

C) 木材硬度

木材は多孔質材料であり、硬さという観点では金属やプラスチックに劣ってしまう一面がある。中でも密度の低い木材（例えば、針葉樹やキリなどの広葉樹）は、硬度が低く、硬度が必要とされる部分には使われない、もしくは塗装や集成などによって材料に機能性を付与している場合が多い。楽器で言えば、例えばギターの指板など、弦と指によって継続的、かつ局所的に圧縮、摩擦が加えられている部材の硬度は非常に重要で、そのような部材には黒檀などの密度の高い、硬い木材が重宝されている。

各材料の木口面（RT 面）、柁目面（LR 面）、および板目面（LT 面）の硬度を木材硬度計により測定した。標準環境下（22℃ RH60%）に試験片を 1 週間以上放置し、図 IV-22 のように各測定面において 3 ヶ所ずつ測定点を設定した。各測定点は、各市両面の外縁から 10 mm 以内の部位は避け、年輪や材面の状態などを考慮して、各測定面内で性質の異なると思われる部分を設定した。木材硬度計の圧子は直径 10 mm の鋼球とし、圧入深さが $1/\pi$ （約 0.32）mm となる時の押圧荷重を最大荷重として計測した。硬さ（N/mm²）は、以下数式によって求めた。

$$\text{硬さ (N/mm}^2\text{)} = \frac{9.8P}{10\pi h}$$

- P : 最大荷重 (Kg)
- h : 圧入深さ (mm)
- 1kg≒9.8N
- $\pi = 3.14159$

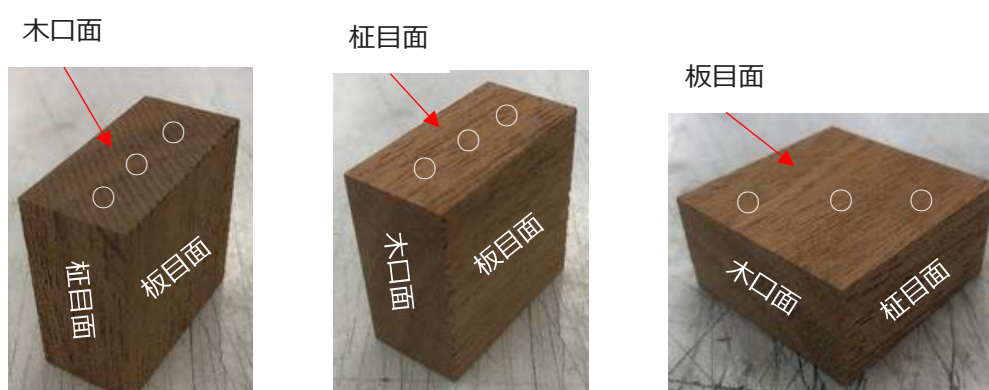


図 IV-22 木材硬度測定時の各測定面

試験結果を図 IV-23 に示す。各材料を比較したところ、木口面、柁目面には明らかな

差異が確認されなかったが、ニームの板目面のみ低い硬度値を示した。木材硬度については、木材密度と明らかな関連があることがわかっており、ニーム材の低い硬度値は他材料と比較して低い気乾密度（約 0.49 g/cm^3 ）を反映したものと考えられる。しかし、トゥーナ、マホガニーにおいては、今回は約 0.59 g/cm^3 程度とほぼ同値を示したが、産地や個体差により $0.5 \sim 0.7 \text{ g/cm}^3$ の範囲での密度バラつきが生じることは十分に考えられる。したがって、硬度値にも影響が出ると考えられる。また、トゥーナ、ニームにおいては、まずギターのネック材としての採用を検討しており、木材硬度の優先度は高くない。例えば、指板に使うなど、継続的な摩耗などが生じる部分であれば硬度は優先して考慮する必要がある。以上により、トゥーナ、ニームの木材硬度は、ネック材としては問題ないレベルにあると考えられる。一方で、今後ギターの指板まで視野に入れる場合は、ニームは不安要素が残ると言える。

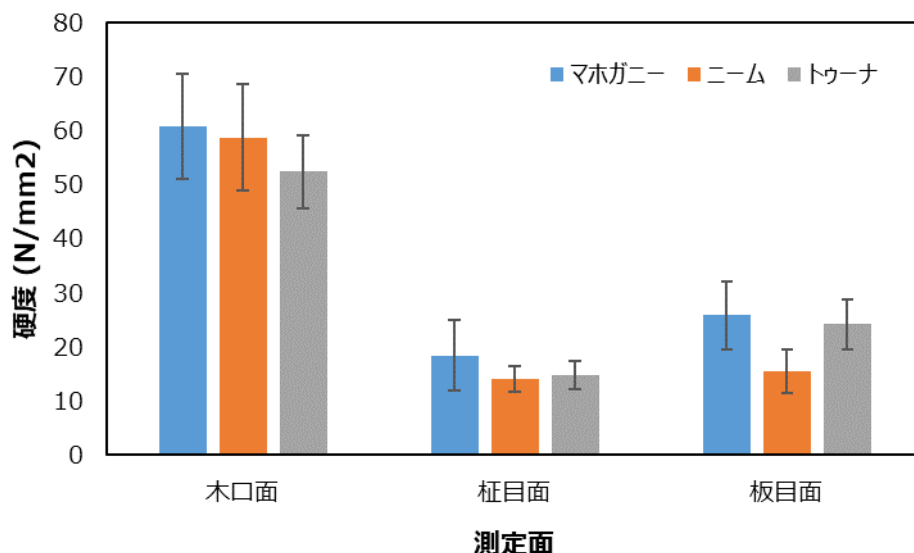


図 IV-23 木材硬度

D) 音響特性（縦弾性係数、内部損失）

木材の音響特性は、金属やプラスチックとは異なり、異方性による独特の特性を示す。音響特性に優れる材料の定義は困難で、一般に硬く、発音後の音が長く響きやすい、金属に近い特性を持つものが有利とされるが、そのような特性が必ずしも楽器に優れた特性をもたらすとは限らない。これは、部材により求められる特性が異なるためである。しかし、音響部材として使える材の多くは、硬く、加振による応答が早く、振動が長続きする（≡響きやすい）材料であることが多い。したがって、基礎物性の段階では、音響に関する動的物性を数値化し、弾性率、内部損失 ($\tan \delta$)、音速といった代表的なパラメーターから、音速が早く、 $\tan \delta$ が低い材料を、音響部材への適用可能性が高い材料としてスクリーニングする。今回のターゲットであるギターネック材は、音響特性をそれほど重要視

