

3. ケニア半乾燥地における小規模農家向け長根苗植林の貢献度可視化

国際緑化推進センター(JIFPRO) 柴崎 一樹、田中 浩

要約

NGO や企業による途上国での植林支援において、多くの苗木を素早く植えることができる植林形態として、小規模農家向け植林が多く実施され、ケニアでも広まりつつある。しかし、不均一で細分化された植林区が多数点在する小規模農家向け植林では、植林地全体の評価(モニタリング)が困難であるため、多くの支援プロジェクトが植林本数や面積を報告するのみで、植林による貢献度の可視化には至っていないのが現状である。また、ケニアにおける小規模農家向け植林の支援は湿潤地に限られており、国土の 80%を占める乾燥・半乾燥地(ASAP)での植林は進んでいない。本試験では、ケニアの ASAP での小規模農家向け植林(の支援)を促進するべく、①長根苗の育苗・植林試験による技術開発を行うとともに、②実際に長根苗を用いた小規模農家の植林地において、衛星画像と全植林木の高精度位置情報を用いたモニタリング手法(生残木のカウント)の開発を試みた。また、③住民便益の一つとして、植林木による薪炭材供給に着目し、農家の薪炭消費量に対して、将来的に植林木からどの程度の薪炭を供給できる可能性があるのか明らかにした。

3.1 背景・目的

ケニア政府は、2032年までに森林(樹冠)被覆率を30%にする目標を掲げている(Kenya, 2023a)。それを達成するための方策として、特に、小規模農家が保有する土地での植林(以下、「小規模農家向け植林」とする)を重視し、その潜在的規模は100万ha以上と見込んでいる(Kenya, 2023b)。小規模農家向け植林には、参加する農家を多く募ることで、植林できる場所を確保し、多くの苗木を素早く植えることができるメリットがあることから、ケニアだけでなく、途上国全般において、国際機関、企業、NGO 等による小規模農家向け植林プロジェクトの数や規模が増加しつつある(柴崎ら、2023)。しかし、各農家の土地に植えるため、参加農家の数だけ1ha前後の小さな植林区が点在し、それと同時に、農家によって植栽樹種・密度等が異なることが多い(図3-1)。このように不均一で細分化された植林区が多数点在する小規模農家向け植林では、通常衛星画像やプロットサンプリングによる植林地全体の評価(モニタリング)が困難だと予想される。



図 3-1 ケニアの小規模農家向け植林

これに対し、Verra が認証するボランタリー炭素クレジットプログラム(VCS)では、2023 年 9 月に新たに植林由来の炭素固定量を推定しクレジット化する方法論(VM0047: ARR)が開発され、その中では、プロット調査の代わりに全木調査を前提とした Census-based approach が新たに提示された。これは、植栽した全樹木本数に、全生残個体数の悉皆調査、又はサンプリング調査により得られる生残率を乗じて生残木数を特定し、それに単木あたりの平均炭素量を乗じることで、植林地全体の炭素量を推定するアプローチである(植栽本数(本)×生残率(%)×1本あたりの平均炭素量(t/本))。Census-based approach が適用される条件は、「1 ha 以上の広がり樹冠被覆をもたらない植林」、「植林によって森林への土地利用変化が起きないこと」と VM0047 に明記されており、農地での 1 ha 未満の植林、すなわちアグロフォレストリー的に列状や農地の周囲に木を植えるといった、小規模農家向けの植林がその対象となり得る。実際、これまで実施されている VCS での小規模農家向け植林の大部分は、同アプローチに沿って推定された炭素量をもとにクレジット創出がされており、ケニアで実施される KOMAZA や TIST といった 1 万戸以上の小規模農家を対象とした VCS 植林でも、同アプローチによりモニタリングが行われている(柴崎ら、2024)。

今後、炭素クレジットだけでなく、ESG 投資なども念頭においた企業からの植林支援を促進するためには、植えた本数や面積ではなく、実際に植えた木が育ったことを根拠やデータとともに示したうえで、気候変動の抑制、住民便益、及び生物多様性の向上等への貢献を主張することが求められる。そのような中、国際的にも認知度が高い VCS 植林方法論の中で、生残本数からの炭素固定量推定が正式に承認されたことにより、炭素クレジットを目的としない植林プロジェクトにおいても、少なくとも生残本数をモニタリングできれば、ある程度の信頼性が担保された形で、炭素固定量をはじめとする植林の貢献度の可視化が可能になる。一方で、1 万戸以上にも及ぶ小規模農家の土地に植えられた植林木の生残を全てチェック、カウントするのは、現実には大変な作業であり、それに係るコストは高くなる。実際、企業が支援する非クレジット型の小規模農家向け植林では、植林本数や面積が報告されているだけで、どの程度木が育っているのかをモニタリングしている形跡がないものも散見される。今後は、コストを抑えながらも、最低限、生残本数だけでも確実に把握できるようにモニタリング手法の開発が求められるだろう。

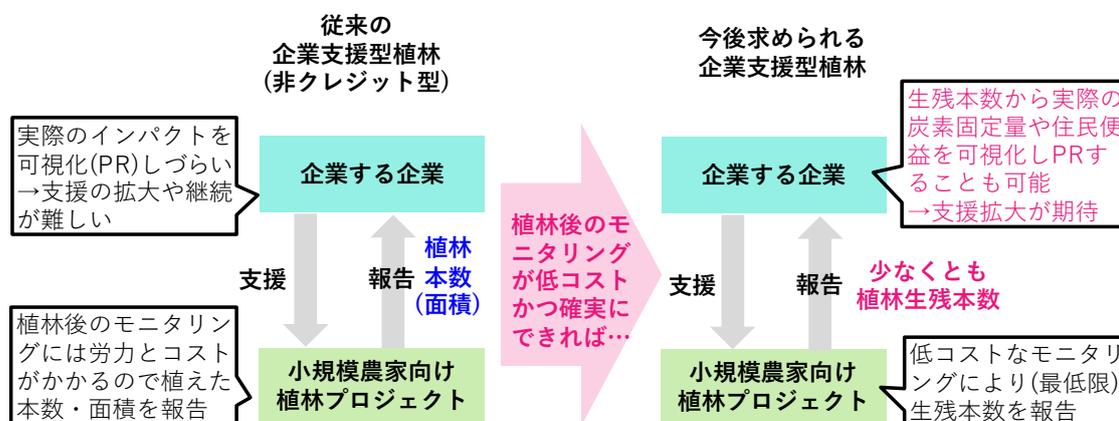


図 3-2 今後求められる企業支援型植林

さらに、ケニアにおける企業による植林支援は湿潤地に限られており、国土の約 80%を占める乾燥・半乾燥地(ASAP)では、植林コストが高い、枯死リスクが高い等の原因で植林が進んでいないのが現状である。そこで、JIFPRO では、2021 年度から林野庁補助事業の下で、ケニア森林研究所(KEFRI)と協力し、乾燥地での植林用に通常よりも深い容器(40~60cm 程)で育てた苗(以下、長根苗)の開発を行ってきた。長根苗は、土壌深部の水により早くアクセスできるため、植栽直後の厳しい水分条件下にも耐えられることが期待される。JIFPRO は、M-StAR と呼ばれるシート状のコンテナ苗容器に用いることで、長根苗を容易に育苗できるようにした。また、植栽後の効果もモニターにて実証済みである(詳細は令和 2 年度 途上国森林再生技術普及事業 報告書を参照)。

このような背景を踏まえ、本試験では、ケニアの ASAP での小規模農家向け植林(の支援)を促進するべく、①長根苗の育苗・植林試験による長根苗の技術開発を継続するとともに、②実際に長根苗を用いた小規模農家向け植林を通して、そのモニタリング手法(生残木のカウント)の開発を試みた。また、ケニアでの小規模農家のエネルギー源は薪炭材であり、特に ASAP では天然林からの過剰採取によりその劣化が深刻化していることを踏まえ、③住民便益の一つとして、植林木による薪炭材供給に着目し、農家の薪炭消費量に対して、将来的にどの程度の薪炭を供給できる可能性があるのかを明らかにした。なお、本試験は、令和 4 年度からの継続で行われており、令和 5 年度はこれまで明らかになった課題を整理しつつ試験を実施した(表 3-1)。また、本試験は JIFPRO による直営で行われたが、一部、コマツ、KEFRI に業務を委託することで行った(図 3-3)。

表 3-1 本試験の検討項目

実施項目	令和 4 年度の実施内容	令和 5 年度の実施内容
① 長根苗技術の開発・普及	・長根苗の効果検証のための植栽試験 ・トラクターオーガによる長根苗用の植穴掘削の試行	・長根苗の育苗コスト削減のための育苗試験 ・長根苗の効果検証のための植栽試験 ・油圧式建機オーガによる長根苗用植穴掘削
② 小規模農家向け植林のモニタリング手法開発	・小規模農家向け植林用の長根苗育苗 ・既存植林地でのドローンによる生残木の自動検出	・長根苗を用いた小規模農家向け植林の実施 ・既存植林地での衛星画像による生残木の自動検出
③ 住民便益の可視化	・農家の薪炭消費量等を把握するためのベースライン調査	・既存植林地での薪炭供給の見込み量を調査



図 3-3 本試験の実施体制

3.2 試験対象地の概要

育苗・植林試験を通した長根苗の技術開発は主に Kitui 郡の KEFRI 保有地、長根苗を使った小規模農家向け植林は、Kibwezi 準郡内の農家の保有地で行った。どちらも年降水量 450-900 mm の半乾燥地に位置する。図 3-4 のとおり、比較的湿潤エリアでは、企業から資金を基に、TIST や KOMAZA と呼ばれる小規模農家向け VCS 植林が実施されているのに対し、半乾燥地では潜在的には植林可能な条件があるにも関わらず、企業による植林支援がほとんど行われていない。

