

木の音から人と地球の未来を考える ～楽器を見て森林を見る～

仲井 一志^{1*}

Contemplating the Future of Earth through Wood Sound

- People can see the wood for the forests -

Kazushi Nakai^{1*}

概要

楽器は太古の昔の時代から人々の生活と共にあり、現代でも多種多様な木材を組み合わせて作られている。木材で作られた楽器が現代でも重要視される理由の一つに、木材特有の音がある。その音は木材特有の物性の異方性によってもたらされ、木材の種類によって変化する。熱帯地域に分布するマメ科の樹木は、特に楽器として有用な特性を持つものが多く、それらは限定的な市場と個体数の少なさから希少材と呼ばれ、絶滅危惧種に指定されているものも多い。木材を楽器に使う、単純明快な事実に基づき、木材に最も高い付加価値をつけることができる使い方から、その木材が育つ森林と地域社会に目を向けていく。持続可能な森林とは何か。普段の生活で身近な楽器に使う木を、様々な視点で見つめ直す。

1. 世界の木材と楽器への利用

現在、地球上には約7万種の樹木が存在し、南米大陸を筆頭に東南アジア、アフリカ大陸にその多くが分布していると言われている（うち約9,000種は未確認）¹⁾。木材に使われるもの、木材として使えるものを「木材種」として定義するならば、地球上の木材種は、現存する樹木種に比べて非常に限定的になる。日本の木材種を挙げると、針葉樹ではスギ (*Cryptomeria japonica*)、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)、トドマツ (*Abies sachalinensis*)、カラマツ (*Larix kaempferi*) などがあり、広葉樹ではブナ (*Fagus crenata*)、カバ (*Betula maximowicziana*)、イタヤカエデ (*Acer pictum subsp. mono*)、ケヤキ (*Zelkova serrata*) などが代表的である。近年、海外から日本に輸入されている木材種では、欧州からヨーロッパブナ (*Fagus sylvatica*)、ドイツトウヒ (*Picea abies*)、東南アジアからラワン (*Shorea spp.*)、北米・カナダからダグラスファー (*Pseudotsuga menziesii*)、ウォルナット (*Juglans nigra*) などが挙げられる。

楽器には、針葉樹、広葉樹併せて約70種類の木材が使われている。その多くは、欧州や北米産の木材種であり、最も多量の木材を使う楽器はピアノである。ピアノでは、響板や鍵盤にドイツトウヒやシトカスプルス (*Picea sitchensis*) などの針葉樹の木材が使われ、ハンマーやアクション (図1)、駒、脚などの部品にウォルナット、ハードメープル、ヨーロッパブナなどの広葉樹が使われる。また、

2024年8月28日受理。

¹⁾〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所 附属生存圏未来開拓研究センター

* E-mail: nakai.kazushi.2m@kyoto-u.ac.jp

黒鍵には黒檀 (*Diospyros ebenum*) が使われ、バイオリンなどの弦楽器の指板などにも活用されている。黒檀のような熱帯地域に分布する木材は、用途に応じた特性と付加価値に応じて、少量ながら多種多様に使い分けられているのが特徴である。例えば、木管楽器やギターの材料として、熱帯地域に自生するマメ科の *Dalbergia* 属の木材が使われている。*Dalbergia* 属はローズウッドと呼称され、赤紫色の心材の外観と音響的に優れた特性を持つ木材として、楽器に重宝されている一方で、ワシントン条約附属書 2 に全種が掲載されており、一部は附属書 I 掲載種として、学術研究目的を除く国際的な商用取引、流通の一切を禁止されている (例: *Dalbergia nigra*)。この他、バイオリンの弓にはブラジル産のフェルナンブコ (*Paubrasilia echinata*)、ギターにマホガニー (*Swietenia macrophylla* や *Khaya ivorensis*)、ピアノの化粧材としてサペリ (*Entandrophragma cylindricum*) などが挙げられる。

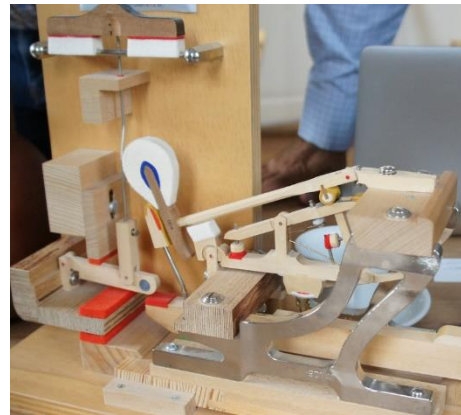


図 1: ピアノのハンマーアクションの模型 (筆者撮影)