する部材ではないが、今後幅広い製品への展開を考えた場合には必要となる特性であるため、音響部材としての適用可能性という観点で検証に加えた。

各材料から短冊状試験片を切りだし（300（L）×10（R）×30（T）mm）、標準環境下で1週間以上放置した後、タッピング法による音響測定を行った。タッピング法の概略図を図 IV-24 に示す。試験片を振動の節の位置で支持し、ハンマーを用いて振動の腹の位置を打撃した。打撃時に発生した音を、試験片の端に設置されたマイクロフォンで検出し、FFT アナライザを用いて1次振動モードにおける共振周波数を測定した。検出した周波数と、試験片の長さ、厚さ、比重から以下の式（1）～（3）を用いて試験片のL方向のヤング率 E_L （縦弾性係数（GPa））、音速 c （m/s）を算出した。さらに検出した周波数のピーク（共振周波数）をヒルベルト変換し、減衰曲線の傾きを直線近似することによって求めた傾きと周波数から、 $\tan \delta$ （内部損失）を近似的に算出した。

$$E_L = \frac{4f^2\pi^2 l^4 \rho}{K^2 a^4} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

f ：共振周波数（Hz）
 π ：円周率
 l ：試験片の長さ（m）
 ρ ：密度（kg/m³）
 a ：振動モード固有の定数
 I ：断面二次モーメント
 A ：断面積（m²）

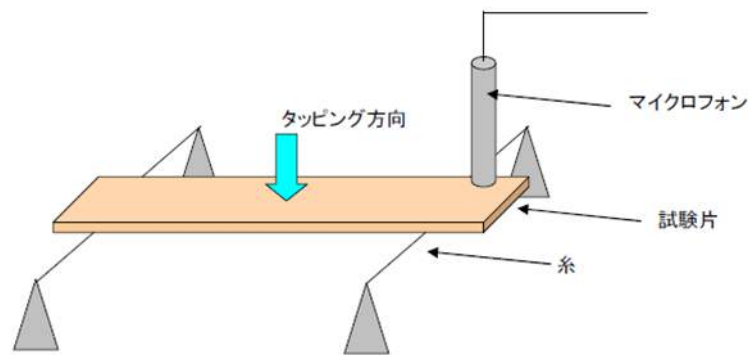


図 IV-24 タッピング法の概略図

測定結果から、各材料の音速と $\tan \delta$ の関係を図 IV-25、 E_L の比較を図 IV-26 にそれぞれ示す。今回測定した材料のうち、ニームは他材料と比較して異なる特性にあることがわかった。また、トゥーナは音響特性面ではマホガニーと同程度の性質を有すると考えられる。先述の式（3）の通り、音速は E_L と密度の関係にある。表 IV-12 に示す通り、ニームの密度は他材料よりも低く、 E_L も低い値を示していた（マホガニー：約 11.3 GPa、ニーム：約 8.8 GPa、トゥーナ：約 11.8 GPa）（図 IV-26）。また、 $\tan \delta$ は材料の含水率

が大きく影響すると考えられるが、ニームの含水率はマホガニーと同程度であり、トゥーナの方が高かった（表 IV-12）のに対し、ニームの $\tan \delta$ は最も高く、トゥーナはマホガニーと同程度であった（図 IV-25）。したがって、ニームは他 2 種と比較して、加振された際の振動エネルギーの損失が大きいと言える。

ギターのネック材を想定する場合、音響特性値の優先度は高くない。これは、ギターの構造上、発音に直接影響を及ぼす振動板とは異なる部位であるためである。寧ろ、操作時の安定性を考えると損失が大きい方が材料として有利な可能性もある。今回の結果は、他部材への展開を考える上では重要であり、トゥーナ、ニームにおいてはマホガニー相当という見方ではなく、音響特性値を求める部位にて最適な用途を提案する際の有用な基礎データになると考えられる。特に、トゥーナにおいてはマホガニー相当の特性を有するということが示されており、マホガニーが適用されている部材等を中心に用途を探ること、ギターネック材以上の用途展開が期待される。

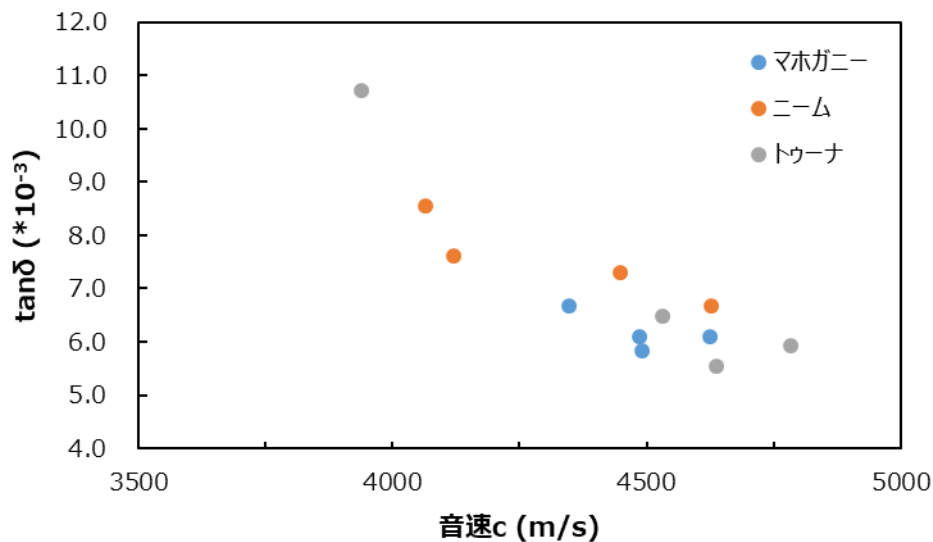


図 IV-25 各試料の音速と $\tan \delta$ の関係

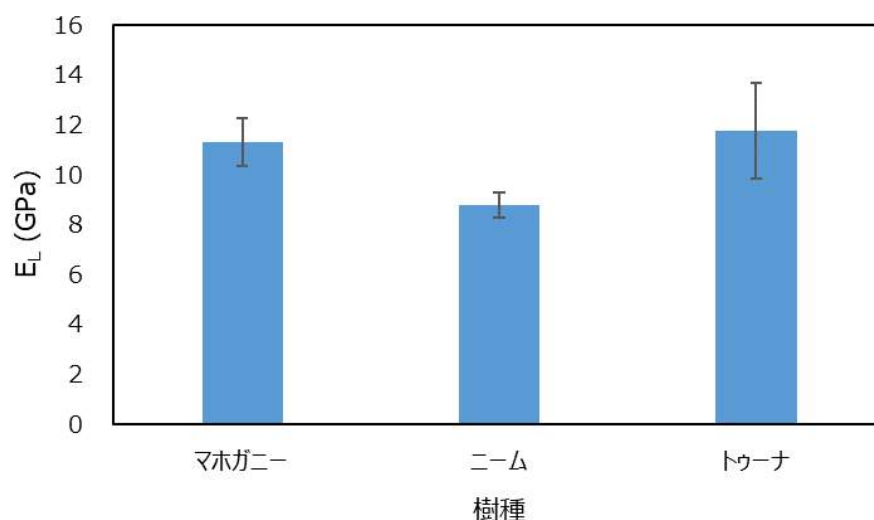


図 IV-26 各材料の EL 比較

E) 静的力学特性（曲げ弾性率、曲げ強度）

木材の静的力学特性は、楽器だけでなく住宅、家具など多くの木製製品において重要なパラメーターである。楽器においても、建築構造物と同様に構造体として十分な強度を有するような設計がされる。楽器が他と異なるのは、構造によって生成される音を重視しているところ、さらに伝統的に構造の自由度が少ないということである。即ち、材料を変更するにあたり、本来は構造を変更できる部分が、楽器の構造として限定されてしまっている。この傾向は、楽器そのものが発音するアコースティック楽器に良く見られ、構造の大きな変更は容易ではない。そのため、材料特性に応じた加工ではなく、既存の構造に対する材料特性の適合性が重要になり、材料の選択肢が限定される。しかし、言い換えれば、構造が限定されていることにより、物性さえクリアできれば構造体として使える可能性が高いと言える。