長根苗を使った小規模農家向け植林の対象地である Kibwezi 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 3-5)。Kibwezi の 10 地区の人口は約 5.5 万世帯 (1 世帯平均 3.78 人)、面積は 20 万 ha 程度である (Kenya, 2019)。1983 年の Chyulu hills 国立公園等の制定以降、入植が本格化し、土地を保有する農家が現れた (Emerton, 1999)。KEFRI によると、現在、Kibwezi 内のほぼすべての土地は、法制度上では信託地または民有地に分類され、住民に保有・利用権が帰属している状態である。ただし、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、農家に保有・利用権が帰属したまま、開墾 (集約的に利用) されていない未・低利用な場所が残っている。また、入植前は森林が成立していたようだが、入植が本格化されたのを契機に、薪炭採取や過放牧による森林劣化が広範囲に進み、現在は国立公園内にしか原始的な森林は見られない。これらのことから、小規模農家向け植林を通した植生回復や薪炭林造成の適地が多く残っていることが予想される。

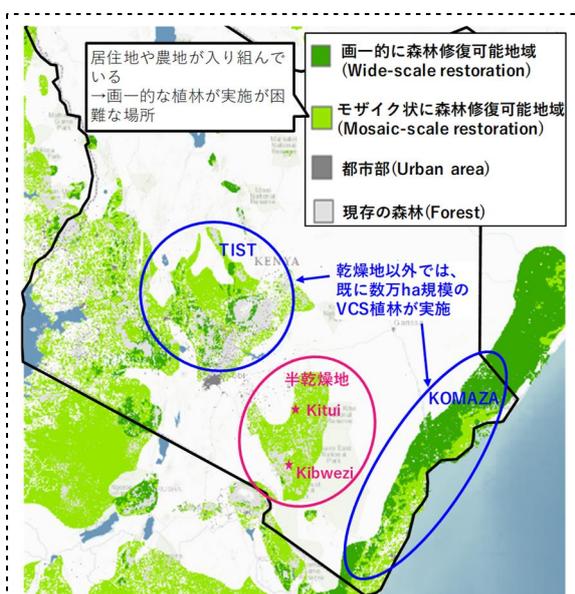


図 3-4 試験対象地 (Kitui 及び Kibwezi) と潜在的に植林 (修復) 可能なエリア (背景地図の出典: Atlas of Forest Landscape Resoration Opportunities¹より)

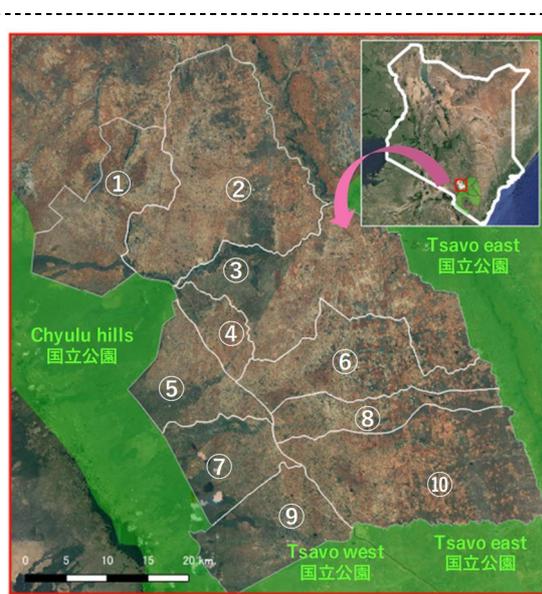


図 3-5 小規模農家向け植林を実施した Kibwezi の行政区 (①~⑩)、国立公園の外は入植が進み原生林は残されていない (背景地図の出典: Google)

¹ IUCN, WRI, メーランド大学が提供する Web サイト (<https://www.wri.org/applications/maps/flr-atlas/#>) であり、世界の森林修復 (植林) 可能なエリアが把握できる。

3.3 実証試験の方法と結果

3.3.1 長根苗技術の開発・普及のための育苗・植栽試験

(1) 長根苗のコスト削減のための育苗試験

現在、長根苗の育苗容器には、M-StAR コンテナ (Multi-Stage Adjustable Rolled Container、以下 M-StAR) と呼ばれるシート状のコンテナ苗の容器が使われているが、M-StAR はケニアの市場には流通しておらず、日本から輸出する必要がある。近年、ケニアでは、環境保護の観点から、ポリエチレンの育苗ポット (ビニルポット) の利用禁止が検討されており、代替の育苗容器として、再利用可能、もしくは生分解性の育苗容器の発掘・開発を進めているところである。再利用可能な M-StAR は、KEFRI もビニルポットの代替になり得るとして着目はしているが、現時点では輸入コストが高いということもあり、本格的に日本から輸入するまでは至っていない。そこで、令和 5 年度は、ケニア国内で簡単に安価で入手できる竹で作った竹コンテナを考案し、竹コンテナでも M-StAR と同様に苗の育苗ができるかを明らかにするために、図 3-6 に示す 3 つの育苗容器を用いて育苗試験を行った。竹コンテナは、竹を縦に半分に割り、その中に培地を詰めた後、再接合したものである。容器の違いによる苗の成長を評価するために、3 つの容器の深さや径は統一し、*A.tortilis*, *Dmelanoxylon*, *M.volensii*, *S.siamea*, *T.brownii* の 5 樹種を用いて育苗試験を開始した。2024 年 3 月時点では、育苗が育っていないが、来年度以降、それぞれの苗についてその成長を評価する予定である。



図 3-6 育苗試験で使用した 3 つの長根苗育苗容器

(2) 長根苗の効果検証のための植栽試験

長根苗を使った小規模農家向け植林の実施にあたって、長根苗がケニア半乾燥地で適した植栽方法なのかを証明するために、長根苗による生残率への効果を検証する植栽試験を半乾燥地に位置する Kitui と Kibwezi にて行った。

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、まず、Kitui では、半乾燥地での植栽可能期間を広げることを目的に、あえて乾季前半に植栽し、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 3-7 のとおりであり、半乾燥地の代表的な造林樹種である *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（長根苗と通常コンテナ苗の中間サイズ）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（育苗条件の詳細は令和 3 年度 途上国森林再生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 0mm であった（図 3-9）。

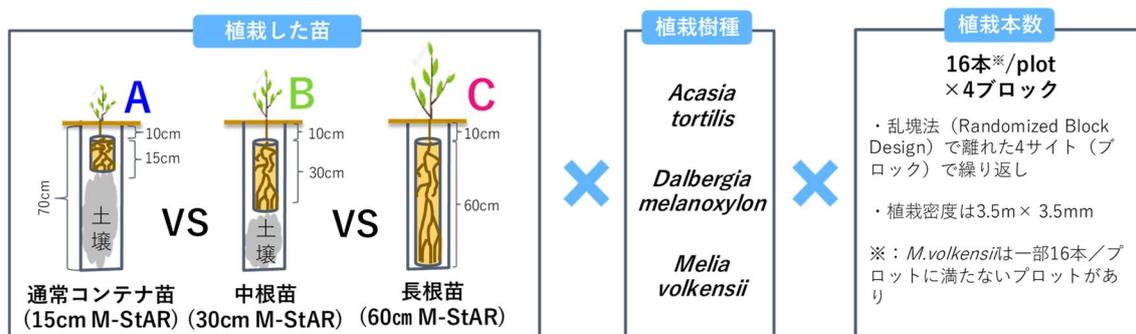


図 3-7 Kitui での長根苗を用いた植栽試験の設計（乾季前半（2022 年 6 月）植栽）



図 3-8 Kiuti で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 3-9 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ずつ（n=4）、0-100cm での土壌を 20cm 毎にサンプリングし、質量含水比をモニタリングした。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（0-20cm）の質量含水比は、常に低いのにに対して、土壌深部（60-80cm、80-100cm）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、質量含水比が高くなった。この傾向は、それ以降も見られた。このことから、土壌表層（0-20cm、20-40cm）は、雨季時は土壌水分が高いが、乾季は比較的低いのにに対して、土壌深部（60-80cm、80-100cm）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 60cm 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。

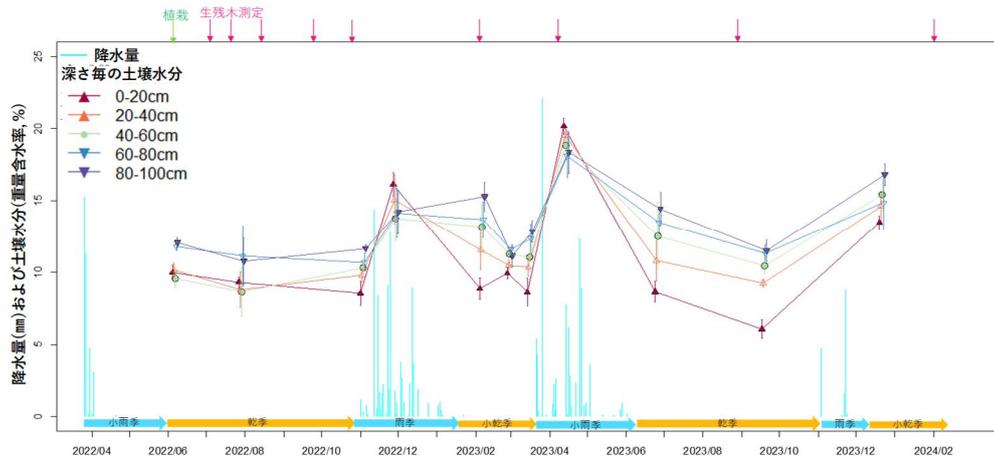


図 3-9 植栽試験地(Kitui)の降水量と土壌水分の推移(土壌水分のサンプル数は n=4)