2. 大航海時代と音楽の発展

現代の楽器における木材の構成を考えるうえで、15 世紀～17 世紀の大航海時代と呼ばれる時代は見逃すことができない。大航海時代を皮切りに、欧州の列強諸国はアフリカ大陸、アメリカ大陸、インド、東南アジアへと海外進出を開始した。本稿では、木管楽器の管体材料として広く使われているアフリカン・ブラックウッド (*Dalbergia melanoxylon*) を題材に解説する。

アフリカン・ブラックウッド (以下 ABW) は、アフリカ大陸のサブサハラ (サハラ砂漠以南) の熱帯乾燥地に分布するマメ科の樹木であり、クラリネットやオーボエの管体材料として世界的に使用されている。ABW は、サブサハラ地域で西はセネガルから東のケニアへと広く分布し、そこからアフリカ大陸の東海岸のタンザニア、モザンビークのミオンボ林 (Miombo woodland) と呼ばれる乾燥熱帯林の植生に分布している。特にタンザニアのリンディ州やモロゴロ州には、現在も多くの ABW が自生している (図 2)。ABW は象牙 (Ivory) と並んでアフリカを代表する交易物品であったとされ、約 4000 年前に描かれたアメンホテプ II 世時代の石碑には、

“Ships loaded with ivory and hbny” “111,000 men loaded with hbny” と記述が残る²⁾。“hbny” は Ebony を指し、当時の ABW を指す³⁾。

後述のように、ABW は音響材料として優れた特性を有し、他の広葉樹とは全く異なった性質を持つ木材だが、クラリネットやオーボエの歴史を見ると、当初から ABW が管体に使われていたわけではない。18 世紀 (1700 年頃) にドイツのニュルンベルクで考案されたと言われるクラリネットは、当時は Boxwood (*Buxus sempervirens*) と呼ばれるツゲの一種が使われていた⁴⁾。クラリネットよりも半世紀ほど早く誕生したオーボエも同じく、当初は Boxwood が使われていた。その後、中米を原産とする Cocuswood (*Brya ebenus*) と呼ばれるマメ科の木



図 2: タンザニアに自生するアフリカン・ブラックウッド (筆者撮影)

材が採用されており、Boxwood よりも太く重く成長する木を求め、欧州産木材から中米産木材へと材料を変化させた⁵⁾。また、象牙も管体材料として使われており、19 世紀の象牙製クラリネットやオーボエは現在も残っている。

タンザニアは、15 世紀頃にポルトガルの植民地となり、19 世紀後半にはドイツの植民地（東アフリカドイツ領タンガニーカ）となった。この植民地時代を経て、ABW はクラリネットやオーボエの主たる管体材料として使われるようになったと考えられる。東アフリカドイツ領時代には、さまざまな植物がタンザニア国内に持ち込まれ試験的な栽培が始まっており、植物の栽培だけでなく現在のタンザニア国内の森林が調査されている⁶⁾。この頃、時を同じくしてフランスのクラリネット老舗メーカー Buffet Crampon 社が設立されている。ABW は、Boxwood や Cocuswood と比較して大径に成長し（現在のタンザニアの伐採可能最小直径は 24 cm）、材料として重宝される黒紫色の心材は気乾密度 1.1–1.3 g/cm³ と非常に重硬である。植民地時代（19 世紀頃）は、ベルリオーズやウェーバーといったロマン派の作曲家が、クラリネットの表現力に目をつけ多くの交響協奏曲を作曲した時期でもある。重硬な ABW は、交響音楽に必要な音量、表現力、そして安定的な量産を実現するのに不可欠であったのだろう。したがって、フランス領であった西アフリカ、そしてドイツ領であった東アフリカから ABW が黒い木材 Ebony（現在では Ebony と言えば *Diospyros* 属の木材種を指す）として欧州に持ち帰られ、現在の標準的な管体材料となったと考えられる。

