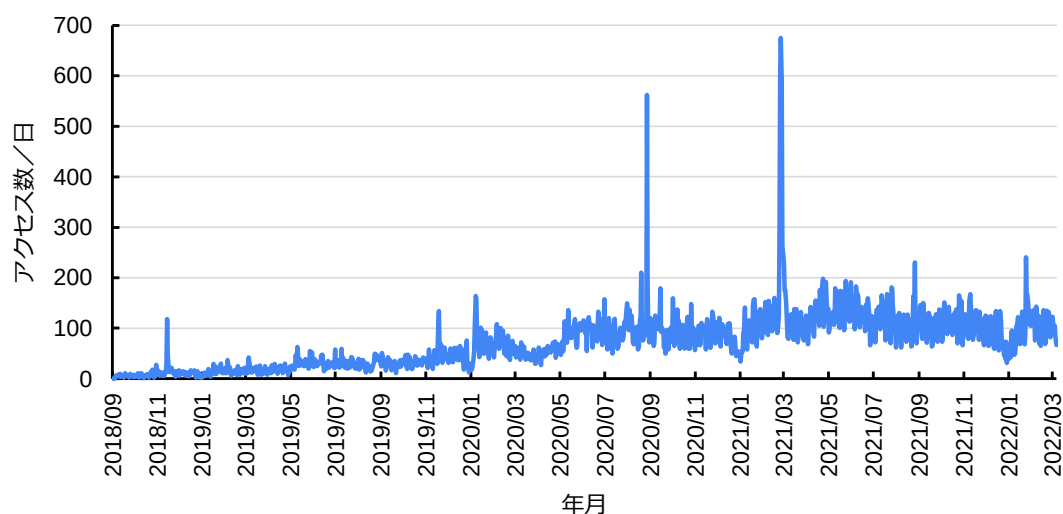


図 2-6 森林再生技術データベースへのアクセス数の推移

2.2 森林再生テクニカルノートの英語版

海外の利用者向けに、森林再生テクニカルノートの英語版を作成した(図 2-7、図 2-8)。これにより、途上国をはじめとする世界中の関係者が、上記と同様の森林再生技術情報にアクセスすることができる。

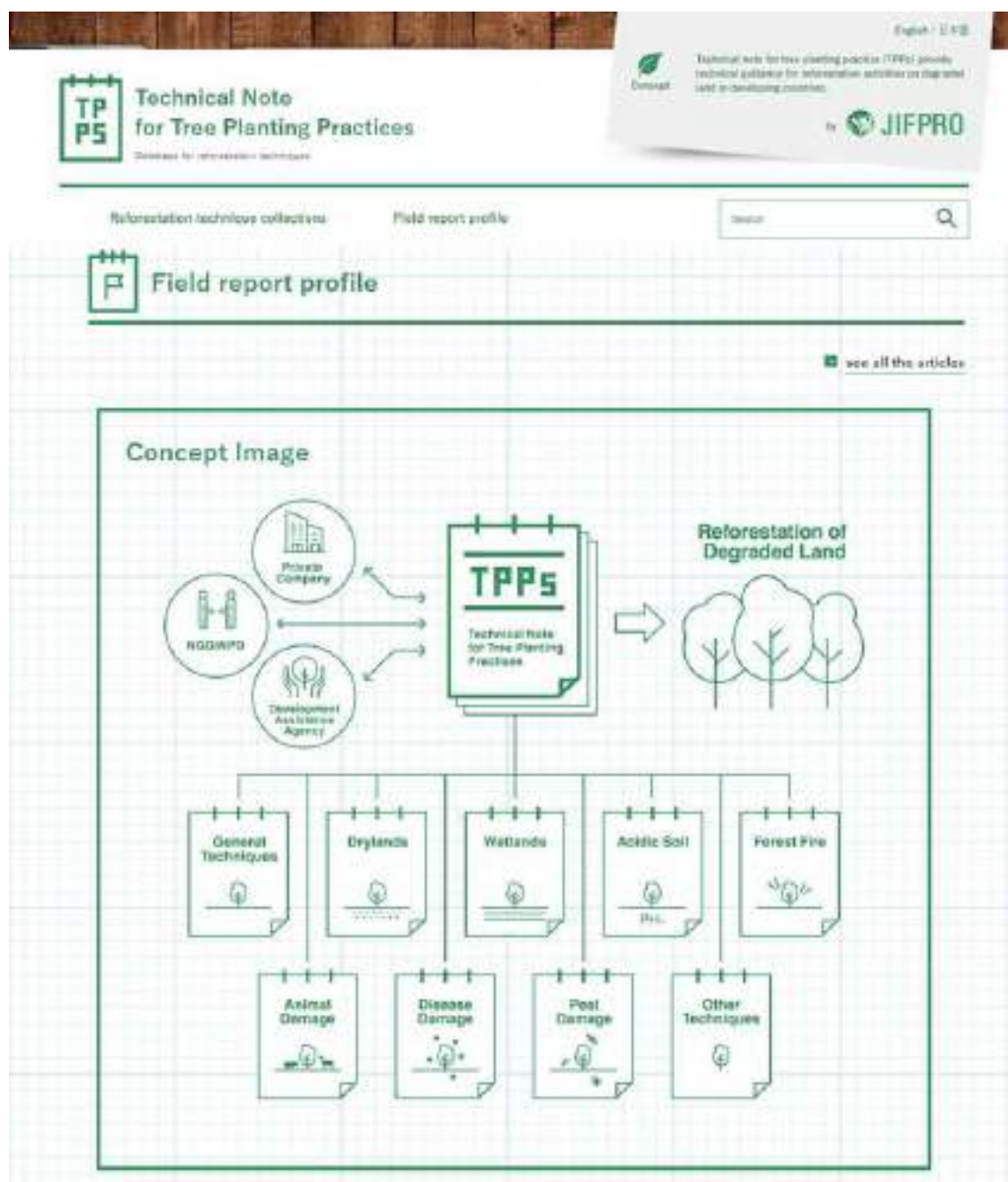


図 2-7 森林再生テクニカルノートの英語版:「森林再生技術集」制限要因別の検索画面



図 2-8 森林再生テクニカルノートの英語版:「森林再生技術集」項目別の検索画面

3 熱帯乾燥林における M-StAR 長根苗を用いた森林再生技術開発

3.1 実証する森林再生技術の背景と課題

明瞭な乾季を持つ乾燥地では、植栽後最初に迎える乾季に枯死が起きやすい(F. M. Padilla & Pugnaire, 2007; Villar-Salvador et al., 2012) という技術上の課題がある。この要因の一つとして、苗木の植栽直後は根が土壌表層にしか発達していないことがあげられる。実際、乾燥・半乾燥地では、深根性の樹種が多く、また植栽した苗木の生残と根の到達深度との相関が報告されている(León et al., 2011; Ovalle et al., 2015; Francisco M. Padilla et al., 2007)。そこで、植栽初期の確実な活着には、育苗段階における苗木の質の向上、すなわち垂直方向へ発達を促す根系の形成が重要になってくる (Cortina et al., 2013; Grossnickle, 2005, 2012; Tsakalidimi et al., 2005)。

コンテナ苗においては、コンテナのデザイン(size, shape, structure etc.)により、苗の形態的特徴、特に根の発達システムを劇的に変えることができるため (Aphalo & Rikala, 2003; Dominguez-Lerena et al., 2006; Landis et al., 1990)、これまで主として温帯樹種を対象に、様々なコンテナを用いた苗の形質の比較試験が行われてきた (Nesmith & Duval, 1998; Pinto et al., 2011)。

通常通りの径で、深さ方向だけを長くしたコンテナで育てた長根苗は、根鉢が深く、植栽後は根が土壌深部にいち早く到達することができるため活着がよいとされている(Bainbridge, 2012; D. R. Dreesen & Fenchel, 2010)。深さ 30cm 以上の長根苗が、*Quercus* spp.(Chirino et al., 2008; Mariotti et al., 2015; Pemán et al., 2006)、*Juniperus* spp.(Yanjun et al., 2011)、*Acacia* (= *Vachellia*) *caven*(De La Fuente et al., 2017) 等の地中海樹種や溪畔性の樹種 (D. Dreesen et al., 2002; Sagera et al., 2013)で育苗されている。実際、根の成長ポテンシャルを測る root growth potential (RGP) テストでは、深いコンテナ容器からさらに深い PVC 容器に移植された長根苗は、通常深さのコンテナ苗よりも土壌深部への根の発達が早いことが示されている(Chirino et al., 2008; De La Fuente et al., 2017)。

ミャンマー等の熱帯乾燥地での従来の植林方法は、①厳しい乾季前に根系発達を促すために、植栽に際して深く大きな穴を掘り、また②乾季になると数回に渡り灌水を行うため、植栽コストが高くなりがちである。また、③植栽時期が雨季初期に限られているため、農繁期と植栽のタイミングが重なりやすいという課題もある。長根苗の活用によって植栽後の土壌深部への素早い根系発達を促し、苗木を確実に活着させることができれば、上記①~③の課題解決になると考えた。

ただし、これまでの長根苗の研究は温帯の乾燥地樹種に限られており、熱帯乾燥林の樹種では試されてこなかった。さらに、従来の長根苗の育苗容器には、大型ポットや PVC 管等が用いられ、容器から苗を取り出す際に根を傷めやすい等の欠点があった。また、市販の大型のコンテナ苗用セルは高価で、サイズが固定されているため、熱帯途上国では普及しづらいことが予想される。

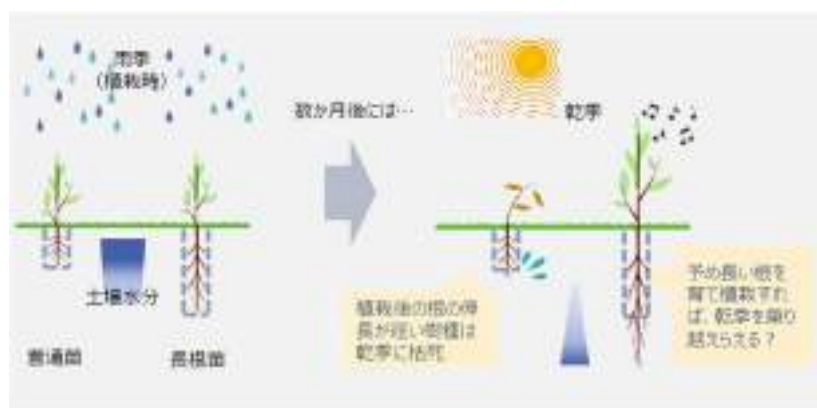


図 3-1 長根苗による土壌深部への根系発達の促進(イメージ)

3.2 本試験の目的

長根苗の活用を、乾燥地における造林コストと労力の削減に加え、気候変動適応という観点からも有用な造林技術の一つとしてとらえ、それを熱帯途上国で普及すべく技術開発を目指した。さらに本試験では、従来の長根苗の育苗容器の課題を解決すべく、三樹 (2010)により開発された M-StAR (Multi-Stage Adjustable Rolled)コンテナ容器を用いて、長根苗の育苗・植栽を試みた。

2017～2020 年度まではミャンマーの中央乾燥地にて、育苗試験や植栽試験を行い、長根苗の育苗方法や植栽時の効果等を検討してきた。2021 年度は、長根苗技術を他の熱帯乾燥地域に展開するため、ケニア半乾燥地にて育苗試験①～③を行った。育苗試験①では、ケニア半乾燥地造林樹種 25 樹種で、長根苗を育成できる樹種をスクリーニングした。育苗試験②では 3 樹種について、長根苗用のコンテナ深さが苗木の成長にどのような影響を及ぼすかを明らかにした。育苗試験③では、②と同じ 3 樹種で、長根苗コンテナの培地にかかるコストを下げるべく、もみ殻燐炭をコナツツピート培地の「かさまし」材として使えないか検討した。各試験の目的は表 3-1 の通りである。

表 3-1 長根苗技術開発のための各試験の目的

		目的	詳細記載
ミ ヤ ン マ ー	育苗試験①	長根苗の育苗方法や育苗期間の解明	H30 報告書
		乾燥林樹種の根の特徴（垂直成長、直根）の解明	R2 報告書
	植栽試験①	雨季植栽における、長根苗による生残効果がある樹種の特定	R1,2 報告書
	育苗試験①	通常コンテナ苗と長根苗の育苗期間や根の形態の比較検討	R2 報告書
ケ ニ ア	植栽試験②	乾季植栽における、長根苗及び他の低コストで生残率向上の効果がある植栽方法（深植え等）の可能性の検討	R1,2 報告書
	育苗試験①	長根苗の育成可能な樹種を 25 樹種からスクリーニング	本報告書
	育苗試験②	長根苗用のコンテナの深さが苗木成長に与える影響評価	本報告書
	育苗試験③	長根苗用の培地の「かさまし」材としてのもみ殻燐炭の可能性評価	本報告書

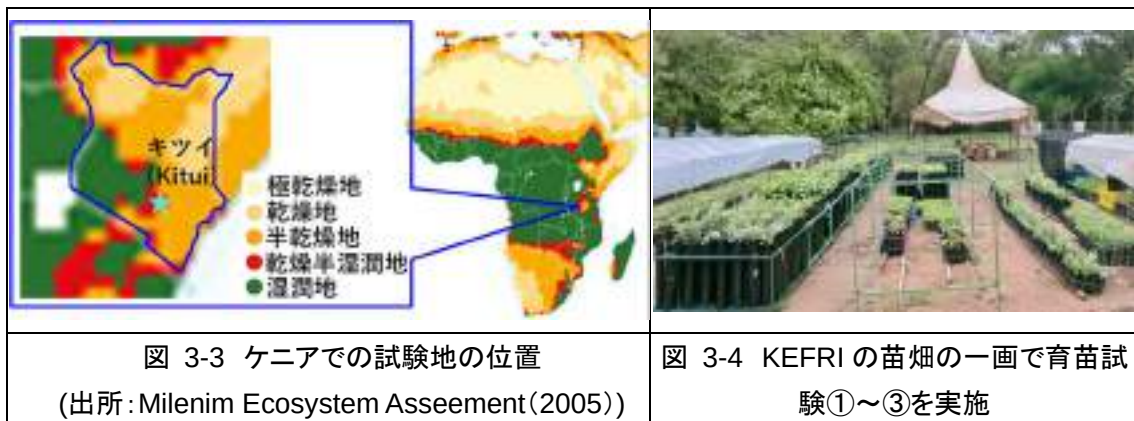


図 3-2 ケニアでの長根苗技術開発のための育苗試験①～③

3.3 試験地の概要

3.3.1 試験地

ケニアのキツイ郡にあるケニア森林研究所(KEFRI)の苗畑で試験を行った(図 3-3)。



3.3.2 ケニア半乾燥地(キツイ)の気象条件

キツイは、年間降水量が 900mm 前後で UNDP の定義では半乾燥地に分類される。雨季と乾季が明瞭に分かれ、6 月から 9 月の 4 ヶ月は雨がほとんど降らない乾季である(図 3-5)。

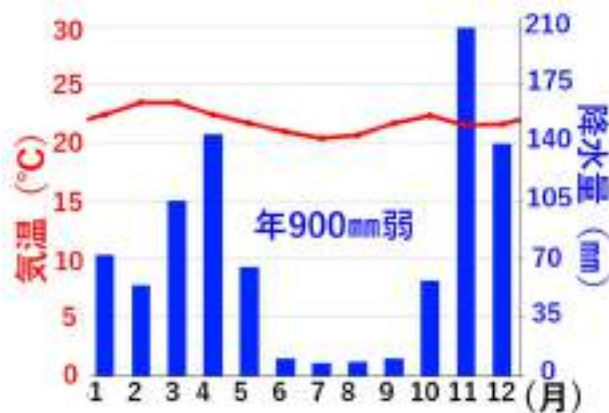


図 3-5 試験地(キツイ)の気温と降水量(出所: Climate-data.org)

3.3.3 ケニア半乾燥地での植林活動の現状と課題

ケニアの国家森林計画(National forest programme 2016-2030)には、政策目標として植林等により2030年までに森林率を2010年の7%から10%に上げるとある。しかし、ケニア森林局(KEFRI)によると、ケニア半乾燥地では雨季が短く、さらに降水が不規則なため、植栽時期が限られ、植林のタイミングを逸してしまうことが多く植林が進まないとのことであった。また、Magaju et al. (2020)によると、半乾燥地に植えられた計 17,520 本の植栽木の生残率は図 3-6 の通りで、*Calliandra calothyrsus*(カリアンドラ)以外は 50%前後の低い生残率であり、マルチや灌水だけでは不十分であることが示唆される。ケニアではビニルポット苗が主流であり、コンテナ苗は普及していない。

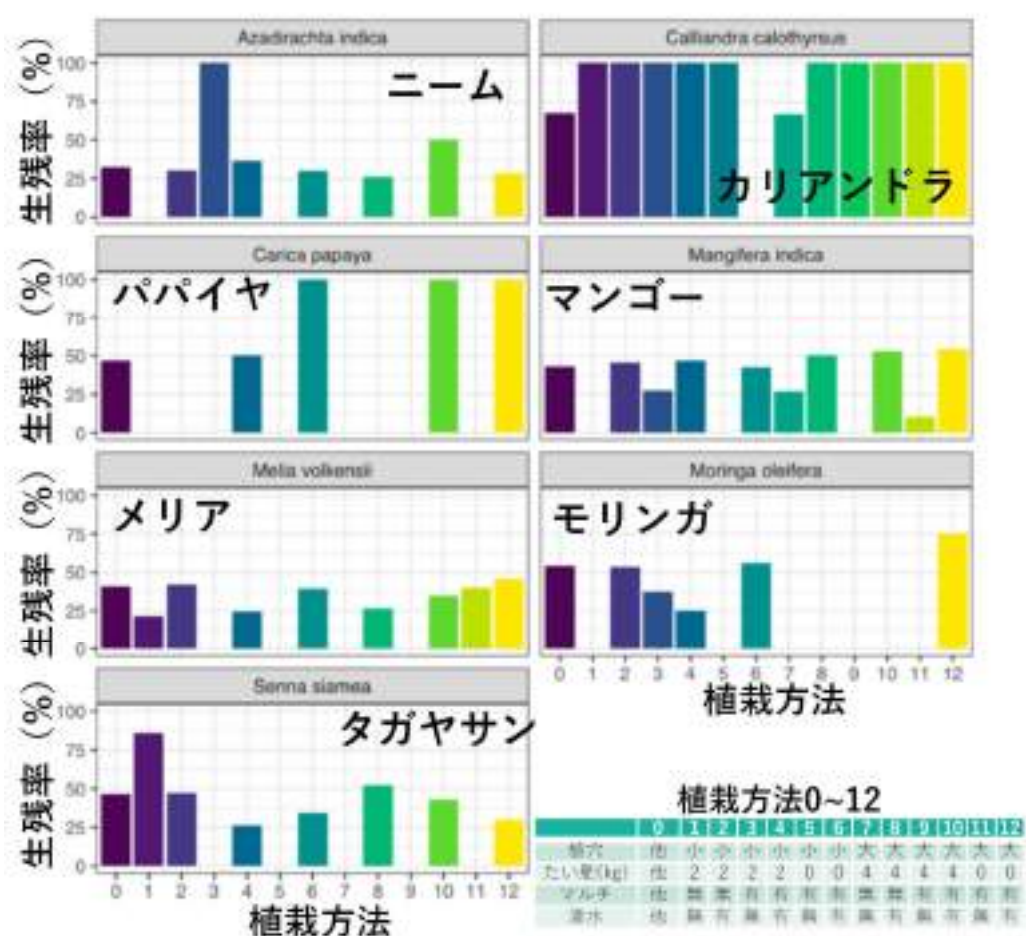


図 3-6 ケニア半乾燥地での異なる植林方法での各樹種の生残率(Magaju et al.(2020))

3.4 試験の方法

3.4.1 本試験で工夫した点

長根苗自体は、既存の技術であり地中海地方の樹種を中心に検討されてきた。本試験では長根苗技術を熱帯途上国でより普及しやすいものにするため、長根苗用の容器、培地、育苗棚、植栽穴を図 3-7 の通り工夫した。



図 3-7 長根苗技術をより実用的なものにするための 4 つの工夫

前述の通り、長根苗は育苗容器からの取り出しの際に根を損傷してしまうことが大きな課題となっている。そこで、本試験では、三樹 (2010)により開発された M-STAR を用いた。M-StAR はポリエチレン製の梱包用の緩衝シート Apton®(四国化工)を筒状に丸めてセルコンテナにしたものである。通常の M-StAR の深さは 15cm 程度だが、その深さと径は、目的や樹種に合わせて緩衝シートを適当な深さに裁断することで調整でき、かつシートを筒状に巻いた空間の中に培地を入れて育苗するので、どんなに容器を深くしても巻かれた緩衝シートを展開するだけで簡単に苗を取り出すことができる。側面には縦方向のリブがあることで、根が巻くことなく底部に誘導されると同時に、底部は解放されているため、底部に到達した根はそこで伸長が停止し(空中根切り)、植栽後の根伸長がスムーズに再開される。

M-STAR のシートは約 50~60 円/枚(深さ 60cm の長根苗用の場合)とビニルポッドに比べると高価だが、10 回以上使用できる利点がある。さらに、通常のコンテナ苗のようにマルチキャビティの金型を作成する必要がない。Air-pot®も M-StAR と似たような構造だが、M-StAR の方が安価でかつ、シンプルでかさばらず(厚さ 4-mm)、軽量(350 g/m²)であり、熱帯林乾燥林が分布する開発途上国でも森林再生のツールとしての普及が期待できる。



図 3-8 長根苗用の M-StAR コンテナを設計

3.4.2 育苗試験①(25 樹種長根苗スクリーニング)の方法

(1) 試験対象樹種

長根苗が育成できる樹種をスクリーニングするにあたって、ケニア半乾燥地の造林樹種 25 樹種を選定した(表 3-2)。選定にあたっては、様々なタイプ(落葉／常緑、マメ科／非マメ科、速い成長速度／遅い成長速度)の樹種を選定した。

表 3-2 育苗試験①(長根苗が育成できる樹種のスクリーニング)の対象 25 樹種

学名	略称	落葉	マメ科	成長(伐期)	育苗試験②、③
<i>Acacia polyacantha</i> ※	Ac.pol	落葉	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Acacia senegal</i> ※	Ac.sen	落葉	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Acacia seyal</i> ※	Ac.sey	常緑	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Acacia tortilis</i> ※	Ac.tor	常緑	マメ科	中庸(短い)	対象
<i>Azadirachta indica</i>	Az.ind	半常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Balanites aegyptiaca</i>	Ba.aeg	常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Ca.equ	常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Croton megalocarpus</i>	Cr.meg	落葉	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	Da.mel	落葉	マメ科	遅い(長い)	対象
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eu.cam	常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Faidherbia albida</i>	Fa.alb	落葉	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Gmelina arborea</i>	Gm.arb	落葉	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Kigelia africana</i>	Ki.lut	半常緑	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Markhamia lutea</i>	Ma.lut	常緑	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Melia volkensii</i>	Me.vol	落葉	非マメ科	早い(短い)	対象
<i>Moringa oleifera</i>	Mo.ole	落葉	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Osyris lanceolata</i>	Oy.lan	常緑	非マメ科	遅い(長い)	非対象
<i>Sclerocarya birrea</i>	Sc.bir	落葉	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Senna siamea</i>	Se.sia	常緑	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Senna spectabilis</i>	Se.spe	半常緑	マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Tamarindus indica</i>	Ta.ind	半常緑	マメ科	遅い(長い)	非対象
<i>Terminalia brownie</i>	Te.bro	落葉	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Terminalia spinosa</i>	Te.spi	落葉	非マメ科	早い(短い)	非対象
<i>Vitex payson</i>	Vi.pay	落葉	非マメ科	中庸(短い)	非対象
<i>Ziziphus mauritiana</i>	Zi.mau	常緑	非マメ科	中庸(短い)	非対象

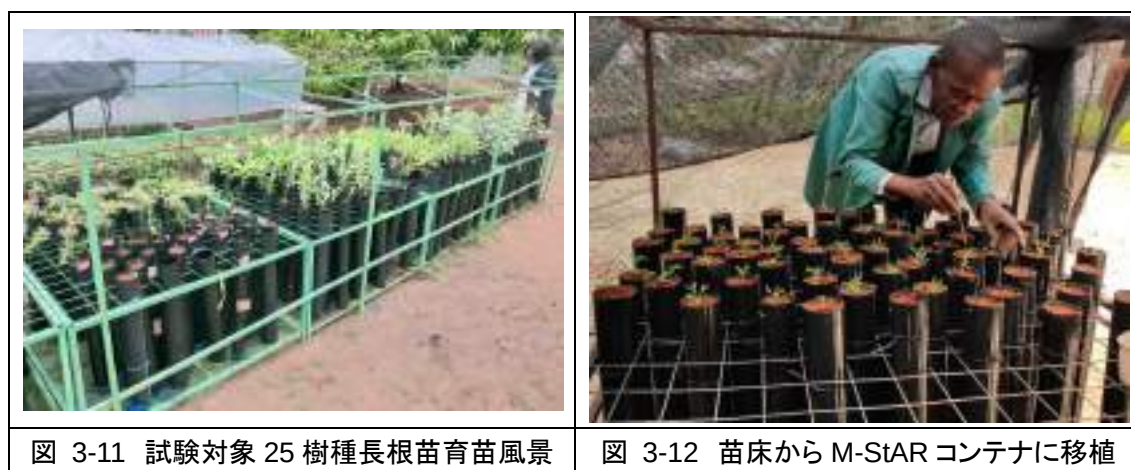
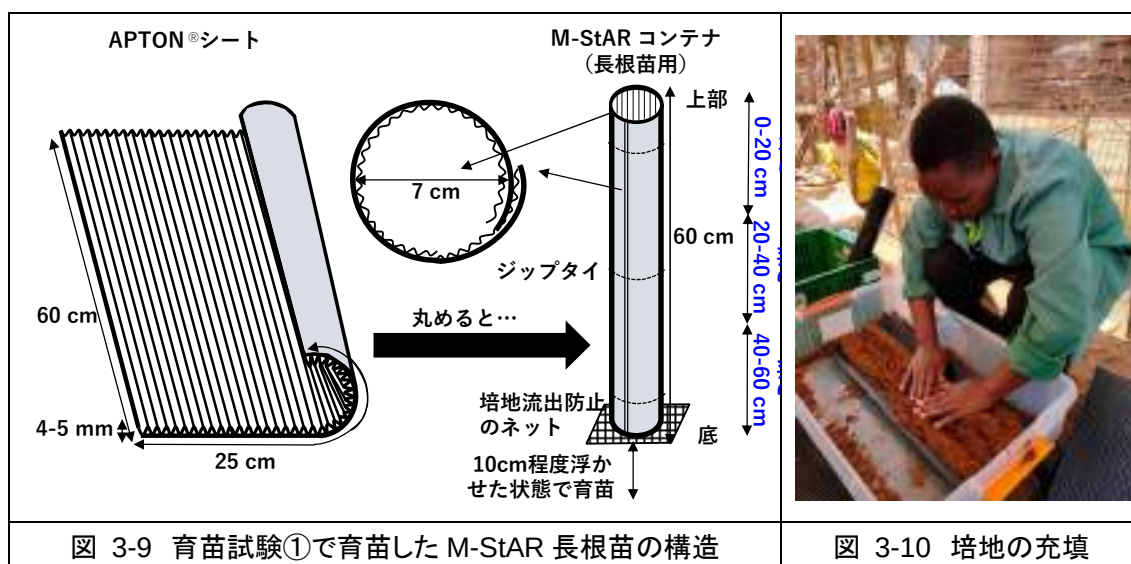
※:現在の分類では *Acacia* 属ではなく、*Senegalia senegal*, *Senegalia polyacantha*, *Vachellia seyal*, *Vachellia tortilis* と呼ばれるが、ケニアでは *Acacia* と呼んでいるのでここでは *Acacia* とした。

(2) 育苗条件

本試験の長根苗育苗に用いる M-StAR コンテナは、Apton シートを深さ 60cm、径 7cm、容量 2,300cc になるようにセルフカットして作成した(図 3-9)。コンテナ底には育苗中の培地の流亡を防ぐために 10cm 四方メッシュのネットを被せた。また、コンテナの上中下部の 3 か所にジップタイをまき、育苗期間中にロールが緩まないようにした。コンテナ苗は空中根切りができるように、木製ラックに立てかけて育てた。

ココナツツピート(coir dust) は EC が 50 mS /m 以下になっていることを確認し、風乾した後、M-StAR コンテナに 0.07~0.08 g/cc になる程度に充填した。ココナツツピートには遅効性肥料(Osmocote exact, N-P-K: 15-9-12; 5-6 か月) を均一に 5 g/L 混ぜた。

試験対象 25 樹種を砂の苗床に播種し発芽させ、本葉が出た後 M-StAR コンテナに移植した(全樹種同じタイミングで 36 本以上/樹種を移植)。毎日いくつかのコンテナを持ち上げて重量を図ることで水分量をチェックし、コンテナ内の水分が半分以下になっていたら圃場容水量分灌水した(2~3 回/週)。



(3) 長根苗の評価の方法、データ入手方法

長根苗が育成できる樹種のスクリーニングにあたっては、どの程度の育苗期間で、①根がコンテナ底まで到達するか、②根鉢形成がされるかと、③地上部(地際径、苗高)がどのように成長するかによって、25 樹種の長根苗を評価した。そのため、移植後、約 1 か月おきに地際径と苗高、約 2 か月おきに、根の到達深度と根鉢硬さを測定した。

根鉢硬さは根鉢形成の指標になり得ることが報告されている(斎藤他, 2019)。本試験では、育苗 2 か月目と 5 か月目でサンプルした苗木の根鉢表面に、デジタルフォースゲージ(IMADA,Japan)の針(径 mm、高さ mm の円錐)を深さ 10mm だけ垂直に埋没させた際の負荷量(g) (根鉢表面の硬さ(Resistance))を計測した(図 3-20)。3 深度(0-20cm、20-40cm、40-60cm)で輪切りされた各セクションの根鉢の表面全体に満遍なく 7 点の根鉢表面の硬さを計測し、その中央値を対象根鉢セクションの根鉢表面の硬さの代表値として、データ分析に使用した。根鉢表面の硬さに加え、コンテナから取り出した根鉢の崩れにくさ(Firmness)を以下の基準に従い判定した。「1.崩れる(Fragile):コンテナから取り出す際に簡単に崩れる」、「2.柔らかい(Soft):握ったときに少し崩れる」、「3.崩れない(Firm):握っても崩れず、そのまま持ち運び可能」、「4.硬い(Hard):強く握ってもかけても崩れない」。「3.崩れない」や「4.硬い」であれば、移送や植栽時に崩れず、作業に支障はないので、この状態を「根鉢形成された」とみなした。樹種や根鉢深度を区別せずに 4 段階で評価した各崩れにくさ評価に対応する根鉢表面の硬さのヒストグラムを重ね合わせた。各評価のヒストグラムから算出されるカーネル密度曲線のピーク時の根鉢表面の硬さを算定した。また、隣り合う評価のカーネル密度曲線の交点の根鉢表面の硬さをその評価間の閾値とみなした。

3.4.3 育苗試験②(コンテナの深さが苗木成長に与える影響評価)の方法

試験対象樹種、試験設計、育苗条件、データ入手方法

育苗試験②は苗木成長に対するコンテナ深さが苗木成長に与える影響を評価するため、3 深度の M-StAR コンテナで 3 樹種を育苗した(図 3-13)。育苗条件は育苗試験①と同様だが、深さ 15cm、30cm の M-StAR 苗はプラスチックトレイ枠で育苗した。育苗して 5 か月経過時点の地際径と苗高を計測した。

	
図 3-13 育苗試験②(コンテナの深さが苗木成長に与える影響評価)の試験設計	図 3-14 深さ 15cm、30cm の M-StAR 苗はプラスチックトレイ枠で育苗

3.4.4 育苗試験③(苗木成長に対するもみ殻燐炭混合の影響)の方法

試験対象樹種、試験設計、育苗条件、データ入手方法

長根苗コンテナは大容量のため育苗コストのうち培地コストの占める割合が高い。ケニアでは、ココナツピートに比べ、もみ殻燐炭のほうが入手が容易で、体積あたりの価格が安い(図 3-15、図 3-16)、ココナツピートにもみ殻燐炭を混ぜる割合が高くなるほど、培地コストを安く抑えることができる。そこで、もみ殻燐炭をココナツピート培地の「かさまし」材として使えないか検討すべく、どの程度の割合までもみ殻燐炭を混ぜても成長が阻害されないかを試験した。図 3-17 の通り、深さ 30cm の M-StAR コンテナにココナツピートともみ殻燐炭を異なる混合比で(0、25、50、75、100% v/v)混ぜた培地を充填し、3 樹種を育苗した。培地以外の育苗条件は育苗試験①、②と同様である。育苗して5 か月経過時点の地際径と苗高を計測した。



図 3-15 もみ殻燐炭製造の様子(現地では 300 円/20 kgでココナツピートの 1/3~1/6 の値段)

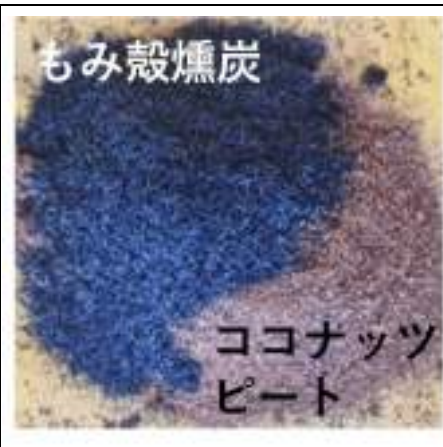


図 3-16 ココナツピートともみ殻燐炭を5段階の混合比にした培地で育苗



図 3-17 育苗試験③(苗木成長に対するもみ殻燐炭混合の影響)の試験設計

3.5 試験結果

3.5.1 育苗試験①(25 樹種長根苗スクリーニング)の結果

(1) 育苗 5 か月経過時点の長根苗の成長(樹高、地際径、根の到達深度)

育苗 5 か月経過時点の対象 25 樹種の長根苗の苗高、地際径、根の到達深度は、図 3-18 の通りである。地際径については Os.lan 以外は 4mm 以上に成長し、Eu.cam、Gm.arb、Me.vol、Mo.ole、Sc.bir、Ac.pol は 10mm 程度まで成長していた。苗高は Eu.cam が一番高く 100cm 超であったのに対し、Az.ind や Os.lan は 10cm 程度でほとんど成長していない。根の到達深度は Az.ind と Os.lan 以外の 23 樹種は深さ 40cm 以上まで到達し、そのうち 12 樹種(Ba.aeg, Ca.equ, Eu.cam, Cr.meg, Te.bro, Vi.pay, Se.sia, Ta.ind, Ac.pol, Ac.sen, Fa.alb, Da.mel)は、コンテナ底まで完全に到達した。

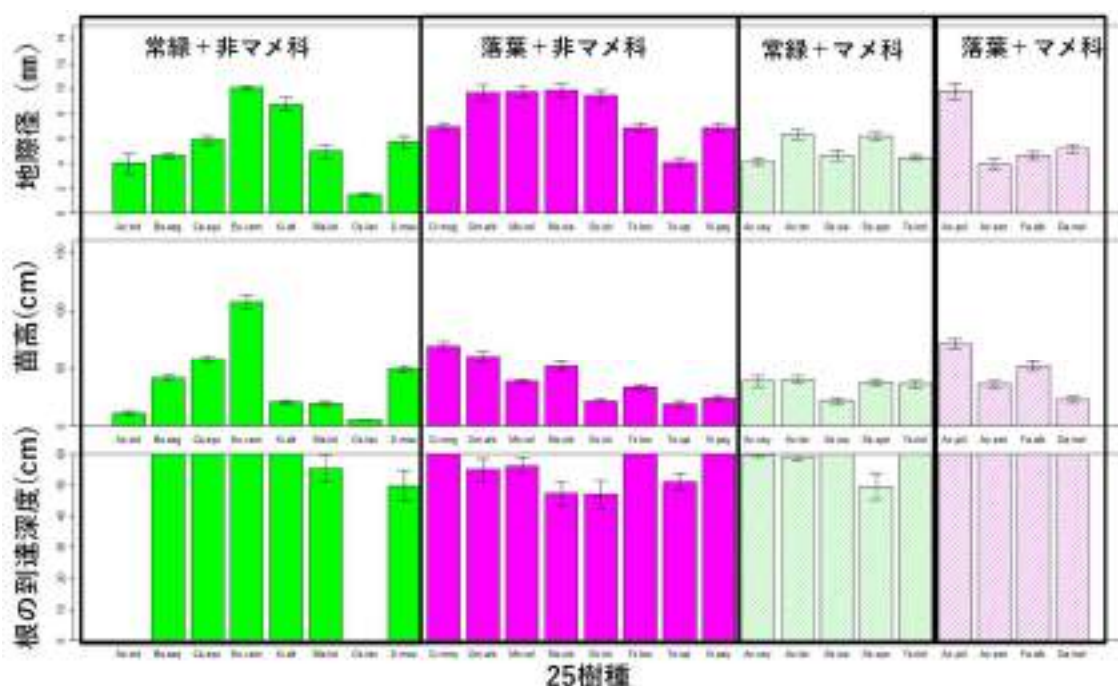


図 3-18 育苗 5 か月経過時点の地際径、苗高、根の到達深度(バーは標準誤差、n=8 以上(地際径、苗高)、n=7(根の到達深度)、Az.ind と Os.lan の根の到達深度は未計測)

(2) 育苗 5 か月経過時点の根鉢硬さ

根鉢表面の硬さの計測値のヒストグラムは、図 3-19 の通り、根鉢形成の 4 段階評価(崩れる、柔らかい、崩れない、硬い) 毎にある程度まとまってグルーピングされた(「硬い」の基準も設けたが育苗 5 か月経過時点ではそれに該当する根鉢はなかった)。根鉢形成の 4 段階評価毎の根鉢表面の硬さの計測値の頻度分布(ヒストグラム)から作成したカーネル密度推定のピークは、定性的な根鉢形成評価によく対応し(図 3-19 参照)、根鉢硬さの測定値により根鉢形成を定量的に評価できることが分かった。「柔らかい」と「崩れない」のカーネル密度が同値になる(曲線が交差する)時の根鉢表面の硬さは 535g 程度であり、それを「柔らかい」と「崩れない」の間の閾値とみなした。

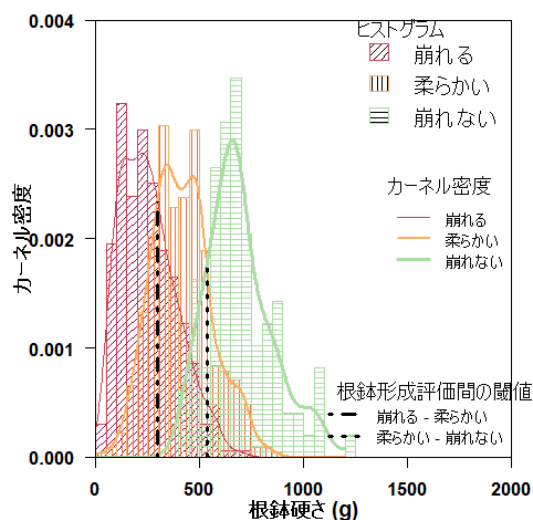


図 3-19 根鉢形成評価毎の根鉢硬さのヒストグラム

図 3-20 根鉢硬さの測定の様子

育苗 5 か月経過時点での各樹種の根鉢表面の硬さの値は、図 3-21 の通りである。Eu.cam や Ac.pol は全 3 深度で根鉢硬さは「崩れない」の閾値を超えており、5 か月の育苗期間ですでに植栽可能な程度に根鉢形成がされていた。Se.spe や Ca.equ を除いてほとんどの樹種が、深さ 20-40cm よりも深さ 40-60cm の根鉢硬さが高い傾向がみられた。これは、根は 40-60cm のところで分岐を増やし細根がよく発達しているが、深さ 20-40cm のところは細根が少ないのが原因であると考えられた。さらに育苗を続けることで(育苗期間 5 か月以上)、深さ 20-40cm のところの根鉢硬さが固くなるかどうかは、今後もモニタリングしていく必要がある。

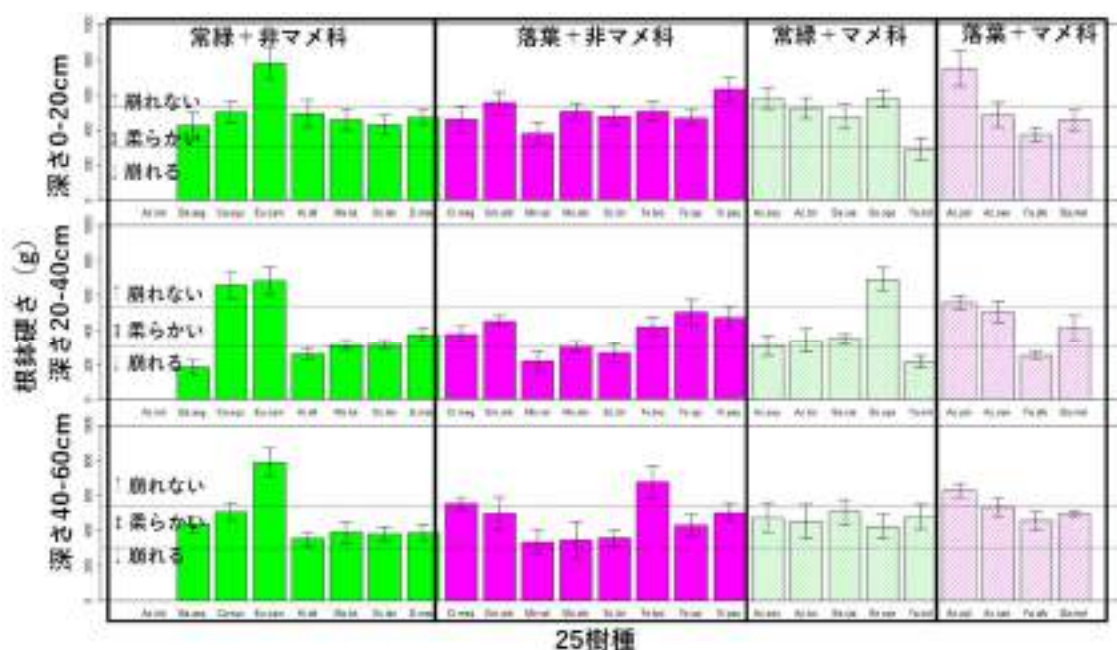
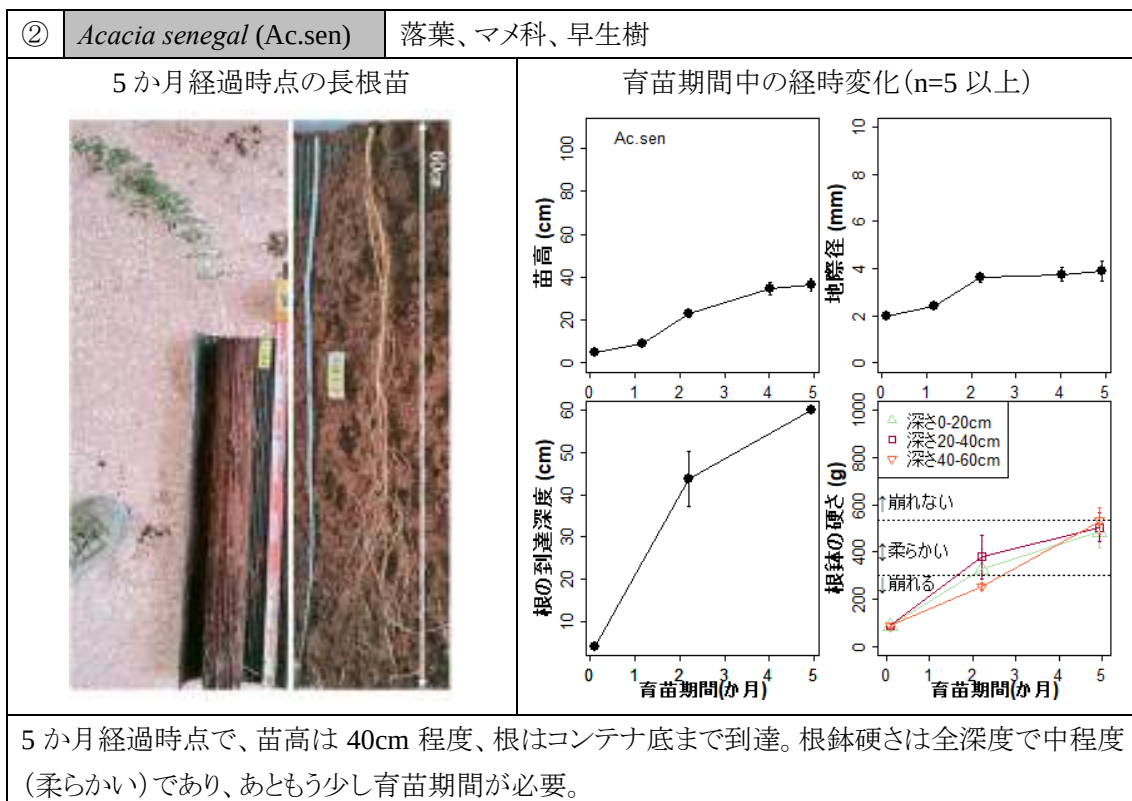
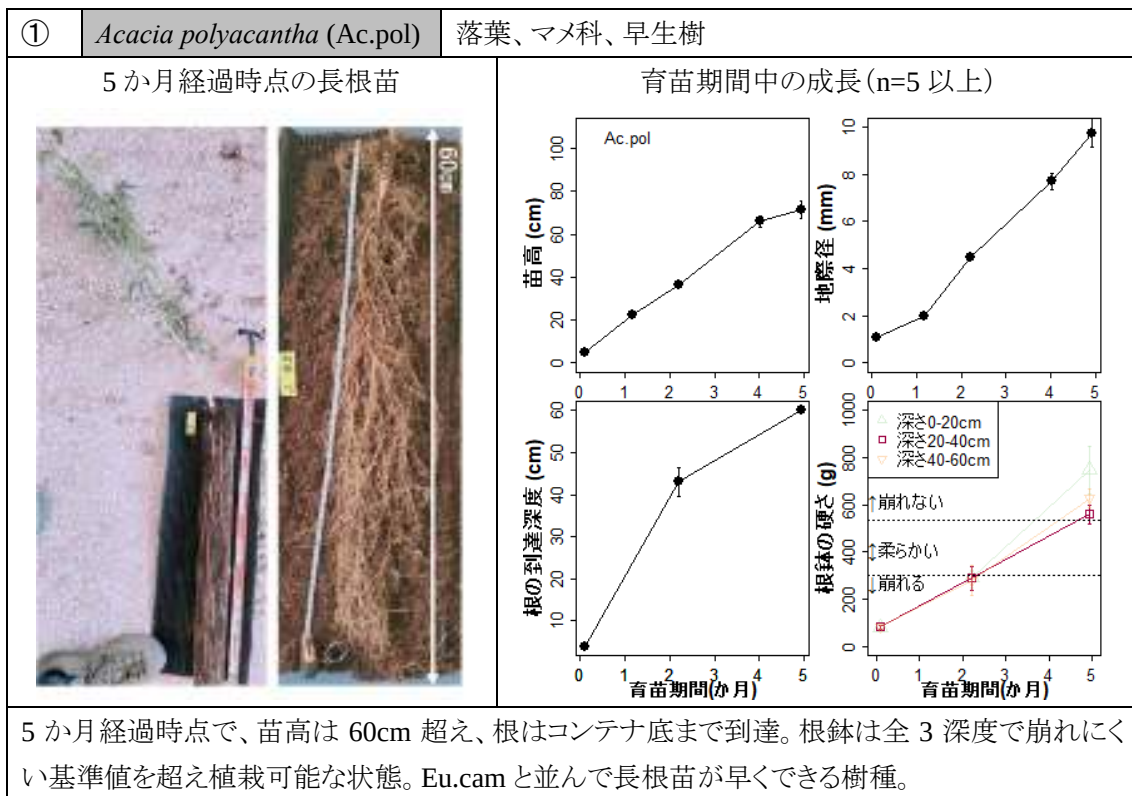


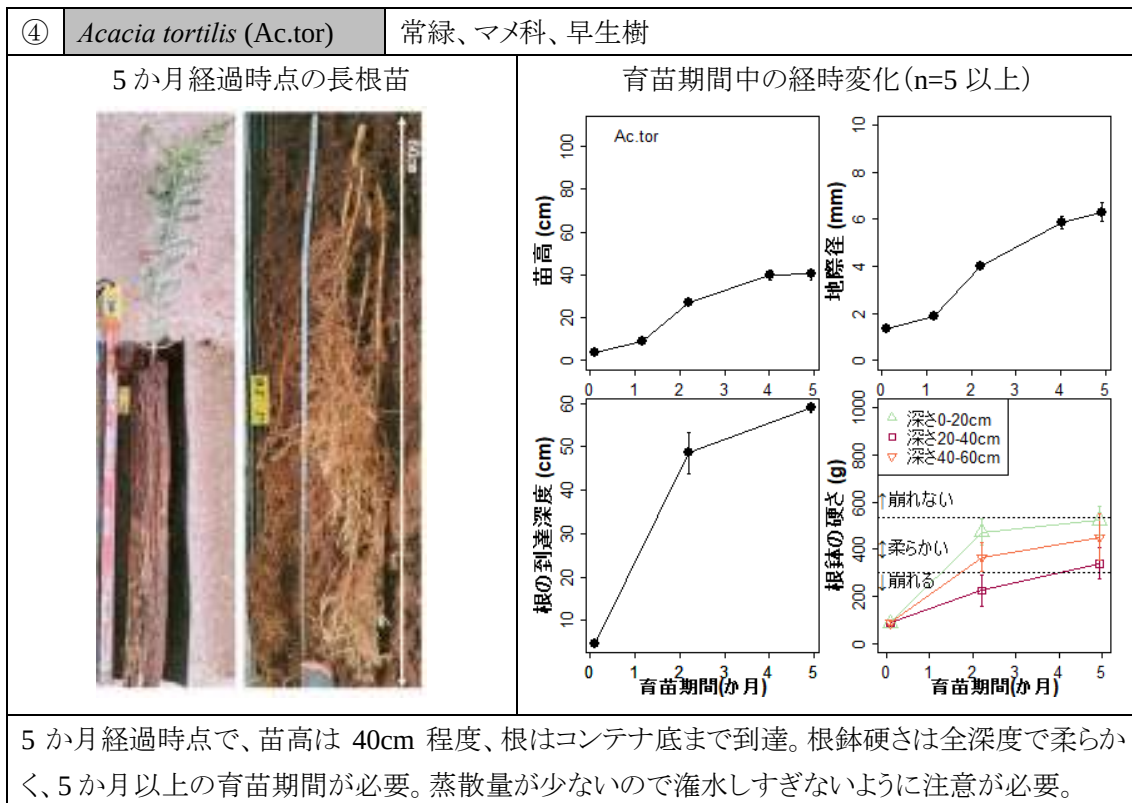
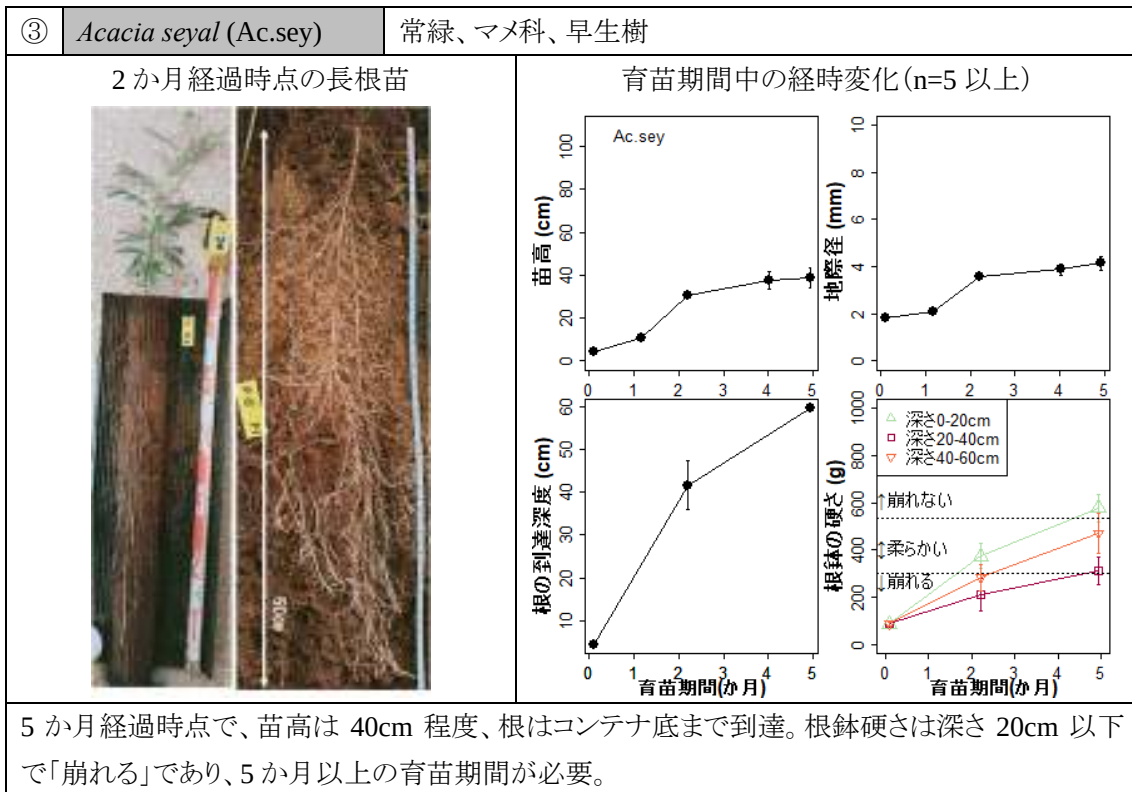
図 3-21 育苗 5 か月経過時点の根鉢表面の硬さ(バーは標準誤差、n=7、Az.ind は未計測)

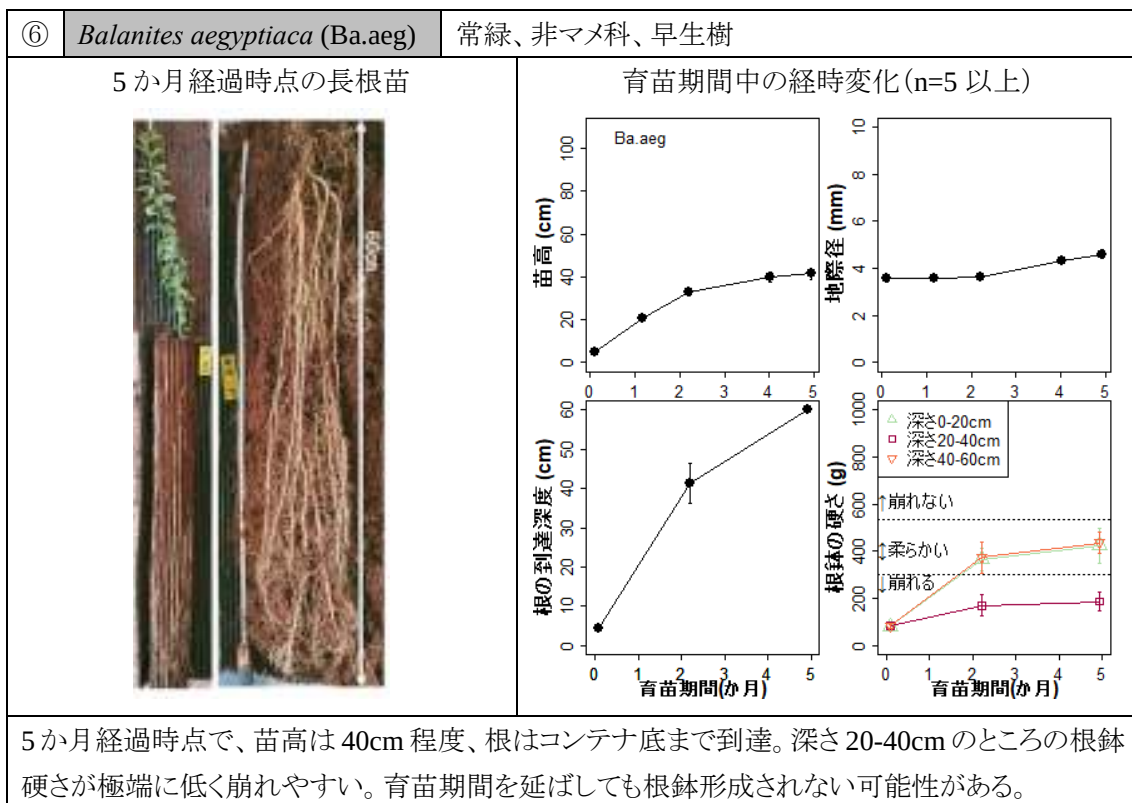
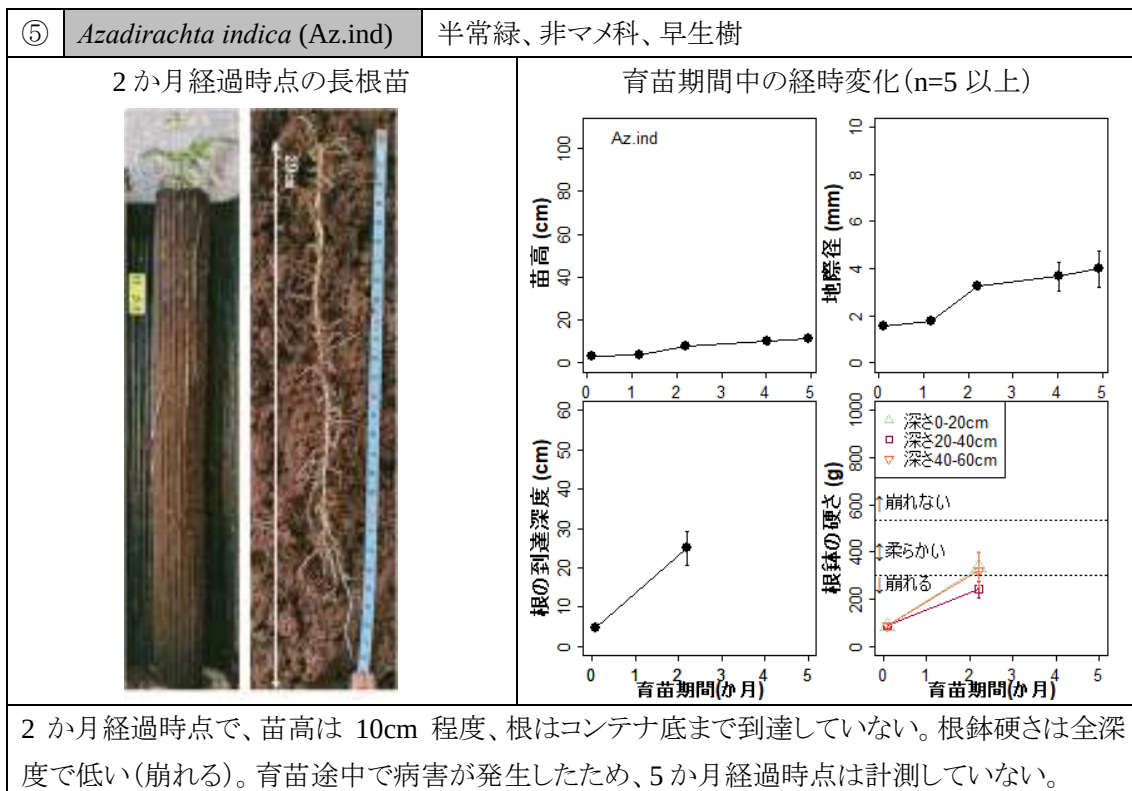
(3) 25 樹種の長根苗の成長(地際径、苗高、根の到達深度、根鉢硬さ)の経時変化

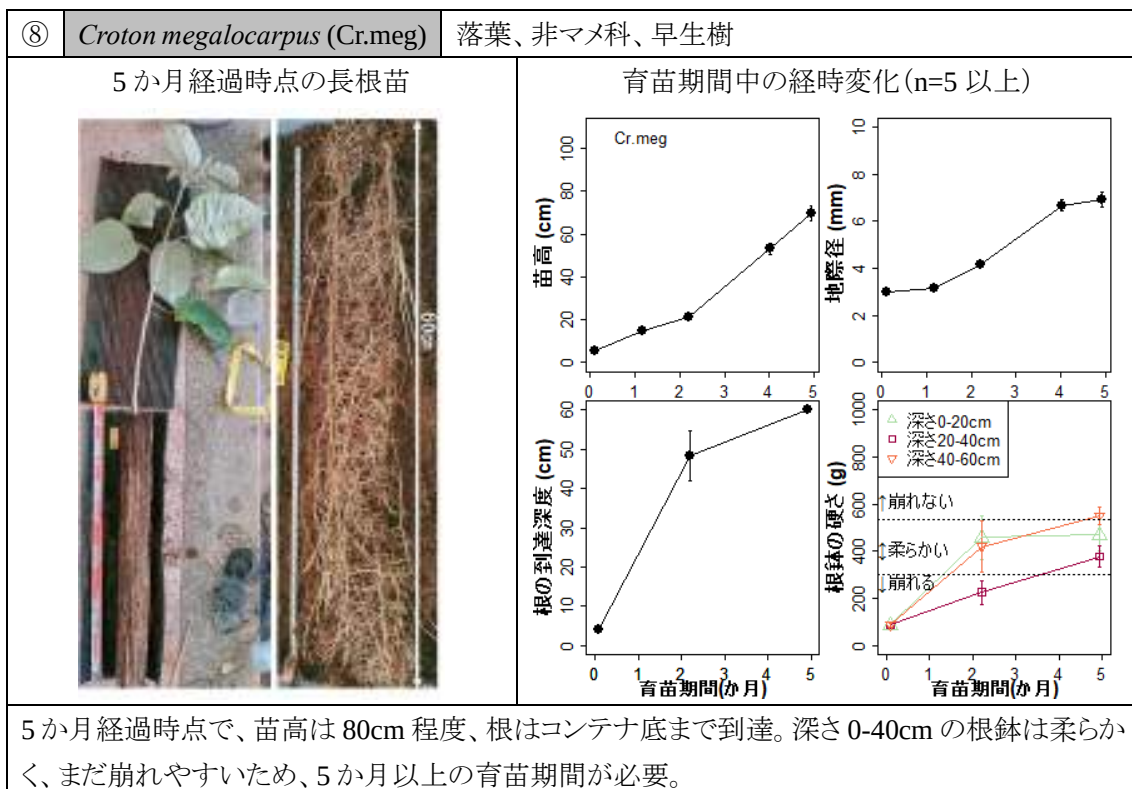
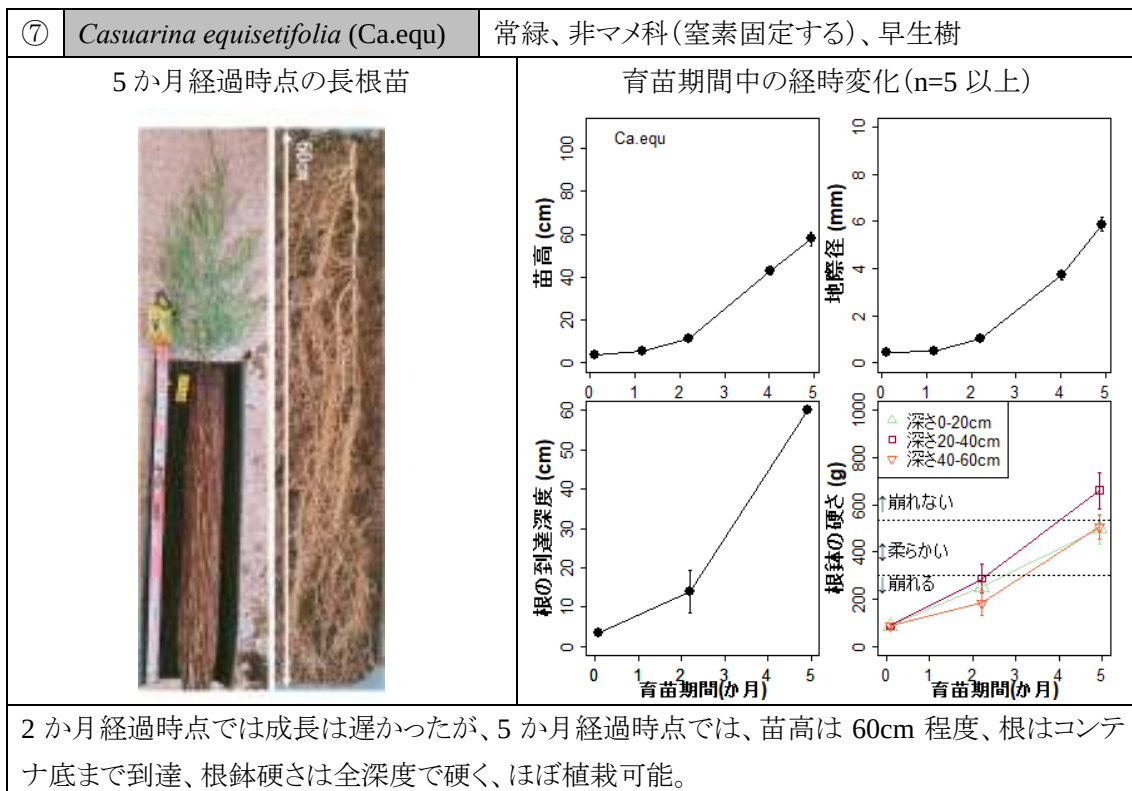
育苗した 25 樹種の長根苗について、5 か月間の成長の経時変化を樹種ごとに整理したものが、以下①～⑤である。

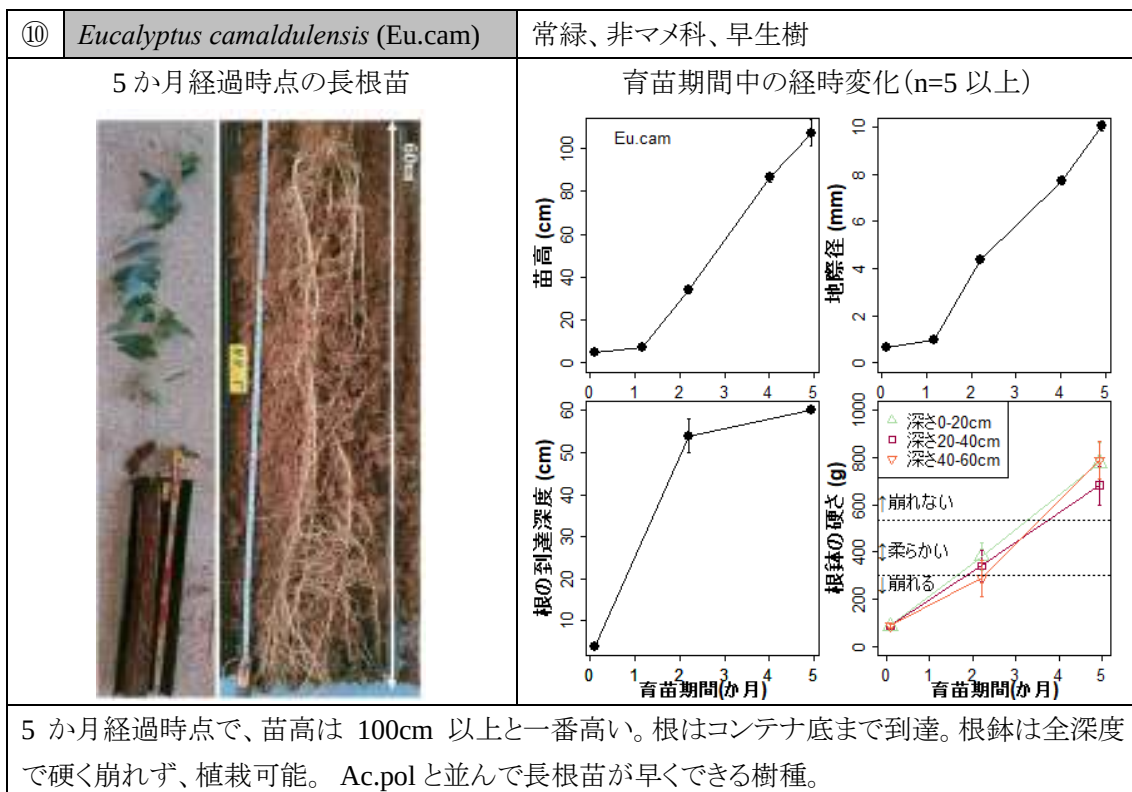
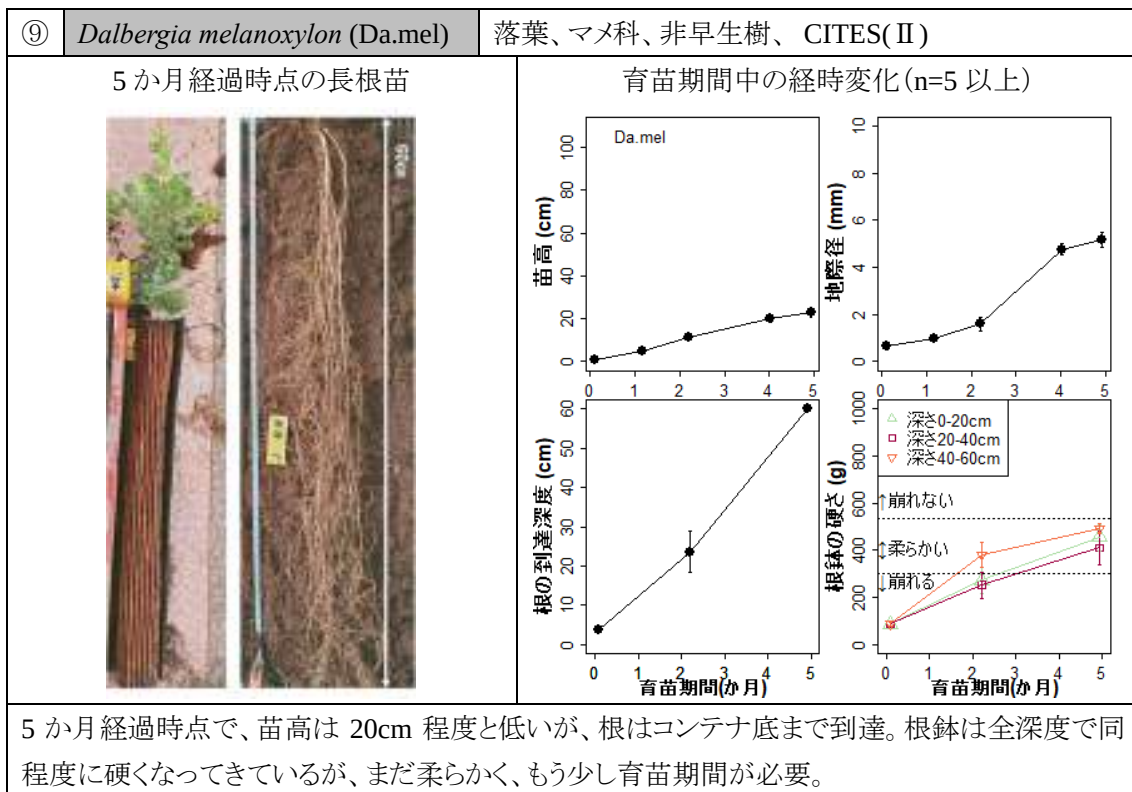
成長の速度は異なるが、Az.ind と Os.lan 以外の 23 樹種は育苗が進むにつて、地上部は大きくなり、根が下に伸長し、根鉢も硬くなっていった。Az.ind はミャンマーでは問題なく生育したが(R2 報告書参照)、ケニアでは育苗中に病害のためほとんどが枯死した。Os.lan は寄生植物であり、宿主木の *Sedum reflexum* は順調に生育したが、Os.lan はほとんど成長しなかった。

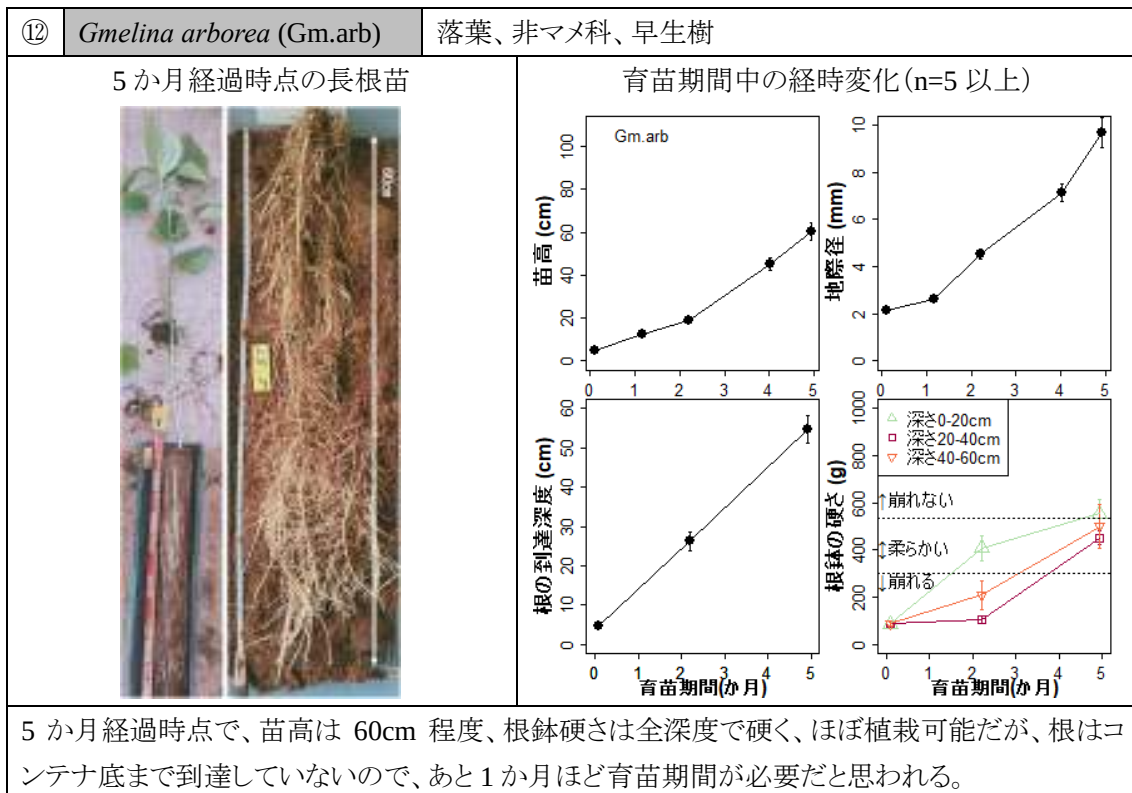
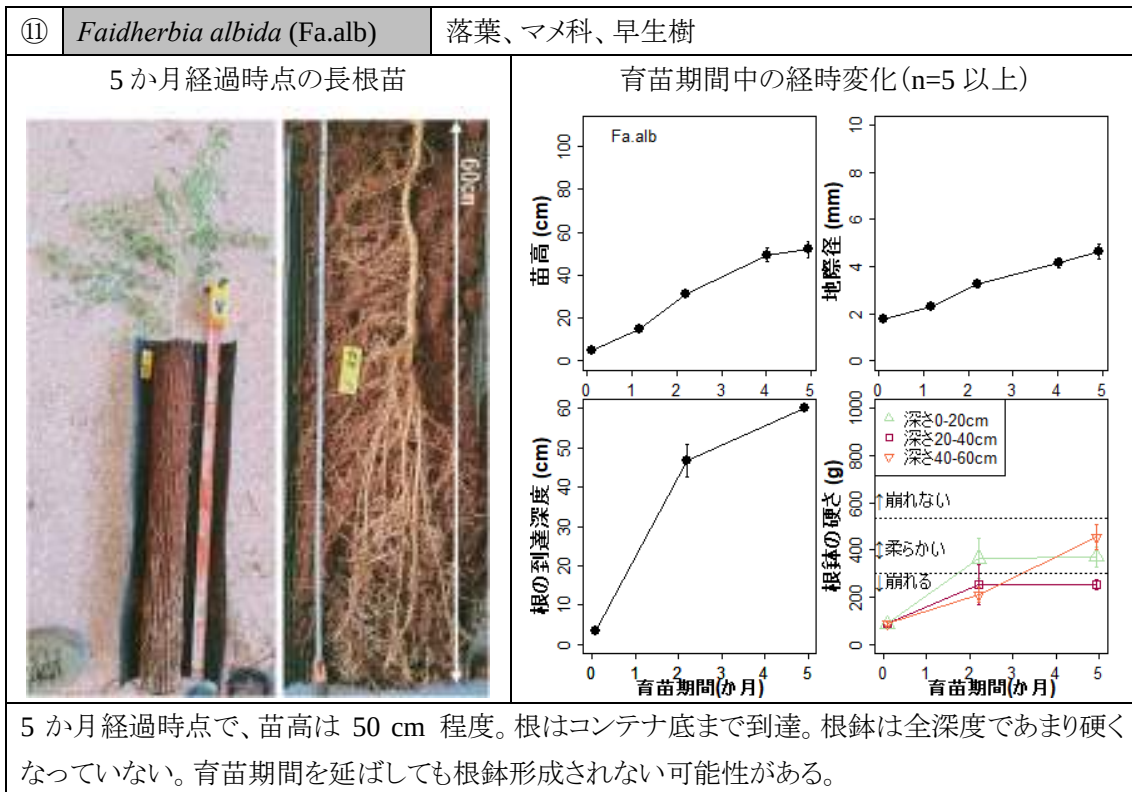