乾季終了時点(2023年11月)の生残率は、図 3-10 の通りであった。*D.melanoxylon*, *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。

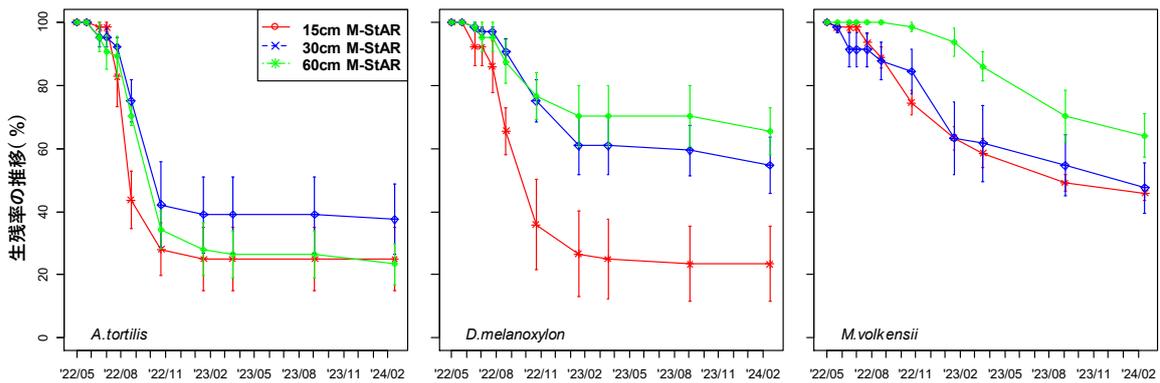


図 3-10 植栽後の生残率の推移(Kitui、乾季植栽)

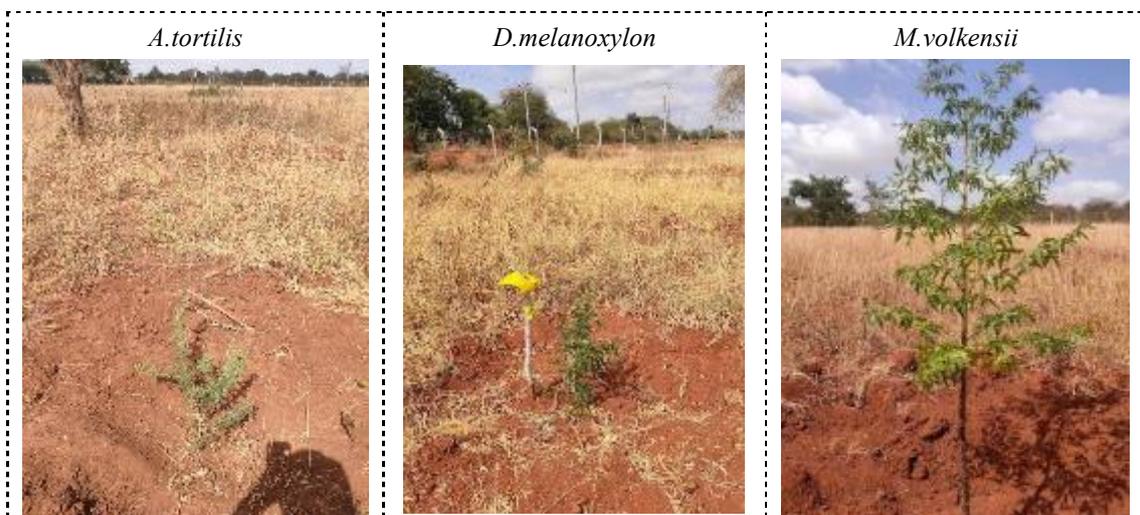


図 3-11 雨季途中(2023年2月)の長根苗

今回の植栽試験から、少なくとも *D.melanoxylon* と *M.volkensii* は、長根苗は乾季前半に植栽し、その後無灌水でも最初の乾季を乗り越えられる可能性が高いことが示された。植林して 2 年以降は、長根苗でも生残率の若干低下している原因として、下草の影響が考えられる。長根苗はあくまで植栽直後の干ばつリスクを抑えるためのものであり、雑草木との競合を避ける雨季の下草刈りや水分環境を維持する集水キャッチメントといった管理は必要であろう。*A.tortilis* で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、雨季後半に植えないといけない、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、小規模農家向け植林において使用する価値のある植林技術であることが確かめられた。

小規模農家向け植林を実施する Kibwezi でも長根苗の効果を検証するための植栽試験を行った(図 3-12)。Kibwezi での植栽試験では、長根苗による生残だけでなく、初期成長の効果を検証するために雨季(2023 年 11 月)に植えた。また、Kitui ではエンジン式ハンディオーガにより植穴掘削を行っていたが、Kibwezi では油圧式建機オーガを用いて、より大きくて深い植穴を掘削した(図 3-15)。植栽後 4 か月経過時点の生残率は、図 3-13 の通りであり、*M.volkensii* 以外は 80%以上の生残率を保っている。今後は成長に対する効果を検証する予定である。

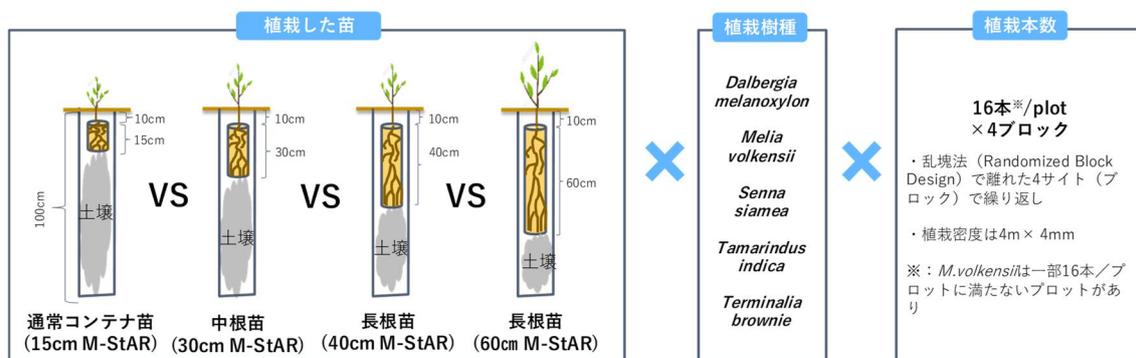


図 3-12 Kibwezi での長根苗を用いた植栽試験の設計(雨季(2023 年 11 月)植栽)

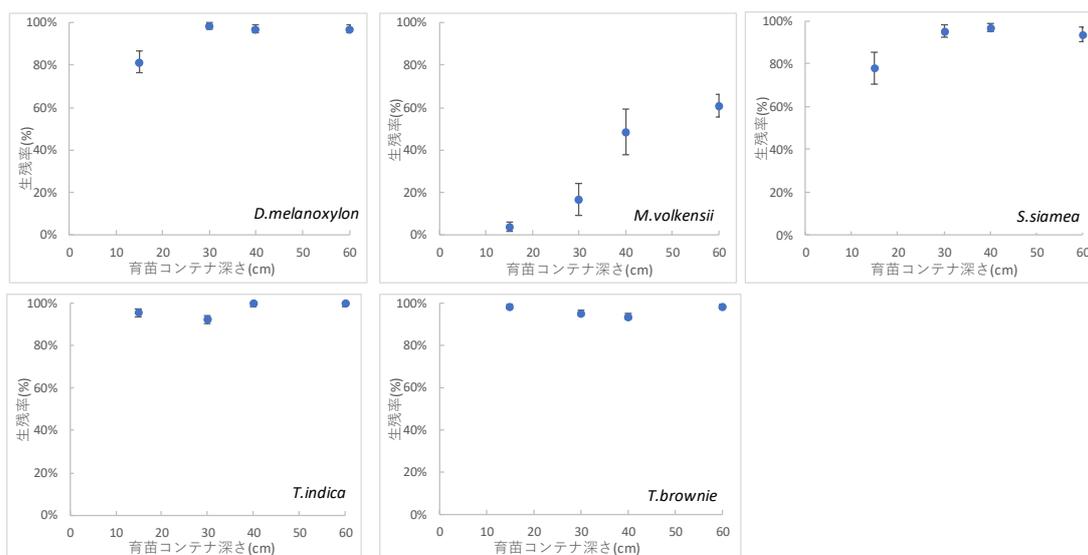


図 3-13 植栽後 4 か月経過時点の生残率の (Kibwezi、雨季植栽)

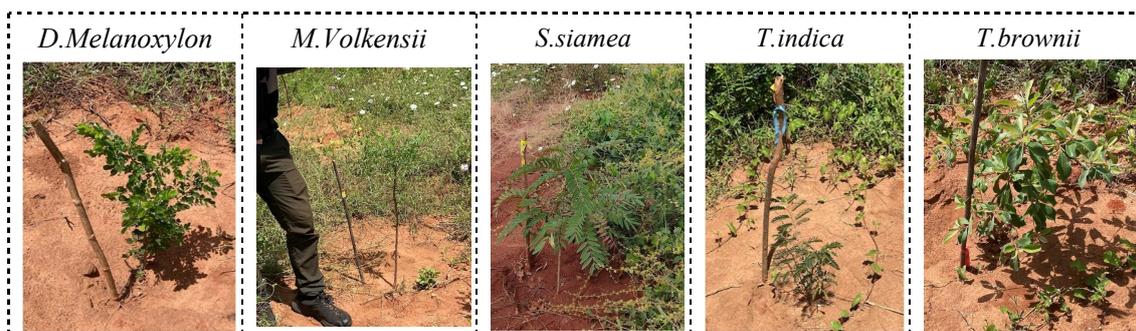


図 3-14 植栽して 4 か月経過時点の苗 (4 深度のコンテナ苗が混在)

