

4.3 実証試験の方法と結果

4.3.1 長根苗技術の開発・普及

(1) 長根苗を使った農地植林のモデル林造成

長根苗を使った農地植林のモデル林造成は、図 4-10 に示したようなアプローチで、Kibwezi の小規模農家が所有する農地で行うこととした。自分の農地で長根苗の植林を希望し、かつ植栽後の管理ができる 30~50 の農家に無料配布する予定である。また、長根苗用の深い植穴の掘削も本試験の一環として用意することとした。なお、既存の土地利用（農作物や放牧）との競合を避けるために、特に植栽方法は指定せず、アグロフォレストリ（農地境界のみ植林、農作物の間に植林）でもよいこととした（半乾燥地なので、高密度での植栽は避け、少なくとも 4m×4m の植栽密度を確保することは推奨）。

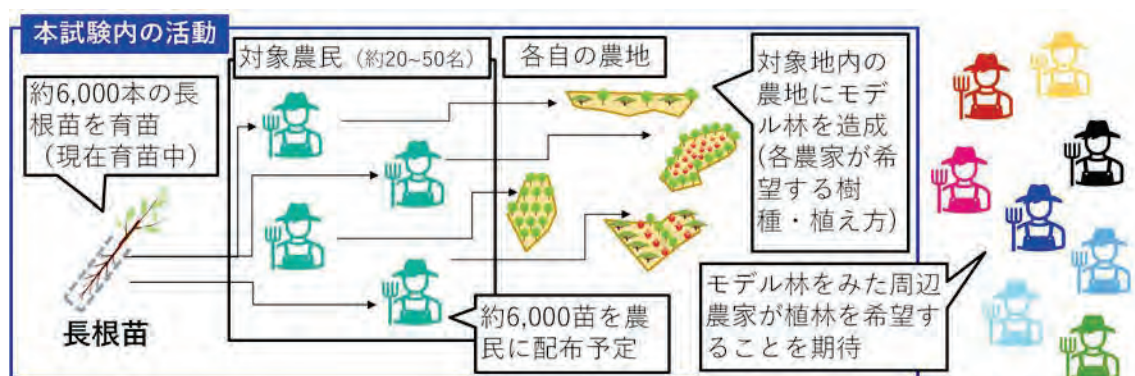


図 4-10 長根苗を使った農地植林によるモデル林造成のアプローチ

農地植林のための長根苗は、KEFRI の地方事務所がある Kitui と Kibwezi にて、2023 年 2 月ごろから表 4-4 の通り育苗を開始した。根鉢の深さが 40 cm と 60 cm の長根苗のほかに、15 cm と 30 cm の苗も育苗した。長根苗の育苗方法や適した樹種等については、令和 3 年度 途上国森林技術普及事業の報告書に詳細が明記されている通りである。令和 4 年度から育苗を開始した長根苗 6,000 苗程度は、令和 5 年度中に、植林可能なサイズになり次第、Kibwezi の小規模農家の農地に植林していく予定である。

表 4-4 農地植林のモデル林造成用に育苗した苗の種類と数

		育苗場所	苗数	樹種
通常コンテナ苗 (15cmM-StAR)		KEFRI (Kitui)	500	<i>Acacia mellifera</i> , <i>A. polyacantha</i> , <i>A. tortilis</i> , <i>Azadirachta indica</i> , <i>Gmelina alborea</i> , <i>Grevillea robusta</i> , <i>Dalbergia melanoxlon</i> , <i>Melia volkensii</i> , <i>Senna siamea</i> , <i>Tamarindus indica</i> , <i>Tarminalia brownii</i> 等(主に薪炭材となる樹種だが、材としても使える樹種も含まれる。)
中根苗 (30cmM-StAR)			1,200	
長根苗	(40cmM-StAR)	KEFRI (Kibwezi)	3,000	
	(60cmM-StAR)	KEFRI (Kitui)	3,000	



Kitui で育苗中の 60 cm M-StAR 長根苗
(ワイヤフレームとブロックで育苗棚を作成)



Kibwezi で育苗中の 40 cm M-StAR 長根苗
(コンテナボックスで育苗棚を作成)

図 4-11 KEFRI で育苗中の長根苗

(2) 長根苗の効果検証のための植栽試験

長根苗を使った農地植林のモデル林造成にあたって、長根苗がケニア半乾燥地で適した植栽方法なのか明らかにするため、長根苗の効果を検証する植栽試験を半乾燥地に位置する Kitui に行った。4.1.3 で述べた通り、ケニア半乾燥地では、植栽時期が雨季の初めと限定され、農繁期に重なるうえ、降雨が不安定であることから、植林のタイミングを逃しやすい。そこで、半乾燥地での植栽可能期間を広げることを目的に、あえて乾季に植栽し、その後、無灌水・無降水でも最初の雨季までに高い生残率を維持できるかどうかを検証した。植栽試験の設計は、図 4-12 のとおりであり、代表的な半乾燥地の造林樹種である *Acacia tortilis*, *Dalbergia Melanoxylon*, *Melia volkensii* の 3 樹種を対象に、長根苗の他に、通常コンテナ苗と中根苗の 3 つのサイズの M-StAR コンテナ苗として、10 か月程度育苗した苗を 2022 年 6 月に植栽した(育苗条件の詳細については令和 3 年度途上国森林技術普及事業報告書を参照)。植栽時に 1 回灌水をしたが、その後は無灌水で、6 か月間は降水量 0 mm であった(図 4-14)。

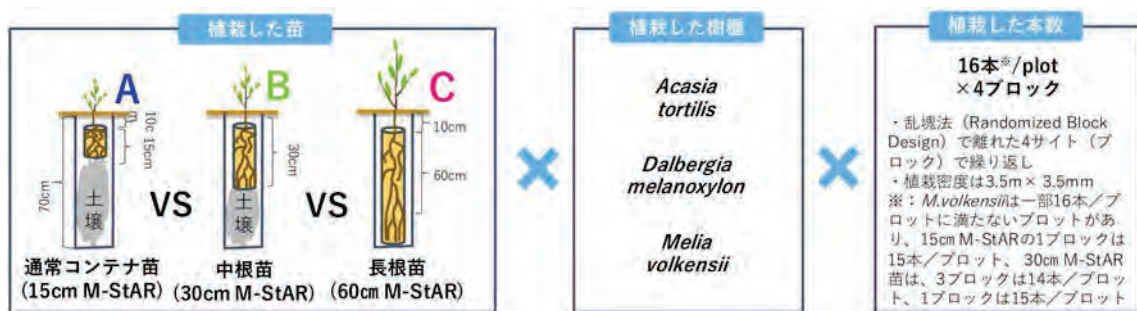


図 4-12 植栽試験の設計



図 4-13 植栽した長根苗及び植栽試験地の状況

植栽後の降水量と土壌水分の推移は図 4-14 の通りであった。降水量は、植栽地近くに設置した雨量計により、土壌水分は、定期的に各ブロックで一か所(n=4)ずつ 0-100 cm までの土壌を 20 cm 毎にサンプリングし、質量含水比によりモニタリングした。2022 年 6 月の植栽後から、2022 年 11 月に雨季に入るまでの約 6 か月間は降水がなかった。その間、土壌表層部(0-20 cm)の質量水比は、常に低いものに対して、土壌深部(60-80 cm、80-100 cm)は、表層部よりも高い質量含水比を保ち続けた。2022 年 11 月の雨季直前においては、深度の浅い層から深い層にかけて、質量含水比が増加するような勾配がみられた。2022 年 12 月頃から降水がみられ、雨季に入ると、その勾配の方向は逆になり、深度の浅い層から深い層にかけて、質量含水比が減少していた。また、降水が少なくなってくると、勾配が戻り、深層になるほどに、質量含水比が増加した。このことから、土壌表層(0-20 cm、20-40 cm)は、雨季時は土壌水分が高いが、乾季は比較的低いものに対して、土壌深部(60-80 cm、80-100 cm)は、通年を通して、土壌水分が安定して保たれていることが分かった。植栽後の活着のためには、土壌表層の土壌水分が少なくなる前に、深さ 60 cm 程度まで根を到達させることが重要であることが示唆された。