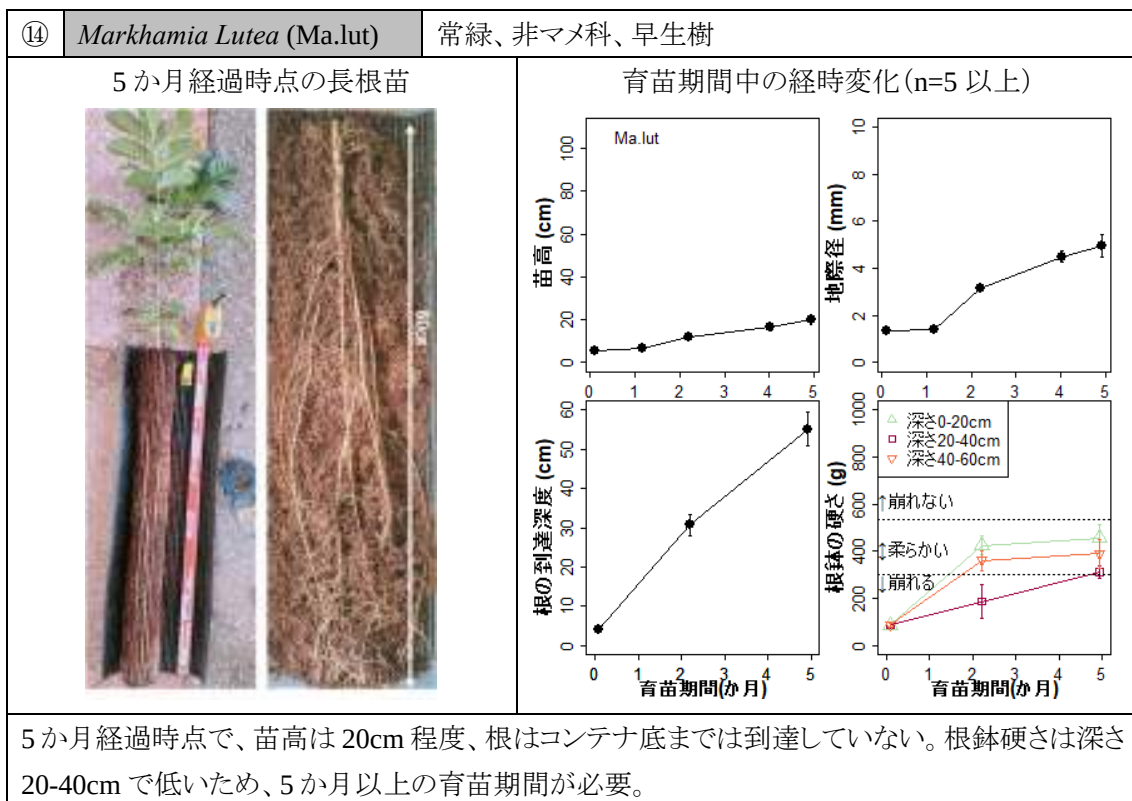
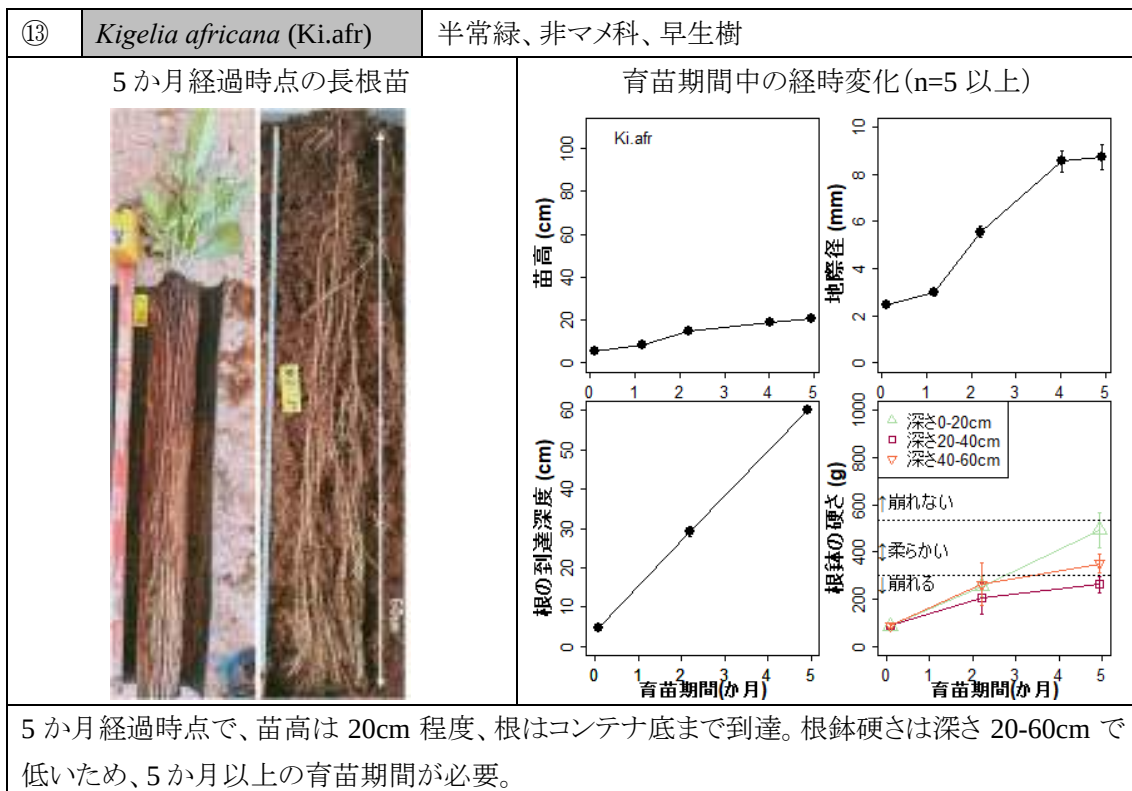


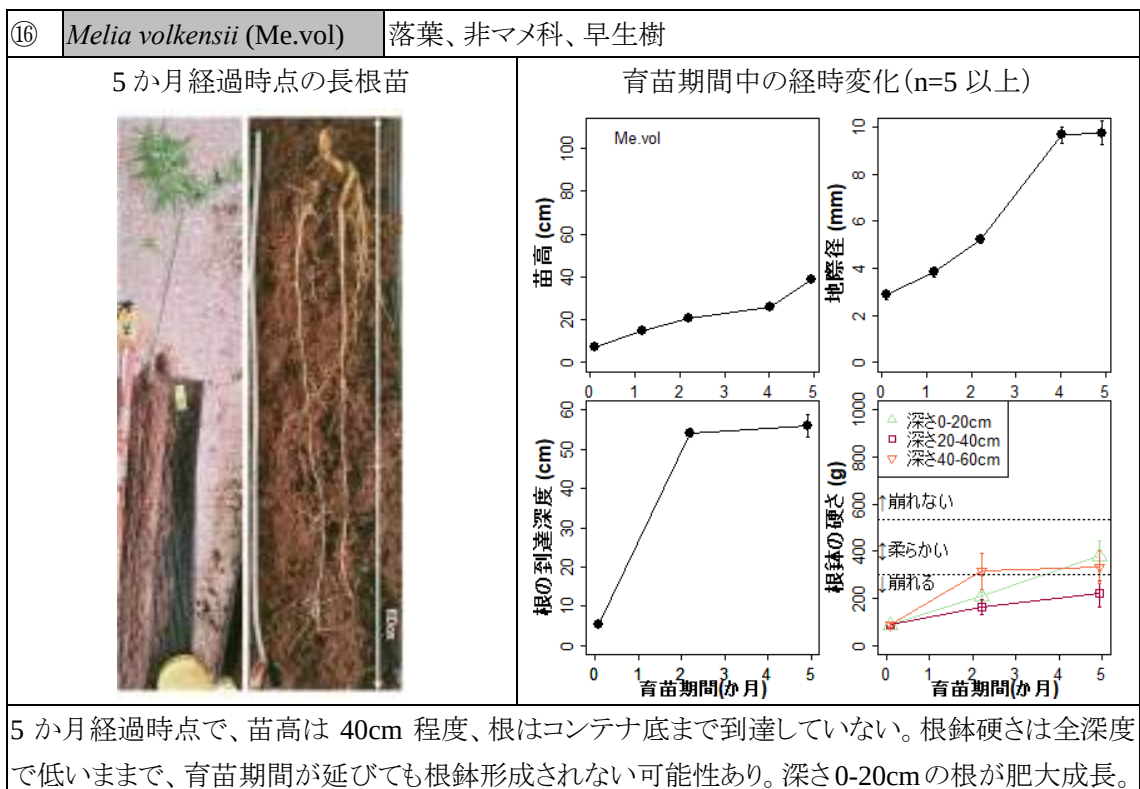
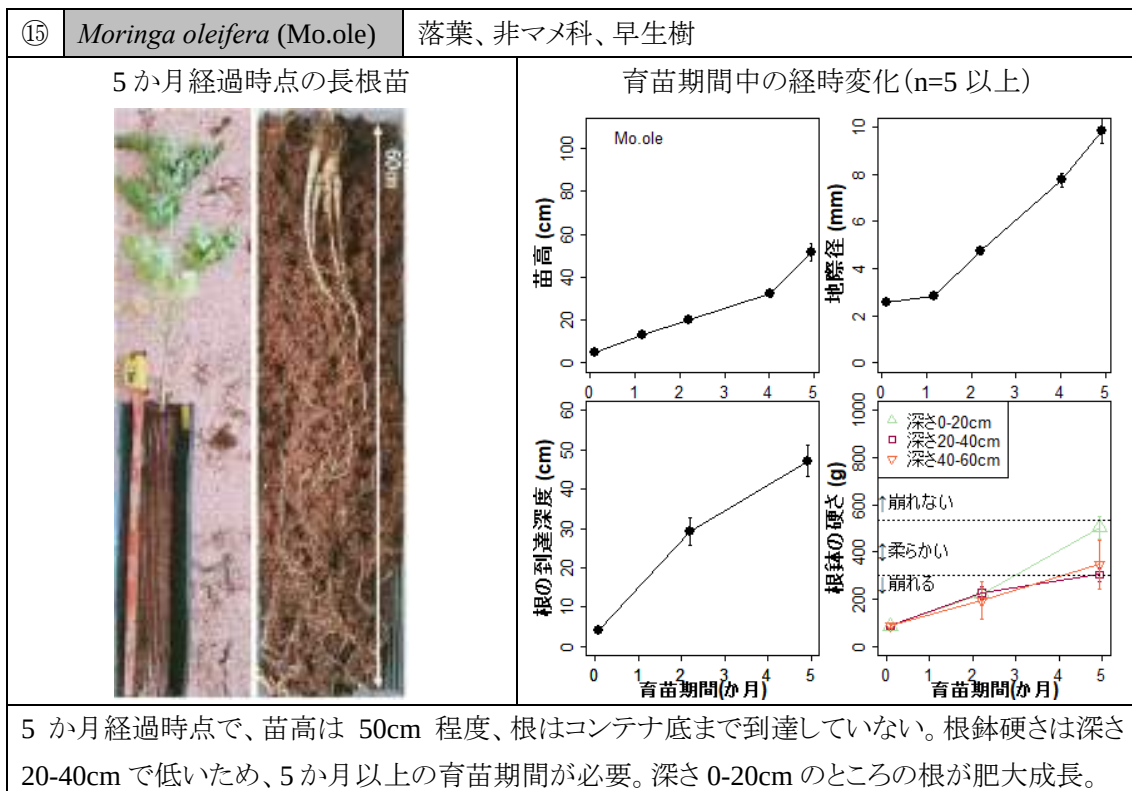


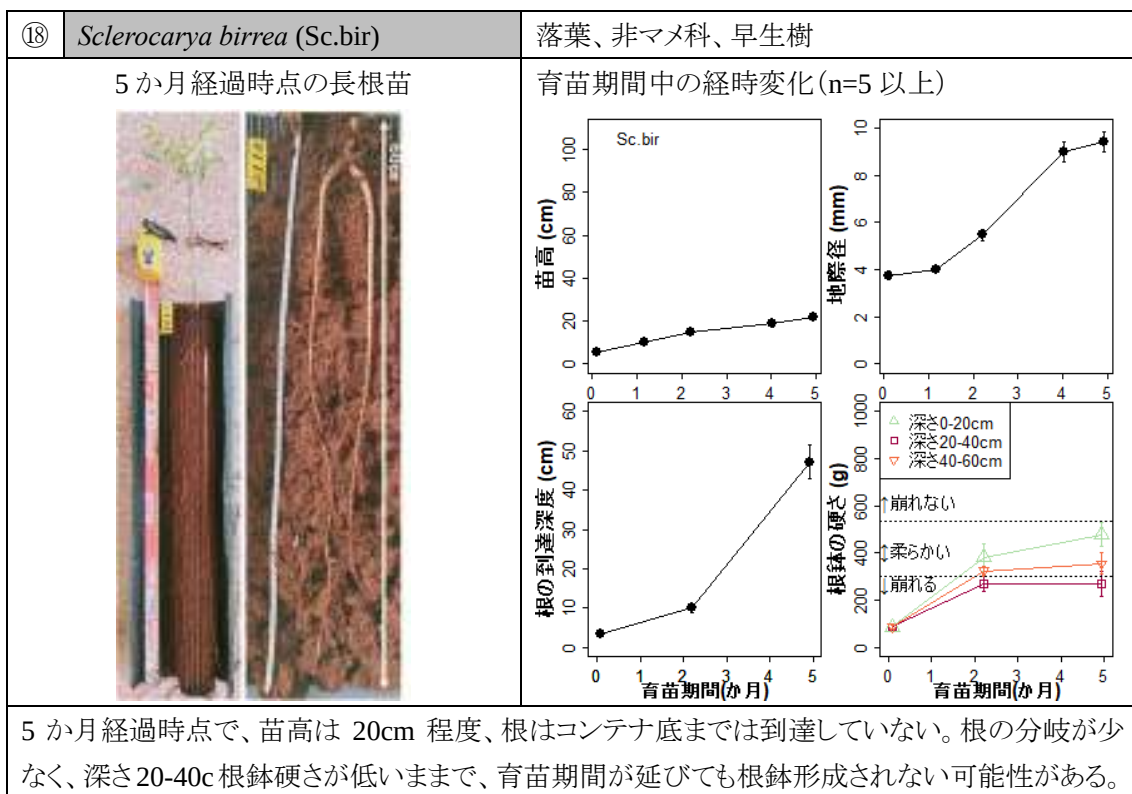
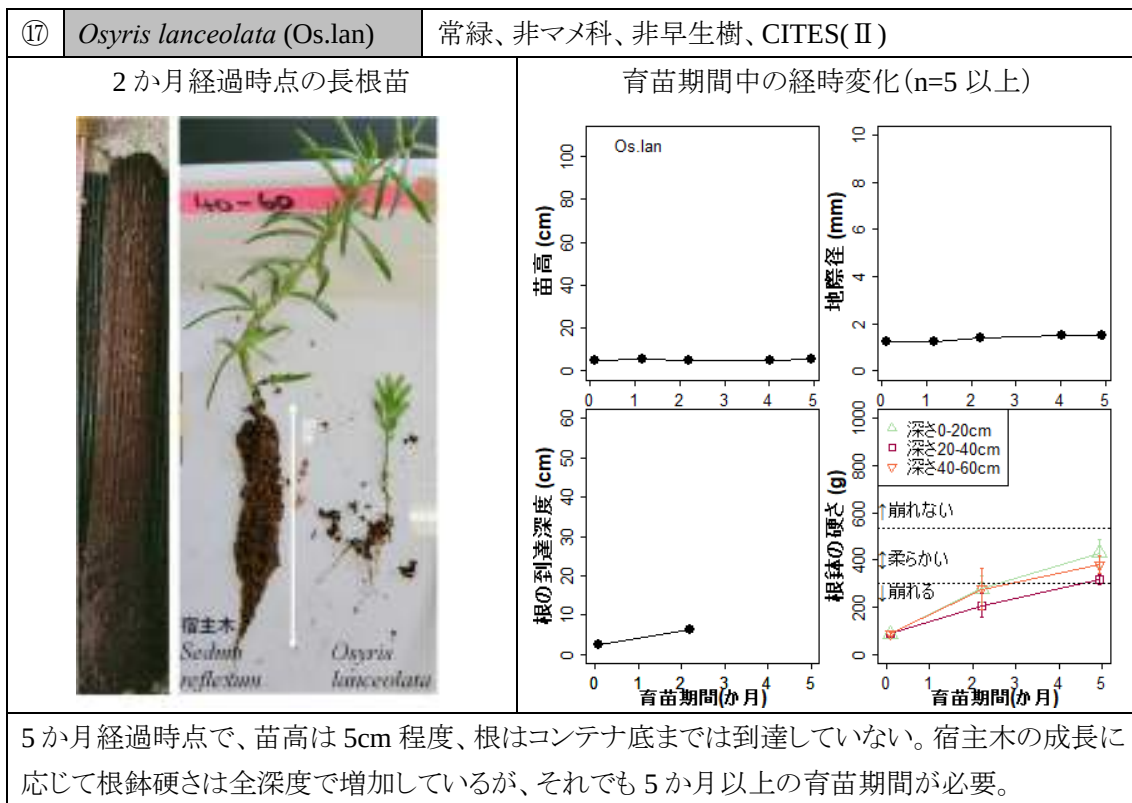


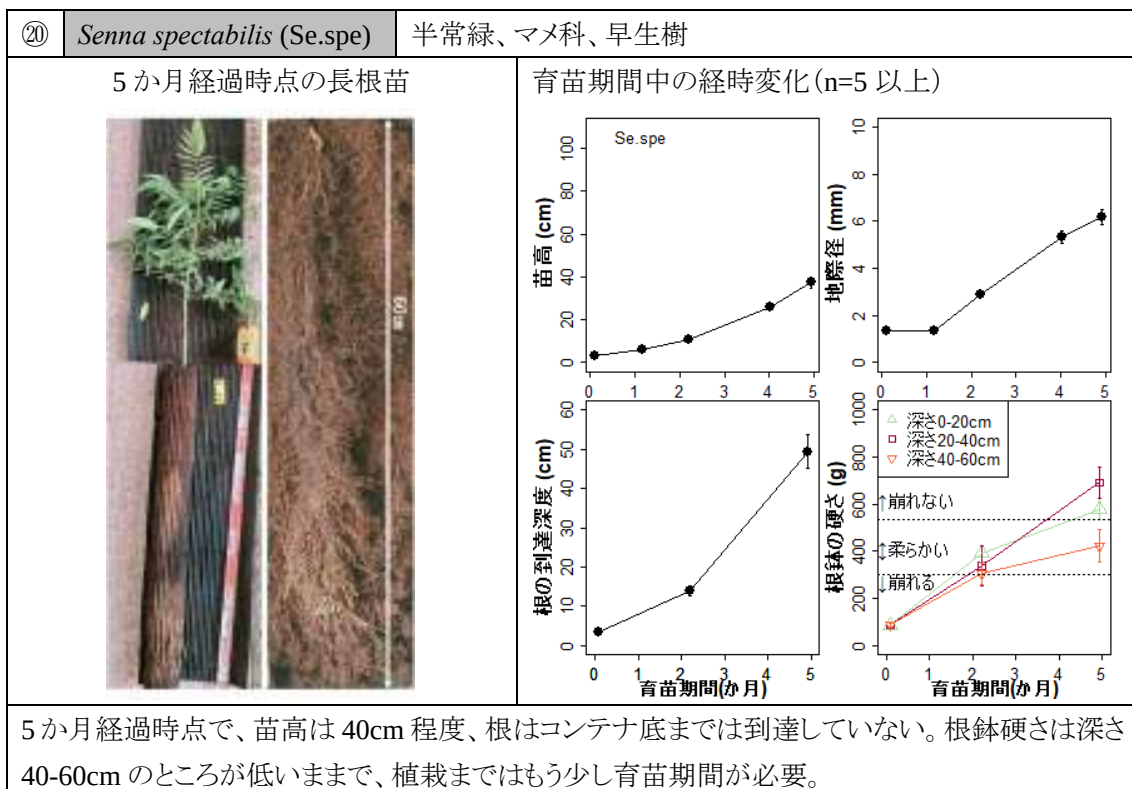
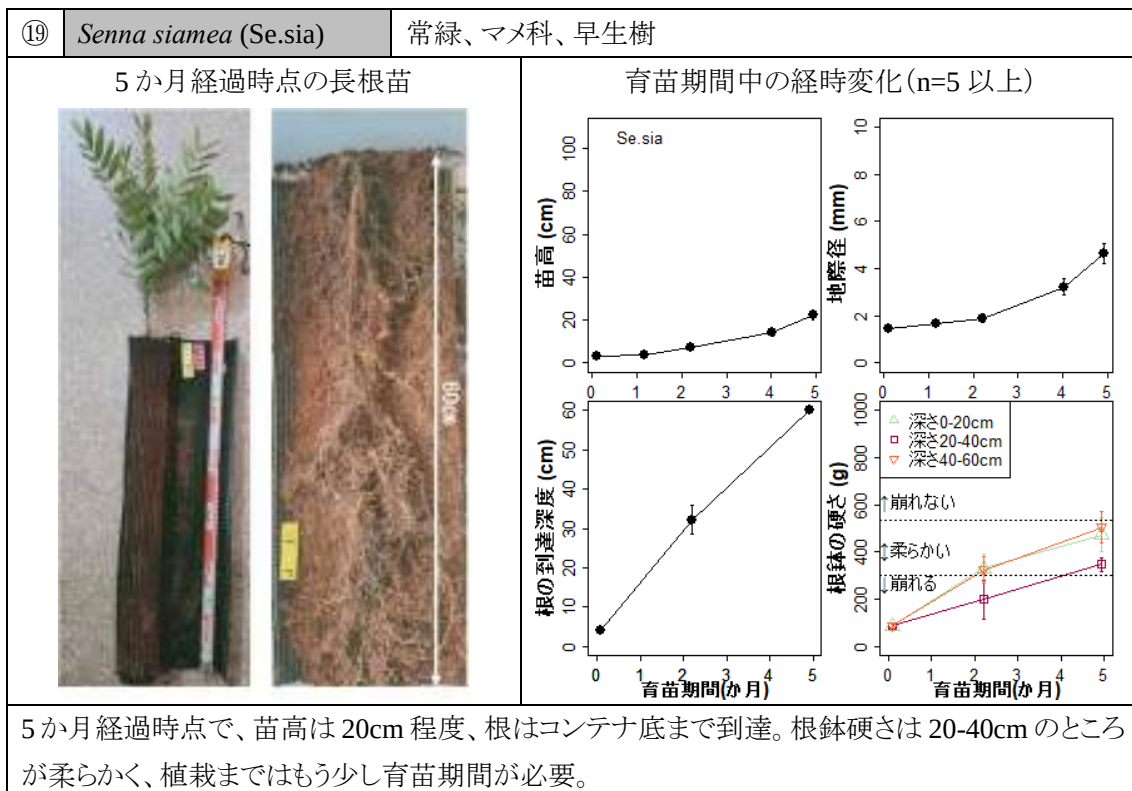


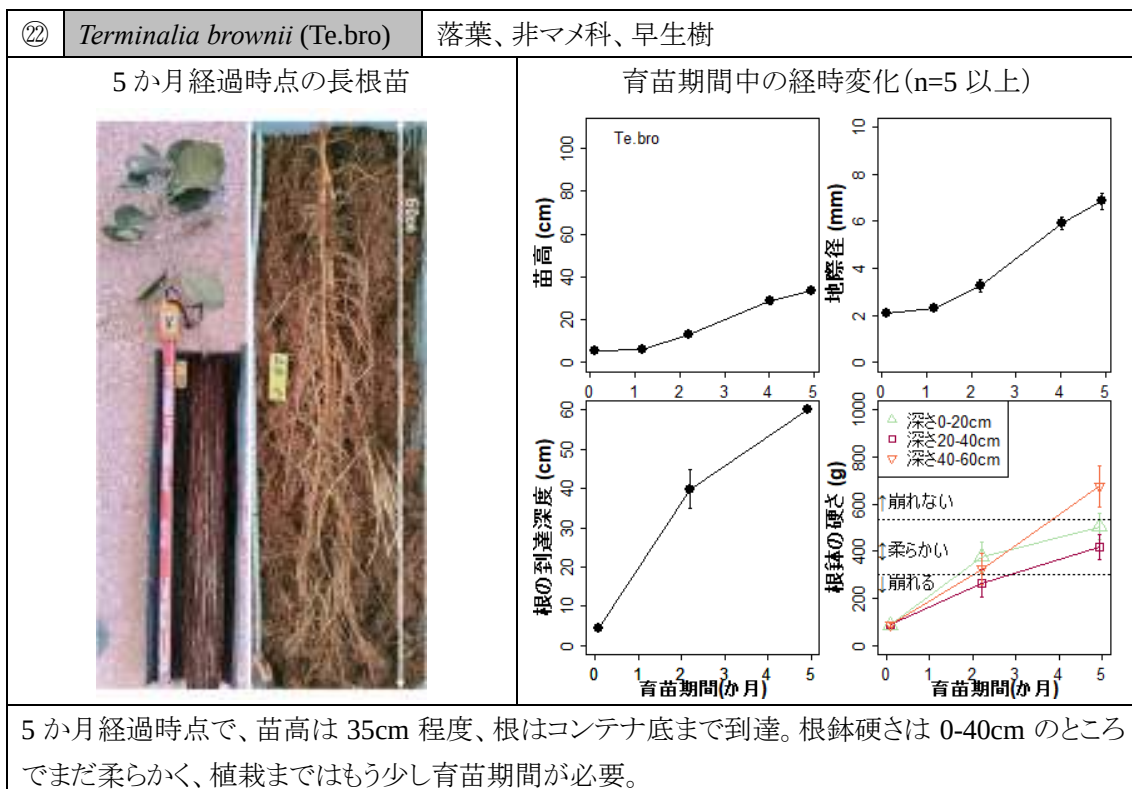
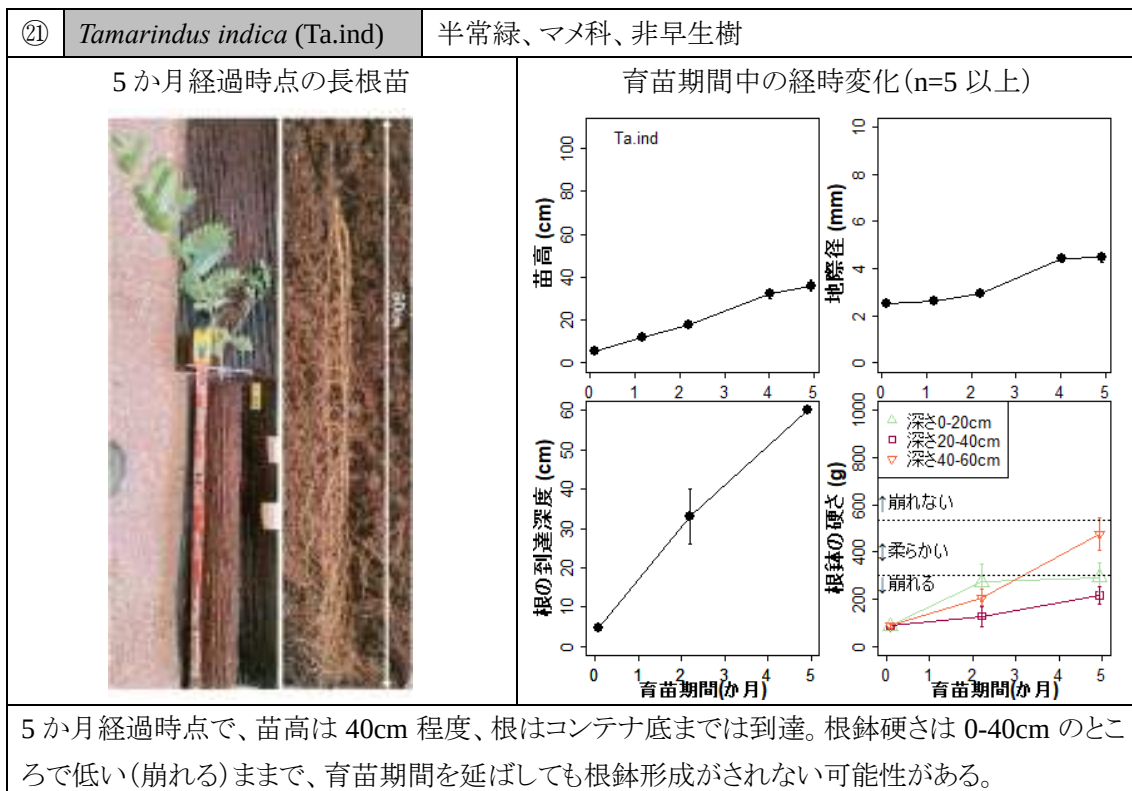


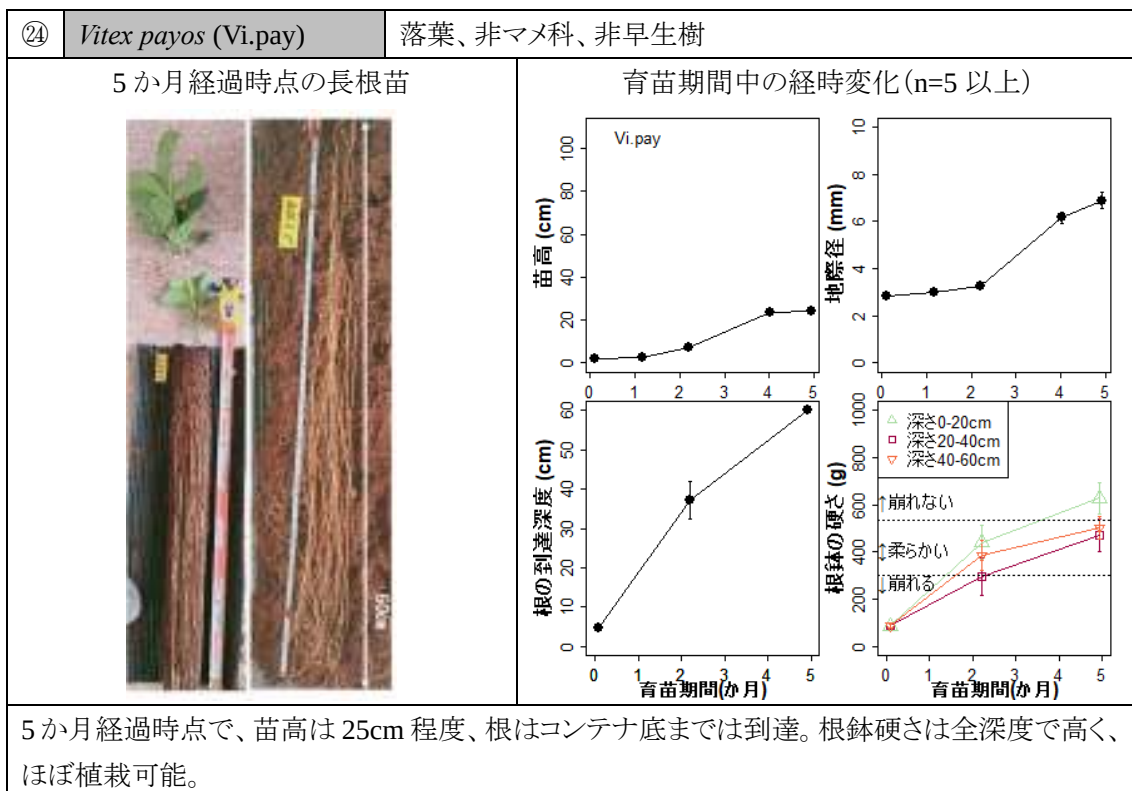
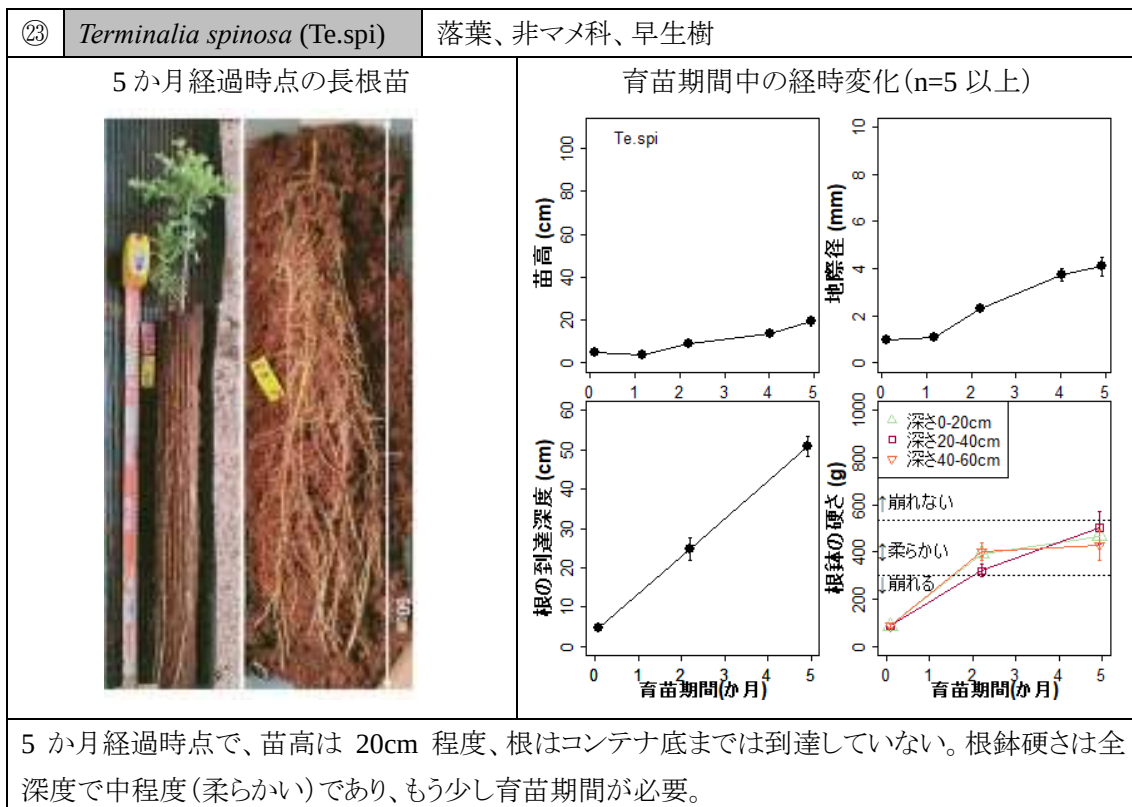


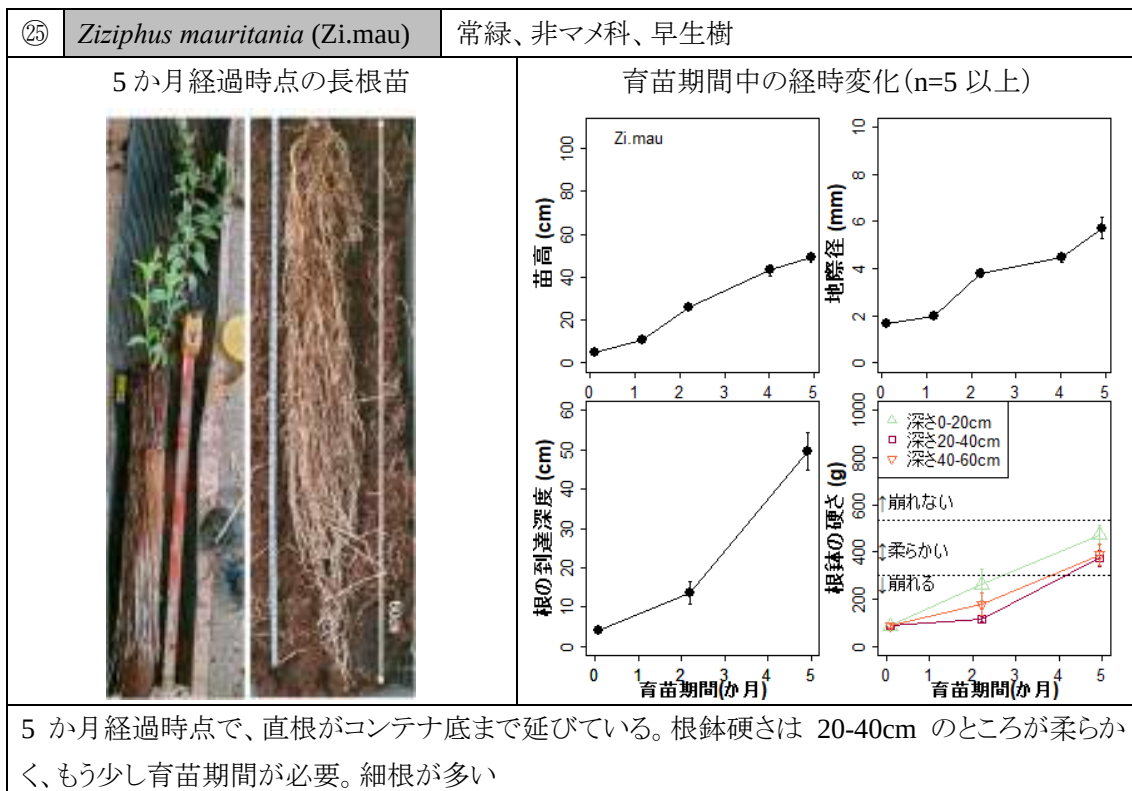












根鉢形成の観点からみた長根苗の必要育苗期間をもとに、対象 25 樹種は表 3-3 の通り分類された。

表 3-3 根鉢形成の観点からみた長根苗の必要育苗期間 (Az.ind は除く 24 樹種)

長根苗育苗に必要な育苗期間	5 か月経過時点の根鉢形成状況	該当樹種
5 か月前後	全 3 深度で根鉢形成	Ac.pol, Ac.sen, Eu.cam, Gm.arb, Ca.equ, Vi.pay
5 か月以上 (1 年未満で根鉢形成の可能性高い)	一部の深度で根鉢が未形成 (柔らかい) だが、硬さは増加中	Ac.sey, Ac.tor, Cr.meg, Da.mel, Ki.afr, Ma.lut, Mo.ole, Os.lan, Se.sia, Se.spe, Te.bro, Te.spi, Zi.mau
長く育苗しても根鉢形成されない可能性	一部の深度で根鉢硬さが低いままの状態	Ba.aeg, Fa.alb, Me.vol, Sc.bir, Ta.ind

3.5.2 育苗試験②(コンテナの深さが苗木成長に与える影響評価)の結果

3つの深さの M-StAR で育てた *Ac.tor*, *Da.mel*, *Me.vol* の育苗 5 か月時点の苗木の成長(地際径、苗高)は 図 3-22 の通りである。

各樹種で、成長(地際径、苗高)を予測する GLM モデル(Gamma,log 関数)を作成した。最小 AIC を示した最適 GLM モデルの説明変数にコンテナ深さが含まれば、苗木成長に対するコンテナ深さの影響があると考えられる。結果、*Ac.tor* の苗高、*Da.mel* の地際径、*Me.vol* の苗高の最適 GLM モデルに「コンテナ深さ」が含まれ、コンテナ深さが深いほど成長がよくなることが分かった。その他については、コンテナ深さの苗木成長に対する正の効果は見られなかったが、コンテナ深さが深くなることによって、成長が阻害されることはないことが証明できた。

ただし、今回はまだ根の成長量は評価していない。更に育苗を数か月続けたのち、シュートと根の乾燥重量や根の形態に対して、コンテナ深さがどのような影響を及ぼすか明らかにする予定である。

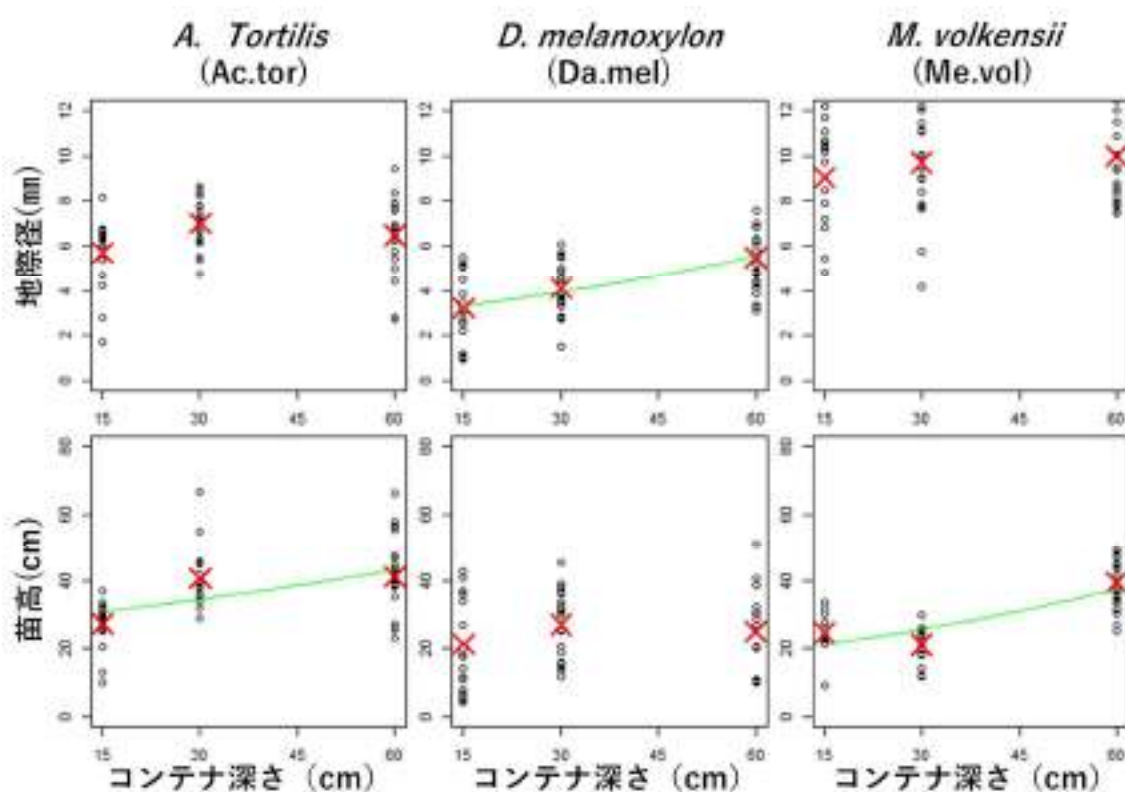


図 3-22 育苗 5 か月時点の苗木成長(地際径、苗高)に対するコンテナ深さの影響
(n=19 以上(*Ac.tor*), 19 以上(*Da.mel*), 15 以上(*Me.vol*), 赤×は平均値、GLM(Gamma,log 関数)で、最適モデルの説明変数にコンテナ深さが含まれた場合はそれを緑線で表示。)

3.5.3 育苗試験③(苗木成長に対するもみ殻燐炭混合の影響)の結果

5 つのもみ殻燐炭の混合割合の培地を M-StAR に充填し、育てた Ac.tor, Da.mel, Me.vol の育苗 5 か月時点の苗木の成長(地際径、苗高)は 図 3-23 の通りになった。

各樹種で、成長(地際径、苗高)を予測する GLM モデル(Gamma,log 関数)を作成した。最小 AIC を示した最適 GLM モデルの説明変数にもみ殻燐炭の割合が含まれば、苗木成長に対するもみ殻燐炭の影響があると考えられる。この結果、Da.mel の地際径と苗高、Me.vol の苗高の最適 GLM モデルにもみ殻燐炭の割合が含まれ、もみ殻燐炭の割合が多くなるほど成長が悪くなることが分かった。ただし、その影響は大きくないため、もみ殻燐炭を 75%程度までなら混ぜても、苗木の成長の低下はわずかなことが証明できた。Ac.tor については、もみ殻燐炭混入による一定の影響は見られなかったが、もみ殻燐炭 100%だと苗高が極端に低くなる可能性が示された。

ただし、今回はまだ根の成長量は評価していない。更に数か月育苗を続けたのち、シュートと根の乾燥重量や根の形態に対して、もみ殻燐炭がどのような影響を及ぼすか明らかにする予定である。

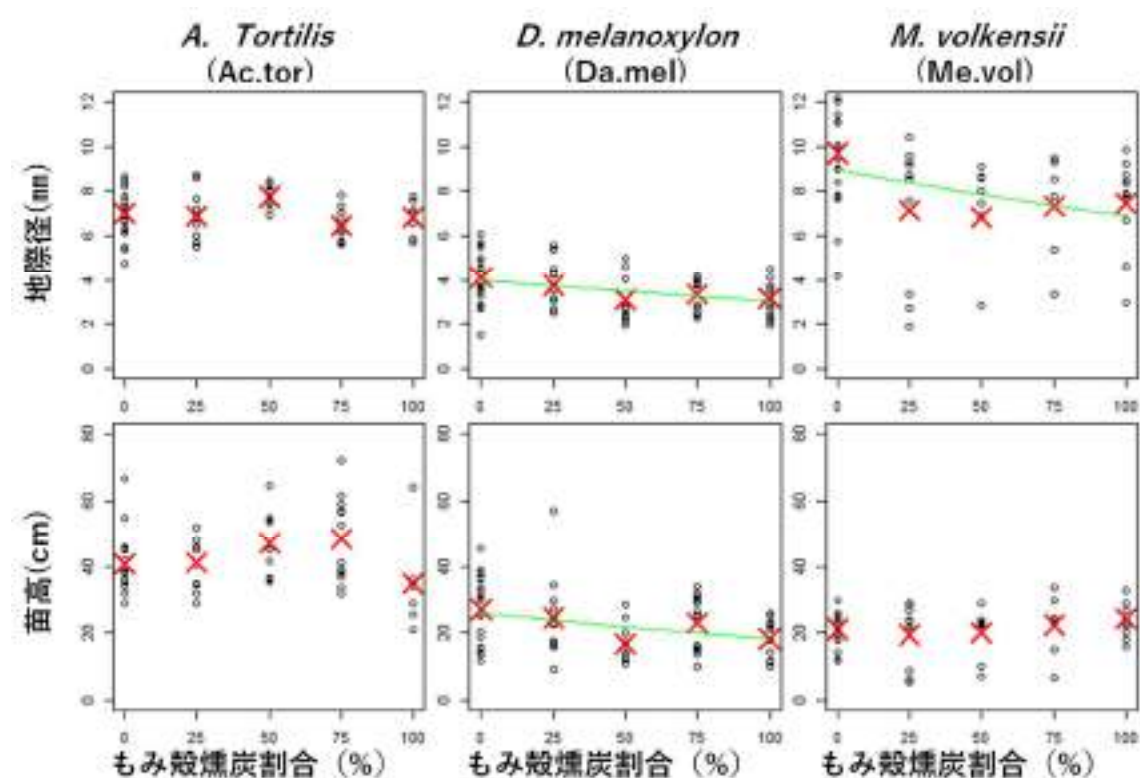


図 3-23 育苗 5 か月時点の苗木成長(地際径、苗高)に対するもみ殻燐炭の影響
(n=7 以上(Ac.tor)、12 以上(Da.mel)、7 以上(Me.vol))、赤×は平均値、GLM(Gamma,log 関数)で、最小 AIC モデルの説明変数にもみ殻燐炭割合が含まれた場合はそれを緑線で表示。



図 3-24 育苗 5 か月時点のもみ殻燐炭処理の苗木 (*Acacia tortilis* (Ac.tor))

3.6 当該技術の普及に向けたコスト試算

ケニアでの長根苗の育苗コストは従来ポット苗よりも 20 円/苗程度高くなる見込みである(図 3-25)。ただし、M-StAR の材料を日本から輸入する必要がある。培地コストについては、育苗試験 ③(苗木成長に対するもみ殻燐炭混合の影響)の結果からもう少し抑えることができるかもしれない。

育苗のコスト面から考えると、従来のポット苗でも問題なく植林できている場合は長根苗の必要性は低い。ただし、乾燥地では植栽コストが割高になりやすく、(ミャンマーでは灌水や大きな植穴掘削に係る人件費は 50 円/苗以上)。育苗コストだけでなく、植栽コストなども含め、長根苗により得られる植栽時期の拡大などのメリットを考慮して長根苗の使用を検討したほうがよい。なお、植栽コストは、その大部分が人件費であり、各国の相場や熟練度により変動しやすいことに加え、灌水の有無や補植の程度等でも大幅に変わるため単純には比較できない。植栽時の苗の根の形状は、ポット苗に比べ、M-StAR 長根苗のほうがよいことは確かであることに加え(R2 報告書参照)、植栽コストの面からは、長根苗が従来法よりも高くなることは少なくともないので、植林地の条件・目的に合わせ長根苗を使うかどうか判断するのが望ましい。植林地の条件・目的によっては、育苗コストが 60cm M-StAR 長根苗の約半分に抑えられる深さ 30cm M-StAR 長根苗を使う選択肢もありうる。



図 3-25 苗木1本あたりの育苗コスト(ケニアでの従来法と比較した際の追加分のみ)

3.7 試験対象国における技術普及説明会

開催日時	2022 年 2 月 24 日		
場所	ケニア森林研究所(キツイ)		
参加者	キツイ群の森林公社職員、苗畑管理者、群職員等が約 20 名参加、JIFPRO(柴崎)		
内容	JIFPRO からミャンマーやケニアで実施している長根苗試験を説明。その後、ケニアでの長根苗の試験地を視察。研修終了後に M-StAR とココナッツピートを研修員に配布した。参加者からは M-StAR 輸入方法や価格等について質問があった。		
			
長根苗の考え方やミャンマーとケニアでの長根苗試験の結果を説明	長根苗の育苗試験地にて実際に長根苗の育苗風景を視察	M-StAR とココナッツピートをサンプル配布	

3.8 実証試験の総括と今後の展開

育苗試験①(25 樹種長根苗スクリーニング)の結果から、シュート成長や根鉢形成には差があるものの、ほぼ大体の樹種がコンテナ底近くまで根を発達させることが分かった。これにより長根苗の基本的な育苗方法はほぼ確立したと言える。ただし、長根苗が植栽時の生残率向上にどの程度効果的であるかどうかについては、まだまだ検証が必要である。今回試験を行った雨季植栽での長根苗の効果・必要性については、乾燥地の降雨パターンは年により異なるので、ミャンマーで行った 1 回の試験の結果をただちに一般化するのは難しい。乾季植栽では、植栽後、無降水でも長根苗であれば 4 か月程度生き残り、植栽直後の苗木の活着にプラスに働いているのは確かである。また、植栽時の苗の根の形状は長根苗のほうがよく、長根苗により植栽後のパフォーマンスが悪くなる可能性は低い(R2 報告書参照)。育苗コストが高くなる長根苗の活用技術を確認していくためには、どんな場面(時期、場所、樹種 etc.)で長根苗を使うのがよいか見極めていく必要がある。植栽時期や樹種によっては、深さ 60cm もの長い長根苗は必要ないかもしれない。育苗試験②(苗木成長に対するコンテナ深さの効果)で 3 つのコンテナ深さ(15cm、30cm、60cm)で育てた 3 樹種の苗は、R4 年度に植栽試験を行う予定である。これにより、コンテナ深度がどの程度生残に効果を及ぼすかを定量的に把握できる見込みである。

最後に、長根苗技術の実用化に向けては試験(研究)だけでなく、実際の植林現場でオペレーションしてみて改善点や課題を見つけていく必要がある。今後は JICA プロジェクトや企業の植林事業にも、長根苗技術を導入してもらう事例を重ね、その課題を抽出・解決しながら、長根苗技術を確認していく予定である。

3.9 成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況

ミャンマーでの長根苗の育苗試験の結果については現在国際誌に投稿中

3.10 参考文献

- Aphalo, P., & Rikala, R. (2003). Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, 25(2), 93–108. <https://doi.org/10.1023/A:1022618810937>
- Bainbridge, D. A. (2012). Using tree shelters as deep containers. *Tree Plant Notes*, 55, 49–54.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A., Gómez, J. M., & Gómez-Aparicio, L. (2004). Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: A 4-year study. *Restoration Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.0316.x>
- Chirino, E., Vilagrosa, A., Hernández, E. I., Matos, A., & Vallejo, V. R. (2008). Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management*, 256(4), 779–785. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.035>
- Cortina, J., Vilagrosa, A., & Trubat, R. (2013). The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. *New Forests*, 44(5), 719–732. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9379-3>
- De La Fuente, L., Ovalle, J., Arellano, E., & Ginocchio, R. (2017). Use of alternative containers for promoting deep rooting of native forest species used for dryland restoration: the case of *Acacia caven*. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 10(5), 776–782. <https://doi.org/10.3832/for2101-010>
- Dominguez-Lerena, S., Herrero Sierra, N., Carrasco Manzano, I., Ocaña Bueno, L., Peñuelas Rubira, J. L., & Mexal, J. G. (2006). Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management*, 221(1–3), 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.031>
- Dreesen, D., Harrington, J., Harrington, J., Subirge, T., Subirge, T., Stewart, P., Stewart, P., Fenchel, G., & Fenchel, G. (2002). Riparian restoration in the Southwest: species selection, propagation, planting methods, and case studies. *SO. National Nursery Proceedings*.
- Dreesen, D. R., & Fenchel, G. A. (2010). Deep-planting techniques to establish riparian vegetation in arid and semiarid regions. *Native Plants Journal*, 11(1), 15–22. <https://doi.org/10.2979/NPJ.2010.11.1.15>
- Gerhardt, K. (1996). Effects of root competition and canopy openness on survival and growth of tree seedlings in a tropical seasonal dry forest. *Forest Ecology and Management*, 82(1–3), 33–48. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03700-4](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03700-4)
- Grossnickle, S. C. (2005). Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30(2–3), 273–294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>
- Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, 43(5–6), 711–738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1990). Containers and growing media. *The Container Tree Nursery Manual*, 2, 41–85.
- León, M. F., Squeo, F. A., Gutiérrez, J. R., & Holmgren, M. (2011). Rapid root extension during water pulses enhances establishment of shrub seedlings in the Atacama Desert. *Journal of Vegetation Science*, 22(1), 120–129. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01224.x>
- Magaju, C., Winowiecki, L. A., Crossland, M., Frija, A., Ouerghemmi, H., Hagazi, N., Sola, P., Ochenje, I., Kiura, E., Kuria, A., Muriuki, J., Carsan, S., Hadgu, K., Bonaiuti, E., & Sinclair, F. (2020). Assessing context-specific factors to increase tree survival for scaling ecosystem restoration efforts in east africa. *Land*, 9(12), 1–20. <https://doi.org/10.3390/land9120494>
- Mariotti, B., Maltoni, A., Jacobs, D. F., & Tani, A. (2015). Container effects on growth and biomass allocation in *Quercus robur* and *Juglans regia*

- seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30(5), 401–415. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1023352>
- Mitsugi, Y. (2010). Studies on propagation of Sugi (*Cryptomeria japonica*) using M-StAR Container (Multi-Stage Adjustable Rolled Container)(I)(Japanese). *Kyushu J. For. Res.*, 63, 78–80.
- Nesmith, D. S., & Duval, J. R. (1998). The effect of container size. *HortTechnology*. <https://doi.org/10.21273/horttech.8.4.495>
- Ovalle, J., Arellano, E., & Ginocchio, R. (2015). Trade-offs between drought survival and rooting strategy of two South American Mediterranean tree species: implications for dryland forests restoration. *Forests*, 6(12), 3733–3747. <https://doi.org/10.3390/f6103733>
- Padilla, F. M., & Pugnaire, F. I. (2007). Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. *Functional Ecology*, 21(3), 489–495. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01267.x>
- Padilla, Francisco M., Miranda, J. D. D., & Pugnaire, F. I. (2007). Early root growth plasticity in seedlings of three Mediterranean woody species. *Plant and Soil*, 296(1–2), 103–113. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9294-5>
- Pemán, J., Voltas, J., & Gil-Pelegrin, E. (2006). Morphological and functional variability in the root system of *Quercus ilex* L. subject to confinement: consequences for afforestation. *Annals of Forest Science*, 63(4), 425–430. <https://doi.org/10.1051/forest:2006022>
- Pinto, J. R., Marshall, J. D., Dumroese, R. K., Davis, A. S., & Cobos, D. R. (2011). Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management*, 261(11), 1876–1884. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.010>
- Sagrera, B., Biel, C., Savé, R., Torre, E., & Caldes, M. E.-. (2013). Effects of container volume and pruning on morpho-functional characters of *Salix elaeagnos* Scop. under water stress for Mediterranean riparian ecosystems restoration. *African Journal of Agricultural Research*, 8(2), 191–200. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1488>
- Saito, T., Y. Ogasa, M., Tobita, H., Yazaki, K., Kabeya, D., Oguro, M., & Utsugi, H. (2019). Estimating physical properties of the root ball in containerized Japanese cedar (Sugi) seedlings. *Journal of the Japanese Forest Society*, 101(4), 145–154. <https://doi.org/10.4005/jjfs.101.145>
- Tsakalidimi, M., Zagas, T., Tsitsoni, T., & Ganatsas, P. (2005). Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two Mediterranean evergreen oak species raised in different container types. *Plant and Soil*, 278(1–2), 85–93. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-2580-1>
- Vallejo, R., Aronson, J., Pausas, J. G., & Cortina, J. (2006). Restoration of mediterranean woodlands. In *Restoration ecology from an European perspective*.
- Villar-Salvador, P., Puértolas, J., Cuesta, B., Peñuelas, J. L., Uscola, M., Heredia-Guerrero, N., & Rey Benayas, J. M. (2012). Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forests*, 43(5–6), 755–770. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9328-6>
- Yanjun, Z., Suyun, C., Gangqiang, D., Min, Z., Xuexia, P., & Lei, Z. (2011). Molecular analysis and antibiotic resistance investigation of *Staphylococcus aureus* isolates associated with staphylococcal food poisoning and nosocomial infections. *African Journal of Biotechnology*, 10(15), 2965–2972. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1977>

4 高吸水性高分子材(SAP)を用いた半乾燥地における植林技術開発

4.1 SAP に保水された水分の土壌物理学的な有効性評価

4.1.1 背景と目的

乾燥地・半乾燥地における植林の最大の課題は乾季における土壌水分の確保である。半乾燥地域は通常数ヶ月の乾季があり、乾季になる前に植栽し十分な根系の発達を促すことが重要である。保水材の利用により根系発達がよくなったり、乾季に入っても土壌水分が多少維持されて成長抑制期間が短くなれば、苗木の成長にも影響を与える可能性がある。

土壌水分は植物が全部利用できるわけではない。樹木を含む植物の根の吸水力は、土壌の水分保持力との引っ張り合いであり、土壌の保持力が強いと植物根は水を利用できない。SAP 中の水分については、その吸水力の強さから植物根の吸水力を上回るのではないかという懸念をしばしば聞くことがある。過去の研究事例では必ずしもその懸念を支持するようなデータは見当たらないが、議論の中で SAP 水のポテンシャル(吸引力)の強さに言及する報告はある。本年度は保水力への懸念の真偽を明らかにすることが目的である。

土壌水分の植物に対する有効性は物理的に土壌に圧力をかけて水分を絞り出したり、吸引したりして土壌水分の変化を求める土壌物理学的な方法で評価できる。SAP 試験を想定していたミヤンマーでは物理分析装置がないため日本国内で分析を行うこととした。

土壌保水材として利用される SAP は、その使用に際し、水を加えてゲル状にして施用する場合と、粉末のまま施用する場合がある。ゲルの場合は土壌に注入器で入れ、粉末の場合は植栽時に植穴に入れることが多い。前者は機械化が進む産業植林で水管理の一貫として行われ、後者は植栽時に限定される利用方法である。今回、組成の異なる 4 種類の SAP を用いて、ゲル状と粉末状の違いによる SAP 添加土壌の吸水性(=排水性、土壌水分特性曲線)を明らかにすることを目的とした。

4.1.2 試験方法

試験に使った SAP は 4 種類を比較した(表 1)。製品の特長の中で重要な部分は下線を引いた。試料は三洋化成工業株式会社から提供を受けた。

表 1 供試 SAP の種類と性状

SAP 種類	形状	色	臭い	かさ密度 g/mL	粒度中心径
1 サンフレッシュ GT-1	粉末状	白色	ほとんど無臭	<u>0.36</u>	150-500μm
2 サンフレッシュ ST-500D*	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.62	300-500μm
4 BASF 類似品	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.69	300-500μm
3 Aquasorb 3005K	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.75	<u>1.7-2.8mm</u>

つづく

SAP 種類	ポリマー	対イオン
1 サンフレッシュ GT-1	ポリアクリル酸	非開示
2 サンフレッシュ ST-500D*	ポリアクリル酸	Na
3 BASF 類似品	ポリアクリル酸	K
4 Aquasorb 3005K	ポリアクリル酸+アクリルアミド	K

SAP 添加土壌の土壌水分特性曲線を求めるため、4 種の SAP (GT-1, ST500D, BASF 類似品, 3005K) と土壌 (珪砂 No5、マイゾックス現場密度用砂) を用いた。水ポテンシャル測定の実験装置は砂柱法と加圧式の pF 測定装置 (砂柱法キット DIK-3521、広域土壌 pF 測定器 DIK-3404 Wide Range pF Meter 大起理化工業株式会社) を用いた (図 1)。これらの実験装置は日本大学生物資源科学部森林資源科学科小坂泉先生の協力を得た。



図 1 土壌水ポテンシャル測定装置

実験 1

SAP を加水したゲル状態で施用する場合を想定し、加水量の違いが吸水・排水過程に及ぼす影響について以下の 2 点を調べた。

- 1) SAP 濃度を一定とし、水添加量を変えた SAP ゲルによる吸水・排水過程を比較
- 2) GT-1 ゲルを用いて、SAP 濃度を変えて吸水・排水過程を比較

材料と方法

100mL 採土円筒の仮比重に相当する量の珪砂 152 g を入れ、所定の量の SAP と水 (SAP に対し 25～100 倍) を加え、混合した。底を濾紙で留めた土壌採土円筒 100mL (ステンレス製試料円筒

DIK 1801)に上記 SAP 添加土壌をスプーンで押しこめた。水添加により SAP が膨潤し、土壌が全部入らないため、残量を秤量し、差し引きからコア中の珪砂量を求めた。SAP 添加量を変える試験 1)は SAP 0.26%(w/w)を基本にした。2)の目的のため、対照 SAP 0%; 低濃度 GT-1 0.133%(G-L); 高濃度 GT-1, 0.528%(G-H)を測定した。

結果

1) 吸水による膨潤

-10 cm に調整した砂柱法装置に円筒試料をおいたところ、コア底面から水を吸収し、SAP が膨潤してコア上面より砂が盛り上がった。GT-1 を除いたすべての SAP 種において、SAP ゲルの水分が少ないほど膨潤量が大きい傾向となった。24 倍の水を添加したゲル試料では、3005K が最も大きな吸水量を示し、含水比 0.353 g/g となり、GT-1 は吸水量が最も少なく 0.115 g/g であった。GT-1 では G-H (SAP 0.528% 添加)も吸水量が多く、含水比 0.303 g/g となった。膨潤した状態のまま試料の脱落を防ぎながら pF の測定を続けた。

SAP の乾燥重量に対する吸水量を SAP 吸水率%とすると、72~159%を示した(図 2)。SAP 添加濃度 0.26%で平均 109%の吸水率を示し、ゲルの加水量との関係は SAP 種によって異なった。GT-1 では他の SAP と異なり SAP 濃度が高いほど吸水率は小さくなった(G-L, G20, G-H の比較)。

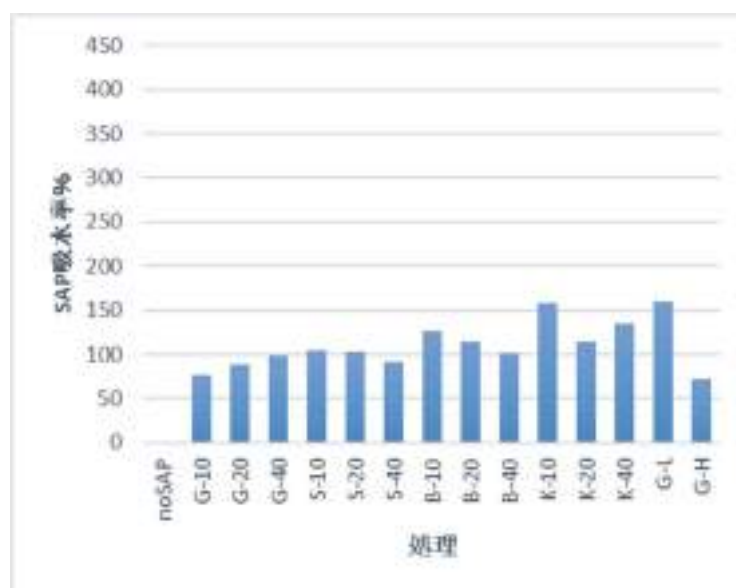


図 2 試験開始時(-10cm)における SAP 吸水率%(水分/SAP 乾重)の比較

2) 土壌水分吸収特性曲線

SAP 添加試料は膨潤するので定容積として解析できないため、土壌乾燥重量当たりの含水量(含水比 θ)として表した(図 3)。GT-1 は、マトリックポテンシャル-10cm 時の含水比が高い試料ほど排水過程の含水比は高く推移し、pF 曲線はほぼ平行した。そのため、SAP 添加量が同じでも、-1000 cm 時の含水比は吸水量により異なり、0.055~0.106 程度の差があった。一方、ST500D では、加水量の多いゲル S-40 の含水比が-20cm~-200cm の範囲で他より高く推移し、同様に、

BASF では-40cm~-200cm の範囲で高い含水比で推移したが、最終的には-1000cm でほぼ同じ含水比になった。3005K は-10cm では含水比に差が見られたが、-30cm 付近から K-20 と K-40 の差がなくなり、K-20 の方が 0.02 程度低い状態で推移した。その結果、マトリックポテンシャル-1000 cm (pF3) 時の含水比は、ST500D、BASF、Aquasorb3005K で 0.1 程度の差にとどまった。一方、GT-1 は G-10、G-20、G-40 がそれぞれ含水比 0.055、0.085、0.105 であり、同一ポテンシャルでも 0.5 程度の差があった。

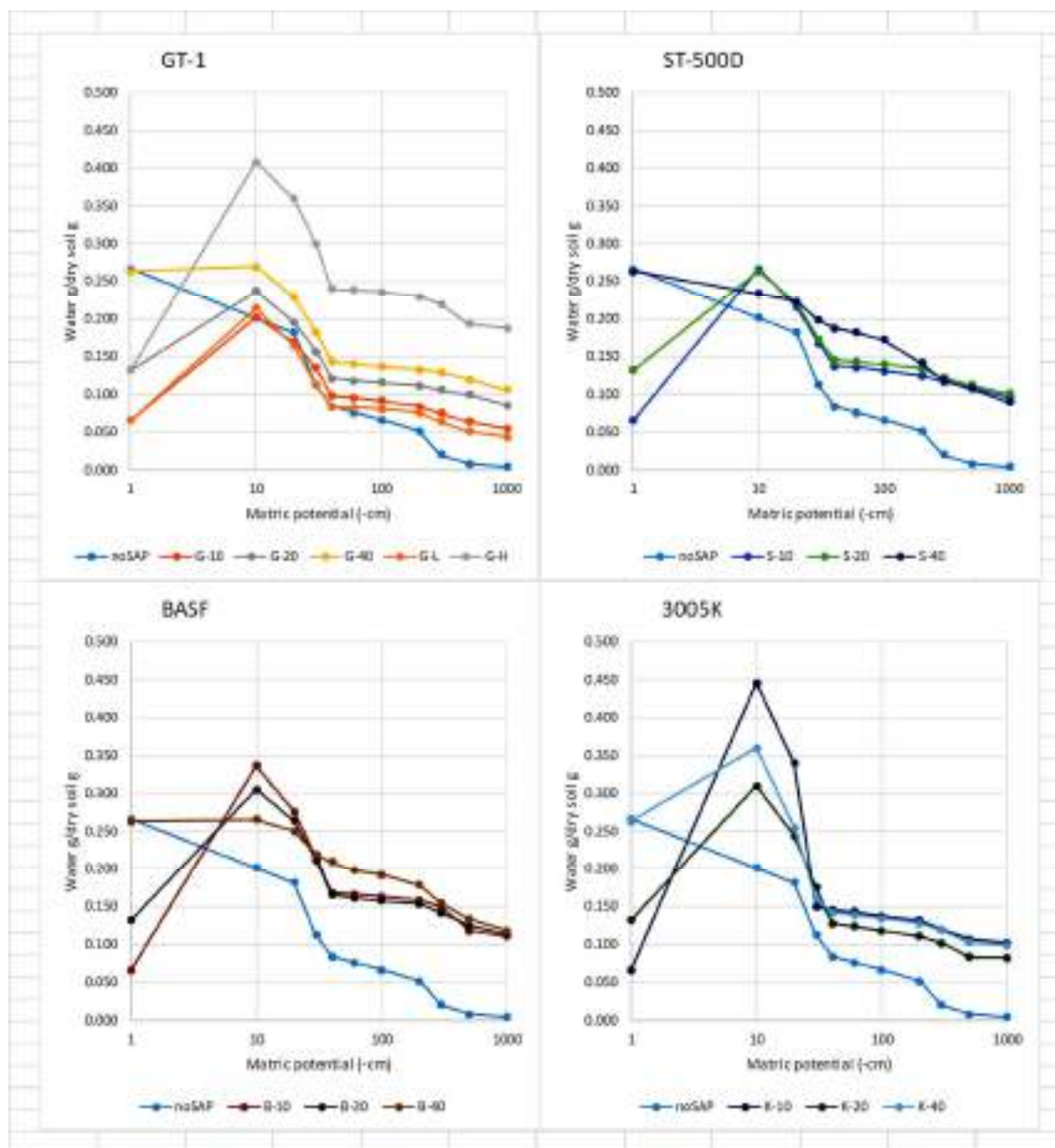


図 3. SAP 種による添加土壌の水分特性曲線の比較。

SAP の初期加水量は SAP-10, -20, -40 はそれぞれ 10, 20, 40 g 添加に相当。

X 軸 Matric potential の 1 は砂柱法測定前の初期重量を示した。

実験 2

実験 2 は SAP を粉体で施用した場合の SAP 濃度の違いと SAP 種類の違いの比較である。土壌物理分析は実験 1 と同様に行い、-40cm までは砂柱法で、それ以降-1000cm までは加圧板法で測定した。なお、どちらの実験も初期設定時(砂柱法マトリックポテンシャル-10cm)時に、SAP 混合土壌が吸水・膨潤したため、土壌乾重ベースの含水比の変化により解析した。

1) 土壌水分吸収特性曲線

排水された水分量(=保水量)を比較するため、マトリックポテンシャル-10cm の土壌含水比と-1000cmの含水比の差をとり排水量とした。SAP 無添加の珪砂は 0.197 であったが、SAP 添加により、GT-1 は 0.143~0.170、ST500D は 0.147~0.226、3005K4 は 0.227~0.343 に増加した(図 4)。重力排水を-40 cm (pF1.6)までとすると、-40 から-1000cm の間は重力排水が終わった後の長期的に保水される水分といえる。この値は、SAP 無添加の対照では 0.08 であるが、SAP 添加土壌では、GT-1 は 0.037~0.043、ST500D は 0.041~0.098、3005K4 は 0.043~0.045 であり、対照より少ない場合が多かった。-10~-40cm の間の重力排水される水分は Aquasorb3005K (K-10, K-20, K40) が全般に大きかった。

次に GT-1 の添加濃度を増加させた場合の保水量を見ると、SAP を 0、0.133、0.264、0.528%(w/w) と増加しても、-10~-40cm および-40~-1000cm の排水量の増加は明瞭でなかった(図 5)。具体的には、SAP 添加量を増加しても-40~-1000cm は対照(無添加)よりも低かった。-10~-40cm の範囲でも SAP 濃度 0.264%までは排水量は変化せず、0.528%添加の場合にやや増加した。

SAP 種間差を比較した。SAP0.26%添加で、-1000cm以下のポテンシャル(pF3 以上)の含水比は 10%程度であり、SAP 種による違いはほとんどなかった。

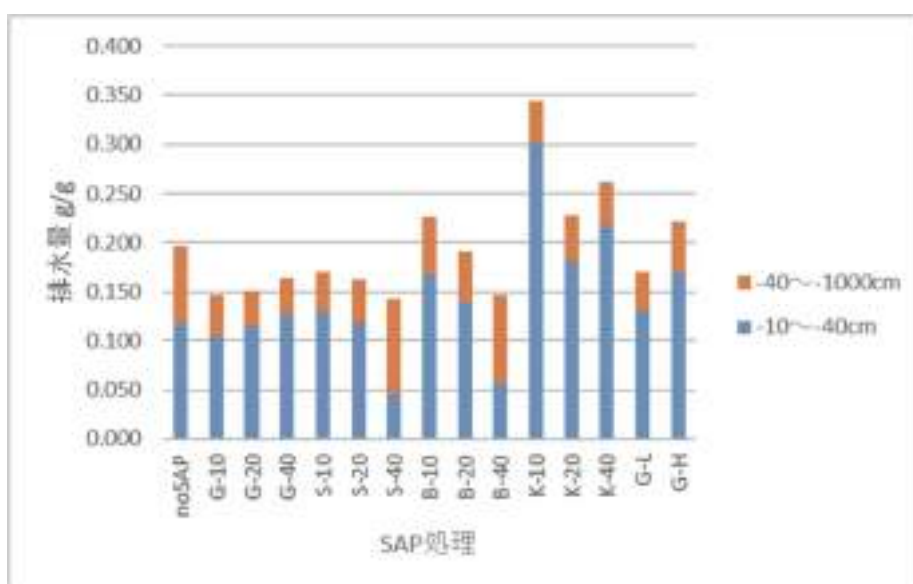


図 4. SAP 処理によるマトリックポテンシャル吸引圧-10~-40cm の排水量と-40~-1000cmの排水量の比較

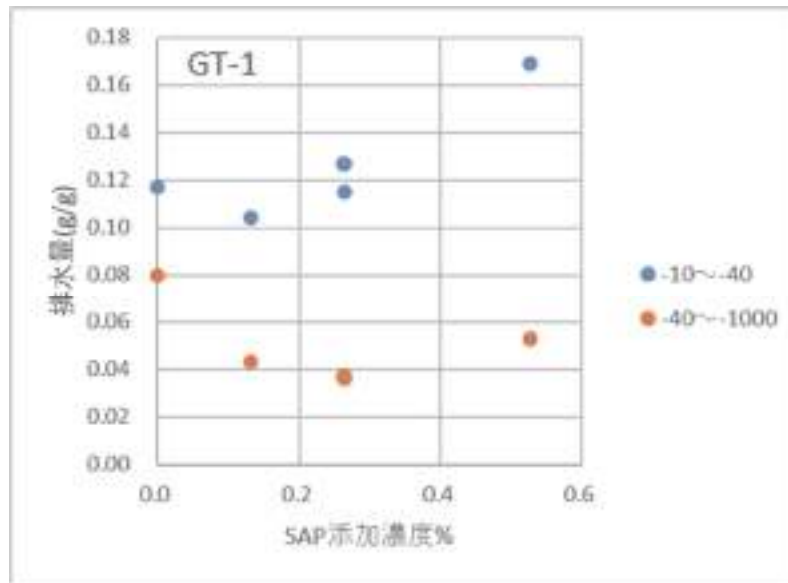


図 5. SAP 種 GT-1 添加量と保水量(-10~-40cm)および(-40~-1000cm)との関係

考察

1) 吸水性

SAP ゲルを添加した土壌コアを -10cm のポテンシャルの砂柱法 pF 測定装置におくと、S-40 を除くすべてのコアで吸水し、珪砂は膨潤した。その膨潤・吸水はゲル調整時の加水量によって大きく異なり、水添加量が少ないゲルほど吸水量が大きくなるという結果であった。これは事前に予想しておらず、この理由も今のところよくわからなかった。

-40cm 以上のポテンシャル(低 pF)では吸水量の増加が大きく、これは植物にとって利用しやすい有効水になる。この部分は SAP がなければ 24 時間程度で速やかに排出される水分であるが、SAP に吸収された状態で長時間保持される可能性がある。今回は取扱説明書を参考に高ポテンシャル(低 pF)では 1 週間程度、低ポテンシャル(高 pF)では 3 週間程度の間隔で測定している。SAP の保水効果は、通常なら直ぐに排水される水分を保持することにより発揮されるようであり、排水の非常に良い砂質土壌の易有効水量を増加させる。これが SAP の保水機能の重要なメカニズムであると考えられた。

2) 排水過程

今回の一連の実験は、同じ SAP 添加率でも初期(-10cm)の含水比が異なった状態で pF の測定を開始したことになる。ST-500D と BASF はゲルの水添加量の多い S-40 および B-40 の pF 保水曲線が高い値であり、この部分の保水性が大きくなったことを示している。一方、GT-1 と 3005K は -40 cm までは無添加の珪砂と同じような曲線形状を示し、その後、緩やかになり排水量は小さくなった。3005K は -10cm~-30cm の排水量が大きく、重力排水をとらえやすいと考えられた。

珪砂の土壌水分特性曲線は、-30cm~-40cm のところに変曲点があり、曲線はなだらかになる。これは砂質土壌の一般的な孔隙特性を示している。SAP を添加しても曲線形状はあまり変わらず、珪砂の含水比が全般に高くなるだけであった。-40cm と -1000cm 間の排水量は、SAP 無添加コア

よりむしろ小さく、土壌が湿った状態でも有効水はほとんど増えないことになる。

マトリックポテンシャル -1000 cm は $\text{pF}3$ であり、植物にとって有効水の範囲である。今回は測定できなかったが、有効水の全体量を判断するには、永久萎凋点 -15000 cm ($\text{pF}4.2$) までの土壌水分保持量の評価が今後の課題である。

-1000 cm ($\text{pF}3$) 時点の含水比は GT-1 を除き、 0.1 程度にとどまり、SAP 種差は小さかったことから、低ポテンシャル(高 pF) の水分は通常 10% 程度と考えられた。一方、GT-1 は -10 cm の含水比の違いのまま -1000 cm まで推移し、初期吸水量が多くとも少なくとも排水量は同程度であり、 -1000 cm 時の含水比の差となっている。GT-1 は添加量を増やすと保水性は高まるが、 -1000 cm までの有効水量としては変わらないことになる。

GT-1 の試験では、SAP 添加率が増加しても、 $-10\sim-40\text{ cm}$ および $-40\sim-1000\text{ cm}$ の範囲の排水量に増加傾向は認められなかった。この結果からは、GT-1 の場合、保水効果が同じであれば低い SAP 濃度でも十分に機能すると考えられた。

実験 2

本実験の目的は SAP を粉体のまま施用する場合を想定し、加水せずに粉末 SAP を珪砂に混合し、ポテンシャル -10 cm で飽水後に排水過程を測定することである。以下の 2 点を検討する。

- 1) GT-1 を用い、SAP 添加量の違いによる土壌水分特性曲線の変化
- 2) SAP 添加量 0.2% の添加割合における SAP 種の違いを比較

材料と方法は実験 1 と同様であるが、初めから砂の容量をコアの $2/3$ 程度に減らして珪砂 100 g とし、粉末の SAP を砂とよく混合し、底を濾紙で留めた 100 mL の円筒に入れた。実験 1 と同様に、コアを -10 cm の砂柱法 pF 測定装置におき、飽水させた。GT-1 の濃度 0.4% および 0.8% の添加率の試料は予想以上に吸水膨潤して珪砂がコアの上面を越えて崩れた。そのため、コア上端ではみ出した分を切断して試験を行った。コア内の珪砂重量は土壌水分特性曲線試験終了後の乾燥重量から求めた。

砂柱法に続いて加圧板法で -1000 cm のポテンシャルまで排水量を測定した。ただし、加圧板法の -200 cm の測定は省略した。土壌水分特性曲線は、実験 1 と同様、乾土重量当たりの水分量として含水比を求めた。試料がこぼれた GT-1(0.4)と GT-1(0.8)を除いて 2 連で行い平均した。

結果

- 1) GT-1 の SAP 添加量増加に伴う吸水量の違い

SAP (GT-1) 添加量が多いほど、 -10 cm の飽水時の SAP 添加珪砂の含水比は高くなった(図 6)。GT-1 を 0.8% 添加すると含水比は最大 1.66 となり、GT(0.4)の含水比(0.83)の 2 倍であった。あらかじめ水を添加しゲルにした実験 1 よりも吸水量、膨潤は大きかった。

SAP の乾燥重量に対する最大吸水率%の SAP 種間差は、SAP 0.2% の場合、 $252\sim292\%$ を示した(図 7)。GT-1 の SAP 添加濃度が上昇するに従い、珪砂の含水比は上昇した。SAP 乾燥重量に対する吸水量を計算すると、 $208(0.8\%)\sim407(0.1\%)$ 倍となり、SAP 添加量が少ない方がその吸水膨潤率は高かった(図 7)。