(3) 長根苗の植穴掘削の効率化

ケニアの乾燥・半乾燥地 (ASAP) では、フェラルソル (Ferralsol) が多く分布し、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いる。比較的浅い部分にそれがある場所に植林した場合、根系発達が妨げられ、数年後に一斉に枯れる現象 (ダイバック) が報告されており、ASAP での植林を妨げている。固い土壌層が出現する深さは、場所により異なり、地表からは分からないため、ダイバック回避のためには、なるべく深い植穴を掘削する必要がある。また、深い植穴の掘削は乾燥地における植栽直後の苗木の深部成長を促すことにもつながる。令和 4 年度までは、エンジン式ハンディオーガやトラクターオーガを用いて長根苗の植穴掘削を行ったが、硬い土壌層にあたると掘削できないことや、硬い土壌層がない場合でも深い植穴を掘削するのに時間と労力を要していた。そこで、令和 5 年度は、油圧式建機オーガを用いて植穴掘削を行ったところ、径 20cm 程度で、深さ 1m 程度の植穴が、1 分弱/穴程度の速度で掘削できるようになり、これまでの植穴掘削の生産性が大幅に改善された (図 3-15)。ただし、小規模農家向け植林の現場における幅の狭い道や植林区面積の狭さに対して、建機車体が大きすぎて機動性に欠けることや、雨季になるとさらに機動性が低下し、建機の稼働率が下がることから、実用化のためには課題が残されている (図 3-16)。



図 3-15 植穴掘削方法の比較



図 3-16 油圧式建機オーガの実用化に向けての課題

3.3.2 長根苗を用いた小規模農家向け植林のモニタリング手法開発

(1) 長根苗を用いた小規模農家向け植林の実施

長根苗を使った小規模農家向け植林は、図 3-17 に示したようなアプローチで、Kibwezi 内において、自身が保有する土地内で植林を希望する農家を対象に行なった。希望する農家には、KEFRI を通じて育苗された長根苗を無料配布(上限は 50 本程度)し、建機による植穴掘削も無料で行なった。近隣農家の間でも、土地利用方法は様々であり、植林に使える土地の大きさや形状が違うことから、農家の希望に柔軟に対応できるように、植栽配置の指定は特に行わず、列状植林、境界植林、ギャップ植林、Woodlot 植林等、どんな植林形態でもよいこととした。ただし、植栽間隔は 4m 以上開けることと、植林後の管理(除草、家畜防除、集水域)は確実にを行うことを条件とした。樹種は、主に薪炭材として用いられる在来樹種を中心とした 12 樹種から、農家の希望に応じて配布した。今回の植林の目的は、主に薪炭材供給であり、特に伐採規制等は設けておらず、将来的には農家自らの判断で自由に利用できることになってはいる。植林木からの薪炭供給が最適かつ持続的にできるように、Pollarding 等による枝萌芽更新や、枝の選択伐採等といった施業方法を KEFRI とともに普及していく予定である。

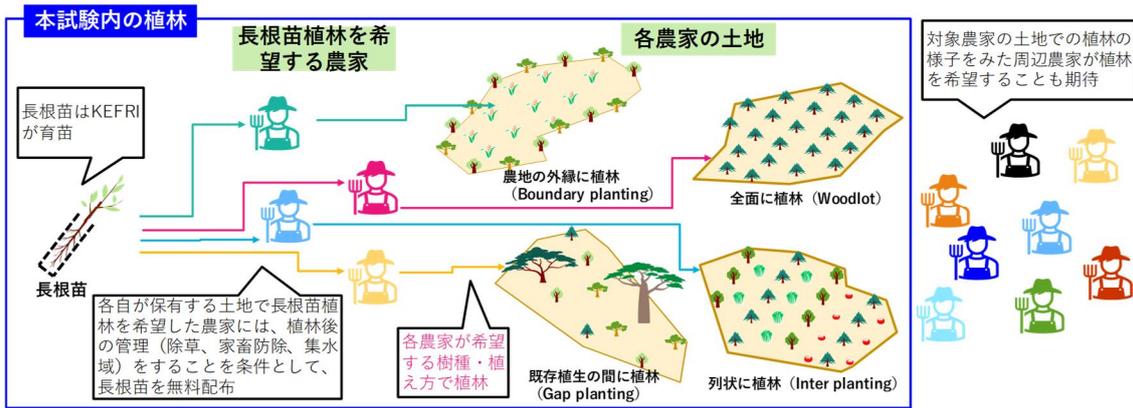


図 3-17 長根苗を使った小規模農家向け植林のアプローチ

小規模農家向け長根苗の植林は、2023年10月7日から12月22日までの約2か月半(実質稼働日は34日間)行われ、全部で72農家の保有する土地で、3,533本の長根苗の植林が行われた(図 3-18、表 3-2、図 3-19)。全72農家の植林形態は図 3-20の通りであり、列状、境界、ランダム、各農家で様々な配置で植林していることが見て取れる。



図 3-18 小規模農家向け植林の対象 72 農家の位置 (●は農家の位置を示す、背景地図は Google)

表 3-2 小規模農家向け植林で植林した樹種

樹種	在来・外来	主用途	植栽本数
<i>Azadirachta indica</i>	外来	薪炭	208
<i>Acacia mellifera</i>	在来	薪炭	407
<i>Acacia polyacantha</i>	在来	薪炭	717
<i>Acacia tortilis</i>	在来	薪炭	555
<i>Balanites aegyptiaca</i>	在来	薪炭	22
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	在来	高級材	413
<i>Gmelina arborea</i>	外来	用材	242
<i>Melia volkensii</i>	在来	用材	146
<i>Senna abbreviata</i>	在来	薪炭	96
<i>Senna seamea</i>	外来	薪炭	302
<i>Tamarindus indica</i>	在来	果実	169
<i>Terminalia brownii</i>	在来	建材	256
合計			3,533



図 3-19 小規模農家向け植林の様子



図 3-20 対象 72 農家の植林形態(●は植林木の位置、樹種で色異なる、背景地図は Google)

植林して 4~5 か月経過後の小規模農家向け植林地は図 3-21 の通りである。現時点では経過観察のみであり、すべての植林木を確認してはいないが、概ね順調に生育していることが確認された。



図 3-21 小規模農家向け植林で植林した苗の様子(植林して4~5か月経過時点)

(2) 植林生残木の自動検出(カウント)

前述の通り、小規模農家向け植林のモニタリングをするにあたっては、最低限、定期的な植林生残木のカウントが必要である。令和4年度は、解像度2cmのドローン画像(NDVI)から2年生植林木の単木レベルの自動検出を行ったが、その検出精度は低かった。さらに、植林区が多数点在する小規模植林農家向け植林では、全ての植林区にドローンを飛行させ撮影するには時間とコストがかかり、現場での実用性は低いと判断した。一方で、樹冠がうつ閉しない乾燥地においては、衛星画像による単木レベルの自動検出が既に行われている(図3-22)。ただし、植林による貢献度を示すためには、天然木と植林木を区別してカウントする必要があるが、図3-20のように各農家が自由に植えるような場合、植栽のルール・パターンに規則性がないので、高解像度衛星画像でも植林木だけを見分けて自動検出することは難しい。また、2時期の衛星画像を重ね合わせ、その期間内での木の増減をカウントすることは理論的には可能だが、それだけでは、天然更新による増減と植林による増減の区別ができないので、衛星画像単体での植林生残木のカウントは難しい。

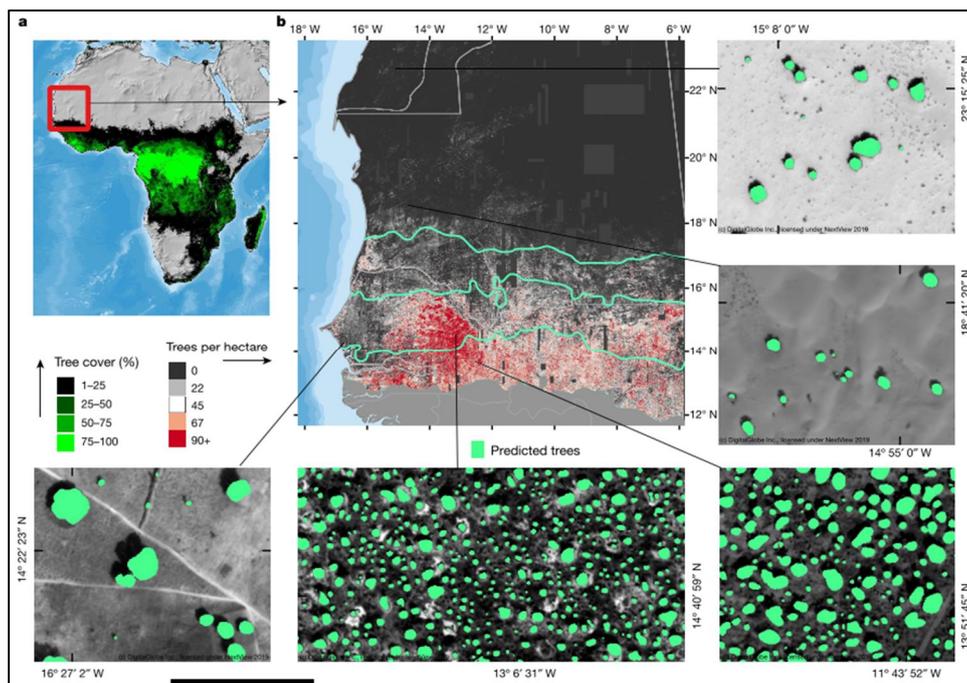


図 3-22 衛星画像と機械学習による単木レベルの自動検出(出典:Brandt et al., 2020)