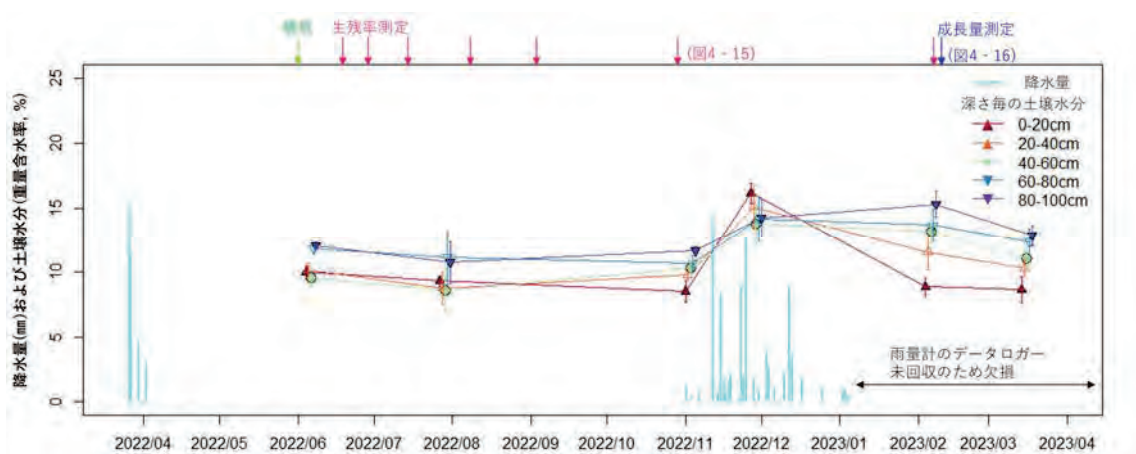


図 4-14 植栽地の降水量と土壌水分の推移(土壌水分のサンプル数は n=4)

乾季終了時点(2023年11月)の生残率は、図4-15の通りであった。*D.Melanoxyton*, *M.volkensii*については、コンテナ深さが深くなるほど、生残率が高まる、長根苗の効果が証明できた。*A.tortilis*については、長根苗の生残に対する効果は見られなかった。

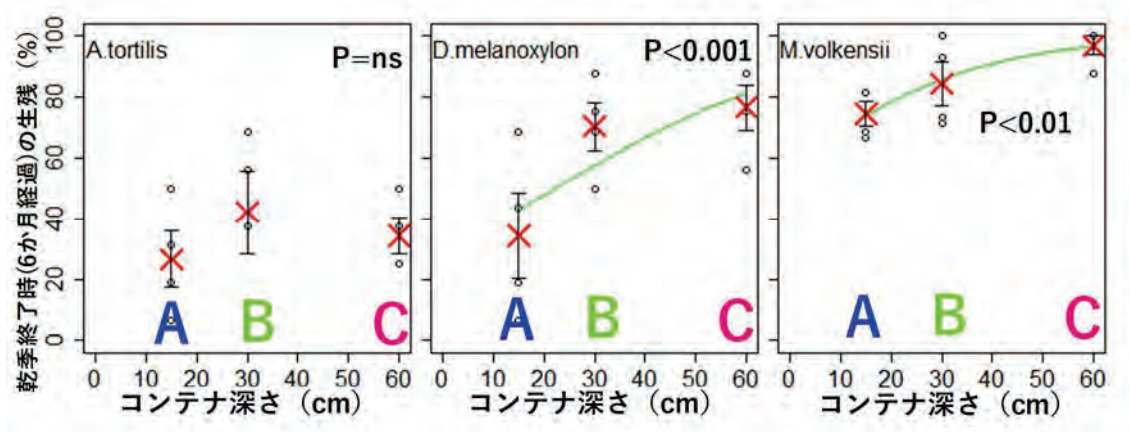


図 4-15 乾季終了時(2022 年 11 月)の各樹種・苗の生残率⁷

雨季途中(2023年2月)の各樹種・苗の成長は、図4-16の通りであった。ケニアにおいて、通常の植栽に用いられる従来ポット苗も同時に植栽したため、それとも比較したが、生残に効果がみられた *D. Melanoxyton*, *M. volkensii* については、長根苗(60 cm M-StAR)が地際径、樹高ともに、より大きいという傾向がみられた。一方で、生残に効果がみられなかった *A.tortilis* は、長根苗の効果がみられなかった。ただし、長根苗によって成長阻害はないことが確認された。

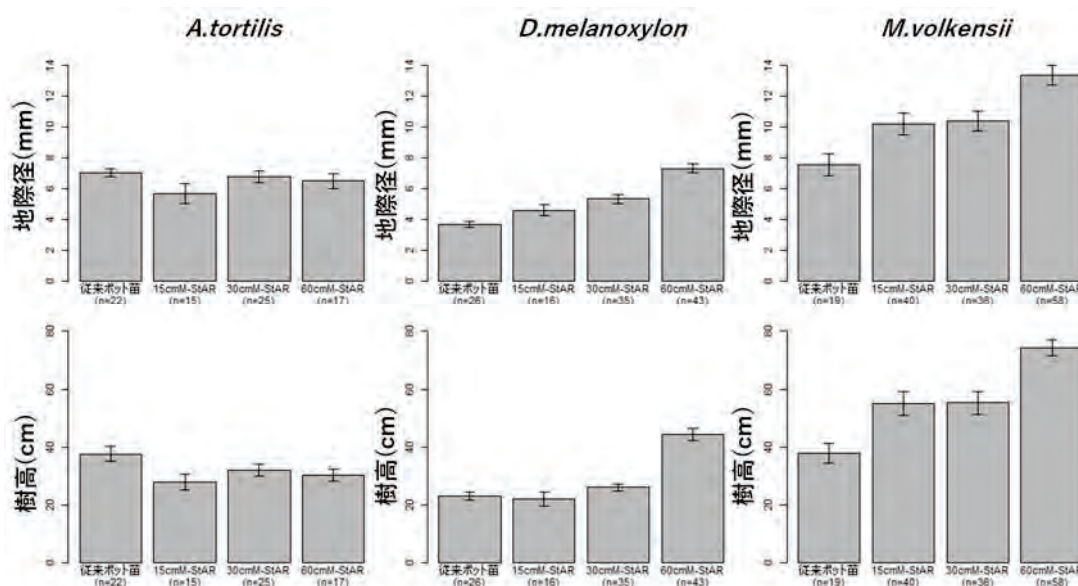


図 4-16 雨季(2023 年 2 月)の各樹種・苗の成長(生残木のみ対象、サンプル数は異なる)

⁷赤×はブロック毎の生残率の平均値、緑線は一般線形混合モデル(GLMM, 二項分布、Logit 関数、ブロックはランダム効果)で、 $p < 0.05$ でコンテナ深さが説明変数(数量型)に含まれた場合の予測モデル。

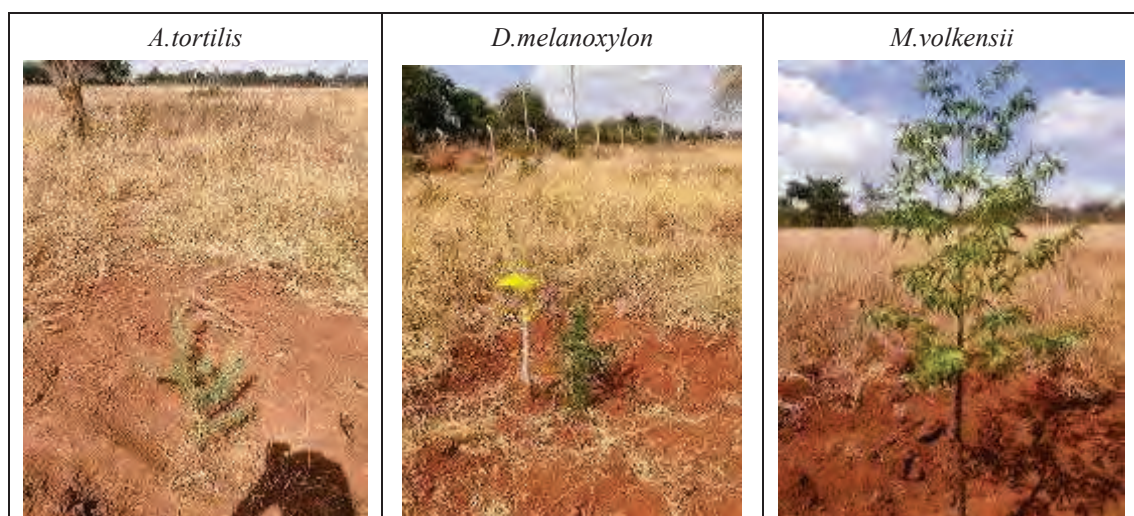


図 4-17 雨季途中(2023 年 2 月)の長根苗

今回の植栽試験から、少なくとも *D.Melanoxylon* と *M.Volkensii* については、長根苗は乾季前半に植栽しても最初の乾季を乗り越えられる可能性が高く、成長も他の苗に比べて早いことが分かった。*A.tortilis* では、長根苗の効果がみられなかった原因の一つとしては、白蟻等の食害が考えられるが、他の要因の可能性も含めて、引き続き KEFRI と精査していく必要がある。

実際の植林では、あえて乾季前半の厳しい時期に植えることは想定していないが、例えば、農繁期と重なり植林のタイミングが遅れ、雨季後半に植えなければならない、または植栽直後に干ばつが来てしまうような場合でも、長根苗であれば、通常苗よりも高い確率で生残させることが期待でき、今回のモデル林造成でも農家に普及する価値のある植林技術であることが確かめられた。