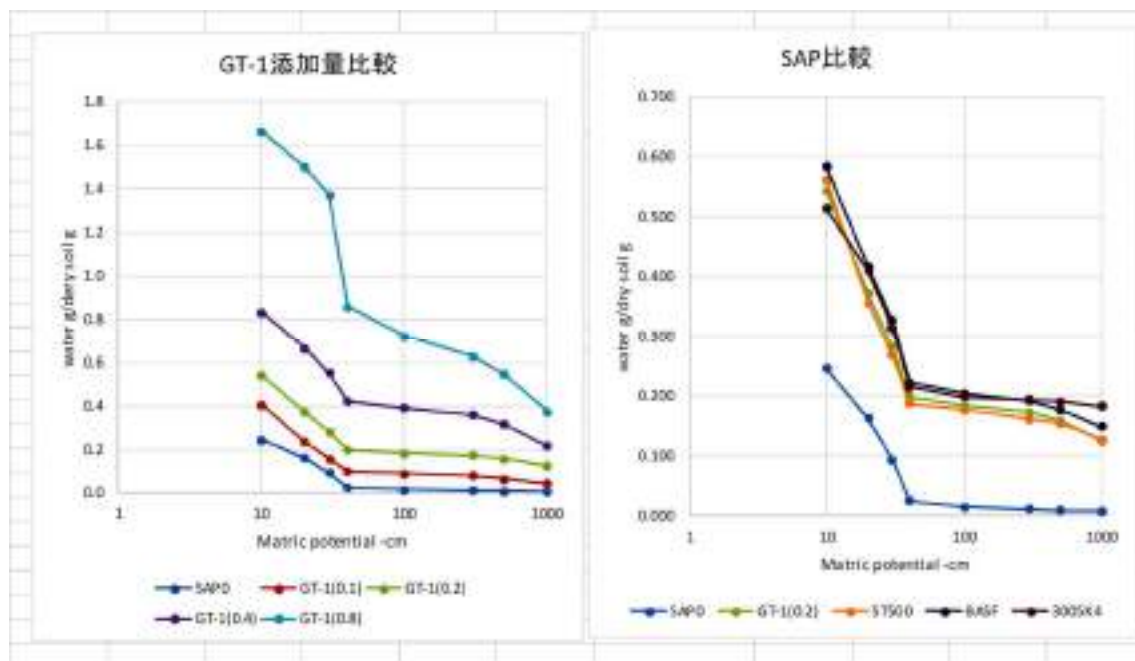


図 6 SAP 添加試料の水分特性曲線

左図:SAP 添加量の比較、右図:SAP 種の比較(SAP 濃度 0.2%)

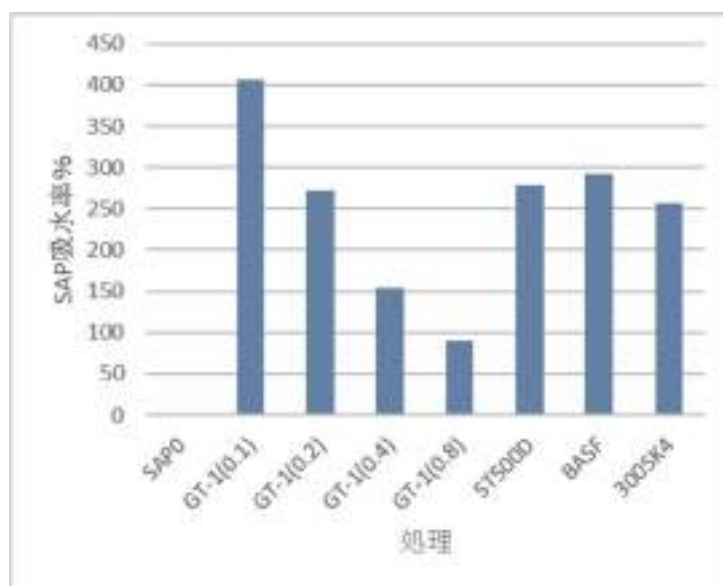


図 7. 試験開始時(-10cm)における SAP 吸水率%(水分/SAP 乾重)の比較

2) SAP 種の排水過程の比較

SAP 濃度 0.2%における排水量について SAP 種間差を比べると、試験開始時(マトリックポテンシャル -10 cm)の含水比は、最小が 3005K4 の 0.513、最大は BASF の 0.584 でその差は小さかった(図 6 右)。水分特性曲線は SAP 種にかかわらずほぼ同じ形状を示し、重力排水される-10cm から-40cm の SAP 種間差は 0.298~0.375 であったが、有効水の-40cm から-1000cm は 0.032~

0.073 程度の差にとどまった。低ポテンシャル(高 pF)部分の曲線が多少異なり、-1000 cm の時の最小値は ST500D で 0.127、最大値は 3005K の 0.182 であった。一方、SAP 無添加の珪砂は-40cm 時に含水比 0.025 まで低下し、-1000 cm のポテンシャルでほぼ排水された。

SAP 添加量が増加すると、保水(排水)量は増加した(図 8)。-10cm から-40cm の範囲の含水比の差は、GT-1(0.1) で 0.307 であり、GT-1(0.8)は最大 0.805 であった。-40cm と-1000cm の範囲の含水比との差では GT-1(0.1)では 0.056 であり、GT-1(0.8)では最大 0.485 であった。GT-1 は SAP 添加量に比例して保水(排水)量はどちらの範囲でもほぼ直線的に増加した(図 9)。

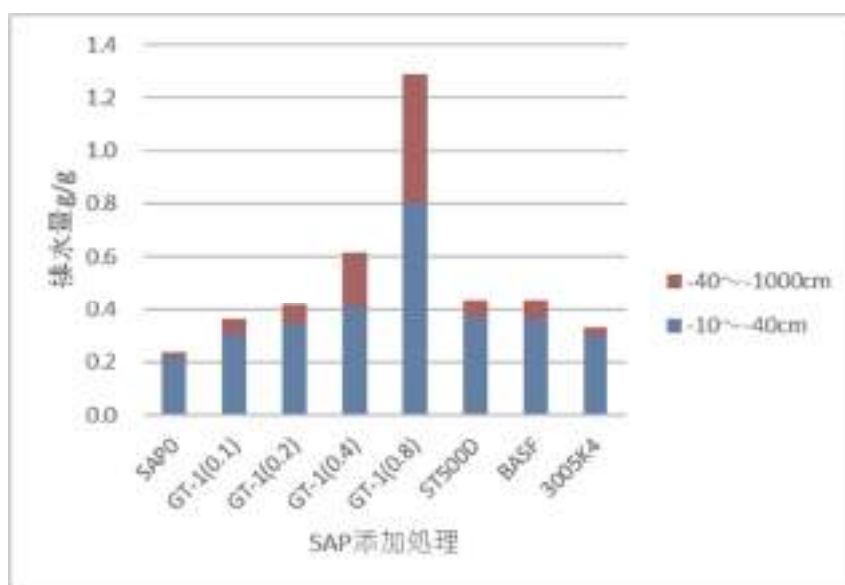


図 8 SAP 処理によるマトリックポテンシャル-10~-40cm と-40~-1000cmの保水量の比較

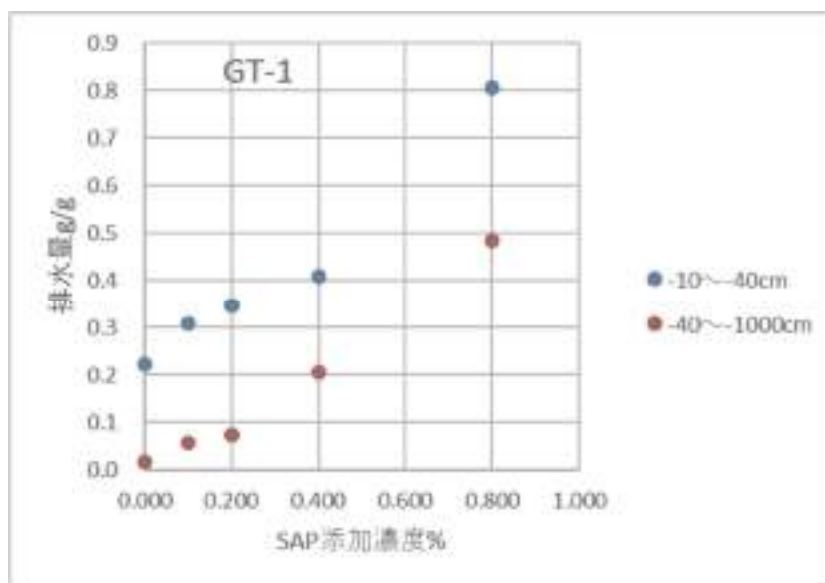


図 9 SAP 種 GT-1 添加量(粉末)と保水量(-10~-40cm)および(-40~-1000cm)との関係

考察

ここでは、実験 1 の結果とあわせて考察する。

1) SAP の吸水量

実験 1 のゲル状 SAP の結果と実験 2 の粉体の結果で大きく異なった点は、初期の-10cm の吸水量である。実験 2 の場合、GT-1 の SAP 添加量が増加するに従い、ほぼ比例して保水量が増加した。SAP 添加珪砂は吸水によりコアの上方に抵抗なく膨潤したようで、GT-1(0.8)では含水比 1.66 に達した。実験 1 のゲル施用の場合、SAP 濃度 0.528%で含水比最高 0.446 であったので、その膨潤性は 1/3 以下である。さらに、実験 1 によると、ゲルの加水量が少ない方が、-10cm の吸水割合が大きいことから、施用時の加水量が膨潤性に影響を与えていたが、さらに粉体 SAP の結果をあわせて見ると、事前に吸水させない場合が最も膨潤量が大きく吸水量も多かった。実験開始時の吸収水分重量に対する SAP 乾燥重量を SAP 吸水率%とすると、実験1では 73~159%であったが、実験 2 では 91~407%と大きかった。粉体の SAP 濃度 0.1%における吸水率 407%は SAP 性能の上限に近い値であった。

この高い吸水性が、屋外の植林現場で発現するかは、SAP 施用場所の土壌条件に影響をうける。SAP の施用位置については、地表付近に施用した場合は膨潤可能だが、地中では表土からの圧力で膨潤が制限されるので、高い吸水性は期待できないと考えられる。SAP の膨潤が土壌粒子の間隙内に制限される。今回使用した珪砂の間隙率は 42.6%であったため、最大吸水率を 400%とすると SAP 濃度 0.1%で十分という計算になる。ただ、SAP 性能の発揮は周囲の間隙の状態に左右され、また SAP 性能の劣化も生じるので、余裕をもたせると濃度 0.2%程度以上が適当と考える。現地土壌で簡単な予備試験を行って判断する方がよいと思われる。

2) 土壌水分特性曲線

粉体で SAP を施用した土壌の吸収・膨潤は大きく、測定したすべてのマトリックポテンシャルの範囲で排水量が増加した。GT-1 濃度 0.1%では 407%吸水し、そのうち-10~-40cm のポテンシャルの割合が 84.6%であった。SAP 濃度 0.8%では SAP 吸水率が 91%に低下し、-10~-40cm のポテンシャルは全吸排水量の 62.4%に減少し、低ポテンシャル(高 pF)の割合は増加した。実験 2 で行った粉末 SAP 添加の実験は、実験1のゲルの加水量が少ない状態(無加水)に相当すると考えられる。この状態は、ゲル中の SAP 濃度が高くポリマーの電子密度も高いはずであり、電子の反発力も強く、その結果、吸水量が増加したのかもしれない。次に示した高分子の吸水を理論化した Flory の式によれば、ポリマーの吸水力とは、水とポリマーの親和性、イオン浸透圧、架橋密度で決定され、それらのパラメータは重合体の体積、荷電密度、外部溶液のイオン強度、溶媒のモル体積、重合体の体積などが影響する。使用した SAP 製品の詳細な情報は開示されていないので、解析には限界があるが、同一の製品で同一の周辺環境なので、荷電密度の影響が大きいと推察された。

P. J. Flory によれば、吸水力（吸水後の重量／吸水前の重量）は次式で表される⁴⁾。

$$Q^{5/3} = \left\{ \underbrace{(1/2 \times i/V_u \times 1/S^{1/2})}_{\text{イオン浸透圧}} + \underbrace{(1/2 - X_1)/V_1}_{\text{ポリマーと水の親和力}} \right\} \underbrace{\nu/V_0}_{\text{架橋密度}}$$

(式 1)

ただし Q : 吸水力

i : 重合体単位当りの電荷

V_u : 重合体繰り返し単位の分子体積

S : 外部溶液のイオン強度

X_1 : 溶媒とポリマーの相互作用パラメーター

V_1 : 溶媒のモル体積

V_0 : 膨潤前の重合体体積

ν : 網目中の分子鎖の有効数

実験 2 で示されたように、SAP が自由に膨潤できる状態では SAP 自体の膨潤特性が保水量を決めているようである。各ポテンシャル測定点で添加量と含水比は比例関係が見られた(図 9)。一方、実験1は何らかの理由で SAP の膨潤が制限された状態で、低ポテンシャルの範囲における排水量は増加しなかった(図 5)。このことは、SAP が速やかに吸収する水分は、高ポテンシャル(低 pF)領域の重力水が多いことを示しているものと考えられる。

実験1と同様、SAP 吸水率の面からは低施用量の方が効率的に吸水した。膨潤率が高いほど、高ポテンシャルの有効水が多くなるが、SAP 添加量が増えるほど低ポテンシャル領域の水分も増加する。植物にとっては吸水エネルギーを考えると、むやみに SAP 施用量をあげる必要はないと考えられる。

結論

SAP をゲル状で施用した場合と粉末で施用した場合の吸水排水特性を評価した。どちらも SAP の膨潤を制限しない条件で行ったが、吸水(膨潤)量は粉末 SAP で大きく、ゲルの加水を増やすほど低下した。ゲルで吸水・膨潤が低下する原因は今のところよく分からなかった。

保水量だけで考えると、地表付近の土壌が膨潤できる状態が有利である。ただし、土壌が膨潤することにより、土壌が動くので根系への影響があるように思われる。SAP を土壌下層に施用する場合、灌水や降水でどの程度吸水できるかは今回判断できなかった。予備的な実験によると、採土円筒の蓋を閉めると、土壌孔隙内のみで吸水した。その場合、SAP を 0.1%程度以上入れても吸水量に変わりはない。SAP の劣化や土壌間隙のばらつきを考えると、多少多めとしても 0.2%程度の SAP 施用量で十分と考えられた。

今回使用した SAP4 種の比較では、土壌水分特性曲線に大きな違いはなかった。-40cm より高いポテンシャルで大きな保水特性を示し、-40~-1000cm 間の排水量はすくなく、-1000cm 以下の高 pF 条件で含水比 10%程度の水分を含んでいた。このことから、SAP は砂質の土壌ですぐに

流去する重力排水を保持することによる保水効果が大きいと考えられた。-1000cm 以下の水分の有効水についての評価が今後必要であるが、その割合は10%程度と少なく、主要な部分ではないと考えられた。

4.2 苗木ポット試験による SAP 保水材の有効性評価

4.2.1 背景と目的

前節では土壌物理学的方法により水ポテンシャルを測定し、土壌水の有効性を評価した。一方、実際に植物を栽培して蒸散や生育から土壌水の有効性を評価することも可能であり、実際的な方法ともいえる。そこで、苗木を灌水条件で栽培したのち、灌水を遮断して人為的に乾燥状態をつくり、苗木の生存から枯死にいたる変化、蒸散量の変化などを測定することとした。

本試験の仮説として以下の項目が挙げられる。SAP 添加により土壌の有効水が増加するので、1) 苗木の活着が促され、初期成長が良くなる。2) 土壌有効水の増加にともない蒸発散量がふえる。3) 灌水停止後の土壌水が多いので、苗木の生存期間が長くなる。4) 苗木が枯死した時点(永久萎凋点)の土壌水分量は SAP を入れる方が高くなり、土壌物理学的手法の結果と合致する。

当初、試験はミャンマー中央乾燥地で行うことを考えたが、新型コロナウイルス感染による渡航制限のため国内試験とした。また熱帯産樹種の苗木の入手が困難で、結局、国内で調達した日本の造林樹種(スギとヒノキ)を用いた。SAP 保水材に含まれる有効水が植物に利用されるかどうかを確認することが主目的なので、国内樹種でも問題ないと判断した。また、スギやヒノキは膨大な研究蓄積があり、樹木の生理特性はよく知られている。これは利点であり、生理特性が不明な海外樹種を用いるよりも実験や解析をしやすいと判断した。

4.2.2 試験方法

土壌は保水性の低い川砂を用いた。使用した SAP は三洋化成工業株式会社の GT-1 (植物用)を用いた。苗木の育成は1/10000 ワグネルポットでおこなった。試験は森林研究・整備機構森林総合研究所のガラス室を借用した。苗木は茨城県種苗組合が出荷しているスギとヒノキのコンテナ苗(2年生)(出荷時苗高 45 cm)を用いた。

SAP は昨年の試験と文献を参考に 4 水準(0, 0.1%, 0.2%, 0.4% w/w)とした。各処理の繰り返しを 10 反復で実施した。ガラス室内のポットは処理ブロック毎にランダムに配置した。苗木の部位別重量等の基礎的な初期データは別途測定し、スギとヒノキそれぞれで処理・ブロック間差がないことを確認した。苗高および地際直径(高さ3cm)は、スギが平均 47cm、5.7mm、ヒノキは 46cm、5.7mm であり、地上/地下比はスギ 2.4、ヒノキ 3.2 であった。

苗の植え付けは 9 月 1 日に行い、1 月間は灌水下で育成した。植え付け時と育成終了時に苗高、直径、葉の伸長量などを測定した。10 月 1 日に再度ポットに十分灌水し、その後、苗木の状態を枯死するまで目視と触感で観察した。ポットからの蒸発散量を求めるため、生育と乾燥期間中、毎日ポット重量を測定した。これとは別に土壌水分センサーをさしたポットを準備しモニタリングした。

データは分散分析後に Tukey-Kramer 法で多重比較を行った。なお、途中の苗の生育を確認するため、植え付け 2 週間後に 1 ブロックの苗 1 セットを解体し、根の発根状態を確認した。

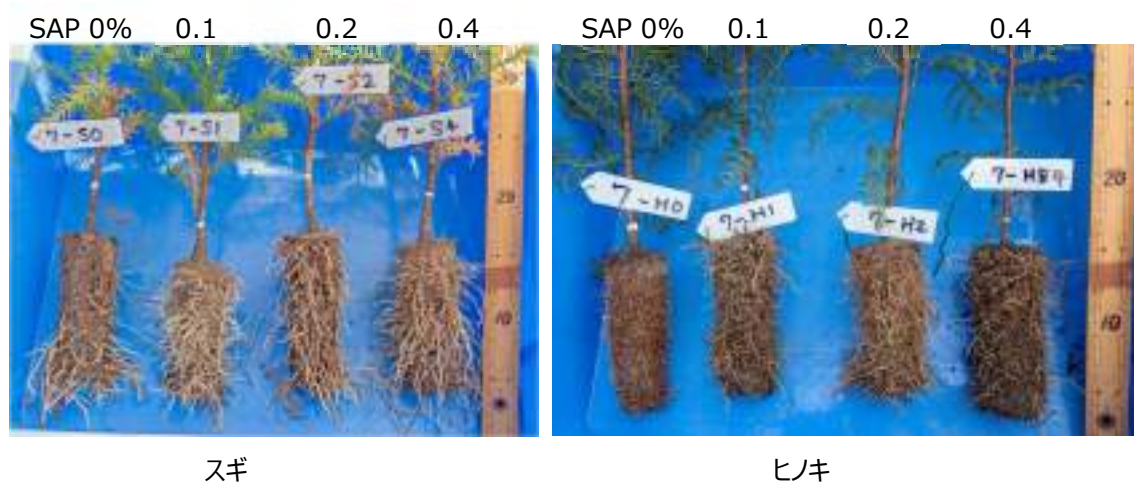


図 10 植え付け後 2 週間目の苗木の根系

4.2.3 結果と考察

1) SAP 添加により苗木の初期成長が良くなるか

苗植え付け 2 週間後に確認した苗木の根系の発達は SAP を添加した方が細根の伸長が良好に見えた(図 10)。灌水遮断までの 4 週間の苗木の成長については、スギ葉の伸長量、根の発根量(苗枯死後に測定)、蒸発散量を比較した。スギでは SAP 0.2%(w/w)以上の添加で有意に葉の伸長量が伸びた(図 11)。ヒノキでも SAP を添加した方が葉伸長は大きな傾向があるが 5%レベルの処理差は有意ではなかった。

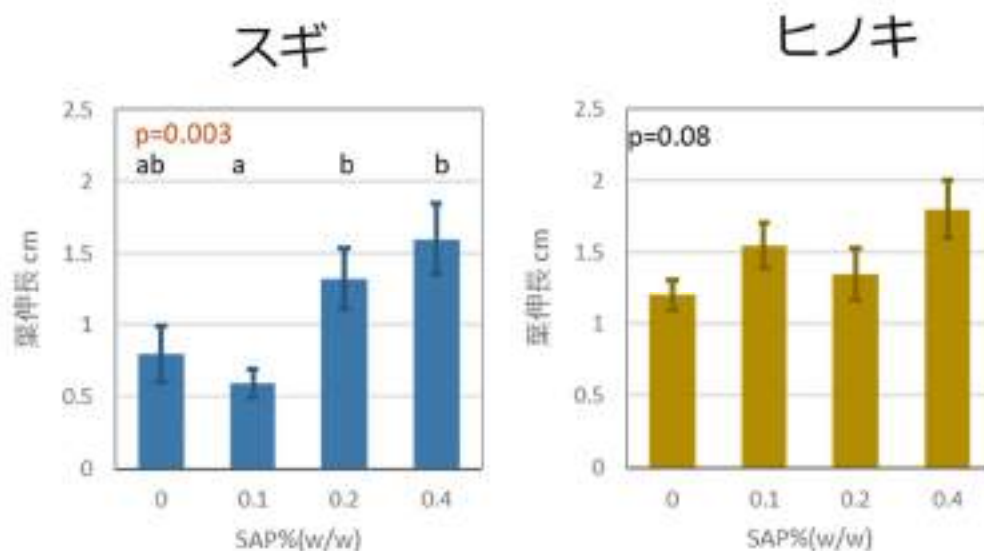


図 11 スギとヒノキの葉の伸長量 cm の比較

根の発根量はコンテナ苗のコンテナ部分から伸びた細根の乾燥重量(水洗後)で示した。スギは

SAP 0.2%(w/w)以上の添加で有意に発根量が増加した(図 12)。ヒノキは SAP 添加量で多い傾向があるが有意差はなかった。

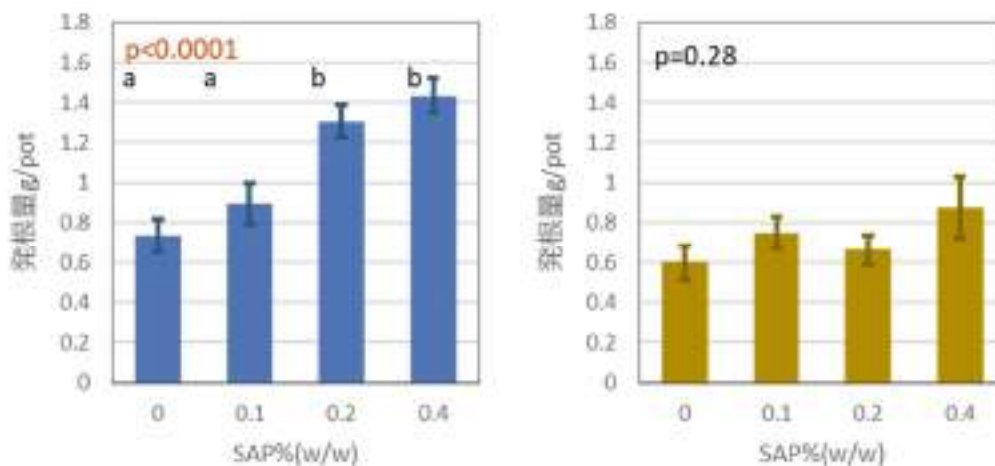


図 12 スギ(左)とヒノキ(右)の枯死後の発根量 g/ポットの比較

2) SAP 添加により枯死までの生存期間は延びるか

灌水停止から初期萎凋までの生存日数はばらつき大きく、10 日～15 日程度で有意差はなかった。初期萎凋点から完全に枯死するまでの日数は、SAP 添加量が多いと長くなる傾向があり、SAP0.4%添加でスギは 10 日ほど延びた(図 13)。ヒノキは 0.1%添加の枯死が有意に早い、データのばらつきが大きかった。

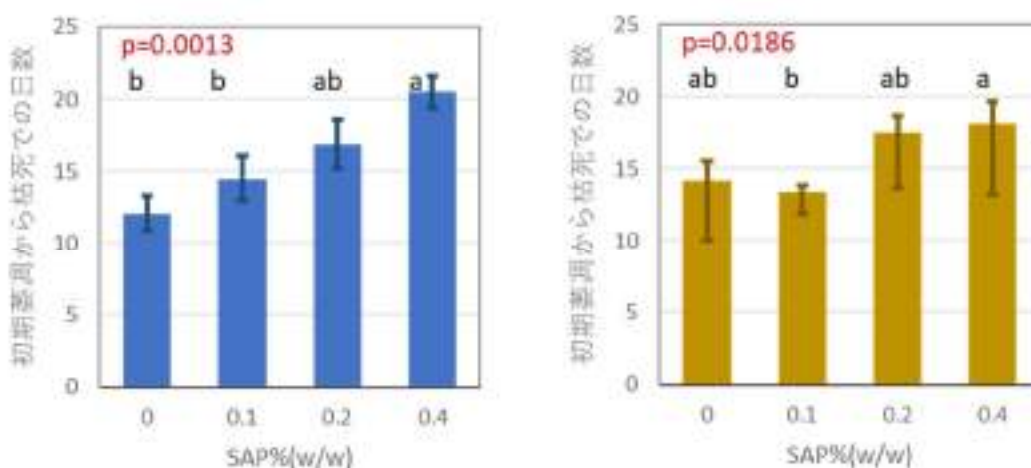


図 13 初期萎凋から枯死までの日数(スギ:左、ヒノキ:右)

灌水遮断日から枯死までの生存日数についても図 13 と同様の傾向であり、スギは 0.2%以上の SAP 添加処理で無添加より 10 日程度生存日数が長くなった(図 14)。ヒノキは 0.4%添加で 5 日ほど長くなった。

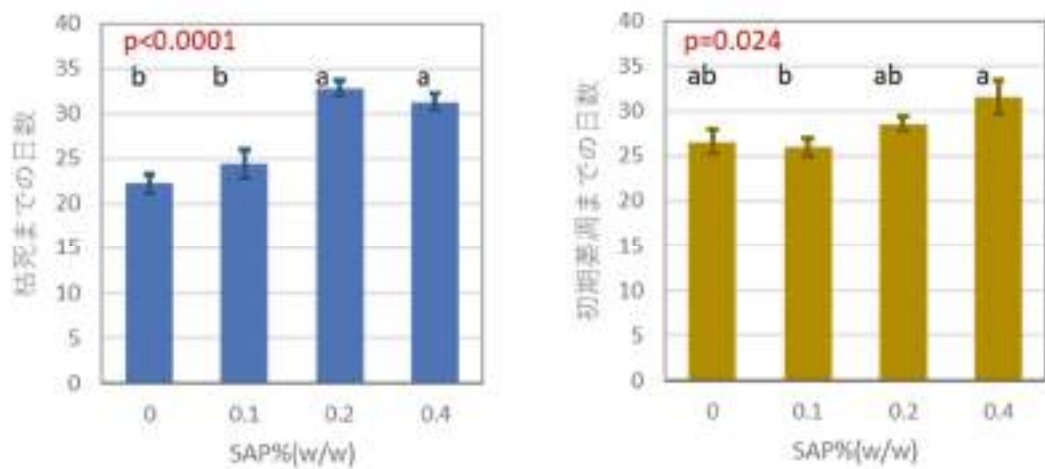


図 14 灌水遮断後、苗木が枯死するまでの日数

3) SAP 添加により枯死までの期間の蒸発散量(ポット全体)は増えるか

灌水遮断後、初期萎凋点から枯死までに生じた蒸発散量(ポット表面からの蒸発量と苗木からの蒸散量の合計)をポット重量の変化から求めた。ポット当たりの蒸発散量は、スギの場合、SAP0.2%以上添加により蒸発散量が増加した(図 15)。一方、ヒノキも 0.2%以上 SAP 添加で蒸散量が多い傾向があるが、有意な差ではなかった。

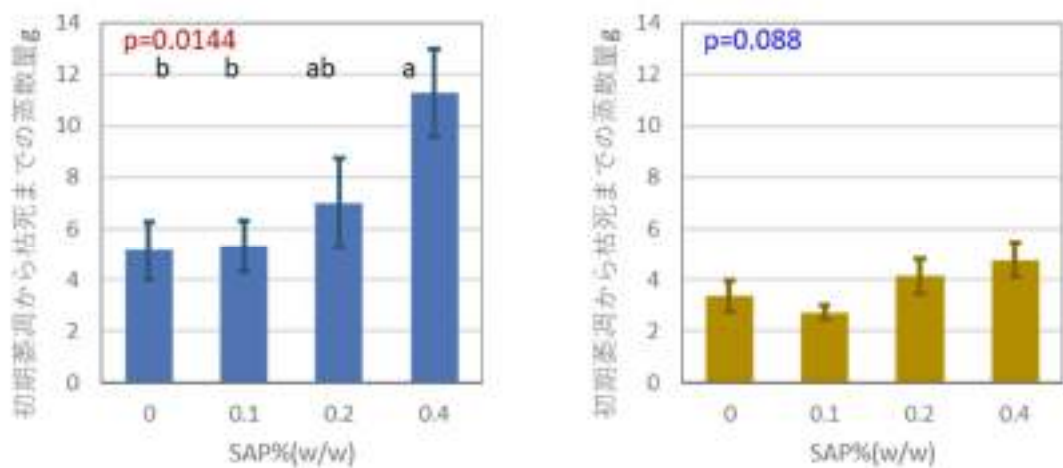


図 15 初期萎凋から枯死までの蒸発散量 g/pot

同様の方法で求めた、灌水遮断から枯死までの全期間の蒸発散量は、スギでは 0.2%以上で有意な増加がみられた(図 16)。一方、ヒノキではほとんど処理による有意差がなかった。

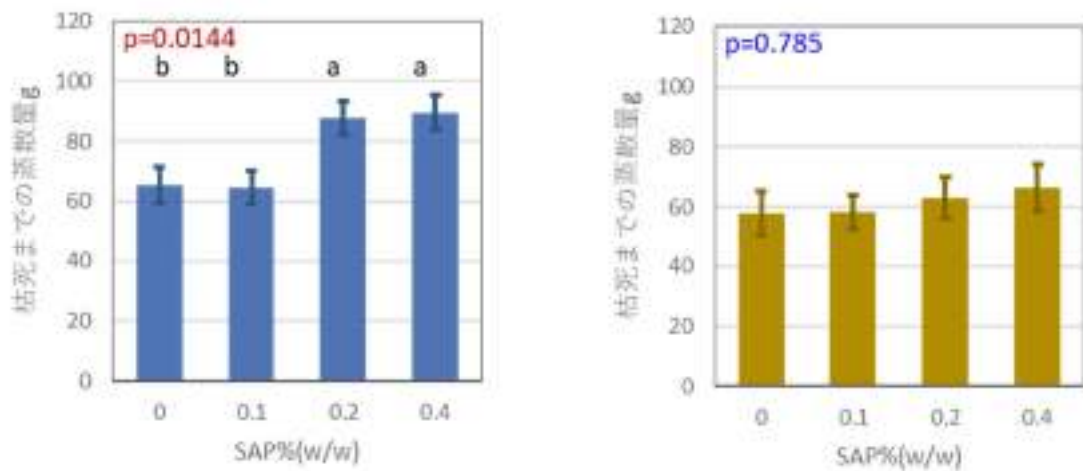


図 16 灌水遮断後、枯死までの全蒸発散量 g/pot

4) SAP 添加により蒸発散量は増えるか(葉量単位)

ポット当たりの蒸発散量は差がみられたが、蒸散量の原単位としての葉重量で除した蒸発散量を比較した。この場合、ポット上面からの蒸発量は無視することとなる。9 月の生育期間中の蒸発散量はスギもヒノキも処理による有意な差はなかった(図 17)。

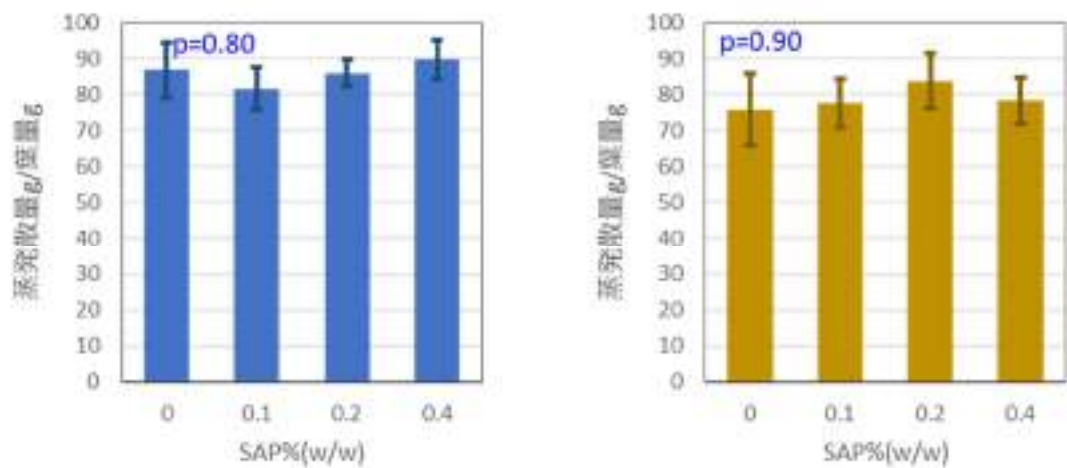


図 17 生育期間の蒸発散量 g/枯死後の葉量 g

灌水遮断後、枯死までの葉重量当たりの蒸発散量は、生育期間中と同様に、スギもヒノキも SAP 処理による有意差はなかった(図 18)。スギに比べヒノキの方が蒸散量は小さく、樹種特性を反映していた。

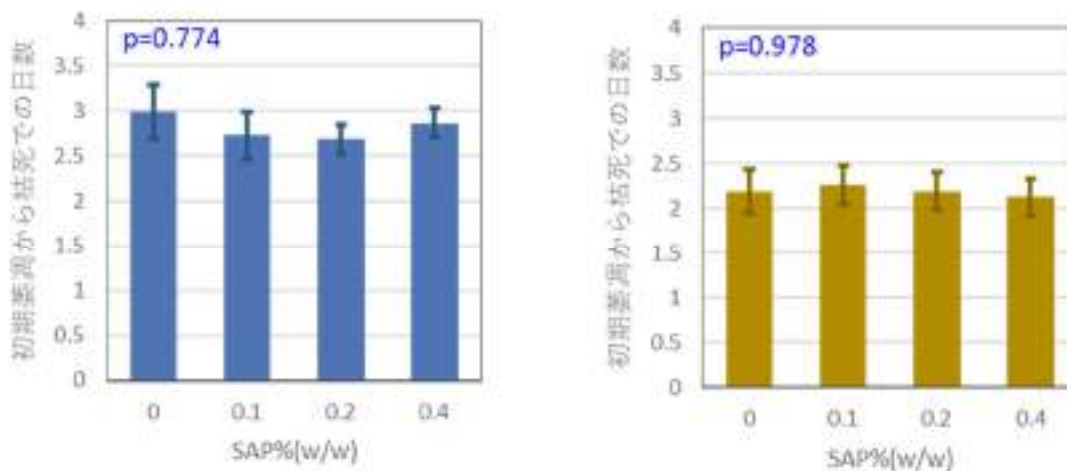


図 18 乾燥期間中、灌水遮断から枯死までの蒸発散量 g/枯死後の葉量 g

5) 枯死時点の土壌水分(永久萎凋点以上)は SAP 添加量により増加するか

プレッシャーチャンバー試験では pF3 までしか測定できない。植物の永久萎凋点は pF4.2 とされており、苗木の枯死時点の土壌水分がほぼ pF4.2 に相当すると考えられる。スギの場合、SAP 量が多いほど土壌水分が多いことが確認できた(図 19)。ヒノキの方が含水率は低い、同様の結果が得られた。

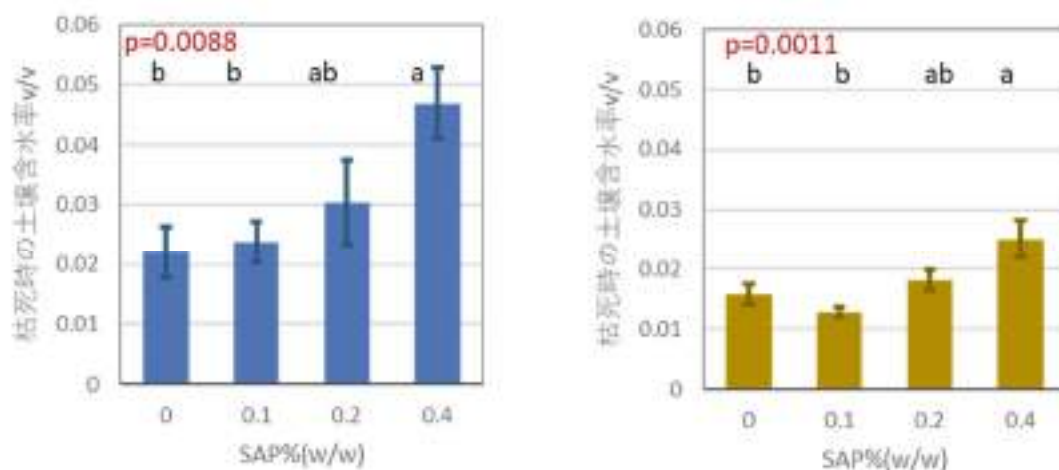


図 19 苗木枯死時点の土壌含水率%(v/v)

SAP 無添加との土壌含水率の差は pF4.2 以上のポテンシャルの水分と同等と考えられる。その値は体積含水率で 1~2%程度と非常に少なく、SAP の保持する水分のほとんどが有効水に区分できることが確認できた。土壌物理学的手法による結果を補完するデータであり、SAP の保水特性はほぼ解明できた。また樹種により違いがあることから、樹種の生理特性の理解が重要であることも示した。

6) 試験期間中の土壌水分の変化

苗木の育成期間と乾燥期間の土壌水分の変化は、これまで示した苗木の蒸散量変動傾向と一致した。しかしながら、SAP 添加量の大小(4 水準)と土壌水分の変動傾向(水準)は必ずしも比例せず、特に低濃度の SAP(0.1%)では SAP 無添加とあまり違いが見られなくなった。これは育成期間中に SAP の膨潤性能が劣化したり、根の水分吸収の強さに対応できなかった可能性が考えられる。

初期萎凋点(W)や枯死点(D)の土壌水分レベルは SAP 添加量で異なっており、SAP 添加量が多いほど土壌水分も高めの傾向が認められた。いずれにしろ、苗木の生死は、土壌含水比 0.1 (10%v/v) 以下のわずかな差で決まっているようであった。なお、苗木の生死は苗木のサイズも影響している可能性があるため、生存日数の評価はその点も考慮すべきであると考えられる。

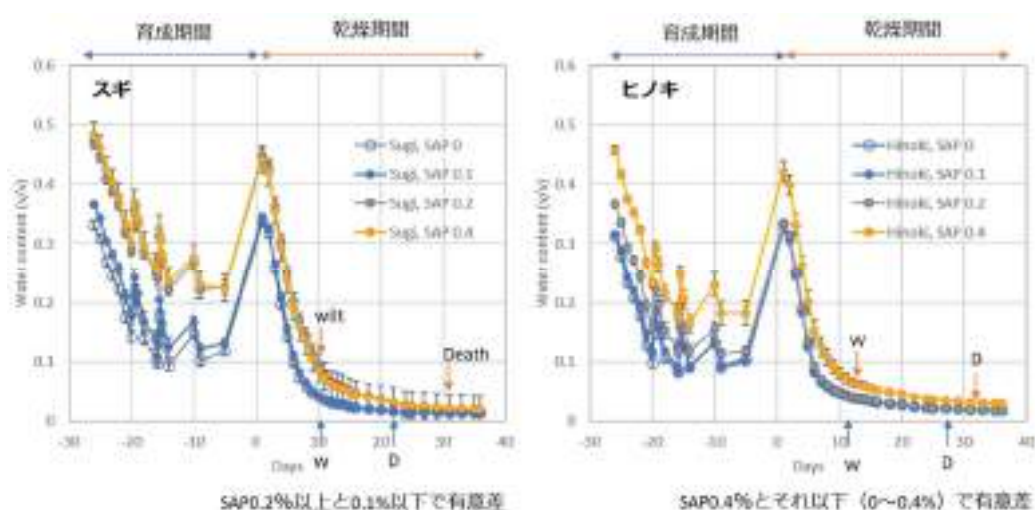


図 20 試験期間におけるポットの土壌水分(v/v)の変化

4.2.4 まとめ

日本の造林樹種(スギとヒノキ)で調べたSAPの保水効果の結果から、以下のことが確認できた。保水性のない川砂では苗木の生育期間中の土壌含水率(v/v)は約 15%~5%の範囲であったが、SAP 添加ポットは 35%~10%で維持された。植え付けから 4 週間後の根量は、スギの場合、SAP 0.2%以上で統計的に有意に多い発根量が確認でき、ヒノキも SAP 添加により発根が促進される傾向がみられたが、スギほど明瞭な差ではなかった。

4 週間育成した苗木ポットの灌水をとめて土壌を乾燥状態とし、枯死までの日数を調べましたところ、スギでは SAP 無施用より 0.2%以上入れたポット苗木の方が約 10 日長く生存した。ヒノキも生存期間は延びる傾向があったが、統計差はなく、樹種による違いが明らかとなった。

スギとヒノキは土壌水分に対する生理特性が異なることが知られているが、SAP に対する反応も異なっていた。今回の試験は研究蓄積が十分にある日本の造林樹種を使ったが、途上国では利用される苗木の研究例が少ないことも多い。できるだけ現地の植栽樹種と土壌を用いて SAP 添加試験をし、発根状態などを確認することが望ましい。これは 2 週間程度で判断できる。



4.3 当該技術の普及に向けたコスト試算

SAP 施用の追加のコストを試算した。SAP 製品により価格は異なり、1kg あたり 900 円～1800 円である。土壌 1kg に対し SAP0.2%とすると 1.8 円～3.6 円になる。ポット試験では土壌 2kg 使い 3.6～7.2 円であった。ミャンマーの予備試験では 30cm 立方の大きな植穴を掘り、土壌 35kg であったので 63～126 円になった。植穴の大きさや濃度は現地の土壌や管理方法、気象条件にあわせて決めることが肝要である。産業植林で商業利用の場合は SAP 濃度を薄くして土壌に注入するとい、コストも変わる。最適な SAP 濃度と量の一般化にはさらなる検討が必要である。

4.4 試験対象国における技術普及説明会

ミャンマー中央乾燥地の予備試験には森林局の技術者が同行し、共に作業を行った。SAP への関心は高く、保水材としての意義や機能を説明した。その後、植林地に大臣が視察に来たとき、SAP をパネルを用意し、試験地の様子を森林局幹部が大臣に説明したという。



図 19 ミャンマー森林局技術者が自ら作成した幹部向けの説明パネル

4.5 成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況

- 1) 高橋ほか 2018 日本森林学科誌 100:229-236 林業・緑化分野における高吸水性高分子流の利用,
- 2) 高橋ら 2020 森林立地学会誌 62: 51-59 高吸水性高分子樹脂を添加した土壌の物理・科学・生物性
- 3) 高橋 2020 海外の森林と林業 107:23-27 高級性高分子樹脂 (SAP) の植林への利用—SAP の利用と現場における土壌水分の変化—

4.6 参考文献

1. 遠山 証雄ら(1983) 保水剤利用による乾燥地緑化に関する研究 II 砂地無かん水下でのアクリル系吸水性高分子物質混合による緑化樹の活着. 砂丘研究 30(2) 270～275
 2. 大内 誠悟ら(1989) 高吸水性ポリマー混合が土壌の全容積、三相分布および有効水分に及ぼす影響. 日土肥誌 60:15-21
 3. Hüttermann A, Oriquiriza L, and Agaba H (2009) Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands. Clean-soil Air Water 37:517-526
 4. Bhardwaj AK, et al. (2007). Water retention and hydraulic conductivity of cross-linked polyacrylamides in sandy soils. Soil Sci Soc Am J 71: 406-412.
 5. Sanz Gómez, J. (2016) Characterization and effects of cross-linked potassium polyacrylate as soil amendment. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla.
 6. 矢橋 晨吾ら(1990) 保水剤の添加による土壌物理性の変化: III. 保水剤が透水性に与える影響. 千葉大学園芸学部学術報告 43: 65-71.
- Montesano FF et al. (2015) Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. Agriculture and Agricultural Science Procedia 4: 451-458

5 保育ブロック工法を用いた緑化の技術開発

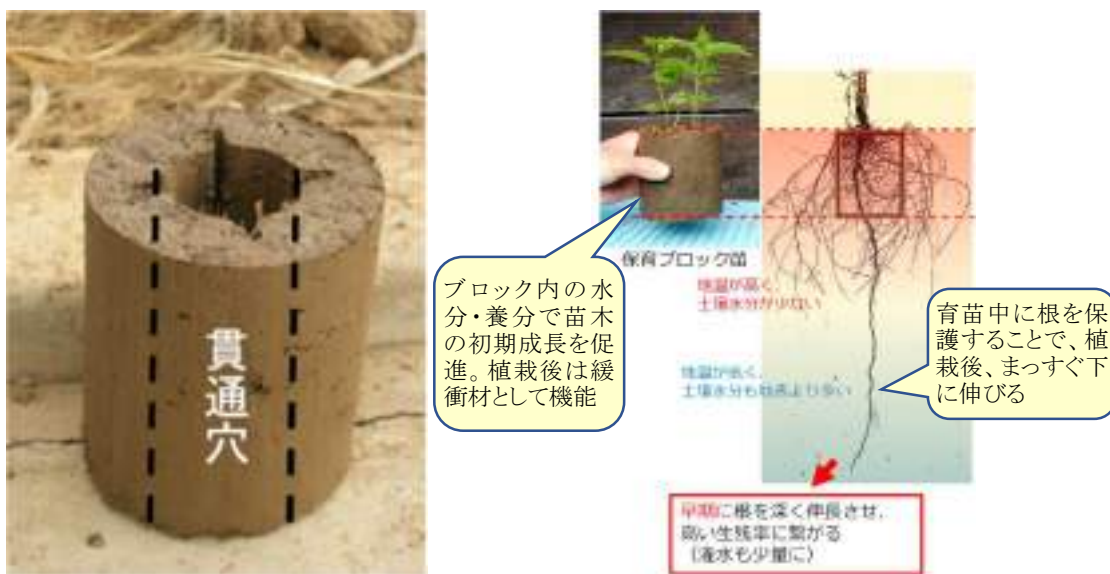
5.1 実証する森林再生技術の整理・分析

5.1.1 保育ブロック苗の技術開発の意義

降水量の少ない乾燥地や半乾燥地では、大きな植穴を掘り、裸根、ポット苗、又は大苗を植え、灌水をする緑化手法が広く実施されている。しかし、裸苗は移植時に根系が切断されること、ポット苗は育苗時の巻き根現象(ルーピング)により直根(種子根、主根)が育たず、根系が地中深くに伸長しにくいことから、乾燥に弱いことが指摘されている^{1), 2), 3)}。また、灌水することにより一時的には苗木の枯死を回避することはできるが、灌水の水に頼ってばかりでは根系が浅くなり、土中の深い場所からの水を利用することができないというマイナス面もある。また、多量の灌水は貴重な資源の浪費であり、コストがかかるため、途上国における植林事業では大きな負担となる。

乾燥地のような厳しい環境条件下においても、基本的には天水によって樹木が生存できることを前提とした緑化技術が必要とされている。このような課題に対処するため、植栽後の初期における直根の成長促進を目的とした保育ブロック工法が検討されてきた^{1), 2), 3)}(写真 5-1)。保育ブロックに播種して育苗した保育ブロック苗は、裸苗のように移植時に根系が切断されることもなく、ポット苗のように根がルーピングすることもない。保育ブロック苗では、貫通穴に沿って直根が地中深くまで早期に伸長して、土中深部の水分を利用することができることで、苗木の生残率向上、灌水の軽減が期待される(図 5-1)。

保育ブロックは、主に土、堆肥(有機物)、粘土、化成肥料を混ぜ合わせ、特製の機器(保育ブロック作製器)を用いて成形する。初めに保育ブロック作製器を購入、または製造する必要があるが、それ以外はすべて現地で準備できるため、資材の少ない国においても簡単に作ることができる。



保育ブロック苗は樹木本来の力を使い、早期に比較的水分条件が良い地中深くまで根を伸ばすことで生残を確保する技術である。本実証試験では、植栽直後に数回の灌水は行ったものの、従来と比べて少ない灌水量とし、その後の生残及び成長を観察した。

【長根苗・コンテナ苗との違い】

空気根切りによって直根の保護や根のルーピングを防止している苗木としては、コンテナ苗がよく知られている。それらの苗木と比較した保育ブロック苗の特徴は下記のとおりである。

- 土壌のブロックがついていること。保育ブロック苗は、根の周りに保水性の高い土がついており苗木を保護している。このため、乾燥した場所に植栽した際に、土が緩衝材となり、苗木に与える乾燥ストレスを低減してくれる。
- 資材を選ばないこと。長根苗やコンテナ苗では培地にバーミキュライトやココヤシピートを使用するのが一般的である。それに対して、保育ブロック苗は土、堆肥、及び粘土といった現地で入手可能な資材で作成することができる。

5.1.2 実証する技術の新規性や期待される効果

これまで保育ブロック工法は、中国やモンゴルなど東アジアにおいて実証試験が行われてきたが、その他の地域での適用事例はほとんどない⁴⁾。その他の地域、特に、夏季に降水のない乾燥地においても保育ブロック工法の有効性が確認されれば、中央アジア諸国やアフリカなどへも普及することが期待される。

中央アジアの国の1つであるウズベキスタンでは、冬に雨や雪が降り、夏はほぼ雨が降らない。気温が上昇する5～6月になると水分は蒸発し、土壌表層は乾燥してしまう。このため、緑化においては、水分条件の良い地中深くまで苗木の根を速やかに伸ばすことが重要とされている。

ウズベキスタンの現状としては、このような厳しい環境条件下における緑化に際して、①直根が速やかに地中下に伸びやすい樹種の選択、②酷暑期の灌水、及び③大苗の深植え等を行っているが、生残率は高くなく補植を繰り返している。

そこで、本実証試験では、ウズベキスタンにおいて、夏季に降水のないヌクスの砂質砂漠土(年降水量約 100mm)を対象地として保育ブロック工法の植栽試験を実施した。その結果、植栽後に約 100L の灌水をしても生残率は約 2%であり、保育ブロック工法の限界が示された。一方、同じヌクスの大学構内の沖積草原土を対象地とした植栽試験では、保育ブロック苗を用いた場合の生残率は約 40%を示し、ポット苗に比べて 20%程度生残率が高かった。また、アングレンの灰色砂漠土(年降水量約 400mm)に植栽した保育ブロック苗も 90%以上の生残率を示し、夏季に降水のない地域においても、土壌条件によっては保育ブロック工法の有効性が示された。

本年度の試験では、アングレンに植栽した保育ブロック苗の根を掘り取り、保育ブロック苗に期待される根を早期に地中深くまで伸長させる効果について、生残率との関係を検討した。また、高分子保水剤、及び団粒化剤による土壌改良を行い、保育ブロック苗との併用を検討した。これにより、保育ブロック工法の適用範囲を拡大することの可能性を示せば、本技術の普及に繋がると考える。

5.2 試験の目的及び計画

5.2.1 目的

本実証試験の目的を表 5-1 に示す。実証試験は、予備的な「調査 1～3」と実際に苗木を植栽する「植栽試験 1～7」で構成される(表 5-1、図 5-2)。なお、「調査 1～3」及び「植栽試験 3～6」については、本事業の既往報告書(平成 29 年度～令和 2 年度)に記載されているため、本報告書では割愛する。

表 5-1 保育ブロック工法の技術開発のための各試験の目的

	目的
調査 1	保育ブロックの材料検討
調査 2	保育ブロックサイズの事前検討(国内試験)
調査 3	試験地の環境条件の調査
植栽試験 1	従来の苗と保育ブロック苗の比較
植栽試験 2	異なる大きさの保育ブロック苗の比較
植栽試験 3	異なる植栽時期(10 月・3 月)の生残率、成長量の比較
植栽試験 4	異なる灌水頻度での比較(無灌水を含む)
植栽試験 5	異なる土壌環境における苗木の生残率及び成長量の比較
植栽試験 6	異なる気象・立地における苗木の生残率及び成長量の比較
植栽試験 7	高分子保水材・団粒化剤による土壌改良効果と苗木の生残率及び成長量の比較

※灰色:本報告書では報告を割愛する試験

場所 (気象条件)		メクス (乾燥地域)			アングレン (半乾燥地域)	
植栽時期		2018年 10月	2019年 3月	2018年 10月	2019年 10月	
土壌		砂質砂漠土			灰砂漠土	土壌改良
灌水		なし	あり	あり	あり	あり
苗木	ほぐし苗	—	●	—	●	—
	ポット苗	●	●	●	●	●
	保育B苗(小)	●	●	●	●	●
	保育B苗(大)	●	●	●	●	—
	大苗(従来苗)	—	—	—	●	—
		植栽試験4		植栽試験3	植栽試験6	
		植栽試験5				
					植栽試験2	
					植栽試験1	

※灰色:本報告書では報告を割愛する箇所

図 5-2 実証試験の対象地、試験区、及び試験方法

5.2.2 全体計画

本実証試験における全体計画の流れを図 5-3 に、年度別の実証試験の目標を表 5-2 に示す。

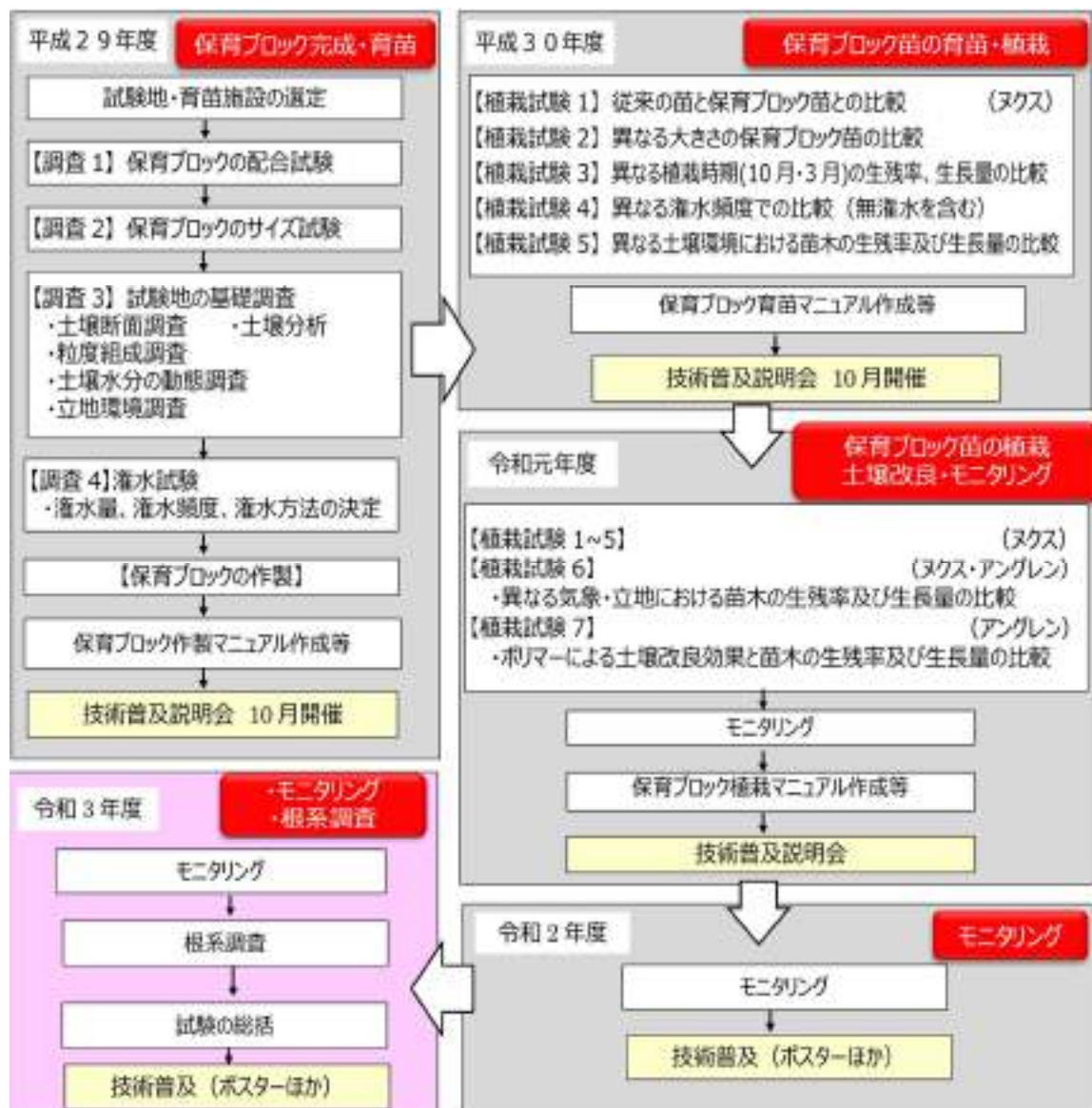


図 5-3 実証試験の流れ

表 5-2 実証試験の目標

平成 29 年度	年度目標	植栽にかかる基盤調査と保育ブロック作製マニュアルの作成	
	実施内容	【文献調査・聞き取り調査】 【調査1】 保育ブロックの配合試験 【調査2】 保育ブロックのサイズ試験 【調査3】 試験地の基礎調査(土壌水分の動態調査等) 【調査4】 灌水試験 【保育ブロックの作製】(ヌクス)	
	成果物	報告書、保育ブロック作製マニュアル	
平成 30 年度	年度目標	他の苗との比較試験による保育ブロック苗の優位性の検証	
	実施内容	ヌクス	【保育ブロック苗の育苗】【保育ブロック苗の植栽】 【植栽試験1】 従来の苗と保育ブロック苗との比較 【植栽試験2】 異なる大きさの保育ブロック苗の比較 【植栽試験3】 異なる植栽時期(10月・3月)の生残率、成長量の比較 【植栽試験4】 異なる灌水頻度での比較(無灌水を含む) 【植栽試験5】 異なる土壌環境における苗木の生残率及び成長量の比較
		タシケン ト	【保育ブロックの作製】、【保育ブロック苗の育苗】 ※技術普及の一環としても実施
	成果物	報告書、保育ブロック苗育苗マニュアル	
令和 元 年度	年度目標	植栽時期等の試験結果を踏まえた保育ブロック苗植栽マニュアルの作成	
	実施内容	ヌクス	【モニタリング調査】平成30年度植栽試験のモニタリング
		タシケン ト	【保育ブロック苗の植栽】 【植栽試験6】 異なる気象・立地条件における苗木の生残率及び成長量の比較 【植栽試験7】 高水分保水材及び団粒化剤による土壌改良効果と苗木の生残率及び成長量の比較
	成果物	報告書、保育ブロック苗植栽マニュアル	
令和 2 年度 以降	年度目標	保育ブロック苗の優位性の検証	
	実施内容	【モニタリング調査】平成30年度～令和元年度植栽試験のモニタリング(ヌクス、アングレン)	
	成果物	報告書	

5.2.3 令和3年度の試験設計及び計画

令和3年度における実証試験の設計及び計画を表5-3に示す。

表 5-3 令和3年度の試験設計及び計画

検討項目	年	令和2年												令和3年																				
	月	5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月			1月			2月			3月		
	日	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30			
気象条件																																		
1 試験計画の確認																																		
2 モニタリング (アングレン)																																		
3 モニタリング (ヌクス)																																		
4 ワークショップ発表																																		
5 報告書作成																																		
打合せ協議																																		

5.3 試験地の概況

5.3.1 試験地の位置

保育ブロック工法を用いた緑化技術開発のための試験地として、ウズベキスタン西方に位置するカラカルパクスタン共和国(自治州)ヌクスと、ウズベキスタン東方に位置するアングレンを選定した(図 5-5)。本試験の実施にあたり、MOU を結んだカラカルパクスタン農業技術大学(旧タシケント農業大学ヌクス分校)には育苗場所及び植栽試験地の提供や育苗、モニタリング等の協力を得た。また、同じく MOU を結んだウズベキスタン国家林業委員会林業科学研究所には圃場の提供や育苗、ヌクス林業局及びアハングラン林業局(アングレンを統括)を通じた植栽試験地の提供等の協力を得た。



白地図専門店 (<http://www.freemap.jp/>) の無料地図を編集

図 5-4 試験対象国



白地図専門店 (<http://www.freemap.jp/>) の無料地図を編集

図 5-5 試験地位置図

5.3.2 試験対象地の気象条件

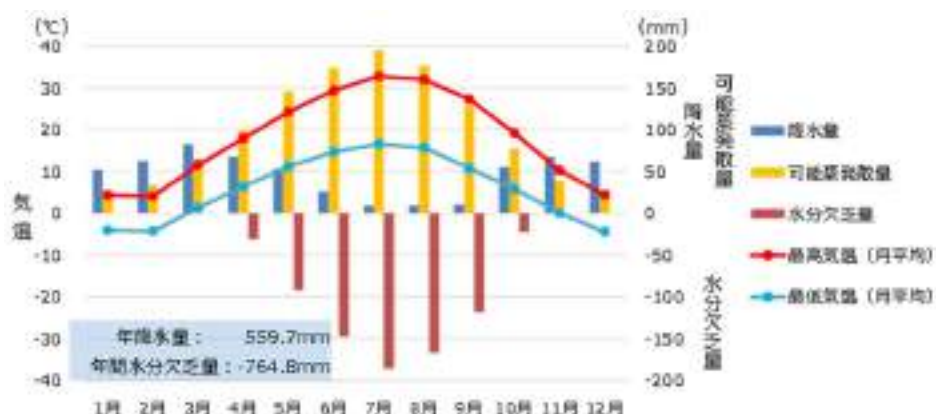
アングレンは天山山脈の端に位置し、北には世界遺産「西天山」を構成するチャトカル国家生物圏自然保護区(ウガム・チャトカル自然公園)が存在する。市街地は山の谷部にあり、アングレン川が流れている(図 5-6)。ケッペンの気候区分では Dsa(亜寒帯気候)に区分され偏西風帯に位置しており、年降水量は 400 mm 程度であるが、降水パターンは冬季～早春に偏っており、降雪・積雪の多い地域である。酷暑期である 6～8 月の平均最高気温は 30℃を超え、日によっては 40℃を超える。冬期の最低気温は-10℃を下回することは少ない(図 5-7)。乾燥度指数は 0.47 と半乾燥地に分類される。11 月～3 月は気温が低く降雪があるため、可能蒸発散量が降水量を上回ることはないが、気温の上がる 6 月～9 月にかけて水分欠乏量は 100mm 以上に達する。

なお、本年度は、アングレンにおける試験成果を中心に報告するため、ヌクスの気象条件の説明は省略する。



Google Earth を編集

図 5-6 アングレンの試験地周辺



出典) Worldclim, Historical monthly weather data (2010-2018) <https://www.worldclim.org/data/monthlywth.html>

参考) FAO, ETo Calculator (Version 3.2, September 2012) <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator>

図 5-7 アングレンの気候



(アングレン周辺の山々)



(アングレンの植林地)



(育苗場所: タシケント林業科学研究所)



(植栽試験地: アングレン)

写真 5-2 試験対象地

5.3.3 試験地の森林概況

ウズベキスタンの森林面積は 3,295 千 ha で、国土面積 42,540 千 ha のうち 8.0%を占める。造林や違法伐採の監視等により年間約 17 千 ha (0.5%) の森林面積が増加しているが、森林資源の現存量を示す平均蓄積量は $7\text{m}^3/\text{ha}$ と極めて少ない(日本は $171\text{m}^3/\text{ha}$)⁶⁾。また、ウズベキスタンは中央アジアの中でも木質燃料の利用率が高い国である⁶⁾。今後も木質燃料の消費量は増加すると予想されており、森林への伐採圧力が強まることが懸念されている。

5.3.4 試験対象地の自然植生

ウズベキスタン林業科学研究所によれば、アングレンの試験対象地周辺の自然植生、又は過去にみられた植生として、表 5-4 の在来樹種が確認されている。

表 5-4 アングレンの試験対象地周辺の在来樹種

科名・属名	種名	和名
ヒノキ科ビャクシン属	<i>Juniperus seravchanica</i> , <i>Juniperus pyramidalis</i>	N/A
マメ科ハリエンジュ属	<i>Robinia pseudoacacia</i>	ニセアカシア
ニレ科ニレ属	<i>Ulmus</i> sp.	N/A
バラ科サンザシ属	<i>Crataegus turkestanica</i> , <i>Crataegus pontica</i>	N/A
バラ科リンゴ属	<i>Malus sieversii</i>	N/A
バラ科スモモ属	<i>Prunus divaricata</i>	N/A
バラ科バラ属	<i>Rosa</i> sp.	N/A
バラ科モモ垂属	<i>Amygdalus bucharica</i> , <i>Amygdalus spinosissima</i>	アーモンド

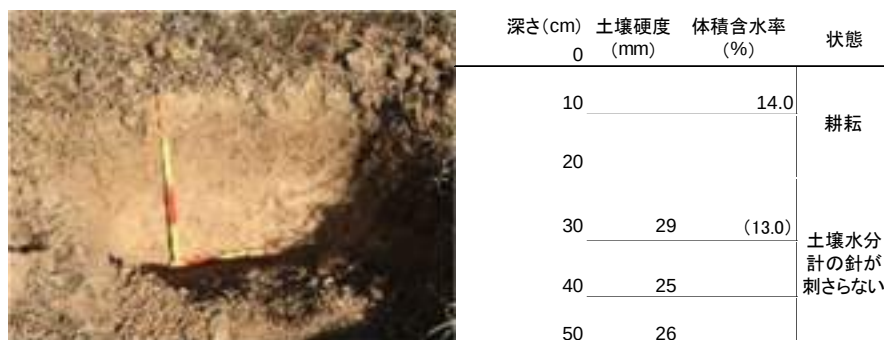
また、現在は、表 5-5 の外来種も植栽されている。

表 5-5 近年植林されている外来樹種

科名・属名	種名	和名
マツ科マツ属	<i>Pinus pallasiana</i>	N/A
メギ科メギ属	<i>Berberis</i> sp.	N/A
モクセイ科トネリコ属	<i>Fraxinus</i> sp.	N/A
ムクロジ科カエデ属	<i>Acer semenovii</i>	N/A
ブナ科コナラ属	<i>Quercus robur</i>	ヨーロッパナラ

5.3.5 試験対象地の土壌条件

アングレンの試験対象地は灰色砂漠土に分類される。耕耘されていない深さ 30 cm 以深の土壌硬度は 25mm 以上と、植物の根の伸長を阻害する硬さを示す。試験地の体積含水率は、深さ 10cm で 14.0%を示した。深さ 30cm 以深では、土壌水分計の針を差し込むことができなかったため測定できていないが、試験地周辺の土壌では、深さ 30cm で体積含水率 13.0%を示した(図 5-8)。



※写真及び括弧内の値は、試験地周辺での測定値

図 5-8 土壌断面調査(灰色砂漠土、2018 年 9 月)

5.3.6 対象地における従来の植林方法とその課題

ウズベキスタンの立地条件を、気候及び土壌の観点から、砂質砂漠土区、沖積草原土区、灰色砂漠土区の3つに区分し、各区分における植林の課題を整理した(表 5-6)。

表 5-6 ウズベキスタンにおける植林の現状と課題

全体	課題	・ウズベキスタンの年降水量は、少ない場所で約 100mm、多い場所で 700mm 前後となっている。また、6 月～8 月は酷暑期となり、気温が高いうえ降水がほぼない。 ・少ない降水量と降水時期の偏りが森林再生の制限要因となっており、薪炭材のための伐採や放牧により衰退した植生は、回復させることが困難となっている。
砂質砂漠土	植林の現状	・砂質砂漠土(ヌクス)では飛砂固定を目的とした樹木のサクサウル(<i>Haloxylon persicum</i>)、多年生草本のオカヒジキ属の 1 種(<i>Salsola</i> sp.)、及びタデ科の 1 種(<i>Calligonum</i> sp.)の播種・植栽が行われている。 ・サクサウルは根系を地中深くに伸長させることが知られており、土壌水分の安定した地中深くまで根を伸ばすことで水分を確保し、灌漑なしでも生育が可能となっている。しかし、生残率は決して高くなく、また、サクサウル以外の樹木による緑化は困難な状況である※1。 ・砂漠化の進行する土地の農民は経済的に困窮しているが、上記 3 種は果実の収穫等はなく、経済的なメリットがない。サクサウルは薪炭材として有用であるが、砂漠化防止のため伐採は禁止されている※1。 ・ヌクスの降水は 11 月～3 月に集中しており、播種・植栽は冬季に行われる※2。しかし、冬季の最低気温は-20℃に達し、農民たちの労働環境は厳しいものとなっている。
	課題	・苗木生残率の向上、経済的価値の高い樹種の植栽、植栽時期の拡大(冬季以外の植栽)
沖積草原土	植林の現状	・ポプラ(<i>Populus pruinosa</i>)やヤナギバグミ(<i>Elaeagnus angustifolia</i>)を植栽している。 ・用水路を用いた灌水を行っており、酷暑期の灌水頻度は 3 日～1 週間に 1 度と多量の水が必要となっている※3。 ・アムダリヤ川の水位が低下すると、井戸水による灌水は禁止されているため、用水路に水を流すことができない※4。 ・排水の不十分な場所では二次的塩類集積が発生し、土壌の悪化につながっている。
	課題	・灌水量、灌水頻度の削減
灰色砂漠土	植林の現状	・ビャクシン属の 1 種(<i>Juniperus seravchanica</i>)、ニセアカシア(<i>Robinia pseudoacacia</i>)、ヨーロッパナラ(<i>Quercus pedunculata</i>)、ニレ属の 1 種(<i>Ulmus densa</i>)、メギ属の 1 種(<i>Berberis</i> sp.)、トネリコ属の 1 種(<i>Fraxines</i> sp.)等の 1.2～2.0m の大苗を植栽している※5。 ・土壌の軟らかい早春に、深さ 50cm 程の植穴を掘って植栽する。生残率は 10～30%前後で、5 年間補植を繰り返して、生残率を 80～90%以上まで高めている※6。 ・灌水などの管理が行われていることは少なく、生残率は高くない。近年は、トラクターで幅 2m ほどの平場を階段状に造成し、植林が行われている。 ・整備されていない急峻な山道が多い。
	課題	・運搬、植栽コストの削減

※1 2017 年 5 月 スクス林業局 Erniyorf Akimniazob 副局長より聞き取り

※2 2019 年 3 月 アラル海イノベーションセンターガニエフ・ムラド副センター長より聞き取り

※3 2017 年 5 月 タシケント農業大学スクス分校(当時) Bakhtiyor Jollibekov 教授より聞き取り

※4 2021 年 11 月カラカルパクス州農業技術大学 生徒より聞き取り

※5 2018 年 9 月 タシケント林業科学研究所より聞き取り

※6 2021 年 11 月アハンガラン林業委員会より聞き取り

5.4 試験方法

5.4.1 植栽試験 1: 従来の苗と保育ブロック苗、及び植栽試験 2: 異なる大きさの保育ブロック苗の比較

(1) 目的

乾燥地の植林において、保育ブロック苗が、従来使用されていた苗と比較して有効な手法であることを検証する(植栽試験 1)。また、保育ブロック苗の大きさの違いが、乾燥地における植物の生残率及び成長量に与える影響を検討する(植栽試験 2)。

(2) 試験設計

ポット苗、保育ブロック苗(小)、保育ブロック苗(大)の 3 種類の苗木を植栽し、生残率及び成長量等を測定した。

(3) 植栽樹種

タシケント林業科学研究所とアングレンを統括するアハンガラン林業委員会への聞き取り調査の中で挙げられた樹種の中から、*Fraxinus* sp.(トネリコ属)を植栽樹種として用いた。

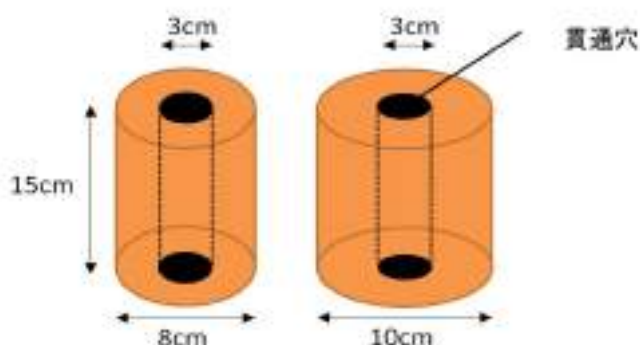


写真 5-3 トネリコ属種子

(4) 使用苗

● 保育ブロック

保育ブロックの材料は、土と牛糞堆肥を体積比 1:1 の割合で混合したものに、化成肥料(N:P:K=12:24:20)を 2g/L 混合したものを基材として用いた。この基材を、保育ブロック作製器を用いて筒状に成型し、内径 3 cm、外径 8 cm、高さ 15 cmの保育ブロック(小)と、内径 3 cm、外径 10 cm、高さ 15 cmの保育ブロック(大)を作製した。



【保育ブロック(小)】 【保育ブロック(大)】

図 5-9 保育ブロック模式図

● 保育ブロック苗

台板が格子状になっている育苗台の上に、コンテナに入れた保育ブロックを並べた。並べた保

育ブロックの貫通穴に、土:牛糞堆肥を体積比 1:1 で混合した培土を詰め、殺菌剤入りの常温水に 1 昼夜浸漬させた種子を播種し、保育ブロック苗として育苗した。保育ブロックへの播種は 2019 年 3 月 4 日～5 日に行い、育苗はタシケント市内の林業科学研究所構内の温室で行った。

● ポット苗

ポット苗は、保育ブロック(小)の容積と同等の底部直径 80 mm、上部直径 120mm、高さ 100mm、底穴 1 つのポリポットに、保育ブロックの基材を詰め播種した。播種は 2019 年 3 月 6 日に行った。育苗は、保育ブロック苗と同じくタシケント市内の林業科学研究所構内の温室で行った。

(5) 植栽方法

植栽は 2019 年 10 月 28 日～30 日に行った。植栽手順を図 5-10 に、植栽本数を表 5-7 に示す。また、植栽時及び植栽後の灌水量を表 5-8 に示す。



①オーガーを用い、直径 20 cm、深さ 50 cm の植穴を掘った。



②植穴の深さが 30 cm になるまで埋戻した。



③化成肥料(N:P:K=12:24:20) 10g を入れ、土とよく混ぜ合わせながら、植穴の深さが 15～20 cm になるまで埋戻した。



④水に浸し十分に吸水させた苗木を植穴に入れた。



⑤植穴と苗の間に隙間ができないよう、手で土を押しながら土を詰めた。詰める土から石や硬い土の塊は取り除いた。



⑥保育ブロックやポットの表面に 1～2cm ほど土で埋戻した。埋め戻しでは、今後灌水しやすいよう周囲よりも低く植栽した。



⑦約 5L の水を灌水した。

図 5-10 植栽手順(アングレン:灰色砂漠土)

表 5-7 植栽本数

樹種	ポット苗	保育ブロック苗	
		(小)	(大)
トネリコ属	19	20	19

表 5-8 植栽後の灌水量

	2019 年	2020 年	
	10 月(植栽時)	5 月 30 日	6 月 25 日
灌水量	5L	5L	25L

(6) 測定項目

植栽後の生残率、樹高、根本直径を、表 5-9 に示す日にちに測定した。また、根系調査は 2021 年 11 月 5 日～10 日に実施し、根系を掘り取った後、105℃で 24 時間炉乾燥し乾燥重量を測定した²。

表 5-9 生残率・樹高の測定日

測定日	測定項目	測定日	測定項目
2019 年 10 月 1 日	生残率、樹高	2020 年 10 月 24 日	生残率、樹高
2020 年 5 月 30 日	生残率、樹高	2021 年 5 月 19 日	生残率、樹高、根元直径
2020 年 7 月 9 日	生残率、樹高	2021 年 6 月 26 日	生残率、樹高、根元直径
2020 年 8 月 22 日	生残率、樹高	2021 年 8 月 28 日	生残率、樹高、根元直径
2020 年 9 月 19 日	生残率、樹高	2021 年 11 月 5 日	生残率、樹高、根元直径

5.4.2 植栽試験 7: 高分子保水材・団粒化剤による土壌改良効果と苗木の生残率及び成長量の比較

(1) 目的

アングレンの植栽試験地における酷暑期後の土壌水分は、深さ 30cm でも 13%前後と低く、土壌硬度も 25mm を超える(5.3.5 参照)。このため、保育ブロック苗をそのまま植栽するだけでは、保育ブロックから外側に根が伸長できない可能性がある。そこで土壌改良を併用し、保育ブロック工法の効果を確実に発揮させることを考えた。本植栽試験では、土壌改良がポット苗、保育ブロック苗の生残率や樹高に与える影響について明らかにすることを目的とした。

(2) 試験設計

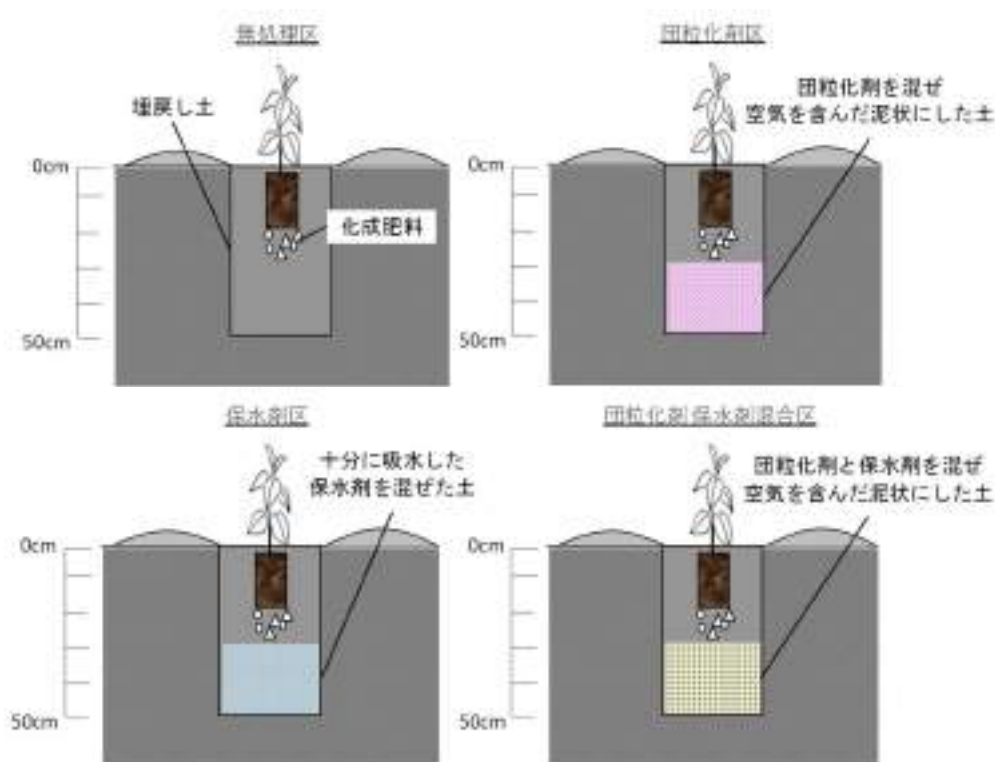
土壌改良にはポリマーを原料とする高分子保水剤及び団粒化剤を使用した。試験区は無処理区、保水剤区、団粒化剤区、保水剤と団粒化剤の混合区(以下、混合区)の 4 試験区とした(表 5-10)。

² 農林水産省「各種バイオマス成分のデータベース整備」

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/archive/files/203-7.pdf

表 5-10 試験の設定

	無処理区	保水剤区	団粒化剤区	保水剤と団粒化剤の混合区
混合資材	なし	保水剤	団粒化剤	保水剤、団粒化剤
(原料)	—	アクリル酸重合体部分 ナトリウム塩架橋物	アニオン系線状 有機化合物	—
配合量	なし	土 6L に対し、 ・保水剤(吸水済み)0.6L	土 6L に対し、 ・団粒化剤水溶液 (2%濃度)0.6L ・水 1.8L	土 6L に対し、 ・保水剤(吸水済み)0.6L ・団粒化剤水溶液 (2%濃度)0.6L ・水 1.8L
苗木	ポット苗、保育ブロック苗(小) (植栽試験 1 及び 2 と同じ苗木を使用した)			
樹種	Fraxines sp. (トネリコ属)			