各材料の力学特性を把握するため、静的曲げ試験により曲げ強度、曲げ弾性率を測定した。各材料から試験片を切りだし（330 (L) × 20 (R) × 20 (T) mm）、標準環境下で1週間以上放置した後、インストロン万能試験機を用いて曲げ試験を行った（図 IV-27）。静荷重は柁目面に印加し、圧子の形状は R15 mm の円筒面とし、スパン支持部は R10 mm の円筒面とし、圧子は速度 5 mm/分で押し込んだ。試験片の断面形状、および試験により得られた応力ひずみ曲線と試験片破壊時の荷重値から、曲げ強度と曲げ弾性率をそれぞれ導出した。

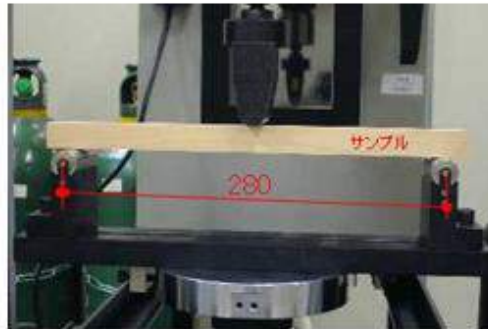
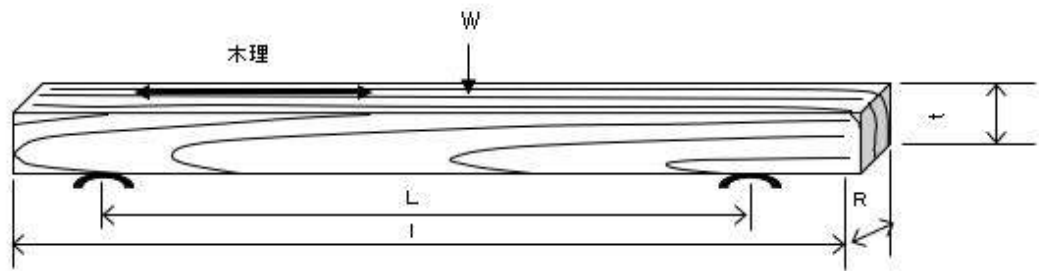


図 IV-27 曲げ試験方法概要

各材料の曲げ強度を図 IV-28、曲げ弾性率を図 IV-29 にそれぞれ示す。本結果から、トゥーナ、マホガニーは同程度の力学特性であり、ニームについては曲げ弾性率が他 2 種より低い傾向にあった。曲げ弾性率が低いことにより、製品試験では張弦による変形が見られる可能性があるが、現時点で実用上明らかな問題があるとは考えにくい。実際の工程では、ネックの反りを修正、補強するために胴部との接合部からネック部へと直径約 6 mm の鉄芯を通す（図 IV-30）[16]。これにより、ネックのカーブを調整できる仕組みとなっている。

まず、曲げ強度を見ると、マホガニーが約 98 MPa と最も高い値を示した一方、ニーム、トゥーナは同程度で 75～80 MPa であった（図 IV-28）。図 IV-15 に示すように、ギターネック材においては製品組み立て後に張弦することによりネックの曲げ方向に大きな力がかかる。しかし、曲げ強度を導出する破壊荷重（1.0～2.0 kN）は、弦による曲げ力よりもはるかに大きいと予想されるため、今回得られた曲げ強度の数値に対して実物の性能は問題ないと推察される。