(3) 長根苗用の植穴掘削

4.1.3 で示した通り、フェラルソル (Ferralsol) が分布するような場所ではペトロプリンサイト (Petroplinthite) と呼ばれるような硬い土壌層が点在しており、比較的浅い部分にそれがあると、根系発達が妨げられ、植栽してから数年して一斉に枯れる現象 (ダイバック) が報告されている。半乾燥地での確実な植栽可能場所を確保するためには、植栽時に固い土壌層を貫通させておくことが重要である。また、前述の Kitui での植栽試験では、ハンディエンジン式オーガを用いたが、硬い土壌層にぶつかると掘削できずに植栽できないことや、硬い土壌層がなくても根鉢の長さが 60 cm ある長根苗用の深い植穴を掘削するのに時間と労力を要することが明らかになっている。さらに、固い土壌層が出現する深さは場所によって異なるため、ダイバックを回避のためには、植穴掘削は深いほどよく、それは乾燥地における苗木の深部成長を促す観点からもよいと予想される。そこで、長根苗を使った農地植林のモデル林造成の対象地である Kibwezi において、ハンディエンジン式オーガよりも出力が高い、トラクターオーガによる植穴掘削試験を実施した。トラクターオーガによる植穴掘削のサイズは KEFRI と協議のうえ、長根苗のサイズを考慮して、表 4-5 の通り設定した。

表 4-5 トラクターに装着したオーガのスペックと植穴サイズの目標値

項目	オーガスペック	植穴のサイズの目標値
深さ	105 cm	70 cm 以上
直径	30.5 cm	30 cm 以上

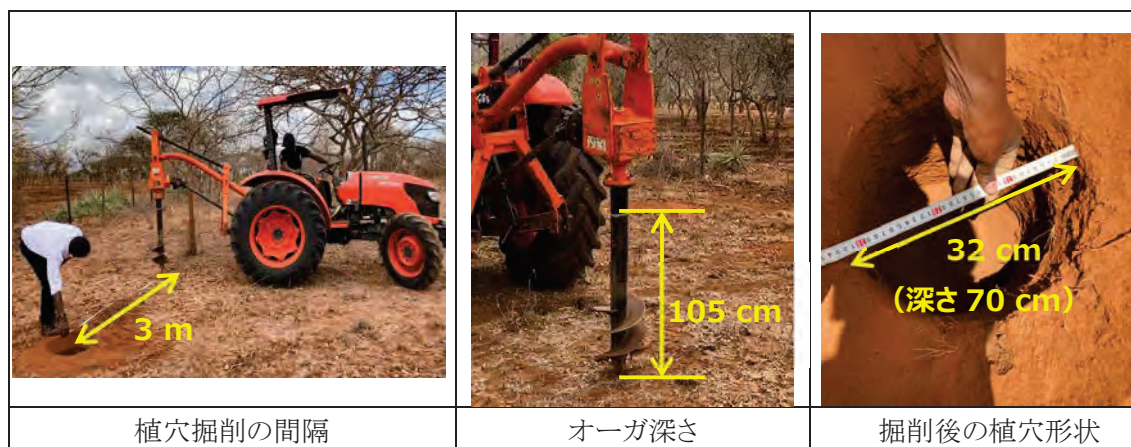


図 4-18 トラクターオーガによる植穴掘削の試験

トラクターオーガによる植穴掘削の結果は、土壌層の違いによって掘削時間が異なる結果となったが、ハンディエンジン式オーガと比較すると、植穴形状(掘削径と掘削深さ)の拡張やハンドオーガを土壌に押し付ける際の苦渋作業等の改善効果が期待できることが分かった。

- ・通常の土壌層 : 1～2 分/個
- ・硬い土壌層 : 3～4 分/個

なお、令和 4 年度は、オーガ用のベースマシンとして、建設機械よりも簡単に手配できるトラクターにオーガをつけて植穴掘削を行なったが、トラクターオーガでは硬い土壌層では時間を要し、掘削できなかった箇所もあった。令和 5 年度は、油圧式建機オーガの導入やオーガの形状・材質を変更し耐久性を高めることで更なる生産性向上を検討する予定である。

ハンディエンジン式オーガ (前述の植栽試験時)	トラクタオーガ (令和 4 年度実施)	油圧式建機オーガ (令和 5 年度予定)
		
・掘削径小さい(Φ8cm) ・振動等による苦渋	・掘削径と掘削深さの拡張 ・機械化による生産性向上	・作業機可動域アップとオーガ形状変更でより生産性を向上

図 4-19 植穴掘削方法の比較

4.3.2 植栽後の活着・成長をドローンで簡易に可視化

(1) ドローンによる苗木検出の方法

ドローンを用いた植林モニタリングの実現可能性を検証するために、光学画像及びマルチスペクトル画像で植栽後の苗木検出を試みた。

苗木検出は、DSM(Digital Surface model)を用いた手法(図 4-20)と NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)を利用した手法(図 4-21)により苗木の位置と生残を確認後、プロットごとの生残率検出の精度検証を実施した。なお、ケニアでの実証試験の前に、日本のスギの苗木検出を実施した際には、Lidar による苗高計測による苗木検出の手法よりも、NDVI を用いた手法のほうが安価でかつ検出精度も高かったことから、今回は Lidar を使わず NDVI 苗木検出を行った。また、マルチスペクトル画像が必要な NDVI よりもより安価な、光学画像(DSM)による苗木検出も試みた。ドローンの飛行条件や画像解像度等も国内の実績を参考に表 4-7 の通り設定した。

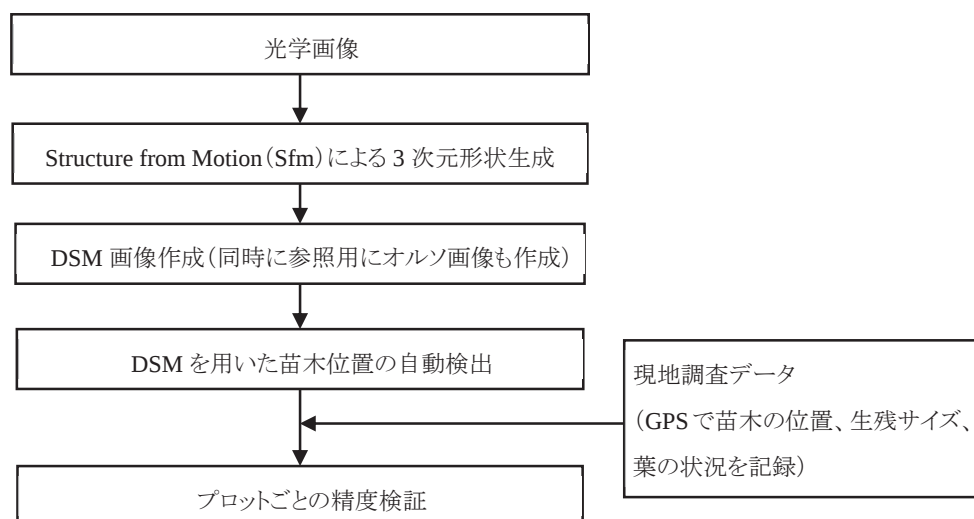


図 4-20 DSM を用いた苗木の自動検出・精度検証のフロー

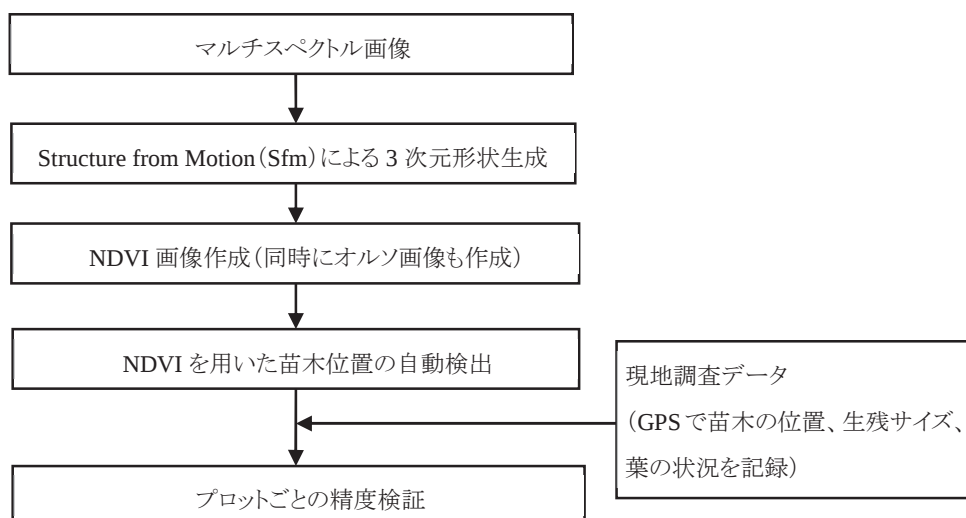


図 4-21 NDVI を用いた苗木の自動検出・精度検証のフロー

表 4-6 今回の試験で使したドローンのスペック

機体名	機体画像	スペック
<i>P4 Multi spectrum</i> (DJI 社製)		センサ： 6 台 x1/2.9 インチ CMOS (可視光イメージング用 RGB センサー1 台、マルチスペクトルイメージング用モノクロセンサー5 台) フィルター： ブルー (B) : 450 nm ± 16 nm、グリーン (G) : 560 nm ± 16 nm、レッド (R) : 650 nm ± 16 nm、レッドエッジ (RE): 730 nm ± 16 nm、近赤外線 (NIR): 840 nm ± 26 nm