※化成肥料は深さ 15～30cm の埋戻し土と十分に混ぜ合わせた

図 5-11 土壌改良試験区の設定(模式図)

(3) 植栽方法

植栽は 2019 年 10 月 28 日～30 日に行った。保水剤区の植栽手順を図 5-12 に、団粒化剤区の植栽手順を図 5-13 に示す。無処理区の植栽手順は植栽試験 1 及び 2 と同じであり、混合区は保水剤区、団粒化剤区の手順を合わせた手順である。また、各試験区の植栽本数を表 5-11 に示す。なお、植栽後の灌水量は植栽試験 1 及び 2 と同じである。



①オーガーを用い、直径 20 cm、深さ 50 cmの植穴を掘った。



②保水材 300g に 30L の水を加え吸水させた。



③植穴の深さが 30 cmになるまで、掘り出した土で埋戻した。



④吸水させた保水剤 0.6L を植穴に入れ、埋め戻した土とよく混ぜ合わせた。



⑤保水材を混ぜた土の上に 5 cm程土をかぶせたのち、化成肥料(N:P:K=12:24:20)10g を入れ、土とよく混ぜ合わせながら、植穴の深さが 15 ~20 cmになるまで埋戻した。



⑥水に浸し十分に吸水させた苗木を植穴に入れた。



⑦植穴と苗木の間に隙間ができないう、適宜、手で土を押しながら土を詰めた。詰める土から大きめの石や硬い土の塊は取り除いた。



⑧保育ブロックやポットの表面に 1 ~2cm ほど上まで土で埋戻した。埋め戻しでは、今後灌水しやすいよう周囲よりも低く植栽した。



⑨約 5L の水を灌水した。

図 5-12 植栽手順(保水剤)



①オーガーを用い、直径 20 cm、深さ 50 cm の植穴を掘った。

写真なし



③混ぜ合わせた泥 6L を植穴に入れた。



④泥の上に 5 cm 程土をかぶせたのち、化成肥料 (N:P:K=12:24:20) 10g を入れ、土とよく混ぜ合わせながら、植穴の深さが 15~20 cm になるまで埋戻した。



⑤水に浸し十分に吸水させた苗木を植穴に入れた。



⑥植穴と苗木の間に隙間ができないよう、適宜、手で土を押しながら土を詰めた。詰める土から大きめの石や硬い土の塊は取り除いた。



⑦保育ブロックやポットの表面に 1~2cm ほど上まで土で埋戻した。この時、今後灌水しやすいよう周囲よりも低く植栽した。



⑧約 5L の水を灌水した。

図 5-13 植栽手順(団粒化剤)

表 5-11 植栽本数

植栽方法	ポット苗	保育ブロック苗(小)
無処理区	19	20
団粒化剤区	19	19
保水剤区	19	19
団粒化剤保水剤混合区	19	19

(4) 測定項目

植栽後の測定項目及び測定日は、植栽試験 1 及び 2 と同じである。

5.5 試験結果

5.5.1 植栽試験 1: 従来苗と保育ブロック苗の比較

(1) 保育ブロック苗の生残率に対する効果

各苗木の生残率の推移を図 5-14 に示す。植栽 2 年後の 2021 年 11 月の生残率はポット苗が 94.7%、保育ブロック苗(小)が 90.0%であり、保育ブロック苗による生残率の向上はみられなかった。また、両苗ともに植栽 1 年目の酷暑期以降、枯死する個体はみられなかった。本試験では 2020 年 7 月以降灌水を実施していないことから、生残した個体は植栽 1 年目の間に、枯死しない範囲まで根系を発達させたと推測される。

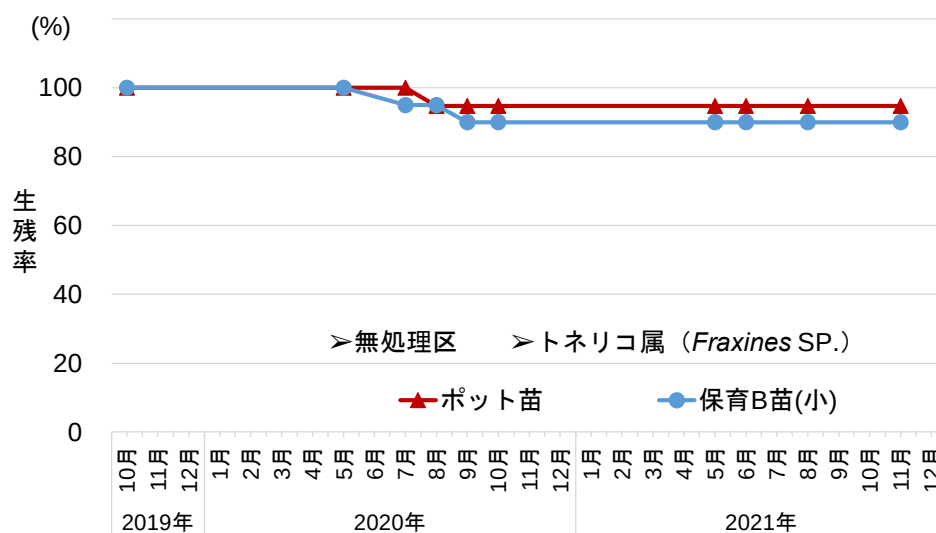


図 5-14 生残率の推移(従来の苗との比較)

(2) 保育ブロック苗の成長に対する効果

各苗木の平均樹高の推移を図 5-15 に、植栽 2 年後の 2021 年 11 月 5 日における各苗木の根元直径を図 5-16 に示す。

植栽 2 年後の平均樹高はポット苗が 50.2cm±4.3、保育ブロック苗(小)が 53.1cm±4.4 となった。

植栽後の樹高の増加量では、ポット苗が $26.6\text{cm} \pm 2.7$ 、保育ブロック苗(小)が $25.8\text{cm} \pm 4.0$ であり有意な差はみられなかった。また、根元直径においてもポット苗が $7.13\text{mm} \pm 0.51$ 、保育ブロック苗(小)が $8.03\text{mm} \pm 0.60$ であり有意な差はみられなかった。したがって、本試験においては、ポット苗と比較して保育ブロック苗による初期成長の促進効果は確認できなかった。

なお、1年目、2年目ともに、酷暑期に入った7月以降、ポット苗及び保育ブロック苗の樹高成長がみられなかった。酷暑期である7～9月にかけての降水量は極めて少なく(図 5-7)、当地における樹木の成長期間は早春から6月までに限られる可能性がある。

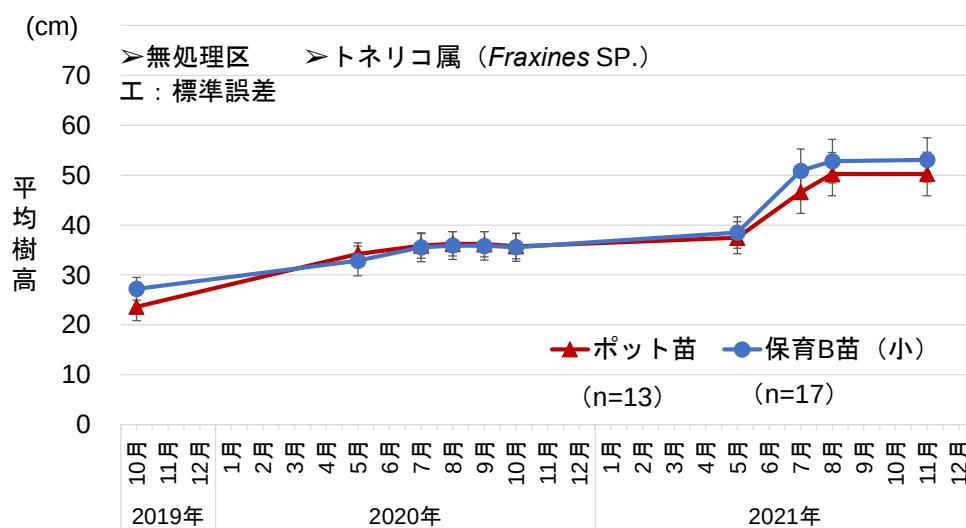


図 5-15 平均樹高の推移(従来の苗との比較)

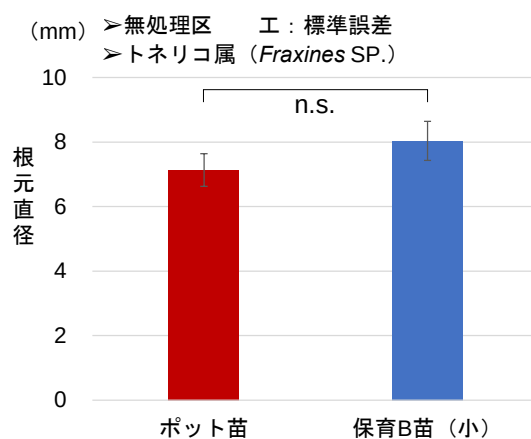


図 5-16 根本直径の比較(2021 年 11 月 5 日)(従来の苗との比較)

(3) 保育ブロック苗の根の発達に対する効果

掘り取った各苗木の根系写真を図 5-17 に、深さ別の根の乾燥重量を図 5-18 に示す。植栽 2 年後の根の平均到達深度は、ポット苗が $51.3\text{cm} \pm 2.83$ であったのに対して、保育ブロック苗(小)では $61.1\text{cm} \pm 2.92$ であり、有意な差があることが確認された(Welch's t-test ($p < 0.05$))。したがっ

て、保育ブロック苗は、ポット苗と比較して早期に地中深くまで根を伸ばすと考えられた。また、深さ別の根の乾燥重量については、有意差はみられなかったものの、すべての深さでポット苗と比較して保育ブロック苗の乾燥重量が大きく、保育ブロック苗の方が根系を発達させていることが伺えた。

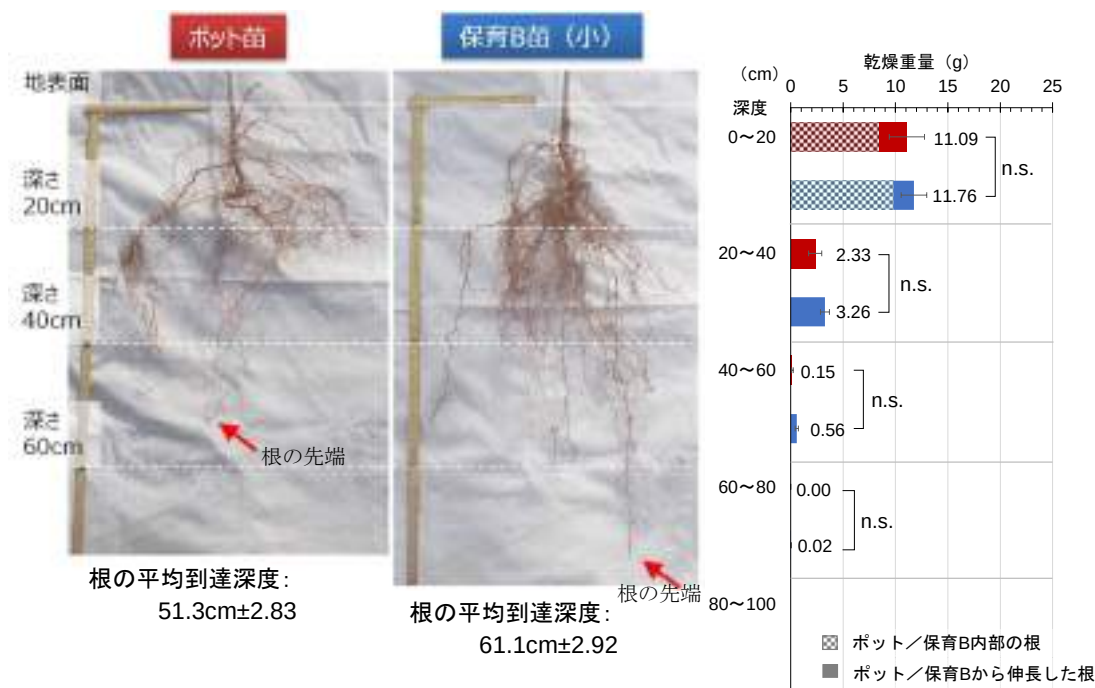


図 5-17 根系写真(従来の苗との比較)

Welch's t-test ($p < 0.05$) $n=8$
 工: 標準誤差

図 5-18 深さ別の根の乾燥重量(従来の苗との比較)

(4) 植栽試験 1: 従来苗と保育ブロック苗の比較から示唆されたこと

本植栽試験では、保育ブロック苗が従来の苗木と比較して生残率・成長量が高いことの検証が目的であったが、培地の大きさがほぼ同じポット苗と保育ブロック苗(小)では、成長に明らかな差はみられなかった。ただし、根系の発達には保育ブロック苗の方が優位であり、今後、旱魃等の厳しい環境条件が発生した際には苗木の生残に違いが出る可能性がある。

5.5.2 植栽試験 2: 異なる大きさの保育ブロック苗の比較

(1) 保育ブロック苗の大きさが生残率に及ぼす効果

保育ブロック苗(大)及び(小)の生残率の推移を図 5-19 に示す。保育ブロック苗(大)はすべての個体が生き残り、植栽 2 年後の生残率は 100%であった。一方で、保育ブロック苗(小)の植栽 2 年後の生残率も 90%と高い値を示した。したがって、今回の試験では、保育ブロックの体積及び底面積が大きいものでも、生残率の明らかな向上は確認されなかった。

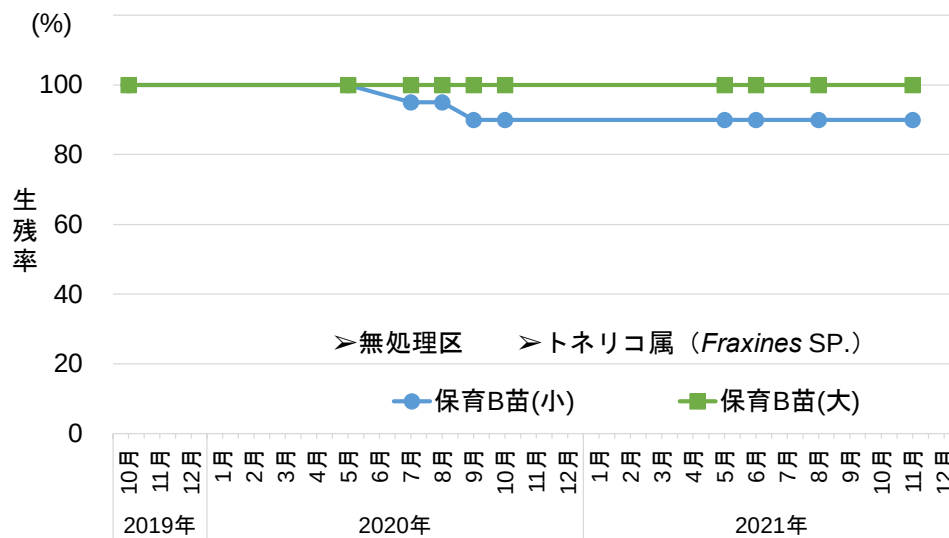


図 5-19 生残率の推移(保育ブロックの大きさによる比較)

(2) 保育ブロック苗の大きさが成長に及ぼす効果

各苗木の平均樹高の推移を図 5-20 に、植栽 2 年後の 2021 年 11 月 5 日における各苗木の根元直径を図 5-21 に示す。

植栽 2 年後の平均樹高は保育ブロック苗 (小) が $53.1\text{cm} \pm 4.4$ 、保育ブロック苗 (大) が $65.2\text{cm} \pm 3.8$ と差がみられた。ただし、この差は植栽時の樹高の違いによるものであり、植栽後 2 年間での樹高の増加量は、保育ブロック苗 (小) が $25.8\text{cm} \pm 4.0$ 、保育ブロック苗 (大) が $27.7\text{cm} \pm 3.2$ と両苗に差はみられなかった。また、根元直径においても保育ブロック苗 (小) が $8.03\text{mm} \pm 0.50$ 、保育ブロック苗 (大) が $8.94\text{cm} \pm 0.55$ と両苗に有意な差はなく、本試験において、保育ブロック苗の大きさの違いによる初期成長量の変化は確認できなかった。

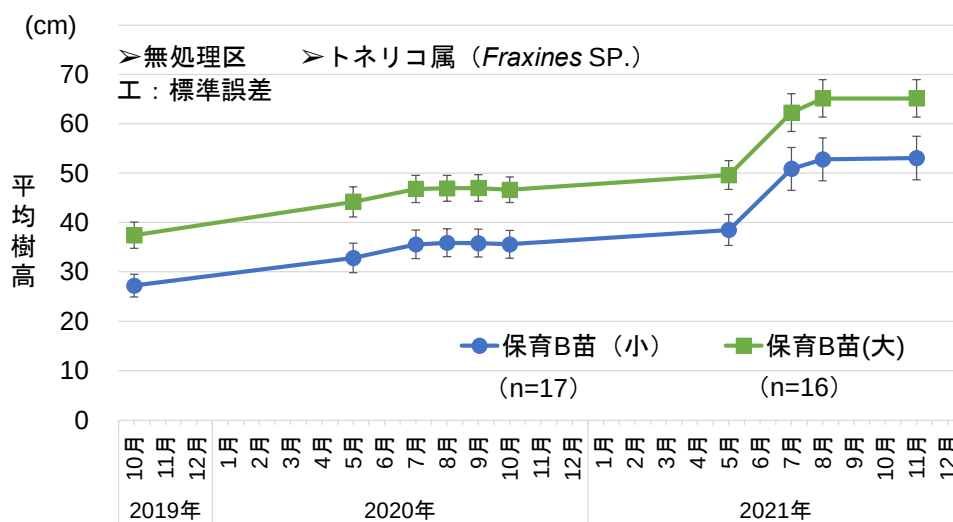


図 5-20 平均樹高の推移(保育ブロックの大きさによる比較)

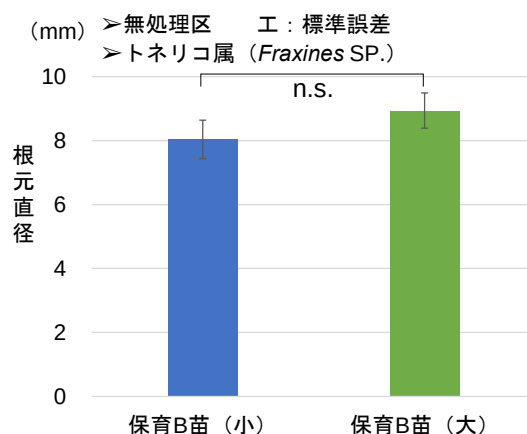


図 5-21 根本直径の比較(2021 年 11 月 5 日)(保育ブロックの大きさによる比較)

(3) 保育ブロック苗の根の伸長に対する効果

掘り取った各苗木の根系写真及び深さ別の根の乾燥重量を図 5-22 に示す。植栽 2 年後の根の到達深度では、両苗に有意な差はみられなかったが、根の乾燥重量では、保育ブロック苗の側面や底面直下を含む深さ 0~40cm の範囲において、保育ブロック苗(大)の値が有意に大きかった(Welch's t-test ($p < 0.05$))。写真からもみられるように、保育ブロック苗(小)と比較して保育ブロック苗(大)の根が太く、保育ブロックの体積及び底面積が大きい方が、根系の発達に優位に働くことが示唆された。

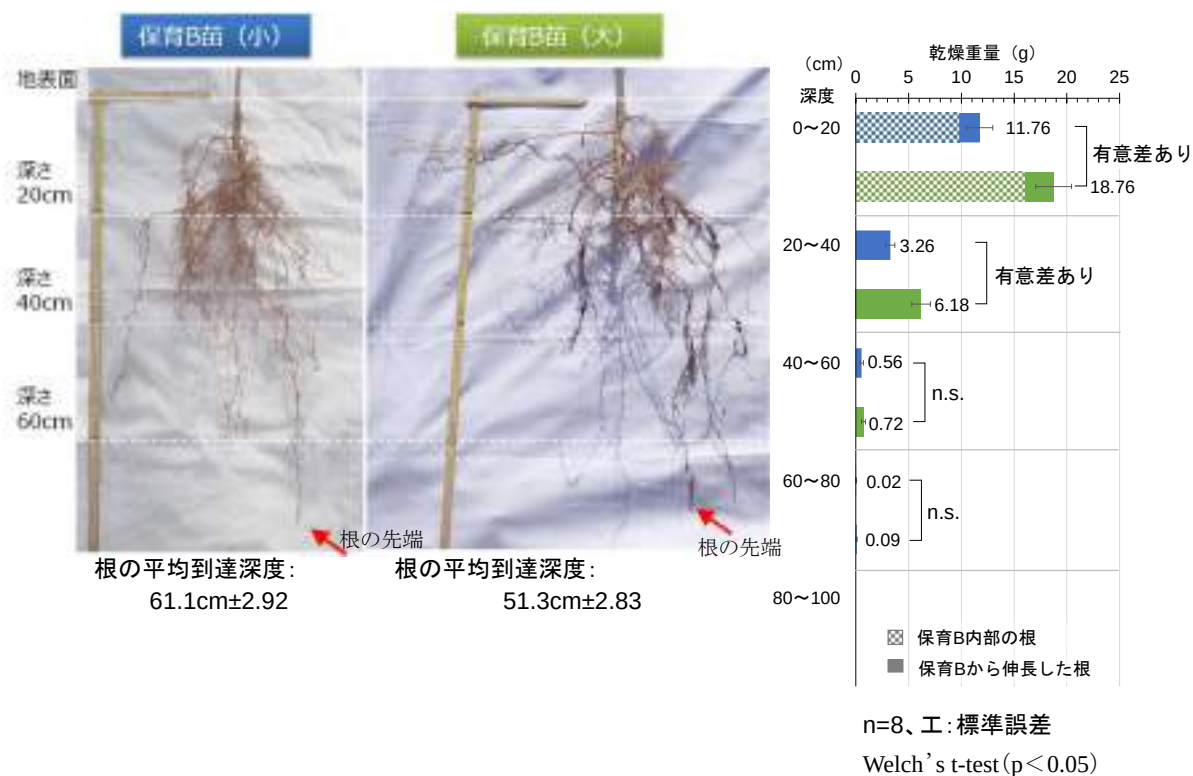


図 5-22 根系写真及び深さ別の根の乾燥重量(保育ブロックの大きさによる比較)

(4) 植栽試験 2:異なる大きさの保育ブロック苗の比較から示唆されたこと

本植栽試験では、保育ブロックの体積及び底面積が大きい方が、根系の発達に優位に働くことが示唆された。また、生残率も保育ブロック苗(大)は 100%と、保育ブロック苗(小)の 90%と比較して高い値を示しており、根系発達の差が生残率の差につながった可能性もある。

また、ワグネルポットに砂を詰めて、そこに保育ブロックを埋設した既往試験では、保育ブロック下部に長期間水分が保持されることが確認されている⁵⁾。これは、土壌深層の水分が表層に移動する際に、土壌の物理構造が異なる保育ブロックの下で滞留するためと推測される。このため、保育ブロックの体積よりも底面積の大きさに着目した方が、より効果が高い可能性がある

5.5.3 植栽試験 7:高分子保水材・団粒化剤による土壌改良効果と苗木の生残率及び成長量の比較

(1) 土壌改良の生残率に対する効果

植栽 2 年後の各苗木の生残率を図 5-23 に示す。ポット苗においては、土壌改良による生残率の向上はみられなかった。保育ブロック苗(小)においては、保水剤区、団粒化剤区、混合区ともに土壌改良を行うことで生残率が高くなる傾向はみられたものの、無処理区の生残率も 90.0%と高く、明らかな差はみられなかった。

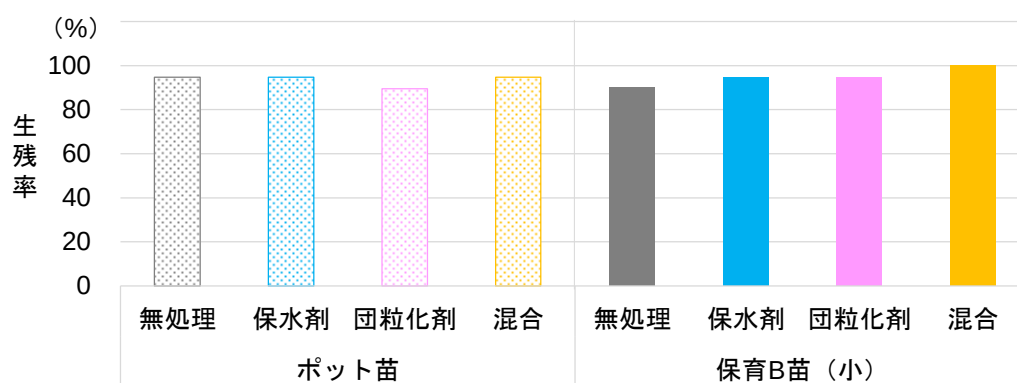


図 5-23 生残率の比較(2021 年 11 月 5 日)(土壌改良による比較)

(2) 土壌改良の樹高成長に対する効果

植栽 2 年後までの各苗木の樹高の増加量を図 5-24 に、2021 年 11 月 5 日における各苗木の根元直径を図 5-25 に示す。ポット苗、保育ブロック苗(小)ともに土壌改良による樹高や根元直径の増加はみられなかった。

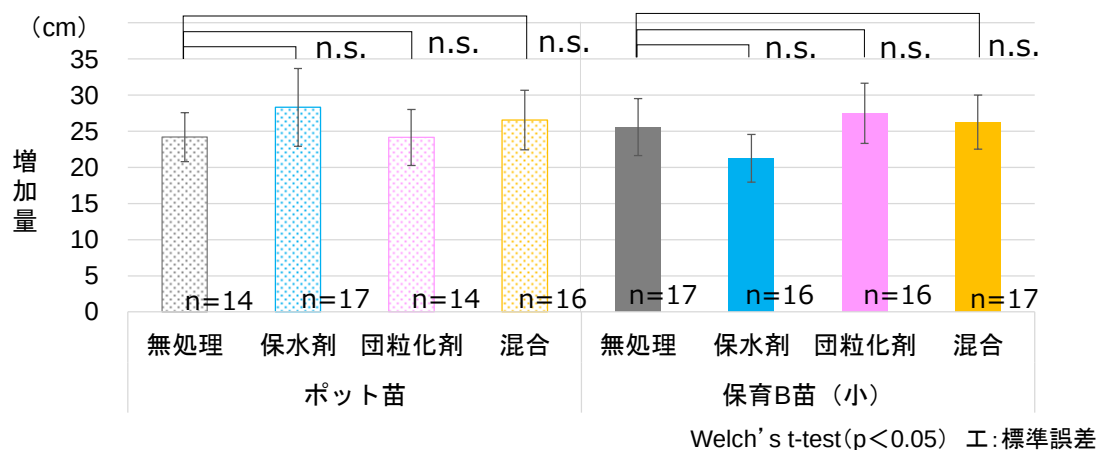


図 5-24 樹高の平均伸長量(土壌改良による比較)

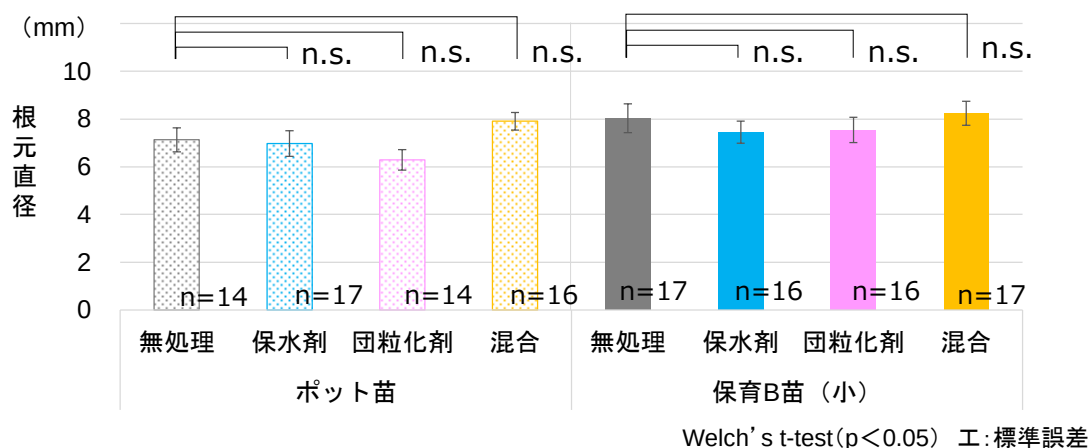


図 5-25 根元直径の比較(2021 年 11 月 5 日)(土壌改良による比較)

(3) 土壌改良の根系発達に関する効果

掘り取った各苗木の根系写真を図 5-27 に、深さ別の根の乾燥重量を図 5-26 に示す。

保育ブロック苗(小)の土壌改良区では、根の到達深度、深さ別の根の乾燥重量ともに無処理区と比較して有意な差はみられなかった。ただし、現場における掘り取り調査時の目視観察では、保水剤区の根の伸長が良好に感じられ、唯一 80cm 以深まで根が伸長する個体も確認された。今後、土壌へ高分子保水材及び団粒化剤の添加量等を検討することで、保育ブロック苗の根をより早く地中深くまで伸長させられる可能性がある。団粒化剤区は土を泥状にして施工したため、山中式土壌硬度計で 30mm 以上まで硬くなっており、根の伸長を阻害している可能性が示唆された。なお、ポット苗については掘り取り数が 1 個体のみのため参考値である。

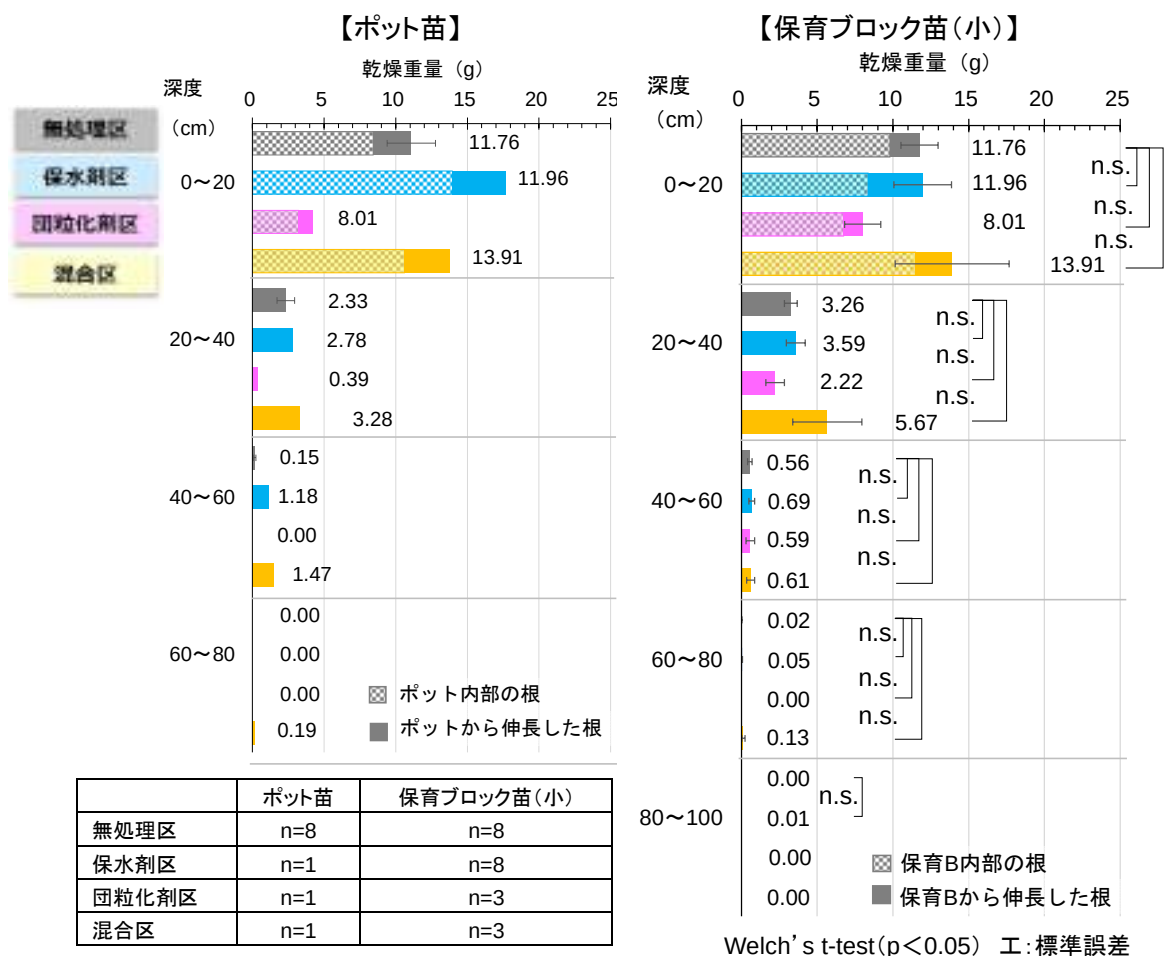


図 5-26 深さ別の根の乾燥重量(土壌改良による比較)

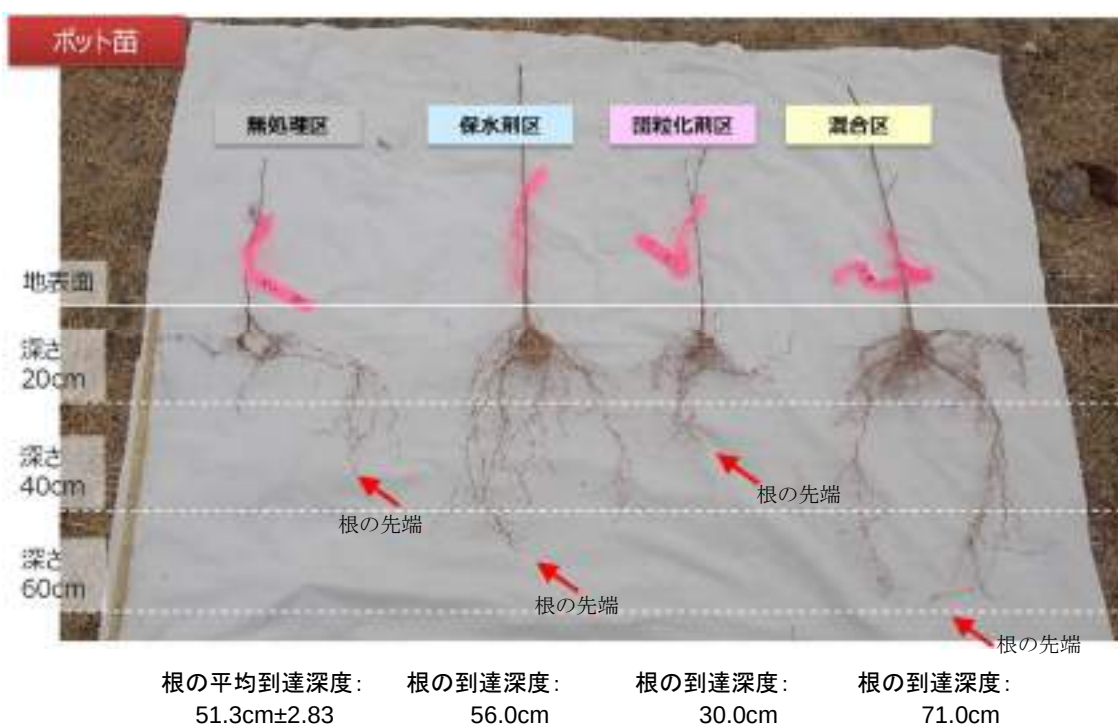


図 5-27 根系写真(土壌改良による比較)

(4) 植栽試験 7: 高分子保水材・団粒化剤による土壌改良効果と苗木の生残率及び成長量の比較で示唆されたこと

本植栽試験では、土壌改良により、苗木の生残率や成長量が向上する結果は得られなかった。また、土壌改良により、根系発達が有意に促進されることも確認できなかった。しかし、現場における掘り取り調査時の目視観察では、保水剤区における根の伸長が良好に感じられ、唯一 80cm 以上深まで根が伸長する個体も確認された。今後、土壌への高分子保水材及び団粒化剤の添加量等を検討することで、保育ブロック苗の根をより早く地中深くまで伸長させることができる可能性もある。

5.6 沖積草原土でのモニタリング

2018 年 10 月に沖積草原土に植栽した苗木について、2021 年 11 月 8～11 日にモニタリングを行った。植栽木の中には樹高 4m 程度まで成長している個体も存在し、周辺の植栽木を被圧している様子も観察された。このため、本年度の成果報告には含めなかった。



写真 5-4 大学構内試験地の苗木の様子(ヌクス:沖積草原土)

植栽約 3 年後の 2021 年 11 月に、ポット苗、保育ブロック苗(小)、保育ブロック苗(大)の根系を各々 2 個体ずつ観察した。ポット苗にはルーピングが観察されたが、いずれの苗も根が 100cm 以上に到達していた。保育ブロック苗(小)及び(大)には、直根が確認され、60～100cm 以上に根が到達していることを確認した。(60cm 以上、70cm 以上とした個体は根系が観察断面の奥側に入り込んだものであり、それ以上に伸長していた)。調査後、試験地のカラカルパクスタン農業技術大学構内では、樹木を伐採(一部除根)し、整地をして返還した。



写真 5-5 整地前後の大学構内試験地(ヌクス:沖積草原土 2021 年 11 月 9 日)

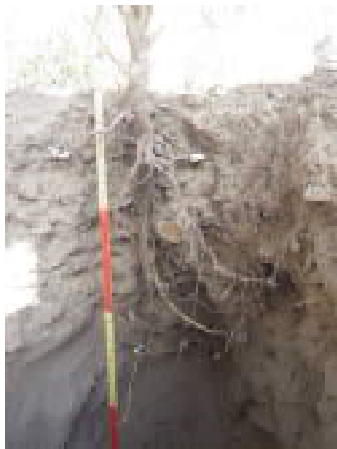
沖積草原土 2021 年 11 月) 植栽3年後		
 ポット苗 (B 区画 NO.21) 根の到達深度 100cm 以上	 保育ブロック苗(小) (B 区画 NO.17) 根の到達深度 100cm 以上	 保育ブロック苗(大) (A 区画 NO.16) 根の到達深度 60cm 以上
 ポット苗 (A 区画 NO.6) 根の到達深度 100cm 以上	 保育ブロック苗(小) (A 区画 NO.2) 根の到達深度 100cm 以上	 保育ブロック苗(大) (B 区画 NO.6) 根の到達深度 70cm 以上

写真 5-6 各苗木の根系(ヌクス:沖積草原土,2021 年 11 月)

5.7 当該技術の普及に向けたコスト試算

2019 年 1 月 5 日にタシケント林業科学研究所への聞き取り調査を行い、従来植林に使用される大苗の育苗手順に関して情報を収集した。また、2020 年 12 月にウズベキスタン林業委員会へ聞き取り調査を行い、よりポット苗の販売価格等について情報を入手した。またその後、2021 年 11 月 11 日にウズベキスタン林業委員会へも聞き取り調査を行い、大苗の補植状況について確認した。大苗の育苗手順を図 5-28 に、聞き取り調査結果を基にした作業人工数を図 5-29 に、そして、育苗・植栽コストの比較を表 5-12 に示す。

従来型の大苗の育苗においては、苗畑での除草作業に多くに人件費がかかっており、育苗に係る費用だけで約 684 円／本となり、植え付けまでにかかる費用は約 719 円／本と試算された。また、大苗の活着率は 10～30%であるため、補植を約 5 年間繰り返すことから、1 度目の植え付け後も約 500～1500 円／本の費用がかかり、総費用は 1,219～2,219 円／本(平均約 1,720 円／本)の

試算となった。

保育ブロック苗では、植栽時の樹高が低いため、植栽後の除草や灌水作業に約 153 円／本の費用が掛かることが予想されたが、植栽にかかる総費用は約 335 円／本と、大苗（補植なし）と比較して 1 本あたり 380 円以上安い試算となった。

ポット苗は販売価格以外の詳細は不明であるが、本業務における作業手順を基に試算すると育苗に係るコストは約 97 円／本と保育ブロック苗と比較して 1 本あたり約 50 円安い試算となった。ポット苗の販売価格は 60～100 円前後と聞き取っており、この 97 円／本は概ね妥当な金額であると考えられる。なおポット苗は、苗木の単価としては保育ブロック苗よりも安く、価格面で優位であるが、ウズベキスタン国内では観賞用の植物や、造園、アーモンド・ピスタチオの栽培等管理された場所で使用され、造林では大苗の使用が一般的である。

大苗は、家畜等の食害や虫害の対策として用いられているため、単純なコストの比較はできないが、試算の結果、保育ブロック苗は育苗・植え付けコストが安く、大苗と比較し造林コストを 5 割前後削減できる可能性が示唆された。また、急峻な山地での植林では、保育ブロック苗の利用による運搬コストの削減も期待される。

なお、ウズベキスタンでは樹高 2.5～3m 以上、本数 500 本/ha になると「森林」として国に登録される（2022 年 1 月林業科学研究所聞き取り）。保育ブロック苗の成長は、植栽した場所の気象及び土壌条件に左右されるため、2.5m 以上になるまで数年以上かかる可能性があることも考慮する必要がある。



図 5-28 大苗の育苗・植栽手順と概要



図 5-29 聞き取り結果等を基にした作業人工

表 5-12 育苗・植栽コストの比較

	ポット苗	従来の大苗	保育ブロック苗
	—	200 m ² に播種 得苗数 2,000 本と仮定	3,000 個に播種 得苗数 1,500 個と仮定
育苗に係る費用	60～100 円/本 (販売価格)	684.4 円/本 ・地拵え: 230 円/200m ² ・播種 : 2,300 円/200m ² ・床替え: 46,000 円/0.2ha ・間引き: 23,000 円/0.2ha ・灌水 : 193,200 円/0.2ha ・除草・剪定: 1,104,000 円/0.2ha ※市場価格: 720 円～2,185 円	151.1 円/本 ・資材費: 15,000 円/3,000 個 ・保育ブロック作製: 57,500 円/3,000 個 ・播種 : 23,000 円/3,000 個 ・苗床への配置: 23,000 円/3,000 個 ・除草・間引き: 25,300 円/3,000 個 ・灌水 : 82,800 円/3,000 個
運搬に係る人件費	聞き取り調査では判明しなかった		
植栽に係る人件費	30.7 円/本	34.5 円/本	30.7 円/本
灌水 (植栽後) に 係る人件費	92.0 円/本 (6 回/3 年を想定)	—	92.0 円/本 (6 回/3 年を想定)
除草 (植栽後) に 係る人件費	61.3 円/本 (6 回/3 年を想定)	—	61.3 円/本 (6 回/3 年を想定)
補植	—	約 500～1,500 円/本	—
計	281.4 円/本	718.9 円/本 (補植なし) 1,218.9～2,218.9 円/本 (補植あり)	335.1 円/本

※本事業における実作業や、タシケント林業科学研究所から聞き取った結果を基に算出したコスト。

今後も精査が必要である。

※ポット苗の価格は、2020 年 12 月にメールにてウズベキスタン林業委員会より聞き取った。

※1ドル=115 円で換算 ※日雇い労働者賃金: 20ドル/日を基本とした。

※地拵えに使用するトラクターや保育ブロックの作成に必要な保育ブロック作成器の費用は除いている。

※シャベルやバケツ、ホース等の汎用的な資材、植栽後の柵の設置費用についても除いている。

※ポット苗は価格のみの聞き取りのため、植栽や植栽後の管理に係る費用は保育ブロック苗と同じとした。

5.8 試験対象国における技術普及説明会

本年度は、新型コロナウイルス感染拡大の影響を受けたため説明会等は開催せず、カラカルパクスタン農業技術大学の発表会にて、ウズベキスタン関係者と連名で報告文書を発表した。

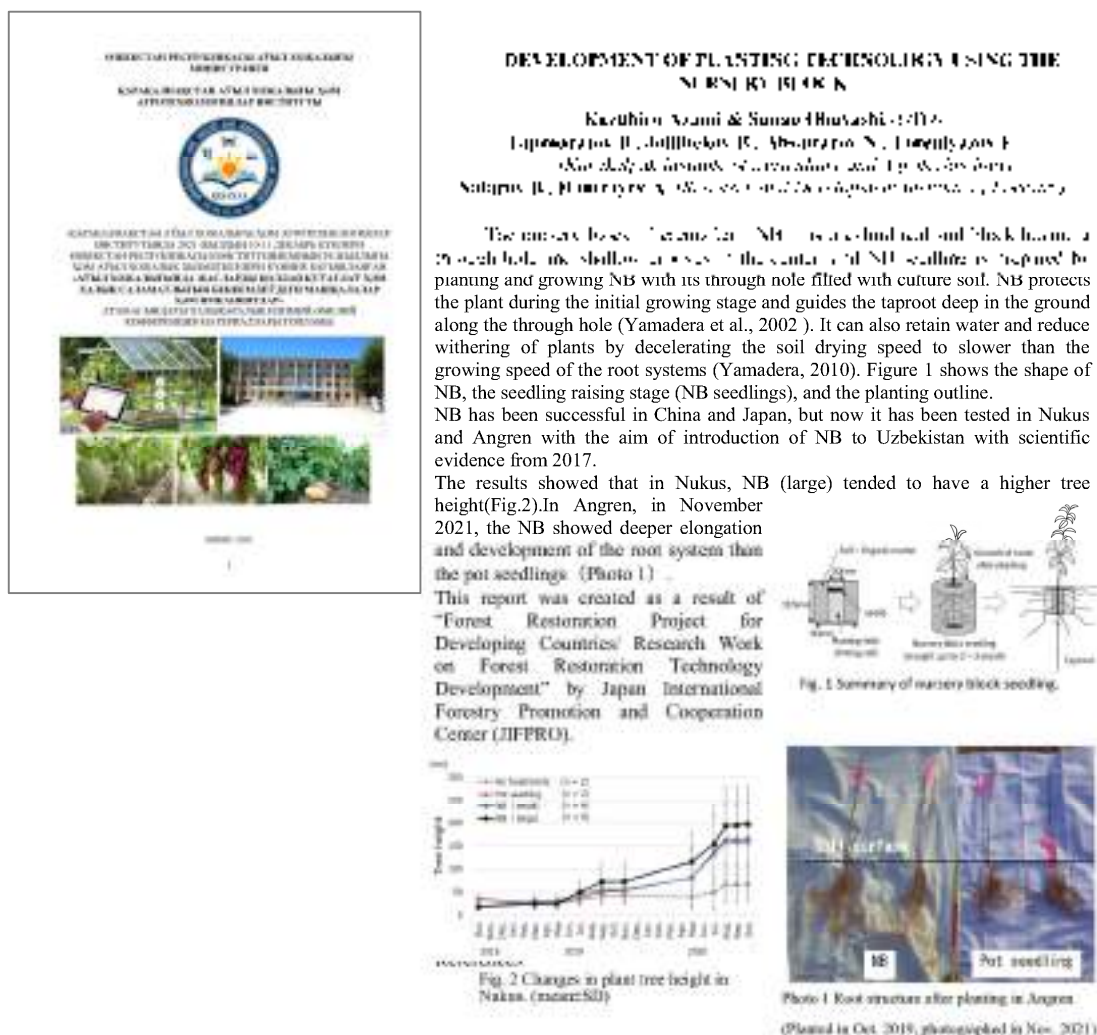


図 5-30 2021 年 12 月 1 日カラカルパクスタン農業技術大学での発表

5.9 実証試験の総括と今後の展開

5.9.1 実証試験の総括

中央アジアに位置するウズベキスタンでは、冬に雨や雪が降り、夏はほぼ雨が降らない。気温が上昇する 5~6 月になると水分は蒸発し、土壌表層は乾燥する。このため、緑化では、乾燥しやすい土壌表層より、水分条件の良い地中深くまで苗木の根を伸ばすことが重要と考えられる。本実証試験では、こうした背景から、従来使用される苗木に替わり、「保育ブロック苗」を用いて、ウズベキスタンの「砂質砂漠土」、「沖積草原土」、「灰色砂漠土」の 3 つの異なる環境条件下で植栽試験を行い、その生残率や生育状況、コストについて検討した。

【試験結果全体】

3つの環境条件のうち、沖積草原土では約30%、灰色砂漠土では90%以上が活着し、夏に降雨のないウズベキスタンでも保育ブロック苗が活用できることが確認された。一方、砂質砂漠土では植栽後1年ではほぼ全個体が枯死し、保育ブロック苗を用いても活着は困難との結果となった。

砂質砂漠土

従来は、Saxaul (*Haloxylon ammodendron*) を主体とした植栽を行っていたが、経済的価値の高い樹種の育成が期待され、ヤナギバグミ (*Elaeagnus angustifolia*) の保育ブロック苗を植栽試験に用いた。しかし、ほぼ全個体が枯死する結果となった。なお、長い間生残していた個体ほど根が地中深くまで伸長しており、根の伸長が生残率の向上につながることを示唆された。

沖積草原土

沖積草原土では、水路からの用水を用いて、周辺の街路樹等に、通常年間20回以上灌水している。保育ブロック苗には、灌水量・頻度の削減が期待され、ヤナギバグミの保育ブロック苗とポット苗を植栽した。その結果、2年後の生残率は両苗ともに30%程度であり、保育ブロック苗による生残率の向上はみられなかった。一方、データ数は少ないものの、保育ブロック苗の方が樹高の伸長はよい結果が得られた。

灰色砂漠土

降水量がやや多い山地においては、以前、樹林であった場所を再生することを目的に、大苗を用いた緑化が行われている。大苗は活着率が低いことに加えて、運搬コストがかかり、保育ブロック苗には生残率の向上及びコストの削減が期待された。そこで、保育ブロック苗と比較するために、従来工法である大苗の代替としてポット苗を用いて、トネリコ属 (*Fraxines* sp.) を植栽する試験を実施した。その結果、ポット苗と比べ保育ブロック苗の根が地中深くまで伸長しており、今後に期待できる結果が得られた。



図 5-31 ウズベキスタンでの3つの環境条件における結果概要

【コスト】

保育ブロック苗の植栽コストは、大苗の植栽と比較して、380 円以上安くなると試算された。一方で、ポット苗と比較すると約 50 円高くなると試算された。

○普及

本試験は、ウズベキスタン国家林業委員会林業科学研究所、カラカルパクスタン林業局、カラカルパクスタン農業技術大学の協力のもと実施した。5 ヶ年の活動を通じて、講演、現地説明会、共同作業(保育ブロック苗づくり、植栽、モニタリング)、外部発表、マニュアルづくり(林業科学研究所の HP 掲載)などの活動を行った。試験全般を通じて協力を頂いた林業科学研究所からは、2022 年 1 月段階で以下の意見をいただいている。

- 大苗の育苗コストについては、応用地質(株)が算出した大苗の 17 ドルは妥当な金額である。樹種によっては安くて 5 ドル、高くて 50 ドルになるものもあると認識している。育苗コストが低いことは保育ブロック苗の魅力である。
- ウズベキスタンにおいても、保育ブロック苗をテーマに研究を始めている。
- 保育ブロック苗をジザック州で施工してみたい。ここで成果が出れば、ウズベキスタン国内における(裸苗、大苗、ポット苗に続く)第 4 の苗木になれる可能性がある。
- 応用地質(株)の考え同様に、保育ブロック苗だけで砂質砂漠土での活用は難しいと考えており、荒廃山地等の灰色砂漠土での活用を考えている。

5.9.2 今後の展望

○他地域への適用可能性と課題

保育ブロック苗は、早期に水分条件の良い地中深くまで根を伸ばす技術である。このため、降水量の少ない地域でも適用できる緑化技術と考えている。本実証試験においても、年降水量約 100mm のヌクス(沖積草原土)において、植栽後 3 年で平均樹高 2.5m まで育てることができた。また、これまでの植栽事例においても、春季～夏季に降雨のある独貴特拉(中国・内モンゴル自治区)では、年降水量が約 260mm の中、植栽 1 年後に約 80%の生残率が得られている。

一方で、植栽直後に厳しい乾燥に晒されれば、根を伸ばすことができずヌクス(砂質砂漠土)での試験結果のように枯死してしまうことも判明した。本事業の対象地としたウズベキスタンのように夏季に降水のない地域では、植栽直後の灌水管理の拡充や、マルチング、高分子保水材・団粒化剤を使用した土壌改良との併用等も検討したうえで、保育ブロック苗を導入していくことが必要であると考えられた。

表 5-13 他国及び他地域における保育ブロック苗を用いた実証試験との比較

植栽環境	試験地	月平均 (℃)		年降水量 (mm)	降雨型	年間水分 欠乏量 (mm)	乾燥度 指数	樹種	生残率 (約1年後)
		最高気温	最低気温						
荒廃山地	百花山 (北京)	27.5	-13.3	512	冬乾燥 夏雨	-518.0	0.51	<i>Prunus sibirica</i> ヤマアズミ	80%以上
	アングレン	32.8	-4.4	560	夏乾燥 冬雨	-764.8	0.47	<i>Fraxines</i> sp. トネリコ属	94.7%
荒廃地	東ウジムチン (内モンゴル)	29.1	-26.7	231	冬乾燥 夏雨	-704.5	0.25	<i>Ulmus pumila</i> ニレ <i>Prunus sibirica</i> 山杏	97.8% 34.6%
砂質砂漠土	独貴特ラ (内モンゴル)	31.8	-17.1	262	冬乾燥 夏雨	-876.2	0.23	<i>Lycium</i> sp. クコ	約80%
	ヌクス	36.7	-8.1	117	夏乾燥 冬雨	-1135.2	0.09	<i>Elaeagnus angustifolia</i> ヤナギバグミ	約2% (砂質砂漠土) 45% (沖積草原土)

※気象データは基本として、世界の天候データツール(気象庁)を参照した

※乾燥度指数に使用した蒸発散量は概算のため、乾燥度指数を気候区分には当てはめていない

○ウズベキスタン国家林業委員会とともに

令和 3 年度の時点で、ウズベキスタンの国家林業委員会と共同で、ウズベキスタン国内において保育ブロック苗の特許を申請しており、保育ブロック量産機の開発も行っている。植林コストの低減、及び労力の低減につながる保育ブロック苗の普及を通して、国家林業委員会とともに、ウズベキスタン国内の緑化に少しでも貢献できればと考えている。

5.10 成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況

本事業において、2021 年 12 月 17 日に開催された公開セミナー「厳しい環境下での植林技術の開発:カーボンニュートラルに向けた 5 年間の取り組み」にて成果を公表した。



図 5-32 公開セミナー発表スライド(抜粋)

5.11 参考文献

- 1) 山寺喜成 (2010) 自然環境再生の緑化技術, 社団法人日本砕石協会
 - 2) 山寺喜成, 楊喜田, 宮崎敏孝 (2002) 播種用生育基盤に関する研究 (I) - 保育ブロックの開発意図 -, 日本緑化工学会誌, 28(1), 197-200
 - 3) 山寺喜成, 有限会社岐阜応用資材, 保育ブロックを使用した緑化方法, 特許第 4660635 (登録日 2011 年 1 月 14 日)
 - 4) 浅見、大林、齋藤 (2018) 乾燥地における保育ブロック工法の適用: 早く、深く、根系を伸ばす節水型の緑, 海外の森林と林業, 103(0), 9-14
 - 5) 西川美智子, 山寺喜成, 宮崎敏孝 (2004) 保育ブロックを用いた乾燥地への木本植物導入に関する研究, 日本緑化工学会誌, 30(1), 328-331
 - 6) State of the World's Forest 2009 (2009) FAO
 - 7) G. Gintzburger, K. N. Toderich, B. K. Mardonov, M. M. Mahmudov (2003) Rangelands of the arid and semi-arid zones in Uzbekistan
 - 8) Hannelore Bendsen and Shakhnoza Atodjonova (2015) Flora and Fauna of Khorezm and Karakalpakstan
 - 9) P. Rengasamy (2016) Salt-affected soils in Australia
 - 10) 日本緑化センター (2013) 植栽基盤整備技術マニュアル
 - 11) 日本ペドロロジー学会編 (1997) 土壌調査ハンドブック, 博友社
- 環境省 砂漠化する地球 - その現状と日本の役割 -. 環境省ホームページ
https://www.env.go.jp/nature/shinrin/sabaku/index_1_2.html

6 Biochar を利用した土壌改良及び造林技術の開発

6.1 実証する森林再生技術の整理・分析

(1) 対象地における森林再生にあたっての制限要因

コンゴ人民共和国(以下、コンゴ民)のサバンナ地域では、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、森林減少・劣化の大きな要因となっている(Behrendt *et al.*, 2013, Tyukavina *et al.*, 2018)。またこれらの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、ある程度の休耕期間においても天然更新では森林が再生せず、草地のまま耕作放棄地となっている場所が多く見られる(久馬ら, 2001)。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、森林再生にあたっての自然的制限要因は、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。

上記の土壌条件に加えて、年間を通した降雨パターンも森林再生の制限要因となっている可能性がある。コンゴ民のサバンナ地域では冬季(特に 6~9 月)に、4~5 ヶ月間に渡る乾期が存在し、このような長期に渡る乾期の存在が植物への乾燥ストレスを増大させていると考えられる。

これらのことから、大きく分けて(1)貧栄養で保肥力も低い土壌条件、(2)低い土壌保水力と乾期の存在による乾燥ストレス、といった 2 つの条件が自然的制限要因であると考えられる。

(2) 実証試験が必要な理由

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と考えられている(UNPD, 2019)。現在、アフリカ大陸では、2010~2015 年の間に焼畑や燃料用木材の採取により 2.8 百万 ha/年もの森林が失われており(FAO, 2016)、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状況にある。

今後の森林減少を抑制しつつ、人口増加に耐える食料、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、放棄された荒廃地を再生し、アグロフォレストリー等により農林業を組み合わせ持続的に利用していく必要がある。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、地域のニーズに合った在来樹種の植林を可能とする技術の開発が必要である。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ことにした。

一方、現地の植林局は過去の試験結果から、「在来樹種はある程度粘土を含んだ土壌でなければうまく育たない」と認識しており、砂質土壌の地域への在来樹種の植栽には懐疑的な姿勢を示している(環境省 植林・園芸局, 2019)。そのため、本実証試験において砂質土壌への在来樹種植栽技術を開発・実証しなければ、当面の間、コンゴ民サバンナ地域における在来樹種植栽の技術は開発されないものと推測される。

上記の通り、荒廃したサバンナ地域への在来樹種植林技術の開発は、世界レベルでも地域レベルでも社会的ニーズが高い一方で、現地行政の認識等の問題により、解決に向けた活動が実施されていない状況にある。そのため、本実証試験によって在来樹種の植林を可能とする技術を開発

開発し、普及啓発を図ることの重要性・必要性は高いと考えられる。

(3) 提案する技術の特徴と期待される効果

提案する技術に期待される効果は、土壌の水分や栄養塩の保持能力をバイオチャーという難分解性の資材により向上させることである(図 6-1)。従来型の焼き畑や緑肥による土壌改良は、供給された栄養塩が土壌の低い栄養塩保持能力のために流出しやすかったり、供給された有機物も高い気温により分解されやすかったりと、効果の持続性に問題があると思われるものであった。それに比べて、バイオチャーは土壌中で分解し辛いため、より長期的な土壌改良効果を見込むことができる(Hunt *et al.*, 2010)。

本提案技術の主効果は、現地で植林の主要な制限要因となっている乾燥、貧栄養という環境条件を長期的に改善し、これにより現地で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ことである。また副次的効果として、残存林の保全による森林減少の抑制、農業生産への波及等を見込むことができる。

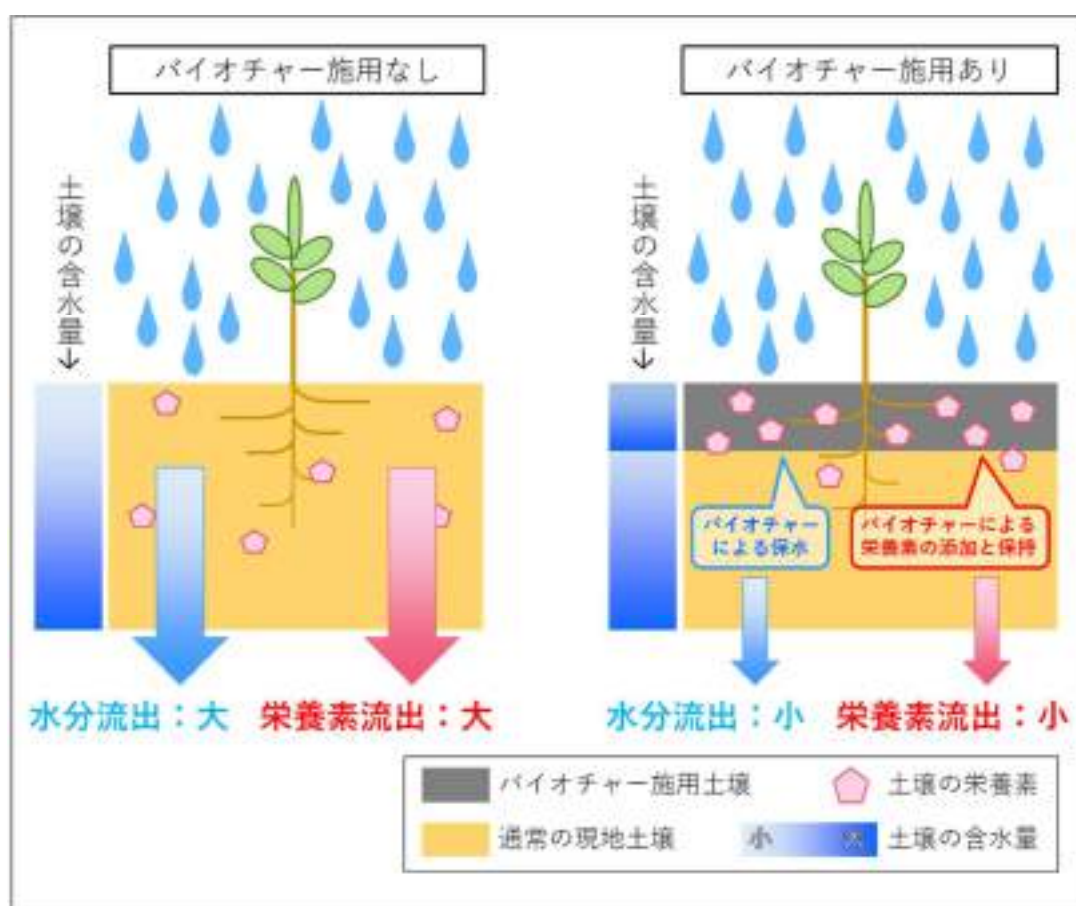


図 6-1 バイオチャー施用試験の仮説

6.2 本試験の目的

本試験は、荒廃の進むサバンナ地域を対象としてバイオチャーを利用した土壌改良を行い、アグロフォレストリーを行うことで森林を再生、保全するための技術を開発する。バイオチャーは日本をはじめ世界各地で土壌改良材として用いられており、酸性土壌の矯正や土壌の栄養塩保持能力の向上、保水力の向上等を期待することができる (Glaser *et al.*, 2002)。また、VA 菌根菌や根粒菌といった有用微生物の増殖への効果も報告されており (Ogawa & Okimori, 2010)、これらのことからバイオチャーの施用によって、低い土壌保水力 (乾燥) 及び土壌保肥力という現地における自然的制限要因の大部分が改善可能と期待される。

そこで本試験では、現地での植栽試験によってバイオチャーの施用による土壌改良が、アグロフォレストリーの農林業生産に及ぼす効果を検証する。また、バイオチャーは原料、焼き加減によって性質が異なることが知られているため (e.g. Kameyama *et al.*, 2017)、室内試験により数種の原料、焼き加減のバイオチャーについてその性質を分析・比較し、土壌改良材としての有用性を検討する。

本試験は、植栽試験①～②、土壌分析、保水性試験①～②、化学性分析①～②で構成され、それぞれの目的は、表 6-1 のとおりである。

表 6-1 バイオチャーによる土壌改良技術開発のための各試験の目的

	目的	詳細記載
植栽試験①	バイオチャー (炭) の施用により、植栽木の活着率や成長速度が高まるか、また農業生産 (キャッサバの収穫量) が向上するかを検証する。	R1 報告書
		R2 報告書
		本報告書
植栽試験②	半炭の施用により、植栽木の活着率や成長速度が高まるかを検証する。	本報告書
土壌分析	バイオチャーの施用による土壌改良を試みるにあたり、元々の土壌の性質を明らかにする。	R1 報告書
保水性試験①	バイオチャーの原料、炭化条件 (温度) による土壌保水性への効果の違いを試験し、現地の主要な自然的制限要因の一つと考えられる土壌の保水力の低さを補うという観点から、各バイオチャーの土壌改良材としての有用性について検討する。	R2 報告書
保水性試験②		本報告書
化学性分析①	バイオチャーの原料、炭化条件 (温度) による化学性の変化を分析し、現地の主要な自然的制限要因の一つと考えられる、土壌が貧栄養かつ保肥力が低いという性質を補うという観点から、各バイオチャーの土壌改良材としての有用性について検討する。	R2 報告書
化学性分析②		本報告書

6.3 試験地の概況

6.3.1 試験地の位置

試験地はコンゴ民国、キンシャサ州、マルク・コミュニケーション、ンバンカナ・カルティエ、バテケ高原の

イビ村(図 6-2)に設置した。イビ村は、首都キンシャサから東に約 140 km に位置し、経緯度は、南緯 4 度 22 分 32 秒、東経 16 度 8 分 1 秒、標高は約 665 m である。



図 6-2 試験地の位置図

6.3.2 試験地の森林概況及び自然植生

本業務の対象国は中央アフリカのコンゴ民主共和国(以下、コンゴ民国)であり、対象地域は同国及び周辺国に幅広く分布するサバンナ地域である(図 6-3)。

周辺の植生は、灌木サバンナ、草本サバンナが混生しているが、試験地の周辺はどちらかといえば草本サバンナ寄り、草地に樹高 2 m 程度の灌木がまばらに生育している。また、自然林は河川の周辺の河畔林のみ、わずかに残されている状況にある(写真 6-1)。

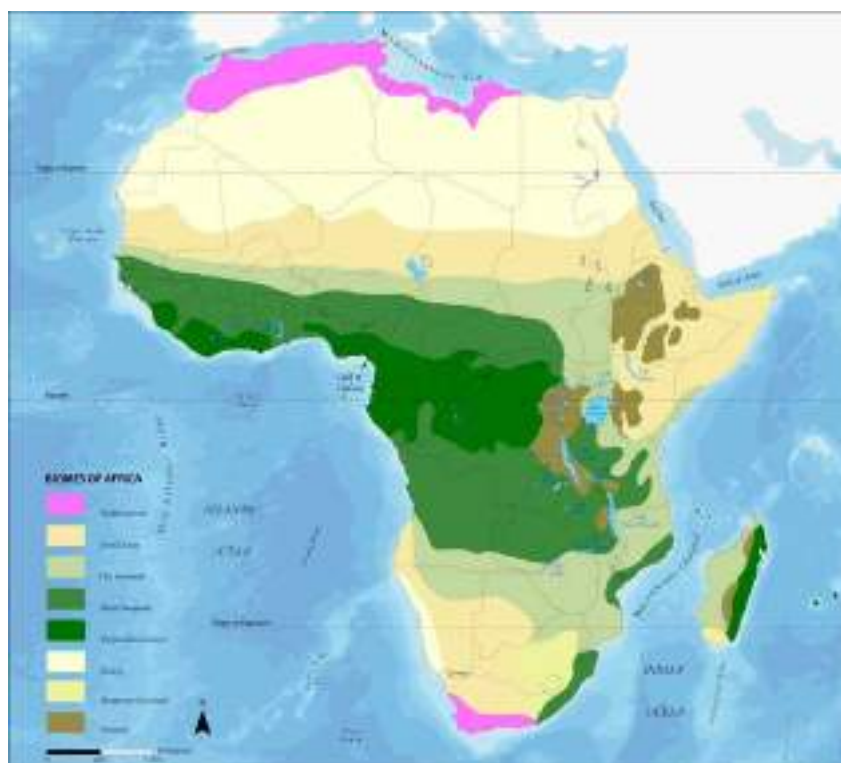


図 6-3 アフリカのバイオーム

(出典:UNEP (2008))



写真 6-1 試験地周辺の植生

6.3.3 試験対象地の気候条件及び土壌条件

(1) 気候条件

試験地は同国及び周辺国に幅広く分布するサバナ気候帯に属する。ケッペンの気候区分によるサバナ気候帯は、アフリカ大陸においては赤道直下を除く北緯 10 度から南緯 10 度までの範囲を中心に広く分布している(図 6-4)。

また、近隣の首都キンシャサの気候は、年平均気温が 24～25℃、年降水量は約 1,500 mm であるが、冬季に 4～5 ヶ月程度の乾期が存在する(図 6-5)。乾期にはほとんど雨が降らないため、この時期の乾燥ストレスがサバンナ地域において植物の生長を制限する大きな要因となっているものと考えられる。

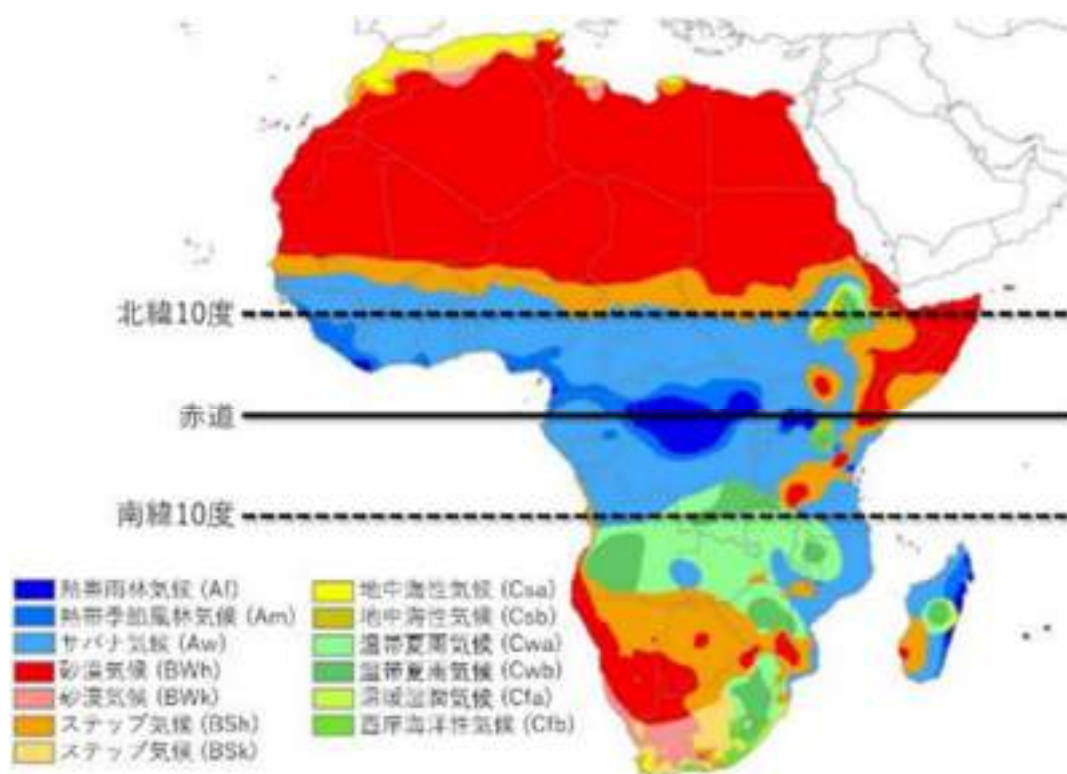


図 6-4 アフリカ大陸におけるサバナ気候の分布

(出典:Peel et al. (2007) より改変)

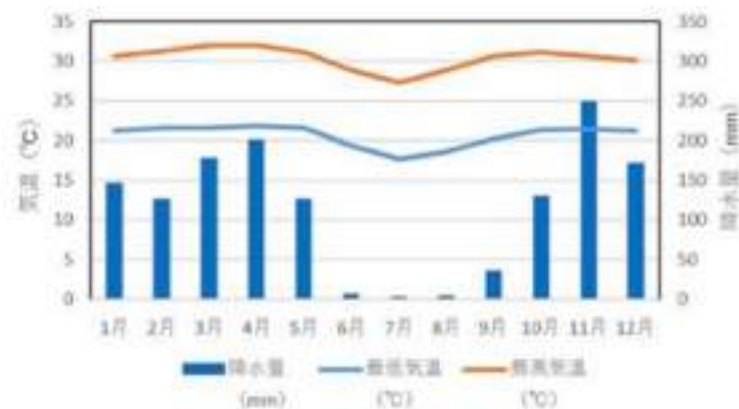


図 6-5 キンシャサの気候

(出典: Climate-Data.org の気象データより作図)

(2) 土壌条件

コンゴ民国及びその周辺のサバンナ地域には、Arenosols、Ferralsolsといった不良土壌が広く分布しており(図 6-6)、試験地を設置した Ibi 村は Arenosols の分布域である。Arenosols は砂質で、高い透水性と、低い水分、栄養塩の保持能力を持つ土壌である(FAO, 2015)。

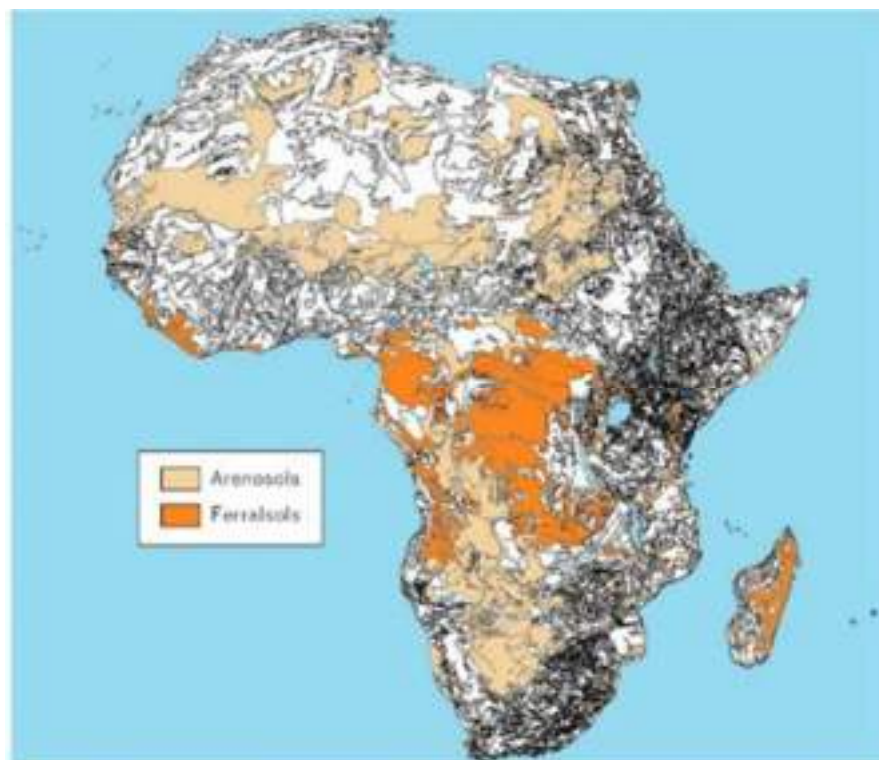


図 6-6 フリカ大陸における Arenosols、Ferralsols の分布図

(出典: Dewitte *et al.* (2013) より改変)

6.3.4 試験対象地の社会経済条件

また、試験地周辺の社会的条件として、イビ村周辺は首都キンシャサの郊外にあたり、イビ村も含めて周辺の地域はキンシャサで販売するための木炭生産が盛んに行われている地域である。そのため、この地域では木炭の原料生産のための *Acacia mangium* の植林が行われており、残存林から伐採される材と同様に、木炭生産に用いられている(写真 6-2)。

一方、より内陸の、近隣に大きな都市のない地域では、他地域への販売のための木炭生産はそれほど盛んではなく、どちらかといえば地産地消型の生産活動が中心となっている。そのため現地における植林ニーズを満たすためには、現地で既に成功事例のある木炭生産のための *Acacia* 植林だけでなく、地産地消型の生産活動に有用な郷土樹種について、植林のための技術を開発する必要がある。



写真 6-2 試験地周辺の *Acacia* 植林地及び炭焼きの様子

6.3.5 対象地における植林方法の現状と課題

現地においては政府、NGO 等により植林が行われているものの、公式に文書化された植林技術ガイドラインは未だ存在しない。植林技術としては、畝立てによる集水技術は知られているようであるが、試験地周辺は砂質土壌(Arenosols)で非常に水はけが良いことから、表層流出水を活用するための集水技術は実施されていない。

また近年は、列状に植えた植栽木の間に農作物を間作する、タウンヤ (Taungya) 法によるアグロフォレストリーの取り組みも試験的に行われている。この方法は、特に造林の初期段階において植栽木の間に農作物を間作することで雑草管理の手間を減らし、短期的な収入にも繋がる利点がある。試験地周辺では、*Acacia mangium* を植栽する際にキャッサバを間作し、1.5～2 年後のキャッサバ収穫以後は、植林地として維持するシステムがとられている。現地における *A. mangium* の植林は通常 10 年未満の伐期であり、*A. mangium* の伐採後は再びキャッサバの間作を行う。言わば移動耕作の休閑期に短伐期のアカシア植林を行っているような形態であるが、この際 *A. mangium* の窒素固定による地力の向上も期待しているとのことである。

現在、植林局を始め、NGO 等の機関でも上記のアグロフォレストリーの取り組みが行われているが、その他にも例えば農業省ではムクナ、ササゲといったマメ科植物を利用した土壌改良を試験しており、移動耕作から定地型農業への転換を図っている (Kwilu 州 農業省, 2017)。このように、土壌条件の改善が農業生産の向上に繋がるという理解は広がっているものの、これまでの所そういった知見を林業生産に応用する試みは行われていない。

植林に関する取り組みでは *A. mangium*、*A. auriculiformis* 等の乾燥、貧栄養、酸性土壌に強い耐性を示す樹種において造林の成功事例が見られるものの、在来樹種を用いた植林は土壌に粘土質を含む地域でしか成功しておらず、砂質土壌における在来樹種の植林技術は確立されていない。

6.4 試験の方法

6.4.1 本試験で工夫した点

焼畑は現地で一般的に用いられている耕作技術であるが、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ものと思われた。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、土壌中での分解が非常に遅いバイオチャーを土壌改良材として利用することとした。

バイオチャーの原料については、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原料とした場合、既存の利用ニーズとの競合が発生するものと考えられた。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する設計とした。

また、原料や炭化の度合いによるバイオチャーの性質の違いにも着目し、様々な原料、炭化度のバイオチャーの物理性、化学性の違いを検証し、現地の土壌改良に適したバイオチャーを検討することとした。

6.4.2 保水性試験②の方法

バイオチャーの施用による土壌物理性 (保水性) の改善効果を評価するために、今年度は特に現地の未利用バイオマスをを用いて、バイオチャーの原料と炭化度の影響を確認するための試験を行った。

本試験に用いる試料として、土壌はコンゴ民から輸入した現地土壌を用いた (表 6-2)。バイオチャーの原料については、現地で未利用バイオマスの調査・収集を行い、日本への輸入に成功したタケ、オイルパームの幹・葉柄、キャッサバの茎、コーンの芯を用いた。

バイオマス試料の炭化にあたっては、マッフル炉を用いて炭化温度をコントロールした製炭については国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所の協力を得て実施し、簡易炭化炉を用いた製炭については、くまの木里山応援団の協力を得て実施した(表 6-3、写真 6-3 エラー! 参照元が見つかりません。)。