そこで、本試験では、植栽するすべての苗木の位置情報を、植栽時に記録した。ガーミン等のハンディGPSの精度は5m前後であるが、本手法ではそれよりも精度が高いGNSSローバーにより、植林木の位置情報を記録した(図3-23)。その位置情報は図3-20の通りであり、50cm以内の精度で全ての植林木の位置情報が記録できたことが確認された。植林木の高精度位置情報を記録することで、不規則に植えたとしても、木が大きくなり樹冠が成立するにつれ、解像度50cm程度のグーグルアース等で、誰でもどこからでも1本1本の生育状況(樹冠)を確かめカウントすることもできる。また、全木の位置情報があれば、現場にIDタグがなくても、農家自らがスマホで自分の現在位置と植栽位置情報を照らし合わせることで、植林木にたどり着くことができるので、その生死や成長を確かめやすくなる。さらには、全植林木の位置情報に、農家、樹種、植栽年、支援者等の様々な情報を紐づけることにより、GIS上で全てデジタル管理もでき、生残率の高い樹種、適切な管理を行っている農家等も特定や、支援者毎の植林木の成長も可視化できるようになる。

全苗木の情報(農家、樹種)を位置情報をセットでデジタル化			
Tree ID	農家名	樹種	植栽日
362	Sebastian	<i>M.volkensii</i>	10/8
363	Sebastian	<i>M.Volkensii</i>	10/8
364	Sebastian	<i>A.tortilis</i>	10/8
365	Sebastian	<i>A.Tortilis</i>	10/8
366	Mwema	<i>T.indica</i>	10/9
367	Mwema	<i>T.indica</i>	10/9
368	Mwema	<i>S.siamea</i>	10/9

長根苗用の植栽穴を掘削

GNSSローバーでは30秒以内に10~50cmの精度で位置情報を取得することが可能

位置情報取得と同時に、農家、樹種等の情報をその場でデジタルで記録

図 3-23 GNSS ローバーを用いた植林木の位置情報取得方法

今回のように 3,500 本程度であれば、衛星画像やグーグルアースから目視でもその生残本数をカウントすることができるが、将来的に植林木が数百万本以上になると、目視での生残確認は手間がかかることが予想される。そこで、本試験では、今回取得した植林木の高精度位置情報と高解像度衛星画像を使って、機械学習により植林木の自動検出ができないか検討した。具体的には、図 3-24 に示した通り、まず、植林して数年後、樹冠が成立した際に、全植林木の高精度位置情報(ポイント)を衛星画像に重ね合わせることで、すべての植林木に対して、その位置を中心に、任意のサイズの四角枠で、機械・自動的に衛星画像を切り出す。画像枠の一部は、目視や現場確認等により木の有無を判別したうえで、その枠全体の画像パターンで、木がある画像枠と木がない画像枠を Python 等のフリーソフトを用いた機械学習により学習させ、木の有無を判別する予測モデルを作る。最後に、作成した予測モデルに、残りの画像枠を入力することで、自動的に木の有無を判別し、植林生残木をカウントするという手法である。樹種や植林年によって、樹冠の形が変わり、切り出した画像枠のパターンも異なることが予想されるので、それぞれについて予測モデルを作ることになる。この手法により、ある程度の精度で生残木が自動検出できれば、前述の Census-based approach による炭素固定量推定に必要な生残本数が瞬時にカウントできるようになる。

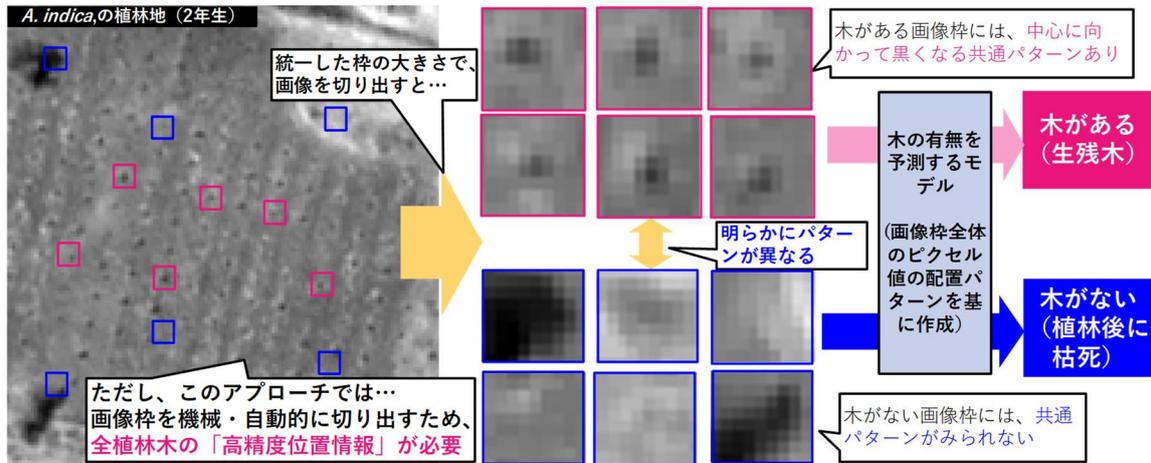


図 3-24 本試験で試行した機械学習による植林生残木カウントのアプローチ

前述の高精度位置情報を取得した小規模農家向け植林の植林木は、植栽して1年未満であり樹冠が未成立であったために、令和5年度は、KEFRIが保有する7年生 *A.tortilis* と2年生 *A.indica* の既存の植林地の衛星画像を用いて自動検出の実証試験を行った。ただし、当該植林地では、植林木の位置情報がないため、今回は図3-25の通り、衛星画像からの目視+ドローン画像による木の有無の確認で、木の位置を特定し、それを中心に4m四方の画像枠を切り取った(実際は、植栽時の位置情報(点)を基に自動的に任意の大きさの画像枠を切り取ることが可能)。

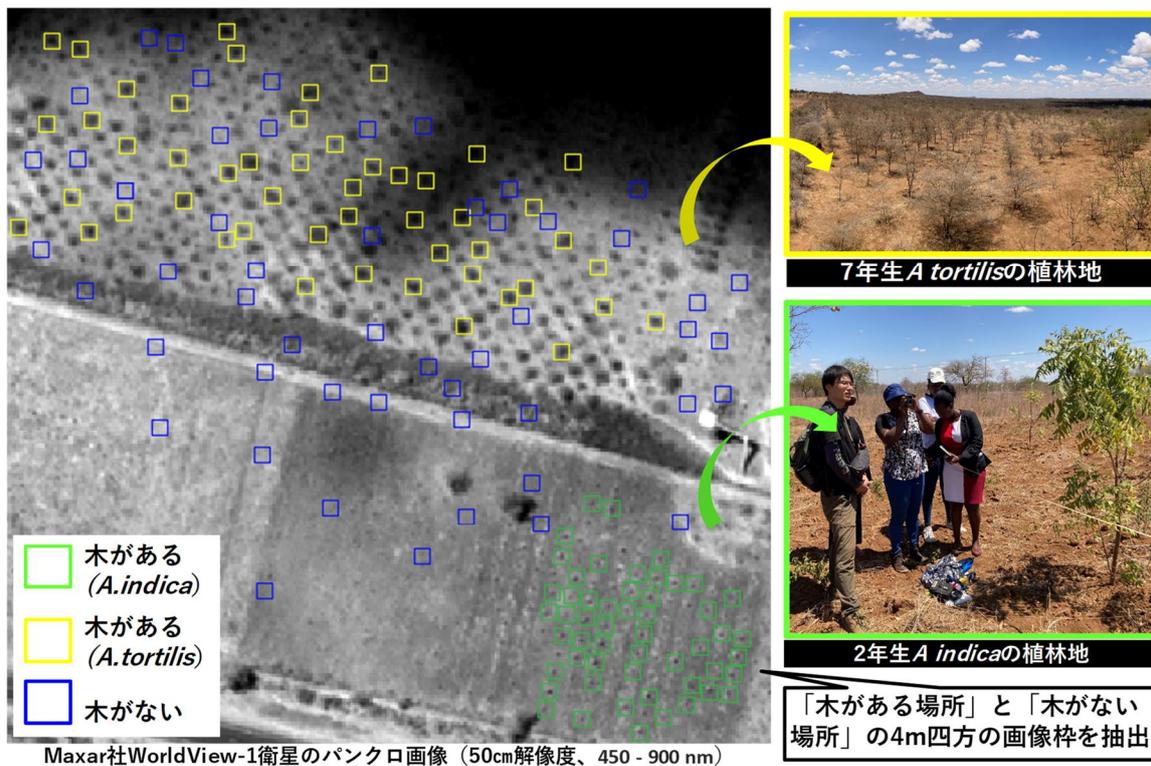


図 3-25 既存植林地(7年生 *A.tortilis* と2年生 *A.indica*)の植林木の画像枠の抽出

7年生 *A.tortilis* の機械学習による自動検出結果は図 3-26 の通りである。7年生 *A.tortilis* の樹冠の画像枠 50 枠と木がない画像枠 50 枠のうち、それぞれ 40 枠を木の有無を予測するモデル作成用に使用し、残りの 10 枠を検証用として、作成した予測モデルの結果と実際の有無の結果を比較した。その結果、誤識別は 2/20 で 80%の精度で木の有無を自動検出できることが分かった(誤識別はした画像枠は同図に示す)。