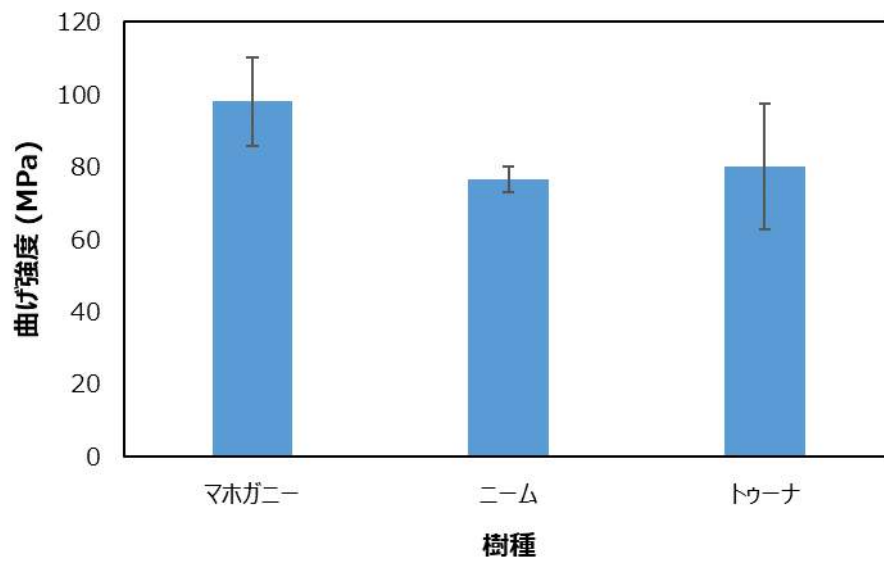


図 IV-28 曲げ強度比較

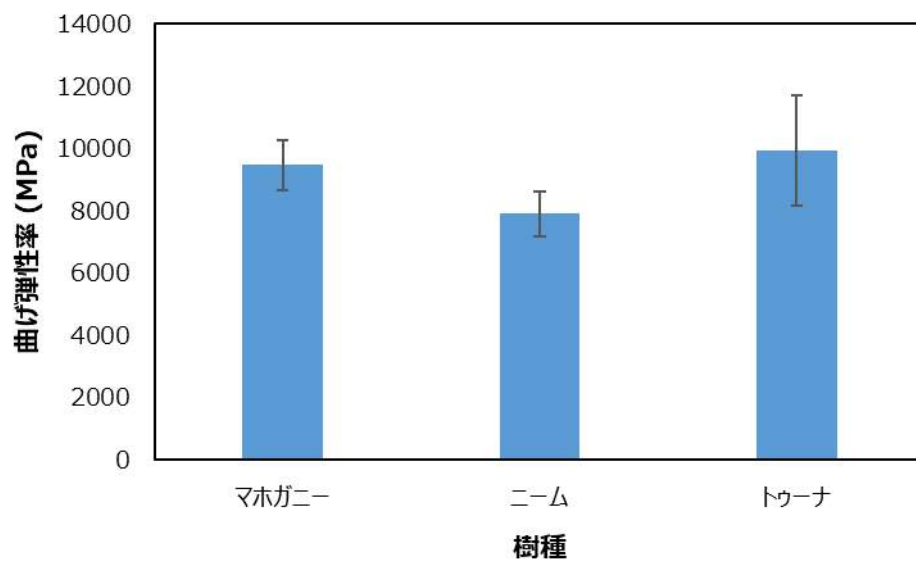
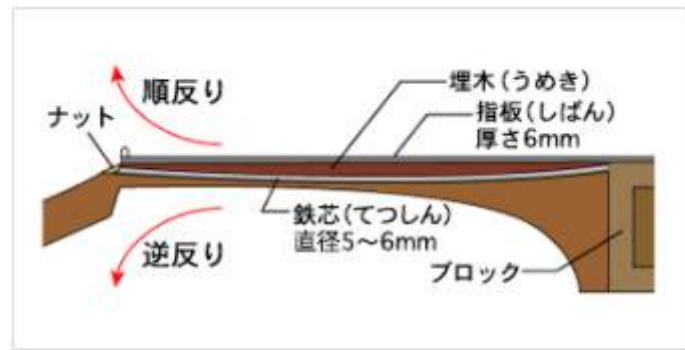


図 IV-29 曲げ弾性率比較



ネックが順反りしたら鉄芯のナットを締める
 ネックが逆反りしたら鉄芯のナットをゆるめる

図 IV-30 ネック部分に埋め込まれた鉄芯による反り調整機構[16]

曲げ弾性率では、トゥーナ、マホガニーがほぼ同程度（約 9.5 GPa）で、ニームは他 2 種よりも低い値を示した（約 7.9 GPa）（図 IV-29）。曲げ弾性率は弾性変形領域における物性値であり、弾性率が高いほど荷重に対して元の寸法を維持しやすくなり、弾性率が低いほど変形しやすくなると言える。参考値として、高級ギターのネック材に用いられているアフリカンマホガニー（*Khaya ivorensis*）の曲げ弾性率の測定値（ $n = 50$ ）を比較したところ、平均約 9.0 GPa（最小値：5.9 GPa、最大値：13 GPa）であった。このことから、木材のバラつきを考慮したとしても、ニームはギターネック材としては弾性率が低めの材料であると言える。

F) 割裂抵抗

割裂抵抗は、木材に木ねじや釘などを打ち込む際、L 方向に沿って木材が避ける現象に対する抵抗値と近似でき、構造物におけるねじ保持性能などに大きく影響する。ギターネック材で言えば、ネック形状加工後に胴部との接合に $\phi 10$ mm ほどのねじで固定する工程や、ネックヘッド部の糸巻き（弦の張力を調整しながら調弦する部分）にねじを打ち込む工程がある。

図 IV-31 に示すような試験片を各材料から作成し、標準環境下で 1 週間以上放置した後に専用治具に嵌め込み（図 IV-32）、インストロン万能試験機にて静荷重印加し、荷重時間曲線を取得した。静荷重の増加速度は 3.92 N/mm 以下とした。図 IV-32 の上下に治具を引張り、試験体が割裂した時点の荷重から割裂抵抗値（N/mm）を算出した。

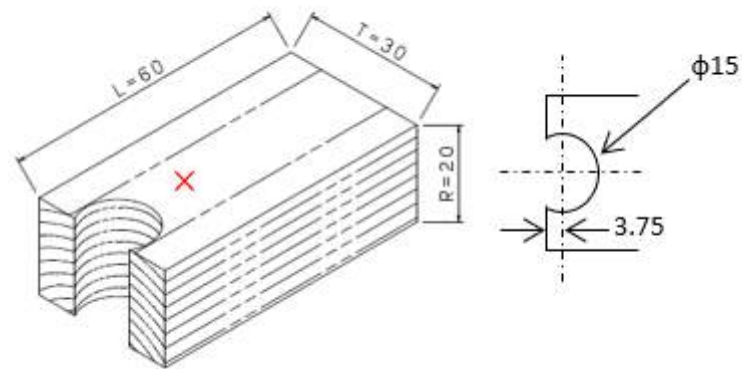


図 IV-31 割裂抵抗試験における試験片形状



図 IV-32 割裂抵抗試験用治具

各試験体の割裂抵抗値を図 IV-33 に示す。各材料の割裂抵抗値を比較したところ、マホガニー、ニームはほぼ同程度（50～55 N/mm）であったのに対して、トゥーナが明らかに低い値を示した（約 32.7 N/mm）（図 IV-33）。このことから、トゥーナは割裂抵抗に対して他 2 種よりも劣る可能性があることが示唆された。割裂抵抗値は、木理方向により大きな影響を受け、通直な針葉樹は低い値を示す傾向にある。しかし、ねじの形状（形状に依存するトルク）によっては問題なく加工できる場合が多い。トゥーナにおいては、他 2 種と比較して通直な木理であることから割裂抵抗値が低くなったと予想される。今後、製品試験に進むにあたり、ねじ加工時の割れや保持力等に注目していく必要がある。

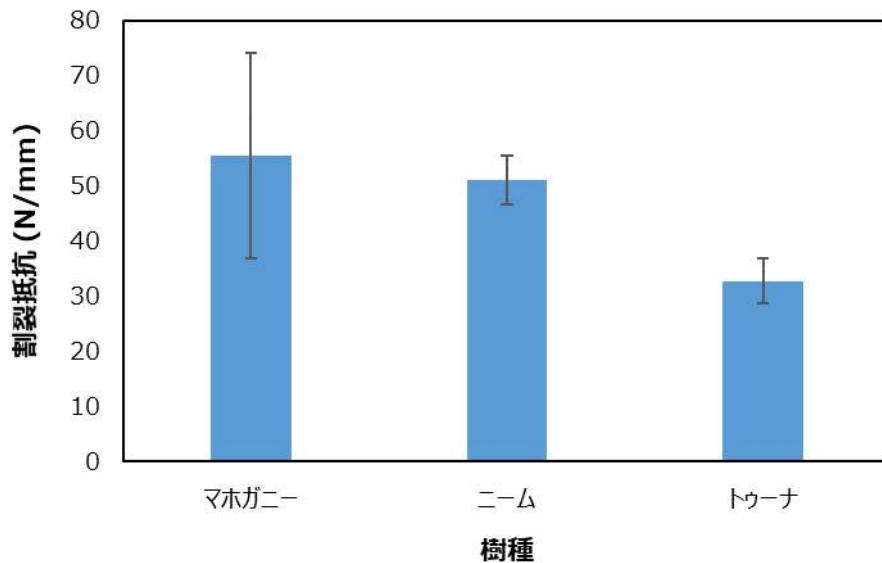


図 IV-33 割裂抵抗値比較

5) 対象地域での育苗・植栽トライアル

- 早生樹導入モデルの検討：2021 年 11 月（実施者：仲井）
- 種子の調達：2021 年 12 月（実施者：MCDI）
- 苗木育成手法の検討：2022 年 1 月（実施者：仲井、MCDI）
- 試験植栽：2022 年 1 月（実施者：MCDI）