木材の炭化は加熱とともに進み、それに伴い原料木材の重量が減少していくが、280～380℃域において急激な重量変化を示す(佐野・本庄, 2011)。この半炭化域で木炭の化学性、物理性は大きく変動するため、炭化温度をコントロールして作成したバイオチャーサンプルについては表 6-3 のとおり、焼成温度の高低により「炭」と「半炭」に分けて試験を行った。

また、本試験では土壌に混合するバイオチャーの粒径を 0.5～1.0 mm に固定し、バイオチャーの混合量は 0%、0.5%、1%、2%、4%、8%の重量比で土壌に混合した。各試料は 50ml 採土円筒に充填して 24 時間吸水させた後、素焼板法による細孔隙量、粗孔隙量の計測を行った。

表 6-2 原料、炭化温度に関する試験に用いた土壌サンプル

No.	名称	仮比重 (g/cm ³)	調整後の粒径 (mm)	備考
1	現地土壌	1.46	< 2.0	・ 植栽試験地周辺の灌木サバンナから採取した土壌 ・ 地表 0～25cm の層から採取 ・ 輸入時にオートクレーブによる滅菌が施されている

表 6-3 原料、炭化温度に関する試験に用いたバイオチャーサンプル

No.	樹種	状態	炭化温度 (°C)	収率 (%)	炭化度 (%)	比重 (g/cm ³)
1	タケ	炭	500	30.7	88.2	0.317
2		半炭	290	62.8	58.6	0.327
3		簡易製炭	不明	27.8	79.8	0.320
4	キャッサバ茎	炭	500	31.7	81.2	0.258
5		半炭	320	44.9	68.5	0.272
6		簡易製炭	不明	29.1	76.2	0.179
7	オイルパーム幹	簡易製炭	不明	24.4	不明	0.200
8	オイルパーム葉柄	簡易製炭	不明	20.9	不明	0.278
9	コーン芯	簡易製炭	不明	26.7	不明	0.238



写真 6-3 バイオチャーの炭化に用いた機器

左:マッフル炉(森林総合研究所)、右:簡易炭化炉(くまの木里山応援団)

6.4.3 化学性分析②の方法

バイオチャーの施用が土壌化学性に及ぼす影響を評価するため、今年度で作成したバイオチャー(表 6-3)について、各 1 サンプルの化学性分析を行った。

分析項目は、全炭素、全窒素、有効態リン酸、交換性カリウム、交換性カルシウム、交換性マグネシウム、陽イオン交換容量(CEC)、陽イオン飽和度、pH(H₂O)の 9 項目である。各項目の分析方法は表 6-4 のとおりである。

表 6-4 化学性の試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法	備考
全炭素	乾式燃焼法	
全窒素	乾式燃焼法	
有効態リン酸(P ₂ O ₅)	トルオーグ法	
陽イオン交換容量(CEC)	セミクロ・ショレンベルガー法	定量下限値:0.20 cmol(+)/kg
交換性カリウム	原子吸光光度法	定量下限値:0.01 cmol(+)/kg
交換性マグネシウム	原子吸光光度法	定量下限値:0.02 cmol(+)/kg
交換性カルシウム	原子吸光光度法	定量下限値:0.40 cmol(+)/kg
陽イオン飽和度	交換性 K,Ca,Mg,Na 及び CEC より計算	
pH(H ₂ O)	ガラス電極法	測定温度:17.8°C

6.4.4 植栽試験①の方法

(1) 試験区的设计

バイオチャーの施用による土壌改良効果を確認し、既存のアカシア植林との比較を行うために、以下の 45 の区画を設けて植栽を行う試験設計とした。バイオチャーの施用は 0 kg/m^2 (コントロール)、 0.5 kg/m^2 、 2.0 kg/m^2 の 3 段階とした。

試験区的设计については、植栽は現地の一般的な植栽間隔である $4\text{m} \times 4\text{m}$ 間隔で行い、各処理のサンプル数は 30 個体 (10 個体 $\times$ 3 反復) とする。また、エッジ効果を避けるために植栽区画の外側にもう 1 列の植栽を行うとともに、その外側には防火帯として植生を刈り取る区画を 10m 幅で設けた。試験区画的设计は図 6-7、植栽木の配置、植栽方法は図 6-8 のとおりとした。

表 6-5 植栽試験的设计

処理タイプ	処理数	備考
バイオチャーの施用	3	多 (2.0kg/m^2)、少 (0.5kg/m^2)、無 (0kg/m^2)
樹種	5	5 種
反復数	3	各処理 3 反復
計	45	バイオチャー $\times$ 種数 $\times$ 反復数

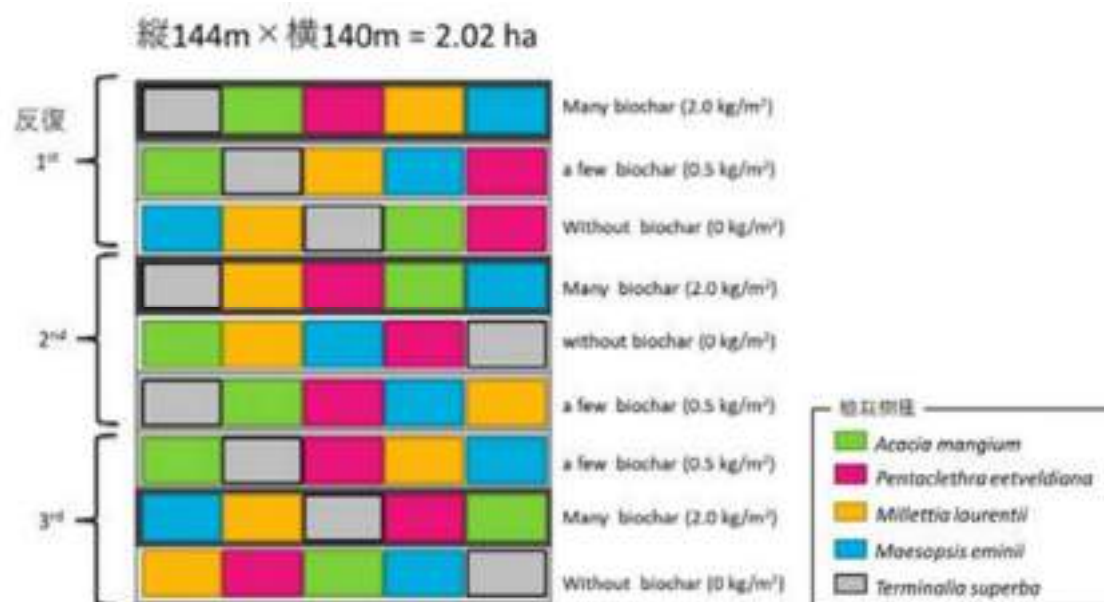


図 6-7 試験区的设计

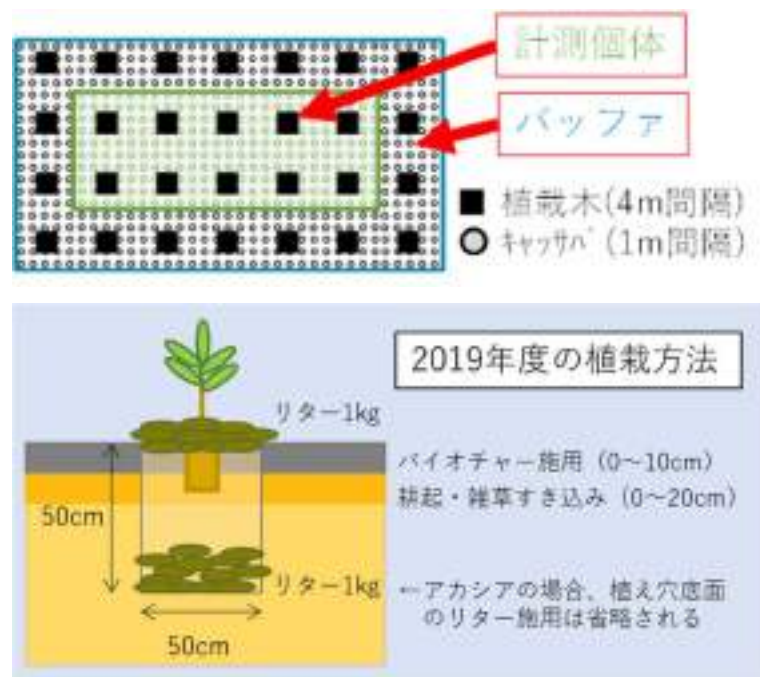


図 6-8 植栽木及びキャッサバの配置と植栽方法(炭の施用位置)

(2) 試験樹種

試験の対象樹種は、現地で利用のニーズがある在来種 4 種と、コントロールとして現地で植林実績のあるアカシア (*A. mangium*) 1 種の計 5 種とした。在来種 4 種は、現地の植林局や NGO へのヒアリング結果等を参考に、以下の点に留意して選定した(環境省 植林・園芸局, 2019、環境省 森林整備インベントリ局, 2019、GI-Agro, 2019、Fern, 2020)。

- ① 現地で利用のニーズがあること
- ② 近隣の残存林で見られる樹種(元々、その地域に自生している樹種)であること
- ③ 先駆的な性質の樹種であること
- ④ 高い成長速度が見込めること
- ⑤ 苗木の入手が容易であること
- ⑥ マメ科(窒素固定を行う樹種)とそれ以外の樹種の両方を選ぶこと

上記の点に留意して検討した結果、本試験では以下、表 6-6～表 6-10 の 5 樹種を用いることとした。

表 6-6 試験対象樹種(1) *Pentaclethra eetveldeana*

種名	<i>Pentaclethra eetveldeana</i>	
科名	マメ科	
分布	在来種	
特徴	・ 成長が速い先駆種 ・ 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 ・ 薪	

表 6-7 試験対象樹種(2) *Millettia laurentii*

種名	<i>Millettia laurentii</i>	
科名	マメ科	
分布	在来種	
特徴	・ 成長が速い先駆種 ・ 窒素固定を行う ・ 熱帯雨林～木本サバンナに分布 ・ 肥沃で、湿った土壌を好む ・ 森林再生に利用される	
用途	・ 高級木材 ・ 食用イモムシ採取	

表 6-8 試験対象樹種(3) *Maesopsis eminii*

種名	<i>Maesopsis eminii</i>	
科名	クロウメモドキ科	
分布	在来種	
特徴	・ 成長が速い先駆種 ・ 森林再生に利用される ・ 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 ・ 食用イモムシ採取	

表 6-9 試験対象樹種(4) *Terminalia superba*

種名	<i>Terminalia superba</i>	
科名	シクンシ科	
分布	在来種	
特徴	・ 成長が速い先駆種 ・ 4 ヶ月の乾期がある地域に分布 ・ 砂質土壌では、長い乾期に対応できない ・ 根は浅い	
用途	・ 家具材 ・ 薪炭材	

表 6-10 試験対象樹種(5) *Acacia mangium*

種名	<i>Acacia mangium</i>	
科名	マメ科	
分布	外来種	
特徴	・ 非常に成長が速い先駆種 ・ 窒素固定を行う ・ 貧栄養土壌、酸性土壌でも育つ ・ 現地において造林の成功事例有り	
用途	・ 薪炭材	

6.4.5 植栽試験②の方法

(1) 試験区の設計

半炭のバイオチャーの施用による土壌改良効果を検証するために、以下の9の区画を設けて植栽を行う試験設計とした(表 6-11)。バイオチャーの施用は 0 kg/m²(コントロール)、炭 2.0 kg/m²、半炭 2.0 kg/m²の3種類とした。

2021 年度で事業が終了することを考慮し、早い段階で植物への効果設計とするため、植え穴及び苗ポットにバイオチャー(炭、半炭)を施用する設計とした。また、半炭を多量に確保することが難しいことから全面施用とはせず、キャッサバの間作は行わず、植栽木への効果のみを観察することとした(図 6-9)。

試験する樹種は、*Maesopsis eminii* とした。選定理由は、①非マメ科のため窒素固定がなく、マメ科と比べると栄養の制限が強く、バイオチャー施用の効果(保水性向上効果、肥料効果、保肥力効果)が他の試験樹種よりも強く反映される可能性があること、②2020年6月時点の成長量(直径、

樹高)は、*Maesopsis eminii*、*Millettia laurentii*、がバイオチャー「無し」と「有り」の成長量に比較的差が表れていること、の2点である。

試験区の配置は、無作為で行った。アカシア炭 2.0kg/m² は試験区 2、3、7、アカシア半炭 2kg/m² は 5、8、9、バイオチャー無 0kg/m² は 1、4、6 とした。(図 6-10)。

植栽間隔は 4m×4m とし、各処理のサンプル数は 30 個体(10 個体×3 反復)とする。また、エッジ効果を避けるために植栽区画の外側にもう 1 列の植栽を行うとともに、その外側には防火帯として植生を刈り取る区画を 10m 幅で設けた。

表 6-11 植栽試験の設計

処理タイプ	処理数	備考
バイオチャーの施用	3	アカシア炭の多(2.0kg/m ²)、アカシア半炭の多(2kg/m ²)、無(0kg/m ²)
樹種	1	1 種(<i>Maesopsis eminii</i>)
反復数	3	各処理 3 反復
計	9	バイオチャー x 種数 x 反復数



図 6-9 植栽木及びキャッサバの配置と植栽方法(炭の施用位置)

1	2	3
4	5	6
7	8	9

無施用 0 kg/m²

半炭 2.0 kg/m²

炭 2.0 kg/m²

図 6-10 試験区の配置

6.5 試験結果

6.5.1 保水性試験②の結果

異なる原料、炭化度のバイオチャーが土壌保水性に及ぼす効果を、図 6-11 に示す。保水力の指標となる細孔隙量(pF1.8~2.7)、粗孔隙孔量(>pF2.7)の変化は、バイオチャーの原料、炭化温度によって異なっていた。細孔隙量は施用量とともに増加し、同じ原料であれば、炭化度の高い試料でより大きく増加した。一方、粗孔隙量については、原料による変化は見られるものの、炭化度や施用量による影響は細孔隙ほど明瞭ではなかった。このことから粗孔隙はバイオチャーの粒子内だけではなく、粒子間の孔隙によっても構成されているものと考えられる。

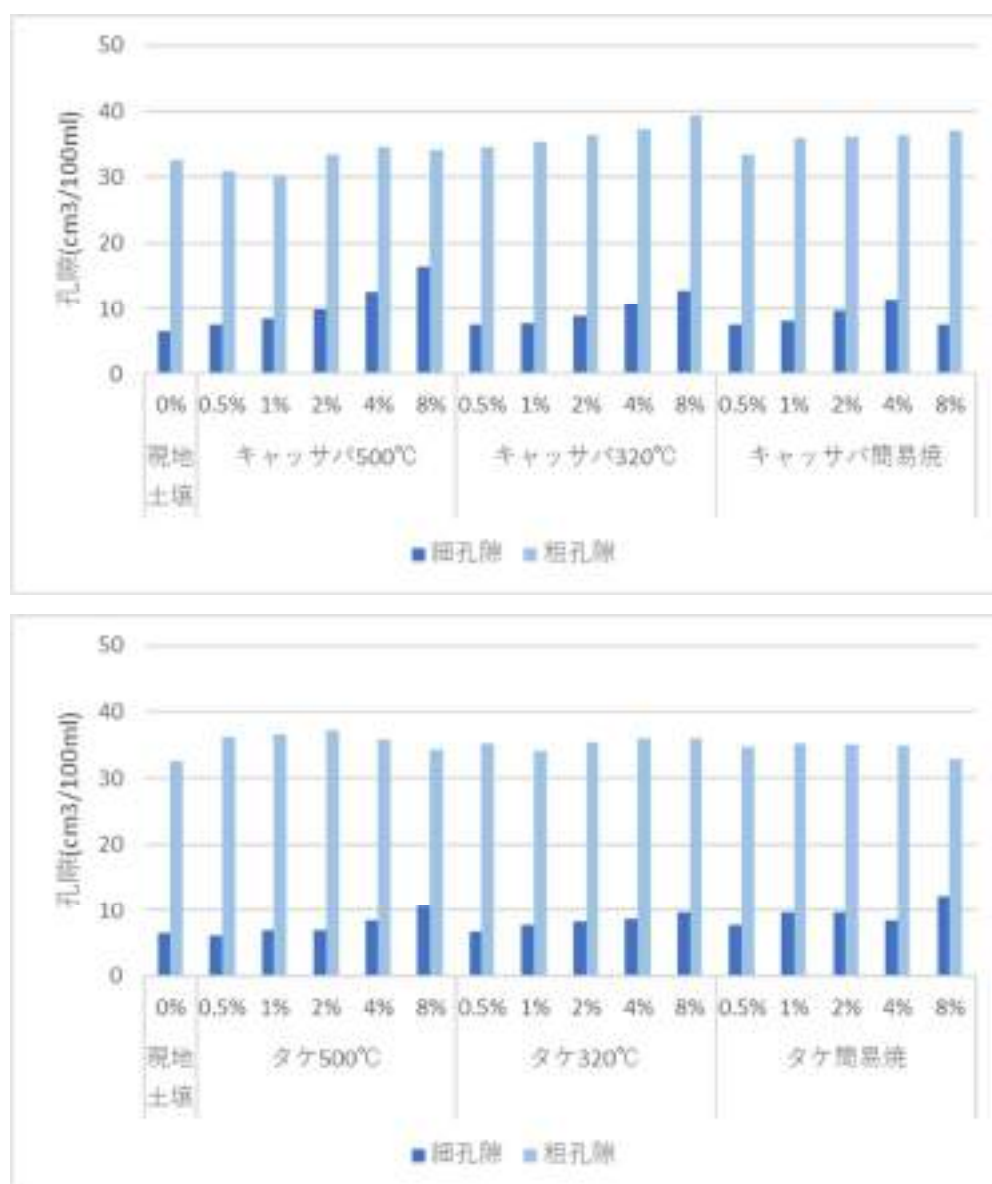


図 6-11 バイオチャーの原料及び炭化温度による影響(1/2)

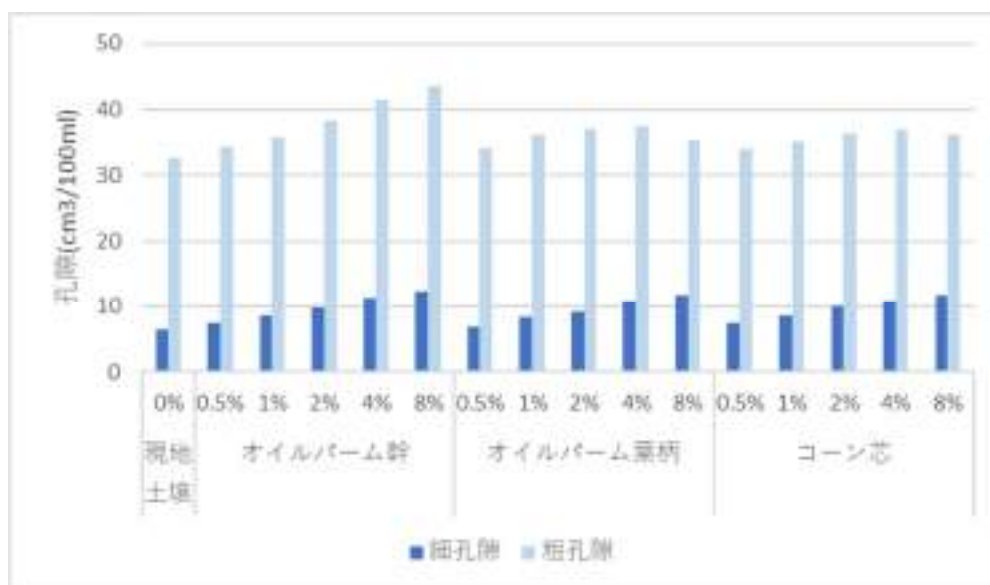


図 6-11 バイオチャーの原料及び炭化温度による影響(2/2)

バイオチャー単体での孔隙量(細孔隙+粗孔隙)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^2 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と推定される。

昨年度に試験したサンプルも含めて、施用したバイオチャーのかさ密度と孔隙量(細孔隙+粗孔隙)の関係をみると、かさ密度とは負の相関関係がみられた(図 6-12、 $p < 0.01$)。このことはかさ密度の低いバイオチャーの方が孔隙量の増加効果が高いことを示しており、燃料としての価値の低い(かさ密度の低い)バイオチャーが、土壌保水性の改良について高い性能を持つことを意味している。また、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、原料バイオマスの有効活用という観点からは、半炭を利用することが効果的と考えられた。

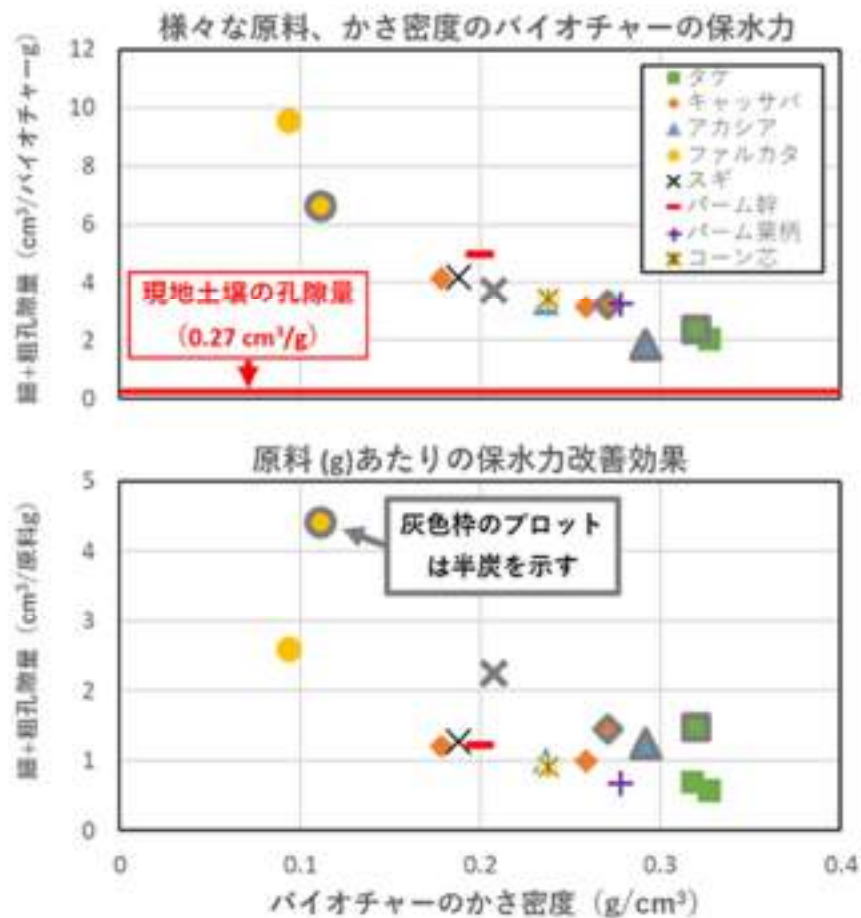


図 6-12 バイオチャーのかさ密度と孔隙量の関係

6.5.2 化学性分析②の結果

(1) 現地土壌、現地炭・半炭の化学性

現地土壌(0~25cm、25~50cm)及び現地未利用バイオマスから作成された炭、半炭の化学性を図 6-13 示す。炭、半炭の交換性陽イオン含有量は、現地土壌と比較して著しく高い値を示した。特にキャッサバは、有効態りん酸、カリウム、カルシウム、マグネシウムのいずれも非常に高い値を示した。他の原料についても、交換性陽イオンは昨年度に測定したアカシア、ファルカタ、スギといった木材よりも高い含有量を示した。現地未利用バイオマスを原料としたバイオチャーの施用は、木材原料のバイオチャーよりも肥料としての効果が期待できる。

pH については、全ての原料でいずれの炭化度においてもアルカリ性の値を示した。これらのバイオチャーは土壌の酸性矯正効果が期待できるものの、特に炭化度の高い炭は現地土壌よりも著しく高い pH を示すため、栽培する作物によっては施用量の調整が必要となる可能性がある。

また、保肥力の指標となる CEC は、同じ原料であれば炭よりも半炭で高い傾向を示した(図 6-13)。現地土壌の CEC が 2.0 cmol(+)/kg 前後で、半炭の 1/5~1/9 程度であるため、半炭は保

肥力改善に効果大と期待できる。原料 1kg あたりの保肥力改善効果は炭よりも半炭で大きく(図 6-14)、原料バイオマスの有効活用という観点からは、半炭を利用することが効果的と考えられた。

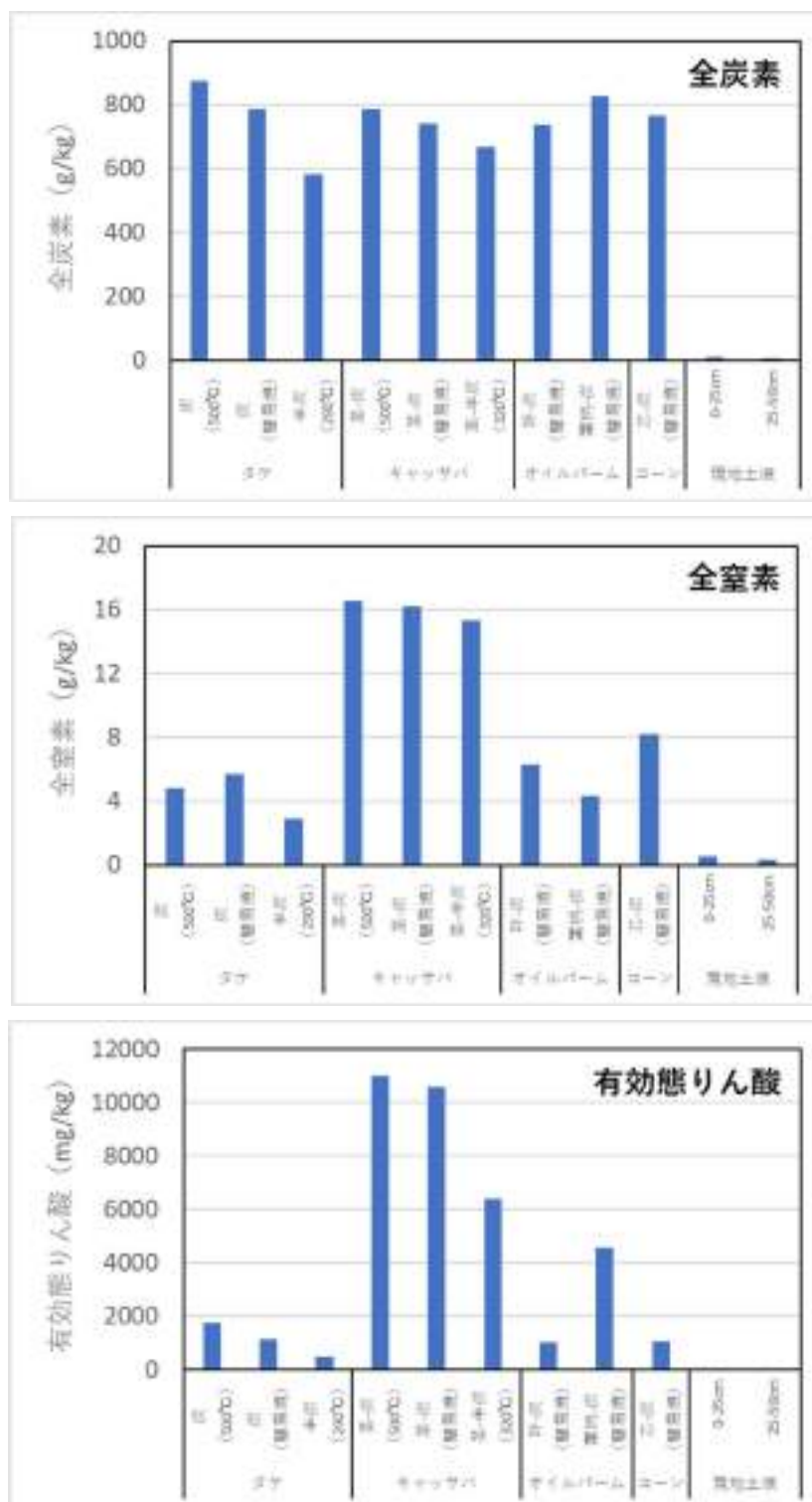


図 6-13 現地土壌及びバイオチャー(炭、半炭)の化学性(1/4)

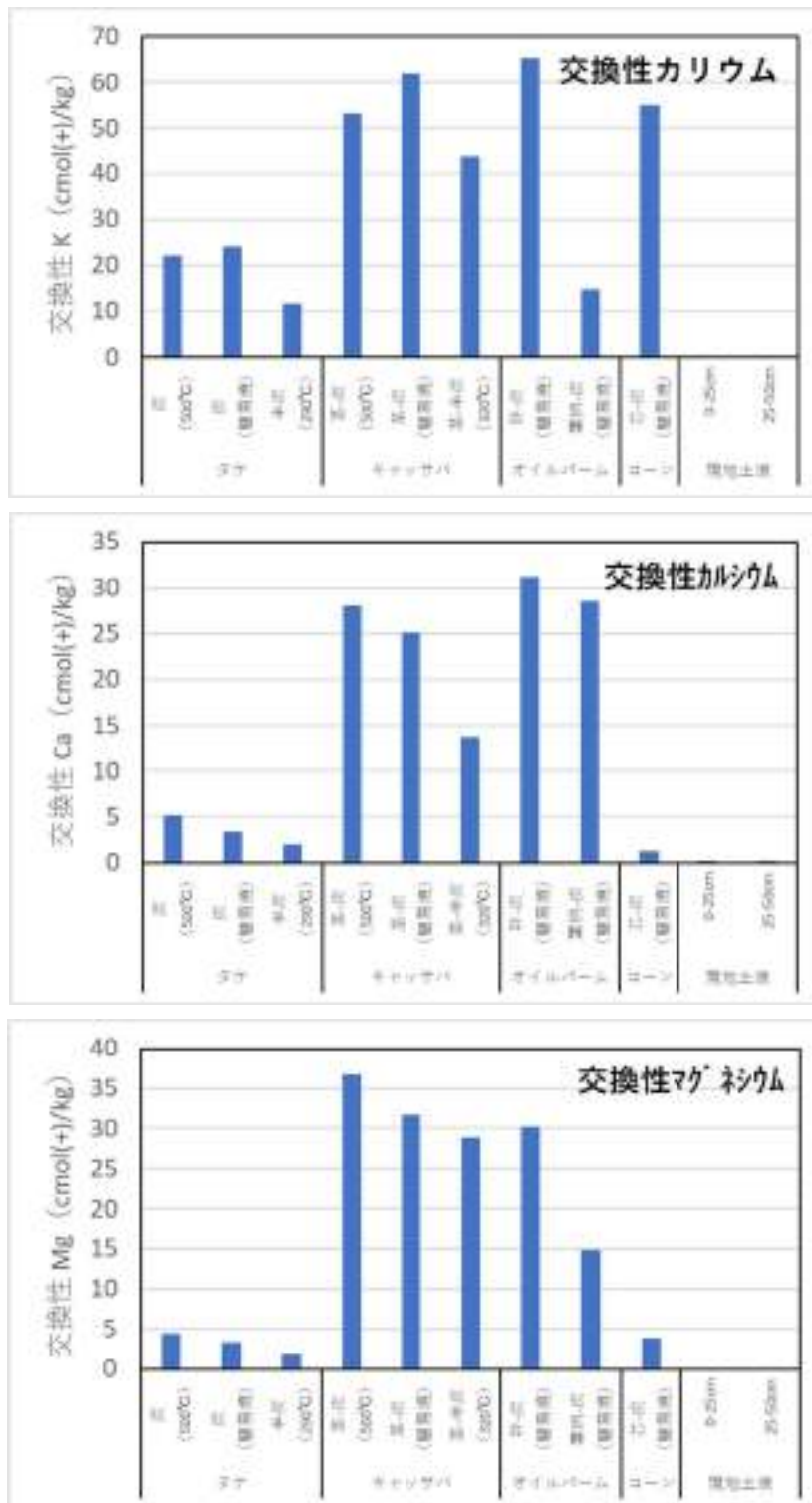


図 6-13 現地土壌及びバイオチャー(炭、半炭)の化学性(2/4)

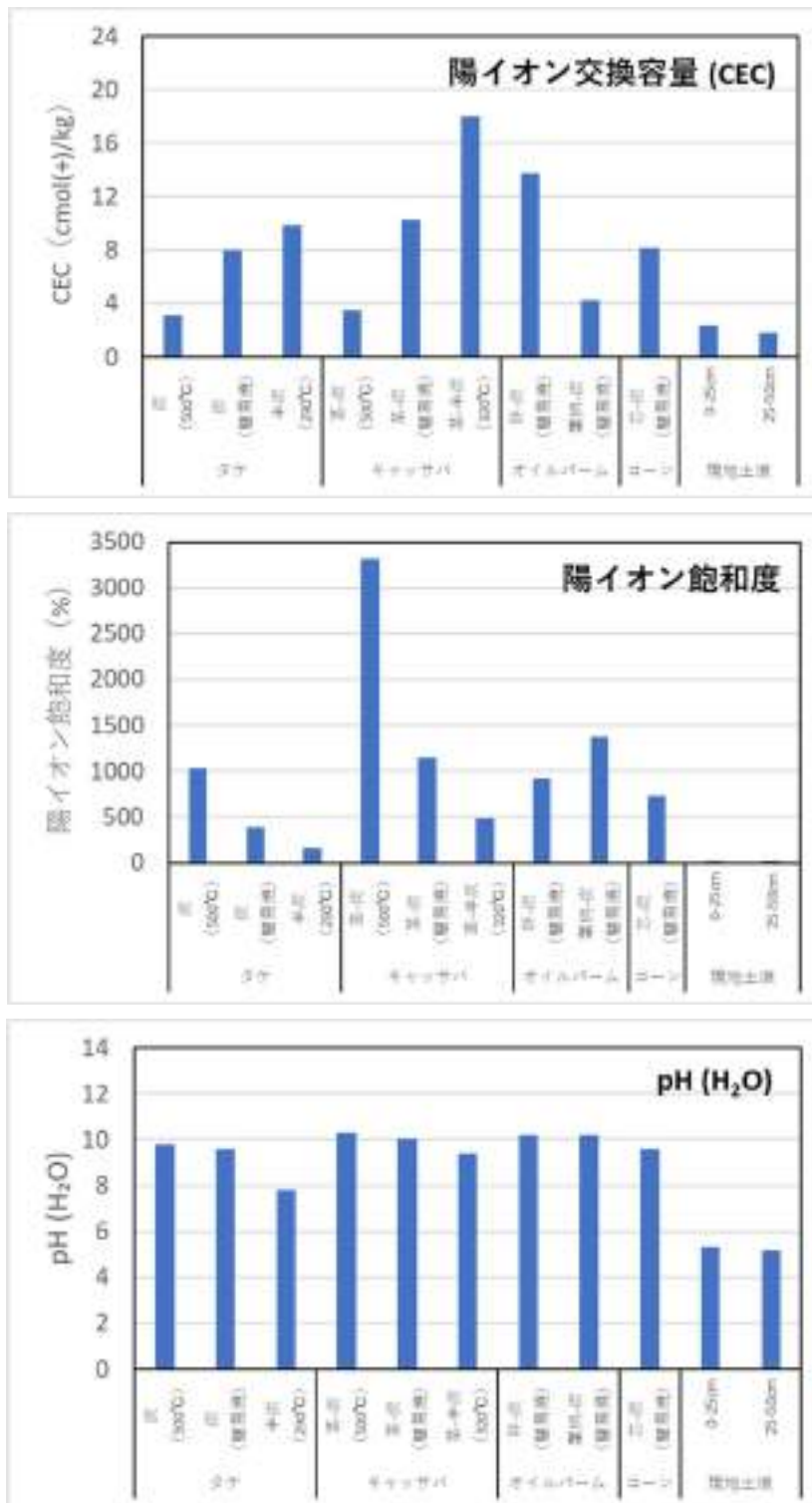


図 6-13 現地土壌及びバイオチャー(炭、半炭)の化学性(3/4)

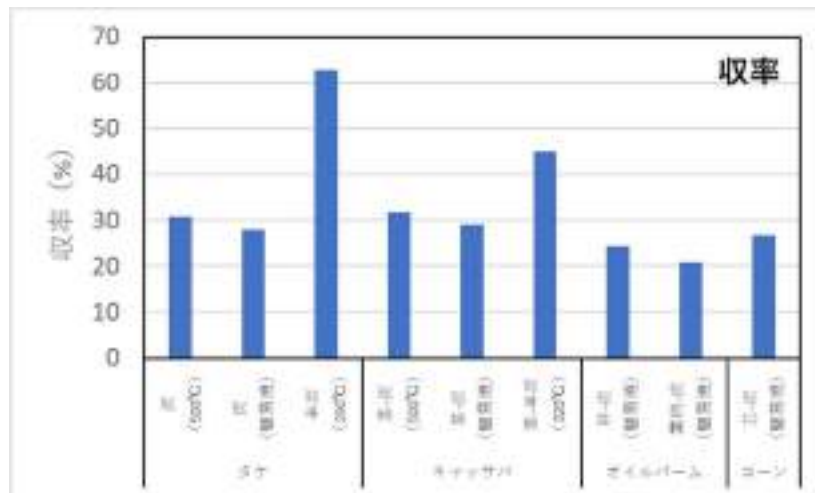


図 6-13 現地土壌及びバイオチャー(炭、半炭)の化学性(4/4)

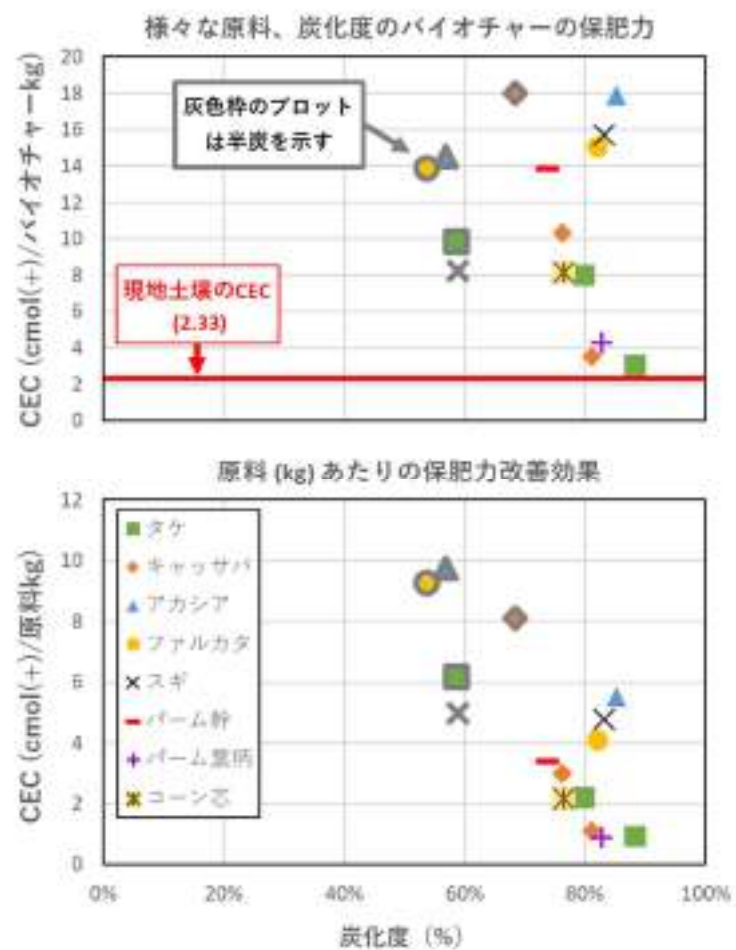


図 6-14 バイオチャーの炭化度と保肥力(CEC)の関係

6.5.3 植栽試験①の結果

(1) 生存率

2019年11月6日から2022年1月29日までの約2.2年間にかけて、植栽木の追跡調査を実施した。計測は1年に3回(乾期前の6月、雨期初めの10月、年度末の3月)行なった。

植栽木の生存率に、バイオチャー施用処理(0 kg/m²、0.5 kg/m²、2 kg/m²)間での有意差はなく、どの樹種も80%以上の高い生存率を示した。そのため、植栽木の活着に対するバイオチャーの効果は確認できなかった。

(2) 樹高、地際直径、D²H

植栽木の樹高、幹の基部直径、D²H(地際直径×地際直径×樹高)の成長は、図6-16～図6-18に示す通りである。バイオチャー施用の影響を分析するために、各樹種の最終計測時の樹高、基部直径、D²Hを目的変数として、分散分析及びTurkey HSD法による多重比較を行い、バイオチャー施用処理間での成長量の違いを確認した。

図中のアルファベットは5%水準での有意差を表している。図6-16～図6-18に示したとおり、*Millettia*については、樹高、基部直径、D²Hの全項目、*Terminalia*については基部直径、D²Hでバイオチャー施用区の成長量が有意に大きかった。試験対象樹種5種のうち、これら2種については、バイオチャーの施用が成長量を増加させる効果が確認された。

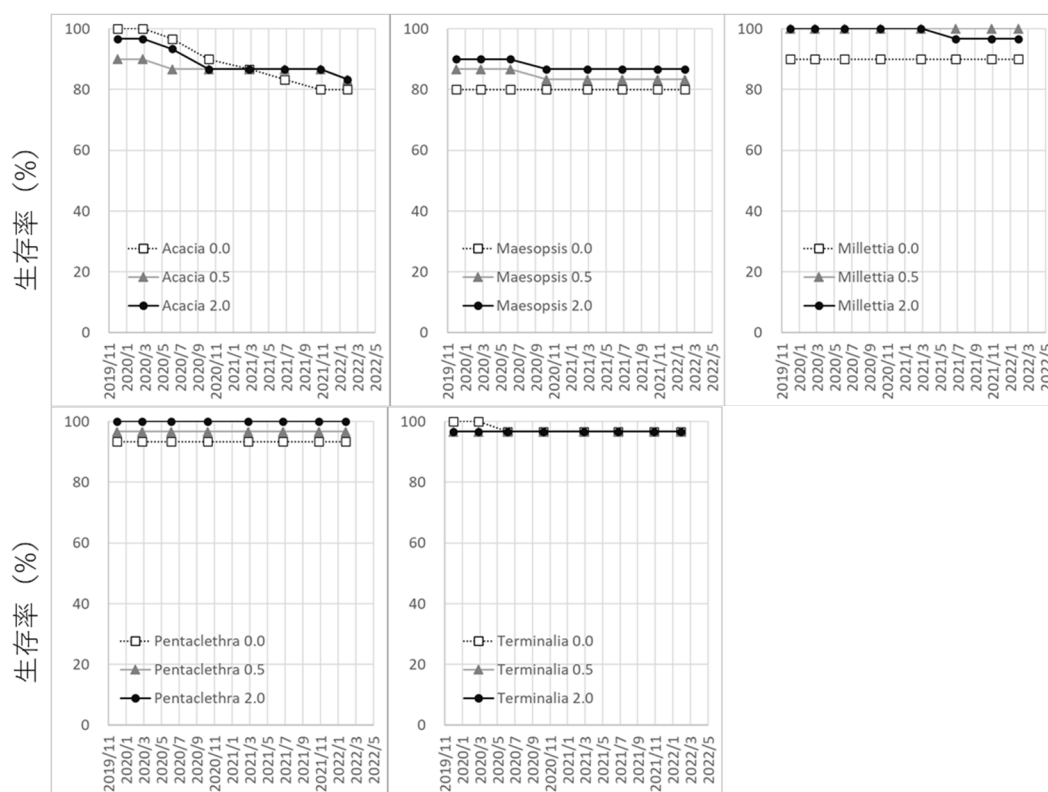


図 6-15 植栽木の生存率

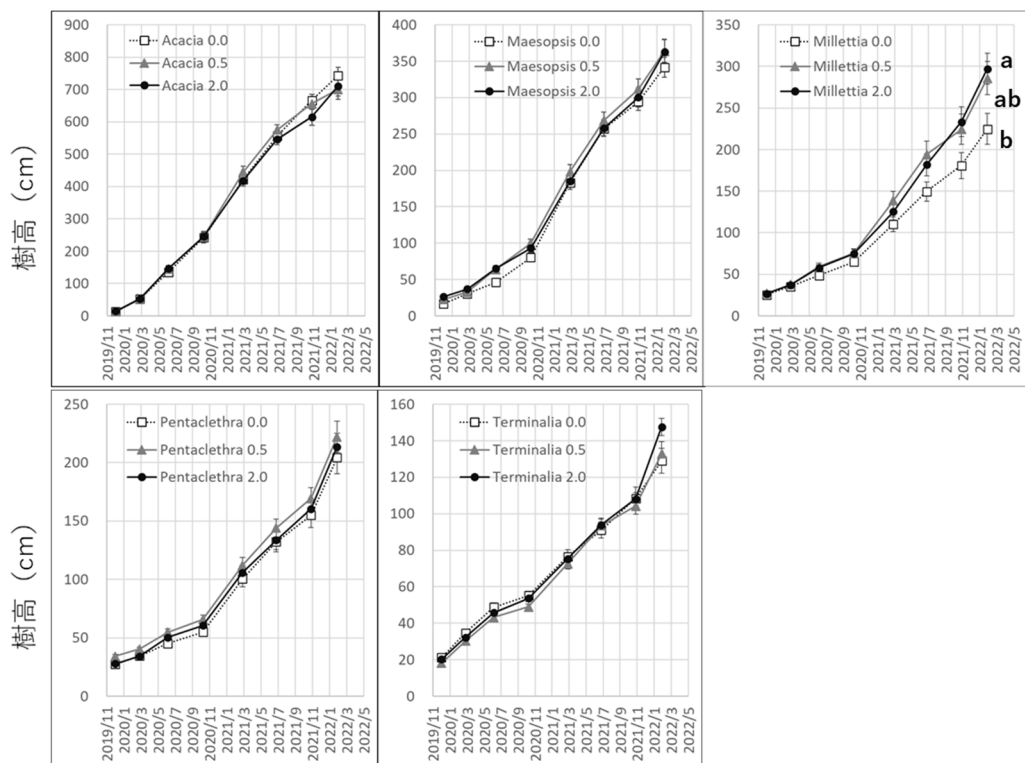


図 6-16 植栽木の樹高成長

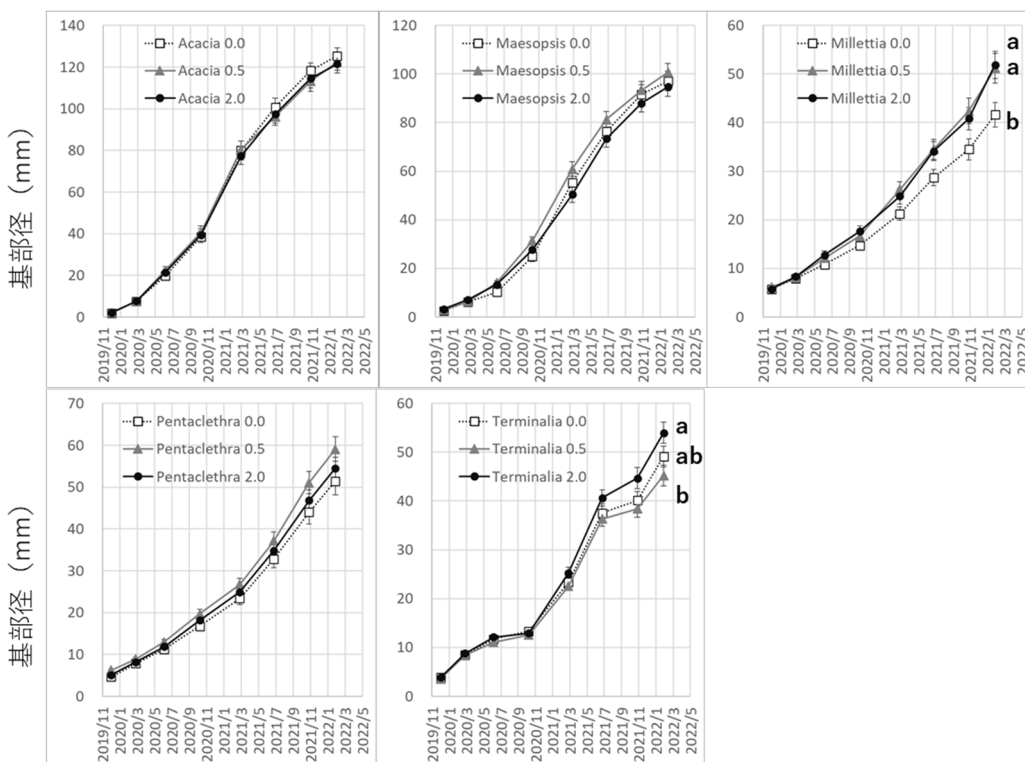


図 6-17 植栽木の幹基部直径の成長

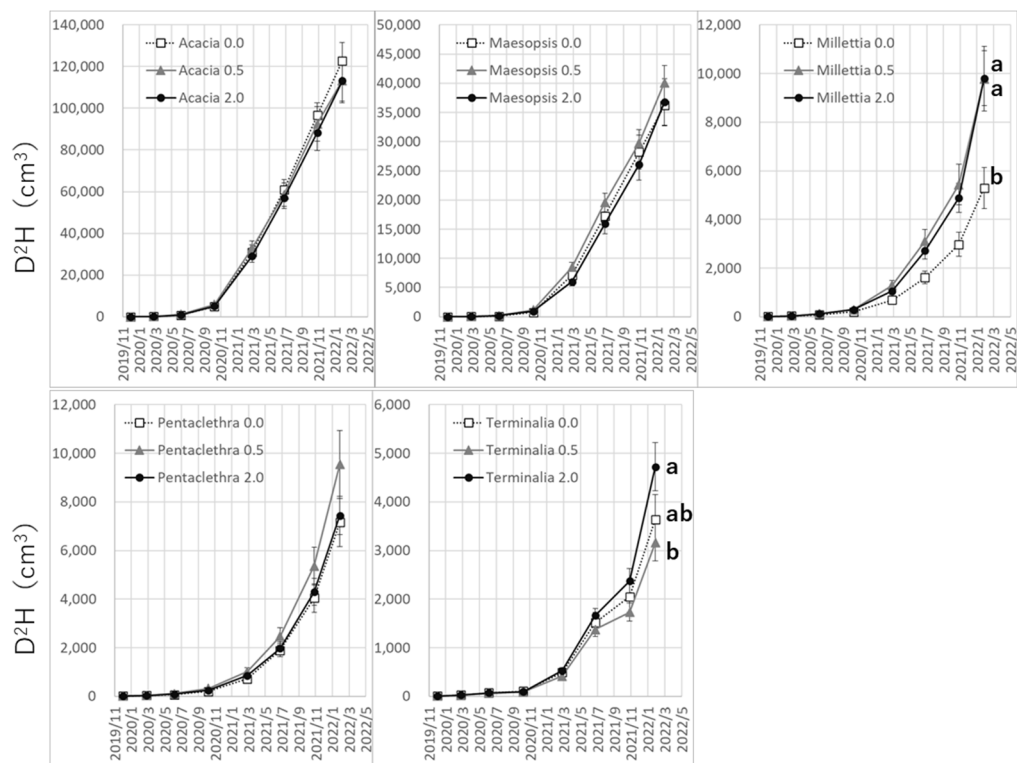


図 6-18 植栽木の D²H の成長

6.5.4 植栽試験②の結果

(1) 生存率

2021 年 3 月 18 日から 2022 年 10 月 12 日にかけて、植栽木 (*M. eminii*) の追跡調査を実施した。計測は乾期前の 5 月、雨期初めの 10 月に行なった。

図 6-19 に示すとおり、植栽木の生存率はバイオチャー施用処理区(炭施用および半炭施用、各 2.0 kg/m²)で、施用を行っていないコントロール区よりも有意に低い値を示した(カイ二乗検定、 $p < 0.01$)。バイオチャーの施用区だけでなく、コントロール区の生存率についても 2019 年度植栽地よりも低下していたことから、全体的に 2020 年度の植栽は、2019 年度と比較して条件が悪かったものと考えられた。一つの大きな要因として、植栽時期の影響が考えられる。2019 年度は雨期の初め(11 月初旬)に植栽したが、2020 年度は育苗が遅れたため雨期の終わり(3 月中旬)の植栽となった。これによりバイオチャーを施用し、植栽した後に十分な雨量が得られなかったため、施用したバイオチャーへの吸水が十分に行われず、生存率が低下した可能性がある。

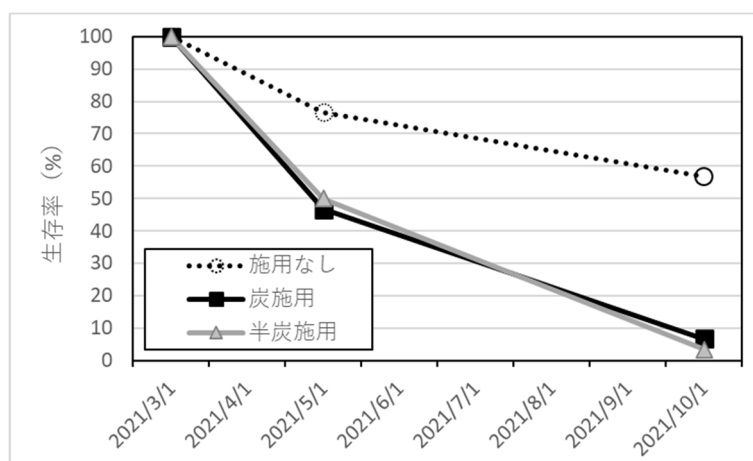


図 6-19 2020 年度植栽区における植栽木の生存率

(2) 樹高、地際直径、 D^2H

植栽木の樹高、幹の基部直径、 D^2H (地際直径×地際直径×樹高)の成長は図 6-20 に示すとおりである。バイオチャー施用処理区は生存率が低いため計測個体数が少なく、有効なデータとは言い難いが、無施用のコントロール区での成長速度は 2019 年度の植栽区画と大きな差はなかった。

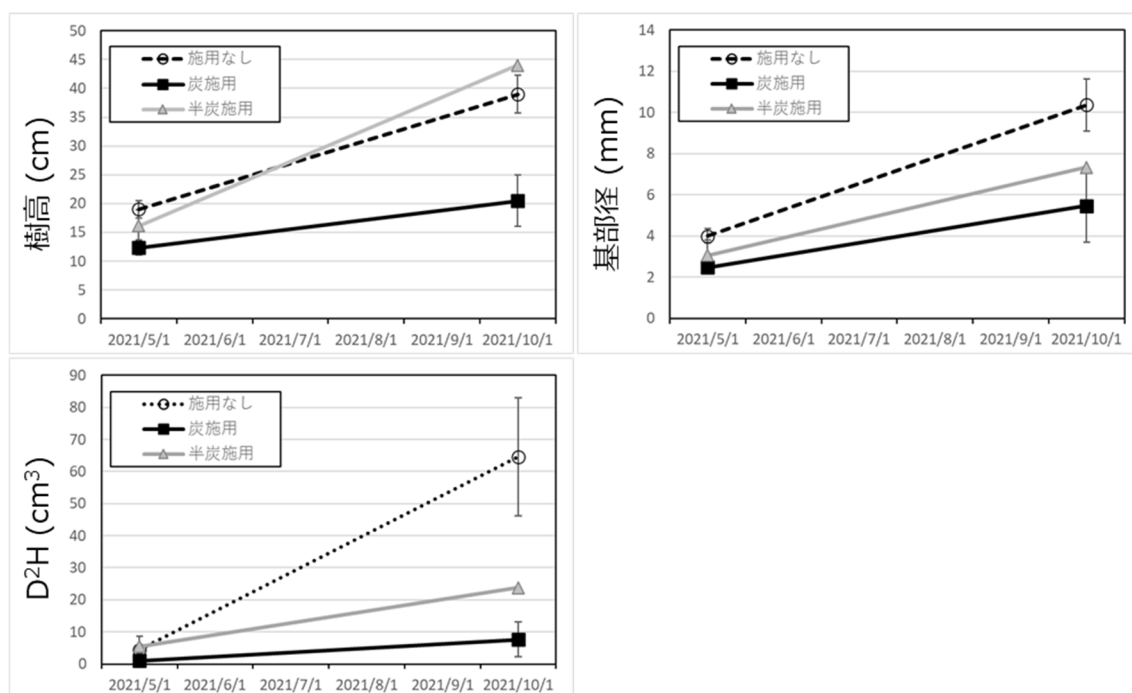


図 6-20 植栽木の樹高、幹の基部直径、 D^2H の成長

6.6 保水性試験②、化学性分析②と植栽試験①、②の結果から示唆されること

本試験において実施した保水性試験、化学性分析及び既存の文献資料から整理した、バイオチャーの原料、焼き加減による性質の違いは、表 6-12 のとおりである。

様々なバイオチャーの性質について、アグロフォレストリーを行うための土壌改良材としてメリットと考えられる項目には○、デメリットと考えられる項目には×、中立的な項目には△を付した。全体的にみて、原料としてはかさ密度の低いものを利用することが有効と思われ、また焼き加減については半炭の利用が有効と考えられた。しかしながら、実際の施用にあたっては、以下の点に留意することが重要となる。

- (1) 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
- (2) 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
- (3) 目的に合わせた焼き加減、施用量を検討

表 6-12 原料及び焼き加減によるバイオチャーの性質の違い

	原料かさ密度小	原料かさ密度大
半炭 (低炭化度)	○保肥力が高い ○保水力が高い ○原料あたりの効果高い ○土壌中での分解が遅い △pH は酸性 ×大量生産技術がない	○保肥力が高い △保水力はあまり高くない ○原料あたりの効果高い ○土壌中での分解が遅い △pH は酸性 ×大量生産技術がない ×燃料需要と競合
炭 (高炭化度)	△保肥力は低い場合あり ○保水力が高い ◎分解が非常に遅い △pH はアルカリ性	△保肥力は低い場合あり △保水力はあまり高くない ◎分解が非常に遅い △pH はアルカリ性 ×燃料需要と競合

また、現地での植栽試験の結果から、植栽する樹種によって効果が出るものと出ないものがある。施用方法やタイミングによっては、マイナスの効果が出る場合があることが確認され、バイオチャーを利用した土壌改良を行うにあたっては、これらの点にも留意することが必要と考えられた。

6.7 当該技術の普及に向けたコスト試算

(1) バイオチャー施用のコスト及び収益

未利用バイオマスを収集、炭化し、バイオチャーの施用を行うことで、図 6-21 のとおり通常の植栽コスト(575 USD/ha)と比較して、201 USD/ha(施用量 0.5 kg/m²)、739 USD/ha(施用量 2.0 kg/m²)のコストが増化するものと見積もられた。

一方、昨年度の試験から得られた、バイオチャーの施用によるキャッサバ収穫量の増加は表 6-13 のとおり、343 USD/ha(施用量 0.5 kg/m²)、484 USD/ha(施用量 2.0 kg/m²)の収入増につなが

ることから、施用量 0.5 kg/m^2 ではキャッサバ収穫 1 回、 2.0 kg/m^2 ではキャッサバ収穫 2 回目以降（収穫増が 1 回目と同水準で持続すれば）で、通常植栽よりも利益が大きくなるものと考えられた。ただし、昨年度の試験では試験期間の都合上、約 1 年で収穫を行なった。試験地周辺でのキャッサバの育成期間は通常 1～1.5 年程度、収量は 12 ton/ha 程度であるため、上記の収穫増、収入増はやや過小な評価となっている。

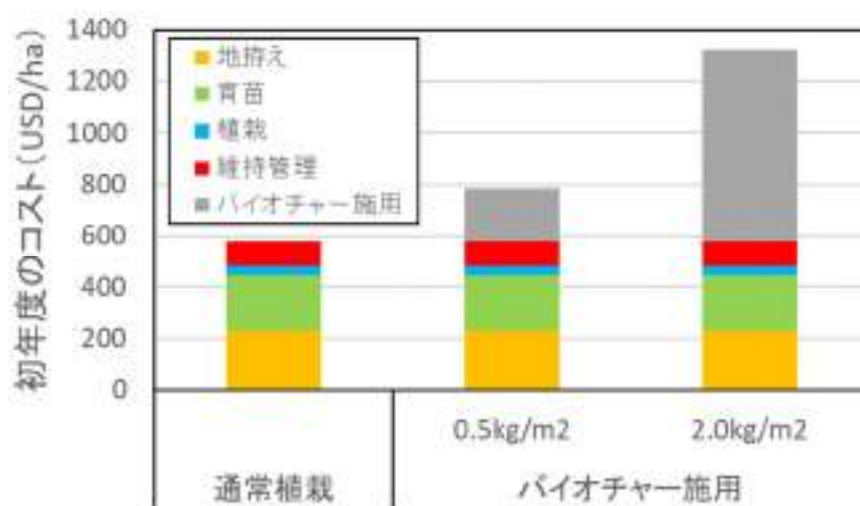


図 6-21 バイオチャー施用のコスト試算

表 6-13 バイオチャー施用によるキャッサバ収穫量及び収入

	通常植栽	バイオチャー施用 (0.5 kg/m^2)	バイオチャー施用 (2.0 kg/m^2)
キャッサバ収量 (ton/ha) (2020 年データに基づく)	6.7※	8.9※	9.8※
キャッサバ葉の収量 (束)	168	223	245
収入 (USD/ha)	1,046	1,389	1,529

※試験期間の都合上、やや短い期間で収穫を行なった。試験地周辺での通常植栽でのキャッサバの収量は 12 ton/ha 程度である。

(2) 木材利用によるコスト及び収益

現地 NGO の協力の下、木材の利用によって生じるコスト及び得られる収益について情報収集を行った。対象とした樹種は、アカシア (*A. mangium*) 1 種、在来樹種は植栽試験で対象とした 4 種としている。アカシアに関しては、主に製炭に係るコスト及び炭の販売価格について情報収集を行った。在来種 4 種に関しては、①それぞれの樹種についてどのように利用しているのか、②いつ頃から利用可能であるのか、③販売価格はどれくらいなのかについて情報収集を行った。

製炭に係る作業内容及びそれぞれの作業に必要な作業員数について、表 6-14 に示す。ここで、作業員単価は 1 日あたり 3,000 CDF、ヒアリング時のレート(1,650 CDF/USD)で換算すると 1 日あたり 1.82 USD となる。製炭に係る作業コストは、1 ha(アカシアの植栽本数 700 本)あたり 132 人日、約 240 USD と推計される。

本プロジェクトで対象としたイビ村及びその周辺では、伏せ焼きによりアカシア材 100 kg から 20% にあたる 20 kg の炭が得られる。現地では 60 kg を 1 袋として販売しており、販売価格はイビ村及びその周辺で 1 袋 9～12 USD、キンシャサでは 1 袋 20～21 USD である。アカシアは通常 7 年伐期で、1 ha あたり 400 袋程度の木炭が得られるとされ、仮に単価 12 USD/袋で売れば 4,800 USD/ha の収入となる。

次に、在来樹種 4 種の利用について表 6-15 に示す。*Millettia* 及び *Pentaclethra* は植栽後 3 年目から、*Maesopsis* については 4 年目から食用イモムシの収集に利用している。建築材としての利用は *Millettia* 及び *Maesopsis* の植栽後およそ 20 年目から行われる。*Terminalia* については植栽後 40 年目から建築材として利用可能であり、材として利用するためには長期間の育林が必要となる。それぞれの在来樹種の材としての販売価格については、表 6-16 に示す。

表 6-14 アカシアの製炭に係る作業内容及び作業員数

作業内容	作業員数	作業コスト(USD)
伐採	8	14.6
枝打ち、玉切り	24	43.7
搬出、集積	24	43.7
窯入れ	24	43.7
検査	4	7.3
窯出し	24	43.7
調整・袋詰	24	43.7
計	132	240.4

表 6-15 在来樹種の利用目的と利用可能開始年

樹種	利用目的	利用可能開始年
<i>Millettia laurentii</i>	● 食用イモムシの収集 ● 梁材 ● 建築材	● イモムシの収集:3 年目～ ● 梁材及び建築材:18～60 年
<i>Pentaclethra eetveldiana</i>	● 食用イモムシの収集 ● 薪	● イモムシの収集:3 年目～
<i>Terminalia superba</i>	● 建築材	● 40 年目から利用可能
<i>Maesopsis eminii</i>	● 食用イモムシの収集 ● 板材	● イモムシの収集:4 年目～ ● 板材:20 年

表 6-16 在来樹種の利用目的ごとの販売単価

樹種	利用目的	販売単価
<i>Millettia laurentii</i>	● 食用イモムシの収集 ● 梁材 ● 建築材	● 食用イモムシ(乾燥前):0.5 USD/kg ● 食用イモムシ(乾燥後):1.5 USD/kg ● 梁材:5 USD/本 ● 建築材:300 USD/m³
<i>Pentaclethra eetveldiana</i>	● 食用イモムシの収集 ● 薪	● 食用イモムシ(乾燥前):0.5 USD/kg ● 食用イモムシ(乾燥後):1.5 USD/kg ● 薪 2.5 USD/束
<i>Terminalia superba</i>	● 建築材	● 350 USD/m³
<i>Maesopsis eminii</i>	● 食用イモムシの収集 ● 板材	● 食用イモムシ(乾燥前):0.5 USD/kg ● 食用イモムシ(乾燥後):1.5 USD/kg ● 板材については価格不明

(3) コスト削減のための課題

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粉碎、④施用の 4 項目である。これらのコストを低減するためには、以下のような取り組みが有効と考えられる。

- ①収集 : 今回の試算ではバイオチャー施用コストの 64%を占めた。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、コストを削減できるものと考えられる。
- 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、そのような活動に併せて土壌改良用のバイオチャーも作成できれば、省力化、コスト削減につなげることができる。
- ③粉碎 : 今回の資産では施用コストの 22%を占めた。多量のバイオチャー粉碎は、人力では労力がかかるため、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る。
- 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るものと思われる。

また、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、コストを削減するために非常に重要である。

6.8 試験対象国における技術普及説明会

今年度は、技術普及説明会に変えて、本事業成果を整理した普及啓発資料を作成し、現地関係者に配布した。配布先の一覧は、表 6-17 のとおりである。

表 6-17 普及啓発資料の配布先

	資料配布先
1	環境省 次官
2	環境省 森林総局
3	環境省 植林局
4	環境省 森林エネルギー技術局
5	環境省 調査・計画局
6	環境省 持続的開発局
7	環境省 CN-REDD+ (REDD+国家調整ユニット)
8	農業省 調査・計画局
9	国家 REDD+ 基金 (FONAREDD) 事務局
10	GI-Agro (現地 NGO)

6.9 実証試験の総括と今後の展開

本試験の総括として、現地植栽試験では、2019 年度に植栽した一部の樹種において、バイオチャーの施用による成長増の効果が確認された。また、間作したキャッサバについても、大きな収穫増がみられた。一方、2020 年度の植栽試験地では、バイオチャーの施用区で植栽木の生存率の低下が認められ、施用の方法やタイミングによっては、バイオチャーの施用が負の効果を発揮する可能性も示唆された。

室内試験においては、バイオチャーの施用により、土壌の化学性、物理性を改善可能であることが確認された。ただし、バイオチャーの性質は原料、焼き加減等により異なるため、栽培したい樹木や農作物に合わせた施用を検討する必要があるものと考えられた。

今後の展開としては、コンゴ民主共和国やカメルーン国での JICA 事業において、バイオチャー施用の試験が計画されている。

6.10 成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況

特になし。

6.11 参考文献

【引用、参考文献】

Anne M. and Amos W. (2016) Agrofresty Tree Seed Training Handbook A Handbook for Community Facilitators.

Behrendt H., Megevand C., Sander K. (2013) Deforestation Trends in the Congo Basin. *Wood-based Biomass Energy*. World Bank, Washington, DC.

<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23698> License: CC BY 3.0 IGO.”

- Climate-Data.org. (2020) Kinshasa Weather by Month // Weather Averages. <https://en.climate-data.org/africa/congo-kinshasa/kinshasa/kinshasa-408/>
- Dewitte O. et al., (2013) Harmonization of the soil map of Africa at the continental scale. *Geoderma*, 211-212: 138-153.
- FAO (2015) World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. *World Soil Resources Reports*, 106. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2016) *Global Forest Resources Assessment 2015. Second edition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fern K. (2020) Tropical Plants Database. 2020-03-02. <http://tropical.theferns.info/>
- Glaser B. et al. (2002) Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219-230.
- Hunt J. et al. (2010) The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment. *Soil and Crop Management* 30. Dec. 2010.
- Kameyama K. et al. (2017) Biochar Amendment of Soils According to their Physicochemical Properties. *Japan Agricultural Research Quarterly* 51 (2): 117-127.
- Ogawa M., Okimori Y. (2010) Pioneering works in biochar research, Japan. *Australian Journal of Soil Research* 48: 489-500.
- Peel M. C. et al. (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1633-1644.
- Projet MAKALA (2010) Guide pratique avec les acacias, produire du makala dans son champ
- Seino T. (1998) Intermittent Shoot Growth in Saplings of *Acanthopanax sciadophylloides* (Araliaceae). *Annals of Botany*, 81(4): 535-543.
- Tyukavina A. et al. (2018) Congo Basin forest loss dominated by increasing smallholder clearing. *Science Advance*. 4 (11): eaat2993. DOI: 10.1126/sciadv.aat2993.
- UNEP (2008) Africa: Atlas of Our Changing Environment. Division of Early Warning and Assessment (DEWA) United Nations Environment Programme (UNEP) P.O. Box 30552 Nairobi 00100, Kenya.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019) *World Population Prospects 2019: Highlights*. ST/ESA/SER.A/423.
- 岩田幸良、宮本輝仁、亀山幸司 (2014) バイオ炭混入による砂質土壌の物理性の変化－保水性・透水性・肥料成分の移動への影響について－. *農村工学研究所技報*. 第 215 号:113-121.
- 佐野寛、本庄孝子 (2011) バイオマス半炭化の原理と効用. *高温学会誌*. 37 巻 2 号:43-49.
- 久馬ら (2001) 熱帯土壌学. 名古屋大学出版会.
- 真下育久 (1961) 土壌の理化学性: 吸収板による簡単な pF 値の測定とこれによる土壌水および孔隙の区分. *森林立地*. 3(1):32-34.

【ヒアリング情報】

Kwilu 州 農業省(2017 年 3 月 2 日)農業省の取り組み、農業セクターの活動に関する情報収集.

環境省 植林・園芸局(2019 年 5 月 15 日)植林技術、コスト、樹種に関する情報収集.

GI-Agro(現地 NGO)(2019 年 5 月 16 日)植林技術、コスト、樹種に関する情報収集.

環境省 森林整備インベントリ局(2019 年 5 月 16 日)樹種に関する情報収集.

GI-Agro(現地 NGO)(2019 年 7 月 27 日)トレファクション、在来種に関する情報収集.

GI-Agro(現地 NGO)(2020 年 1 月 27 日)植林コストに関する情報収集.