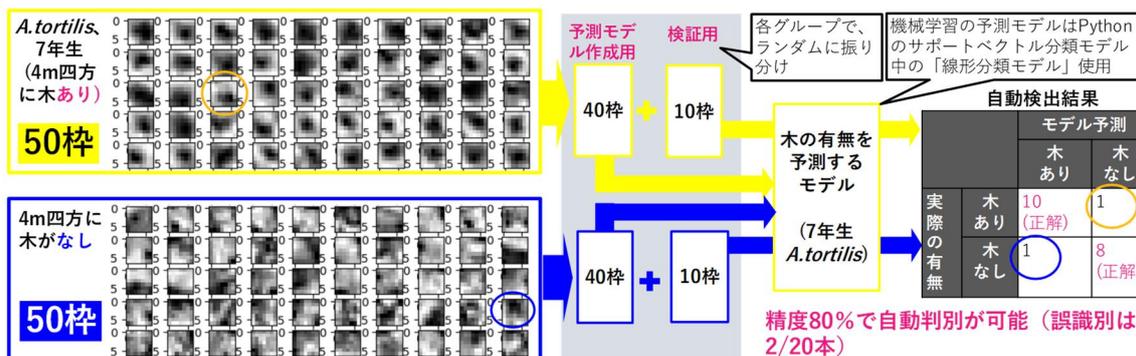


図 3-26 7年生 *A.tortilis* の機械学習による自動検出結果

次に、2年生 *A.tortilis* の機械学習による自動検出結果を図 3-27 に示す。前述の7年生 *A.tortilis* と同様、樹冠の画像枠 50 枠と木がない画像枠 50 枠のうち、それぞれ 40 枠を木の有無を予測するモデル作成用に使用し、残りの 10 枠を検証用として、作成した予測モデルの結果と実際の有無の結果を比較した。その結果、誤識別は 1/20 で 90%の精度で木の有無を自動検出できることが分かった(誤識別はした画像枠は同図に示す)。

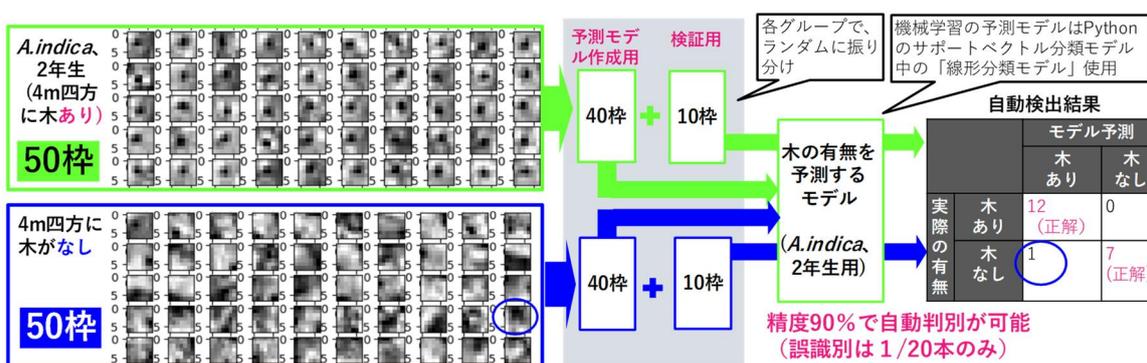


図 3-27 2年生 *A.indica* の機械学習による自動検出結果

3.3.3 住民便益の可視化(植林による薪供給ポテンシャルの把握)

(1) 小規模農家向け植林対象地域での薪炭材の消費量(令和4年度実施)

今回、Kibweziで実施した小規模農家向け植林の目的は、主に薪炭材の供給である。そこで、本試験では、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(ベースライン)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(図 3-28)。

まず、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として、令和4年度に、Kibwezi 行政区内に住む 93 世帯の農家に対して、図 3-28 の左に示したような質問項目で、インタビューを行った。その結果、1 世帯当たりの薪炭消費量は 2,349 kg(気乾重)／年程度であることが分かった。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。さらに、植林のために使える土地が 0.4ha／世帯程度はあることが分かった(詳細は令和4年度同事業報告書参照)。

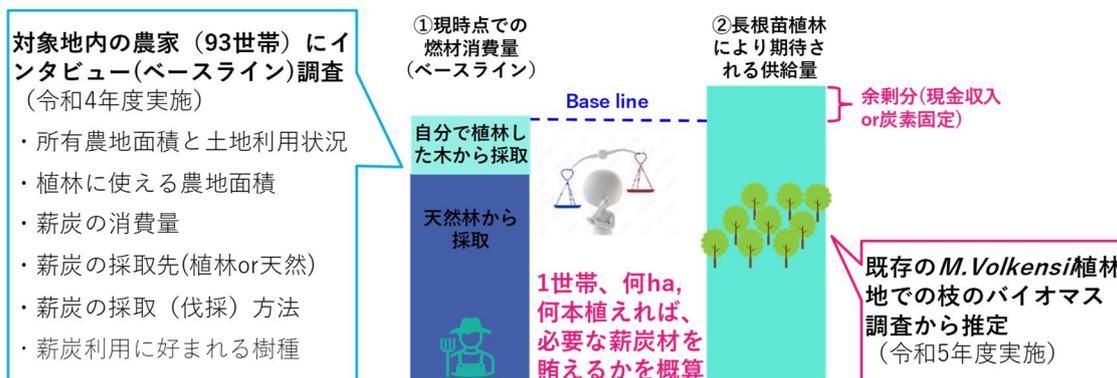


図 3-28 長根苗植林による薪炭材供給ポテンシャルの可視化の考え方

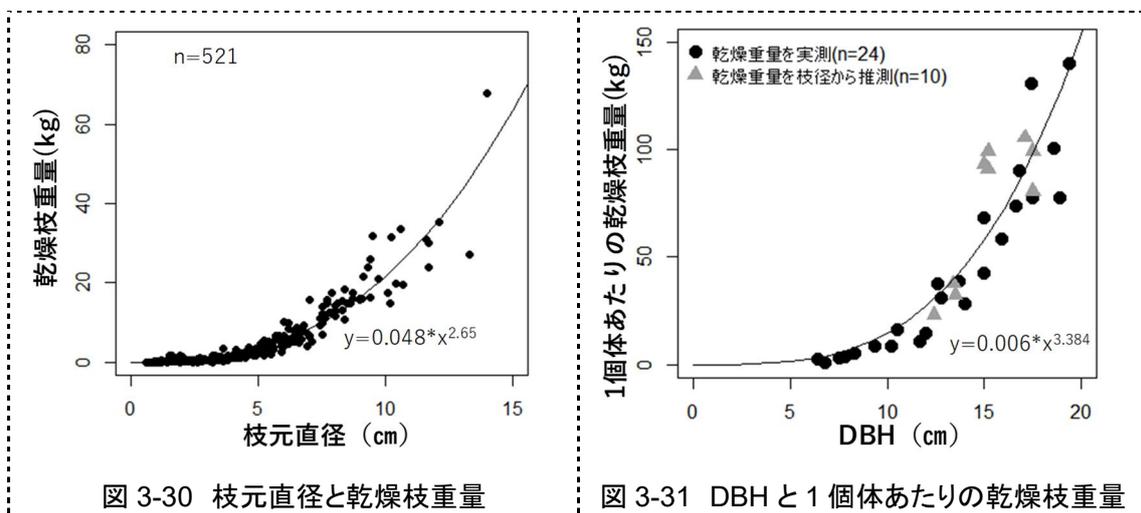
(2) 植林による薪炭供給ポテンシャルの推定(令和5年度実施)

①現時点での農家の薪炭材消費量(ベースライン)に対して、②長根苗植林によって期待される薪炭材の供給量がどの程度かを明らかにするためのバイオマス量調査を行った。令和4年度に実施したベースライン調査から、90%以上の農家は枝の選択伐採により薪炭材採取をしていることが分かったので、枝のバイオマス量に着目し、植林して何年でどの程度の枝が薪炭として利用できるかを予測した。KEFRI が保有する7~10年生の *M.volkensii* の植林地から様々な DBH の立木 34 本を選定し、主幹以外の枝を伐採し、生重量を測定後、乾燥重量を推定した。



図 3-29 *M.volkensii* の枝のバイオマス量把握調査

得られた乾燥重量から、①枝元直径と乾燥枝重量の関係式(図 3-30)、ならびに②DBH と 1 個体あたりの乾燥枝総重量の関係式を構築した(図 3-31)。同サイトの *M.volkensii* は植林して 10 年程度で DBH が 20cm 程度になるとされている(Ndufa et al.,2018)。②から DBH が 20cm 程度の枝のバイオマスは約 154kg/本と推定でき、10 年後にはそれだけの薪炭材が採取できると見込める。



今回の枝のバイオマス量調査と令和 4 年度のベースライン調査の結果は、図 3-32 のようにまとめられる。1 世帯当たりの薪炭消費量が 2,349kg(気乾重)/世帯・年程度なので、10 年後に植林木(枝)から薪炭材消費をすべて賄えるようにするには、15~20 本/年のペースで植林すればよいことになる。植林のために使える土地が 0.4ha/世帯程度であり、4m×4m の植栽間隔なら最大 250 本は植えられることから、必要な薪炭材の全てを植林木から賄える可能性は高いことが分かった。

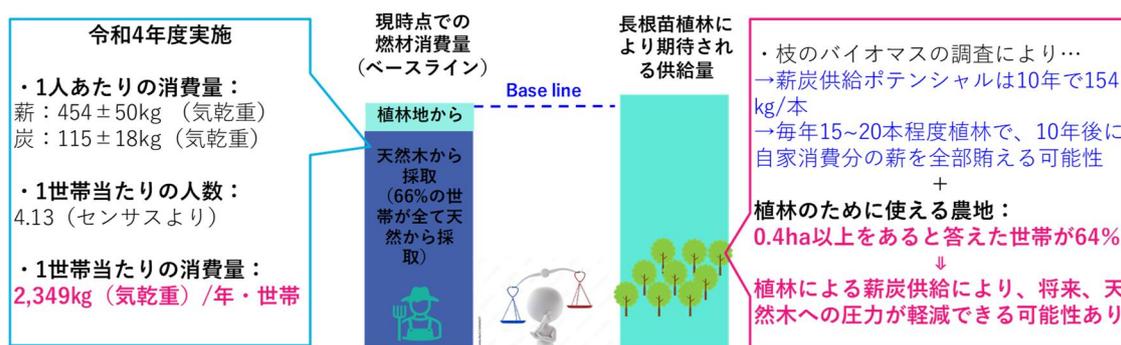


図 3-32 薪炭消費長に対する薪炭供給ポテンシャル

ただし、今回は植林して 10 年後に初めて枝の収穫をすることを想定し、その供給可能量を予測したが、2 回目以降は、更新枝を収穫することになり、その供給量は増減すると予想される。また、農家にとっては、より短い期間で枝の収穫を開始できるほうがよいと同時に、短い期間で伐採更新させたほうが、最終的な植林木 1 本当たりの枝の生産量は多くなるかもしれない。さらに、今回の調査対象樹種である *M.volkensii* 以外の樹種では、枝の薪炭材としての供給量も異なってくる。