(1) 活動概要

対象地における、将来の植栽スキーム導入に向けてトゥーナ、ニームの試験植栽に向けた育苗活動を開始した。育苗活動においては、ヤマハが既に ABW 関連にて対象地に設置している苗畑設備を活用し、地域住民協力の下で実施した。尚、本活動においては本来現地への渡航が必要となるが、新型コロナウイルスの感染拡大の影響により渡航困難のため、現地 NGO（MCDI）への企画共有後、再委託活動として実施し、写真、動画等での活動撮影により経過観察を進めた。

(2) 調査方法

現地 NGO（MCDI）を通して、トゥーナ、ニームそれぞれの種子調達ルートの確保、および年間 300～500 本（樹種当たりの植栽面積 0.5 ha を予定）を目標とした育苗トライアルを行った。ABW でも採用しているポット苗を採用し、これら樹種専用の育苗エリアを既存の苗畑に設置して育苗を進めた。今後の最適な育苗に向けた予備試験として、苗床への播種からポットへの移植、およびポットへの直接播種の 2 種類を比較して発芽状況を検証した。尚、これら予備試験においてはリモートであり、詳細な数値データは取得していない。

(3) 調査結果

● 種子の調達性

今回、トゥーナ、ニームの苗木は対象地域にて流通していないと分かり、種子の調達から開始した。ニームは街路樹などで植栽されており、それらから採種が可能だが、今回は時期が限定されていたため、育種センターから種子を調達した。しかし、トゥーナの種子は、育種センターでも入手ができなかった。既報によれば、トゥーナは種子の劣化が早く、種子の調達が比較的難しく、タンザニアでの結実期は 10 月頃である[10]。結実し、劣化程度の低い新鮮な種子を入手するには、11 月頃に採種して早期に現地へ輸送、その後すぐに苗床への播種、という効率的なプロセス構築が必要と考えられる。因みに、タンザニア政府の Tanzania Forestry Service や、モロゴロとルショトにある Tanzania Tree Seed Agency から入手できるとの情報がある。在庫状況や採種時期等は調査が必要である。以上のことから、改めてトゥーナの導入地域を調査し、種子の入手経路を確保する必要がある。

● 育苗トライアル

ニームの現地での育苗状況を図 IV-34 に示す。ニームの育苗にあたり、ABW で行っているプロセスを参考に、植栽予定地近くの森林からの土壌採取、砂、堆肥などの収集と配合によって苗床、ポット苗用の土を作り、播種後には定期的な灌水と除草、防虫剤の散布を行った。また、苗木は高さ 30 cm 程度を目安に山出しすることを目標とした。これは、植栽後の野生動物による被害を抑制しながら、1 年サイクルでの育苗植栽を目標にしているためであり、ABW の場合も同程度の基準を目安として運用している。成長したポット苗（ポットは、円筒形のポリエチレンチューブで底面は貫通している）はポリエチレンシート上に移動させて、根が地面に進行するのを防いだ。山出し前には、灌水を止め、太陽光に当てて一定期間のハードニングを行った。

調達したニーム種子は、約 500 個ずつ苗床、およびポットに播種した。ポットへの直接播種よりも、苗床にて発芽させた方が高い発芽率であり、成長も良好であった。今回は土の配合は ABW を参考にしており、ニームに最適化した条件出しを行っていないが、結果から、ニームの育種においては大きなハードルはなく、ニーム未導入の地方農村であっても、比較的容易に導入可能であることが示された。ニームは、先述のように種子の成分が持つ殺虫成分が実用化されており、既にマーケットが存在する。そのため、育苗についてもノウハウが構築されていると考えられる。次のステップとして、木材を育てるだけでなく、育成中の種子成分が多くとれる種子、母樹の選定と併せて、最適な育苗プロセス構築に進めていきたいと考える。今後、2022 年 2 月頃から植栽を開始する。

トゥーナは育苗トライアルは未実施である。



図 IV-34 現地でのニームの育苗状況

● 今後のスケジュール

トゥーナ、ニームの2樹種について、対象地への導入検討計画案を表 IV-14 に示す。現在生産しているニーム苗木は2022年の4月頃（雨季）までに植栽を完了し、乾季が始まる6月頃に初期の成長経過観察を行う。その後、9月頃から次年度用の種子調達を開始し、植栽本数、植栽エリアを2倍にスケールアップしたトライアルを進め、これら2樹種においての基本情報を得る。その後、育苗工程の最適化を進めることを目的として、対象地の拡大（例えば、ABW 植栽対象地として選定している、他2か所の農村への展開）と共にスケールアップ、再現性を検証していく。

表 IV-14 2022 年度以降の早生樹導入計画案

Activity	Schedule (example)
1. Preliminary survey • Availability of materials (seeds) • Seedling trials (present nursery?) (300-500 seedlings) • Experimental area selection (0.5 ha?) • Planting trials	0.5 year (Dec. 2021- Jun. 2022)
2. Small scale trials • Area selection (0.5-1.0 ha) • Seedling and planting trials (500-1000 seedlings per year)	1 years (Jun. 2022- Jun. 2023)
3. Scale-up trials • Area and site expansion • Seedling and planting trials (500-1000 seedlings per year)	2 years (Jun. 2023- Jun. 2025)

6) 部材・製品試験

- ギターネック材への加工：2022 年 4 月頃から実施予定
- ネック材を対象とした性能試験：2022 年 7 月頃実施予定

ここでは、各種材料をギターネック材形状に加工し、製品試験により性能を把握する。本調査では、木材自体の物性、性能、調達性に焦点を当てたため、部材・製品試験は行わなかった。本活動は、本調査の結果を以て次ステップとして進めることとし、各木材あたりギターを 2 台ずつ、計 6 台を試作し、材料のバラツキや工程適性を検証する予定である。その後、材料の使用可能と判断できれば、実際の生産を見据えた安定調達、工程を最終設計する。

7) 高価格帯グレード製品への適用可能性検討（調達面）

- 柾目材の調達性検討：実施前（実施者：神島、仲井）
- 厚物調達性の検討：実施前（実施者：神島、仲井）

中高級価格帯のギターモデル搭載を目標として、柾目材、厚物の調達性を検討する。本調査では普及価格帯のギターを対象とした材料として、板目材、柾目材混合での品質を考えた。中高級品では、寸法安定性等の観点から柾目材に限定されている。柾目材で調達する場合、原木サイズが限定されるため入手性が悪くなり、コストが上がる。しかし、体積単価を上げることができ、付加価値が高くなる。仮に、柾目材でもとることができるサイズに樹木が成長するまで、10～15 年程度であれば非常に有用な林産物となる。

