

琵琶湖を育む森林に関する研究

中川宏治・小島永裕・木村道徳

要約

琵琶湖森林づくり基本計画の目標を実現するためには、多面的機能の発揮に向けた、網羅的かつ妥当性のある指標を設定したうえで、目標の達成状況を評価することが重要である。また、同計画の実現のためには、木材生産を目指す「循環林」と多面的機能の発揮を目指す「環境林」、あるいは二次林として管理する「里山林」などの森林タイプに区分するためのゾーニングの実施と、それぞれの森林タイプで最適な施業法を導入していく必要がある。本研究では、政策目標の達成状況に関する指標設定の観点から、本県の森林の多様な価値や機能について体系的に整理した。また、多面的機能の発揮に向けて求められるゾーニングについて、その方法論と、森林タイプと施業法を配置するための条件に着目し、文献調査や事例分析により研究を行った。その結果、まず、本県の森林は、さまざまな種類の多面的機能を有しており、各機能の働きは複雑であるが、数理モデルにより、森林管理と機能の発揮の関係のメカニズムを解明できる可能性を確認した。次に、ゾーニングでは、地理情報システムと地理情報を用いて、条件を論理的に分析できること、条件の分析を通して、各森林タイプや施業法の配置を検討できることが示された。次に、天然更新に関する研究では、環境林のなかで種子供給源から離れた森林であっても、防護柵を設置し、維持管理を行うことにより、鳥散布植物を中心とした更新木により天然更新が実現できることが示された。次に高齢林の林分構造調査について、ヒノキ高齢樹の樹幹解析を行ったところ、樹齢100年程度までは、肥大成長、伸長成長、これらより算出される材積成長のいずれも成長し続けることが明らかになった。

1. はじめに

本県の森林の約42%は針葉樹人工林が占めており、その多くは第2次世界大戦後の拡大造林政策により植栽された。当時、木材は需要の増加に伴って、価格が急騰したため、県内各地にスギやヒノキなどの針葉樹人工林が造成された。現在、針葉樹人工林の多くは、主伐期を迎えており、将来の森林の姿について議論していく時期にきている。

そのような中、琵琶湖森林づくり基本計画（以下、基本計画）では、100年後の長期の時間スケールで多面的機能の持続的発揮に向けた森林づくりを基本的な方針の一つに位置づけている。同方針では、多面的機能の持続的な発揮を実現していくには、自然的社会的条件に応じたゾーニングを行うことと、それぞれの特性に応じた施業を行うことを掲げている。

さらに同計画では、森林タイプを大きく、木材生産を継続する循環林と、多面的機能の高度な発揮を目指す環境林に区分しており、2つの区分を組み合わせた森林づくりを行うことが目標とされている。（図1-1）。

第五期中期計画では、政策手段としての施業法に着目し、コンテナ苗と普通苗、針葉樹と広葉樹、ニホンジカが好まない忌避植物といった複数の苗種による植栽試験や、防護

柵の維持管理手法の検討、天然更新地における初期段階の更新木の植生調査を実施した（中川ら2019）。このうち、天然更新の調査では、周囲の広葉樹種子源が多い更新地では早期の実現可能性が高いことを示した。一方で、種子供給源から離れた森林については、更新の実現可能性を十分に示せなかった。また、これらの施業法だけではなく、高齢林施業などについても検討することや、ゾーニングによる森林タイプや施業法の配置を検討していくことも新たに課題として挙げられた。

以上のような背景をもとに、今期は次の研究を行った。

- 1) 森林の多面的機能とはどのようなものであり、現在の研究ではどこまでが明らかになっているのかについてレビューを行った。
- 2) 多面的機能の発揮のために必要とされるゾーニングの研究を進めた。
- 3) ゾーニングの結果で分けられる循環林について、高齢林化が進んでいるが、行政部局から高齢林の評価について要請もあり、高齢林の林分構造調査を行った。
- 4) ゾーニングの結果、分けられる環境林について、第五期研究で残った課題、天然更新について調査を継続した。