GI-Agro(現地 NGO)(2021 年 2 月 25 日)苗木基準に関する情報収集

7 マングローブ再生ガイドブックの作成

7.1 マングローブ再生ガイドブックの趣旨・目的

マングローブ生態系は炭素(ブルーカーボン)の貯留、水産資源の涵養と供給、防災・減災など様々な生態系サービス機能を有している。しかし、近年、世界的にマングローブ林の劣化・減少は著しく、気候変動の緩和をはじめとする多面的な機能の維持・回復を実現するためのマングローブ林の持続的な管理及び再生が世界的に喫緊の課題となっている。このような背景の下、最近では民間企業や NGO を含む多様なセクターによるマングローブ林の保全・再生や持続的利用への取り組みが急速に広がりつつある。

特に 1980 年以降、世界各地でマングローブ林の減少が深刻化したことを受け、民間団体等により植林等によるマングローブ林の再生が試みられてきた。しかし、マングローブ林は、熱帯・亜熱帯地域の淡水と海水の混ざり合う立地に成立する特殊な植物群落であり、その再生に成功していない事例も多数報告されている。それら失敗の主な原因は、再生対象地の荒廃要因や立地環境条件(土壌、水利・潮汐環境、塩分濃度等)の把握が不十分であり、樹種や再生方法の選択が適切に行われなかったことであると考えられる。

これまで既に、マングローブ林再生のための技術マニュアル類や事例が国際機関など様々な団体によって多く提供されているが、対象地域が限定されたものが多い。そこで、本事業では、新たに、「マングローブ再生ガイドブック(立地条件及び荒廃要因に応じたマングローブの再生技術)」を作成し、一般公開することとした。本ガイドブックでは、様々な地域を対象とした既存のマングローブ林再生に関する文献資料を整理・分析するとともに、荒廃要因及び立地環境条件に応じたマングローブ林の再生指針を提供することを目的とした。

本ガイドブックは、5 章で構成されている。第 1 章「知っておくべき基礎情報」として、マングローブの種類や地理的条件等の基礎情報を整理した。第 2 章「マングローブ林の減少・劣化と再生へ向けた取り組み」では、なぜマングローブ林が減少しているかについて、過去からの減少・劣化要因及び傾向を整理し、再生へ向けた取り組みを紹介した。第 3 章「荒廃要因に応じたマングローブ林の再生方法」では、荒廃要因及び立地条件に適した樹種及び再生方法を整理して提示し、併せて、近年急速な進歩を見せるリモートセンシングや GIS による空間情報技術の適用の可能性についても触れた。4 章「既存のマングローブ再生マニュアル及び再生事例」では、世界各地における既存のマングローブ植林に関する技術マニュアル及び事例を地域・国別に整理して情報提供した。また、第 5 章「文献リスト」では、マングローブ林の再生にあたって参考となる代表的な文献・図書を紹介した。

本ガイドブックは、報告書の別冊として取りまとめる。報告書本文では、本ガイドブックの表紙、著者一覧及び目次一覧を掲載するに留める(次ページ以降)。本ガイドブックの全体版については、国際緑化推進センターのホームページから電子ファイル(PDF)を一般公開するので、そちらも参照されたい。本ガイドブックが、民間企業や NGO 等によるマングローブ林再生の取り組みの一助となれば幸いである。

7.2 マングローブ再生ガイドブックの表紙及び著者一覧



図 7-1 マングローブ再生ガイドブックの表紙

筆頭執筆者

松井直弘(国際航業株式会社)

各章執筆者

第1章 神谷結香

(国際航業株式会社)

第2章 鬼塚瑠都子

(国際航業株式会社)

第3章 松井直弘、増田一稔

(国際航業株式会社)

第4章 弓山大輔

(国際航業株式会社)

編集者

田中浩、仲摩栄一郎、柴崎一樹

(公益財団法人国際緑化推進センター)

監修者

吉川賢(岡山大学名誉教授)

発行元

公益財団法人国際緑化推進センター

7.3 マングローブ再生ガイドブックの目次一覧

1. マングローブの基礎情報
 - 1.1. マングローブとは
 - 1.2. マングローブ林の分布
 - 1.3. マングローブ生育地の地理的条件(局地的な分布様式)
 - 1.4. マングローブ林の森林構造(立地環境)
 - 1.5. マングローブ林の生態系サービス
供給サービス、調整サービス、生息・生育地サービス、文化的サービス
 - 1.6. マングローブについて活動する世界的に重要な組織
2. マングローブ林の減少・劣化と再生へ向けた取り組み
 - 2.1. 世界的なマングローブ林の面積の変化
 - 2.2. マングローブ林の減少・劣化要因と地域分布

- 2.3. 要因別マングローブ林減少・劣化プロセスと周辺環境への影響
- 2.4. マングローブ林の保全・再生に向けた取り組み
 - 国際的な取り組み、マングローブ林の再生ポテンシャル
- 3. 荒廃要因に応じたマングローブ林の再生方法
 - 3.1. 立地環境の把握
 - 植林地選定、地盤高の測定、塩分濃度の測定
 - 3.2. 適切な樹種選択
 - 3.3. 苗畑の造成方法
 - 苗畑の設置場所の選定、苗畑作設の準備、苗床の作成
 - 3.4. 植林
 - 植林方法、植林後の管理
 - 3.5. 植林の評価
 - 3.6. 荒廃要因に応じた植林方法
 - エビ養殖池、 水田、塩田、鉱物資源開発
 - 3.7. 空間情報技術を活用した立地条件の把握手法
- 4. 既存のマングローブ再生マニュアル及び再生事例
 - 4.1. 広域
 - アジア・太平洋、メソアメリカ・カリブ海地域
 - 4.2. 東南アジア
 - インドネシア、マレーシア、フィリピン、ベトナム
 - 4.3. 南アジア及び西アジア
 - バングラデシュ、インド、スリランカ、オマーン、クウェート、アラブ首長国連邦
 - 4.4. アフリカ
 - 西インド洋地域、エリトリア、 ケニア、ナイジェリア、 ガンビア
 - 4.5. アメリカ
 - メキシコ、 セントルシア、 ガイアナ
 - 4.6. 大洋州
 - パプアニューギニア、ソロモン、 キリバス、マーシャル、ツバル
- 5. 文献リスト
 - 5.1. 推薦文献及び図書(年代順)
 - 5.2. すべての文献

8 森林再生技術普及セミナー(ワークショップ)

途上国における森林再生技術を広く普及することを目的として、森林再生に関心を抱く事業者、NGO/NPO/団体等を対象としたセミナーを開催した。本年度は新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点から、講演者のみが配信会場に集合し、参加者はオンライン参加とするオンラインのウェビナー形式で開催した。なお、セミナー映像の一部(講演者の許諾を得られたもの)について期間限定・申込者限りの配信を行った。また、セミナー後、参加者にアンケートを実施した。

8.1 開催概要

日時	令和3年12月7日(金)14:00～16:30
実施方法	オンライン(zoom ウェビナー)
配信会場	林友ビル6階 中会議室 〒112-0004 東京都文京区後楽 1-7-12
テーマ	「途上国における森林再生技術」普及ワークショップ
目的	1. 途上国森林再生技術普及事業5年間の成果の紹介 2. 森林再生に係る民間企業やNGO等とのネットワーク構築
参加者	森林再生ビジネス・活動を実施している／関心を抱く民間企業、NGO、各種研究機関、政府関係者他 合計164名、セミナー終了後動画視聴44名
プログラム	

タイトル	発表者
林野庁挨拶	山崎 敬嗣／林野庁
事業概要「厳しい環境下での植林技術の開発」	高原 繁／国際緑化推進センター
基調講演「温暖化対策としての荒廃地造林の意義」	丹下 健／東京大学
基調講演「コマツの「林業機械事業」と「持続的林業」への貢献」	坂井 睦哉／コマツ
質疑応答	
(1) 厳しい乾燥下でも生き抜くコンテナ長根苗の開発—ミャンマーとケニアでの取り組み—	柴崎 一樹／国際緑化推進センター
(2) 土壌保水材としての高分子吸収材 SAP の利用	高橋 正通／国際緑化推進センター
(3) ウズベキスタンにおける保育ブロック実証試験	浅見 和弘／応用地質
(4) これまでに実施した森林再生実証調査及び「森林再生技術データベース」の紹介	仲摩 栄一郎／国際緑化推進センター
総合討論	各発表者 進行:田中 浩／国際緑化推進センター



図 8-1. ワークショップの様子

8.2 各講演の概要

各講演の概要は以下のとおりである(各発表資料はエラー! 参照元が見つかりません。参照)。

(1) 事業概要「厳しい環境下での植林技術の開発」

高原繁(JIFPRO)は、本事業 5 年間の成果並びに JIFPRO の取り組みを紹介した。2021 年 11 月の COP26 におけるグラスゴー・リーダーズ宣言なども背景に、ゼロエミッション・カーボンニュートラル・SDGs などのトレンドを受けて、世界的に森林保全や植林活動への関心が高まっている。現在、植林が可能な土地が世界で約 9 億 ha あるとされるが、気候や土地条件に恵まれた土地は限定的である。また、条件の恵まれた土地の利用は農業とも競合してしまう。一方で、環境ストレス等により生じた荒廃地は、自然による森林回復が容易でないために未利用のまま残されていることが多い。本事業のコンセプトは土地競合が少ない環境ストレスがある場所での森林再生技術の開発である。JIFPRO では本事業実施期間の 5 年間でミャンマー・タイ・フィリピン・ウズベキスタン・DRC・ケニアなどで計 6 件の実証試験を実施してきた。また、本事業の一環として、森林再生技術データベース「森林再生テクニカルノート」を作成し、インターネット上で一般公開している他、マングローブ林の再生技術に関するガイドブックを作成した。

(2) 基調講演「温暖化対策としての荒廃地造林の意義」

丹下健氏(東京大学)からは、温暖化対策としての荒廃地造林の意義について講演された。途上国の経済発展と温室効果ガス排出実質ゼロとを実現するためには、省エネ技術革新による排出削減と共に吸収源の強化が必須であるが、工学的手法による二酸化炭素の分離・回収・貯留や資源化は、必要なエネルギーやコスト面で課題を残すため、現状では森林吸収源機能の強化が最も実効性の高い対策であるとされる。現在、森林が成立する環境条件の場所は、現在の森林や市街地・農地を含め地球上に 44 億 ha 分布しているとされるが、気候変動によって森林再生可能な土地は 2050 年までに約 2 億 ha 減少するおそれがある。また、林分高の高い林分ほど炭素貯蓄量も大きい傾向があり、森林吸収源の強化には、現存の森林バイオマスの増大と荒廃地の森林再生が必要である。一方で、荒廃地が元の森林に回復するには長い年月が必要であり、気候変動による環境劣化が進行する前に、その土地の環境ストレスに耐性を有する樹種を用いて森林再生を促進するべきである。

(3) 基調講演「コマツの「林業機械事業」と「持続的林業への貢献」」

坂井睦哉氏(コマツ)は、コマツのこれまでの林業への貢献への取り組みを紹介した。1992 年から約 15 年に渡り取り組んだフタバガキ科樹種の植林プロジェクトでは、植林用苗の安定的供給が困難であるという課題に対して、種子に頼らない挿し木による苗木大量生産技術を開発。細霧冷却を活用した経済的な方法による大規模温室で葉温の上昇を制御し高湿度で十分な光を取り込める環境を構築し、挿し穂を生産。西ジャワ島に設置した 200ha の植栽試験値は今でもコマツが出資して管理を続けており、エコツーリズムとしての利用も可能となった。石炭鉱山跡地の植林に元の生態系の中心樹種であるフタバガキ科を利用したが非常に困難で、機械化による効率化・大規模化・安全な作業の実現が必要であるとの課題が浮き彫りになった。そこで、平坦地及び斜面地での耕耘作業や植林作業への機械導入や、UAV による森林モニタリング・リモートセンシングによるバイオマス把握・衛星データなどを用いた森林変化などの情報を集約・提供することで、植林サイクル全体の情報化・見える化を推進している。

(4) 厳しい乾燥下でも生き抜くコンテナ長根苗の開発—ミャンマーとケニアでの取り組み—

柴崎一樹(JIFPRO)は、植栽直後の土壌深部への根系発達を促し植栽可能時期を広げることが期待されるコンテナ長根苗の技術開発の進捗状況を紹介した。乾燥地では深根性の樹種が多く、根の深さと活着に相関があることが指摘されている育苗容器の取り扱いにくさなどから普及が進んでいない。そこで、日本のスギ育苗などで既に普及している M-StAR コンテナを長根苗用に長くして活用し、苗を取り出しやすくすることを試みた。併せて現地で調達容易なココピートを用いて軽量化を図り、育苗棚やエンジンオーガーなどを準備した。ミャンマーの試験では、植栽後 4~5 カ月は降雨無しでも通常より高い生残率を示したが、雨季に入った後の保育作業が今後の課題である。ケニアでは 25 樹種のスクリーニングを実施し、樹種によって伸長速度が異なることを確認した。また、現地で非常に安価に入手できるもみ殻炭の利用にも可能性を見いだすことができた。

(5) 土壌保水材としての高分子吸収材 SAP の利用

高橋正通(JIFPRO)は、紙おむつ等にも利用される高吸水性高分子材 SAP の土壌保水材への利用について紹介した。SAP は土壌重量に対して 0.2~0.4% 程度の少量の添加で保水効果を発揮し、乾季の蒸発量を抑制する役割を果たす。また、排出されやすい水を土壌に保持し、植物が吸水しやすい有効水を増加させる。さらに、日本の樹種を用いた試験では、SAP 添加により初期の根茎発達を促進する効果が見られ、活着率向上が期待される。一方で、土壌や樹種に合わせた SAP 施用量や施用法を調整する必要があることや、塩類土壌の影響を考慮する必要がある。また、残留性・分解性の問題から、現在研究開発が進んでいる天然有機ポリマーの普及にも期待がかかる。

(6) ウズベキスタンにおける保育ブロック実証試験

浅見和弘氏(応用地質)は、ウズベキスタンの乾燥地で試験を実施した、植栽後速やかに根を地中深くに伸長させる工夫がなされた保育ブロック工法について紹介した。気候・土壌条件の異なる 3 地区において試験を実施したが、経済的価値の高い樹種の植栽が期待された砂の平原(年降水

量 100mm 程度)については植栽 3 年後に全個体が枯死しており、この地域での適用は難しいという結論に至った。一方で、保育ブロックの適用によって灌水量と灌水頻度の削減が期待されたデルタ地帯(年降水量 100mm 程度)においては、灌水頻度を 1/4 程度に抑えながら、生残率・成長ともに効果が見られた。同様に、年降水量 400mm 程度の山地でも高い生残率と根の伸長を示し、根系量も多くなるという結果が得られ、生残率の向上とコスト削減という現地の課題に対して有効性を見いだせる結果となった。保育ブロック工法は従来工法と比較してコスト面でも優位性をもっており、ウズベキスタン政府と共に保育ブロックを活用して国営地などでの緑化を推進していることが報告された。

(7) これまでに実施した森林再生実証調査及び「森林再生技術データベース」の紹介

仲摩栄一郎(JIFPRO)は、5 年間に実施したその他の実証試験と本事業で運営するウェブサイトについて紹介した。コンゴ民主共和国で実施したバイオチャーによる土壌改良試験では、砂質土上にバイオチャー(炭)を混ぜることによって成長改善の効果が期待できるが、効果が樹種によって差異があることも分かった。また、アグロフォレストリーの観点からは、農作物には顕著な効果がみられることも分かった。タイで実施した低湿地の造林技術開発の試験では、湛水馴化処理の効果と湿地条件への適応メカニズムを分析し、低湿地造林に利用可能な在来樹種のスクリーニングを実施した。フィリピンで実施した海岸砂丘林造成技術の試験では、植栽直後の活着率を向上させるためにヤシ殻とココピートをマルチングに利用したところ、クロヨナの樹種で活着率の向上がみられた。また、マングローブ再生に関する最新の文献や実践現場の知見を整理分析し、技術的指針となるガイドブックを作成した。これらの実証試験の結果や既存研究のレビューをまとめた技術集を「森林再生テクニカルノート」としてオンラインで公開している。

8.3 アンケート結果の分析

今回のセミナーで発表された森林再生技術は、それぞれの現場に適用されるよう、開発がすすめられているが、これらの技術を普及させるためには、各地の現場で再生技術の開発に携わっている、あるいは関連する知識を持っている関係者から、発表された再生技術の普及可能性について評価を得ることが必要である。また、途上国の各所で取り組まれている再生技術の他の開発現場から、森林再生の課題や有用な再生技術について提供を受けることも、再生技術全体の発展にとり重要である。そこで、アンケートにより、参加者の業種(Q1)および森林再生活動を始める際に重要と感じている情報や重視する点(Q3、4)を尋ねた上で、本プレゼンテーションの内容を参加者に評価してもらい(Q2)、逆にワークショップ参加者から、森林再生の課題および有用な森林再生技術に関し情報を収集した(Q5)。アンケートの回答数は 21 件であった。

分析結果と得られた示唆は以下のとおりである。

(1) 参加者の業種

本項目については、回答の網羅性を高めるため、セミナー申込の際の質問項目を用いて分析した。有効回答数は 133 である。回答者のうち「民間企業」が 73 人(53%)と最も多く、「大学、研究機関」の 23 人(17%)がこれに続いた。「民間企業」のうち、必ずしも森林再生業務が主業務ではない

と考えられる「メーカー、製品・サービスの販売等」が 35 人(26%)と最も多く参加しており、SDGs や ESG、CSR などへの関心の高さが伺える。民間企業でこれに続いたのは「調査(コンサルタント等)」の 32 人(23%)であった。



図 8-2. Q1:回答者の属性(業種)

(2) 各プレゼンの参考度・普及可能性

各プレゼンテーションの内容について、参考になったかどうか・普及可能性・課題などを自由記述式で尋ねたところ、いずれのプレゼンテーションについても、「参考になった」という内容の回答が大部分を占めた。その他の回答を以下にまとめるが、全体的な傾向として①コスト面での実用性に関する意見②有効性を認めており、より多角的な実証試験を求める意見③途上国など現地で適用する際の課題や現地住民への普及啓発の重要性に関する意見などが共通して挙げられた。

- 基調講演 1: 東京大学丹下教授
 - 何でも植林すれば良いということではなく、少ない水資源をどう使っていくかを考慮すべきという指摘が非常に参考になった。
 - 気候変動が進むことで「植林できる土地」も減っていくため、いまある荒廃地をできるだけ早く再生することが必要との指摘は、専門の方からすれば基本的なことかもしれませんが、ハッとさせられました。
 - 乾燥地は樹木が育ちにくいので温暖化対策としては弱いかと思っていたが、そうではないことが分かり良かった。
 - 世界には造林の必要性が高い荒廃地が広くあり、地球温暖化対策としても重要であることが分かりました。
- 基調講演 2: コマツ坂井氏
 - 造林に関しても大型機械を用いて大規模に実施されているのを初めて知り興味をもったので今後勉強していきたい。

- 企業として、林野庁や JICA、JIFPRO からの資金受託によって共同事業を継続的に進めることで社会貢献度が高い事例であることがわかった。
- 企業としての、資金獲得や事業運営のノウハウについても話があると、NGO 等にも参考になる面があったと感じる。
- 広い荒廃地を造林するためには機械化が重要であり、特に、日本を含めて、傾斜地において使用可能な造林用機械の開発に期待している。
- 長根苗
 - 発想が面白いと感じた。機械化と併せれば普及するのではないかな。
 - 樹種特性にあわせて、表層根、中層根、長根などの組み合わせにより、より生存率や生育のよい植樹ができればと感じました。
 - 長根苗を活用している他国の動向についても知りたい。
- 高分子吸収剤
 - コストが課題であり、途上国では政府主導でない植林の場合には普及に壁があると感じる。
 - 実際に現場で試してみたい。
 - 石油系でない生分解性のものが開発されることに期待する。
- 保育ブロック苗
 - 現地にある資材などですべて完結できる点がすぐれていると感じた。
 - 従来の苗と比べてコスト面で課題があると思っていたが、そうではないという発表。社会実装に近づいていると評価できる。

(3) 途上国で森林再生(植林)活動を始めするために必要な情報(複数回答)

途上国で森林再生(植林)活動を始めするために必要な情報として多かったものは「現地の受け入れ態勢(政府・現地 NGO)」(13 人)や「植林地周辺の住民の生活環境」(13 人)であった。前項で取り上げた通り、現地で導入する際の住民の理解や受け入れ態勢を重要視していることがわかった。また、「植林地周辺の住民の生活環境」の回答は昨年度よりも4ポイント増加しており、同様に、「その他」として「対象地域の人々の文化・伝統・価値観・生活習慣」「植林後の現金収入向上活動」(それぞれ1名)が挙げられている。これは COP26 において署名されたグラスゴー・リーダーズ宣言において「先住民や地域コミュニティの権利と森林の多面的価値を認め、収益性の高い持続可能な農業の開発などを通じて、コミュニティの権利を尊重し、住民の生活を向上させる」という点が盛り込まれていることなどから、地域住民の生活への関心が高まっていることが推察される。



図 8-3. 途上国で森林再生(植林)活動を始めするために必要な情報

(4) 企業が植林を通じた CSR・ESG を実施する際に重視・期待・アピールする点(複数回答)

上述した通り、CSR や ESG への意識が高まっていることを受け、企業が植林活動を通じた CSR・ESG を実施する際に重視・期待・アピールする点を問うた。「地域住民への裨益」が最も多く、有効回答 19 の 9 割を占める 17 人からの回答があった。次いで、「植林による炭素固定量」を 10 人が挙げた。こちらも昨年度と逆転するような形になっているが、前項までに述べてきた通り、植林技術そのものだけでなく、植林・森林再生活動自体が対象地域とその住民に如何に受容されるかというソフト面への意識が高まっていることが明らかとなった。こうした傾向は、COP26 を受けての世界的な潮流や SDGs への意識の高まりによるものと推定される。本事業においても、SDCs を始めた社会全体の動向や森林再生活動の担い手のニーズを把握しながら、本セミナーや森林再生テクニカルノートを通じた普及啓発・情報発信を継続していくことが求められる。

企業が植林活動を通じた CSR・ESG を実施する際に重視・期待・アピールする点は何だと考えますか
19 件の回答

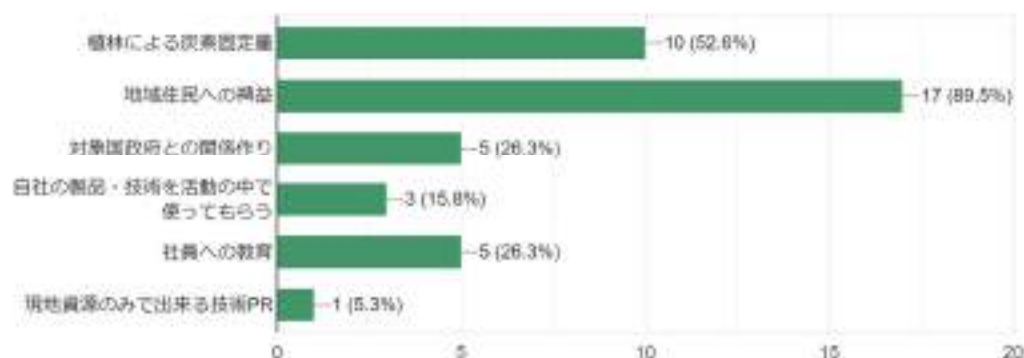


図 8-6. CSR・ESG を実施する際に重視・期待・アピールする点

(5) 本セミナーの感想や今後のセミナーに期待すること (記述回答)

今後の情報発信に活かすため、セミナーの感想や今後のセミナーに期待することを自由記述の形式で問うた。上述の通り、個々のプレゼン内容については十分な理解度を得られたという感想が多く寄せられた。また、COP26 を受けての森林再生活動の変化に関する意見や、防災の観点からマングローブ植林に着目しているという意見、実証試験から実践へとフェーズを移行するにあたって途上国の現場でのノウハウなど、技術の開発や紹介を超えたより実践的な内容を期待する意見もみられた。

9 委員会での検討結果

9.1 第1回委員会

日時	令和3年6月22日(火) 14:00～16:45
会場	林友ビル 6階 中会議室
議題	議題1. 今年度から新規委託調査業務の公募結果と委託先候補 議題2. 昨年度から継続して実施する実証試験(今年度の計画及び進捗状況) 2-1. JIFPROにより実施する実証試験1 ―高分子吸収剤を用いた半乾燥地造林― 2-2. JIFPROにより実施する実証試験2 ―M-StAR 長根苗による半乾燥地造林― 2-3. 外部委託により実施する実証試験1 ―保育ブロック工法による乾燥地造林― 2-4. 外部委託により実施する実証試験3 ―バイオチャーを用いた土壌改良― 議題3. 森林再生テクニカルノート(今年度の計画及び進捗状況)
配布資料	議事次第と出席者 説明資料1 立地条件を考慮下マングローブ再生技術マニュアルの作成 説明資料2 高吸水性高分子材(SAP)を用いた半乾燥地における植林技術の開発 説明資料3 M-StAR 長根苗を用いた森林再生技術開発(他の乾燥地へ適用可能性) 説明資料4 保育ブロック工法を用いた緑化の技術開発 説明資料5 コンゴ民における Biochar を利用した土壌改良及び造林技術の開発 説明資料6 森林再生技術データベース(森林再生テクニカルノート)進捗状況
参加者 (計15名)	委員:宇都木委員、丹下委員、谷本委員、吉川委員 林野庁:山崎室長、石川調整官 JIFPRO:太田理事長、高原専務理事、高橋技術顧問、仲摩主任研究員、柴崎研究員、 実施試験委託先:相川主任技師、小林専門技師、浅見技師長、大林技術職員

議題1. 今年度から新規委託調査業務の公募結果と委託候補先

(国際航業株式会社:立地条件を考慮したマングローブ再生技術マニュアルの作成)

委員: マングローブを再生するにあたって、現場で最初から試行錯誤する時間を短縮して、最適な選択肢を提供できることが重要。

→**委員:** JICA でも、インドネシアやミャンマーでマングローブ関連プロジェクトを実施した実績がある。それらの成果も活用して頂ければ幸いであるとともに、本事業で作成されるマニュアルも JICA で利活用させて頂きたい。

→**委員:** 汎用的なマニュアルと記載があるが、対象地固有の諸条件にも対応可能なものを期待している。

→**JIFPRO:** 各々の対象地で異なる諸条件を、チェックリスト等を用いて確認し、それに最適な選択肢を示すことができるマニュアルとしたい。

→**委員**: マニュアルを新たに作成するよりも、既存のマニュアルを整理・分析して、データベース化の方が有益ではないか？

→**JIFPRO**: まさに、そのイメージで、マングローブを再生する対象地の諸条件に照らし合わせて、適合する既存のマニュアルや事例を簡易に参照できるようなマニュアルとしたい。

→**委員**: 汎用性という意味では、あまりにも教科書的になると現場で使えない可能性がある。そこで、マングローブを再生するにあたって、注意すべき点を明確にして、選択肢を提供するマニュアルにしてほしい。そのためには、これまでマングローブ再生に関する経験に基づき、特に重要な点を指摘、注意喚起することが必要。

→**JIFPRO**: 国際航業の担当者は、これまで20年以上にわたり、マングローブの保全・再生に取り組んできた経験を持っており適任者であると考える。

→**委員**: マングローブは、場所によって諸条件が大きく異なり、どこでも適用可能な普遍的なマニュアルを作成することは難しい。タイでも、タイ語のマングローブ植林マニュアルが存在する。それら既存のマニュアルを精査するだけでも貴重な成果となる。社会科学的な視点からのマニュアルも存在する。

→**JIFPRO**: 既存のマニュアルから普遍的な部分を抜き出して汎用性を持たせるのではなく、既存のマニュアルを整理・分析して、対象地固有の諸条件に適合する対処方法を記載したマニュアルを参照することで、汎用性を持たせる方向で考えている。

→**委員**: 応募した会社はリモセン等を使った空間情報解析に長けていると認識。マニュアルの作成においてはそのような強みを活かしたものとすることが期待される。

林野庁: このマニュアルの対象者は誰を想定しているのか？本邦企業や本邦 NGO 等か、又は現地政府等の現地関係者か？1年で実施するためにスケジュール感が必要。

→**JIFPRO**: 第一は、本邦関係者(企業や NGO 等)を対象としている。現在、国際航業と契約交渉中であり、本日の委員会でのアドバイスを踏まえて、マニュアルの内容、構造やスケジュール感を詰めたい。

委員: マングローブと一口に言っても世界に広く分布している。中東サウジアラビアの乾燥地域のマングローブと東南アジアの湿潤マングローブでは、かなりの違いがあり、地域を区切って整理する必要がある。

→**JIFPRO**: マングローブの再生については、1970年代から生態学的アプローチに基づき、育苗して植林する方法について相当の本が出版されている。ただし近年、インドネシア等で、淡水湿地の排水路の造成によりマングローブが死滅した土地やエビ養殖池の開発跡地において、マングローブ再生の必要性が生じている。そこで、対象地固有の立地条件や水利環境に関して測定可能な客観的パラメータ(閾値)を用いて、マングローブの再生方法(立地改良、天然更新補助・促進)や植林樹種を選択できるようなマニュアルとしたい。そうすることで、どのような条件にも対応可能な「汎用性」を持つことができる。

→**委員**: マングローブ再生の優良事例を取り上げるだけでなく、失敗事例も取り上げてほしい。試行錯誤して、失敗した要因を特定、収集して示すことが大事。

→**委員**:例えば、サウジアラビアでは、道路建設によって分断された水循環をパイプを用いて復元しているが、パイプが小さすぎる場合は塩分濃度が高くなり過ぎて、マングローブ再生に失敗している。

委員:失敗事例は記録されることがほとんどないが、今回、国際航業の担当者の経験が豊富ということで、その経験に基づき、失敗しないよう注意すべき重要ポイントを指摘できる。本委員会のアドバイスに基づき、さらなる内容の検討をお願いする。

2-1. 高吸水性高分子材(SAP)を用いた半乾燥地における植林技術の開発

委員:SAP を植林の際に利用する目的としては活着率の向上ということか？

→**JIFPRO**:然り。SAP を全面施用することはコスト的にも難しいので、特に初期の活着に効果に焦点をあてている。

→**委員**:その場合、SAP によって植栽可能時期が長くなるというメリットが出てくるのか。植穴に SAP を入れることにより、初期灌水した際の水持ちのよさがよくなるというイメージか。それとも、2 度 3 度と灌水を想定した植林なのか。

→**JIFPRO**:植栽可能時期が長くなることは期待できる。また、近年の気候変動の影響で降雨パターンが安定しない時でも枯死のリスクを軽減できるのではないかと考えている。

→**委員**:SAP は乾燥地植林における補助的な役割という理解した。その場合、「SAP による植林技術の開発」という大きなテーマよりも、SAP が使える場面を明確にしたうえで、もう少し具体的なテーマ・目的でマニュアル等を作成されたほうがよい。

委員:SAP を添加した際の土壌 pF 水分曲線は既に作られてはいないのか？既に存在する場合、それがまだ使える情報になっていないから、今回も同様の試験を行うということか。

→**JIFPRO**:既にいくつか存在している。

→**委員**:民間企業から問い合わせがあった際に、本当に保水性は上がるのかといった有効性や、各条件によってどの種類の SAP が一番よいのか等の提示できるデータが今のところほとんどない。今回の試験でその辺をきちんと整理して公表してほしい。実際に植林地で何回ほど膨潤を繰り返せるのか(有効回数)、使えない場面、使用期間がどのくらいなのかも知りたい。

→**JIFPRO**:みなさんが参照できるデータを整備していく。

→**委員**:実際に商品として既に販売されている SAP の情報(特性)を評価し公開することに支障はないのか？

→**JIFPRO**:SAP メーカーは頻繁に製品改良をしている。これまでの試験結果からみる限り SAP の種類による保水性等の違いはほとんど見られなかった。

委員:苗木を使ったポット試験をやるとのことだが、乾燥地と日本の土壌とは塩濃度等も異なる中で、日本で得た結果をそのまま乾燥地で適用できるかという点についてよいのか？

→**JIFPRO**:珪砂でやれば汎用的なデータになると考えている。

→**委員**:珪砂で乾燥地の土壌を再現できるのか？

→**JIFPRO**:砂質土壌の乾燥地であればほど再現できると考える。砂質土壌でしか SAP は効果がな

いという報告もあるので、本試験も砂質土壤に限定する予定。

→**委員**:それであれば、今回の結果がどこでも使えるものではないので、テーマ、目的でそれを明確に(限定)し、限界(対象)を示したうえで結果を公表したほうがよい。

→**委員**:砂ではなくココピートに使ってみたらどうか。日本(特に北海道)のコンテナ苗では6月頃に枯死が多い。コンテナにSAPを入れたら活着率が上がるかもしれない(カラマツ、スギ等)。ユーカリもコンテナ(ココピート)で作っているので、ココピートも検討してみたらよい。

→**JIFPRO**:灌水が行われている(産業)植林地でSAPを入れることによって植栽後のコストが減らせる等も期待できるかもしれない。色々な場面がある。

→**委員**:使用条件・目的・場面を明確したうえで、それに応じたデータを整理してほしい。

林野庁:SAPのコストはhaあたりいくらくらいになるのか？

→**JIFPRO**:製品によって大きく異なるが、1本あたり10数円～数十円程度。

→**委員**:乾燥地では1,000本/ha程度なのか？

2-2. JIFPROにより実施する実証試験 —M-StAR 長根苗による半乾燥地造林—

委員:ケニア乾燥地における育苗段階での課題は何なのか？長根苗はその課題解決にどう貢献できるのか？

→**JIFPRO**:現時点で乾燥地でのビニルポット苗の生残率は低いという報告があるので、長根苗で生残率を上げる効果があると考えている。

→**委員**:灌水しても生残率が低い場所において、長根苗がどこまで効果があるかを見込んでいるのか？また、ビニルポット苗の場合は寝巻きがおきるとか、根が伸びないといった課題であれば、長根苗でなくても通常コンテナ苗でも問題ないかもしれない。もしくは長根苗でこれまでよりも灌水を減らせるかもしれない。もう少し、現地の課題を明確にしてから、長根苗が使える場面を想定してテーマ・目的を検討されたほうがよい。

→**JIFPRO**:長根苗技術の可能性としては、これまで植えられてこなかったようなArid(乾燥)ゾーン等での植林も考えられる。対象地の拡大も期待できるのではないかと。植栽試験も今まで植林の対象地ではなかった場所でやるといいかもしれない。

→**委員**:キツイ周辺では既に植林は進んでいる。ケニアとしてはアカシアしか生えないようなVery arid(強乾燥)ゾーンでの植林を目指しているかもしれない。Very arid(強乾燥)ゾーンでも川の近くには農民が住んでいて農業や牧畜をされている。川から遠く離れている場所でも全く植生がないわけではない。

→**委員**:Very aridゾーンのほとんど土地利用がされていない荒廃地において、長根苗がアクセスできるような水が深層にあるかどうか。

→**委員**:オーストラリアの降水量400mm以下のところでも、ワジ(雨期に水が流れる季節河川)にはユーカリ、その他はアカシア林となっているところがある。土質(保水力と硬さ)もチェックしたほうがよいだろう。ハードパン(堅い土の層)があるとすると、長根苗では難しいだろう。どちらにしても降水量400mm程度が限界な気がする。

→**委員**:土はものすごい硬い場所が多いが、色々な土地条件のところがあるので、長根苗が使える

る場所もあると思う。

→**JIFPRO**: 現地の事情をよく知る KEFRI に課題や現地の状況を確認したうえで、長根苗による課題解決ができそうな場面を探していく(ただし、今年度は育苗試験によるスクリーニングがメイン)。

→**委員**: 今年度はとりあえず育苗だけでもうまくいけば良いのではないか。最終的なとりまとめとしては、ミャンマーの試験結果をとりまとめて公表してほしい。特に植栽試験のデータは貴重である。ケニアについては 1 回の試験で、何かを言うのは難しいと思うので、今回の結果を示すだけで、次に提案する試験の材料集めといったスタンスがよいだろう。

→**委員**: ケニアにおいては育苗試験でスクリーニングができればよいのではないか。

(→**JIFPRO**: まだ造林技術が確立していないような高価値の稀少種等もスクリーニングの対象に含めることで、次の試験の材料(解決すべき課題)につながると考えている。)

→**JIFPRO**: 貴重なサンプル(データ)がミャンマーにまだたくさん残っているが、現状渡航できる見込みはない。

→**林野庁**: 現地の人と連絡ができるような状況なのか？

→**JIFPRO**: とれていない状況である。

→**委員**: ミャンマー渡航は難しい中でできる限り成果を報告してほしい。

→**委員**: ケニアには実際に渡航する予定か。

→**JIFPRO**: 然り。

→**委員**: 現地の KEFRI や JICA とは連携は既に進めているのか。

→**JIFPRO**: 然り。

2-3. 保育ブロック工法を用いた緑化の技術開発

委員: 3 点質問させて顶きたい。

①砂質沙漠土への保育ブロック苗の適用は難しいという結果でよいのか？

②最終年度ということで、ヌクス・アングレンに植栽した苗木は今後どうするのか？

③根重は生重量、乾燥重量のどちらでの測定を予定しているのか？

→**応用地質**:

①解決課題として「経済的価値の付与」「灌水量の低減」を挙げ、家畜の飼料となるヤナギバグミを植栽したが、灌水量を極力減らしたことやネズミの食害等もあり、ほとんどの苗木が枯死する結果となった。この結果を受けての樹種や灌水量の再検討はできておらず、必ずしも保育ブロック苗が(ヌクスの砂質沙漠土に)適用できないわけではないと考えている。

②アングレンは、国家林業委員会の土地であり、交渉によって、今後も一定期間植栽試験を継続できると考えている。ヌクス沖積草原土は大学の試験圃場であり、もともと植林用の場所ではないため、今後、全て掘り取る(現状復帰する)ことになると考えている。

③渡航期間が限られるため、根重は生重量での測定を想定している。乾燥重量については、現地の方とも相談し、可能であれば測りたい。

委員: 根系すべてを掘り取るのはかなり大変である。限られた渡航期間で、何を目的に調査するの

かを明確にしたほうが良い。直根の到達深度を調査したいのであれば、直根の先端を探すだけで良いし、根のバイオマスを調査したいのであれば、保育ブロックの下を2層～3層に分けて掘り出して根重を測定するだけでも十分意味がある。また、根のバイオマスを比較する際は乾燥重量でないと意味はない。あるいは単位体積当たりの根長を、太さ別に測定したほうが良い。

委員:側根が横方向に広く伸長している可能性もある。また、1試験区3サンプルでは適切に比較できないと思われる。如何にサンプル数を増やすかを考えたほうが良い。地際直径の太さ別にいくつか根系を掘り取り、地際直径と根の状態に相関があることを確認したうえで、地際直径で代替的に比較を行ってはどうか。また、保育ブロックから伸びている直根の太さを測定して比較しても良いかもしれない。

委員:ヌクスとアングレンでは樹種が違うため、根の形態が異なり比較できないのではないかな？

→**応用地質**:ヌクスとアングレンでの根系の比較は行わず、それぞれの試験地において保育ブロック苗とポット苗を比較する予定である。

委員:アングレンでは土壤改良試験の苗木も掘り取るのか？

→**応用地質**:時間があれば確認したいと考えていた。

委員:(作業を手伝ってくれる)若い人はいるか。

→**応用地質**:ヌクスではタシケント農業大学ヌクス分校の学生に手伝ってもらっている。アングレンは、副大臣に依頼することで林業局の職員・作業員が手伝ってくれる。私達が渡航出来たら調査方法を指導し、帰国後も継続して調査を進めてもらいサンプル数を増やすことができないか考えている。

→**委員**:重労働のため、それはむずかしいだろう。

委員:ウズベキスタンにユンボなどはないのか？ユンボがあればトレンチを掘ったり、あるいは根系を一気に掘り出して大まかに調査しても良いのではないかな？

→**応用地質**:ウズベキスタンにユンボはほとんどなく、あっても非常に大型のものになる。ヌクスは大学構内のため通路が狭くユンボは侵入できない、アングレンは山道のうえ急勾配のため大型のユンボは登ってこれないと思われる。

→**委員**:(ユンボで)トレンチを掘るのであれば、苗木の周囲を掘り、苗木直下の土壤をブロック状に切り出すのが一番手っ取り早いと思われる。その後、持ち帰ったブロックから根を洗い出して測定すればよい。

→**委員**:いかに現場での作業を少なくするか、作業を単純にするか考えたほうが良い。

委員:ウズベキスタンで保育ブロックの作製方法を普及してきたことは一つの成果である。一方、現時点で保育ブロックの効果はまだ明確ではない。ポット苗とは違うということを理解してもらうためにも、林業委員会に試験的に使ってもらって実績を積み、普及していくと良い。また、土壤改良や灌水方法等を試行錯誤し、データを蓄積できる環境をカウンターパートとすることが大切である。

委員:砂質砂漠土はネズミによる食害、沖積草原土は除草時の誤伐があり、試験データがきちんと取れていない。本年度は灰色砂漠土(アングレン)での調査に注力して、その他は参考とするのが良い。

2-4. 外部委託により実施する実証試験 3 —バイオチャーを用いた土壌改良—

委員: バイオチャーの保肥力改善の効果だが、初期段階では特に、バイオチャーそのものが持つ栄養素が効いていると考えられる。どのように切り分けられるのか。

→ **日林協**: バイオチャー施用の初期段階では、保肥力改善よりも、バイオチャーの栄養素自体が効いたと部分はあと思う。栄養素効果と保肥力効果はなかなか切り分けが難しいと考えている。

委員: バイオチャーの効果(CEC や栄養素)について、貧栄養な土壌に対して、バイオチャーの持つ CEC や栄養素を重量ベースで比較すると、一見すると非常に大きい効果があるような印象を与えてしまうが、実際には土壌に対して数%混ぜるにすぎないので、混入率を掛けた評価が必要で、誤解のないように整理する必要がある。

→ **日林協**: バイオチャーの土壌改良効果の示し方は、混入率をかけた評価をする。

委員: 細根のサンプリング方法について、近いところと遠いところで同数採取すると、遠いところのサンプリング密度(率)が下がる。遠いところはより多く取らないといけないが、そこまでやる必要があるかという問題もある。(例えば、50cm が 1 箇所なら、150cm は 5 箇所取る必要がある。)サンプリングの円筒に細根が入る入らないの問題もあり、数を取らないと比較が難しいと思う。

→ **日林協**: 細根のサンプリング方法について改めて検討する。どのように・どのくらいコアサンプルを取るか、現地状況を確認しながら、作業量と期待できる成果のバランスを見て、検討を進める。どの位置で取ることが適切なのかは、樹種によって植栽木の現状のサイズが異なるため、樹種によって変わってくるかもしれない。細根が円筒に入る入らないの問題もあるので、取り方も含めてさらに検討を続ける。

委員: 細根の調査について、植栽木以外の、他の植物の影響はないか？また、未利用バイオマス資源の調査はどのようなイメージか？適当な資源が見つかった後の炭化手法も併せて検討する必要があるのではないか。

→ **日林協**: 細根のサンプリングについて、試験地では 5 樹种植えているが、そのうち、アカシアの区画は下草が多く、細根のサンプルはかなり難しいと考えている。その他の樹種は下層にそれほど雑草はなく、細根サンプルは取りやすいと考えている。

未利用バイオマス資源調査について、タケやオイルパームの残渣等を考えている。調達にあたっては、輸入が難しいもので、代用可能なものは日本での調達も考えている。また、アブラヤシの幹は含水率が高いため、現地の伏せ焼き技術でバイオチャーを作製できるか、テストする必要があると考えている。

林野庁: 現地のカウンターパートはどういう方々か？どのように現地とコミュニケーションをとっていくのか？

→ **日林協**: カウンターパートは試験地に拠点を置く現地 NGO である。現地で植林等の活動を行っている NGO で、実績はある。渡航については、コンゴ民で実施している JICA 森林案件でも渡航を

検討しており、そちらで渡航の目処が立てば、渡航する人員との協力も検討する予定となっている。基本的にはリモートで進められる方法を考えている。現地とのコミュニケーションには whatsapp 等を活用している。

委員: キャッサバでは収量が増えたデータがあるが、連作のデータも取るのか？

→ **日林協**: キャッサバが普通連作が可能かどうかは現地に確認したいと思っている。一方、昨年度の収穫後、現地ではすでに連作を始めていて、2022 年 2 月に連作の収穫量のデータを得られる見込みである。

議題 3. 森林再生テクニカルノート(今年度の計画及び進捗状況)

委員: 山火事被害が報道されると、アクセス数が増加する傾向が見られるとのことだが、山火事対策についての情報を増補する予定はないのか？

→ **JIFPRO**: 山火事対策に関しては、既にデータベース上で網羅しており、増補の予定はない。

→ **委員**: 最終年度ということで、出来る限り情報の追加やアップデートをお願いする。

9.2 第2回委員会

日時	令和3年12月23日(木) 14:00～16:45
会場	林友ビル 6階 中会議室
議題	議題1. 昨年度から継続して実施する実証試験(今年度の計画及び進捗状況) 1-1. JIFPROにより実施する実証試験1 ―高分子吸収剤を用いた半乾燥地造林― 1-2. JIFPROにより実施する実証試験2 ―M-StAR長根苗による半乾燥地造林― 1-3. 外部委託により実施する実証試験1 ―保育ブロック工法による乾燥地造林― 1-4. 外部委託により実施する実証試験3 ―バイオチャーを用いた土壌改良― 議題2. 今年度から新規委託調査業務―マングローブ再生ガイドブックの作成― 議題3. 森林再生テクニカルノート(今年度の計画及び進捗状況) 議題4. オンライン公開セミナー(厳しい環境下での植林技術の開発)の開催報告
配布資料	議事次第と出席者 説明資料1 高吸水性高分子材(SAP)を用いた半乾燥地における植林技術の開発 説明資料2 M-StAR長根苗を用いた森林再生技術開発(ケニア半乾燥地へ適用検討) 説明資料3 保育ブロック工法を用いた緑化の技術開発 説明資料4 コンゴ民におけるBiocharを利用した土壌改良及び造林技術の開発 説明資料5 マングローブ再生ガイドブックの作成 説明資料6 森林再生技術データベース(森林再生テクニカルノート)進捗状況 説明資料7 オンライン公開セミナー(厳しい環境下での植林技術の開発)開催報告
参加者 (計21名)	委員:岩田委員、宇都木委員(オンライン)、丹下委員、谷本委員、松根委員(オンライン)、吉川委員 林野庁:石川調整官、武田氏 JIFPRO:太田理事長、高原専務理事、高橋技術顧問、田中技術顧問、仲摩主任研究員、柴崎研究員、倉本研究員 日本森林技術協会:相川主任技師 応用地質:浅見技師長、大林技術職員 国際航業:松井主任技師(オンライン)、弓山氏(オンライン)、神谷氏(オンライン)

1-1. 高吸水性高分子材(SAP)を用いた半乾燥地における植林技術の開発

委員:まとめの「重力水の排出流去を抑える効果」とはどういう意味か？

→**JIFPRO:**SAPが重力水を吸収することで、重力水が下へ流れて行ってしまうのを抑え、対象土壌の保水力を高める効果があると考えている。

委員:本SAP試験の成果を普及するにあたって、民間企業やNGO等のSAPユーザーに対して、どのような形で公表することを考えているか？

→**JIFPRO:**乾燥が厳しい土地等において、SAPのニーズは高い。そこで、SAPが水を吸収・排出

する基本的なメカニズムを説明するとともに、実際に現場で植林する際の注意事項等を伝えたいと考えている。

委員: 成木の水需要は莫大であり、それを賄える程の SAP 投入は現実的でない。したがって、SAP 施用の目的は、植栽後の初期活着を支援し、そのストレスを緩和することが目的であると、PR していくことが重要ではないか。

委員: SAP は、吸排水を繰り返すと劣化すると言われているが、その点についてどう考えているか？

→**JIFPRO**: 確かに、SAP を何回も使用すると、PF 曲線が変わって吸収能力が落ちる。農業分野では、SAP の吸収能力の長期持続性が求められると思う。一方、植林分野では、SAP を用いることにより、植栽直後の水を有効活用することで、植栽直後の活着、初期活着を向上させる目的で使用されるので、長期持続性は必要ないと考えている。

→**委員**: 弊社のブラジル(産業)植林地では、SAP を使用しているが毎年常時使用している訳ではない。例えば、例年より早めに雨期が終了し、降雨が少なくなった場合等に限って、注入器を用いて植え穴にゲル状 SAP を施用し活着率の向上を図っている。本調査結果は、SAP の植林利用について基礎的な情報を提供するものであり、民間企業にとって大変有用で有難い。

林野庁: 今後、成果を公表するにあたって、事前に民間企業の要望等をヒアリングする等、コミュニケーションを取っていく予定はあるか？

→**JIFPRO**: 既に、SAP メーカーからは連絡がありコミュニケーションを取っている。ユーザーである植林企業は、企業秘密などの観点から、SAP の施用技術等について公開できない場合が多く、ヒアリング等は予定していない。ただし、本委員会やセミナーを通じて SAP ユーザーである植林事業者からもフィードバックをもらった。

委員: SAP のコストはどの程度か。

→**JIFPRO**: 今回、試験に用いた SAP の単価は 1,600～1,900 円/kg である。したがって、縦・横・深さ 30cm の植え穴に、0.2%重量ベースで混ぜた場合、1本あたり 70～90 円になる。ただし、産業植林等で大量に使用する場合には、大量購入で安く仕入れることができるので、単価も安くなる。

委員: 土壌中のカルシウム等の陽イオン含量の関係で、SAP を使うのに適さない条件の土地もある。使える条件、使えない条件を可能な限り示していけると良い。

→**JIFPRO**: SAP の使用限界が分かるようなかたちで成果を公表していきたい。

委員: SAP が保持している水の中で、実際に植物が利用できる水の量、すなわち pF4.2 までの有効水の割合は？

→**JIFPRO**: 森林関係の調査研究機関で、そこまで分析できる所は見つからなかったのもので、本試験結果から推察するしかない。植物が利用できない水は、それ程多くないと考えられる。

1-2. JIFPRO により実施する実証試験 —M-StAR 長根苗による半乾燥地造林—

委員: シュートはどこ部分を指すのか。

→JIFPRO: 地上部分で、茎や葉っぱすべてを合わせた部分。

委員: 成長の違いは既に知られていた樹種特性なのか、今回の試験で分かったものか。また、対象樹種が早生樹なのか、先駆種や極相林を構成する樹種なのかといった情報はあれば、それも考慮したほうがよいのではないか。

→JIFPRO: 早生樹かどうかはケニア森林研究所で把握しているのでその情報も利用する。

→委員: 同じ属や同じ立地条件に生育する樹種でも、乾燥に対する適用・反応が違うのがあるので、無理にグルーピングする必要はない。それよりも、各樹種がどういうパターンで成長しているかを整理するだけで十分である。違う成長戦略を持っているから、違う樹種になっているわけで、それを無理にグルーピングするのは難しい。

→JIFPRO: 25 種だけでなく、それ以外の樹種の成長パターンの予測にも参考になるようにグルーピングしたかったが、それよりも対象樹種の個々の特性を整理することを重視したい。

→委員: 委員に賛成で、グルーピングしても実際の土壌条件によって成長パターンが変わる可能性があり、グルーピングにこだわらないほうがよい。

委員: 樹種は自生しているものか、外来種は？

→JIFPRO: ユーカリは外来種で、その他はほとんど在来種でよく植えられる樹種。

→委員: アラブで見た *Ziziphus mauritiana* は細長かったので成長が遅いと思う。

委員: 過去に対象 25 樹種は課題解決・技術開発のための植栽試験をやっているのか。

→JIFPRO: メリアや *Osyris lanceolata* (サンダルウッド) 等の一部の樹種はケニア森林研究所が植栽試験を実施(生残差ではなく成長差を見るのが多い印象)。

→委員: それでは今回の技術開発の目的(試験の意図)は何か。年間降水量が 900mm ある場所で造林を促進するうえでの課題解決案として、通常の植え方では 11 月降雨量がなくなった時に枯死し、長根苗では生きるものを探しているのか、それとも 7~9 月など乾季植栽を想定しているのか。

→JIFPRO: 今回の試験の主目的は植栽可能時期を広げること。現状、雨季が遅れて植栽時期が遅れることが多々ある。そういった状況下で植栽後の雨季が短くなってしまっても確実に乾季を乗り越えられる技術として長根苗に着目し、実際に乾季に入る前の 5 月頃に植え、植栽後すぐに乾季が来ても長根苗であれば乾季を乗り越えられるかを実証するのが試験の目的。

委員: ケニアで長根苗を普及するにあたって、資材調達の面で課題はないのか。

→JIFPRO: M-StAR は現地で手に入らないので、実用化するためには日本から輸出しなければならないので、実際の調達にあたってはケニア政府や日本の企業ともよく話合う必要がある。コピーはケニアでは安価で手に入る。

→委員: M-StAR は繰り返し使えるので、輸出手続きさえ進めば普及しやすいと理解。

委員:長根苗なので、実際の植林地の深さ毎の土壌水分の年変動がどうなっているか、といった環境データもあると、長根苗技術を普及する際により説得しやすくなるだろう。

1-3. 保育ブロック工法を用いた緑化の技術開発

委員:植栽時、保育ブロック苗(大)の樹高が高い理由は何か？

→応用地質:育苗方法、育苗期間は、ポット苗や保育ブロック(小)と同じだが、保育ブロック(大)の根鉢が大きいため、比較的大きく成長したと考えられる。

委員:本試験の保育ブロック苗の根の写真を見ると、直根だけでなく根が横にも広がっているが何故か？

→応用地質:苗畑での育苗中、側根も保育ブロック内部に伸長していて、保育ブロックの側面で空気根切された状態である。植栽後にその側根が横方向に伸びたと考えられる。

委員:本試験結果を見ると、生残率及び成長に関して、保育ブロック苗とポット苗との間であまり差が無い。その原因は何と考えているか？

→応用地質:ポット苗の育苗期間が従来方法より短く、ルーピングが少なかったと感じている。そのため、植えた後、根が伸びやすかった可能性がある。ただし、直根については、ポット苗よりも保育ブロック苗の方が大きく伸長し、統計的にも有意差が出ている。生残率に差がない理由として、植栽後に、すべての苗木が枯死することを心配して2回も大量に灌水を行ったことが考えられる。本来、ウズベキスタンでは灌水をしないため、灌水しなければ、ポット苗と保育ブロック苗の間に生残率に差が出た可能性がある。

→委員:そうすると、育苗期間などを考慮して、根のルーピングを未然に防げば、コストの安いポット苗でも生残率が確保されるかもしれない。

→委員:現地では、通常50cmの穴を掘って植えるとのことだが、試験の時は、どのようにして植えたのか？

→応用地質:オーガーで直径20cm、深さ50cmの穴を掘って植えた。

→委員:通常のポット苗の植栽では、そこまで深く穴を掘らない。今回の試験では、ポット苗としては、通常より良い植え方をして生残率が高くなった可能性もある。ポット苗と保育ブロック苗の間に差が出なかったのは、もう少し工夫の余地があったかと思う。また、植え穴の外、土壌の堅いところに根は届いていたのか？

→応用地質:根を掘り起こす前に、土壌を柔らかくするたえに水を撒いており、正確には分からないが、植え穴の外にも届いていたと思われる。

林野庁:コストなどについて、裸苗・大苗・ポット苗の比較表が示されているが、保育ブロックも比較対象として加えることは可能か？その際、コストについて具体的な金額を入れることは可能か？

→応用地質:最終報告書には、保育ブロック苗を含めた比較表を記載する予定。大苗と保育ブロック苗のコスト具体的な金額を昨年度の報告書に記載している。保育ブロックは大苗の半額のコストで済む試算結果が出ている。

委員: 植栽試験に見られる初期成長の差は、その後年数(3~4 年)が経てば、その差がなくなっていくのが一般的である。したがって、コンテナ苗と保育ブロック苗の根に関しても、今後、初期成長で見られた差がなくなっていく可能性が高い。

→応用地質: 補助事業終了後も、来年まで追跡調査を行う予定である。

1-4. 外部委託により実施する実証試験 2 —バイオチャーを用いた土壌改良—

委員: 産地によってカリウムの含有量が異なることは良くあることなのか?あるいはインドネシア国内でもバラつくと考えるべきなのか?

→委員: 土壌の影響を受けるため、幹のカリウム含量にバラツキは出るだろう。もう一つは、炭を焼くときの温度で炭化の割合が異なるため、炭化が進むほど濃度が高くなる可能性がある。今回の分析では繰り返しがないため有意な差かどうか分からないことと、炭に焼くときも全く均質なものが製造できているわけではないことにも注意が必要。

→日林協: 同じ個体でも、心材か辺材かというところでもデータがバラつく事はある。今回、分析に用いたサンプルは、ある程度まとまった量を粉砕して混ぜたうえで分析を行っているが、反復は取れていない。

→委員: 反復がないとデータとしての信頼性がないため、繰り返しをとってどれくらいのバラツキが生じるのかを出す必要があるだろう。

→日林協: 化学性の分析は費用的に負担が大きいので、分析にかけるサンプルの種類を減らす等の方法を検討したい。

→委員: また、サンプルを粉砕して分析しているということだが、実際施用している炭よりも表面積が大きくなっている可能性があるのではないかと?

→日林協: 現地と比較して、かなり細かく砕いたサンプルで室内試験の計測は行っている。室内試験の中では、各サンプルの粒径は揃えている。

委員: スライド 6 の植栽試験の方法について、化成肥料の施肥は行っていないのか?

→日林協: 化成肥料の施肥は行っていない。地拵えの際に処理した雑草は土壌にすき込んでいく。

→委員: 現地でキャッサバ栽培の際は、化成肥料は使わないのか?

→日林協: 現地では通常、キャッサバは焼き畑で栽培され、化成肥料は用いられていない。

委員: 2020 年植栽は想定に反して炭を施用した箇所で生育が悪く、炭が多すぎたかもしれないとのことだが、スライド 9 の 12.9 kg/m^2 とはスライド 6 の 2019 年度の植栽区との施用量の比較をしようとした場合、50 cm の深さの植穴全体への施用量を平米換算した値という理解で良いか?

→日林協: その理解で間違いはない。深さ 50cm 分の施用量を、植穴の面積で割った値が 12.9 kg/m^2 となる。土壌との重量比で 2%の量を混ぜ込んでいる。一方で、2019 年度の植栽区は、0.39%と 1.54%の重量比で炭を施用した。

→委員: 炭の濃度はそれほど変わらないが、混ぜ込む深さを 50 cm までに変えたことも影響してい

ると考えられるか？

→**日林協**:2020 年度の植栽区画がなぜこういった結果になったかについては、まだ原因は分からない。現地の技術者とやり取りしながら考察を深めていきたいと考えている。

委員:2019 年度は炭を施用し、2020 年度に初めて半炭を施用したということのようだが、そもそも実験計画に不備があったのではない？2019 年度と直接比較できない設計の試験で、2020 年度と違う結果が出た理由を探しても難しい。また、対象樹種を *Maesopsis* とした理由は？

→**日林協**:2020 年度の計画段階で、炭の施用で有意な成長量増加が確認されていたため選定した。マメ科ではないため、炭と半炭の栄養塩量の違いの効果を見るためにも適しているのではないかと想定もあった。生存率についても炭の施用区で 90～85%程度、無施用区で 80%程度の生存率があり、同程度の生存を期待していたがうまく行かなかった。

委員:炭の効果がある樹種、無い樹種があることについては、どのような理由が想定されるか？

→**日林協**:2019 年度の植栽区画は土壌表層にバイオチャーを施用しているため、深根性の樹種は効果が出づらく、浅い層に根を張る樹種の方が効果が出やすいのではないかと考えている。そういったところを確認するために、今後の調査として根系調査を計画している。

→**委員**:現時点では、どの樹種が深根性で、どの樹種が浅根性ということは分かっているのか？

→**日林協**:文献調査で各樹種の資料を集めてはいるが、根のデータは集まりづらいのが実情。

委員:最後のまとめ方として技術マニュアルの作成とあるが、どのように結果を反映させる予定か？

→**日林協**:2019 年度植栽区の結果から言えば、バイオチャーの施用により成長に効果のある樹種と無い樹種がある。また、キャッサバの収穫量についても大きな効果が出ている。そういった所も加味してコスト分析を行い、結果を取りまとめた。

議題 2. 今年度から新規委託調査業務(国際航業株式会社:立地条件を考慮したマングローブ再生技術マニュアルの作成)

委員:提示している失敗例については、以前マングローブ林であったがなくなった場所に植えたのか、それとも以前マングローブでなかった場所に新しくマングローブを植えて失敗したのか？

→**国際航業**:以前マングローブであったが、何らかの理由によりマングローブが育たない条件になってしまった場所に植えたようである。本ガイドブックでは、マングローブの再生・回復を想定しており、もともとマングローブが生育していない場所への植林は考えていない。

委員:事前に植栽適地を確認することが重要であると思われるが具体的には？

→**国際航業**:マングローブは、平均海水面と平均高潮位の間で生育できる。もともと生育可能域であったが荒廃後に地盤の変化等があつて、潮流が入らない環境になる等、立地環境が変化し生育範囲外となったこと等を確認する必要がある。

→**委員**:ガイドブックには、何が失敗原因かをできる限り明確に記載して貰いたい。

→**委員**:失敗事例は大変参考になる有用な情報である一方、なかなか外に出てこないと思うが、そ

れらをどのように収集するのか？また、失敗の原因は植栽技術面だけでなく、土地の管理や住民など社会的要因も考えられると思うが、その辺りも調査の対象として考えているか。

→**国際航業**: 一般的に失敗例は出しにくいものだが、作業していく中で既にいくつか見つけている。網羅はできないが、公表されている失敗事例については出来る限り収集し分析したい。今回、技術面についてメインで触れていくが、社会面を無視していくものではない。

→**委員**: failed case mangrove forest と検索すると失敗事例が紹介されている HP があるので活用してほしい。

林野庁: マングローブ植林が成功するためには、社会的要因、政府の法令、土地所有者との調整等も必要だと思われるが、ガイドブックにはそれらの情報を含めるか？

→**国際航業**: 本ガイドブックは、技術がメインだが、マングローブ再生にあたって、社会的要因等がクリティカルであることを紹介している文献資料があれば紹介したい。

委員: 植林コストの記載がある文献資料があればぜひ記載してほしい。

→**国際航業**: BOX のコストベネフィットのところ記載する予定である。

委員: 既存マニュアルの紹介では、著者や出版社、雑誌名の記載がない。ガイドブックには、URL 等も含めて情報入手先を明記してほしい。

→**国際航業**: 最後の文献リストに、それらの情報を記載する。

その他: 次回の委員会について

委員: 次回の第3回委員会は、5年間の成果として、総合まとめを行うべきではないか。最初に設定した課題に対し、どういった成果か示す、ということ。

→**委員**: 同意する。5年間の成果を議論するとなると、これまでの先行研究と何が違うのか、どこまで公開するのか含めて議論する必要がある、時間がかかるのではないか。開催方法のやり方を工夫する必要がある。

→**JIFPRO**: 5年間のまとめは必要と考える。林野庁への報告としては単年度であるが、JIFPRO として HP に掲載するなど公表するにあたって、その内容を議論いただくと良いかと思っている。事前に資料を委員に送り、意見をいただくなど工夫したい。

→**委員**: 限られた時間で細かいところまで見ていくのは難しいかもしれないが、工夫いただくとありがたい。

→**委員**: 本事業による技術をどこまで信頼してもらえるかが重要で、不確かなものは公表できないので、どこまで公表するかしっかり議論する必要があると思う。

9.3 第3回委員会

日時	令和4年3月9日(水) 13:00~16:00
会場	林友ビル 6階 中会議室
議題	議題1. 昨年度から継続して実施する森林再生技術(本事業の最終成果物について) 1-1. JIFPROにより実施する実証試験1—M-StAR長根苗による半乾燥地造林— 1-2. JIFPROにより実施する実証試験2—高分子吸収剤を用いた半乾燥地造林— 1-3. 外部委託により実施する実証試験1—保育ブロック工法による乾燥地造林— 1-4. 外部委託により実施する実証試験2—バイオチャーを用いた土壌改良— 議題2. 今年度から新規の委託調査業務—マングローブ再生ガイドブックの作成— 議題3. 森林再生テクニカルノート(最終成果)
配布資料	議事次第と出席者 説明資料1 厳しい乾燥下でも生き抜くM-StAR長根苗 説明資料2 高分子吸収材(SAP)で土壌水分を保持 説明資料3 根の力を活かす保育ブロック苗 説明資料4 砂質土壌を改良するバイオチャー(炭) 説明資料5 マングローブ再生ガイドブックの作成 説明資料6 森林再生技術データベース(森林再生テクニカルノート)最終成果
参加者 (計18名)	委員:岩田委員、宇都木委員、丹下委員、谷本委員(オンライン)、吉川委員 林野庁:山崎室長、石川調整官 JIFPRO:太田理事長、高原専務理事、高橋技術顧問、田中技術顧問、仲摩主任研究員、柴崎研究員、倉本研究員 日本森林技術協会:相川主任技師 応用地質:浅見技師長(オンライン)、大林技術職員 国際航業:松井主任技師(オンライン)

1-1. JIFPROにより実施する実証試験 —M-StAR長根苗による半乾燥地造林—

委員:4 ページで構成される成果物は事業のウェブサイト(森林再生テクニカルノート)に掲載するのか?

→**JIFPRO:**その通りである。

委員:誰をターゲットにした資料なのかが分かりにくい。試験の結果がダイジェストで紹介されているが、この試験でどこまで分かり、どこまでが分からないのか、どこまでが使える技術なのかが明確に書かれていない。全て読まないと読者が判断できない構造になっている。もう少し、分かりやすい提示の仕方を検討されたほうがいい。まず結論を明確に書くべきだろう。

→**委員:**乾燥地で植林を検討する人に向けた情報発信になっているかどうか確認したほうがよい。論文ではなく技術情報として出す場合は、どういう課題を改善するための技術開発なのかをアピールすべき。例えば、1 ページ目の冒頭で、乾燥地は乾季に雨が降らないため乾季に枯死しやすい

い、ただし土壌深部は水が残っている場合が多い(乾燥地の土壌環境特性を説明)、その特性を考慮して、乾燥地での植林技術として地中海性地方では長根苗が使われている、ミャンマーやケニアの乾燥地造林での従来法の問題点(灌水必要、植栽コスト高い、労力が多い等)をあげつつ、長根苗により植栽時のコスト・労力を軽減できないかという話の展開が必要。そのうえで、今回の試験で確実に言えることを説明(長根苗の育苗方法は確立、こういう環境で育てれば長根苗ができる、根鉢は柔らかいままの樹種・深度もある等)。植栽試験は再現性が低く確証がないので、補足的な情報として載せる程度でよいだろう。確実にいえるところをアピールされたほうがよい。読者がどういう情報を求めているか、どこまでは使ってもよいのか?を念頭にまとめたほうがよい。

委員:ミャンマーでは全5樹種で長根苗は成功といってよいのか?この技術は完璧でどこでも使えるという書きぶりは誤解をまねくので避けたほうがよい。むしろ、この樹種はこういう問題があるといった、悪い点や課題を明記したほうがよい。

→**JIFPRO**:育苗段階では全て長根苗を育成できたが、今回試験を行うことができた雨季植栽では従来法でも80%の生残率で、長根苗の効果は明らかではなかった。

→**委員**:根鉢の硬さのところ、育苗期間がのびても根鉢が形成されていない樹種はどう評価するのか?

→**JIFPRO**:植栽自体はできるが、作業効率が落ちてしまう。

→**委員**:それはポット内の水分環境に応じた樹種特性だと思うので、そういう情報も示したらどうか?

委員:情報としては網羅されていると思うので、今回の試験で確実に言えることと、まだ検討の余地があり技術として確立してないところが分かりやすくなるような構成・配置・階層にしたほうがよい。現状は、情報が色々なところにちらばってしまっている印象。そのためには、冒頭のところで、全体像が分かるように概要を書かれたほうがよいだろう。

→**委員**:文章、図、ポイント、技術として確立したところ、課題を最初の1ページで記載すべき。

→**委員**:M-StARの販売のためのパンフレットでない、いいところだけでなく、M-StARや長根苗のよくなかったところを明記することが大事。それを明記することで別の人が同じ間違いをしなくて済む。例えば、長根苗に向いていない樹種の情報は重要である。

→**JIFPRO**:今実施しているケニアの試験では長根苗に向いていない樹種が出てくるかもしれないので、それは報告書で記載したい。

→**JIFPRO**:技術の限界、メリットとデメリットを示すのは大事と認識。今のままでは、字数も多いので、メッセージが伝わりにくい。ただ、情報としては大体網羅されていると思うので、もう少し分かりやすくする工夫をしたい。

→**委員**:年度末の林野庁への報告書とは違うものでも構わないので、読者は誰なのかを想定しながらウェブに載せてほしい。まず1ページ目で、細かく読む情報があるかどうか、自分の興味のある分野かどうか判断できるように工夫したほうがよい。そのためには、現地の課題をどう解決したか、どこまでが技術として確立し、まだ課題として残っているのは何か、冒頭で述べるべき。

→**JIFPRO**:階層構造を意識する。

→**JIFPRO**:冒頭を論文のアブストラクトのようにして、いいことだけでなく、残された課題もはっきり書くようにする。

→**委員**:1 ページめの四角で囲まれた場所の文章を増やし、全体像が分かるようにしたほうがよい。この試験は、長い苗を作ることがポイントで、その育苗はうまくいったということを示す。

委員:乾季植栽で生残率がよかったということは、乾燥地での植栽可能期間をのばすだけでなく、補植コストの削減につながると思うので、それもアピールしたほうがよい。育苗コストは高いが、全体の事業コストは安くなると思う。

1-2. 高吸水性高分子材(SAP)を用いた半乾燥地における植林技術の開発

委員:重力水の表記がわかりにくい。重力水は排水されて利用できないように取れるが、説明では排水されずに保持され苗木に利用され、有効水となっている。

→**委員**:非常に利用されやすいので、超易有効水とも呼べそうであるが検討されたい。

→**太田理事長**:1 日で排水されない分は植物に有効なので、それを区分できないか。

→**JIFPRO**:重力水という用語自体は確立しているので用いているが、ご指摘の点が誤解されないよう、重力水とした分が有効であることをグラフの表現を検討する。

委員:私の経験であるが、SAPを入れ土壌が湿っているのに近くの苗木が枯死した経験がある。乾いた SAP に雨が降ったり灌水したりした場合、初期の水分は pF4.2 以上の張力で保持され、植物が利用できないのでは。

→**JIFPRO**:SAP に水が浸透する時、吸水された水分は低ポテンシャルから高ポテンシャルまで一定の割合で分布しており、灌水初期でも植物に利用可能されると判断している。

委員:SAP にはいろいろな製品があり中には強い吸水性を示すものがあり、安価でも利用は推奨されない。誤解の生じないように使用した SAP の製品の素材を示すべきである。商品名は示さなくとも、ポリアクリル酸やアクリルアミドなどの成分は示した方がよい。

→**JIFPRO**:試験に用いた製品の成分で開示されている情報は明示するよう修正する。

委員:表示の問題であるが 50 倍、300 倍というのは SAP1g に対して例えば 300 倍(300ml)の水を加えたということか、それとも SAP が 300 倍に膨れたという意味か。

→**JIFPRO**:SAP1g に対して 300g の水を加えたという意味である。

委員:ミャンマーの乾燥地の植林の写真が使われているが、実際の内容は研究室内での実験が主だったと理解。事情があつてのことと理解しているが、読み手からするとミャンマーでの試験結果と受け止めるかもしれない。

→**JIFPRO**:ご指摘のように当初ミャンマーでの野外試験を予定しており、予備的試験を行った時の写真を用いた。国内試験にとどまったのが現実で、違和感は著者も同感するところ。ミャンマー中央乾燥地は SAP 利用が可能なサイト例としてご理解いただければと思う。

委員: 苗木の発根状態の写真をみるとヒノキにも効果があるように見えるが、重量を測ったデータを見るとあまり差が見られないように感じる。何か理由はあるか。

→**JIFPRO**: 発根量は統計的な有意差がなかった。今回は重量を測定したが、ヒノキの根は細いので、伸長量で評価すると有意差が検出できるかもしれない。

1-3. 保育ブロック工法を用いた緑化の技術開発

委員: 保育ブロックのメリットは、ポット苗のような根巻き(ルーピング)がないことか。

→**応用地質**: 根巻した根は根が伸びにくく、乾燥によって枯死しやすいことを前提として、根巻していない保育ブロック苗によって生残率を高めることを目的として試験を行った。

委員: 保育ブロックは保水力があるとのことだが、ポット苗も根鉢に土があり水分を含んでいる。保育ブロックに含まれる水分とポット苗の根鉢の土に含まれる水分量に違いはあるのか。

→**応用地質**: (土の含水率は分からないが)今回は試験では、保育ブロックとポットの土の容積を同じにした。また、市販のポット苗では育苗期間を長くするため、根鉢の大きく土の量が多いものもあると思う。

委員: 保育ブロックは根が下に行くのが一つの売り。(既往の試験結果である)p.2 の根の張り方の図でかなり差があるが、(今回の試験結果である)p.4 だと 10cm くらいの差しかない。このことから、ポット苗を改良(寝巻きしないように)すれば、保育ブロックでやる必要性はないことになる。

→**応用地質**: ポット苗はもっと長期に育てることが多く(今回の試験では3月～10月の8か月)、根巻(ルーピング)ももっと強いものと思われる。本試験では保育ブロック苗に合わせ、育苗期間を短くしたことで根巻がゆるく、根が伸長できたため、差が出にくくなった可能性がある。

委員: 保育ブロック苗は、(金網に乗せて空気根切りしているため)苗畑など育苗場所に長期間置いておいても根巻きしないということ。保育ブロック苗の良さをどのようにアピールしていくのか考えていった方がよい。

委員: 空気根切りを行い、根がルーピングしないことはコンテナ苗、長根苗、保育ブロック苗どれも同じである。今回、長根苗と保育ブロック苗の成果を同時に公表することになる。閲覧した人がどちらの技術が自分たちに適しているのか判断できるように、長根苗と保育ブロック苗の違いやメリットを、もう少し明確に書いて欲しい。

→**応用地質**: 保育ブロックのよいところは、根系の周りの土が緩衝材になることである。書き方が弱い可能性があるため、もう少し強調できるように考えてみる。

委員: 降水量 100mm のヌクスでの成果を、生残率 50%、平均樹高 2.5m と記載するしてしまうと

誤解が生じる。この試験地は灌水も行っていたはずで、砂質砂漠土ではすべて枯死している。結果を良いように書くと、その部分だけが切り取られて伝わっていつてしまうため、書き方に注意してほしい。沖積草原土での成果、砂質砂漠土での成果をはっきりと分けて、分かりやすくまとめて欲しい。

→**応用地質**: ヌクスのデルタ地帯は、夏は水路から週複数回の灌水をしている。保育ブロック苗ではそのような灌水をしないで育てた結果を掲載している。

→**委員**: 今の資料ではそれが分からない。デルタ地帯の結果、水路、砂質砂漠土が表現されており、理解できないと思う。

→**応用地質**: ヌクスもデルタ地帯と砂質砂漠土が誤解されるので、今まで示したポンチ絵を入れるなど工夫してみる。

委員: p.3 で保育ブロック苗と高分子保水剤の併用の可能性を示されており、確かに考え得る展開だと思う。報告書でも良いので、土壌にどのくらいの割合で混ぜ合わせたのか記載しておいてほしい。

委員: 保育ブロック苗の成果として、植栽 3 年後に平均樹高 2.5m まで生長したことを示しているが、これは保育ブロック苗の効果を表す成果なのか。保育ブロックが苗木の初期生長を助けるものであるならば、植栽 3 年後までの結果はいらないのではないのか。また、砂質砂漠土の成果はネズミによる食害の影響を受けていたはずで、記載する必要があるのか？それよりも、以前ポンチ絵を作成していたように、保育ブロック苗が適用できる地理的条件の範囲などを説明したほうが良い。

林野庁: 質問が3つある。

① p.4 の育苗コストには、種子の調達、育苗やそれに係る資材費などのほか、どのような項目が含まれているのか。

② 保育ブロック苗の 2～4 年目に「管理」とあるが、どのような内容を指しているのか。

③ 大苗6年目以降、保育ブロック苗4年目以降は差がないため記載していないのか。

→**応用地質**:

① 聞き取り調査の結果を基にコストを計算している。そのため、大苗では、播種に係る人件費や床替えに係る人件費等を項目として挙げている。一方で、例えば地拵えで使用するトラクターやその燃料については計算に含めていない。

② 管理は、灌水と除草で、アングレンでの試験の実態に合わせて算出した。管理期間の 3 年は仮定であり、苗木が大きくならないようなことがあれば除草期間などが伸びる可能性はある。

③ 大苗の 6 年目以降、保育ブロック苗の 4 年目以降は、苗木が大きく生長し除草等の管理が必要ない同じ状況になると仮定している。

委員: 根が地中深くまで伸長すれば灌水を必要としない、樹高が高くなれば除草は必要ないという仮定を置いたということか。

→**応用地質**: その通りである。苗木が草丈を超えるくらいになるまでは除草が必要とし、それを管理

コストとして計算した。大苗は植栽時の樹高が高いため、植栽後の除草は必要ない。

委員: 最終成果の資料にも「管理」とはどのような内容か書いた方がよい。大苗は樹高が高いため除草は必要ないとのことだが、根はそれほど伸びていないはずで、灌水も必要ないのか。

→**応用地質**: 現地では灌水せずに、枯れたら補植することを繰り返して、植林を進めている。

1-4. 外部委託により実施する実証試験 2 — バイオチャーを用いた土壌改良 —

委員: 焼畑は養分を増やすことが主目的である一方、バイオチャーのすき込みについては土壌理化学性の改善を目的としており、養分の持ち込みについてはあまり触れられていない。そもそも両者は施用目的が異なるのではないか？

→**日林協**: 今回の資料では図として示していないが、バイオチャーにも植物が利用可能な養分は含まれている。それに加えて保肥力、保水力の向上を狙えるという点がバイオチャーの利点と考えている。

委員: 1 ページ目のポンチ絵についても、栄養素を示す五角形が外部から来た栄養素を示すのか、栄養素の保持を示すのか等、理解しづらい。

→**日林協**: バイオチャーによる保肥力の向上を示す意味で、バイオチャーを施用した土層に五角形を多く配置している。栄養素の量については、外部からの供給としてバイオチャー自体に含まれるものと、雑草管理の際に土壌にすき込まれるものがある。それらの栄養素もバイオチャーの施用による保肥力の差で保持される、されないという違いは出るものと考えている。

→**委員**: ポンチ絵に外部からの栄養素の添加についても書き加えてはどうか。

→**日林協**: 理解しやすい表現となるように修正する。

→**委員**: 技術の新規性の部分で、「より効果的で長期的な」という表現があるが、長期的という部分は本試験のどのデータから示されるものか？

→**日林協**: 現地の焼畑が火入れ後 2 年だけ耕作して、その後は休閑されるサイクルとなっている。バイオチャーについては土壌中で非常に分解が遅いことが知られており、少なくとも物理的な孔隙構造に由来する保水性の改善は、長期渡って改善が期待できるものと考えている。

→**委員**: バイオチャー孔隙の道管、仮道管に粘土が詰まってくれば効果が失われるように思うが、その点はどうか？

→**日林協**: 今回の試験対象地でいえば、土壌粒子の粒径組成はほとんど砂であり、細かい粒子はほとんど入っていないため、その点は問題ないと考えている。また既存の研究事例では、バイオチャーの施用による土壌物理性の改善効果は、砂質土壌で保水性にプラスの効果が得られる一方、粘土質の土壌では保水性はマイナスで、むしろ透水性を高める目的で施用が行われている。

→**委員**: その辺りが既知であるならば、新規性はこういった部分か？

→**日林協**: バイオチャーの施用による土壌改良については多くの研究事例があるが、アグロフォレストリーのために施用を行った点は新規性がある（→効果が長期になるような技術開発は行っていない）。

→**委員**:何が売りなのか、どういった課題解決を行ったのかという点は分かりやすく記載してもらいたい。

委員:農業生産の向上のためにバイオチャーを撒くという話だと、逆に森林の減少に繋がりはしないか？未利用資源の利用で森林減少は抑えられるかもしれないが、そういった資源には炭やきの技術がないのではという懸念がある。最終的に、バイオチャーの原料については、結局木材が良いのか、タケやパームでも使えるという話なのか、どういった原料がよいといったことが明確にいえるかどうかと分かりやすいのではないかと。

→**日林協**:原料ごとの違いについて少し補足すると、例えばキャッサバやタケは木材と比較してカリウム等の栄養素の含有量が高い傾向にある。今回の資料では示していないが、そういった原料ごとの違いはある。4 ページの紙面にどこまで盛り込めるか検討するが、詳細は報告書を参照してもらうといった書きぶりもあるかと思う。

林野庁:委員のご指摘のように、森林伐採につながるような話の内容とならないように留意して欲しい。また、ざっと見ての印象で全体として森林よりも農業の効率を上げるような文脈のようにも思われるので、森林減少を防ぐ、森林を再生するという部分にフォーカスしたメッセージを出してほしい。具体的に挙げると、例えば、1 ページ目の目的で、燃料、食糧生産が挙げられているがアグロフォレストリーと森林・木材の関係がパッと見て分かりづらいため補足を入れた方がよい。実際にバイオチャーを施用した箇所に樹木を植栽をすることとの関係などももっと触れてはどうか。また、これまでの経過もあるのでここでは情報提供までだが、バイオチャーという表記について、農林水産省の他事業ではバイオ炭という表現を用いているので、対外的に分かりやすい用語として、将来的に考えても良いかもしれない。

委員:全体的な論調として、バイオチャーがこんなに良いんですという書きぶりになっているが、バイオチャー施用にあたって何に課題があるのかという部分をより明確にしてもらいたい。焼畑農地に施用するにあたって、何を克服する必要があるのかという点が明確でないため、新規性が分かりづらくなっている。

→**委員**:例えば、土地利用のサイクルが短くなっている背景として、人口増加に対する食糧生産が不足しており、単位面積あたりの収量が小さいためにローテーションが短くなっているが、収量が上がれば改善できるといったところを課題として説明してはどうか。食糧生産が全く林業に関係ないということはないと思うが、どのように貢献するのかという点は明確に書いてもよい。ご指摘にあったように、これが森林破壊に繋がらないということについては説明が必要。

委員:コストの 727USD/ha は、2.0kg/m² の施用量か、0.5kg/m² の施用量か分かるように記載を。

→**日林協**:資料では2.0kg/m²の施用量に対してのコストを示しており、その点は説明を追加する。

→**委員**:かなりのコストがかかっており、1 回だとペイしなくなっている。

→**委員**:0.5kg/m²でもキャッサバの収量は1.3倍になっており、そちらの計算結果も示してはどうか？

→**日林協**:アカシア以外の植林では、1 サイクルで 2 回のキャッサバ生産が可能であるため、1 サイクルでコストを回収できる計算にはなる。

→**委員**:2 回目も同じ収量を上げるというデータは取れているか？

→**日林協**:データを得るべく植え付け自体は行ったが、現地に確認したところまだ収穫には早すぎるとのことで、データの取得には至っていない。

→**委員**:2 回やればコストは半分というからには、そのデータが必要(→データがないので半分になると書かないほうがよい)。

→**日林協**:その部分は課題として残っている。ただ、今回はキャッサバから得られる収入だけでコスト回収を考えているが、植林の方でもバイオチャー施用の効果が出ている樹種もあり、そういった樹種では林業収入を計算に入れることができる。

委員:全試験に共通する部分として、見る方に有用な情報を分かりやすく示すことを念頭に修正をお願いしたい。

議題 2. 今年度から新規委託調査業務(国際航業株式会社:立地条件を考慮したマングローブ再生技術マニュアルの作成)

委員:「マングローブ」と「マングローブ林」の言葉の使い方について見直す必要がある。例えば、「マングローブの再生」や「マングローブ林の再生」と記述している箇所があり、一貫性がない。

委員:スライド P8 のグラフの縦軸(数値・単位)が何を示しているのかわからない。同じくマングローブロス図中の km は km² のことか？また出典について明記が必要。

委員:スライド P11 の表について地盤高に単位がない。cm だと思うが明記が必要。

委員:スライド P8 やスライド P13 のグラフには出典を示す。その他にも、この事業で取得したデータでないものについては、出典を示す。スライド P15 の図も国際航業が開発したものか、情報収集を引用した結果なのかをしっかりと書いて欲しい。

委員:本委員会で説明に用いたスライドは、委員会用の説明用資料と理解しているが、ガイドブックは別途作成しているのか？

→**国際航業**:ガイドブックは別途作成している。本説明資料はガイドブックからの切り貼りで作成した。ガイドブックには、ご指摘の出典等を記載している。

JIFPRO:現時点でガイドブックは 90%ほど完成しており、最終版が完成次第委員にも PDF で配布するようにする。

委員:(スライド P8)要因別減少の自然要因が気候変動というのは抽象的。例えば激甚化したサイクロンなのか、海水の温度上昇なのか具体的な記載が欲しい。

→**委員**:(スライド P12)苗畑の造成方法について丁寧に解説頂けるようであるが、種の採取方法に

ついでの情報に記載してもらえないか。

→**国際航業**: 検討する。

委員: (スライド P11) ある文献によるとマングローブは地盤高などの条件があっていないところに植林してしまうと全滅するケースもあるという。成長速度の図に記載のある 4 種類は、地盤高などの植栽条件が揃っている場所での比較という理解でよいのか？

→**国際航業**: 4 種類は同じエビ養殖池跡地で植えているので条件は同じである。タイには 70、80 種類のマングローブがあるが、全種について植林技術は確立しておらず、図中で扱っている 4 種類はタイにおいて植林技術が確立している 4 種を扱っている。

委員: スライド P7 と P9 で紹介しているウェブサイトだが、どの主体(どこの協会とか、公的機関か、NGO 等)がこのサイトを運営、管理しているのか、ガイドブックに情報として記載すると見ている側の参考になると思う。

また、失敗事例についてはデリケートな情報だと思うので、この調査で失敗と判断したものではなく、すでに失敗事例としてまとめられているものを紹介する形としたほうが良いと思う。

委員: スライド P9 の COP26 におけるマングローブ林の再生に扱いに関連して、国際的な取り組みにおけるマングローブ林の位置づけや炭素クレジット、ブルーカーボンなどについても記載があると民間企業にとって有益な情報となり、より支援が広がるのではないかと。記載していなければ記載してほしい。

→**国際航業**: 記載内容を確認し、検討する。

→**委員**: ブルーカーボンは国内でも着目されてきている。また、炭素だけでなく生物多様性なども関わってくるため、重要な生態系だと認識している。

→**国際航業**: 本ガイドラインでは、マングローブを含むブルーカーボンの炭素貯留量の推定方法等については、森林再生技術とはかけ離れた内容になるので、取り扱わない。

→**JIFPRO**: 今回、マングローブ林再生のためのマニュアル本なので、ブルーカーボンの重要性等を背景として記載することはあっても、炭素クレジットがいくらになるかというような分析はしない方針である。

→**委員**: ブルーカーボンは、世界的にも注目されており、情報としてはあった方が良いため、背景情報にでも記載してほしい。

10 添付資料

10.1 森林再生技術普及セミナー(ワークショップ) 公開資料



林野庁補助事業「途上国森林再生技術普及事業」公開セミナー

厳しい環境下での 植林技術の開発

カーボンニュートラルに向けた5年間の取り組み

2021年12月17日 | 14:00～16:30

オンライン（ZOOMウェビナー）参加無料

参加申込：[オンライン申込](#)（クリックで外部サイトに移動します）

主催：公益財団法人 国際緑化推進センター

180



プログラム

林野庁挨拶

山崎 敬嗣（林野庁計画課海外林業協力室長）

事業概要説明：カーボンニュートラルに向けた5年間

高原 繁（国際緑化推進センター専務理事）

基調講演

温暖化対策としての荒廃地造林の意義

丹下 健（東京大学教授）

コマツの植林への貢献

坂井 睦哉（コマツ 建機ソリューション本部グリーン事業推進部長）

Q/A

実証試験の現場から

厳しい乾燥下でも生き抜くコンテナ苗開発—ミャンマーとケニアでの取り組み—

柴崎 一樹（国際緑化推進センター 研究員）

土壌保水材としての高分子吸水材SAPの利用

高橋 正通（国際緑化推進センター 技術顧問）

ウズベキスタンにおける保育ブロック実証試験5ヵ年のまとめ

浅見 和弘（応用地質株式会社 技師長）

総合討論

各講演者

進行：田中 浩（国際緑化推進センター 技術顧問）



丹下 健

TANGE TAKESHI

博士（農学）（東京大学）

東京大学農学生命科学研究科教授、日本森林学会会長

研究テーマは樹木の成長に関する生態生理学的研究、著書「造林学」



坂井 睦哉

SAKAI CHIKAYA

理学博士（金沢大学）

コマツ 建機ソリューション本部グリーン事業推進部長

インドネシア駐在を経て2021年より現職



厳しい環境下での植林技術の開発

カーボンニュートラルに向けた
5年間の取り組み

国際緑化推進センター
高原 繁



国際緑化推進センター（JIFPRO）について ①

- JIFPROは熱帯地域の森林保全や気候変動等の地球環境問題に取り組んでいます
 - 気候変動、森林土壌、住民支援などの経験と専門性を有する研究員及び技術顧問
 - 調査研究・技術開発、
 - 地球温暖化防止の取組（植林によるCO2吸収、REDD+）