因みに、ギターネック用の木取り材の幅は 70～80 mm が最低寸法であるため、原木は最低でも直径 25 cm 以上は必要になる。今回入手したトゥーナの年輪幅は 7～8 mm、ニーム、マホガニーは 10～12 mm 程度であったことから、10～15 年では十分に柾目材が取れるサイズに成長できるだろう。ただし、成長速度に由来して密度や物性が変わることが考えられる。成長と物性の関連などを検証しながら、育苗と併せて個体の選別等と一貫した検証を進めていく必要があると考えられる。

8. 実証調査結果考察

1) ナレッジ活用モデル案の導引

本調査では、トゥーナ、ニームという楽器への適用事例の極めて少ない早生材の楽器への適用可能性を検討し、楽器としての有用性を示すことにより今後の製品開発、および持続可能な森林保全モデルへの展開に活かすことを目的とした。先述のように、ABW をはじめとする楽器材の中には材料自体に楽器の価値を左右するものがあり、それら木材種は楽器材として最優先に考えるべき唯一無二の有用樹種と言える。その多くは熱帯の開発途上国の天然林から産出されている。有用樹種の持続可能性は、楽器メーカーとして喫緊の課題であ

ると言える。

一方、早生材に目を向けると、ユーカリやアカシアなど多くの早生樹がパルプや家具、内外装材等の木製製品に活用されているが、楽器材として積極的に活用していくにはクリアすべき課題が多い。その一つに、材料の特性値に由来する「唯一性」が挙げられる。早生材は成長が早く、場合によっては大規模造林、遺伝子選抜等が行われている。しかし、木材の特性値としては平均的で、「特定の樹種でなければ成立しない」という製品がない。これは、楽器への適用事例が少ないことも一因だが、価格や品質、持続可能性という観点では、他の樹種に簡単に置き換えることができってしまうということである。したがって、本調査ではトゥーナ、ニームの「唯一性」をいかに導出するか、という観点が最も重要な検討項目であると考え、調達性、木材特性の観点から以下の結論を導いた。

- ① トゥーナ、ニームはマホガニー材と同様に楽器用の木取り材として調達可能で、特に今回ターゲットとした普及価格帯ギター向けの材料としては問題なく調達できる。
- ② トゥーナはギターネック用材料として活用できる可能性が高い。一方、ニームは寸法安定性、強度の観点からギターネック材としては課題が残る。

第一に、調達性という観点では、今回調達した 2 種の材料においては板目材として評価した。ヤマハのギターラインナップの中で、ギターネック材に求められる仕様は、基本的に寸法安定性の観点から柎目材が基本となる。しかし、普及価格帯のギターについては、板目も許容されている（図 IV-35）。柎目材のみ限定する場合、ネック材で言えば幅方向に 80 mm 以上が基準となり、ある程度の径級の原木が必要となることで、早生材として短伐期施業には不向きである。早生材の場合は、合理化の観点から枝打ちなどの管理施業が少なく、欠点を多く含む場合がある。これにより、外観だけで不適判断がされることが多い。しかし、トゥーナ、ニームにおいては今回の品質でも問題なく調達できることがわかり、コスト面での課題は未検討だが、まずは第一関門突破と言える。

普及価格帯ギターは、主にインドネシア、インドの製造拠点で製造されており、中級価格帯以上のギターは中国、日本で製造されている（図 IV-35）。アコースティックギターの中では、普及価格帯ギターは年間 100 万台以上が全世界向けに製造・出荷されており、中高級価格帯（約 35 万台/年）の約 3 倍以上の生産量を占めている。早生材としては、ある程度のまとまったボリュームで、手軽に植栽導入できるがメリットの一つである。普及価格帯ギターのネック材として、現行材として使われているマホガニー材は年間約 3,000 m³ が調達されている。ヤマハの楽器群の中でも、この程度のまとまったボリュームを、幅広い基準で調達している樹種は少ない。したがって、早生材として実績を積み、今後中高級品や他楽器への適用可能性を考えていく上で、普及価格帯用の材料調達に目途が見えたことは、大きな進展である。

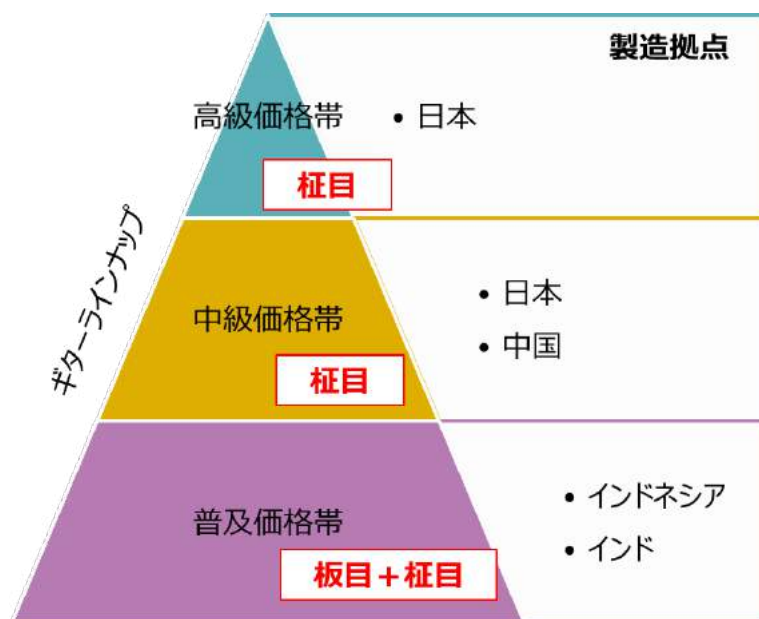


図 IV-35 ヤマハのギターラインナップと製造拠点、木材仕様の関係

第二に、木材物性の観点から、トゥーナはギターネック材として活用できる可能性が高いことが示された。今後、実際に製品試作を行った上で、製品への適用は検討していくが、強度、加工性、乾燥性の観点から、現行のマホガニー材と同程度に使える可能性があることが明らかになった。一方、ニームはこれらの観点ではトゥーナに劣る部分があり、今後、材料視点でのバラつきを含めて詳細に検討していく必要がある。音響特性を見ると、これらの材料はいずれもマホガニー材と同程度の特性値であり、ギターだけでなく他の部材への適用可能性を考える上では、音響部材を含めた幅広い適用も視野に入れることができると考えられる。