表 4-7 ドローン撮影条件

地上分解能 [cm/pix]	ラップ率 [%]	対地高度 [m]	飛行速度 [m/s]
3	80*65	54	3

ドローンによる苗木検出を行つた植林地の状況を表 4-8 に示す。植栽後になるべく早く補植するためには、植栽して数年以内の苗木の生残率を把握する必要があるため、今回は、植栽後の時間の短い 2020 年 (Site1) と 2022 年 (Site2) の植栽地を対象とし、ドローンによる若齢期の苗木生残の検出可能性について検討した。

表 4-8 ドローンによる苗木検出を行つた植林地の概況

	Site1	Site3
植栽年	2022 年 6 月 (1 年生未満)	2020 年 5 月 (2 年生)
ドローン空撮日	2023/1/27 (雨季)	2023/1/27 (雨季)
植栽間隔	4m × 4m	4m × 4m -
平均樹高	41.9 cm	126.7 cm-
樹種	<i>Acacia tortilis</i> , <i>Melia volkensii</i>	<i>Azadirachta indica</i>
精度検証のための プロット数	4	4

苗木生育
状況①



苗木生育
状況②



(2) ドローンによる苗木検出の結果

Site1 (1 年生未満) のオルソ画像、DSM、NDVI の結果を図 4-22 に示す。

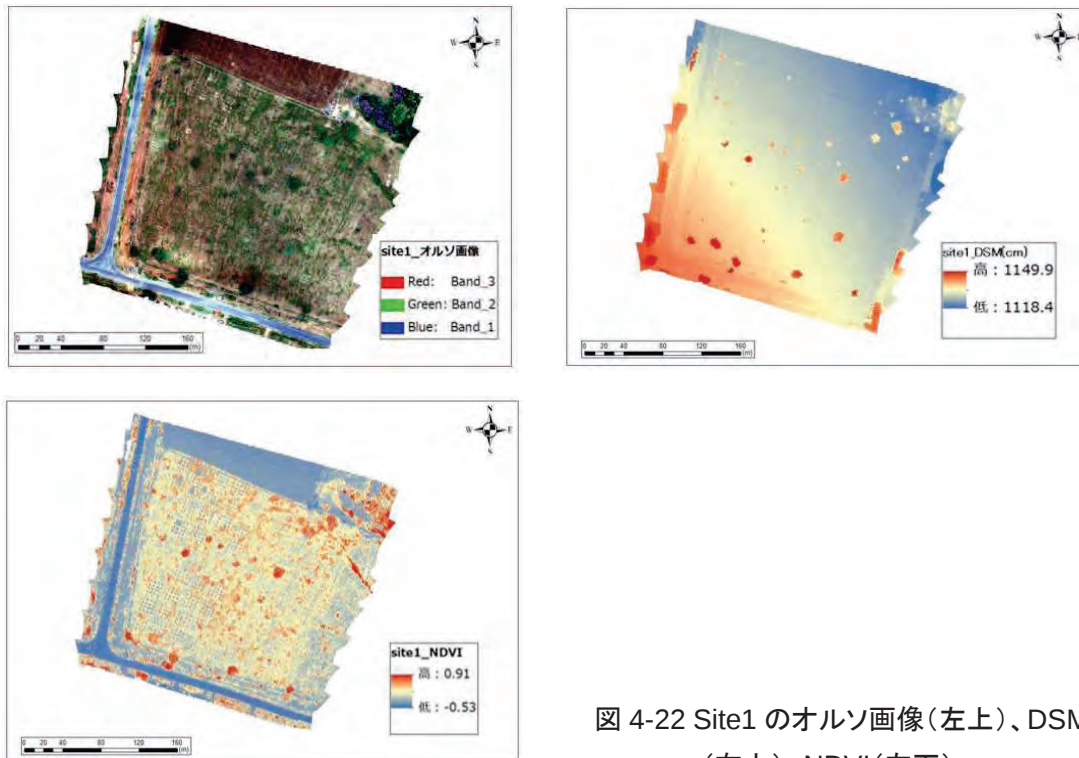


図 4-22 Site1 のオルソ画像(左上)、DSM (右上)、NDVI(左下)

NDVI のピーク値より、Site1 の苗木検出の解析を行った結果を図 4-23 と表 4-9 に示す。下草も同時に検出してしまったため誤検出が多く、苗木の生残を正しく確認できなかった。苗木と下草のピーク値の差が小さく識別できなかったことが要因と考えられる。

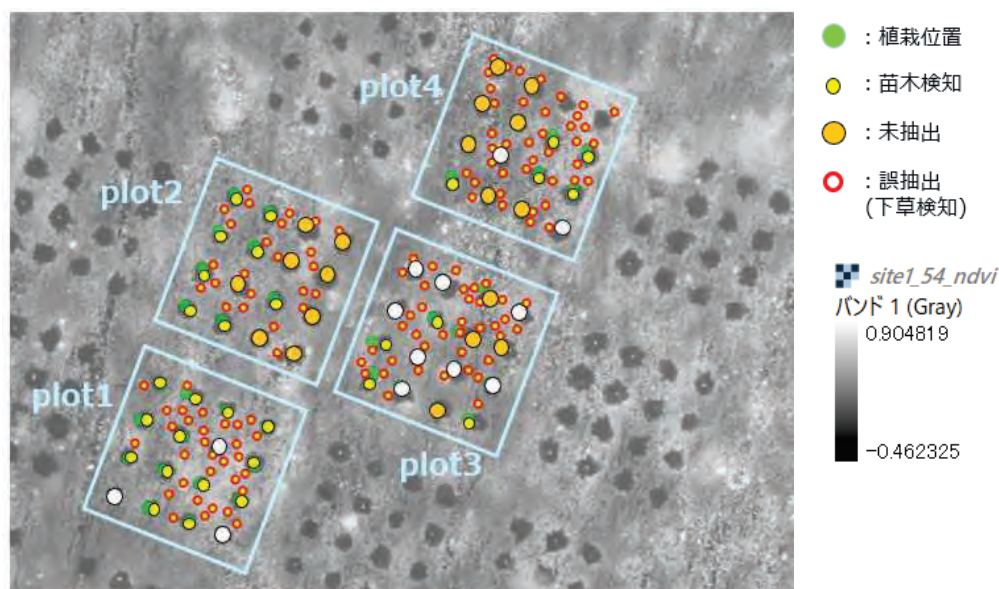
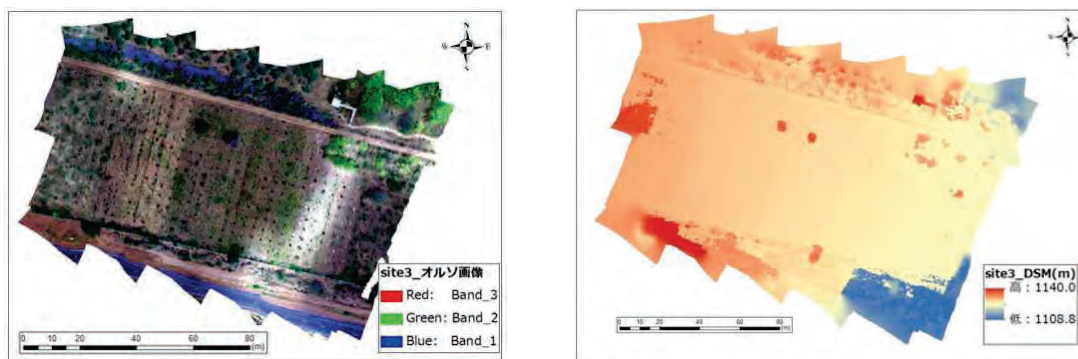


図 4-23 Site1(1 年生未満)の NDVI 画像と苗木検出の解析結果

表 4-9 Site1(1 年生未満)の苗木検出の精度検証

Site1-plot	植栽 本数	枯死 本数	苗木検出 本数	未検出 本数	検出率	生残率	誤検出本数 (下草検知)
1	16	3	13	0	100	81	32
2	16	0	8	8	50	100	24
3	16	8	4	4	50	50	38
4	14	2	5	7	42	86	40
平均					60.4	79.2	

Site3(2 年生)のオルソ画像、DSM、NDVI の結果を図 4-24 に示す。



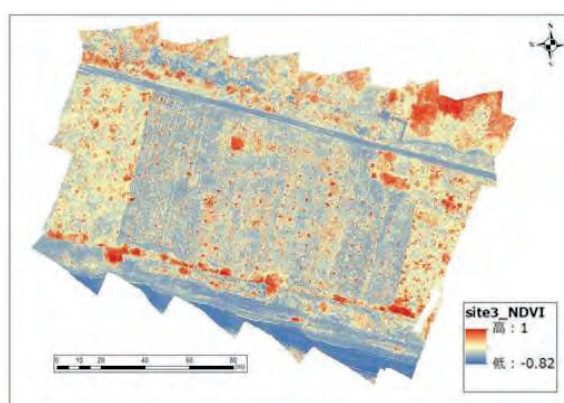


図 4-24 Site3 のオルソ画像(左上)、
DSM(右上)、NDVI(左下)