3. 木の音響的性質

プラスチックや金属と比較して、木材から発せられる打撃音には「暖かい」「やさしい」感覚が得られることは一般的に知られている。この音の特徴は、すべての木材が有している異方性に起因する。木材の繊維方向（L 方向）、接線方向（T 方向）、放射方向（R 方向）にそれぞれ異なる物理特性によって、プラスチックや金属で見られる高周波数の音が減衰し、低周波数の音が強調されることによって人間の耳には木材特有の音として認識される。

図 3a に、楽器に使われる代表的な木材種（ABW、ドイツトウヒ、ホンジュラスローズウッド (*Dalbergia stevensonii*)、黒檀、カバ、ハードメープル）の基本的な L 方向の音響特性を示す（両端自由端のタッピング共振法により測定）。併せて、図 3a のグラフ内に各木材が使われる楽器部品を記載した。尚、音速は共振周波数と断面 2 次モーメントから計算できる L 方向の動的弾性率に、各木材の気乾密度を除した値（比弾性率）の平方根（単位：m/s）として計算している。

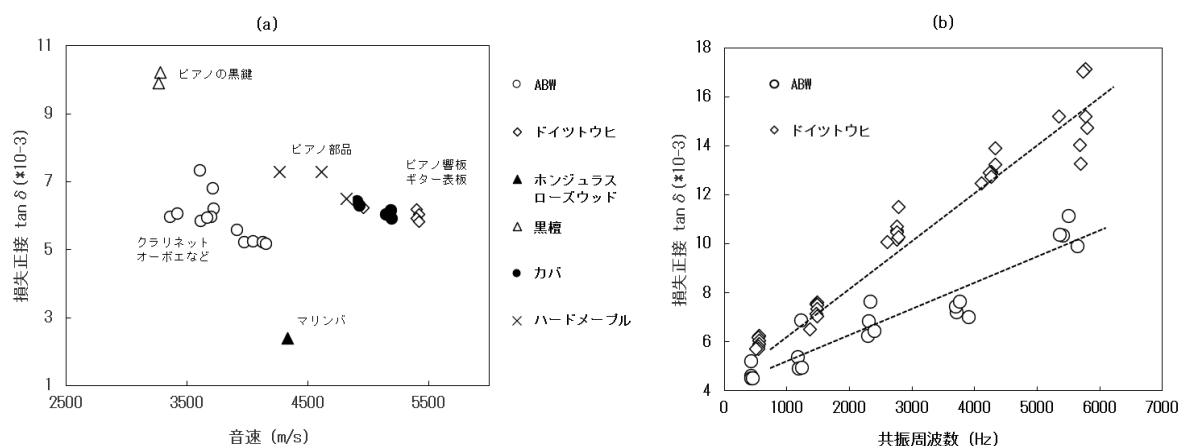


図 3：代表的な木材種の音響特性 (a) 共振 1 次モード (b) 共振 1 次～5 次モード

各木材によって音速と $\tan \delta$ （損失正接：振動の損失を示し、一般に木材のような粘弾性を有する高

分子では損失弾性率を貯蔵弾性率で除した値と同値とする)の関係が異なっており、管体や響板など振動に直結する部分には比較的 $\tan\delta$ が低い木材が使われていることがわかる。ピアノ響板やギターの表板のように、その構造上、弦の振動を伝達する部位に使われているドイツトウヒは $\tan\delta$ が低く、音速が高い傾向にある。ABW も概ねドイツトウヒと同程度の $\tan\delta$ を示している一方、ABW の音速は 3500~4300 m/s 程度となっており、ドイツトウヒよりも明らかに低い値を示しているのが特徴である。マリンバに使うホンジュラスローズウッドは、計測したすべての木材の中で $\tan\delta$ が低く、打撃した音が減衰せずに良く響く傾向にあることがわかる。このように、ドイツトウヒは針葉樹として軽い材料(低密度材)でありながら、動的弾性率が高く、 $\tan\delta$ が低い一方、ABW やホンジュラスローズウッドなどの広葉樹は動的弾性率に対して密度が高く、 $\tan\delta$ が低いことがわかる。