2) 森林保全と住民の生計向上等への寄与・波及効果

本事業で検討した2種の早生材（トゥーナ、ニーム）は、既報から熱帯地域では広範囲で生育できる種であることがわかっている。そして、先述のように材料としての調達性、木材特性の観点から、普及価格帯ギター部材としての可能性が示された。このことから、ABWをはじめとする希少有用樹種の持続的保全において、地域のコミュニティ林業へアドオンできる活動モデルとして展開できる可能性がある。今回対象地としているタンザニアに限らず、黒檀やローズウッドなどの希少材の産地にて、希少材の森林保全を進めていく上で弱点となる短中期的な利益創出、森林保全のインセンティブ向上という切り口にて各地で導入検討が可能と考えられる。

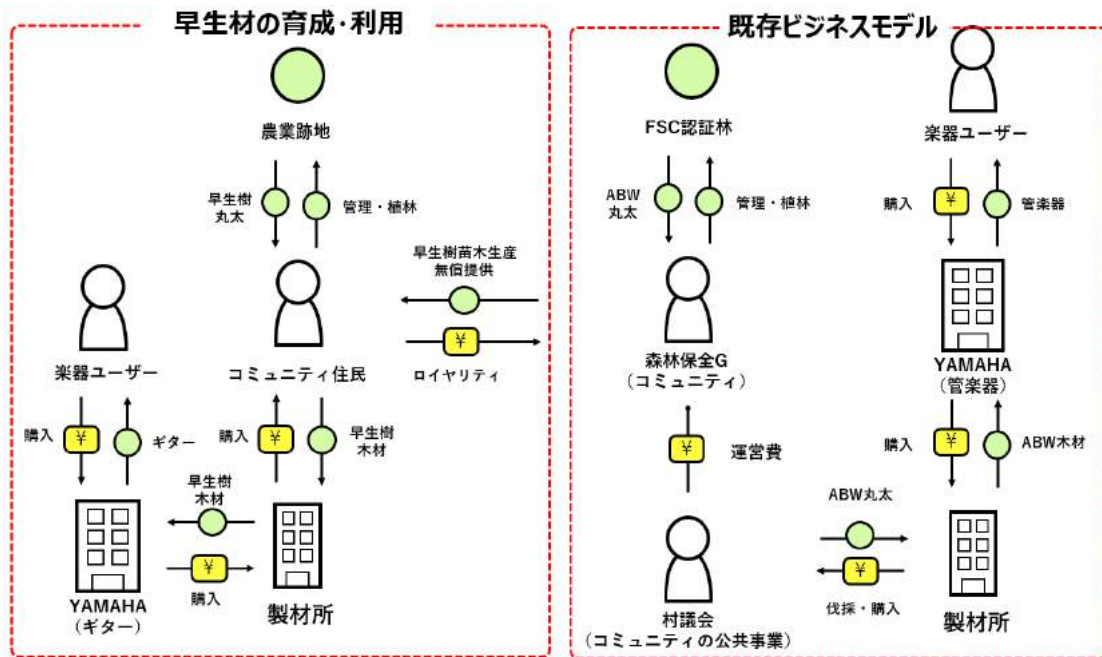


図 IV-36 希少材保全モデルにアドオンする早生材育成・利用モデル

本事業の調査において、図 IV-36 に示すビジネスモデルを導出した。本ビジネスモデルでは、ABW にて確立している既存ビジネスモデル[4]における森林保全活動に対し、早生材の育成・利用モデルが活動の一つとしてアドオンできることを示している。これにより、既存の ABW 材の育成、利用ビジネスを基盤とし、早生樹の導入によりコミュニティ住民個人が育林により農業と同様に短中期的な利益を得ることができる。また、ABW 以外に有用資源がない現地森林に、管楽器事業に加えて他楽器群（ここでは、ギターを指す）の市場が繋がることにより、各事業の動向に左右されにくい森林保全、木材生産が可能になると考えられる。トゥーナ、ニームが楽器に適用できることが示されたことで、現地では有用樹種として早生材を育成することができる。

早生樹の場合、10 年程度の伐期を目安とすれば、少ない面積でも多くの材を生産することができる。今回、トゥーナ、ニームは板目材で調達しても十分な品質を得られることがわかった。ニームについては物性面で課題が残るが、早生材の課題である内部歪という観点で両者共に十分に改善可能なラインであることを示せたことは大きい。板目材を含めて多くの利用材積を見込める製品に使うことで育成、生産が活発になる。例えば、ギターの場合は普及価格帯～中級価格帯の製品がヤマハの販売数量が多いため、このような価格帯をターゲットにすることで一定以上の材積を担保することができ、ビジネスの基盤として適する。

本事業の終了後、調査結果に基づいて 2022 年度には、製品試験と現地での育苗・植栽のスケールアップを予定しており、10 年後には年間 100～500 m³ の木材生産が見込める規模にまで拡大していく。現時点での想定価格は、村で育てた早生樹の丸太の想定販売価格は、FSC 認証林から出材する ABW 丸太材と同価格程度を想定している（FSC 認証の ABW 丸

ChiePro

太の価格＝150～200 USD/m³[4])。現在、ヤマハの普及価格帯ギター生産用に購入している木材の価格帯(詳細価格は非公開)から考えると、現地での加工費用、輸送費用を考えると、実現可能なレベルである。実際には、コミュニティにて一次加工を行い、その後製材業者にて仕上げ製材を行うプロセスの構築を考えており、コミュニティへの利益還元を最大化できるモデルに仕上げていく予定である。

図 IV-36 にて想定しているように、早生樹の苗木は、ABW の収益によって得られた森林保全費用にて村の公的事業として生産し、生産した苗木を住民に無償提供、個人での植栽、管理を想定している。このモデルでは、村人が早生樹丸太の利益の大部分を個人収入とできるメリットがあり、公的事業で生産した苗木のロイヤリティを考慮したとしても住民にとっては優れたサイドビジネスになる可能性がある。農地として開墾し作物生産が終了した土地に早生樹を植栽し、10 年程度の伐期を想定する。農地として使用した後に樹木を植栽し、土地機能の回復を待ち伐採と同時に再度農地に使うサイクルが確立できれば、将来のコミュニティでの主要産業の発展と木材生産を両立できると考えられる。

9. 今後の課題と提言

1) 課題

本調査では、トゥーナ、ニームについて調達、木材加工、植栽においてそれぞれ以下の課題が明らかとなった。特に木材加工面においては、製品試験による楽器性能を検証していく必要があると考える。

① 調達

トゥーナ、ニームは楽器材としての流通だけでなく、木材としての流通例が少なく、品質の安定化のため樹種に特化した製材ノウハウの構築が必要。

② 木材加工

ギターネック材を対象とした場合、現行のマホガニー材と比較して、トゥーナはねじ加工など、特定の加工において強度が劣る可能性がある。ニームは、寸法安定性が劣る傾向にあり、ギターネック材だけでなく、他の材料への適用を考えた場合に用途が限定される可能性がある。これら課題が、それぞれの樹種を本格的に調達した場合の密度バラつきなどによって改善するか否か、検証が必要。