NDVI のピーク値より、Site3 の苗木検出の解析を行った結果を図 4-25 と表 4-10 に示す。plot1 は苗木のピーク値が小さく未検出が多く、検出率は 58%であった。plot2、plot3、plot4 は、検出率 88%以上であり、高精度に苗木を検出することができた。

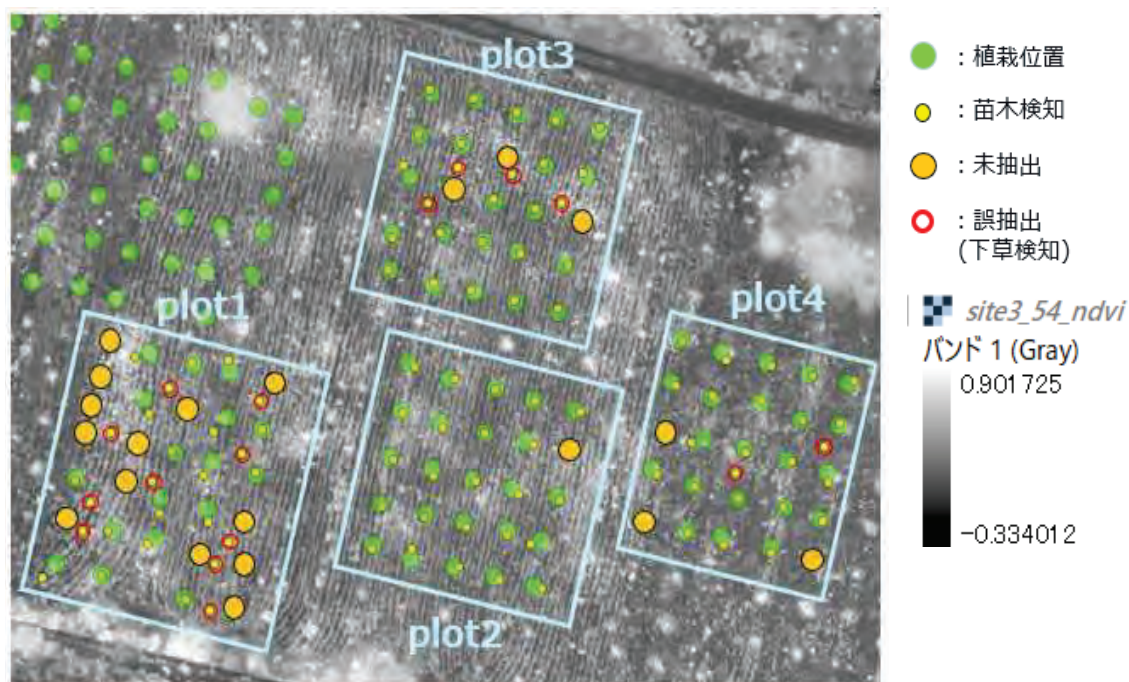


図 4-25 Site3(2 年生)の NDVI 画像と苗木検出の解析結果

表 4-10 Site3(2 年生)の苗木検出の精度検証

Site3-plot	植栽 本数	枯死 本数	苗木検出 本数	未検出 本数	検出率	生残率	誤検出本数 (下草検知)
1	31	0	18	13	58	100	9
2	25	0	24	1	96	100	0
3	25	0	22	3	88	100	4
4	25	0	22	3	88	100	2

今回、植栽後の苗木の活着を簡易に可視化するために、ドローンにより空撮した画像を、NDVI 画像及び DSM 画像に変換し、苗木の自動検出を試みた。日本のスギ林でも同様のアプローチで苗木活着を評価している実績はあることから、ケニア半乾燥地でも雨季の葉が旺盛な時期であれば、自動検出できると期待された。しかし、NDVI においては、植栽後 1 年未満の苗木の検出率は非常に低かった。これは、1 年未満の苗木は雨季でも葉の量が少なかったためだと考えられる。2 年経過した苗木であれば、NDVI により高い精度で苗木検出ができた。ただし、補植の必要な箇所を見つけるような目的には、植栽後 2 年経過ではタイミングとして遅すぎるかもしれない、別の用途を検討する必要がある(4.6)。DSM による苗木検出は、苗木の大小(植栽経過年数)にかかわらず、ほとんどできなかった。その一因としては、3D 形状が適切に再現するには、苗木の大きさや樹幹の形成が不十分であったことが考えられる。植栽後 2 年以上経過した苗木の検出だけであれば、NDVI(2 次元)でも可能だが、樹高等の成長をモニタリングするには DSM や Lidar による 3D 化が必要である。また、NDVI による苗木検出にはマルチスペクトルのセンサーが必要であるが、DSM であれば可視光センサー(デジタルカメラ)でよいので、センサーがより安価で、かつ小型でドローンに搭載しやすく、利便性の向上やコスト削減にもつながる。引き続き、DSM により苗木検出ができなかった原因を精査し、その手法の改良を検討していく必要があるだろう。オルソ画像上では、苗木ははっきりと目視でき、光学画像上のピクセル値としては、苗木と地面で明らかな違いが出ているため、ドローンで撮影した基の画像の解像度等には問題はないと考えられる。例えば、光学画像→3D 化、もしくは 3D→DSM の段階で、余分な情報(ノイズ)をフィルタで除去等することで、DSM でも苗木の検出精度が高まり、樹高も測定できないか、引き続き検討する予定である。

また、本報告書では、雨季の結果だけを示したが、同サイトにて、乾季中のドローン空撮による苗木検出も試みた。半乾燥地では、1 年のうち半分以上は落葉期間がある樹種もあるため、乾季でもドローンにより苗木検出が可能であることが示されれば、よりその利便性が高まると期待したためである。しかし、乾季は植栽した苗木の葉がほとんどなく、地上と苗木の NDVI で違いがなく、苗木をほとんど検出できなかった。また、DSM でも、雨季と同様に 3D 形状が適切に再現できず、検出できなかった。ドローンは衛星画像と異なり、比較的柔軟に撮影時期が選べるので、少なくとも NDVI による検出の際には、雨季の葉が旺盛な時期に飛ばしたほうがよいことが分かった。

4.3.3 住民便益の可視化

(1) 住民便益の可視化の指標選定と調査方法

ケニアの国民の 70%以上が薪炭材をエネルギー源として薪炭を利用しており、森林減少・劣化の要因の一つとして天然林からの薪炭の過剰摂取がとされている(MENR, 2016)。特に、炭生産については、70 万人が炭生産・取引に関与し(Mutimba and Barasa, 2005)、年間生産量 250 万 t、年売り上げ 11 億 USD(MENR, 2016)との報告もある。政府は 2018 年に天然林由来の炭の生産と売買を禁止したが、依然として天然林からの薪炭採取は続いており、今後も人口増加の影響で、木材、薪炭材の需要は高まり、天然採取だけでは賄えなくなることも予想される。伐採を計画しない環境造林により炭素固定や生物多様性に関する便益を高めることも重要ではあるが、現存する天然林への圧力を軽減し保護していくためには、小規模農家の農地で、いかに効率よく持続的な伐採によって薪炭を供給できるかが重要になってくるだろう。そこで、本実証試験では、可視化する住民便益の指標として、長根苗植林による薪炭材供給ポテンシャルを選定し、①現時点での薪炭材消費量に対し、②長根苗植林によって期待される薪炭材の供給量を明らかにすることとした。

①現時点での薪炭材消費量等を把握するためのベースライン調査では、Kibwezi 行政区内に住む 93 世帯の農家に対して、図 4-26 に示したようなインタビューを行った。②については、令和 5 年度に本格的に実施する予定である。