ピアノ黒鍵に使う黒檀は明らかに $\tan\delta$ が高く、音速も低い。そもそも黒檀が使われる黒鍵は、音響的性質を求める部材というよりは、演奏者の汗の吸収やタッチ感、鍵盤としての機能を維持するための寸法安定性を重視する部材である。楽器に使う材料と言えば、良く響く、良く鳴る、というわけではなく、黒檀のように音響特性値だけで見れば、音を鳴らすのに不向きと言える材料であっても、その意匠性や機能性によって楽器の部材に使われているのである。

図 3b に、ABW とドイツトウヒの 1 次~5 次モードの各共振周波数と $\tan\delta$ の関係を示す。これら 2 種の木材の傾向を比較すると、高次のモードになるにつれて $\tan\delta$ の上昇傾向が異なっていることがわかる。このような $\tan\delta$ の上昇傾向は、木材の異方性に起因しており、異方性が強い(L 方向の弾性率に対して、T 方向、R 方向の弾性率が低い)木材ほど低次モードから高次モードになったときの上昇幅が大きい。どの木材種であっても基本構造は大きく変わらないため(図 4)、木材は高次モードになると $\tan\delta$ が大きくなる傾向は一樣である。これは、外部から加えられた振動に対して、低周波数の音が鳴り、響きやすく、高周波数の音が響きにくい、という特徴に繋がる。これこそが、「木の音」である。高次モードの振動における木材の変形を少しだけ解説すると、振動は微小な変形ながら、高次モードの振動では多くの節と腹を形成する必要がある(図 5)。多くの節と腹を形成する際、木材は L 方向の弾性率が高く、T 方向、R 方向の弾性率が低いため、断面がせん断変形していく。その変形により、振動の損失が大きくなる。金属などの等方性材料の場合は、高次モードでも引張と圧縮による変形が支配的となるため、せん断変形による損失が小さく、高次モードでの $\tan\delta$ 上昇が少なくなる。

ドイツトウヒは針葉樹の一種であり、樹木の高さ方向に向かって通直に木理を形成しやすく、L 方向の弾性率が高くなり、T 方向や R 方向との弾性率との差異が大きい。ABW のような広葉樹は、木理が通直ではなく螺旋状や交錯状に成長するため、L 方向の弾性率は低い、その他の方向で比較的高い数値が出る。また、R 方向に形成される放射組織の配列も、針葉樹と比較して多様である。これらにより、木材全体の異方性が弱くなり、木材の範囲内ではあるが、広葉樹の方が等方性に近づく傾向にある。特に ABW は等方性に近い特性を持つと考えられ(図 3b)、それが木管楽器の気柱振動を発生する際の演奏感に繋がっていると推察され

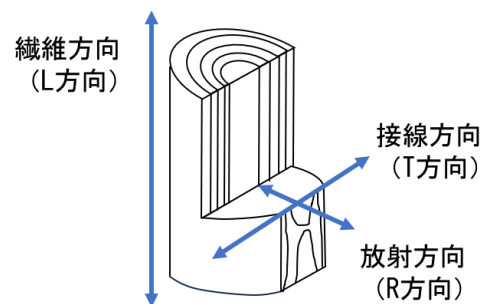


図 4：木材の各方向の模式図

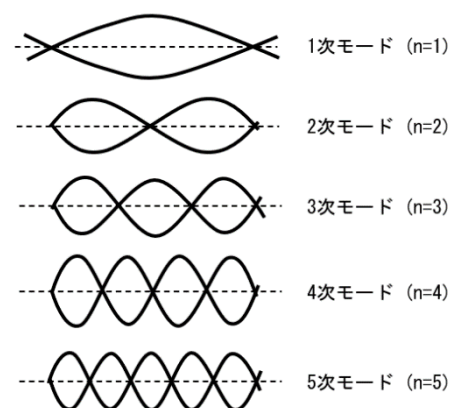


図 5：共振法による 1 次モードから 5 次モードの振動の腹と節の模式図

る。このような各方向の異方性の再現は難易度が高く、木材にしか出せない特徴と言える。

4. 森林保全から始まる音楽文化の発展

楽器に使う木材は、多様で深い歴史に裏付けされており、古くから木材の入手性とその特性が人々を魅了してきた。木材は、森林で育つ。したがって、楽器、音楽を未来の世代に繋いでいくには、森林に目を向けていく必要がある。ここからは、ABW の主たる分布域であるタンザニアの森林に話を戻し、原産地の現状から持続可能な森林利用を考えていく。