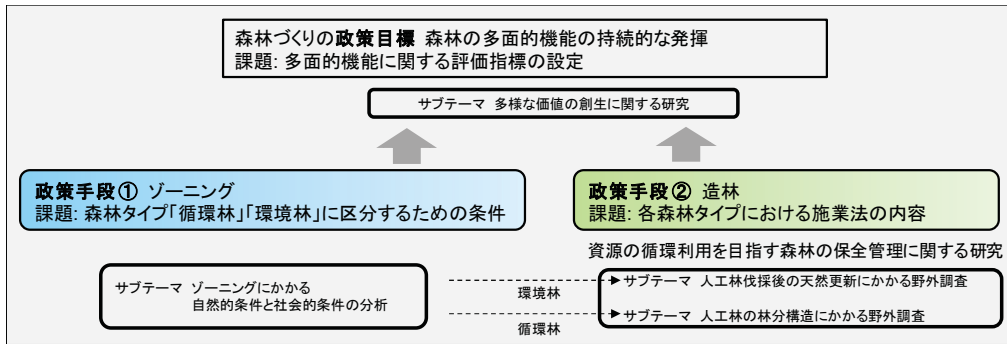


図 1-1 森林づくりの政策目標と政策手段

2. 森林の多様な価値の創生に関する研究

2.1. はじめに

森林の多面的機能については、既に 1973 年には林野庁が「多面的機能」という言葉を用いているように古くから認識され（林野庁計画課 1973）、一定の類型化が行われている（日本学術会議 2001）。日本学術会議（2001）が示した、多面的機能の分類と定義について表 2-1 に示した。

多面的機能の發揮のためには、適切な森林整備と資源の利用が不可欠であり、持続的な森林管理の実施が求められる。そのような管理には、地域の実情を考慮した管理評価指標の活用が有効であると考えられている（山田 2019）。本県が掲げる基本計画における 100 年の長期時間スケールは、人間でいえば複数世代に該当し、その間、森林資源の状態とそれに伴う多面的機能の發揮および森林管理の評価指標は動的に変化するとみられる。指標による評価は、森林資源と多面的機能の動態を踏まえ、適切な頻度で行われるべきものであろう。その実現には、まず、本県の森林が有する多面的機能を整理した上で、機能の發揮状況を考慮するだけでなく、長期的な視点から管理評価指標を設定する必要がある。

さらに、同機能の發揮を踏まえた望ましい森林管理の実施のためには、同機能を抽出し定量評価した上で、長期的な視点で管理評価指標を設定することが必要である。

当センターにおいて、森林の多面的機能の研究はこれまで行われてなかったことから、まずは現在の森林の多面的機能評価に関する研究をレビューした。その上で、本県の森林における重要な機能の選定や、森林管理を行う上での

着眼点整理、管理モデル化の可能性などを整理した。以上により、多面的機能の發揮状況に関する評価指標の設定に向け、同機能について幅広く体系的に抽出し整理するとともに、モデル化の可能性について検討した。

2.2. 調査方法

専門家を招聘した研究会を開催し、森林の機能と価値に着目して情報を収集した。それらの情報を整理し、森林の多面的機能の特徴とモデル化の可能性について検討した。なお、研究会の日程と講演内容について表 2-2 に整理した。

2.3. 結果と考察

2.3.1. 多面的機能の特徴

本県の森林の基本的な施策の一つである「多面的機能の持続的發揮に向けた森林づくり」において「適切なゾーニングに基づく森林づくりの推進」「災害に強い森林づくりの推進」「生物多様性の保全」を 3 つの柱としている。さらにその中には、具体的施策として、地球温暖化防止に貢献する森林づくりや琵琶湖の水源林の適切な保全・管理が項目として掲げられている。また、別の施策である「多様な主体との協働により進める森林・林業、農山村づくり」には森林文化の振興が項目として掲げられている。以上により、本県では、多面的機能のうち、地球環境保全、土砂災害防止／土壌保全、水源かん養、生物多様性保全の各機能の重要度が高いと考えられる。

表 2-1 多面的機能の分類と定義

注：日本学術会議（2001）に基づき作成

多面的機能	定義
(1) 生物多様性保全機能	遺伝子の保全、生物種の保全、生態系の保全を意味し、従来の鳥獣保護や天然記念物の保護、あるいは野生動物の保護を含む、森林の本性である生物性そのものにかかわる概念
(2) 地球環境保全機能	森林生態系の活動に伴う二酸化炭素の吸収と放出、蒸発散作用が、炭素循環や水循環を通して地球規模で自然環境を調節
(3) 土砂災害防止機能／土壌保全機能	表層土の移動にかかわる地域環境の構成要素
(4) 水源涵養機能	洪水の緩和や水質の浄化など、森林が水循環に関わる地域環境の構成要素
(5) 快適環境形成機能	大気の浄化や気温の緩和など、森林が大気やエネルギーの循環にかかわる地域環境の構成要素
(6) 保健・レクリエーション機能	人々（個人）の肉体的、精神的向上にかかわる機能
(7) 文化機能	人々（個人、民族）の精神的、文化的、あるいは知的向上を促す機能
(8) 木材生産機能	原材料としての木材を生産する機能