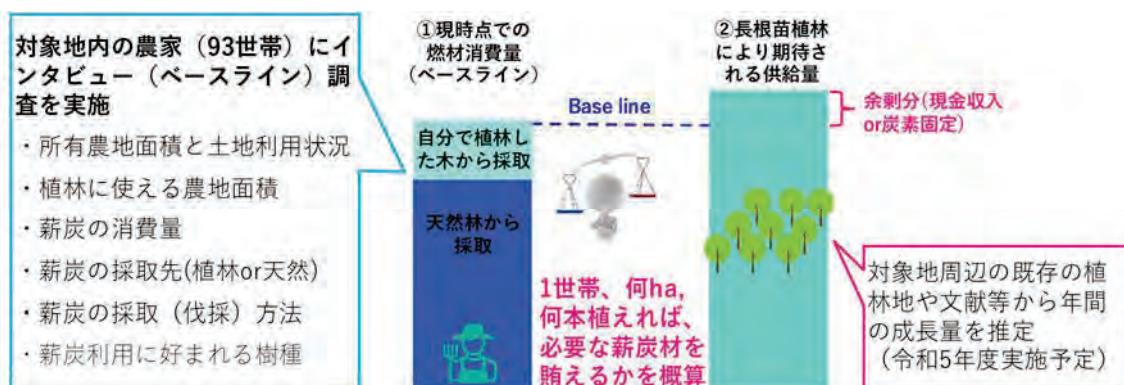


図 4-26 長根苗植林による薪炭材供給ポテンシャルの可視化の考え方

Kibwezi 行政区(Makueni County 内の Sub county)は、10 地区(Location)とその周りを取り囲む Tsavo 国立公園等の保護区により構成されている(図 4-27)。長根苗を使った農地植林のモデル林造成は、Kibwezi 行政区内の農家の農地で行うため、ベースライン調査も、同行政区内に住む 93 世帯を対象に行った。保護区内には、ほとんど人が住んでおらず、農地植林の候補地にはなり得ないため、今回の調査・集計の対象外とした。Kibwezi 行政区内の 10 地区(保護区を除く)は人口 55,000 人程度、面積 20 万 ha 程度である。1983 年の Chyulu hills 国立公園等が制定以降、入植が本格化し、大体 4-6ha 程度の農地を保有する農家が増えた(Emerton, 1999)。KEFRI によると、これらの入植地は法制度上では信託地に分類され、慣習的ではあるが、ほぼ全ての土地は、誰かに利用権が帰属している。このように Kibwezi は比較的入植歴史が浅いことに加え、降水量が少なく栽培できる農作物が限られているため、利用権は農家に帰属したまま、まだ開墾(集約的に利用)されておらず、農地植林用として利用可能な土地が多く残っていることが予想される。

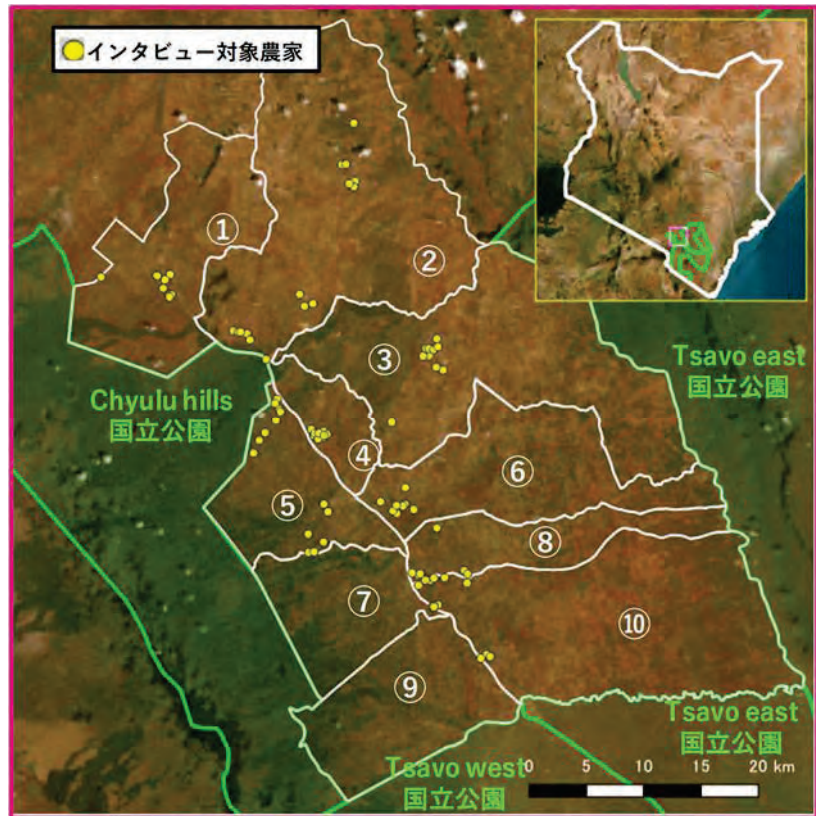


図 4-27 Kibwezi 行政区内のインタビュー対象農家(番号は表 4-11 と対応、地図は ESRI)

表 4-11 Kibwezi 行政区⁸の人口・面積とベースライン調査の対象世帯数

(出所: 2019 Kenya Population and Housing Census Results)

ID	区	全人口	全世帯数	1 世帯の平均人数	面積 (ha)	調査世帯数
①	Nguumo ⁹	32,141	7,594	4.23	20,710	10
②	Kikunbulyu	54,067	13,418	4.03	40,530	18
③	Masongaleni	21,900	4,864	4.50	21,940	10
④	Kinyambu	9,807	2,723	3.60	13,130	10
⑤	Utithi	23,708	5,517	4.30	14,490	16
⑥	Ngawata	11,983	2,807	4.27	13,800	8
⑦	Nzambani	14,957	3,642	4.11	9,370	3
⑧	Kambu	12,514	2,728	4.59	14,800	6
⑨	Nthongoni	21,276	5,101	4.17	15,500	0
⑩	Mtito-Andei+ Kathekani	26,721	7,073	3.78	42,540	12
Total		229,074	55,469	4.13	206,810	93

⁸ ほとんど人が住んでいない国立公園も Kibwezi 行政区に含まれるが、植林地対象地にはなりえないため集計からは除外。

⁹ 正確には Nguumo 地区は、Kibwezi sub county の行政区内の外であり、隣の Makueni sub county 内の行政区に属する。

(2) 住民便益にかかるベースライン調査の結果

92 世帯の所有農地の土地利用状況は図 4-28 の通りであった(実際は、93 世帯にインタビューしたが、所有農地面積が 160ha の 1 世帯は、今回の集計からは除外した)。所有農地面積(a)は平均で 1.40ha 程度であり、2ha 以下の世帯が半分以上の 57%(=53/92 世帯)であった。所有農地面積での既存の植林面積(b)は、平均で 0.55ha 程度であり、0ha(植林していない)の世帯が半分近くの 45%(=42/92 世帯)であった。植林のために使える農地面積(c)は、平均で 0.48ha 程度であり、0.4ha 以上植林可能な世帯は半分以上の 64%(=59/92 世帯)であった。これらこのことから、Kibwezi 内では、ほとんど農地植林は進んでおらず、所有面積は 2ha 程度であり、そのうち少なくとも 0.4ha 程度は、新たに植林が可能であることが明らかとなった。これをもとに、表 4-11 で示した Kibwezi 行政区の合計世帯数 55,000 世帯のうち、農家が 50,000 世帯程度で、その 64%の世帯が植林のために使える農地が 0.4ha/世帯あるという想定をすると、概算だが、Kibwezi 行政区内全体で少なくとも 1 万 ha 程度の新たに農地植林ができる可能性がある。この規模で植林できればケニア政府が掲げる森林率 30%への貢献も大きい。ただし、あくまで今回の 92 世帯のサンプル調査結果をベースにした概算なので、精確な面積を把握するためには衛星画像等による解析が必要である。

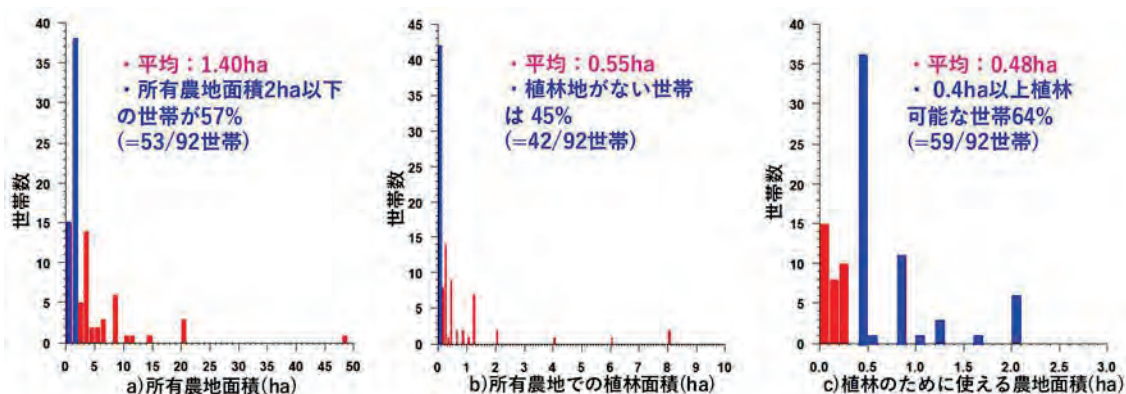


図 4-28 Kibwezi の農家 92 世帯の土地利用状況

(実際は、93 世帯にインタビューしたが、所有農地面積が 160ha の 1 世帯は除外)

次に、1 人あたりの薪炭の年間消費量(気乾重)を図 4-31 示す。炭の消費量の平均は 115 kg、薪は 454 kgであった。また、半分以上の 66%(=62/93 世帯)の農家は、天然木由来の薪のみを使っていることが分かった。なお、農家に薪炭消費量についての回答を重量ベースで求めても、正確な値は得られないと考え、薪なら Head-load、炭なら Bag といったように農家が普段なじみのある単位で答えてもらってから、図 4-29 に示した通り、KEFRI によって推定した 1 単位あたりの気乾重¹⁰を元に重量に変換した(例:①農家には 1 Head load の薪の消費にかかる日数を聞きとる→②その期間から年間あたりの消費量を気乾重に換算→③その気乾重を各農家の世帯構成員数で割って 1 人あたりの薪炭の年間消費量(気乾重)を推定)。