地球規模での森林減少が問題となっている現在、その主なドライバーは農業に起因する森林火災である⁷⁾。タンザニアは、2000 年代に入り急激な経済発展を遂げ⁸⁾、経済発展による都市部への人口集中は、タンザニア国内での木材利用を加速させた⁹⁾。さらに農村地域での人口増加により、農業・畜産業の拡大によって森林の土地利用形態が急激に変化し、森林での大径木材の減少、広域での森林の農地転換が進んでいる。そして、ABW のような天然林に個体数少なく分布する木材種の生息域、さらには木材利用に重要な原木品質に影響を与えている。

ABW の主産地であるリンディ州の地方農村では、農業が主産業であり、換金作物として単年性作物のゴマを筆頭に、カシューナッツ、ピーナッツが挙げられ、この他コメ、メイズなどの主食作物、野菜などが栽培されている⁸⁾。特にゴマは、現在のタンザニアの農業において重要な換金作物である(図 6)。タンザニアは、年間約 70 万 t のゴマ輸出量を誇る世界有数のゴマ生産国である¹⁰⁾。2005 年から 2020 年までの間に、タンザニア国内のゴマの作付面積は 5 倍に拡大しており、その増加量は他の換金作物と比較して突出している¹¹⁾。リンディ州のゴマ生産は、無施肥による焼畑農業を主流とし、近年のゴマ価格の高騰により、1 kg あたり 3,000–4,000 タンザニアシリング(日本円換算で約 180–240 円)の値が付くことで、他の換金性作物よりも明らかに大きな利益が得られる。これらの背景により、リンディ州でのゴマ生産による農地転換面積は大きく、新たな農地を求めて、政府の森林保護区(National Forest Reserve)やコミュニティ森林(Village Land Forest Reserve)での違法伐採が後を絶たない。

タンザニアの森林において、ABW は数少ないグローバルレベルでの付加価値を有する木材種であり、市場に流通する ABW の約 95%が楽器用材、即ち木管楽器の材料として使われる。製材した木管楽器用材(図 7)は、木目角度を規定し、割れ、節などの欠点を含まない無欠点材であり、原木からの材料歩留は 10%以下、一般に 1 m³あたり 20,000 USD を超える高値で取引される¹²⁾。木材として高い品質を求めなければ使途がなく、製材品に高値が付くことが重なり、乱伐による過剰伐採が進む傾向にある。

ABW を持続可能な資源とするためには、付加価値を有する良質材が継続的に育つ森林環境が必要であり、森林で頻発する火災のコントロールが鍵となる。ABW は地形や土壌等の環境条件に関わらず、局所的に群生したパッチを形成しながら広範囲に分布しているのが特徴である。例えば、ABW の



図 6：リンディ州のゴマ畑（筆者撮影）



図 7：製材された木管楽器用材（筆者撮影）

立地環境における土壌は多種多様で、植物の生育に好適と思われる壤土質・暗色・膨軟な土壌から、物理的・科学的欠点を持った土壌（アルカリ性の重粘塩質土壌など）まで、極めて多様な立地・土壌条件に適応して生存している¹³⁾。特に、アルカリ性の重粘塩質土壌の地帯では、ABW 以外の樹木種が生えない環境で群生していることがある（図 8）。しかし、その樹幹成長は、頻発する森林火災の影響を受け多幹を形成しやすい（図 8）。リンディ州の複数のコミュニティ森林を調査したところ、農村の居住区から近い、もしくは平地で農地との境界が不明瞭な森林では、ABW の群生が見られて個体数は増える一方で、樹高は低く、多幹で品質の悪い成長形態であることがわかっている¹³⁾。ABW しか成長しない場所では、開空度が高く下草が生えやすく、乾季に枯れた下草で自然発生、もしくは人為的な要因により火災が発生、もしくは他の場所から枯草に延焼して燃え広がる等、個体数と良質材の蓄積量は必ずしも比例関係にないことが読み取れる。