表 2-2 専門家を招聘した研究会の日程と講演内容

	講師	講演内容
第1回	松井孝典 / 芳賀智宏 (大阪大学)	地域版SDGs達成に向けた自然生態系管理の展開 / 森林景観モデルを用いた森林の多面的機能評価の方向性
第2回	谷 誠(京都大学名誉教授)	地球の水循環と森林生態系, 森林の洪水緩和機能, 土の移動に関する植生の役割
第3回	尾坂兼一(滋賀県立大学)	森林からの窒素流出と琵琶湖への影響
第4回	山浦悠一(森林総研)	地域に応じた森林管理に向けた多面的機能の総合評価手法の開発
第5回	平野悠一郎(森林総研)	新たな森林利用の潮流と文化的価値の創生
第6回	楠本間太郎(九州大学)	空間的保全優先地域分析の理論と応用
第7回	伊藤 哲(宮崎大学)	低コスト再造林の現実的課題と林木育種への期待
第8回	林 真智(JAXA)	森林バイオマス推定のリモートセンシング
第9回	深町加津枝(京都大学)	森林の文化的価値と景観評価の現状と課題
第10回	當山啓介(東京大学)	森林の管理と計画と多面的機能
第11回	徳地直子(京都大学)	シチズンサイエンスによる全国河川水質調査の試み

本研究で進めた研究会の成果を踏まえて、主要な機能や価値を次のように整理した。

(水源かん養機能)

本県の森林は、大部分が琵琶湖の水源となっており、多面的機能のうち、水源かん養機能は特に重要である。

水源かん養機能については、第2回および第3回、第11回の研究会において同機能の発揮のメカニズムに関する情報を収集した。同機能は大きく、洪水緩和機能と水質浄化機能に区分することができる。このうち、洪水緩和機能は、乾燥土壌と湿潤土壌のそれぞれの保水力から見出される。湿潤土壌の保水力は、斜面方向の水の流れが影響するものと誤解されがちだが、そうではなく、斜面土壌層内での鉛直不飽和浸透によって産み出されることが理論的に説明可能である。一方、洪水緩和機能の評価は、空間不均質性が大きいなどの理由により、観測や理論、モデルといった各方法論の統合化が十分ではなく、水文学的な課題が多い(谷 2011)。

次に、水質浄化機能については、特に森林流域からの窒素の流出について検討した。県内の4つの流域における窒素収支(流域への窒素の流入量－流出量)に関する先行研究から、本県では窒素を浄化している森林もあれば、浄化していない森林も存在していた。その要因として、土壌 CN 比が土壌の微生物活性に影響して、土壌からの窒素の流出ポテンシャルが決まり、水文条件が窒素流出のタイミングと量に影響していると考えられた。また、皆伐後数年は渓流水中の硝酸態窒素濃度が高い状態が続く研究結果が紹介された。

(地球環境保全機能)

同機能は、基本計画において、ゾーニングを進める際の課題として具体的に保全の必要性が明記されている。同機能については、第8回の研究会において、同機能の

発揮のメカニズムやリモートセンシング技術を活用した同機能の定量化の手法などに関する情報を収集した。

地球環境保全機能のうち、森林の炭素固定機能の評価するうえで、衛星や航空機を用いたリモートセンシング技術を活用し、森林のバイオマス量を推定することが有効である。広域でバイオマス量を把握するためには、衛星の利用が重要であり、特に LiDAR と SAR はバイオマス推定に適している(林 2020)。

(生物多様性保全機能)

生物多様性機能については、基本計画において、同機能の保全が具体的に記述されている。そのため、第4回の研究会において、同機能のメカニズムや数理モデルを用いた同機能の評価手法に関する情報を収集した。

森林は、様々な樹木種が集合し、構成されているため、同機能は、森林タイプの配置や質などの影響を受けると考えられる。例えば、鳥類群集の多様性に関しては、広葉樹林を針葉樹人工林に転換することによる、広葉樹種が構成する森林タイプの面積の縮小や、同タイプの消失と分断化が鳥類の種数と密度を減少させる(山浦 2007)。また、森林とその周囲の生態系は、アユの産卵床の形成(水野ら 2018)、二次林と谷津田が形成するサシバの生息環境(東 2002)などにみられるように、小集水域の複数の生態系が組み合わせられて、生物多様性を維持していると考えられる。

このような特徴を持つ森林の生物多様性については、これまで、 α 、 β 、 γ の3つの多様性の指標を用いて評価されてきた(Whittaker 1960)。このうち、 γ 多様性はその地域全体の種多様性であり、その地域の地史的要因や気候条件などで決定される。また、 α 多様性は、その地域内のある場所の種多様性であり、その地域に生育する生物種が局所的な環境条件や散布制限の影響を受け

て形成される群集の多様性である。さらに、 β 多様性は、その地域内の各場所間の多様性であり、その地域内における各場所の群集の相違度を表し、場所ごとの種の入替わりを程度を示す（明坂ら 2021）。