¹⁰ 現在の消費量と植林地からの供給ポテンシャル(バイオマス量)の両社を比較するには、気乾重ではなく乾燥重量に変換する必要がある。令和 5 年度に、Head load や Bag の 1 単位当たりの乾燥重量をサンプリング調査によって精査する予定である。



図 4-29 インタビューで用いた薪炭の単位と気乾重への換算方法

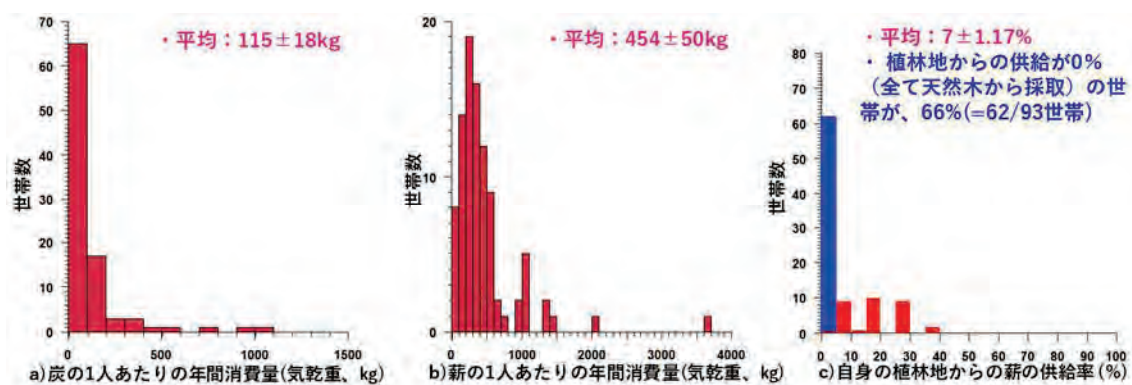


図 4-30 Kibwezi の農家 93 世帯の 1 人あたりの薪炭の消費状況

薪炭の採取(伐採)方法は、適当なサイズの枝のみを選択伐採すると答えた農家が 90%以上であり、Kibwezi で主流な採取方法であることが分かった(図 4-31)。その外にも萌芽更新と答えた農家も半分以上いた。地際から全て伐採すると答えた農家は 6.5%であり、ほとんどの農家は、立木の状態を維持しつつ、新しく更新した枝を薪炭として採取していることが分かった。このことから、一度、植林すれば、ある程度の期間は再植林しなくても、持続的に薪炭を供給できることが示唆された。

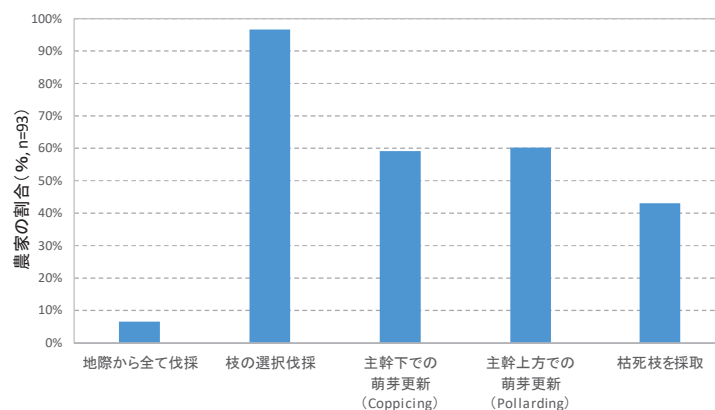


図 4-31 薪炭の採取(伐採)方法(93 世帯、複数回答可)



図 4-32 薪炭採取のための更新方法

薪炭材として好まれる樹種の上位 7 位は図 4-33 の通りである。薪炭用の樹種として一番好まれる樹種は、*Acacia tortilis* で、他にも、*Azadirachta indica* や *Senna siamea* の人気が高かった。*Acacia* 属、*Azadirachta indica*、*Senna* 属の特徴は、枝が多くでることであり、薪炭の採取(伐採)方法の主流が枝の選択伐採なので、その採取方法にあった樹種が選ばれたようである。*Sennna abrebiata* 以外は全種、今回の長根苗を使った農地植林のモデル林造成でも用いられる樹種であった(表 4-4)。

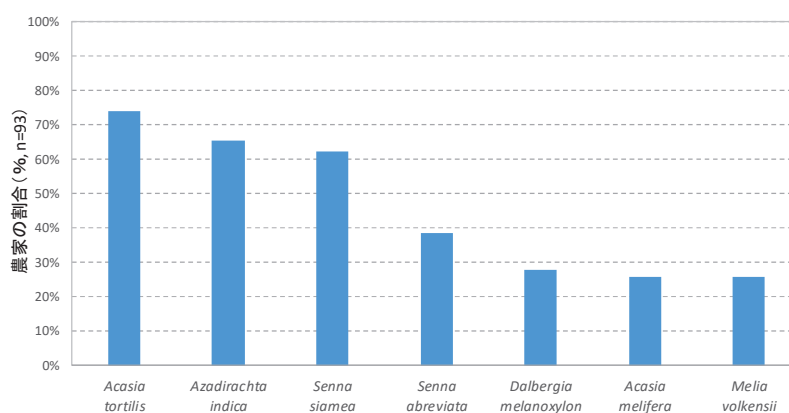


図 4-33 薪炭材として好まれる樹種の上位 7 位(93 世帯、複数回答可)

今回のベースライン調査の結果は図 4-34 のようにまとめられる。1 世帯当たりの薪炭消費量が 2,349 kg(気乾重)／年に対して、植林のために使える農地が 0.4ha／世帯程度であるとする、必要な薪炭材をすべて植林地から賄うには、年間成長(伐採)量として 6,000kg(乾燥重量)／ha・年程度必要である。薪炭の収穫(伐採)方法は、枝の選択伐採や萌芽更新を想定しているが、ウガンダの非乾燥地での薪炭材としての幹の年間伐採可能量が 2,000kg／ha・年であるというデータに依拠すると、現時点での薪炭消費量の全てを 0.4ha の農地植林で賄うことは難しいと予想される。ケニア半乾燥地での薪炭供給ポテンシャルについては、令和 5 年度に調査する予定だが、植林による供給だけでなく、改良かまどの普及等により、薪炭の消費量自体を減らすことも検討したほうがよいかもしれない。

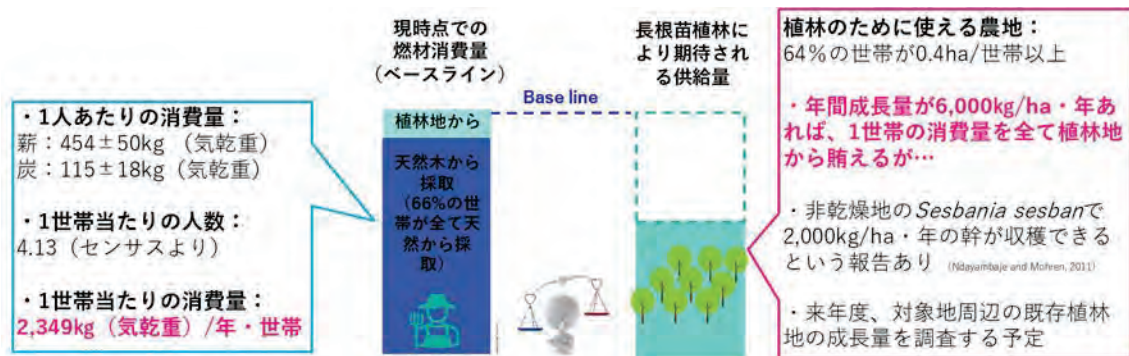


図 4-34 93 世帯の農家へのインタビューによるベースライン調査のまとめ

4.4 検討した可視化手法のコスト試算

4.4.1 長根苗のコスト(従来のポット苗に対する追加コスト)

長根苗の育苗期間は従来ポット苗と同様に 1 シーズン(数か月程度)であるが、長根苗を育苗するにあたっては、育苗容器の M-StAR に加えて、培地であるココナツピートや育苗棚といった資材が必要なので、従来ポット苗よりも 10 円/苗以上高くなる見込みである(図 4-35)。しかし、従来ポット苗は、植栽までに何度も根切りのためにポットを移動や、雑草除去する必要がある、植栽まで苗畑に置いておく限りはその作業コストが発生する。M-StAR コンテナ苗であれば、自然に空中根切りができるので、灌水さえ続ければ放置していても、根巻きしない苗ができる。また、乾燥地では、植栽コスト¹¹が割高になりやすい(ミャンマーの JIFPRO の植林プロジェクトでは、灌水や大きな植穴掘削に係る人件費は 50 円/苗以上)いが、長根苗により得られるメリット(灌水不要、植栽可能期間が長い、補植費用の軽減、成長促進)を考えると、長根苗の育苗コストが多少高くても普及する可能性はあると考える。ただし、M-StAR を日本から輸入する際のコストが、現時点ではかなり高く、M-StAR 長根苗の途上国での普及に向けての課題であり、現在、輸入コストの削減方法や代替資材を検討しているところである。