③ 植栽

ニームは地域によっては種子の調達が容易であり、既存ノウハウを活用することで育苗プロセスの構築が早期に見込める。一方、トゥーナは種子の調達が限定的である。図 IV-36 に示すナレッジ活用モデルを実現するには、安定的な種子調達を目的とした、各種連携が必要。

これら課題の中で、調達、木材加工については、ヤマハが有する既存ナレッジ、ノウハウを活用して、トゥーナ、ニームを木材として活用できる可能性が高い。調達面では、原産地域の製材業者と連携し、乾燥プロセスの最適化や品質の安定化を図ることが可能である。これは、既に他の樹種の調達において、品質の安定化やコスト最適化を目的に、各業者と定期的に改善活動をしてきた実績があるためである。例えば、天然乾燥期間、目標含水率を見直し、製材方法を提案することが可能である。ヤマハでは、グループ会社にて広葉樹、針葉樹の製材を行っており、製材に関するノウハウが蓄積されている。必要に応じて、これらノウハウを現地業者に展開していくことができる。

木材加工については、本調査で取得した木材物性値を基礎データとして、ギターネック材としての課題を明確にした。今後、設計部門と連携して、製品試験を数回繰り返し、加工方法の最適化を進めることが可能と考えられる。

一方、植栽面の課題は、詳細な現地調査が必要である。特に、トゥーナは生育環境的には可能性があるが、種子の調達が弱点と明確になった。今回、MCDIにより、タンザニア中央部～東部で広く調達性を調査したところ、トゥーナが導入されているエリアであっても種子調達が困難という結果であった。先のナレッジ活用モデルでは、ABWなどの希少種の森林保全へのアドオンを考えており、これを実現するには必ずしも既存導入地域とは限らない。今後の展開によっては、国を跨いで導入することが考えられるため、種子の輸送、育種ノウハウを早急に検討、確立する必要があると考えられる。

2) 教訓と提言

早生材は、これまで合板や木材、パルプなど広く活用されており、その多くが大規模造林による木材生産を基盤としてきた。近年、森林資源の持続可能性が重要視されている中、早生材に置き換えていくこと自体はそれほど難しくない。木材物性面からみても、高弾性、低損失、高強度の材料は早生材にも多く見られることが分かっている。しかし、単純に使うだけで良い、というわけではない。特に楽器のように、一般用途では考慮しない音響性能、高い寸法精度を求める用途では、必然的に使用量が少なくなる。例えば、カスケード利用の観点から、高品質部位は楽器に、一般品質に適合する部分は建材に、それ以外はパルプ、燃料に、という使い方があるだろうが、ビジネスとして成立するかどうかは非常にハードルが高い。地域住民のメリットを考えると、多くの面積を造林していかなければならないためである。

今回の調査により、地域のコミュニティ林業との適合性を考え、楽器用の造林を進めるためには、いかに限られた面積で中小規模で、住民が管理できるレベルに植栽ノウハウを実装していく必要があると、改めて知見を得た。MCDI側と今回の植栽計画を共有する中で、彼らから「生物多様性への考慮を忘れないようにしたい」との強い提言があった。ABWのような希少材は天然林にのみ自生し、資源量は少ないながら特定地域に小群を形成しながら分布している。早生材導入において、現地の生態系のバランスが崩れ、造林地一色になって

ChiePro

しまうことになれば、ABWのような資源は失われ、一部の楽器は作ることができなくなる。楽器だけではなく、ABW、黒檀などの希少種は、いわば原産地域の宝ともいえる資源であり、地域住民にとっては森林を象徴する樹種でもある。ヤマハのビジネスのために、それら資源を失うことがあってはならず、地域住民の生活が木材、農業と共存している現状を見れば、多様性を担保した地域林業の構築は何としても成立させていかなければならないだろう。

木材の原産地域では、早生材の他、世界的に知られていない有用樹種が多く存在する。今回は日本のナレッジを活用するという趣旨で、ヤマハが如何にそれらを活用できるか、という部分に焦点を当てた。しかし、現地には現地のナレッジがあり、伝統的で地域への適合性が高い木材加工や、用途が確かに存在する。勿論、工業的、産業的にナレッジが昇華されている日本のレベルから考えると、それらは産業としては不十分かもしれないが、現地のナレッジと日本のナレッジを融合させ、新たなイノベーションを起こす、といったことは十分に可能ではないだろうか。本事業の調査報告の締め括りとして、現地主導の産業創出の可能性も見逃せないことを提言しておきたい。

10. 参考・引用文献等

1. <https://www.nationsonline.org/oneworld/map/tanzania-political-map.htm>
2. https://www.researchgate.net/figure/Map-of-Lindi-region-Source-United-Republic-of-Tanzania-2016b-Through-its-Kilwa_fig2_336232074
3. 国際緑化推進センター (2016) ; 途上国持続可能な森林経営推進事業 平成 27 年度報告書
4. ヤマハ, 国際協力機構 (2019) ; タンザニア国 FSC 認証森林からの持続可能な木材調達事業準備調査(BOP ビジネス連携促進)最終報告書
5. Nakai K, Ishizuka M, Ohta S *et al.* (2019) Environmental factors and wood qualities of African blackwood, *Dalbergia melanoxylon*, in Tanzanian Miombo natural forest. *Journal of Wood Science*, 65(1), 1-11.
6. Nakai K, Yoshimura T (2020) African Blackwood (*Dalbergia melanoxylon*) and other Tazanian tree species' biological performance against subterranean termites and wood decay fungi. *Bioresources*, 15(2), 2994-3005.
7. Nakai K (2020) Enhancing the potential of African Blackwood, *Dalbergia melanoxylon*, through sustainable forest utilization: a valuable tree species in Tanzanian miombo forest. *Doctoral Dissertation*, Kyoto University.
8. Cunningham AB *et al.* (2015) More than a music tree: 4400 years of *Dalbergia melanoxylon* trade in Africa. *South African Journal of Botany*, 98, 167.
9. Jenkins M, Oldfield S, Aylett T (2002) International trade in African blackwood. Fauna & Flora International, Cambridge, UK.
10. 国際緑化推進センター (2019) 途上国持続可能な森林経営推進事業 平成 30 年度報告書
11. Heinrich J, Banks JCG (2005) Dendroclimatological potential of the Australian red cedar. *Australian Journal of Botany*, 53(1), 21-32.
12. Li P *et al.* (2017) Optimization and primers selection of SRAP-PCR system in *Toona ciliata* Roem. *Forest Research*, 30(1), 10-17.
13. Praciak A *et al.* (2013) The CABI Encyclopedia of forest trees. CAB International, Oxfordshire, UK.
14. https://www.yamaha.com/ja/csr/environment/sustainable_resource_use/
15. <https://www.mapsofindia.com/>
16. https://www.yamaha.com/ja/musical_instrument_guide/acoustic_guitar/manufacturing/manufacturing003.html