✓ 森林再生技術普及事業

- ✓ 途上国の劣化が進んだ森林や開発後に放棄され荒廃した土地等において、効果的な森林再生技術の開発



✓ 海外植林のCO₂吸収量認証システム

- ✓ JIFPROが開発した「海外植林のCO₂吸収量認証システム」による評価と認証書の発行



国際緑化推進センター（JIFPRO）について ②

- 地域住民に寄り添った植林活動・森林保全活動
 - 調査研究活動の知見を活かした森林保全活動や植林事業の実践
 - 途上国の森林産品やサービスの推進を通じた森林保全と住民生活向上

✓ 熱帯林造成事業

- ✓ これまで東南アジア5か国で、東京ドーム約1,900個分(約8,800ha)の植林を実施



✓ BFPRO事業：森林保全と地域住民生活向上を両立するビジネスモデル構築をサポート（林野庁補助事業）

- ✓ ヤマハ×JIFPRO：持続的な楽器用材調達（アフリカンブラックウッド）



国際的な動き（気候変動対策としての森林）

□ 国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）

- 第5次評価報告（2013）：気候変動緩和策の一つとして植林の可能性に言及
- 1.5℃特別報告書（2018）：気温上昇を1.5℃までに抑えるためには、新たに10億ヘクタール（ha）の森林が必要。ただし、気候や土壌条件に恵まれた土地は農業と競合

□ 国連気候変動枠組み条約（UNFCCC）の締約国会合（COP26）（2021）

- 世界リーダーズサミット：岸田首相が2050年カーボンニュートラル、2030年新削減目標を表明
- 「森林と土地利用に関するグラスゴー首脳宣言（日本を含む141か国署名）」：持続的森林経営、森林保全、森林復旧を推進
- 「グローバル森林資金約束」、「コンゴ盆地森林の保護・持続可能な経営の支援に関する共同声明」、及び「森林・農業・コモディティ貿易（FACT）対話に関する共同声明」を発表

□ ゼロエミッション、カーボンニュートラル、及びSDGs等のトレンドから、世界中で森林保全や植林に注目が集まっている

民間の動き

- 気候変動対策についての情報開示・評価のイニシアティブ：CDP、SBT等
- 排出量算定・報告基準：GHGプロトコル
- ボランタリー・カーボン・オフセット：VERRA（VCS）、GS4GG等
- 自然に根ざした社会課題の解決策（NbS）
- グローバル企業による森林への出資・投資
 - > マイクロソフト、アップル、アマゾン、シェルなど

森林再生ポテンシャル

□ 植林が可能なエリア：約9億ha（J.-F. Bastin et al., 2019）

- 植林により、2千億tCの追加的な炭素固定が可能
- ただし、気候や土壌条件に恵まれた土地は限定的
- 半乾燥地及び湿地等の条件の良くない土地に可能性

□ 気候変動緩和ポテンシャル（Roe et al., 2021）

- 「新規植林及び再植林」の気候変動緩和ポテンシャルは、技術的可能性としては「森林減少の削減」を上回る
- ただし、費用対効果を考慮すると、「新規植林及び再植林」のポテンシャルは減少
- 技術開発により植林コストを削減することの重要性

植林による炭素吸収能力（ポテンシャル）

国・地域	植林樹種	炭素吸収能力 (tCO ₂ /ha/年)	備考
東南アジア	ユーカリ	20～40	IPCCガイドラインより推計
ベトナム	アカシア	16～33	JIFPROの調査により推計
インドネシア	マングローブ	16	JIFPROらにより推計
ミャンマー（乾燥地）	ユーカリ	10	JIFPROの調査により推計
日本	スギ	9	林野庁HPより推計

注）植林木が成長している期間における推計。植林木を伐採した場合は、それまでに吸収したCO₂が再放出される。



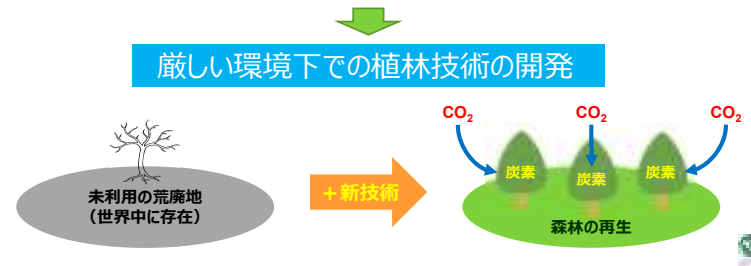
森林再生ポテンシャル：未利用の荒廃地

- 条件の良い土地は農地に使用される一方、環境ストレス等により生じた荒廃地は、自然の森林回復が容易でなく、未利用のまま大規模に残されている
 - 農・牧畜等によって著しい土壌劣化が進行した荒廃放棄地（①）
 - 降水の少なさのために植生回復が難しい乾燥・半乾燥地（②）
 - 過剰な水分等が問題となる湿地林やマングローブ域（③）
 - 保水性に乏しく、飛砂害、塩害にさらされる海岸砂浜（④）



「途上国森林再生技術普及事業」の目的

- 今後、企業やNGOの気候変動対策において、残されたフロンティア、「未利用の荒廃地」における植林は重要課題
- ただし、気候や土壌条件は厳しく、植林しても無事に成林しない危険性がある



これまでに実施した実証試験の場所とテーマ

□ これまで6つの実証試験を実施（2つは直営、4つは委託）

① 長根苗、⑥ 高分子吸収剤
⑥ ミャンマー・ケニア乾燥地

② 保育ブロック苗
② ウズベク乾燥地

③ 湛水育苗
③ タイ低湿地

④ ヤシ殻@フィリピン砂浜

⑤ バイオチャー@DRC

これまでに実施した実証試験及びデータベース等

テーマ	実施者、委託先	実施国	実施年度				
			H29	H30	R1	R2	R3
① コンテナ長根苗（乾燥地植林）	JIFPRO直営	ミャンマー					ケニア
② 保育ブロック苗（乾燥地植林）	応用地質（株）	ウズベキスタン					
③ 低湿地湛水馴化育苗	東京大学	タイ					
④ ヤシ殻マルチ（海岸砂丘植林）	オイスカ	フィリピン					
⑤ バイオチャー・サバンナ土壌改良	日本森林技術協会	コンゴ民主共和国					
⑥ 高分子吸収剤（乾燥地植林）	JIFPRO直営	ミャンマー及び国内					
マングローブ再生ガイドブック	国際航業（株）	-					
森林再生技術データベース（森林再生テクニカルノート）	JIFPRO直営	-					

途上国における森林再生へ向けて

- 植林候補地（未利用荒廃地）の把握
 - 自然条件（気候・土壌等）について科学的調査
 - 各土地の自然条件に合った、適切な植林樹種・植林技術の選択
 - 「本事業の実証試験技術」、及び「森林再生テクニカルノート」の活用
 - 気候変動緩和機能の評価
 - UNFCCC、又は民間のスキームを適用
 - 国際的なスタンダードに沿った、「植林によるCO₂吸収量」の推計
- ✓ ただし、途上国政府のガバナンス、経済的な投資、及び社会・文化的条件が、森林再生の成否に大きな影響を与えることにも要注意

コマツの「林業機械事業」と「持続的林業への貢献」

1. コマツの林業機械
2. フタバガキ科樹種による森林再生への貢献
3. 植林の機械化
4. 植林と森林の見える化コンセプト

コマツ
建機ソリューション本部
グリーン事業（林業・農業）推進部

2021年12月17日

林業とSDGs（林業の全体像と林業機械の工法）

- 森林・林業分野は、「SDGs」の17の目標のうち14の目標達成に貢献
- 森林による二酸化炭素吸収や木材建築やバイオマス燃料利用による 脱炭素社会に貢献
- 循環型林業を確立するためには、適切な林業機械を用いた適切な施策が必須



コマツの林業機械事業全体

- コマツは林業機械の技術・ノウハウで林業の安全や効率化に貢献してきた
- 森林の見える化や植林分野でのソリューションを提供し、持続的林業経営を通じた脱炭素社会の実現に貢献する



フタバガキ科樹種を使った植林技術の研究・普及（1992年～）

Komatsu Marketing and Support Indonesia
The Ministry of Forestry, Indonesia

(Komatsu Ltd.)
(The forestry Agency, Japan)
(JICA)

フタバガキ科樹種は東南アジア熱帯林の重要樹種

■ 東南アジア熱帯雨林を象徴する主要構成樹種

- 熱帯雨林の生物多様性を支える生態学的に重要な樹種（一部は絶滅危機）
- 南洋材市場を支える経済的に重要な樹種（ラワン材）
- 重要な安定したCO₂シンク



Indonesia Bogor 植物園

フタバガキ科樹種による植林は急務

1. 不定期的な結実 (ref. Sasaki)
2. 種子の不休眠 (ref. Ashton)

植林用苗の安定的供給が困難

◇ 種子に頼らない栄養繁殖等による苗木生産法の開発が急務

- 1990年代から多くの研究報告があるが、実用されていない

植林の事例が少なく、技術の蓄積がない

1992~1995	1996~2001	2002~2006
熱帯林再生技術研究組合 (林野庁プロジェクト、第1期) ・コマツ ・林野庁 ・林業省 (インドネシア) 1. 挿し木による苗木の大量生産法の開発 (実験室レベル) 2. 挿し木苗試験植林 ✓2ha (約2,000本) 	熱帯林再生技術研究組合 (林野庁プロジェクト、第2期) ・コマツ ・林野庁 ・林業省 (インドネシア) 1. Vegetative propagation research in large scale (100,000/year) 2. Field test ✓250ha (Bogor) ✓20 ha (Sumatra) 	技術移転 (プロジェクト3年) ・コマツ ・JICA ・林業省 (インドネシア) 1. Technology transfer ✓ Supporting government program ✓ Supporting for private companies 

いかにして、発根まで生存できるか

1. 材料(挿し穂)の問題

- ◇ 材料の樹齢
- ◇ 材料の生育環境
 - ✓ 肥料の問題
 - ✓ 光環境

2. 挿し木環境の問題

- ◇ 地上部の環境
 - ✓ 蒸散を低く抑える (低蒸気圧差)
 - ✓ 光合成の促進 (光環境の最適化)
- ◇ 地下部の環境
 - ✓ 物理的性質 (3相構造等)
 - ✓ 化学的性質 (イオン濃度等)

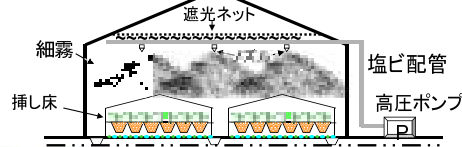


KOMATSU

挿し木によるフタバガキ科樹種の苗木大量生産技術の開発

細霧冷却を活用した経済的な方法による大規模温室の環境制御

- 葉温の上昇制御
- 高湿度
- 光合成に十分な光



細霧 遮光ネット 挿し床 塩ビ配管 高圧ポンプ



Stem cutting → planting → Inducing roots → Nursing → planting

植林試験地 (林業公社プルプタニ所有地)
(西ジャワ州ルウィリアン地区)



KOMATSU

西ジャワ島での試験植栽 (200 ha)

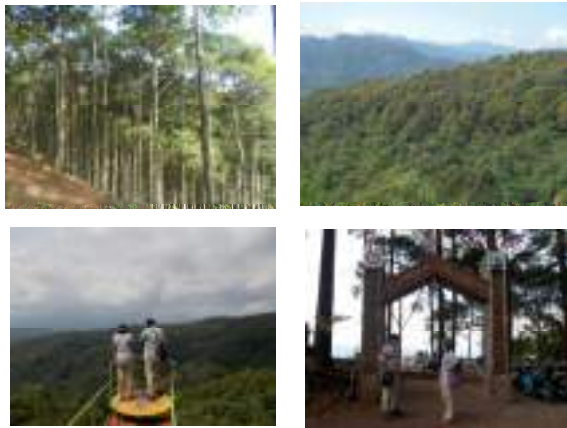


KOMATSU

西ジャワ島試験植林地とベースキャンプ



KOMATSU



KOMATSU



KOMATSU

JICA民間活用型プロジェクトでの技術移転(2002年～2006年) ⑮

- コマツが蓄積したフタバガキ科樹種の苗生産技術を、JICAプロジェクトとして、インドネシアへ技術移転する

- Period
 - February 2004 to February 2007
- Overall Goal
 - To increase technical capacity of the forestry sector to produce planting stocks of native species to promote reforestation
- Project Purpose
 - To strengthen the capacity of the FORDA, the Ministry of Forestry to transfer the mass-propagation techniques of the native tree.

KOMATSU

- インドネシア国内4箇所にモデル苗圃を設置
 - ・ 西ジャバ州ボゴール
 - ・ 東カリマンタン州サマタラ
 - ・ 南カリマンタン州バンジャール
 - ・ スマタラ リアウ州クオック



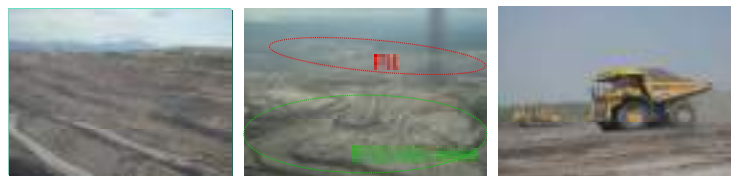
インドネシア択伐方式への適用



KOMATSU

石炭鉱山修復植林への応用

- 通例の修復植林はParaserianthesやAcaciaなどマメ科の先駆樹種
- 元の生態系の中心樹種であるフタバガキ科樹種による修復をめざす



KOMATSU

Preliminary Planting Test of *Shorea* spp. (June 08 ~)

19



Shorea spp.
• *Shorea leprosula*
• *Shorea selanica*



	No. of planted	Survival in 3 month
Open area	700	47%
Inter-plant	700	66%

Significant difference between open and inter-plant ($p < 0.05$)

KOMATSU

Dipterocarps species growing slow

20

1. Open area (5 years)



Shorea selanica



Shorea balangeran

2. Under shade trees, *Gemelina* sp. or *Praserianthes* sp. (3 years)



Shorea selanica



Anisoptera spp.

KOMATSU

Soil Condition of Reclamation Test Area

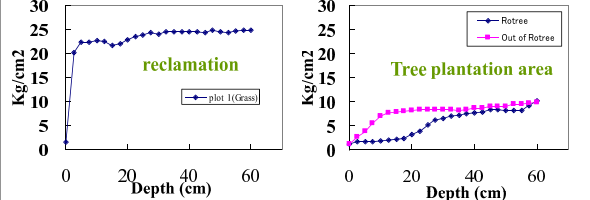
21

Physical characteristic of Soil

- Much compacted (± 7 hole / man / day) $\Rightarrow$ mechanized operation is needed



Soil compaction data by corn penetrate meter



Chemical characteristic of Soil

- Analyzing soil sample of the area $\Rightarrow$ more fertilizing is necessary

KOMATSU

植林の機械化による森林再生サイクル促進による持続的林業への貢献

- 世界の木材消費量は年間約2.5%増加 $\rightarrow$ 持続的木材生産には植林が必須
- 植林作業は労働集約的で苦渋作業 $\rightarrow$ 植林就労人口減少
- 機械化により効率的で安全な林業サイクルを実現

1. マニュアル植林



ブラジルでの植林作業

2. 機械化植林



PC2407 ラッパ

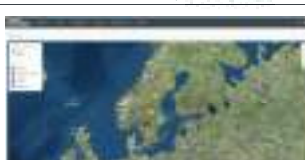
22

MaxiFleetの基本機能

- MaxiFleetとは、コマツがグローバルに展開するコネクテッドビジネス (Webアプリ)
- 機械情報は、機械に装着されたモジュールによってサーバへ送信 (4G or Satellite)



機械稼働概要 (種類、機番、稼働時間等)



稼働位置



伐採・集材箇所、機械軌跡



生産量進捗 (本数、mなど)

KOMATSU

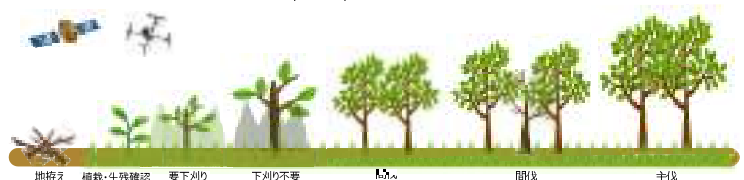
<https://www.komatsuforest.com/services/maxifleet>

23

187

新たに取り組む森林リモートセンシング

UAV : 光学カメラ, マルチスペクトルカメラ or Lidar,
衛星 : 光学, Lidar, Sar



植林モニタリング

- 植栽苗の本数
- 植栽苗の位置
- 植栽苗の生存割合判断

森林資源量モニタリング

- 樹木本数
- 材積量
- バイオマス量(CO₂貯留量)

伐採進捗モニタリング

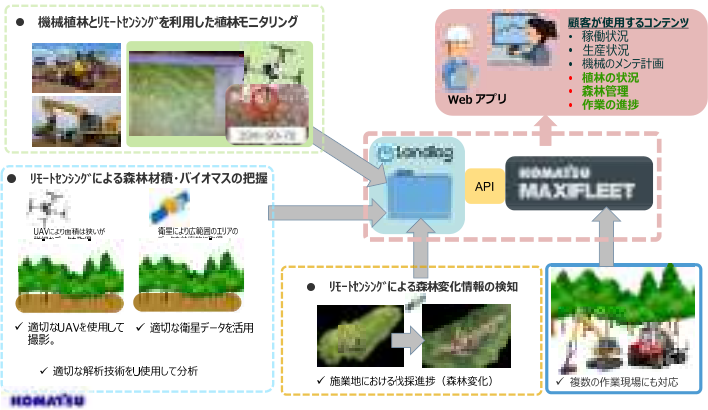
- 森林変化の検知

KOMATSU

24

植林および森林サイクル全体の見える化

- 植林・管理・伐採・再植林サイクルの森林モニタリングソリューションを機械情報とともに顧客に提供
- 効率的な植林とともに透明性の高い森林経営を実現
 - 従来の顧客層である木材生産会社だけでなく、脱炭素や環境のための植林に進出する新たな顧客層へも展開



25

厳しい乾燥下でも生き抜くコンテナ長根苗の開発 ーミャンマーとケニアでの取り組みー



現在ケニアで育苗中の
コンテナ長根苗

国際緑化推進センター (JIFPRO)
柴崎 一樹



これまでも乾燥地の植林用に「長根苗」が検討されてきたが…

2

- 乾燥地では…
 - 深根性の樹種が多く、根の深さと活着に相関(Loren et al., 2011; Ouedrao et al., 2010; Padilla & Paganini 2007)
 - 予め根を長く発達させた状態の苗 (= 長根苗) の植栽が効果的？
 ■ 地中海、カリフォルニア、UAE等の乾燥地で既に「長根苗」植栽の事例あり(Hosono et al. 2018, 2007)
- 長根苗のメリット
 - 植栽直後の土壌深部への根系発達を促す…
 - 植栽可能時期を広げられる (労働投入量の平準化 + 気候変動への対応)
 - 灌水量等を削減できる
- 長根苗のデメリット
 - 育苗容器から苗を取り出しにくい → 苗を傷つけてしまうことあり
 - 育苗容器の容積が大きい → 普通の土壌では重い
 - 深い植栽穴が掘りにくい



長根苗は乾燥地でそれほど普及していないのが現状



長根苗を育苗容器から取り出しやすくする工夫

3

□ 日本のスギ育苗等で既に普及しているM-StARコンテナ (Multi-Stage Adjustable Rolled Container) に着目

四国化工(株)
(食品、衣料分野の特殊フィルムメーカー)



出所：四国化工 ホームページより

- ・ 安価 (約25円/苗※(16×24cm))
- ・ 何年・回も使いまわし可能
- ・ シートなのでサイズが自由に調整可能
- ・ 取り外し時に根を傷めない
- ・ 側面リブが根の下伸長をガイド



- ・ 既存の製品・技術にひと手間加えて、乾燥地に適したコンテナ苗を考案
- ・ ビニルポット苗が主流である途上国でもM-StARは普及しやすい

現地で使える実用的な長根苗を開発

4

□ M-StAR + α + α + α → より実用的な長根苗技術



5

ミャンマーでの
M-StAR長根苗
技術開発
(2017~2020年)



育苗_3つの育苗容器で育てた苗木の根の形態

6

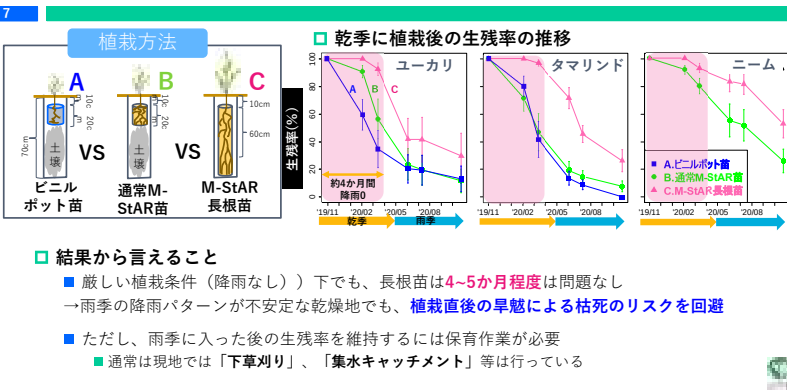
□ まずは、ミャンマー中央乾燥地で長根苗の試験を開始



ポット苗 (根巻き) < 通常M-StAR苗 (側根発達) < M-StAR長根苗 (直根優先)

植栽_実際に長根苗を植栽した際の生残率の効果は？

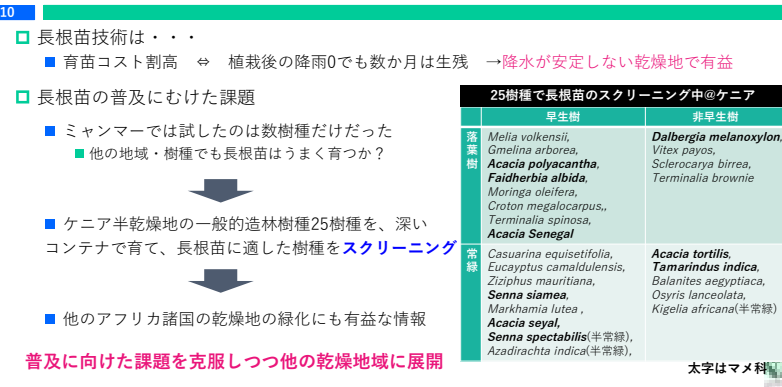
植栽3か月後の長根苗の根の発達 - 土壌深部に根が伸長したか？



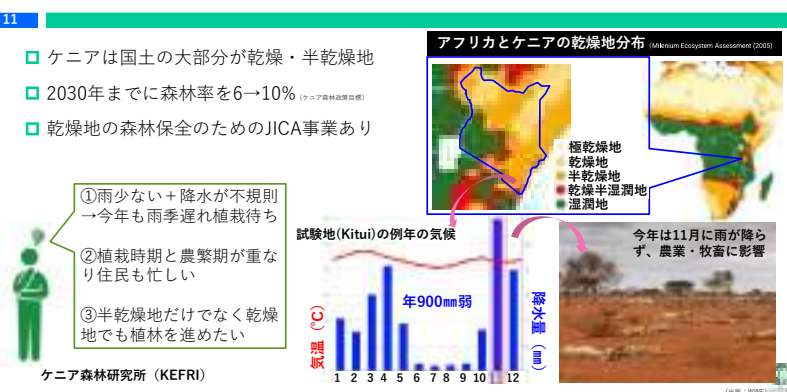
9 ケニアでのM-StAR長根苗技術開発（2021年～）



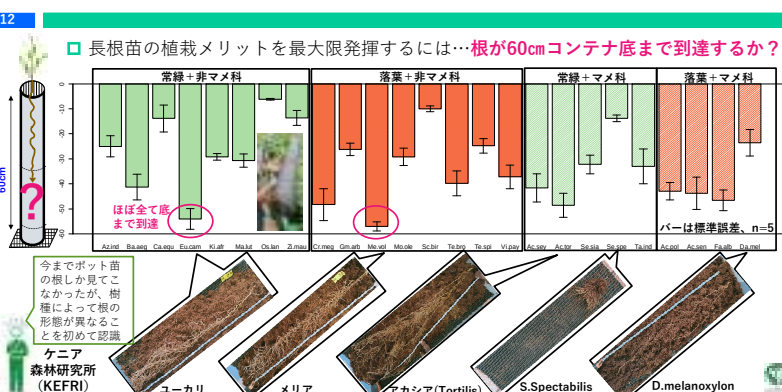
ミャンマー → ケニアへの技術展開 + 普及に向けた課題克服



ケニア乾燥地での植林の課題

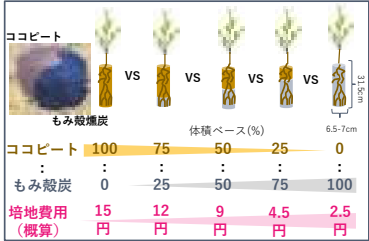


育苗2か月時点で根がどこまで伸びているか？

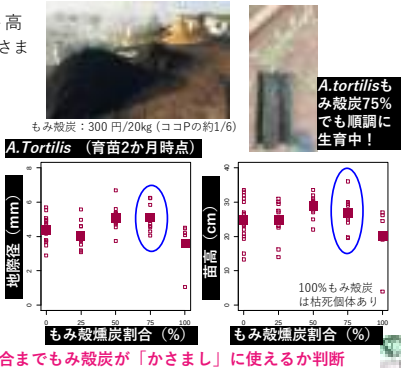


長根苗の育苗コストを抑える工夫

- 長根苗 → 大容量コンテナ → 培地コスト高
- 現地でただ同然で手に入るもみ殻燐炭を「かさまし」に使えないか？



引き続き、地上部と根の成長から、どの程度の割合までもみ殻燐炭が「かさまし」に使えるか判断



最後に、長根苗の普及に向けて

- ミャンマーでの試験結果まとめ
- 育苗：ユーカリ、タマリンド、ニームでは直根が発達した形状のよい長根苗ができた
- 植栽：植栽後の降雨0でも数か月は生残 → 乾燥地の不規則な降雨パターンや気候変動に適用
- ケニアでの試験結果まとめ（継続中）
- 育苗
- 乾燥地樹種でも根がすぐに伸長する樹種とそうでない樹種あり
- 長根苗の育苗コスト削減に、もみ殻燐炭のポテンシャル高い
- 今後
- ケニアの25樹種の長根苗スクリーニングを継続
- 根はコンテナ下まで到達する？、各樹種の根鉢形成に要する期間は？
- 植栽後の生残・成長に長根苗効果が出る樹種は？
- 従来法とのコスト比較しつつ、なるべく安い長根苗を開発・普及
- 他のアフリカ諸国の乾燥地造林にも使えないか検討



土壌保水材としての高分子吸収材SAPの利用



SAPゲル



ミャンマー試験風景

2021年12月17日
(公財) 国際緑化推進センター
高橋正通



SAPの開発と利用の変遷 試験の背景と目的

2

SAPとは

Superabsorbent Polymer (SAP) 高吸水性高分子

開発と利用の歴史

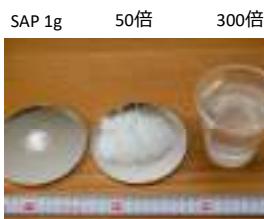
- 1) 土壌保水材として
 - 土壌保水材として高い吸水性をもつ高分子材料の開発（1974年米国農業省）
 - 日本でも乾燥地農業や砂漠緑化で過去に実績
 - 粘土より砂質土壌で高い保水効果を示す
- 2) 紙おむつ等
 - 日本企業の高吸水性高分子材SAPが紙おむつに利用され世界的ヒット。
 - 現在、日本とドイツが2大素材生産国
- 3) 近年の市場動向
 - メーカーは新規市場として土壌保水材に着目
 - 気候変動/CO₂吸収源としての緑化・植林ビジネス
 - 中国や中東、地中海周辺国の研究事例増加
 - 天然有機ポリマーの研究開発

→ 試験目的：SAPの性能を再評価し、植林への可能性を探る

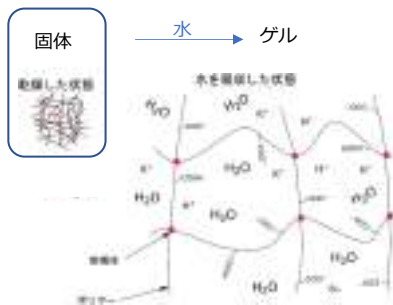
SAPの膨潤と保水のしくみ 親水性プラスチックが吸水してゲル状に



3



森林立地学会誌62:51-59 高橋ら(2020)を改変



膨潤と保水のしくみ

1. 水と高分子の親和性
2. 高分子の網目構造の中に水分子が侵入
3. 網目が細かいほど保水力は強い
4. 高分子の【-COO-】マイナスイオン同士の反発による膨潤

日本森林学会誌 100:229-236 高橋ら(2018)を改変

試験体：SAP 4種（比重、粒度、ポリマー、中和対イオンの違い）と砂質土壌



4

	SAP種類	形状	色	臭い	かさ密度 g/mL	粒度 中心径
1	サンフレッシュGT-1	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.36	150-500μm
2	サンフレッシュST-500D*	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.62	300-500μm
4	BASF類似品	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.69	300-500μm
3	Aquasorb 3005K	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.75	1.7-2.8mm

	SAP種類	ポリマー	イオン
1	サンフレッシュGT-1	ポリアクリル酸	非開示
2	サンフレッシュST-500D*	ポリアクリル酸	Na
3	BASF類似品	ポリアクリル酸	K
4	Aquasorb 3005K	ポリアクリル酸+アクリルアミド	K



協力：三洋化成工業株式会社

土壌は砂質土壌（珪砂5番）

SAP添加土壌の保水特性（物理実験法）



5

1. SAP単体の吸水性
2. 土壌+SAPの保水性
3. 土壌+SAPからの蒸発速度
4. SAP吸水の有効性（マトリックポテンシャル）



ナイロンパック法
(JIS K8150)

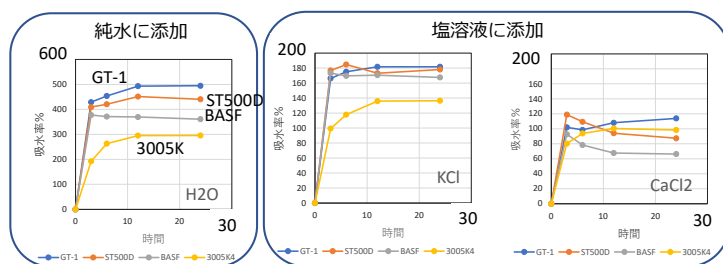


日本大学
小坂泉先生協力

SAP単体は急速に膨潤し吸水 1gのSAPの吸水率、吸水速度、塩分の影響



6

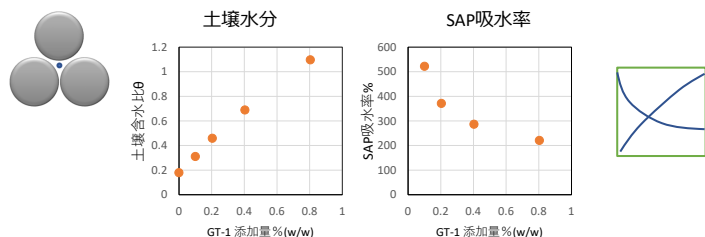


1. 2時間程度で膨潤、12時間で安定
2. 水に対して300～500%の給水能力
3. 塩分を含むと給水能力が低下（100～180%）
4. カリウムよりカルシウム塩の方が低下

- ・ 短時間で吸水
- ・ 吸水能高い
- ・ 塩分に弱い

SAPの膨潤・吸収は土壌粒子の間隙で制限 土壌水分とSAP吸水率からの最適量をさぐる

7

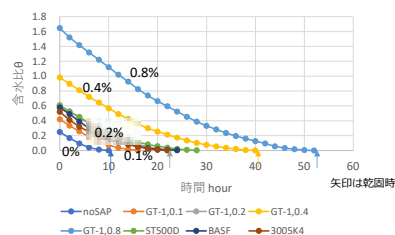


1. SAP添加量が多いほど土壌水分上昇
2. SAP添加量が多いほど吸水率は低下

土壌含水比とSAP吸水量を考慮すると、
・砂質土壌では0.2~0.4%程度が適当（吸水効率・コスト）

SAP添加土壌は乾きにくい SAP添加土壌を60℃で乾燥時の重量変化

8

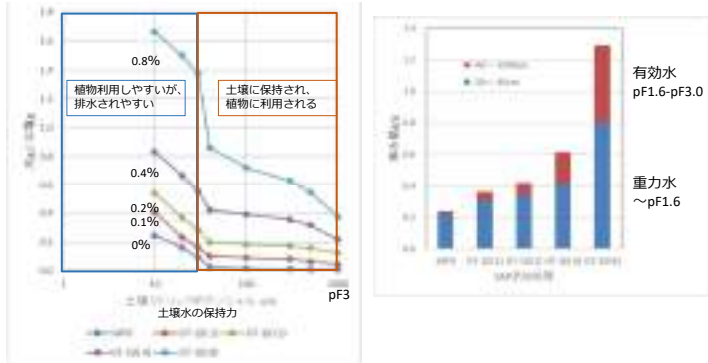


1. 蒸発速度しだいに低下
2. SAP添加により乾燥しにくくなる（SAP0.2%ごとに約10時間増）
3. SAP種の差小さい（0.2%添加時）

・SAPポリマーと水の親和力により蒸発速度低下
・乾燥地で地表面蒸発を抑制、土壌水分保持

SAPは排水をおさえ、有効水を増加 マトリックポテンシャル(pF)の測定（GT-1のみ）

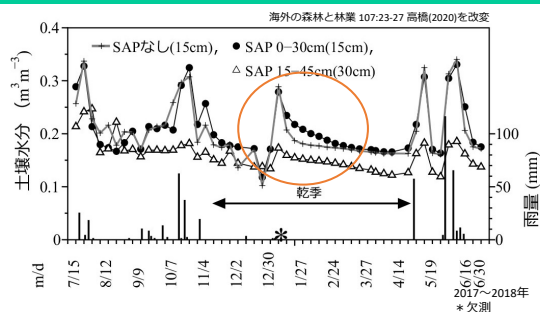
9



1. SAPは排水されやすい水を保持
2. 有効水（植物が吸収しやすい水分）増える

ミャンマー乾燥地の土壌水分測定例 乾季の土壌水分保持

10

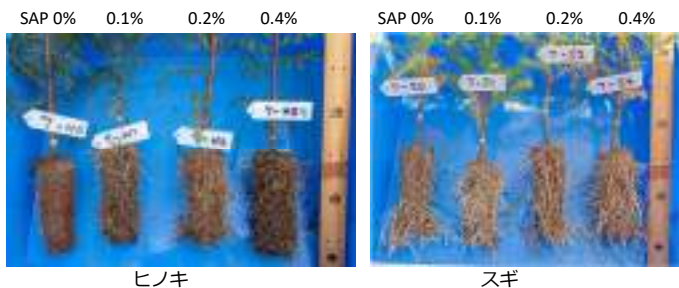


1. 雨季：SAP添加の効果は小、深部施用(30cm)は土壌水分少
2. 乾季：1月の降雨イベント後、SAP土壌の水分低下が緩やか。2ヶ月以上かかりSAP無添加と同じレベルに

・乾季の成長量
・植栽時期の拡大
・気候変動のリスク回避

SAPは苗の発根をよくする ポット試験：コンテナ苗植栽2週間後の細根発達

11



1. SAP添加により初期の根系発達を促進
2. 低濃度0.1%で効果あり
3. 樹種による違いもありそう

・活着率向上の可能性
・初期成長への効果

現地の樹種では？

まとめ

12

SAPの効果

- 少量の添加（土壌重量に対し0.2%~0.4%）で保水効果
- 乾季の蒸発量を抑制（乾燥抑制）
- 水流去をおさえ、有効水を増加
- 根系発達を促進

利用上の注意/今後の課題

- 現地土壌や樹種に合わせたSAP施用量の調整必要
- 現場の施肥法や植栽法のさらなる検討が必要
- 乾燥地の塩類土壌や施肥の影響、効果・持続性の確認
- 残留性/分解性（天然有機ポリマーの可能性）

引用文献
日本森林学会誌 100: 229-236, 林業・緑化分野における高吸水性高分子樹脂の利用、高橋ら(2018)
森林立地学会誌 62: 15-59, 高吸水性高分子樹脂を添加した土壌の物理・化学・生物特性、高橋ら(2020)
海外の森林と林業 107: 23-27, 高吸水性高分子樹脂(SAP)の植林への利用 - SAPの特徴と現場における土壌水分の変化 - 高橋(2020)

ウズベキスタンにおける 保育ブロック実証試験

2021年12月17日
応用地質株式会社

浅見和弘

Doctor to
the earth
OYO

本日の流れ

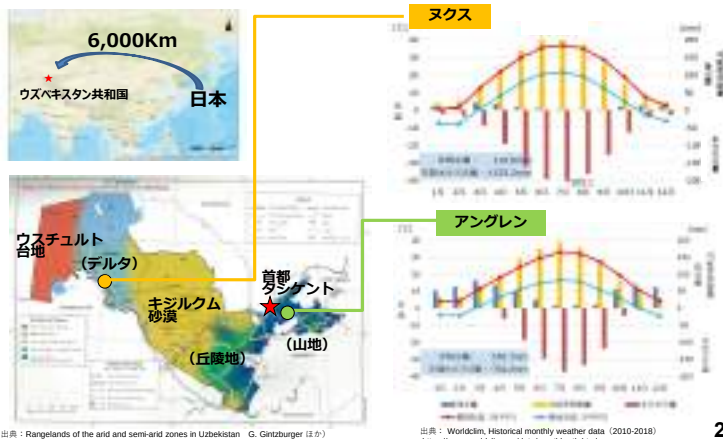
1. ウズベキスタンにおける課題と期待
2. 我々が目指す緑化
 - ・少ない水で早く根を伸ばす 保育ブロック工法-
3. 実証試験結果
 - (1) 砂の平原 (ヌクス)
 - (2) デルタ地帯 (ヌクス)
 - (3) 山地 (アングレン)
4. まとめ



1

1. ウズベキスタンにおける課題と期待

- 国土の中心に砂漠、年降水量100mm以下～700mm前後
- 雨季は冬～早春のみ、その他は乾季で6～8月は平均最高気温30℃超（酷暑期）



2

ウズベキスタン3試験地における課題と期待

- 気候・土壌条件の異なる3地区において実証試験



3

苗の特徴

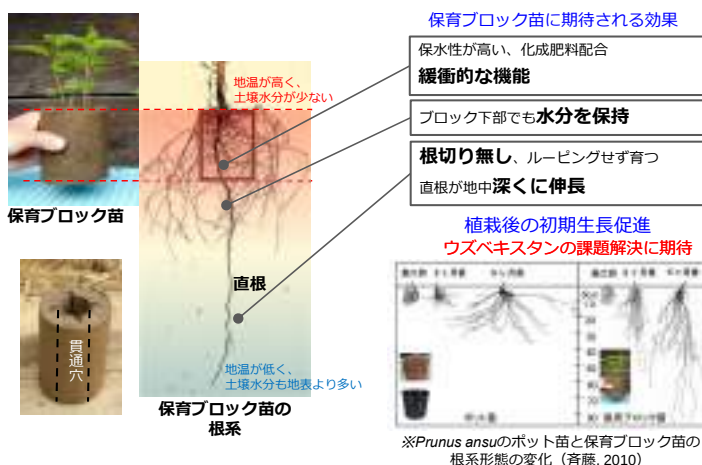
ウズベキスタンの従来方法



4

2. 節水型の緑化技術－保育ブロック工法－

自然環境再生の緑化技術として、山寺喜成元信州大学教授が開発



5

保育ブロックづくり・育苗

材料

- ・土（現地）
- ・堆肥
- ・粘土
- ・化成肥料



①材料の混合



②保育ブロックの成形



③保育ブロックの完成



④乾燥



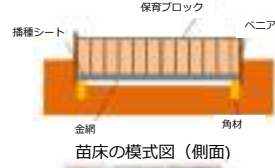
⑤保育ブロックを苗床へ設置



⑥播種



⑦育苗



苗床の模式図（側面）

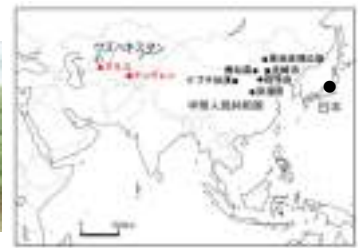


⑧保育ブロック苗（網で根切り） 大林直ら（2010）

6

保育ブロック工法の実績

中国での事例 年降水量 280mm~



地域名	年降水量(mm)	樹種	植栽時期	本数	灌水	結果(活着率)	対照
内モンゴル自治 区 赤峰市	370	ノニレ <i>Ulmus pumila</i> ヤマアズミ <i>Prunus sibirica</i> ほか	2007年5~7月	65 30	連続10日 降雨の ない場合	1年後 : 93.8% (2008年4月): 100%	無し
内モンゴル自治 区 興和県	300~400	文冠果 <i>Xanthoxerces sorbifolia</i> サザン <i>Hippophae rhamnoides</i> 錦鶏児 <i>Caragana intermedia</i> 、 ライラック <i>Syringa oblata</i> ほか	2008年6月	167 35 199	植栽時1L、 その後5L×3回	1年5か月後: 98.2% (2009年11月): 100% 95%以上	市場苗木(裸苗) 活着率: 5~21%
黄河中流域 済南市太極湖	600~800	コナラ <i>Platanus orientalis</i> モモ娘 <i>Prunus diviana</i>	2005年10月	244 257	施工後灌水なし	4年後: 91.8% (2009年7月): 69.8% 4ヶ月後: 約60%	コナラ20万 本ポット苗木着 率: 10%以下
北京市 百花山	720	ノニレ <i>Ulmus pumila</i> モモ娘 <i>Prunus diviana</i>	2007年6月	25 9	天気に合わせて不定 期灌水	2年後: 22% 4ヶ月後: 約80% 2年後: 78%	無し
クブチ砂漠	280~300	ヤナギバグミ <i>Elaeagnus angustifolia</i>	2007年4月	40以上	施工後灌水なし	1年後: 80%以上	樹高1mの標準活 着率: 大半が枯死

浅見ほか（2018）「海外の森林と林業」No.103: 9-14を基に作成

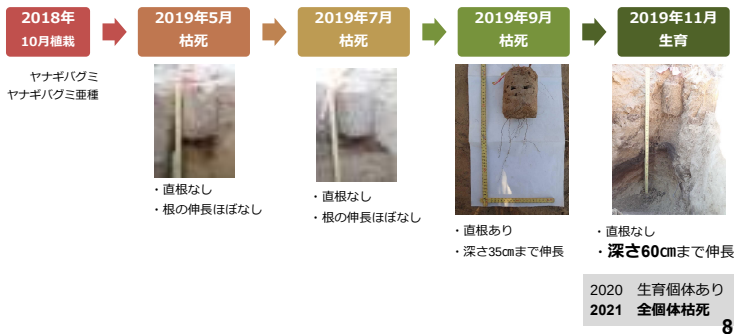
7

3. 実証試験結果 (1) 砂の平原（ヌクス砂質砂漠土）

期待されたこと： 経済的価値の高い樹種の活着

植栽種： ヤナギバグミ (*Elaeagnus angustifolia*)

60 cm まで根系が伸びた個体は、植栽後 1 年は生育 (保育ブロック苗他)
しかし、2021年には全個体枯死 (最後の生存個体は保育ブロック苗)



8

3. (2) デルタ地帯（ヌクス沖積草原土）

期待されたこと： 灌水量・頻度の削減

植栽種： ヤナギバグミ (*Elaeagnus angustifolia*)

- 灌水頻度は通常20回/年以上に対して、2年で5回と大幅に軽減
- 生存率は保育ブロック苗（小・大）でやや高い
- 成長は保育ブロック苗（大）が良好

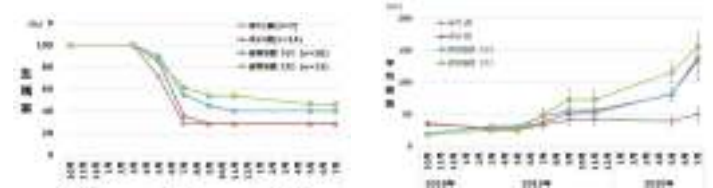


図 生存率の推移の推移

図 生存個体の樹高の推移

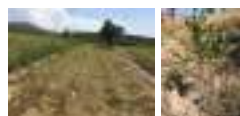
9

3. (3) 山地（アングレン灰色砂漠土）

期待されたこと： 生存率向上、コスト削減

植栽： トネリコ属 (*Fraxines sp.*)

- 従来工法(大苗)の代替として、ポット苗と比較試験
- ポット及び保育ブロック苗ともに生存率90%以上
- 保育ブロック苗は、根系が深く伸長、根系量も多い



アングレン試験地
(2020年5月30日)



図 根系の乾燥重量 (n=8)

10

4. まとめ



11

これまでに実施した森林再生実証調査（①～④） 及び「森林再生技術データベース」の紹介

No.	制限要因	実施国	実証調査のテーマ	調査実施者 (代表者)
①	土壌不良	コンゴ民主共和国	サバンナ地域でのアグロフォレストリー：バイオチャーによる砂質土壌の改良	日本森林技術協会
②	淡水湿地	タイ	低湿地の造林事業に適用できる造林技術開発	東京大学 (小島克己教授)
③	海岸砂丘	フィリピン	ヤシ殻マルチ等を利用した海岸砂丘林造成技術の開発	オイスカ
④	沿岸湿地	全世界	立地条件及び荒廃要因に応じたマングローブ再生ガイドブックの作成	国際航業

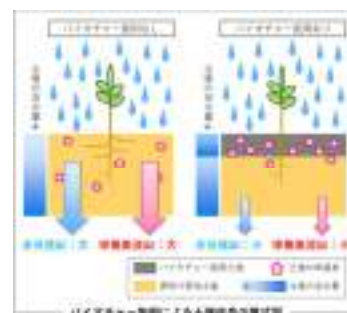
国際緑化推進センター（JIFPRO）仲摩 栄一郎

1

① サバンナ地域でのアグロフォレストリー： バイオチャーによる砂質土壌の改良

目的 対象国：コンゴ民主共和国、委託先：日本森林技術協会

- バイオチャーの施用によって土壌を改良し、植栽木の生存率や成長速度を高める
- アグロフォレストリーの農業生産も高める



バイオチャーによる土壌改良が植栽木、農作物に及ぼす効果は？

2

不良土壌のサバンナ地域での造林事業に適用可能な造林技術： バイオチャー（炭）施用が植栽木、農作物に及ぼす効果



3

② 低湿地の造林事業に適用できる造林技術開発

対象国：タイ、委託先：東京大学アジア生物資源環境研究センター

目的

- 低湿地という環境ストレス条件下では、造林樹種が限定（*Melaleuca cajuputi*）
- 生物多様性の観点からも、その他の在来樹種の造林可能性を調査
- 苗畑において養成中の苗木に「湛水馴化処理」を施し、湿地条件へ適応させ、
- 低湿地に植栽した後の生残率と初期成長の向上を図る。



適応メカニズムを科学的に解明	
苗畑	茎や根の通気組織の発達 水位上昇に対する光合成・気孔コンダクタンスの変化
植栽地	植栽後の光合成・気孔コンダクタンスの変化 植栽木の生残率と成長（湛水馴化処理による改善）

4

低湿地造林に利用可能な在来樹種に関する情報、 及び「湛水馴化処理」の効果

分類	調査結果	種数	樹種名
A	湛水馴化処理なしでも、十分な生残率が確保	5	<i>Syzygium cinereum</i> , <i>Syzygium sp.</i> (現地名：チャマオナム) 等
B	湛水馴化処理の効果により、十分な生残率が確保	4	<i>Syzygium oblatum</i> , <i>Syzygium kunsteri</i> 等
C	湛水馴化処理の効果はあるが、生残率が不十分	5	<i>Syzygium polyanthum</i> , <i>Alstonia spathulata</i> 等
D	湛水馴化処理の効果がなく、生残率が不十分	2	<i>Horsfieldia crassifolia</i> , <i>Nephelium maingayi</i>

- 上記の他に、低湿地における造林候補樹種として期待できる2樹種を選抜
- 湿地造林可能樹種である *Melaleuca cajuputi* の育苗・植栽法を「森林再生テクニカルノート」で公開

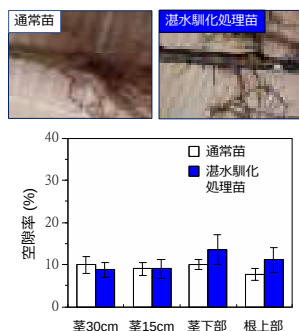


図. 湛水馴化処理による茎や根の通気組織の変化 (*Syzygium sp.*)

5

③ ヤシ殻マルチ等を利用した海岸砂丘林造成技術の開発

目的 対象国：フィリピン、委託先：（公財）オイスカ

- 砂地のため保水性が低い海岸砂丘において、植栽直後の活着率を向上させる
- 現地で廃棄されているヤシ殻を使ったマルチングによる保水効果の検証
- 植栽後の速やかな根系発達が期待できるコンテナ苗の検証



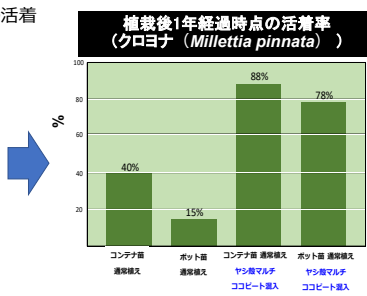
台風等による高波防止に造林による防護堤が必要

フィリピンではヤシ殻は未利用で大量に廃棄

ヤシ殻をそのままマルチに使用

砂質土壌での造林事業に適用可能な造林技術： ヤシ殻マルチやココピート保水材の効果

□ 以下の処理で、海岸砂丘に自生する3樹種※の活着率を比較検証



クロヨナでは、ココピート及びヤシ殻マルチ処理により活着率が80%近くまで向上

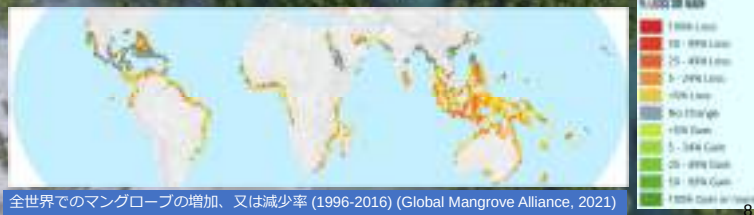
※：クロヨナ (*Millettia pinnata*)、モモタナ (*Terminalia catappa*)、オオハマボウ (*Hibiscus tiliaceus*)

④ 立地条件及び荒廃要因に応じた「マングローブ再生ガイドブック」の作成

目的

対象国：全世界、委託先：国際航業

- 近年、マングローブを含む沿岸生態系（ブルー・カーボン等）の重要性が再認識
- マングローブ再生に関する最新の文献、及び実践現場からの知見を整理・分析
- 民間企業やNGOが、マングローブの再生に取り組むにあたっての技術的な指針（ガイドブック）を作成



立地条件及び減少・劣化要因に応じたマングローブ 再生技術指針（ガイドブック）

1. マングローブの分布、立地、樹種特性
2. マングローブの減少・劣化と再生へ向けた取り組み
3. 立地条件及び減少・劣化要因に応じたマングローブの再生方法
4. 既存の「マングローブ再生マニュアル」及び再生事例の紹介
5. 参考文献・資料

最新の文献・資料をレビューした上で、
マングローブ再生の実務経験に基づいて、
初心者にも分かり易く解説!!



森林再生技術データベース

<https://jifpro.or.jp/tpps/>

- 各実証試験の進捗状況を紹介
- 森林再生に関する記事（論文）を簡単な解説付きで紹介
- 既存の森林再生技術をレビューし、環境ストレス別に整理した「技術集」として提供

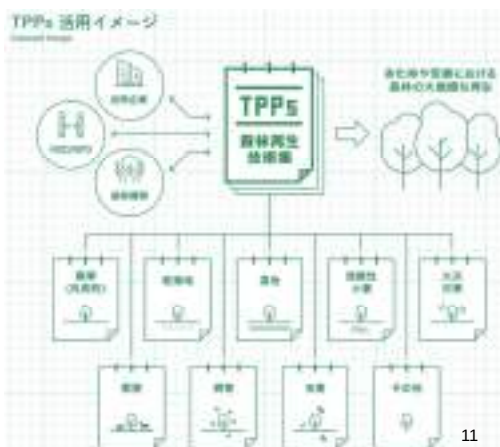
＜実証試験の進捗状況＞



森林再生技術データベース

「森林再生技術集」

- ✓ 標準（汎用的）技術
- ✓ 乾燥地対策
- ✓ 湿地対策
- ✓ 強酸性土壌対策
- ✓ 火災対策
- ✓ 獣害対策
- ✓ 病害対策
- ✓ 虫害対策
- ✓ その他



森林
再生
技術集
(例1)





13



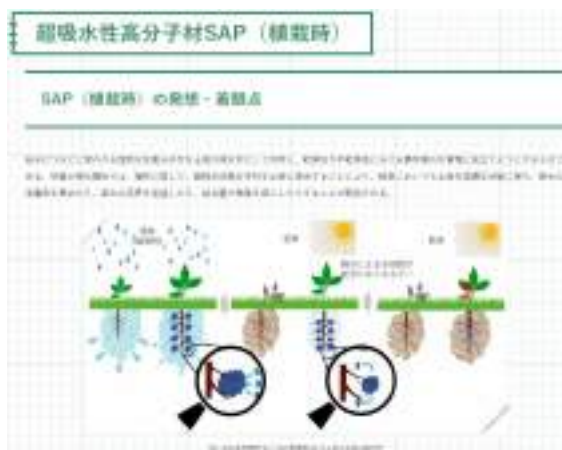
14



15



16



17



18



10.2 最終成果物(実証試験とりまとめ) 公開資料

厳しい乾燥下でも生き抜く M-StAR 長根苗

概要

長根苗で乾燥地造林の課題を解決

ミャンマー等の熱帯乾燥地での従来の植林は、厳しい乾季前に根系発達を促すために、①大穴を掘り、②乾季になると灌水等もするため植栽コストが高かった。また、③植栽時期が雨季初期に限られているため、農繁期と植栽のタイミングが重なりやすいといった課題もある。

そこで、乾燥地での従来法に代わる植林技術として、通常よりも深めの容器で育苗した「**長根苗**」の技術開発を行った。乾燥地でも土壌深層には常時水が残っているため、長根苗により植栽後の土壌深層への素早い根の発達を促すことができれば(右中図)、上記①～③の課題解決になると考えた。

既に地中海や UAE の乾燥地域等で使われていた長根苗の育苗容器は、細長いチューブ状のもので、植栽時に苗が取り出しにくいことが予想された。そこで、日本人が開発した **M-StAR コンテナ**であればシートを丸めて容器にしているため、苗が簡単に取り出せ、かつ容器も再利用でき低コストでできると考えた(右中写真)。

本試験では、年降水量が 700 mm 程度のミャンマー中央乾燥地(マンダレー管区)の造林樹種を使い、M-StAR 長根苗の技術開発(育苗方法、植栽効果の検証)を行った。

今回の育苗・植栽試験で分かったこと

ミャンマーの熱帯乾燥地の 5 樹種(2P 参照)を深さ 60 cm の M-StAR で育苗したところ、**根が底までまっすぐ伸びた理想的な形状の根をもった長根苗ができ(右下写真)、その育苗方法が分かった。**ただし、育苗期間を延ばしても根鉢が柔らかいままの樹種もあり、このような樹種は植栽時に注意が必要である。

雨季植栽では、長根苗による生残効果の向上は認められなかった。一方、乾季植栽では、いずれの樹種でも植栽後 4 か月程度無降水の条件で 80%程度生き残り、その効果が確認された。このことから、**長根苗であれば、植栽直後に雨が十分降らなくても枯死リスクを軽減でき、植栽可能期間を広げられる可能性があることが示唆された。**

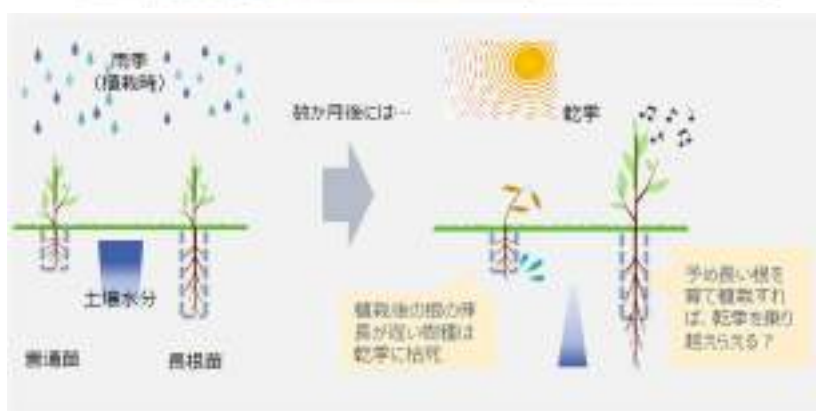
育苗コストは **20 円/苗程度高くなる**ことが試算された。

長根苗技術の確立・普及にむけた課題

本試験の対象以外の熱帯樹種でも長根苗が育成できるかは実際に育苗しないと分からない。今後は、どのようなタイプ(直根型、科、早生樹、落葉性等)の樹種が長根苗の育成に適しているのかを明らかにしていく必要がある。

また、雨季植栽の試験では、長根苗の生残効果は明確ではなく、そのメリットは実証できなかった。ただし、育苗時点の長根苗の根の形状はよく、少なくとも長根苗により植栽後のパフォーマンスが悪くなる可能性は低いと考えられる。

育苗コストが高くなる長根苗の活用技術を確認していくためには、どんな場合(時期、場所、樹種、目的等)で長根苗を使うのが適切なのか、今後見極めていく必要がある。



長根苗による土壌深部への根系発達の促進(イメージ)



従来の長根苗の育苗容器(左)と M-StAR コンテナ(右)



植栽後 2 か月のタマリンドの長根苗。深さ 60 cm の根鉢の下から、下方向に向かって 20cm 以上根が伸長している。



1. 熱帯の乾燥林樹種で長根苗を仕立てる

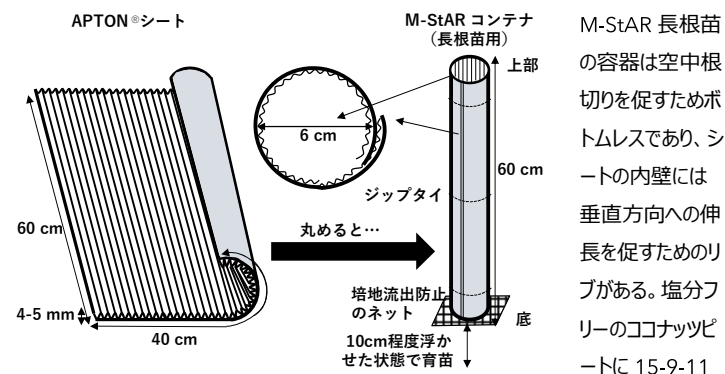
メドインジャパンの M-StAR を長根苗の育苗に使用

長根苗用の育苗容器には、宮崎県（三樹陽一郎氏）により開発された M-StAR を使うことにした。M-StAR はポリエチレン製の梱包用の黒いシート（APTON®、四国化工）を円柱状に丸めてセルコンテナ容器にしたものである。M-StAR の特徴は、シートを自分で裁断することで目的や樹種に合わせ自由に深さと径が調整できることである。

また、なるべくコストを抑えるため、日本から持参した 50m 巻のロール状になった M-StAR を、現地で長根苗用のサイズに裁断した（1 ロール約 1 万円で約 200 個の長根苗用の容器ができた）。このように、M-StAR は価格が安くサイズの柔軟性が高く、ピルポット苗が主流の途上国でもコンテナ苗容器として普及しやすいといえる。



長根苗のデザイン -深さ 60cm の細長いコンテナ苗-



の遅効性肥料を均一に 5 g/L 混ぜ、M-StAR 全体に 0.07-0.08 g/cm³ になる程度に充填した。容器底は培地の流亡を防ぐためにネットを被せた。また、成形を維持するためコンテナの上中下部の 3 か所にジップタイで固定した。

試験対象全 5 樹種で、根が下まで長く伸びた長根苗ができた

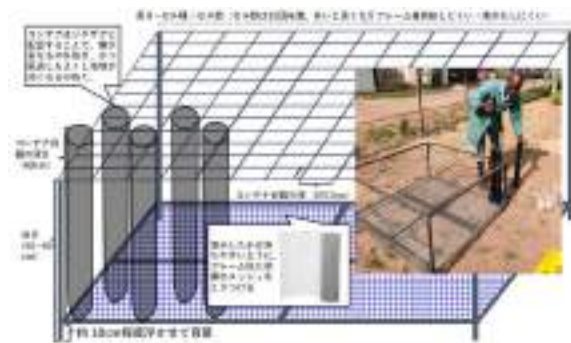
長根苗のメリットを最大限に活かすには、育苗中に根が M-StAR コンテナの底まで到達する必要がある。ミャンマーでは、ニーム (*Azadirachta indica*)、タナカ (*Hesperethusa crenulata*)、ユーカリ (*Eucalyptus camaldulensis*)、チーク (*Tectona hamiltoniana*)、タマリンド (*Tamarindus indica*) の 5 樹種の長根苗を育苗したところ、**全樹種、6 か月程度の育苗期間で根が底まで到達していることが確認された。**これにより、M-StAR 長根苗の育成方法は確立できた。



根がコンテナ底まで伸長（白字は全根長（cm））

長根苗を育苗する棚を現地でオーダーメイド

細長い長根苗は、安定性が低く、そのままでは自立しないので、育苗する際はそれを支える下図のような棚（フレーム）が必要である。棚は苗が支えられさえすれば何でもよいが、コンテナ底まで到達した根がそこでストップする（空中根切り）ように、底を浮かせて育苗できるようにする。本試験では、途上国の小さな町でも手に入る資材を使って現地の溶接屋に作ってもらった。



ココナツピートが必要不可欠!



長根苗コンテナは大容量なので、培地に土を使うと重くなってしまいます。そこで、ココヤシのヤシ殻を粉碎したココナツピートを使用した。ココナツピートは、土に比べ軽く、通気性や保水性にも優れており、世界中でコンテナ苗用の培地として使われている。ミャンマーやケニアはココヤシが自生するので、比較的安価で手に入った。ピルポット苗が主流の熱帯途上国では、重くて硬い土を使っており、ココナツピートがなくて、軽くて、保水性もあることを知って驚いていた。



長根苗の育苗管理のコツ

長根苗は基本的に通常の苗と同様の方法で育苗するが、灌水に少しコツがある。まず、一回の灌水で水がコンテナ底からしたり落ちるまで灌水するようにしないと、灌水した水が底まで届かずに、根が底までのびない可能性がある。ただし、水消費速度（蒸散量）



が遅い樹種は、ポット内に水が残った状態になりがちになり根が腐ったり、病気が発生したりすることがある。灌水頻度は樹種や生育段階により異なるので、**育苗中はコンテナを持ち上げ、軽く叩いたら灌水の目安とする。**

従来ポット苗と長根苗の根の形態の違い

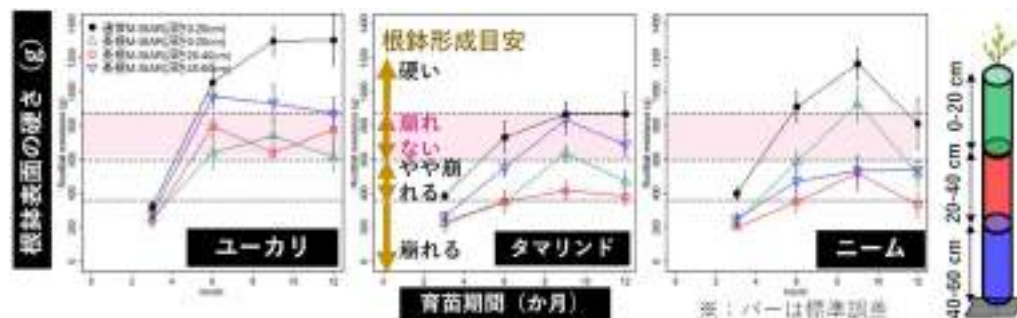
途上国で普及している従来ピルポット苗は、ポット底で根が巻いてしまうが、M-StAR はポット底まで根が真っすぐに伸びて、そこで止まった状態（空中根切り）の苗ができる。さらに、長根苗では、**多くの乾燥林樹種に共通してみられる太くて長い直根（Tap root）を発達させることができる。**

長根苗の育苗期間 ≡ 植栽時に根鉢が崩れなくなるまでの期間

コンテナ苗の根が十分発達すると、根がしっかり培地をつかんだ状態になり、崩れにくい根鉢が形成される。根鉢形成が不十分だと培地が崩れ、植栽時に根を痛めてしまう、もしくは崩れないように植栽するため作業効率が落ちてしまう。よって、「根鉢形成までの育苗期間≡植栽までに必要な育苗期間」といえる。

長根苗の根鉢形成までの期間を調べた。根鉢形成を定量的に評価するため、根鉢表面の硬さを指標とした（右の※）。

下図の通り、ユーカリ長根苗は育苗して 6 か月程度で根鉢が形成され、通常苗とほぼ同じ育苗期間であることが分かった。他 2 樹種は育苗期間が 12 か月経過しても一部の深度で根鉢が「やや崩れる」状態のままであり、これだと一応植栽自体はできるが作業効率が落ちてしまう。



※:「根鉢形成」を定量評価



「根鉢形成」は、実際に手で掴んだ感覚で 4 段階評価（崩れる→やや崩れる→崩れない→硬い）した後、根鉢表面の硬さを計測し、各評価に対応する根鉢硬さを設定(詳細は R2 報告書)。

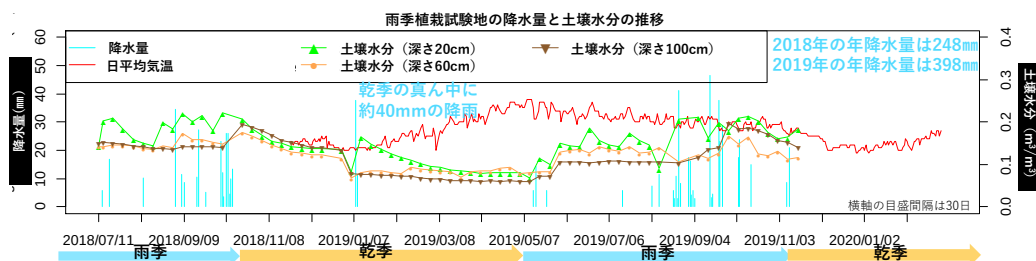


根鉢がしっかり形成されれば、植栽時に根鉢は崩れない。

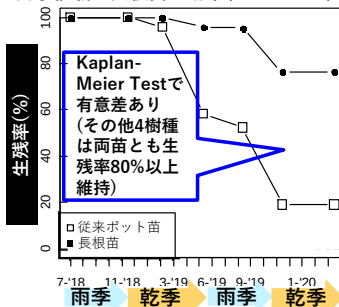
2. 長根苗の植栽後の効果を実証

雨季植栽では、ポット苗も長根苗も生き残った →長根苗の優位性は確認できず

雨季と乾季が明瞭な地域では、乾季前になるべく根系を成長させるため、雨季初めに植栽するのがセオリーである。そこで、まずは長根苗の生残効果を確認するため、ニーム、タナカ、ユーカリ、チーク、タマリンドの長根苗と従来ポット苗を「雨季植栽」した。タマリンドには生残効果があったが、他 4 樹種はポット苗も長根苗も 80%以上の生残率で効果はなかった。



雨季植栽の長根苗の効果(タマリンド)



タマリンドは長根苗の生残効果が明らかだったが、他 4 樹種は長根苗もポット苗も高い生残率であった。

長根苗の植穴はエンジンオーガーで掘削



根鉢の深さが 60 cm の長根苗を植えるための深い穴を掘削するのに、本試験では、エンジンオーガーを使用しました。このエンジンオーガー（中国製）はミャンマーでは 1 万円弱で購入でき、ケニアでも売られていました。

こういった機械を紹介すると「現地では高く使えないのでは」と心配の方がいます。たしかに初期費用は高いかもしれませんが、機械導入

でどれだけの人件費が抑えられるかも考える必要があります。例えば、人件費が 500 円/人日だと 20 人日でこのエンジンオーガー 1 台分です。

地域住民の雇用機会の創出も大事ではありますが、植林が進んでない乾燥地では、植栽時期の人手確保が制限要因になっていることもあり、多少初期投資が高くても、いかに少ない人数・短期間で作業をするかも考慮する必要があります。また、簡単にメンテナンスできるかも重要です。このエンジンオーガーは構造がシンプルなため、町の修理屋でも修理可能です。

雨季植栽では長根苗は必要ない？

ミャンマー森林局によると、従来の植林は雨季初めに 60 cm 四方の大きな植穴に植え、乾季に灌水をすることで、何とかポット苗でも乾季を乗り越えられることだった。そこで、上記の雨季植栽の試験では、大きな植穴なし、無灌水であれば、ポット苗は枯死し、長根苗は生き残るだろうと予測していた。

しかし、予測に反しタマリンド以外の 4 樹種は両苗でほぼ 80% 程度生き残り、長根苗の効果が示せなかった。その一因は、乾季の真真中に約 40mm のまとまった雨が降り、土壌表層の水分が上昇したことがあげられる。

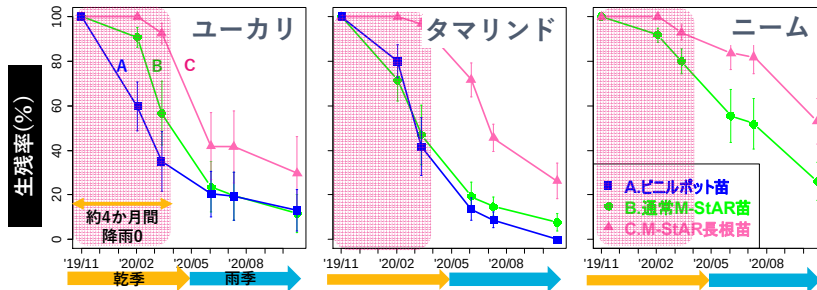
乾季に雨が全く降らなければ、タマリンド以外でも長根苗の効果があつたかもしれない。逆に、生残効果がみられたタマリンドも降雨パターンが異なればポット苗でも問題なく生残したかもしれない。よって、今回の試験だけでは、雨季植栽における長根苗の必要性についてはっきりしたことはいえない。

ただし、長根苗は深部への根伸長を促し、植栽直後の苗木にプラスに働いているのは確かである。植栽地の深さ毎の土壌水分の季節変動や過去の降雨パターン（旱魃の有無）をみつつ、長根苗を使うかどうか検討したほうがよい。

乾季植栽では、全 3 樹種で長根苗による生残効果は実証できた

乾季植栽では下図の通り全 3 樹種で効果が見られ、厳しい植栽条件（無灌水、降雨なし）下でも、長根苗は 4~5 か月程度は問題なく生き残ることが実証できた。このことから、**雨季后半での植栽や降雨パターンが不安定な場合でも、長根苗により植栽直後の枯死リスクを軽減できるといえる。**

乾燥地では、近年の気候変動による雨季の短縮化（遅れ）や、植栽時期と農繁期が重なりやすく、長根苗は植栽可能時期を広げられる方法・技術として期待できそうである。



3. 長根苗の育苗コスト

長根苗の育苗コストは割高 → 費用対効果を考え効果的に使うべき



長根苗の育苗コストは従来ポット苗よりも 20 円/苗程度高くなる。また、M-StAR は日本から輸入する必要がある。ポット苗でも問題なく植林できていた場合は長根苗の必要性は低い。

ただし、乾燥地では植栽コストが割高になりやすい(ミャンマーでは灌水や大きな植穴掘削に係る人件費は 50 円/苗以上)。育苗コストだけでなく、植栽コストや長根苗により得られるメリットを考えて長根苗を使ったほうがよい。

なお、植栽コストは、その大部分が人件費であり、各国の相場や熟練度により変動しやすいことに加え、灌水の有無や補植の程度等でも大幅に変わるため単純には比較できない。**少なくとも長根苗の植栽コストが従来法よりも高くなることはない**ので、後は植林地の条件・目的に合わせ長根苗を使うかどうか判断すればよい。場合によっては、育苗コストが約半分の深さ 30cm M-StAR 長根苗を使ってもよいだろう。

4. 他の熱帯乾燥地域への適用可能性

ケニアにて長根苗ができる樹種をスクリーニング中

ミャンマーでは、前述の 5 樹種で育苗容器の底まで立派な根が発達した長根苗が M-StAR でできたが、他の熱帯乾燥樹種でもうまく育つかどうかは分からない。

そこで、乾燥地が広がるアフリカ大陸にあるケニアにて、右のような熱帯乾燥樹種を 25 樹種で長根苗が育つか、根鉢形成まで必要な育苗期間を調べているところである。さらに、植栽時期や樹種によっては、深さ 60 cm の長根苗は必要ないかもしれないため、深さ 30cm の長根苗も植栽試験の処理に入れることで、どの程度の深さの長根苗が必要なのかを検証する予定である。

最後に、長根苗の技術開発はまだ途上である。特に雨季植栽での長根苗の効果・必要性については、乾燥地の降雨パターンは年により異なるので、1 回の試験では何とも言えない。**乾季植栽では、植栽後、無降水でも長根苗であれば 4 か月程度生き残り、植栽直後の苗木にプラスに働いているのは確かである。また、植栽時の苗の根の形状は長根苗のほうがよい。**育苗コストが高くなることを踏まえ、どんな場面（時期、場所、樹種 etc.）で長根苗を使うのがよいか見極めていく必要がある。

雨季に入ったのに枯死した原因

当初、植栽後の最初の乾季を乗り越え、雨季に入りさえすれば、その後は問題なく生き延びると考えていた。しかし、雨季に入って全 3 樹種で生残率が落ちてしまった。一因としては、雨季に下草の繁茂し土壌表層の水が不足ぎみになったことと、集水キヤッチメントを作らなかったため、雨季の雨水が十分に苗木の周辺に浸透しなかったことが考えられる。

いくら長根苗が乾季を乗り越えるといっても「下草刈り」、「集水キヤッチメント」等は必要だろう。乾燥地では通常の管理施策としてこれを行っているところが多く、長根苗に付随する追加的な作業ではないので無理なくできるだろう。

また、最終的に生残率が 50% 以下になったからといって、この長根苗技術が使えないというわけではない。**ポット苗より長根苗のほうが生残しやすいことは確かなので、通常の管理施策を+αすることで、技術を改良・確立していくことが重要である。**

いかに育苗コストを抑えるか

長根苗は育苗容器の深さが長くなる分だけ、どうしても培地コストが高くなります。また、いくらココナツピートが安いといっても、従来の土と比較すると割高なのは確かです（左）。さらに、ココヤシが自生しない国ではココナツピートを輸入しなければならないため、さらに費用は高くなります。そこで、なるべくココナツピートに頼らずに長根苗を育てるため、ケニアでは、ココピートの 1/6 の価格で購入できるもみ殻燐炭を「かさまし」に使用しないか検討中です（詳細は R3 報告書）。



ケニアにて長根苗のスクリーニング中の 25 樹種

	非マメ科	マメ科
落葉樹	<i>Melia volkensii</i>	<i>Dalbergia melanoxylon</i>
	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Acacia polyacantha</i>
	<i>Vitex payos</i>	<i>Faidherbia albida</i>
	<i>Moringa oleifera</i>	<i>Acacia senegal</i>
	<i>Croton megalocarpus</i>	
	<i>Sclerocarya birrea</i>	
	<i>Terminalia brownie</i>	
常緑樹	<i>Terminalia spinosa</i>	
	<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Acacia tortilis</i>
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Acacia seyal</i>
	<i>Ziziphus mauritiana</i>	<i>Senna siamea</i>
	<i>Balanites aegyptiaca</i>	<i>Senna spectabilis</i> (半常緑)
	<i>Markhamia lutea</i>	<i>Tamarindus indica</i> (半常緑)
	<i>Osyris lanceolata</i>	
	<i>Azadirachta indica</i> (半常緑)	
	<i>Kigelia africana</i> (半常緑)	

高分子吸水材(SAP)で土壤水分を保持

国際緑化推進センター
(JIFPRO)
高橋正通
masamichi@jifpro.or.jp

概要

乾燥・半乾燥地には保水性の悪い砂質土壌が広く分布しています。植林を成功させるには、**土壤水分の維持が最大の課題**です。

高分子吸水材 (Superabsorbent Polymer, **SAP**)はオムツに使われる吸水素材として知られています。**土壤保水材としても市販**されていますが、**効果の科学的検証は少ない**のが現状です。そこで SAP が保持する水分は樹木に有効かどうか、苗木の成長に効果があるかを明らかにしました。

SAP を土壌に混ぜると、**雨や灌水を速やかに吸水**し SAP 内に蓄えるので、**高い土壤水分状態を維持**できました。また、地表面からの**蒸発を抑える効果**もありました。さらに、SAP 内の水は**根が吸水しやすい「有効水」**であることを確認しました。SAP を混合した土壌にスギとヒノキのコンテナ苗を植えたポット試験では、スギに対して**短期間で発根を促進する効果**があり、**灌水を止めても苗木は長く生存**しました。

最近の気候変動により、降雨パターンの変化や砂漠化の進行が報告されています。SAP の施用により、**乾燥による苗木枯死のリスクを低く**し、また、**灌水頻度を減らしてコスト削減**につながる可能性があります。

土壌の種類や植栽樹種によって適正な SAP 濃度や効果は異なります。**コストにも影響**するので、**現地土壌と植栽樹種で効果を確認してから使用計画**をたててください。



苗木の植穴に SAP を混ぜた土壌と土壤水分センサーを埋める (ミャンマー)

SAP の状態と水

多様な SAP 製品

SAP は紙おむつや熱冷まし、芳香剤などに使われています。最も一般的な成分はポリアクリル酸やポリアクリルアミドという高分子化合物です。乾燥状態の SAP はプラスチックと同じような固形物で、それを砕いて大きさ 1mm 程度の粒にそえて販売されています。水を加えると柔らかくなりゼリーのような状態 (ゲル状) に変わります。さらに水を加えるととろみのついたスープ状になります。

土壌の保水用として成分や粒度の異なるさまざまな SAP 製品が販売されています。しかし、使用にあたってのマニュアルなどは整備されておらず、利用者の現場の経験に任されたままです。今回は、ポリアクリル酸を主原料とした SAP を用いて、さまざまな試験を行いました。



SAP1g (左) に、水 50g (中)、300g (右) を加えた

開発者の着眼



乾燥地・半乾燥地には保水性の低い砂質土壌が広く分布しています。砂質土壌の保水性を高めることは農林業や緑化の成功につながるでしょう。SAP は約 50 年前に開発され、世界中で試験研究が行われましたが、実際の現場の技術としてはあまり普及していないようです。