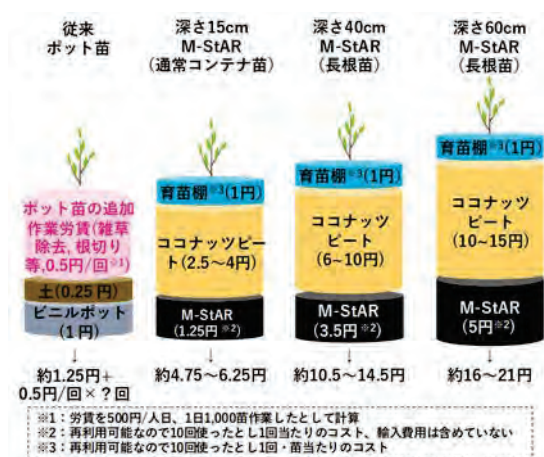


図 4-35 長根苗の育苗にかかるコスト

¹¹ 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といえる。

4.4.2 長根苗の育苗オーガーコスト

本実証地での植穴掘削に掛かった費用及び実績を下に記す。

No	項目	費用	単位	備考
①	機械レンタル費	36,000	円/日	(オペレータ費用含む)
②	燃料費	3,750	円/日	
③	植穴掘削の日当たりコスト	39,750	円/日	(① + ②)
④	植穴掘削の日当たり数量	245	個/日	
⑤	植穴掘削 1 個当たりのコスト	162	円/個	(③ / ④)

4.4.3 ドローンによるモニタリングのコスト

本実試験でのドローン空撮費用は機材レンタル及びオペレータ費等で、約 10,000 円/ha だった。

4.5 対象国における検討した可視化手法の普及説明会

令和 4 年度は以下の通り、KEFRI に対して説明会等を行った。

開催日時:2022 年 10 月 24 日	
場所: KEFRI 本部(ナイロビ)	
参加者: KEFRI の所長をはじめとする幹部(4 名)、JIFPRO(田中、柴崎)、コマツ(姫野、石森)	
JIFPRO から本試験を開始するにあたり、試験の目的や計画を説明	

開催日時:2022 年 10 月 24 日	
場所: KEFRI (Kitui)	
参加者:KEFRI の職員(10 名程度)、JIFPRO(田中、柴崎)、コマツ(石森)	
JIFPRO とコマツから本試験を開始するにあたり、試験の目的や計画を説明	

開催日時:2022 年 2 月 8 日	
場所: KEFRI (Kibwezi)	
参加者: KEFRI の職員(5 名)、JIFPRO(柴崎)	
住民便益の評価手法について議論	

開催日時:2022 年 2 月 24 日	
場所: KEFRI(キツイ)	
参加者: KEFRI の職員(14 名)、 JIFPRO(柴崎)	
JIFPRO からケニアで実施している実証試験の進捗状況を「Feasible study for visualization of the contribution of afforestation using M-StAR long rooted seedlings (LRS) and ICT Solution in semi-arid area in Kenya」というタイトルで説明。	

4.6 実証試験の総括

本試験は、ケニア半乾燥地における小規模農家の農地での長根苗植林による貢献度可視化を目的として、令和 4 年度から開始した。Kibwezi の農地植林による長根苗のモデル林用の長根苗は、現在も育苗しているところであり、令和 5 年度に入ってから植栽する予定である。モデル林造成に先駆けて行った長根苗の植栽試験では、3 樹種のうち 2 樹種で長根苗の効果が見られ、半乾燥地に住む農家に普及する価値のある植林技術であることが確かめられた。しかし、長根苗用の深い植穴掘削については、今回試行したトラクターオーガでも、固い土壌層では掘削が難しく、実用化に向けては課題が残された。令和 5 年度は、油圧式建機オーガ+オーガの形状・材質を工夫して、固い土壌層でも深く、そして迅速に掘れるかどうか検証する予定である。

また、今回、植栽後の苗木の活着を簡易に可視化するために、ドローンにより空撮した画像を、NDVI 画像及び DSM 画像に変換し、苗木の自動検出を試みた。日本のスギ林でも同様のアプローチで苗木活着を評価している実績があることから、ケニア半乾燥地でも雨季の葉が旺盛な時期であれば、自動検出できると期待されたが、NDVI においては、植栽後 1 年未満の苗木の検出率は非常に低かった。2 年経過した苗木であれば、NDVI により高い精度で苗木検出ができたが、補植の必要な箇所を見つけるような目的には、植栽後 2 年経過ではタイミングとして遅すぎるかもしれない。第 2 章で言及した通り、ケニアの VCS 植林プロジェクトでは、成木になった植栽木の生残本数を地域住民が全てカウントすることにより、植林地全体のバイオマス量を算定している事例がある。全ての植林地をドローン空撮で網羅することは難しいが、例えば、地元住民によるカウント結果の精度検証のために、今回の NDVI による成木の苗木検出は使えるかもしれない。DSM による苗木検出は、苗木の大小(植栽経過年数)にかかわらず、ほとんどできなかった。その一因としては、3D 形状が適切に再現できなかったことが考えられる。DSM は NDVI よりも利便性が高く、かつ樹高等も測定できるため、引き続き DSM で苗木検出ができなかった原因を精査し、DSM による苗木検出及び樹高測定の手法の改良を検討していく必要がある。オルソ画像上では、苗木ははっきりと目

視でき、光学画像上のピクセル値としては、苗木と地面で明らかな違いが出ているため、ドローンで撮影した基の画像の解像度等には問題はないと考えられる。例えば、光学画像→3D 化、もしくは 3D→DSM の段階で、余分な情報(ノイズ)をフィルタにかける等することで、DSM でも苗木の検出精度が高まり、樹高も測定できるかもしれない。もしくは、あらかじめ植栽した苗木の位置情報が 30 ～100 cm程度の誤差で GPS 計測できていれば、画像解析の際に、その位置だけをフィルタにかけて焦点を絞れるので、基準の地盤(DTM)よりも高いかどうか検出しやすくなるかもしれない。

最後に、住民便益の可視化については、令和 4 年度は、住民にとって必要不可欠な薪炭材を指標として、Kibwezi 行政区内の 93 農家を対象にインタビューを行なうことで、農家の薪炭利用状況や土地利用状況等についての詳細が明らかになった。今回、このようなベースライン調査をすることによって、令和 5 年度に実施する農地植林のモデル林造成にあたって、どういう農家に、どういう樹種の苗、どれだけ提供すればよいか明らかになった。特に、農地植林の場合は、こういった農家の現状をベースライン調査で把握しておく必要があるだろう。

4.7 参考文献

- Braun, H.M.H, 1982. Agro climatic zone map of Kenya 1980
- FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020. Rome.
- Government of Kenya. 2007. Kenya Vision 2030. Sessional paper no. 1 of 2007.
- Government of Kenya. 2010. AGRICULTURAL SECTOR DEVELOPMENT STRATEGY 2010–2020.
- Government of Kenya. 2019. Kenya Population and Housing Census Volume II DISTRIBUTION OF POPULATION BY ADMINISTRATIVE
- UNIT. Kenya National Bureau of Statistics. Nairobi
- Kenyan Forest Service (KFS). 2013. Report on National Forest Resource Mapping and Capacity Development for The Republic of Kenya. Forest Preservation Programme. Report No. KEF09/11494/01. Kenya Forest Service, Nairobi.
- Kenya Ministry of Environment and Natural Resources (MENR). 2016. National Forest Programme of Kenya. Nairobi, Kenya.
- Magaju, C., Ann Winowiecki, L., Crossland, M., Frija, A., Ouerghemmi, H., Hagazi, N., ... & Sinclair, F. 2020. Assessing context-specific factors to increase tree survival for scaling ecosystem restoration efforts in East Africa. *Land*, 9(12), 494.
- Mutimba S, Barasa M. 2005. National charcoal survey: Exploring the potential for a sustainable charcoal industry in Kenya. Nairobi, Kenya.
- Mwenda Jasper N.. 2001. SPATIAL INFORMATION IN LAND TENURE REFORM WITH SPECIAL REFERENCE TO KENYA. International Conference on Spatial Information for Sustainable Development Nairobi, Kenya 1 2–5 October 2001
- Sombroek, W.G., Braun, H.M.H. and van der Pouw, B.J.A. (1982) Exploratory Soil Map and Agro-Climatic Zone Map of Kenya, 1980. Scale: 1:1,000,000. Exploratory Soil Survey Report No. E1. Kenya Soil Survey Ministry of Agriculture, National Agricultural Laboratories, Nairobi.
- 国際緑化寿司新センター(JIFPRO). 2021. 途上国森林再生技術普及事業 令和2年度報告書. 林野庁補助事業
- 国際緑化寿司新センター(JIFPRO). 2022. 途上国森林再生技術普及事業 令和3年度報告書. 林野庁補助事業