今回の調査は、あくまで、現時点の薪の消費量や植林可能な土地面積に対して、植林による薪炭材供給ポテンシャルがどの程度あるか目安を測るものであり、それが十分高いことが分かったが、どの時期にどれだけ収穫することで、最大限の薪炭材を供給できるのか、更なる調査が必要である。

3.4 検討した可視化手法のコスト試算

3.4.1 長根苗の育苗コスト(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(5か月程度)であるが、長根苗の育苗には、育苗容器のM-StARに加え、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20円/苗以上は高くなる(図3-33)。しかし、従来のポット苗は、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り、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、育苗よりも植栽のコスト²が割高になりやすく、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高くて普及する可能性は十分あると考える。ただし、現時点ではM-StARを日本から輸送する際のコストが高く、その体制も確立していない。現在、本格的なM-StAR輸出に向けて、製造会社とそれを取り扱う商社と交渉中であり、20フィートコンテナ1台単位での輸出であれば、現地でも受け入れやすい値段になる見込みである。今後も、M-StARの輸出検討を続けるとともに、竹等の代替資材も検討する予定である。また、長根苗の育苗用培地であるココナツピートの価格も毎年値上がりしているため、代替品も模索する必要がある。

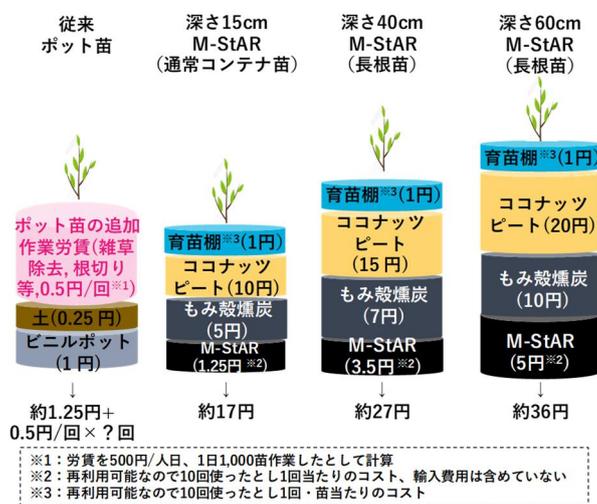


図 3-33 長根苗の育苗にかかるコスト(概算)

3.4.2 長根苗の植穴掘削用の油圧式建機オーガのコスト

本試験で使用した油圧式建機オーガによる植穴掘削に掛かった費用実績から、深さ1mの植穴掘削に係るコストは約250円/穴であった(表3-3)。人力で深さ1mの植穴を掘るのは難しく、掘れたとしても5~10穴/人日程度である。エンジンオーガで50穴/人は掘れるかもしれないが、固い

² 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。

土壌では掘れない、柔らかい土壌でも深さ 60cm 程度までしか掘ることができない。現地の人件費が約 700 円/人日程度であることを鑑みると、油圧式建機オーガによる植穴掘削のコスト(約 250 円/穴)は高いかもしれないが、深い植穴のほうが植林木の成長が良いことやダイバックの回避ができることが証明できれば、普及の可能性は十分ある。また、今回は現地業者からレンタルで建機を調達しており、そのコストが高く、大部分を占めている。建機を保有すれば大幅にコスト削減が可能である。さらに、実際の油圧式建機オーガによる植穴掘削の所要時間は、1 分弱/穴程度であり、1 日の半分以上は植林地までの移動に費やされている。建機の稼働率はコストに直結するので、コスト削減のためには、効率的かつ確実な移動経路・手段の確保することが重要である。例えば、予め農家に植林する場所をスマホ GPS で共有してもらうことや、近隣の対象農家の中から 1 農家を、現地調整役として選定し、植穴掘削当日の各農家への連絡調整や移動経路の確認を担当してもらう等が考えられる。

表 3-3 油圧式建機オーガのコスト(実績から概算)

No	項目	費用	単位	備考
①	機械レンタル費	55,000	円/日	オペレータ費用含む
②	燃料費	7,000	円/日	214 円/リットル、燃費:約 6 リットル/時間
③	植穴掘削の日当たりコスト	62,000	円/日	①+②
④	植穴掘削の日当たり数量	250	穴/日	
⑤	植穴掘削 1 個当たりのコスト	248	円/穴	③/④

3.4.3 植林木のモニタリングのための高精度位置情報取得にかかるコスト

今回、植林木の高精度位置情報を記録するために使用した GNSS ローバーの製品名は、Stonex S9 II で、ケニアの現地航測会社からオペレータ込みで、16,550 円/日でレンタルした。同製品は、市場では 10 万円程度で購入可能であり、GIS 等の知識がある者なら誰でも操作可能である。従って、実際に運用する場合は、プロジェクト実施者が購入し、現地雇用、もしくは KEFRI スタッフのような関係者に操作を覚えてもらい、操作してもらったほうがコストは格段に安くなる。

3.4.4 植林木のモニタリングのための衛星画像のコスト

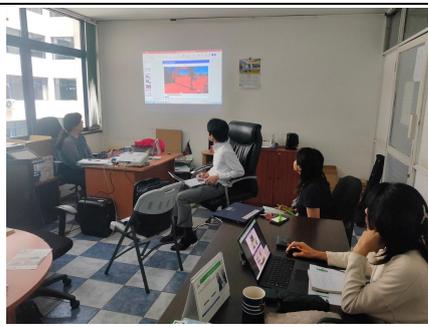
本試験で使用した解像度 50cm の衛星画像は、Maxar 社と Planet 社で新規撮影購入可能である。Maxar 社の場合、最低注文面積が 10,000ha で、約 6,000 円/100ha である。Planet 社の場合は、サブスクリプション契約になり、条件にもよるが約 225 万円で 12.5 万 ha 分の新規撮影が可能である。よって、今回、小規模農家向け植林の対象地である Kibwezi 全体の約 20 万 ha を全てカバーするとなると、Maxar 社であれば 1,200 万円、Planet 社では 450 万円程度と概算できる。衛星画像の費用対効果を高めるためには、購入する衛星画像の中に、なるべく多くの対象農家(植林区)が含まれるようにしたほうがよく、例えば、実際の運用にあたっては、対象域を 10 万 ha 程度に絞り込んだうえで、その中から 1,000 農家以上の対象農家を選定する等すれば、衛星画像を購入して、今回検討したような手法でモニタリングすることの実行可能性も出てくるだろう。

3.5 対象国における検討した可視化手法の普及説明会

令和5年度は以下の通り、KEFRI や JICA に対して本試験の活動内容の紹介等を行った。また、2023年11月には、KEFRI が開発中の乾燥地に適した苗として長根苗がケニア現職大統領に紹介され、植林の体験もしていただいた。

開催日時:2023年6月7日	
場所: KEFRI (Kitui)	
参加者: KEFRI の職員(10名程度)、JIFPRO(田中、柴崎)	
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:2023年9月29日	
場所: KEFRI (Kitui)	
参加者: BGF のシニアダイレクター、KEFRI の職員(1名)、JIFPRO(柴崎)	
2万農家以上、300万本以上の小規模農家向け植林を実施する BGF のシニアダイレクターに長根苗や M-StAR を説明	

開催日時:2023年10月9日	
場所: JICA プロジェクトオフィス(ナイロビ)	
参加者: JICA 専門家(井上、斎藤、本庄、横山)、JIFPRO(柴崎)、コマツ(水野)	
JIFPRO とコマツから本試験の進捗状況を説明	

開催日時:2023年11月頃	
場所: Kibwezi 近郊	
Kibwezi 近郊の植樹祭にて、KEFRI が開発中の乾燥地に適した苗として長根苗がケニア現職大統領に紹介され、植林の体験もしてもらった。	

3.6 実証試験の総括-実用化に向けた課題を中心に-

ケニアでは、2032年までに森林率30%達成にむけて、小規模農家向け植林への期待が高まっている。しかし、国土の大部分を占める ASAP(乾燥・半乾燥地)での植林が進んでいない。また、植栽後のモニタリング方法が未確立、もしくはコストが高いため、このままでは、モニタリングが行われず、植えた本数や面積だけが報告されるだけのケースが多くなることが予想される。本試験では、ケニアの ASAP での小規模農家向け植林(の支援)を促進するべく、①長根苗の育苗・植林試験による技術開発を行うとともに、②実際に長根苗を植栽した小規模農家の植林地において、衛星画像と全植林木の高精度位置情報を用いたモニタリング(生残木カウント)手法の開発を試みた。また、③住民便益の一つとして、植林木による薪炭材供給に着目し、農家の薪炭消費量に対して、将来的に植林木からどの程度の薪炭を供給できる可能性があるのかを明らかにした。

3.6.1 ①長根苗の育苗・植林試験による技術開発

Kitui での長根苗の植林試験(乾季植栽)により、*D.melanoxyton* と *M.volkensii* については、長根苗は乾季前半に植栽し、その後無灌水でも、最初の乾季を乗り越えられる可能性が高いことが示された。実際の植林では、あえて乾季前半の不適な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、通常苗よりも高い生残率が期待でき、小規模農家向け植林において使用する価値のある植林技術であることが確かめられた。