途上国の森林は薪の採取や過放牧による荒廃がとまりません。通常、雨季になってから植林しますが、雨があまり降らなかったり、与えた水が乾いたりして苗木が枯れて思うように活着しないことがあります。植林の時に SAP のような土壤保水材を使うと、灌水量を減らしても、雨が少なくても、土壌が湿って苗木が枯れにくくなる可能性があります。特に最近は気候変動で降水パターンが変化しているので、乾燥による苗木の枯死リスクを回避する対策にもつながります。

ミャンマー中央乾燥地の植林活動



火入れや放牧により植生回復は難しい



植林による森林回復の事例、植栽 2 年目のようす

SAP が吸水する仕組み

高分子のネットに水が浸透

SAP は長い高分子の糸がところどころつながったネット状の構造をしています。水があるとネットが広がり中に水が閉じ込められて保水性を発揮します。高分子にはナトリウムやカリウムがイオン結合しており、SAP 内部は周囲の水よりも塩の濃度が高くなっているため、浸透圧の差により水が自然にネット内に入ってきます。

土壌の化学性も改善

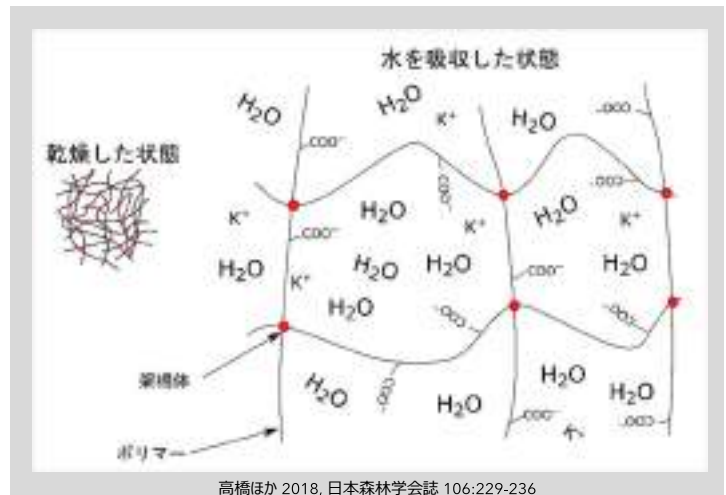
SAP 素材の高分子（ポリアクリル酸）はマイナスに荷電しています。そのため、SAP を添加すると、プラスに帯電しているカルシウムなどのミネラルやアンモニウム態窒素などが保持されます。すなわち土壌の陽イオン交換容量（CEC）が大きくなります。砂質土壌は CEC が小さいので、土壌の「水もち」だけでなく、「肥料もち」の向上にも役立ちます。

SAP は 2 時間以内に吸水するが、塩水に弱い

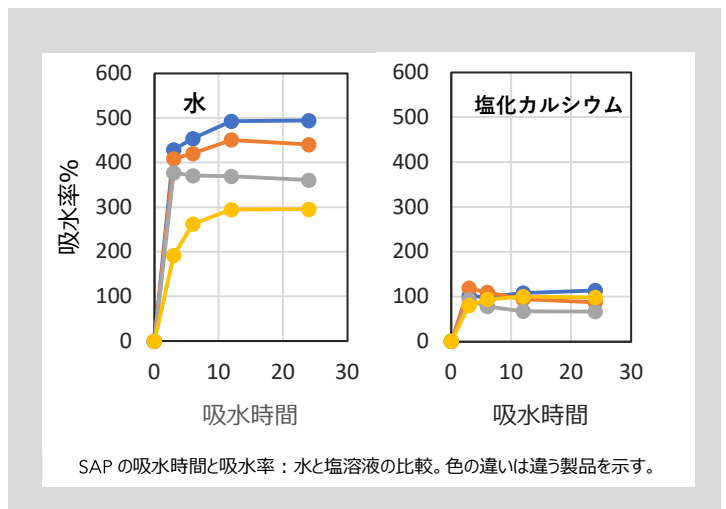
SAP を水に入れると、2 時間程度で最大吸水量の 8 割ほどまで吸水して膨らみます。製品により吸水性は異なりますが、SAP 単品で自重の最大 500 倍（500%）になります。しかし、塩化カルシウムが溶けた溶液では最大でも 100 倍程度で、塩の濃度が高いほど浸透圧差が小さくなり、吸水率は低下しました。

土壌の塩分濃度が高い場合、SAP の性能は低下します。乾燥地には塩類土壌が分布していますので注意が必要です。また、灌漑水の塩分濃度も影響します。電気伝導度計などで塩分を確認したり、植林地の土壌を事前に調べたりしましょう。

塩類土壌や灌漑水の塩分に注意！



高橋ほか 2018, 日本森林学会誌 106:229-236



SAP の最適添加量

SAP の吸水膨潤とその制限要因

土壌に SAP を入れる量はどのくらいが適当でしょうか。SAP 添加量を増やすほど土壌水分（土壌含水比）は高くなり保水量はふえました。しかし、SAP 重量に対する吸水率は低下しました。これは土壌粒子のすき間の大きさに膨潤が制限されるためです。

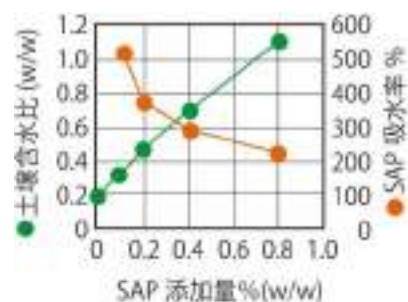
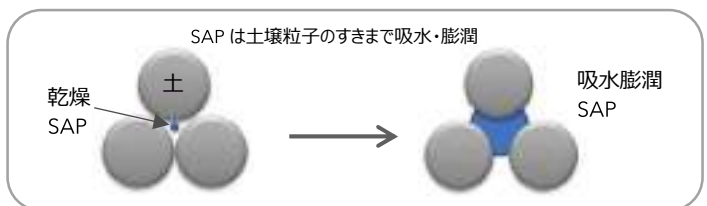
SAP 添加量に対する 2 つのグラフ（土壌含水比、SAP 吸水率）との関係から最適な添加量を検討しました。砂質土壌の場合、土壌の乾燥重に対して 0.2%～0.4% 程度の SAP 添加率が、最も吸水効率よく土壌の保水性を高められることがわかりました。

砂質土壌の場合

SAP0.2～0.4%（重量割合）が最適添加量

粘土質土壌は効果小

粘土質の土壌は粒子のすき間が小さく、SAP が膨潤するスペースがありません。そのため、SAP の吸水効果は小さくなります。SAP を施用する土壌の土性（粒径組成）を確認しましょう。



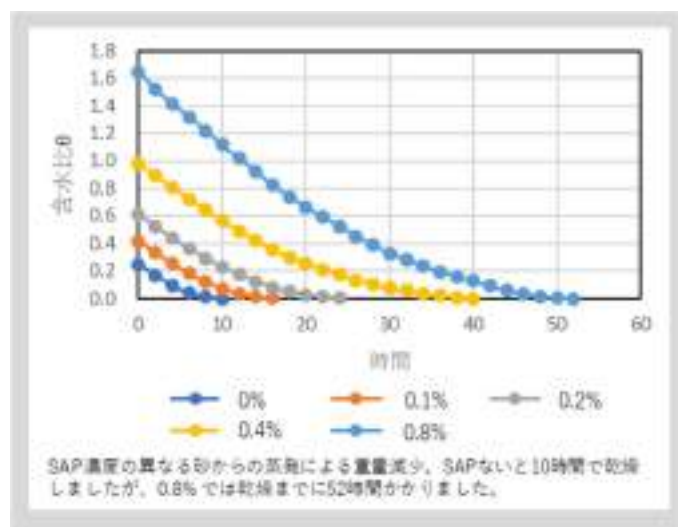
試験に用いた砂質土壌では、SAP 添加量と土壌水分 ● と SAP 添加量と吸水率 ○ との関係から、砂質土壌では最適添加量は 0.2～0.4% が効率よいと判断できます。

SAP 土壌は乾きにくい

土壌からの蒸発はゆっくり

SAP の添加量を変えた 100g の砂をナイロンバックに入れ、60℃のオーブンで乾燥させました。2 時間毎に重さをはかって土壌からの蒸発速度を求めました。SAP を入れると保水量が増え、土壌が乾くまでに時間がかかりました。特に土壌水分が少なくなるほど蒸発速度は遅くなりました。SAP を添加しない土壌にくらべ、SAP0.2%を添加するごとに、完全に土壌が乾燥するまでの時間が約 10 時間遅くなりました。

SAP 添加により土壌が乾きにくくなります。乾燥地は土壌水分の蒸発が激しいですが、SAP を入れると灌水の頻度や量を減らすことができそうです。また、気候変動で降雨の少ない年に植栽してしまっても、その影響を減らせる可能性があります。



SAP の水は植物が吸収しやすい

SAP の添加により排水が抑えられ有効性が長続きする

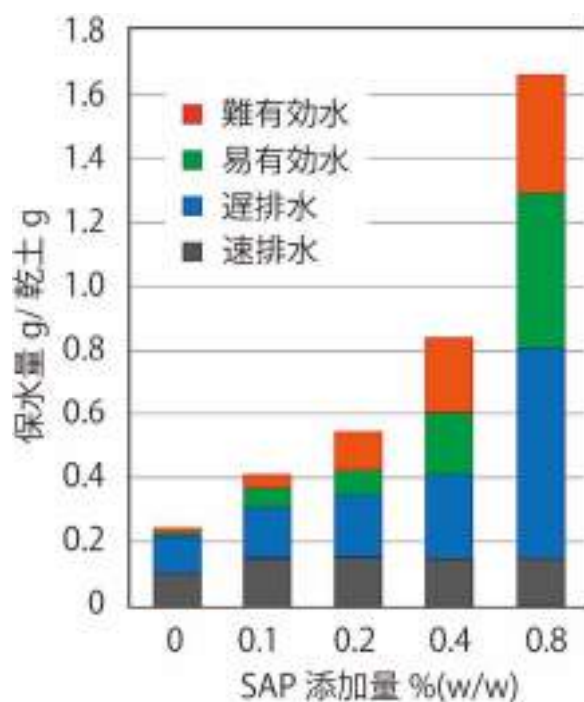
SAP は水をすばやく吸収するので、吸水力が強すぎて、植物根が利用できないのではという懸念があります。根の吸水力で SAP 内の水を利用できるかどうかを土壌物理試験の測定装置で調べました。

降雨や灌水後、速やかに土壌から排水される水分（速排水）は、短期間でなくなるので有効性には限りがあります。SAP を添加するとゆっくりと排水されるので（遅排水）、有効性が長続きます。

SAP 内に保持されている水分の保持力を測定すると、植物が容易に利用できる成分（遅排水と易有効水）が約 7 割を占めていました。SAP に強く保持され植物が利用しにくい水分（難有効水）の割合は 2 割程度でした。SAP 中の水は植物が吸収しやすい水分であり、苗木に利用されます。



ミャンマー中央乾燥地における植林風景



土壌への SAP 添加量と保水された水の有効性

ミャンマー中央乾燥地の土壌断面写真。
周辺には水はけは良いが保水性の悪い砂質土壌が広く分布している。
(断面のスケールは 130cm)



土壌断面の掘削



SAP は根の発根を促し、乾燥時の枯れを防ぐ

苗木は発根量をふやし、枯れにくい

日本の造林樹種（スギとヒノキ）で SAP の効果を調べるポット試験を行いました。川砂に SAP を添加した培養土にスギとヒノキのコンテナ苗を植えて、灌水しながら育てました。

川砂は保水性がなく、灌水直後の土壌の含水率は約 15%(v/v)で、その後、排水と根による吸水により最低 5%まで下がりました。SAP を添加したポットは灌水直後の含水率が 23~35%で途中で灌水せずとも10~20%で維持されました。

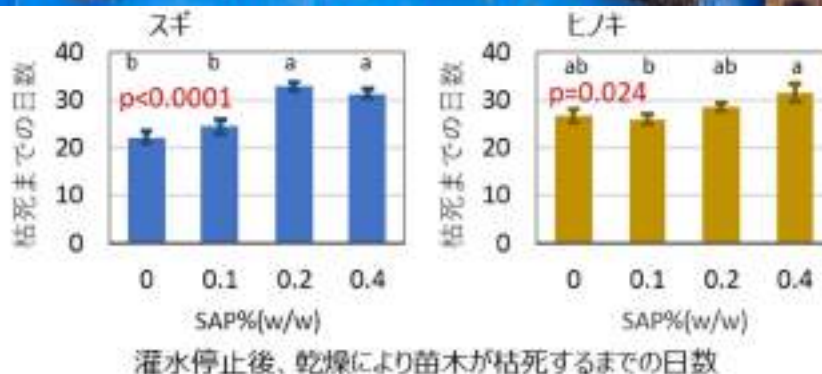
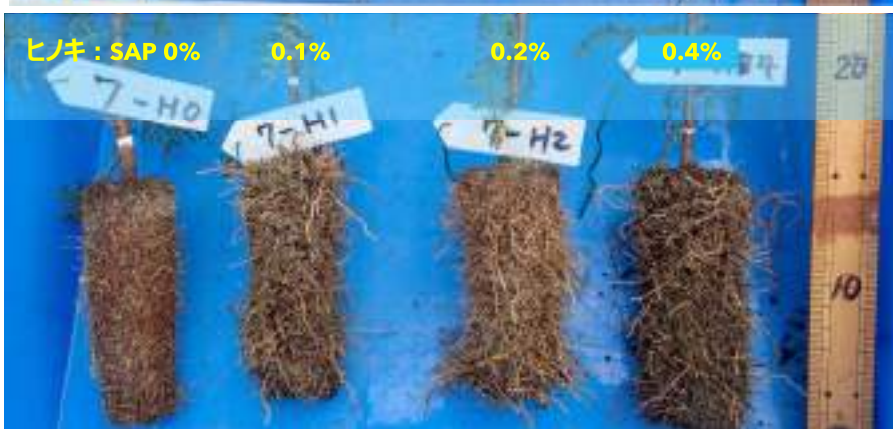
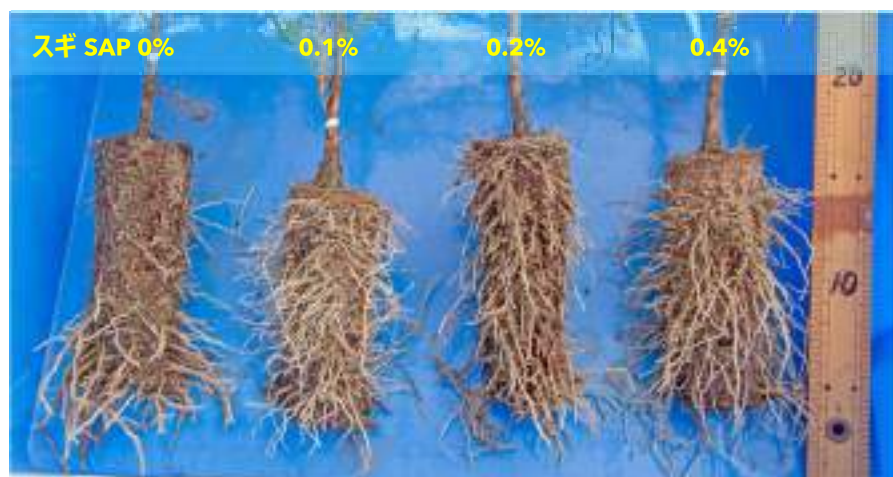
2 週間育成後、ポットから苗木を取り出してみると、SAP を添加したポットの方が根はよく伸びていました（右写真）。

4 週間後の根量は、スギの場合、SAP 0.2%以上で統計的に有意な発根量が確認できました。ヒノキも SAP 添加により発根が促進される傾向がみられましたが、スギほど明瞭な差はありませんでした。

1 ヶ月育てた苗木の灌水をとめて、枯死までの日数を調べました。スギでは SAP を入れないポットより 0.2%以上入れたポットの苗木の方が、約 10 日長く生存しました。ヒノキも延びる傾向がありましたが、統計差は明瞭ではありませんでした。

スギとヒノキは土壌水分に対する生理特性が異なることが知られています。樹種によって SAP に対する反応が異なるようです。

今回の試験は研究蓄積が十分にある日本の造林樹種を使いました。途上国では苗木の研究例が少なく、国によって植栽樹種も違います。できるだけ現地の樹種と土壌を用いて SAP 添加試験をして、発根状態などを確認しましょう。2 週間程度で判断できます。



SAP のコストと課題

SAP の追加コスト

SAP 施用の追加のコストを試算しました。製品により価格は異なり、1kg あたり 900 円~1800 円です。土壌 1kg に対し SAP0.2%とすると 1.8 円~3.6 円です。ポット試験では土壌 2kg 使い 3.6~7.2 円でした。ミャンマーの 30cm 立方の大きな植穴は土壌 35kg で 63~126 円になります。植穴の大きさや濃度は現地の土壌や管理方法、気象条件で決めてください。

土壌 1kg あたり 2~4 円で計算

SAP の施用方法

SAP 施用は植穴の土壌に粉末で混ぜる方法と、水を加えたゲルを高圧ポンプで土壌に注入する方法があり、それぞれに特徴があります。前者は施用しやすいですが別途水を用意します。後者は大規模な産業植林で使用され、成木への灌水にも使われています。経費や現地の事情に合わせて選択します。

SAP の課題

SAP が有効な樹種かどうかは、現地で確認する必要があります。施用の場所や深さについての検討も必要でしょう。製品の価格差も大きく、コストと効果の見極めるための試験と解析が望まれます。

最後になりますが、ポリアクリル酸の SAP は石油製品です。生分解性の SAP も開発され商品化が検討されています。環境負荷を考えると、効果の持続性と生分解速度の兼ね合いが課題となるでしょう。

参考文献：1) 高橋ほか 2018 日本森林学雑誌 100:229-236 林業・緑化分野における高吸水性高分子ポリマーの利用、2) 高橋ら 2020 森林立地学会誌 62: 51-59 高吸水性高分子樹脂を添加した土壌の物理・科学・生物性、3) 高橋 2020 海外の森林と林業 107:23-27 高吸水性高分子樹脂 (SAP) の植林への利用—SAP の利用と現場における土壌水分の変化—

根の力を活かす保育ブロック苗

応用地質株式会社
(OYO)

大林直

oobayashi-sunao@oyonet.oyo.co.jp

概要

ウズベキスタンの緑化の課題と保育ブロック苗

中央アジアの国の1つウズベキスタンでは、冬に雨や雪が降り、夏はほぼ雨が降らない。気温が上昇する5月~6月になると水分はどんどん蒸発し、土壌表層は乾燥してしまう(図1) このため、乾燥しやすい土壌表層より深く、水分の安定した地中深くまで苗木の根を伸ばすことが重要となっている。

現地では、土壌環境に合わせ①根がまっすぐ下に伸びやすい樹種の植栽、②酷暑期の灌水、③大苗の深植え等を行っているが、生残率は高くなく補植を繰り返しているのが現状である。

そこで、従来使用される苗木に替わる「保育ブロック苗」の技術開発を行った。保育ブロック苗は、空気根切りによる直根の保護と、水分・養分を含んだ土壌ブロックによる初期成長の促進が期待される。このため、植栽後早期に根を地中深くまで伸長させ、苗木の生残率を高めることができると考えた。

本試験では、ウズベキスタンの「砂地」、「デルタ地帯」、「荒廃山地」の3つの環境条件下で保育ブロック苗の植栽試験を行い、その生残率や生育状況、コストについて検討した。

保育ブロック苗の植栽結果

【全体】3つの環境条件のうち、デルタ地帯では約30%、荒廃山地では90%以上が活着し、夏に降雨のないウズベキスタンでも保育ブロック苗が活用できることが確認された。一方、砂地では植栽後1年でほぼ全個体が枯死し、保育ブロック苗のみでの植栽は困難との結果となった。

【砂地】ヤナギバグミ (*Elaeagnus angustifolia*) を植栽し、ほぼ全個体が枯死する結果となったが、長い間生残していた個体ほど根が地中深くまで伸長しており、**根の伸長が生残率の向上につながる**ことが確認された。1年間生存した個体は60cm以深まで根が伸長していた。

【デルタ地帯】ヤナギバグミの保育ブロック苗とポット苗を植栽したところ、2年後の生残率はともに30%程度であり、**保育ブロック苗による生残率の向上はみられなかった**。一方、データ数は少ないものの、保育ブロック苗の方が樹高成長はよい結果が得られた。

【荒廃山地】トネリコ属 (*Fraxines* sp.) の保育ブロック苗とポット苗を植栽したところポット苗と比べ**保育ブロック苗の根が地中深くまで伸長していた**。

【コスト】保育ブロック苗の植栽コストは、大苗の植栽と比較して、**380円以上安くなる**ことが試算された。一方で、ポット苗と比較して**約50円高くなる**結果となった。



図1 ウズベキスタンの気候(マクス)



図2 保育ブロック苗と根の伸長



図3 保育ブロック苗の成長の良い個体(デルタ地帯)

保育ブロック苗の今後の課題

ポット苗と比較して、保育ブロック苗の生残率・樹高成長に有意な差はみられなかった。作成・運搬コストを考慮しつつ、**降水量に合わせた保育ブロックの大きさの検討も必要**と考える。なお、ポット苗と比較し、保育ブロック苗の根の伸長が良好であったことから、今後の生育状況についてもモニタリングを続けることも必要である。

また、砂地では枯死する結果となっており、保水剤等、他の技術との併用による保育ブロック苗の適用範囲の拡大検討も課題である。

保育ブロック苗ってどんなもの？

現地の材料で保育ブロックを作る

保育ブロックは、主に土、堆肥（有機物）、粘土、化成肥料を混ぜ合わせ、特製の機器（保育ブロック作製器）を用いて成形する。一番初めに保育ブロック作製器を購入、または製造する必要があるが、それ以外はすべて現地で準備できるため、資材の少ない国においても簡単に作ることができる。このため、途上国の人々が自分たちで保育ブロックを作製し、継続して緑化活動を続けていくことが可能である。



保育ブロックの作製器

材料の配合

材料の配合は、容積比で土：堆肥＝1：1をベースに作製する。乾燥した保育ブロックを水に沈めた時、壊れてしまったり、中々吸水しない場合は、土と有機物の割合を変えたり、粘土を加え調整していく。ウズベキスタンのメクスでは、土：牛糞堆肥＝1：1（60L：60L）と粘土 15L で作製した。

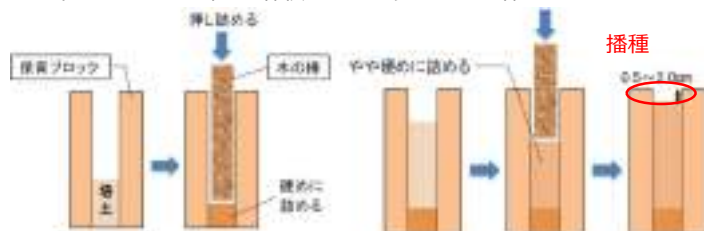
保育ブロック作製のポイント

使用する土や堆肥、粘土は篩（ふるい）を通して石やごみを取り除き、塊になっている材料はほぐしておく。土や粘土に使うふるいの目は 0.5 cm～1.5 cm、堆肥に使うふるいの目は 2.0 cm～3.0 cm が目安である。また、材料はしっかり混ぜ合わせないと壊れやすいブロックになってしまうので注意が必要である。

貫通穴に培土を詰めて播種する

保育ブロックの 1/3 の高さまで貫通穴に培土を入れ、太めの木の棒などで押し詰める。こうすることで、保育ブロックの底から培土が落ちなくなる。その後、更に培土を入れ、今度は苗木の根の伸長を阻害しない硬さで木の棒で優しく詰めていく。一度に大量の培土を入れると、表面の培土だけが締め固まり内部の培土が詰まっていかないため、小まめに培土を入れて詰めるよう注意する。

ウズベキスタンでは、土と堆肥を体積比 1：1 で混ぜたものを培土とした。



保育ブロック苗の育苗は宙に浮かせて

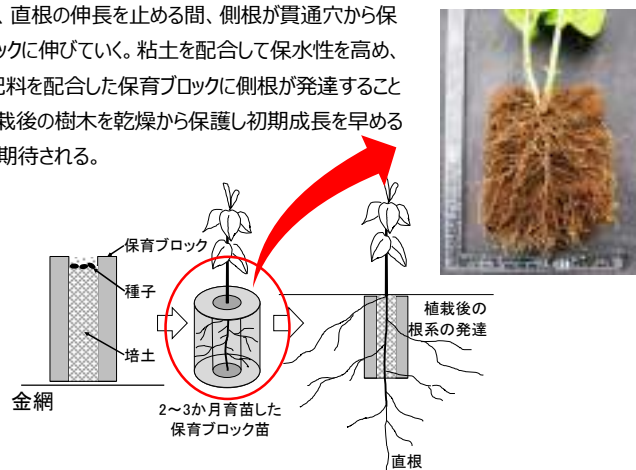
収穫コンテナ等、底がメッシュ状になったケースに新聞紙を敷き、その上に保育ブロックを密着させて並べていく。ケースは地面から少なくとも 10cm 以上浮かせた金網やパイプの上に設置する。地面にケースを直接置くと、根がそのまま地中に伸びていってしまうため注意が必要である。



保育ブロックの仕組み

保育ブロックは、金網などの上に載せて育苗する。樹木の直根は保育ブロックの下まで伸長すると空気に触れ、一時的に成長を止める。この技術は「空気根切り」と呼ばれている。鋏などで物理的に根を切った場合と異なり、空気根切りにより伸長の止まった直根は、植栽後、再び地中深くに向けて真っ直ぐ伸びていく。

また、直根の伸長を止める間、側根が貫通穴から保育ブロックに伸びていく。粘土を配合して保水性を高め、化成肥料を配合した保育ブロックに側根が発達することで、植栽後の樹木を乾燥から保護し初期成長を早める働きが期待される。



長根苗・コンテナ苗との違い

空気根切りによって直根の保護や根のルーピングを防止している苗木は、保育ブロック苗以外にも長根苗やコンテナ苗が知られている。保育ブロック苗はこれらの苗木と何が違うのか？

1 つは、土壌のブロックがあること。保育ブロック苗は根の周りに水分を含んだ土が保護している。このため、乾燥した場所に植栽した際に、土が緩衝材となり、苗木に与える乾燥ストレスを低減してくれる。

もう 1 つは、資材を選ばないこと。長根苗やコンテナ苗では培地にパーミキュライトやココヤシ皮トを使用するのが一般的である。保育ブロック苗は土と堆肥、粘土といった現地で入手可能な資材で作成することができる。

保育ブロック苗を植える

深さ 30cm、直径 30cm 程度の植穴を掘り、保育ブロック苗を植栽する。通常はスコップで植穴を掘るが、砂地や石の多い場所以外ではガソリン式オーガ等での掘削も有効な手法である。また、オーガ等で一度深さ 50cm 前後まで掘り土を柔らかくすることで、根が伸長しやすい環境を整えることができる。



保育ブロック苗の技術開発の意義

乾燥地においても多量の灌水を行えば、樹木を育てることは可能だ。しかし、これは人が永続的に管理しなくては生きられない樹木であり、自然環境を豊かにする本来の緑化とは異なっている。

また、多量の灌水は貴重な資源の浪費であり、コストがかかるため、途上国には大きな負担となる。

このため、乾燥地においては天水によって植物が生存することを前提とし、厳しい環境条件下で生存できる植物群落を造成する緑化技術が必要である。

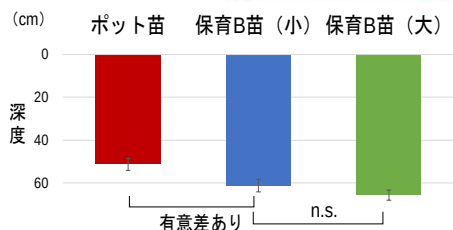
保育ブロック苗は樹木本来の力を使い、早期に水分条件の変動が少ない地中深くまで根を伸ばすことで生残する技術である。本事業においても、植栽直後に数回灌水は行ったものの、従来と比較的少ない灌水量で植栽し、その後の成長を観察した。

乾燥地での保育ブロック苗の成長

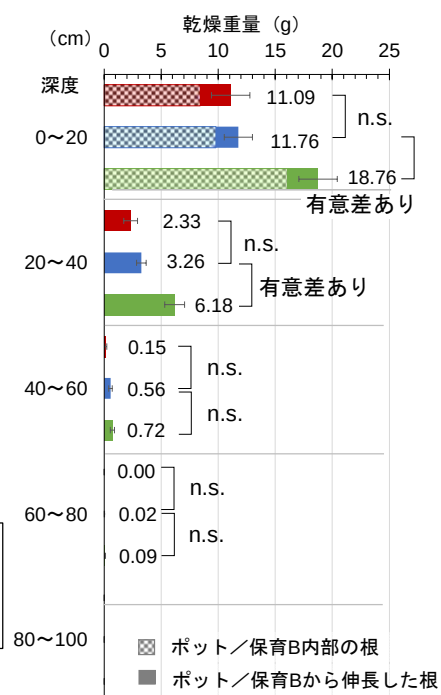
環境別の植栽結果

環境	砂地 (砂質砂漠土/年降水量約 100mm)	デルタ地帯 (沖積草原土/年降水量約 100mm)	荒廃山地 (灰色砂漠土/年降水量約 400mm)
現状	- 根が地中深くに伸びやすいサクサウル (Haloxylon sp.) の裸苗を植栽している。 - 薪炭材としてサクサウルの違法伐採が発生している。	大苗を植栽し、用水路を用いた灌水を実施している。酷暑期には 3 日に 1 回することもある ※年間に推定 2,000L/本の灌水を行っている。	土の軟らかい 3~4 月に、深さ 50cm ほどの植穴を掘って大苗を植栽しているものの、生残率は 10%~30%と低く、4~5 年の間補植を繰り返している。
共通の課題	生残率の向上		
個別の課題	・サクサウルに替わる経済的価値の高い樹種の植栽	・灌水量・灌水頻度の削減	・運搬・植栽コストの削減
植栽内容	- 家畜の飼料となるヤナギバグミ(<i>Elaeagnus angustifolia</i>)を植栽 2018 年 10 月に、当年生の保育ブロック苗とポット苗を植栽 1 年間で 6 回、計 150L を灌水	- 一般的に植栽されるヤナギバグミ(<i>Elaeagnus angustifolia</i>)を植栽 2018 年 10 月に、当年生の保育ブロック苗(ブロックの大きさが異なる 2 種類)とポット苗を植栽 2018 年 10 月から 2020 年 7 月までの約 2 年間で 7 回、計 225L/本を灌水	- 一般的に植栽されるトネリコ属(<i>Fraxines</i> sp.)を植栽 2019 年 11 月に、当年生の保育ブロック苗(ブロックの大きさが異なる 2 種類)とポット苗を植栽 2019 年 11 月から 2020 年 7 月までのに 3 回、計 35L/本を灌水
植栽結果	- 植栽 1 年後の 2019 年 11 月にはほぼすべての苗木が枯死してしまっした。 - 長く生残した個体ほど、根が深くまで伸長していた。 - 冬季にネズミによる食害を強く受けてしまった。 ⇒保育ブロック苗は、樹高の低い段階で植栽するため、大苗よりも食害に遭いやすいことが懸念される。	人為的な攪乱により試験本数が減少してしまったが、植栽 2 年後にポット苗は 14 本中 4 本(約 30%)、保育ブロック苗(小)は 20 本中 6 本(約 30%)、保育ブロック苗(大)は 13 本中 6 本(約 45%)が生残した。 - 保育ブロック苗のうち生育の良い個体では、植栽後 3 年で高さ 2.5m まで成長した。 ⇒従来の大苗植栽よりも少ない灌水量で、苗木が生残することができた	- 保育ブロック苗(小・大)、ポット苗ともに生残率は 90%以上であり、有意差はみられなかった。 - 植栽 2 年後の根の到達深度は、ポット苗が 51cm、保育ブロック苗(小)が 61cm、保育ブロック苗(大)が 65cm と保育ブロック苗の根の発達が良好だった。 - 根の乾燥重量は、深さ 0~40cm において保育ブロック苗(大)が有意に大きかった。

苗木の種類による根の発達の違い(植栽地：荒廃山地、植栽 2 年後)



左上：掘り取った苗木の根系
左下：苗木別の根の到達深度
右：深さ別の根の乾燥重量
※Welch's t-test ($p < 0.05$)
保育ブロック苗(小)との比較



高分子保水剤との併用の可能性

荒廃山地では、植穴の土を改良することで、保育ブロック苗の効果を高めることができないかと考え、土壌に園芸用の高分子保水剤（アクリル酸重合体部分ナトリウム塩架橋物）と吹付工で用いられる団粒化剤（アニオン系線状有機化合物）を混合し、保育ブロック苗を植栽した。

現場での掘り取りでは、保水剤区の根が良好に伸長しているのが観察された。根の平均到達深度に有意な差はみられなかったが、保水剤との併用で、より早く根を地中深くまで伸ばせる可能性があり、今後、土壌への添加量等さらなる検討が必要である。なお、団粒化剤は土を泥状にして添加するため、乾燥した際に硬く固まり、根の伸長を阻害してしまった。

※本試験では、保水剤 300g に 30L の水を吸水させ、植穴 1 つに対し吸水させた保水剤 0.6L を混合させた



根の先端

※混合区：保水剤・団粒化剤両方を混合

保育ブロック苗のコストは？

アングレンの荒廃山地において従来植栽されている大苗と保育ブロック苗の、植栽に係るコストを計算した。大苗は植えるまでに約 720 円/本かかり、生残率は 10～30%前後のため 5 回ほど補植する必要がある。このため、大苗の植付にはおおそ 1200 円～1500 円/の費用が必要となる。一方、保育ブロック苗は植えるまでに約 335 円/本しかからない。また、本事業での生残率は 95～100%となっているため、補植のほぼ必要ない。このため、保育ブロック苗を使うことで費用を抑えることができる可能性がある。

現地の規則にも注意が必要

ウズベキスタンでは樹高 2.5～3m 以上、本数 500 本/ha になると「森林」として国に登録される。また、登録されるまでは管理し続けなくてはならない。

保育ブロック苗の成長は、植栽した場所の気象条件に左右されるため、2.5m 以上になるまで数年かかる可能性があることも考慮してから、植栽する必要があるだろう。



※林業委員会からの聞き取り結果、本事業での作業量から算出した値であり、育苗・植栽条件によって金額は異なる

※育苗施設、運搬費や基盤整備等の費用は入っていない

※管理は除草作業や灌水を想定している。

他地域への適用可能性・課題

保育ブロック苗は樹木本来の力を使い、早期に水分条件の良い地中深くまで根を伸ばす技術である。このため、植栽後に根を伸ばす環境・期間があれば、降水量の少ない地域でも適用できる緑化技術と考えている。本業務においても年降水量約 100mm のメクス（沖積草原土）において、植栽後 3 年で平均樹高は 250cm まで育てることができた。また、これまでの植栽事例においても、春季～夏季に降雨のある独貴特ラ（中国・内モンゴル自治区）では、年降水量が約 260mm の中、植栽 1 年後に約 80%の生残率が得られている。

一方で、植栽直後に厳しい乾燥に晒されれば、根を伸ばすことができずメクス（砂質砂漠土）のように枯死してしまう。本事業の対象地としたウズベキスタンのように夏季に降水のない地域では、植栽直後の灌水管理の拡充や、マルチング、高分子保水剤及び団粒化剤を使用した土壌改良との併用等も十分検討したうえで、保育ブロック苗を導入していく必要がある。

植栽環境	試験地	月平均（℃）		年降水量（mm）	降雨型	年間水分 欠乏量 （mm）	乾燥度 指数	樹種	生残率 （約1年後）
		最高気温	最低気温						
荒廃山地	百花山 （北京）	27.5	-13.3	512	冬乾燥 夏雨	-518.0	0.51	<i>Prunus sibirica</i> ヤマアズナ	80%以上
	アングレン	32.8	-4.4	560	夏乾燥 冬雨	-764.8	0.47	<i>Fraxinus</i> sp. トネリコ属	94.7%
荒廃地	東ウジムチン （内モンゴル）	29.1	-26.7	231	冬乾燥 夏雨	-704.5	0.25	<i>Ulmus pumila</i> ニレ <i>Prunus sibirica</i> 山杏	97.8% 34.6%
	独貴特ラ （内モンゴル）	31.8	-17.1	262	冬乾燥 夏雨	-876.2	0.23	<i>Lycium</i> sp. クコ	約80%
砂質砂漠土	メクス	36.7	-8.1	117	夏乾燥 冬雨	-1135.2	0.09	<i>Elaeagnus angustifolia</i> ヤナギバグミ	約2%（砂質砂漠土） 45%（沖積草原土）

※気象データは基本として、世界の天候データツール（気象庁）を参照した

※乾燥度指数に使用した蒸発散量は概算のため、乾燥度指数を気候区分には当てはめていない

詳細は報告書をご参照ください（<https://jifpro.or.jp/tpps/category/report/>）

林野庁補助事業 途上国森林再生技術普及事業

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@jafta.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。



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。

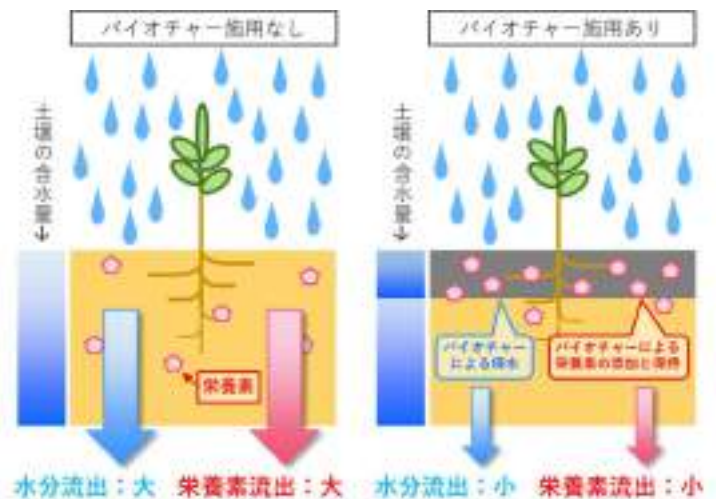
このような荒廃地は Arenosols と呼ばれる砂質土壌が分布する地域に多く見られ、これらの地域で木本種の定着、成長を阻害する自然的制限要因は、主に土壌有機物が失われたことで栄養塩や、土壌水分の保持能力が低下したことによるものと考えられる。

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。



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。国別でみて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。

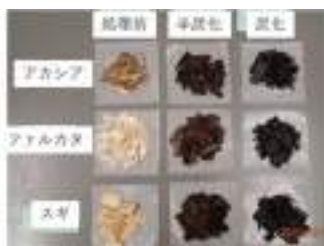
バイオチャーを活用したアグロフォレストリーにより持続可能な土地利用で燃料、食料生産を行うことは、地域住民の生活を守り、森林減少を抑制し、炭素貯留によるCO₂削減も期待できる、非常に多くのメリットのある取り組みです。

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。

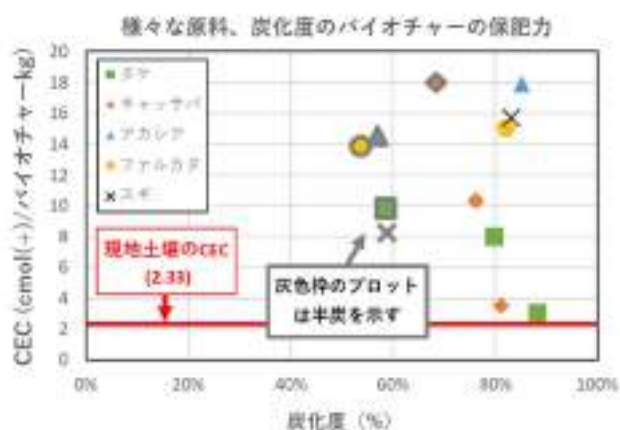
どのような土壌改良を目的として、どのようなバイオチャーを施用するのか、対象地の状況や植栽する樹木、栽培する作物に合わせたバイオチャーの利用を検討する必要がある。



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/m² 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
半炭 (低炭化度)	○保肥力が高い ○保水力が高い ○原料あたりの効果高い ○土壌中での分解が遅い △pH は酸性 ×大量生産技術がない	○保肥力が高い △保水力はあまり高くない ○原料あたりの効果高い ○土壌中での分解が遅い △pH は酸性 ×大量生産技術がない ×燃料需要と競合
炭 (高炭化度)	△保肥力は低い場合あり ○保水力が高い ●分解が非常に遅い △pH はアルカリ性	△保肥力は低い場合あり △保水力はあまり高くない ●分解が非常に遅い △pH はアルカリ性 ×燃料需要と競合

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。

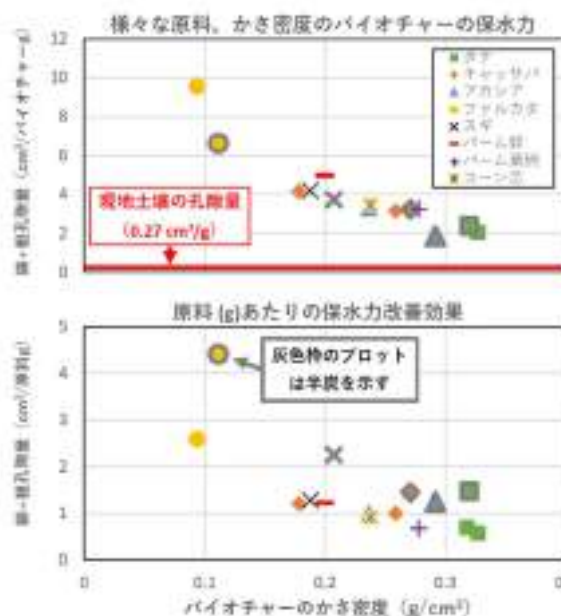
本試験では、コンゴ民主共和国サバナ地域で入手可能な未利用バイオマス資源として、タケ、キャッサバ茎、トウモロコシ芯、オイルパームの幹・葉柄を収集、炭化し、土壌改良材としての性能を比較しました。

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/m² 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～

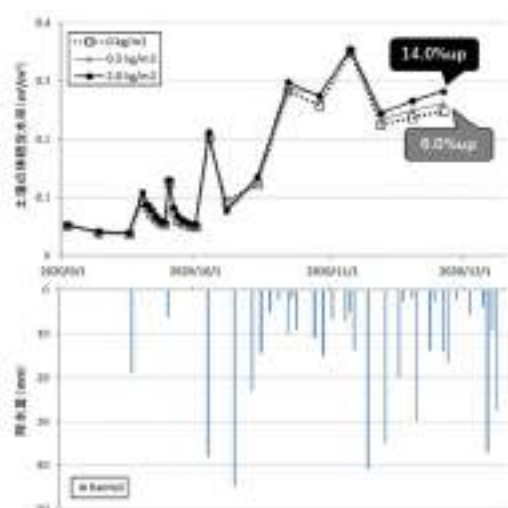
-バイオチャーの施用方法

- 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^2 、 0.5kg/m^2 、 2.0kg/m^2 ）とし、施用量による効果の違いを検証した。



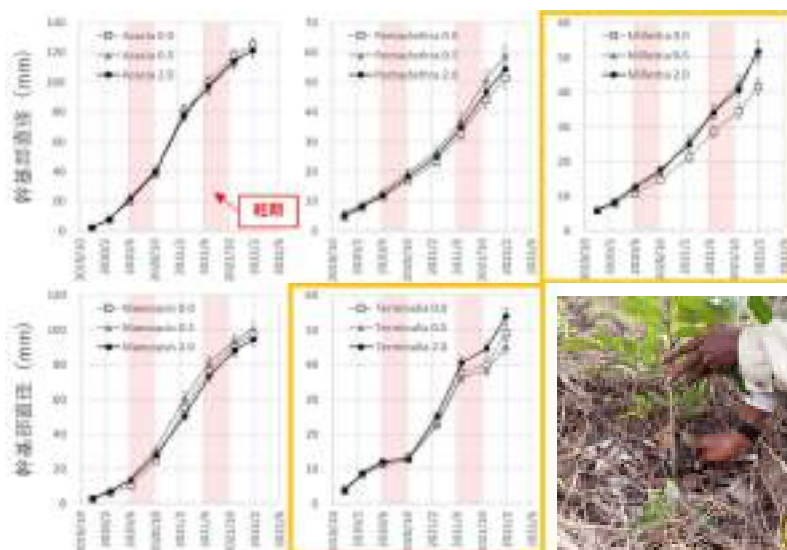
-土壌保水性への効果

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



Milletia 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

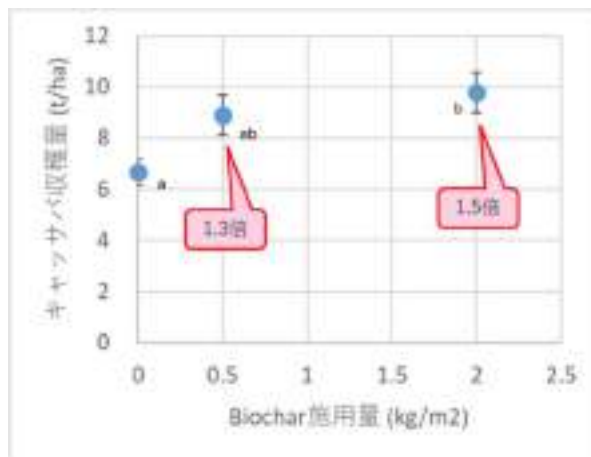
何故これらの樹種を選んだか？

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。アカシアは薪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～

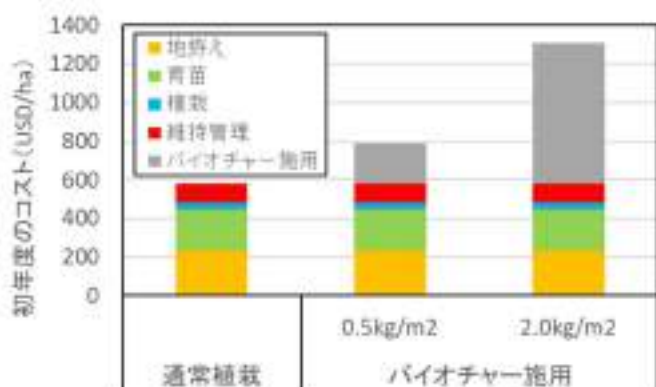
-キャッサバの収穫量への効果

- 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/m²）**、**484USD/ha（施用量 2.0kg/m²）** 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/m²）**、**727USD/ha（施用量 2.0kg/m²）** のコストが増加する。
- 施用量 0.5kg/m² ではキャッサバ収穫 1 回、2.0kg/m² ではキャッサバ収穫 2 回以降（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粉碎、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、そのついでに土壌改良用のバイオチャーも作成できるといでしょう。
- ③粉碎：施用コストの 23%を占めます。多量のバイオチャー粉碎は、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：地帯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壌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壌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。

ヤシ殻＋ココナツピートで高生存率の海岸林造成

公財オイスカ
(OISCA)
長 宏行
cho@oisca.org

概要

オイスカでは、フィリピン レイテ島の砂浜海岸において、ヤシ殻、ココナツピートを培土とした M-StAR コンテナ苗を使って、コストや労力をかけずに生存率を高める海岸林の造林技術開発を行いました。

保水性が低く、強日射下で地温の上昇も激しい砂浜海岸において、ココナツピートをコンテナ培土に用い、また根鉢の周りにも入れることで土壌の保水力を向上させることが期待できます。また、ヤシ殻マルチにより植栽直後の土壌の保湿、表層が高温になるのを軽減することが期待されます。どちらの資材も安価で熱帯域では比較的容易に入手することができます。

ヤシ殻マルチ、ココナツピート土壌混入を、それぞれ単独で、あるいは組み合わせて植栽した結果、どの方法でも生存率を大きく向上させることができました（60%～80%）。灌水は植栽直後に1度行ったのみでしたので、維持管理にかかる労力を省力化できる可能性が高いことを実証しました。



植栽実験地全景

なぜ熱帯で海岸林？ 砂浜での海岸林造成の課題は？

熱帯での海岸林の必要性と課題

地震による津波はもちろんのこと、近年台風やサイクロンなどの規模も巨大化し津波級の高波が起り被害をもたらす災害が増えています。こうした災害への備えとしてはコンクリート製の防波堤建設が考えられますが、建設資金が不足しがちな途上国では必ずしも現実的な対策とはいえません。自然の力を利用して波の威力を軽減し人々を守る防災減災技術としてはマングローブの造林も非常に有効ですが、マングローブが育たない砂浜海岸も熱帯にはたくさんあります。

そのような砂浜海岸では、海岸林がマングローブに準じた役割を果たしうることから海岸林造成の必要も高まってきました。ところが、熱帯域を対象とした海岸林造林のマニュアルはこれまでほとんどなく、わずかに行われていた造林活動においても、砂質で乾燥高温の土壌に加え、風害塩害も伴うような厳しい環境下にも関わらず、これらの脅威に対処する有効な工夫が示されたものはほとんど見受けられませんでした。



砂浜海岸での海岸林造成は環境が厳しく難しい

従来の造林方法

通常のポットに、通常の土壌を培土に用いて育苗し、植栽後灌水（水やり）を行っています。NGO や海外の政府援助機関等なら資金に余裕があるので、その後複数回にわたり灌水することや、雑草の葉などを集めて乾燥を防ぐためのマルチを行うこともあります。が、現地の行政機関が行う場合は、資金不足から植栽後の管理がほとんどなされず、結果、活着率も非常に低くなってしまいう問題が多く見られました。



従来の植栽時何も施さない苗木

草マルチをした苗木

植栽後の水やりは必要だが労力がかかる、、、。

砂浜海岸は、苗床より環境要件が厳しいこともあり、植栽後の1～2週間は枯死するリスクが特に高くなると思われます。特に土壌は砂質なので雨が降ってもすぐに水分が下に流れてしまいます。それゆえに、植えられた苗木が毎日必要とする水分を確保するために植栽後一定期間の水やりは非常に重要になってくるのですが、労力（コスト）を要するため途上国の自治体等ではほとんど行うことができず、結果的に折角植えた苗を枯らしてしまうことが多いのが現実です。

ヤシ殻＋ココナツピート＋Mスターコンテナで生存率を上げる

ヤシ殻を用いたマルチ

ヤシ殻をマルチとして用いる方法は従来からありますが、ここでは特に、ヤシ殻の厚みに着目しました。熱帯の海岸の砂浜は直射日光を受け、日中裸足であるけないほどの高温になります。移植直後の苗は根の損傷なども多く、弱っており、植栽後1～2週間は特に枯死するリスクが高いのが実情です。そこで、厚みのあるヤシ殻をマルチとして用いることで、直射日光を遮り、植えたばかりの苗の根の回りの土壌が高温になるのを抑えることを期待しました。

どんなヤシ殻が良いか？

お勧めは、長い間放置されて乾いてしまったものではなく、まだ新しく湿っているヤシ殻です。水分を多く含んでいるので、保湿効果も期待できます。マルチとして置いてから1か月もすると、乾いて委縮し効果が低下するものの、移植直後の1～2週間は、か弱い苗をしっかり守ってくれます。

ヤシ殻の調達と加工

ヤシ殻の繊維は「たわし」などの材料として用いられますが、多くの国では、十分活用されず、ココヤシの中身を食べたり飲んだりした後は捨てられていることが多い。ヤシの木が育つ国や地域であれば調達は難しくありません。実証実験地のレイテ島では、育苗施設の近くにココナツジュースを飲ませる屋台があり、その裏に捨てられたヤシ殻が山のように積んであったため、それを無償でもらい受けました。



ヤシ殻はそのままではマルチとして使えないため、フィリピンで一般的に用いられている農作業用のナイフを使って、植栽現場にて、四等分ないし八等分に割って使用しました。

植栽



植栽後の様子



M-StAR コンテナで育てた苗の植栽方法

ココナツピートを土壌に入れて保水力を確保

ココナツピートはコンテナ苗の培土としても使用しますが、ここでは、植栽時に根の回りの砂にも1.5リットルのココナツピートを混入しました。目的は根回りの土壌の保水力を高めるためです。砂浜海岸の土壌はほぼ全て砂質で、雨が降っても保水力がなく、ほとんどの雨水が一瞬にして下のほうに流れてしまいます。ココナツピートを土壌に混入することにより、根の回りにしばらくの間雨水の水分が留まることになります。

ココナツピートの調達・加工



ココナツピートは、ヤシ殻の繊維を加工して縄を作る工場が植栽地から35km南に下ったところにあり、縄を作る過程でココピートを含む繊維の残滓が出るため、それを安価で購入しました。ただ、そのままでは粗く大きな繊維も混じっていたため、最後に植栽現場で、約3cm角の目のある金網で篩って、大きな繊維を取り除いて用いました。

実験に用いた樹種

熱帯の砂浜海岸で、時に波をかぶるような汀線の近くから砂丘にかけて自生する、耐暑性、耐潮性、耐塩性が高い常緑樹のうち、先行事例で植栽経験のある3樹種を選びました。モモタマナ (*Terminalia catappa*)、クロヨナ (*Millettia pinnata*)、オオハマボウ (*Hibiscus tiliaceus*) です。

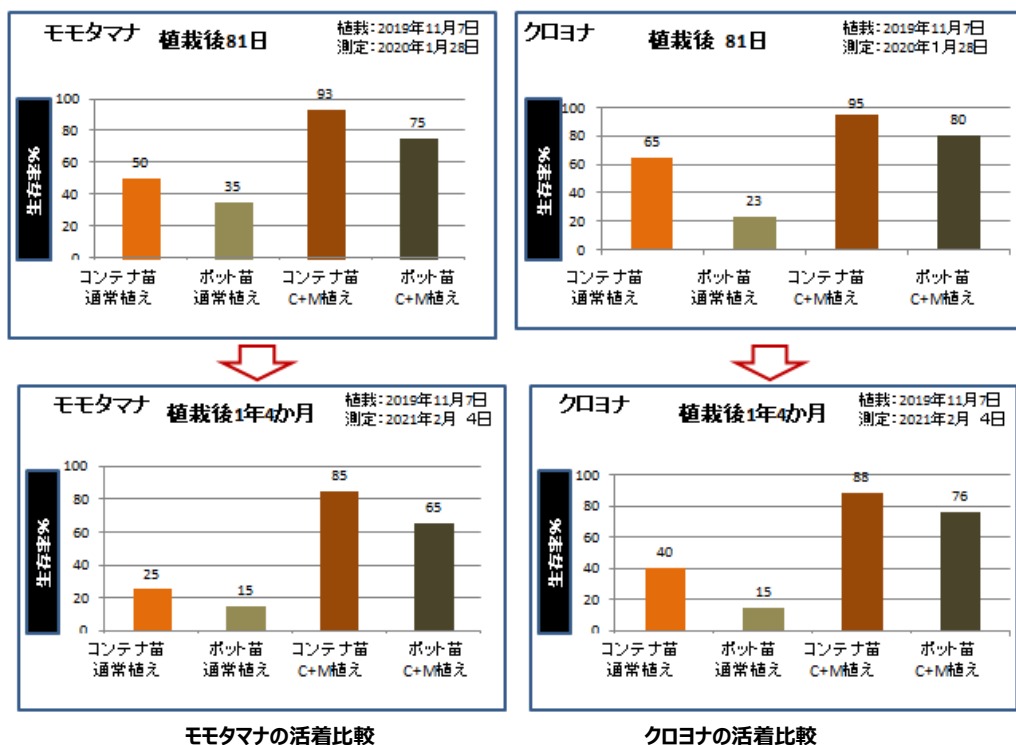
育苗に関しては、モモタマナ、クロヨナはコンテナ、通常ポットともに、直接播種、オオハマボウは挿し木で育てました。



モモタマナ (左)
オオハマボウ (右)
いずれも
M-StAR コンテナ苗

直径20cm、深さ30cmの穴を掘り、埋め戻す土に1.5リットルのココピートを混ぜ、ココピートを混入させた土を入れてから苗を植えます。植えた後は良く踏み固めます。植え終わったら椰子殻でマルチングします。植栽後、ペットボトル1本分(約500ml)、可能であればそれ以上の量の灌水をして作業は終了です。砂質土壌の養分不足を補うため化成肥料(N:P:K14-14-14)を10g入れるのも良いでしょう。植栽時に肥料をやる場合は直接根に触れないように注意してください。

通常のポット苗や通常の植え方と比較した実験結果を下図に示しました（C:ココピート混入、M:ヤシ殻マルチ）。



クロヨナ
(*Milletia pinnata*)



モモタマナ
(*Terminalia catappa*)

植栽後1年4か月経過で80%以上の生存率が得られた

1年後4か月後の生存率は、M-StAR コンテナ苗の通常植えでは25%（モモタマナ）と40%（クロヨナ）、ポット苗の通常植えの場合は15%（モモタマナ、クロヨナ）と低いものでした。それが、ココピート混入+ヤシ殻のマルチをすることで、**生存率はコンテナ苗85%（モモタマナ）と88%（クロヨナ）**、ポット苗でも65%（モモタマナ）と76%（クロヨナ）となり、活着に著しい効果を示しました。このように、ポット苗の場合でも、ココピート混入+ヤシ殻マルチ植え（C+M 植え）を施せば生存率を向上させることができるので、コンテナ苗を作れずポット苗を利用する場合でも、C+M 植えを行うことをお勧めします。

またオオハマボウは、挿し木を用い、コンテナ苗の通常植えとC+M 植えでの比較をしましたが、通常植えの1年4か月後生存率が80%で、C+M 植えは95%と、いずれも高い生存率を示し、両者の有意差は認められませんが、海岸林造成に使う樹種としてのオオハマボウの優位性が確認できました。

竹フェンス — 成長阻害を軽減する効果

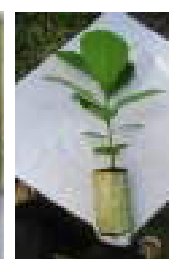
実験では高さ1.3mの竹を挿しただけの簡易な竹柵フェンスを設け、設けていない区画と、伸長量や生存率を比較してみました。その結果、竹フェンスには生存率を高める効果は認められませんが、伸長量はフェンスの有無で明らかな差が確認できました。この結果から竹フェンスには、伸長量の阻害を軽減する効果があると思われます。風が常時強く吹く場所ではフェンスが有効かもしれません。



簡易竹フェンス（手前は植栽直後の苗木）

竹コンテナでの育苗 M-スターコンテナの代替

M-StAR コンテナとトレーは高価ではありませんが、入手に関しては現時点では日本から輸入する必要があります。そこで現地で簡単に手に入る資材として、竹を用いてコンテナを作成してみました。竹を16cm×2cmに切り、それらを7枚ほど合わせて筒を作り、テープで張り合わせたものです。M-StAR コンテナには根を下方に誘引する溝がありますが、竹を合わせる際に隙間を開けて溝を設けることで同じ効果が出るよう工夫しました。トレーに関しては、マーケットで手に入る飲料プラスチック製のケースで代用しました。



つなぎ目を塞いだりバタイプのコンテナ（写真）が、M-StAR コンテナ苗と同様の根の形状になることがわかりました。根が下方に伸び、特に最末端に多くの細根が発達しています。

通常ポット苗の育苗・植栽に比べ追加でかかる資材・作業

ポット苗 (C+M 処理)	M-StAR コンテナ苗 (C+M 処理)	竹コンテナ苗 (C+M 処理)
	育苗用ココピート	育苗用ココピート
(通常ポット)	M-StAR コンテナ & トレー	竹コンテナ & 竹トレー用資材 竹コンテナ・竹トレー作成労賃
ヤシ殻・ココナツピート運搬作業	ヤシ殻・ココナツピート運搬作業	ヤシ殻・ココナツピート運搬作業
ヤシ殻	ヤシ殻	ヤシ殻
植栽時土壌混入用 ナツココピート	植栽時土壌混入用 ナツココピート	植栽時土壌混入用 ナツココピート
追加植栽作業 (ヤシ殻分割、ココナツピート土壌混入作業等)	追加植栽作業 (ヤシ殻分割、ココナツピート土壌混入作業等)	追加植栽作業 (ヤシ殻分割、ココナツピート土壌混入作業等)
*実験での生存率 71%	*実験での生存率 86% *コンテナ 10 回程度繰返し可能	*コンテナは 3 回程度繰返し使用可能

- * 「実験での生存率」とは、1 年 4 か月後のモモタマナ、クロヨナの生存率の平均値を表示。竹コンテナ苗は植栽していないため生存率は不明
- * (C+M 処理) = ココピート土壌混入 + ヤシ殻マルチの処理
- * M-StAR は 1,000 枚単位、トレーは 30 枚単位で日本国内にて販売されている。価格は合計で、USD240 程度(日本円では 26,000 円程度)
- * 灌水は植栽時 1 回のみであり、追加植栽作業の経費に含まれている。
- * ココナツピートは、フィリピン レイテ島では、Javier 町のココナツ繊維でロープを製造する工場の残滓を原料として、目の粗い網を使って大きな繊維を取り除き手作りで作った。この工場では残滓は通常販売せず、畑の土壌改良剤として使用する程度だったため、安く分けてもらった。

この技術を使うことのメリット

実験では、通常のポットで通常の育苗・植栽での 2 つの樹種の 1 年 4 か月後の苗木の生存率はどちらも 15% でした。一方、上記表の通り M-StAR コンテナ苗 (C+M 処理) では生存率 86%、ポット苗の (C+M 処理) でも生存率 71% という結果がでています。多少のコスト・手間が育苗時・植栽時にかかりますが、灌水は植栽時の 1 回のみであることを考えますと、この技術を使う意義は高いと思われます。

他地域への適用可能性・課題

熱帯の砂浜 = 高温になりやすく保水力が足りない土壌といえます。よってこの 2 つの問題を軽減する力のある、ヤシ殻・ココナツピートは、ジメジメした砂浜は除き、基本どの砂浜でも使えると思います。ヤシ殻マルチ施用は、ヤシが生えている地域であれば、ヤシ殻は容易に確保しやすく、施用方法も簡単である。簡単に施すことができます。ココナツピートは、苗の生存率を高めることができますが、ヤシ殻を破碎して粉上にするため、ヤシ殻マルチよりも手間がかかります。

コンテナ苗については、M-StAR を日本からの輸入にしなければいけません。本試験では、コンテナ苗のほうが生存が若干よさそうですが、通常のポットに土壌培地で育てた苗でもヤシ殻・ココナツピートを施用すればコンテナ苗と同程度の生存が期待できるかもしれません。また、M-StAR の代わりとして、竹コンテナを使ってみてもよいかもしれません。今回の実験では育苗試験のみで植栽後の生存率の調査はできませんでしたが、根の形状を見る限り M-StAR で育てた苗の根の形状と特徴が似ており、代わりの資材として使えるものと思われます。


モモタマナ (*Terminalia catappa*)

クロヨナ (*Millettia pinnata*)

泥炭湿地林再生のための育苗技術： 湛水馴化处理

東京大学大学院農学生命科学研究科
附属アジア生物資源環境研究センター
小島克己、則定真利子、山ノ下卓
kojima@fr.a.u-tokyo.ac.jp
http://forest.anesc.u-tokyo.ac.jp/

概要

湛水状態では根に十分な酸素が供給されないため、低酸素ストレスという厳しい環境ストレスが苗木にかかります。そのため、水が停滞した湿地での造林は大変難しく、低酸素に耐える樹種を選んだ上で、湿地造林に適した苗木を作る必要があります。

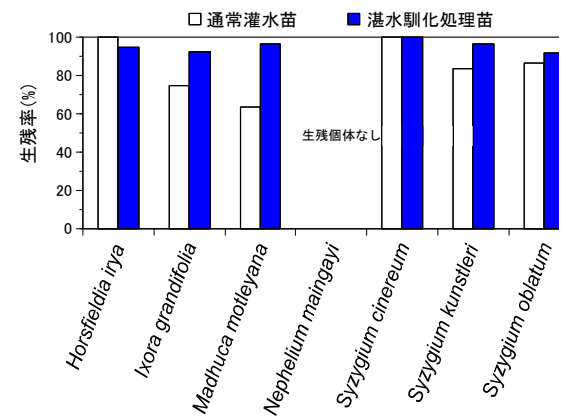
湛水馴化处理は、植栽直前に苗木を湛水状態に置くことで植栽地の湛水条件に適合した苗木を育成する方法です。湛水馴化处理により、湿地に造林した際に苗木の生残率が増加する樹種が見出されましたが、その効果は樹種により異なります。

場所や植栽時期を変えるなど、何回か試験植栽を繰り返し、候補樹木の特性を把握し、湛水馴化处理の効果を確かめてから、森林再生事業を実施する必要があります。



湛水馴化处理
(タイ、ナコンシタマラート県チャウアット)

湛水馴化処の効果を調べた植栽試験の一例
(2018年3月に植栽した苗の2019年3月時点での生残率、タイ、ナコンシタマラート県クアンクレン湿地トンサイ地区)



なぜ私たちは熱帯泥炭湿地の荒廃地に森林を再生しなければならないのか？

熱帯湿地の開発と荒廃地の発生

東南アジアには、インドネシアを中心として、日本の面積の半分以上に相当する広大な泥炭湿地が分布しています。熱帯の泥炭湿地には森林が成立し、特徴的な動植物が生育しています。この泥炭湿地はいつも水に浸かっているため、アクセスが悪く、開発が遅れていました。しかし1990年代から、排水路を建設して湿地の水を抜き、森林の伐採やオイルパームやパルプ用材のプランテーションの造成といった開発が行われ、森林の破壊が進んでいます。

湿地の荒廃地の環境ストレス

湿地では、根が水につかっているため酸素不足になり、呼吸が阻害されます。多くの陸上植物にとって湿地は生育が難しい環境です。さらに、湿地の土壌は泥炭土壌や酸性硫酸塩土壌といった植物の生育にとって問題のある土壌で、湛水による低酸素のほかに、強度の酸性やアルミニウムの過剰、貧栄養なども植物の生育阻害要因となります。これらの生育阻害要因により、農業やプランテーションの開発が失敗する場合も多くみられます。開発に失敗した跡地は放棄されて、何も利用できない荒廃地となってしまいます。

湿地荒廃地の地球環境保全上の問題

泥炭は植物の遺体でできていて、泥炭土壌は炭素含有量が高い土壌です。開発によって荒廃した泥炭土壌地域では、地下水位が低下しているために、酸素が土壌に供給されて微生物の活動が活発になり、泥炭が微生物によって分解されて多量の二酸化炭素が放出されます。また、乾いた泥炭が燃料となる火災が発生し、これによっても多量の二酸化炭素が放出されます。これらの泥炭湿地荒廃地からの二酸化炭素放出は、地球温暖化防止の観点から大きな問題となっています。

湿地荒廃地の森林再生の意義

二酸化炭素放出を抑制するためには泥炭湿地を湛水状態に戻し、森林を再生することが望ましいと言えます。また地域の社会経済を考慮すると、湛水状態の森林から持続的に収益が得られる土地利用方法であることが求められます。オイルパームは湿性環境に耐性のある植物ですが、長期間地表面まで水に浸かってしまうような湛水には耐えられません。そのため排水して地表面下40cm以下の地下水位で管理することになりますので、泥炭が分解されて二酸化炭素が放出してしまい、湿地でのオイルパーム栽培は持続的とは言えません。湛水や他の環境ストレスに耐え、しかも収益源となる樹木を選ばし、湿地という厳しい環境での造林技術を確立する必要があります。



湛水した湿地造林試験地
(タイ、ナコンシタマラート県クアンクレン湿地トンサイ地区)

苗畑で湛水状態を経験させて、湿地の環境に適応した苗を作る

湛水馴化処理

湛水馴化処理は、植栽直前に苗木を湛水状態に置くことで植栽地の湛水条件に適した苗木を育成する方法です。湛水馴化処理により湿地に造林した場合の苗木の生残率が増加する樹種がありますが、その効果は樹種により異なることがわかりました。



苗畑での湛水馴化処理苗の光合成測定
(タイ、ナコンシタマラート県チャウワット)

湛水馴化処理の方法

十分に大きい健全な苗木を用いて湛水馴化処理を行います。私たちの実証試験では、苗畑で通気性の良い用土を詰めたビニール製ポット（直径約 6.5 cm × 深さ約 12 cm）中で 1～2 年間通常かん水条件下で寒冷紗下で育苗した後、同様の用土を用いてビニール製ポット（直径約 12.5 cm × 深さ約 19 cm）に鉢増し、直射日光下で通常かん水して育苗し、鉢増し後 3 ヶ月以上経過した苗木を用いました。

苗畑の日当たりの良い場所で、水平に整地した後、コンクリートブロックとレンガで枠（例えば 4 m × 2 m × 20 cm）を作り、プール底面になる地表面に砂を敷き、防水シートを敷いて水を満たし、馴化処理用のプールとします。このプールに苗木を置いて 3～5 ヶ月馴化処理を施して、湛水馴化苗を作成します。



湛水馴化処理用のプール（コンクリートブロック・レンガ製、防水シートで覆う前、タイ、ナコンシタマラート県チャウワット）

湿地造林候補樹種の選抜

湿地の環境ストレスにある程度の耐性のある樹木でないと、湛水馴化処理をしても造林成績は向上しません。また、湛水馴化処理は苗木にストレスを与える処理なので、湛水環境に弱い樹種は、湛水馴化処理中に枯れたり弱ったりしてしまいます。湛水耐性があらかじめわかっていることは少ないので、造林対象地域の湿地に自生する高木性の樹木の中から、種子が採取でき、苗木を作ることができる樹種を選んで苗木を作り、予備実験をします。湛水馴化処理用のプールに苗木を浸けて、数ヶ月間、苗木が弱ったり枯れたりしないかを観察します。あわせて、通常のかん水をして同じ期間育てた苗木を対照として生残や成長を比較するのがよいでしょう。



通常のかん水苗
(タイ、ナコンシタマラート県チャウワット)



湛水馴化処理苗
(タイ、ナコンシタマラート県チャウワット)

湛水馴化処理により大きく成長が低下することのない樹種を選び出せたら、同じ樹種の苗を数十本用意し、半分に湛水馴化処理を施し、残りの半分を通常のかん水で育てます。この苗木を対象の湿地に試験植栽します。植栽後の生残率と成長（樹高成長など）を数年間測定し、湛水馴化処理の効果を判断します。このとき使用する苗木は、根が多く元気なものを使うのが鉄則です。荒地造林は通常の林業の造林とは異なり、土壌等の植物生育環境に問題があるため、良い苗木でないと良い造林成績が得られません。この試験植栽で成績が良かった樹種が湿地造林の候補樹木となりますが、できれば場所や植栽時期を変えるなど、何度か試験植栽を繰り返して、幅広い環境条件に対する候補樹木の特性を把握します。

荒廃した湿地に苗木を植える



植栽の様子
(タイ、ナコンシタマラート県クアンクレン湿地トンサイ地区)

植栽・育林方法



湛水した湿地へのカブテの植栽
(タイ、ナコンシタマラート県クアンクレン湿地トン)

す。植栽地で植栽前に苗木を一時保管する場合は、林内等の直射日光の当たらない場所に置きます。

【地拵えと植栽ブロック設定】 植栽予定地に生えている雑草木を刈り払い、測量して方形の植栽ブロックを設定します。冠水している場合は雑草木の刈り払いは大変かもしれませんが。植栽位置の目印のため、竹製の杭を打ち込みます。植栽間隔は 2 m × 2m 程度 (2500 本/ha) が適当でしょう。

【植栽】 目印の竹杭の横にスコップで植え穴を掘ります。ビニール製ポットを破き、土が崩れないように根鉢を取りだし植え穴に入れ、植え穴と根鉢の間に周囲の土を入れます。土壌表面が乾いている場合は踏み固めますが、湛水している場合は踏み固められないので、手で押す程度で構いません。湛水していない期間の植栽をお勧めします。苗木と竹杭を真っ直ぐに立て、竹杭にビニール紐等で苗木を固定します。これは、強風で苗木が揺すられて根が傷まないようにするためです。地盤が弱い泥炭湿地では必須です。

【育林】 雑草木との競合がなくなるまで下刈りが必要です。ツルが巻いている場合は取り除きます。樹冠が閉鎖すれば、下刈りは必要なくなります。樹冠の閉鎖後は除伐（間引き）が必要になるかもしれません。

苗木の植栽方法は、通常の造林とはほぼ同じです。

【苗木の運搬】 植栽当日に、湛水馴化処理を行ったプールから苗木を出し、しばらく水を切ります。湛水馴化処理苗のポットの土は崩れやすいので、苗木を運搬する際には注意が必要です。苗木に風や強い光を当てないようにして、植栽地まで運搬しま

従来の湿地造林法との違い

これまでに試みられてきた湿地造林、湛水造林の技術は、マウンド等を造成してそこに苗木を植栽することにより、湛水深を浅くして根の酸素欠乏ストレスを緩和するという方法でした。私たちの研究グループの共同研究者であるタニト・ヌイム氏（元タイ国天然資源環境省国立公園・野生生物保護局）が、タイ南部の泥炭湿地で、人力で造成したマウンド上に植栽することによって、いくつかの樹種で苗木の生残率や成長が改善されることを報告しています。また、ベトナムのメコンデルタの酸性硫酸塩土壌の低湿地では、JICA の技術協力プロジェクトにより、堤を造成してそこに植栽する方法が開発されました。



湛水した泥炭湿地でのマウンド造林試験地（左の列がマウンド上に植栽したワーヒンの苗木、右の列がマウンドを作らずに植栽した同種の苗木、タイ、ナラティワート県トデーン湿地、シリントン王女泥炭湿地林自然研究教育センター）

しかし、マウンドや堤の造成等の土地改変には大きな労力や費用がかかります。湛水馴化処理は、樹木の持つ力を利用して植栽地の土地改変を行わずに苗木の生残率と初期成長を改善する技術です。



植栽 5 年後のカブテの造林試験地（左の写真と同じ）

湛水馴化は湿地造林に効果があるか？ —タイ南部での湿地造林の事例—

Melaleuca cajuputi (カユプテ) は、東南アジアに唯一分布するフトモモ科 *Melaleuca* 属樹木で、ベトナム、タイ、インドネシアでは湿地林とその周辺のケランガスと呼ばれる砂地や酸性硫酸塩土壌の湿地に自然に生育しています。葉から精油（カユプテオイル）が取れるため、採取のためインドネシアのジャワ島では人工造林が行われています。カユプテは、湿地に植栽した場合、湛水馴化処理をしなくても十分に高い生残率を示すことがわかりました。カユプテの育苗と植栽の方法については、JIFPRO の森林再生テクニカルノート（<https://jifpro.or.jp/tpps/category/conditions/conditions-cat05/>）に掲載されています。

このカユプテの他にも、湛水馴化処理をしなくても十分に高い活着率を示す樹種がありました。タイ南部の湿地に自生するフトモモ科の *Syzygium cinereum* (ワーナー)、*Syzygium* sp. (チャマオナム) は、何度か植栽試験を行いました。通常かん水苗と湛水馴化処理苗の両方とも 1 年後に 70%以上の十分な生残率を示しました。これらの樹種は、湛水馴化処理は必要ないのですが、湛水状態で育苗した方が水やりの手間が省けて、苗木が乾燥で枯れたりするリスクも少ないので、湛水馴化処理を行う方が良いと思います。

湛水馴化処理をすると湿地植栽での生残率が高まる樹種が見つかりました。*Syzygium oblatum* (ワーナム) と *Syzygium kunstrelia* (ワーヒン) は湛水馴化処理により植栽 3 年半後の苗木の生残率が 10~20 ポイント上がり、70%以上になりました。これらは湿地造林に適用可能な候補樹種です。カユプテについては、すでにタイ南部の湿地荒廃地に見本林を造成していますが、2019 年 10 月に、ワーナー、ワーナム、ワーヒンの見本林を造成するために湛水馴化処理苗を植栽しました。しかし、残念ながら、その後 Covid-19 パンデミックの影響で下刈り等の手入れや調査ができなくなってしまいました。

この 2 樹種の他にも湛水馴化処理をすると生残率が高まる樹種が自生種の中からいくつか見つかっています。しかし、湛水馴化処理をしても十分な生残率ではなく、また再現性を十分にチェックできていないため、低酸素以外の環境ストレスや植栽時に苗木が受けるストレスへの対処法を考えながら、地道に実証試験を続けて行く必要があります。また、湛水馴化処理効果がない樹種や、湿地に自生する樹種であっても湛水馴化処理中に弱ったり枯れたりする樹種がありました。これらについては、湛水馴化処理とは別の方法を考えなくてはなりません。

多様な森づくりのためには、湿地に自生する樹種を用いて湛水馴化処理の効果を調べながら、あらたな造林手法を考案していく必要があります。

造林コストと事業体レベルの収益

オイルパームが植わっている 10,000ha の開発地を再湛水して湿地に戻し、カユプテを用いて森林を再生し、この森林を伐採して売却して持続的に経営する事業モデルのコストと収益（円/ha・年）を計算しました。10,000 ha のうち 2,500 ha を除地として 7,500 ha を毎年 500 ha ずつ 15 年かけて植えると想定します。10,000 本/ha の密度で植栽し、15 年後の伐採時に 170 m³ の幹材積（133 ton の幹・枝・葉）が得られると想定しました。第一期（15 年間）は森林造成が完了するまで、伐採・利用はしません。第二期（16 年目以降）は造成された森林を伐採し、再植栽して持続的に利用します。粗利は第二期のコストを売上高から差し引いて算出しました。

15 年目までは ha あたり年間 1 万円のコストがかかり、収入がありません。この初期の投資が事業上の問題となりますが、温暖化防止策の 1 つとして公的資金を得ることが可能かもしれません。16 年目以降は造成した森林の持続的な経営により、ha あたり年間 8 万円近くの売り上げが見込まれ、粗利は ha あたり年間 7 万円弱と計算されました。排水した湿地でのオイルパーム農園経営は、生産性が高い場合は、これよりもやや多い収益が想定されます。しかし排水した湿地からの二酸化炭素放出量は大きく、湛水したカユプテ林の経営により排出削減効果が 53.5 t CO₂/ha・年と想定されますので、排出削減クレジットの収入が事業体に還元されれば、十分に経営は成り立つと考えています。

【10,000 ha の事業モデルのコストと収益（円/ha・年）】

工程	第一期 (15 年目 まで)	第二期 (16 年目 以降)	売上高 (16 年目 以降)	粗利 (16 年目 以降)
オイルパーム伐採	2,731	-		
育苗	4,228	4,228		
植栽	2,932	2,932		
伐採・搬出	-	2,641		
枝払い・剥皮	-	305		
総計	9,891	10,106	78,896	68,790

新しい技術を導入する際に気をつけなければならないこと

荒廃地は農業などの土地利用ができずに放棄された土地ですので、樹木の生育にとって大変厳しい環境であり、通常の造林技術をそのまま適用することができません。どんな場所の環境ストレスにも耐えて植えることができ成長できるスーパーツリーのようなものはありません。また、頑健な良い苗木を作るとい以外に、どんな環境にも対応できるスーパー造林技術もありません。

荒廃地の森林再生を目指すのであれば、まずその荒廃地の環境を調べ、植栽した樹木が受けるであろう環境ストレスを明らかにし、その環境ストレスに対処できる能力をもった樹種を、試験植栽をしつつ選出し、環境ストレスに対応する育苗法や植栽法を考えて試していく必要があります。荒廃地になる前の森林に自生していた樹種を植えれば良いというものではありませんし、他の場所で成功した樹種や育苗法・植栽法を導入しても、必ずしもうまくいくとは限りません。森林を再生したい場所の環境や、植えたい樹種の特性を、試行錯誤しながら試験植栽を行って把握していく必要があります。

水があるので乾燥地よりも簡単なのではないかと思われるかもしれませんが、湛水によって生じる低酸素ストレスは樹木にとって大変厳しいものであり、湿地造林は特に難しいのです。立地環境の違いにより、上で例示したような候補樹種でも十分な生残率が得られない可能性がありますので、対象とする湿地での試験植栽は必須です。泥炭湿地荒廃地の森林再生は、二酸化炭素排出削減の効果が大変大きいので重要です。自ら造林技術を開発するつもりで地道に取り組まましょう。