図 8：ABW の群生地（左）と火災の被害を受けた ABW 立木（右）（筆者撮影）

最後に、良質な ABW を持続的に育てるという観点で、林内における ABW の天然更新についてのトピックを紹介する。既往研究によれば、ABW は根萌芽による天然更新が多く、種子による実生更新は少ないとされているが¹⁴⁾、筆者らが調査を行っている各地のコミュニティ森林では根萌芽だけでなく、実生更新が高頻度で観察されている。特に平地では実生更新が多く、川沿いの斜面や道路脇など地形の変化や強い攪乱が繰り返されるような土地では、根萌芽による更新が多くなる可能性があるとの推察され、現在実証を進めている。また、ABW は実生の発芽率が高く、実際に実生苗を作る際は 90% 以上が発芽することを活用して、資源保全の取り組みとして林内へのエンリッチメント植林が進められている⁸⁾。

このように、木材としての特性、楽器としての木の使い方、市場への流通形態から森林にまで遡ると、ABW 資源を保全して楽器に使える状態を長期的に維持するには、地域農業との調和した森林保全スキームが必要であることがわかる。本来、伝統的焼畑農法というのは、開墾した土地を一定の休閑期を設けて森林の回復を待つ「限られた土地の持続可能な利用方法」と言われる。古くは日本でもソバなどの穀物を焼畑により栽培しており、熱帯特有の農法というわけではなく、森林と人が調和できる農法の一つとして世界的に広く活用されてきた農法である。しかし、社会経済の発展と共に人口が増え、換金性の高い作物が栽培できるようになると、決して伝統的農法とは言えない土地の使い方をしてしまうことで慢性的な森林の減少、そして ABW のような希少種の個体数減少に繋がっていく。現存の資源を最大限活用しながら、次世代への資源を保全していくというのは、一見簡単なことのように思える。しかし、それぞれの地域、樹木の生態により適する森林保全の形があるはずで、それはおそらく千差万別であろう。人と森が共に生きる・・・現代人に課せられた大きな命題は、次の世代の音楽、文化、そして地域社会の発展を左右するのである。

参考文献

- 1) Gatti, R.C. *et al.*, The number of tree species on Earth, *PNAS*, **119**(6), 2023. DOI: 10.1073/pnas.2115329119
- 2) Dixon, D.M., The ebony trade of ancient Egypt, *Doctoral thesis*, University of London, UK, 1961.
- 3) Kitchen, K.A., Punt and how to get there, *Orientalia*, **40**, 184-207, 1971.
- 4) Cunnigham, A.B., Trade study of selected east African timber production species, in: *Proceedings of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora 17th Meeting of the Conference of the Parties*, Johannesburg, South Africa, 27-66, 2016.
- 5) African Blackwood Conservation Project, <https://www.blackwoodconservation.org/>.
- 6) Shabel, H.G., Tanganyika forestry under German colonial administration, 1891-1919, *Forest and Conservation History*, **34**(3), 130-141, 1990.
- 7) Curtis, P.G. *et al.*, Classifying drivers of global forest loss, *Science*, **361**, 1108-1111, 2018.
- 8) ヤマハ, 国際協力機構, 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, 2019.
- 9) 伊谷樹一, 新しい生態系をつくる, “生態人類学は挑む Session 4 つくる・つかう”, 伊谷樹一編, 京都大学学術出版会, 2023, pp. 165-200.
- 10) Oil World, <https://www.oilworld.biz/t/statistics/commodities>.
- 11) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- 12) Jenkins, M. *et al.*, International Trade in African Blackwood, *Fauna & Flora International*, Cambridge, UK, 2002.
- 13) Nakai, K. *et al.*, Environmental factors and wood qualities of African Blackwood, *Dalbergia melanoxylon*, in Tanzanian Miombo natural forest, *J. Wood Science*, **65**:39, 2019. DOI: 10.1186/s10086-019-1818-0
- 14) Washa, B.W., Dependence of *Dalbergia melanoxylon* natural population on root suckers' regeneration, *J. African affairs*, **24**, 177-198, 2008.

著者プロフィール



仲井 一志 (Kazushi Nakai)

<略歴> 2007 年九州大学農学部卒業／2009 年京都大学大学院農学研究科博士前期課程修了／同年ヤマハ株式会社入社／2020 年京都大学大学院農学研究科博士後期課程修了 博士（農学）／2023 年京都大学生存圏研究所附属生存圏未来開拓研究センター特定准教授（クロスアポイントメント）、現在に至る。
<主な研究テーマ> タンザニアのミオンボ林に自生する希少木材種の生存戦略、住民参加型森林経営モデルの構築と実証、木質材料の開発、など。