長根苗は、すでにケニア現職大統領にも ASAP での有望な植林技術として認知されており、今後も KEFRI と共同で育苗・植栽試験を通してその技術開発や普及を続ける予定である。特に、長根苗の育苗容器である M-StAR を日本から輸送するためのコストが高いのが課題である。日本の製造会社や商社と M-StAR の本格的な輸出体制構築に向けた検討を始めたところであり、もし実現すれば現地でも受け入れやすい値段になる見込みである。それと同時に、竹などの M-StAR の代替資材となる育苗容器の検討も進めつつある。

長根苗用の深い植穴掘削については、これまで現地に多く見られる硬い土壌では掘削ができなかったが、令和5年度に新たに試行した油圧式建機オーガにより、固い土壌でも短時間で1mほどの植穴が掘削できることが実証できた。今回は、日本の大手建機メーカーであるコマツの協力の下、現地業者から油圧式建機オーガをレンタルし、そのコストが非常に高いが、建機を保有することができれば大幅にコスト削減が可能である。コマツも、本試験への参画を、自社の ICT 技術がアフリカでの植林に貢献できる機会ととらえており、将来的には、植穴掘削に使う建機のアームの先端に高精度位置情報を取得するキットをとりつけければ、植穴掘削と位置情報の取得が同時に可能になると見込んでいる。今後も、コマツとともに油圧式建機オーガによる植穴掘削の実用化に向けた検討をする予定である。

3.6.2 ②小規模農家向け植林の実施とそのモニタリング(植林生残木カウント)手法の開発

Kibwezi での長根苗を用いた小規模農家向け植林では、全部で72農家の保有する土地で、3,533本の長根苗の植林を実行できた。Kibwezi には5.5万程の世帯が住んでおり、その大部分

が小規模農家である。小規模農家が 250 本/農家の植林を実施すると、1 万世帯でも 250 万本規模の植林ができることになり、そのポテンシャルは非常に高い。今回植えた長根苗が順調に育てば、土地を提供した参加農家だけでなく、それを見た近隣の農家の植林に対する意欲が高まることも期待できる。

また、本試験で実施した小規模農家向け植林の一番の特徴は、農家の希望や土地利用に合わせて、自由度の高い植林を実施していることである。各農家の既存の土地利用や土地利用方法は様々であり、植林に使える土地の大きさや形状が違うことから、各々植林のニーズ(植えたい場所・本数、利用したい樹種)も異なる。そこで、植栽配置や樹種の指定は特に行わず、希望する樹種を好きな植林形態で植えてもらった。農家の希望に柔軟に対応した植林を実施することで、植林後の各農家の自発的な管理が促され、植栽木の枯死や家畜被害を防ぐことが期待される。

今後、規則性なく不均一に植えた植林木のモニタリングを可能にするのが、全植林木の高精度位置情報である。位置情報があれば、植林地に標識や ID タグがなくても、農家自らがスマホで自分の現在位置と植栽位置情報を照らし合わせることで、全ての植林木にたどり着き、その生死や成長を確かめることができる。木がある程度大きくなれば、解像度 50 cm 程度衛星画像やグーグルアースで、誰でもどこでも 1 本 1 本の生育状況(樹冠)を確かめることもできる。

さらに、今回の試験では、植林木の高解像度位置情報が、衛星画像から植林生残木のみを自動検出する際の有効なフィルタとして使う可能性を示すことができた。全植林木の位置情報には、農家、樹種、植栽年等の様々な情報が紐づいており GIS 上で全てデジタル管理できるので、それに衛星画像による全植林木の生残情報も組み合わせれば、資源量や炭素固定量の推定にも役立てることができる。また、農家ごとに実際に生育した樹木の数が分かれば、薪炭材を植林木からどの程度供給できたかといった住民便益の可視化にも使える。さらに、モニタリングにより、植林後の管理を適切に行なっている農家を特定し、やる気のある農家に優先的に苗木を配ることもできるので、より適切で確実な植林支援が可能になるだろう。

ただし、衛星画像によるモニタリング(自動検出)の実用化にあたっては様々な課題があげられる。例えば、今回は、試験的に自動検出をした 7 年生 *A.tortilis* と 2 年生 *A.indica* の植林木は樹冠が発達しているため高い精度で自動検出できたが、樹冠が成立してない植栽直後の幼樹や成木になっても樹冠形成がしにくい樹種は検出精度が下がることが予想される。また、今回は樹冠サイズに切り取った画像枠のピクセル配置(パターン)によって、木の有無を判断(自動検出)しているが、高い精度で検出するには植林木の高精度位置情報が画像枠の中心($\pm 1\text{m}$ 以内)にくる必要がある。通常、衛星画像の経度と緯度は実際と数 m ずれているため、取得した植林木の高精度位置情報と完全に重ならない可能性がある。GIS ソフトでは、衛星画像の経度緯度を補正するジオリファレンスと呼ばれる機能があるが、1m 未満のレベルで補正できるかは、実際に試してみないと分からない。さらに、解像度 50cm の衛星画像は、通常、学術目的以外では有料である。購入する衛星画像範囲の中に、なるべく多くの対象農家(植林区)が含まれるようにすることで、衛星画像の費用対効果を高めることは可能だが、それでも 100 万円以上はかかるだろう。

以上のように、衛星画像を用いた小規模農家向け植林のモニタリングの実用化に向けては様々な課題がある。実際、多くの炭素クレジット目的の小規模農家向け植林は、衛星画像でなく、住民参加によってモニタリング(主に植林生残木カウント)が行われ、そのためのスマホアプリも開発され

ている。住民参加のほうが、コストは安いかもしれないが、対象農家が数万にも及ぶ場合、全農家に正確に報告してもらうのは膨大な作業になることが予想される。衛星画像か住民参加のどちらのほうがコストや精度に優位性があるかは、今後も検討していく必要があるだろう。

3.6.3 ③住民便益としての植林木からの薪炭材供給ポテンシャルの評価

令和 4 年度の薪炭消費量等に関するベースライン調査と今回の枝のバイオマス調査により、15~20 本/年といった少ない本数の植林でも、自家消費に必要な薪炭材を十分賄える可能性があることが分かった。ただし、今回は植林して 10 年後に初めて枝の収穫をすることを想定し、その供給可能性を予測したが、2 回目以降は、萌芽した更新枝を収穫することになり、その供給量は増減する。また、農家にとっては、より短い期間で枝の収穫を開始できるほうがよいと同時に、短い期間で伐採更新させたほうが、最終的な植林木 1 本当たりの枝の生産量は多くなるかもしれない。さらに、今回の調査対象樹種である *M.volkensii* 以外の樹種では、枝の薪炭材としての供給量も異なってくる。あくまで、今回の調査では、現時点の薪の消費量や植林可能な土地面積に対して、植林による薪炭材供給ポテンシャルがどの程度あるか目安を知るものであった。将来的には、Pollarding 等による枝萌芽更新も含めて、植林木からの薪炭供給を最適かつ持続的にできるような施業方法を検討・普及する必要がある。

最後に、今回のような油圧式建機オーガ、GNSS ローバー、衛星画像等を使った小規模農家向け植林は、農家だけで実施することは不可能である。将来、企業からの金銭的支援もしくは炭素クレジット獲得等のための投資があり、現地コーディネータ付きの植林支援プロジェクトとして行われることが前提条件にある。そういった企業に、植林して終わりではなく、植林後の状況やそれによる貢献度等を報告することを見据えて、モニタリング手法まで検討している。近年、欧米企業や中国の企業を中心に、炭素クレジット獲得目的はもちろんのこと、カーボンニュートラルへの貢献や SDGs を語った途上国での植林支援が大々的に行われているが、それが日本企業にも浸透すること、そしてその際に今回開発した小規模農家向け植林の技術が活用されることを期待している。

3.7 参考文献

Emerton Lucy. 1999. Economic potential of natural woodlands as a component of dryland farming systems in Kibwezi Division, Makueni District, Kenya. No. 8. Regional Land Management Unit, Swedish International Development Cooperation Agency.

Government of Kenya. 2019. Kenya Population and Housing Census Volume II DISTRIBUTION OF POPULATION BY ADMINISTRATIVE UNIT. Kenya National Bureau of Statistics. Nairobi.

Government of Kenya. 2023a. STRATEGIC PLAN 2023-2027. Ministry of Environment, Climate Change and Forestry. Nairobi.

Government of Kenya. 2023b. Forest and Landscape Restoration Implementation Plan (FOLAREP) 2023-2027. Ministry of Environment, Climate Change and Forestry. Nairobi.

Ndufa, J.K., Miyashita, H.. 2018. Preliminary Results on *Melia volkensii* Clonal Variation in Growth and Wood Properties in the Drylands of Kenya. In Project on Development of Drought Tolerant Trees for Adaptation to Climate Change in Drylands of Kenya. 90–95.

VCS. 2023. VCS Methodology AFFORESTATION, REFORESTATION AND REVEGETATION (VM0047) Version 1.0.

柴崎一樹、仲摩栄一郎、田中浩. 2023. 途上国での植林活動の方向性(1) -VCS植林プロジェクト事例からみる最近の植林形態-. 海外の森林と林業. 118: 13-17.

柴崎一樹、仲摩栄一郎、田中浩. 2024. 途上国での植林活動の方向性(2) -小規模農家向け植林のモニタリング手法-. 海外の森林と林業. 119: 42-47.

国際緑化推進センター(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.

国際緑化推進センター(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.

国際緑化推進センター(JIFPRO). 2023. 途上国森林づくり活動貢献度可視化事業 令和4年度報告書. 林野庁補助事業.