森林タイプの視点から生物多様性保全機能を捉えると、同機能は、針葉樹人工林よりも主に広葉樹種が構成する天然林で高くなる（山浦・山田 2022）。同機能を幼齢林指数と老齢林指数に区分して分析し、前者ではいずれの森林タイプでも林齢が小さい林分で高くなったが、後者を用いた場合には、林齢に関わらず常に天然林が針葉樹人工林よりも高い生物多様性を有した（山浦・山田 2022）。さらに、同機能を面域として維持するためには、森林タイプの時空間的なモザイク配置が重要である（山田 2020）。これらの点から、生物多様性機能を高めるためには、小集水域で、森林を含む複数の生態系の配置を十分に考慮することに加え、森林域においては広葉樹種が構成する天然林や二次林が適正に配置されていることが重要である。

同機能の評価のためには、大規模な生物分布データの整備が必要となる。県域で生物多様性のパターンを分析し、保全地域を計画する手法が発展しており、国内の先進的な地域では生物分布のデータベースに基づく保全計画にも着手されている。本県においても同様のデータベースを構築し、さらに社会経済的な制約も含めることで、保全計画への実行に近づくものと考えられた。

（土砂災害防止／土壤保全）

土砂災害防止と土壤保全の両機能は、基本計画において、災害に強い森林づくりを推進していく際に保全が求められる機能として具体的に記述されている。両機能については、第2回の研究会において、両機能の発揮のメカニズムに関する情報を収集した。

森林の土砂災害防止機能は大きく、表面浸食と表層崩壊の抑制に区別することができる。前者については、森林斜面の下層植生やリター層が、後者については発達した樹木根茎がそれぞれ存在していることが機能を高める上で重要であると考えられる（佐藤 2023）。

（文化機能）

文化機能は、基本計画において、多様な主体との協働により進める森林、林業、農山村づくりで発揮が求められる機能として具体的に記述されている。同機能については、第5回と第9回の研究会において、特徴および調査手法についての情報を収集した。

同機能は、人々の精神的、文化的、あるいは知的向上を促す機能であり、かつての森の民・日本人の歴史性・民族性・地域性に関わる機能である（日本学術会議 2001）。

本県では、例えば、比叡山は最澄が入山する以前から「ご神山」として崇められ、古代から信仰を集めてきた

（磯村 2020）。また、高島市朽木のトチノキ巨木林は、炭焼きや刈敷の採集などの人為攪乱が頻繁に及ぶ山林において、果実の利用などのために伐採が制限され、選択的に保全されてきた（手代木ら 2015）。さらに、東近江市の奥永源寺は、かつて木地業が盛んであり、木地師の聖地である社寺が現存し、同市では「木地師のふるさとアーカイブプロジェクト」として木地師に関する資料を整理し、民俗文化財への登録を目指している（山下 2020）。このように文化機能は地域の人々の森林への関わりを通して保全されてきたといえる。

2.3.2. モデル化の重要性と可能性

研究会において、さまざまな機能についての科学的な知見を整理した結果、いずれの機能も発揮のメカニズムが複雑であることがわかってきた。また、森林は高齢化するにたがって、複数の機能間でトレードオフの関係がみられることがわかってきた（Yamaura *et al.*, 2021）。多面的機能は、林齢（時間的）や、循環林と環境林の空間配置（空間的）によって、同機能の発揮の程度が異なると考えられる。そのため、同機能は、ある時点だけの静的な評価だけでは不十分であり、森林が時空間的に変化することを踏まえた、動的な評価が必要となる。また、循環林における伐採は森林機能を大きく変化させる。そのため、機能を評価しながら資源管理を行っていくためには、森林動態に基づいた検討が求められる。このような観点から、山浦・山田（2022）の研究の枠組みにあるように、循環林と環境林といった森林タイプの空間配置と、森林動態を組み合わせた両面から、多面的機能を評価していくことが望ましい。

また、研究会を通して、多面的機能の多くが、学術的にモデル化が可能な段階にあることが判明した。多面的機能を維持することを目指したゾーニングや施業法の導入のあり方について、より精緻に検討していくためには、森林の多面的機能について、森林タイプの空間配置や森林動態を踏まえてモデル化することが重要であると考えられた。

森林の多面的機能を評価するためには、森林タイプやそれらの空間配置までも考慮した森林動態モデルを構築し、構築したモデル上で多面的機能を評価する必要がある。その上で、それら機能を発揮・維持させるために森林のゾーニングや施業法の導入を考えることが求められる。

森林の多面的機能評価モデルは、樹高や材積などの森林構造を予測する森林動態モデルが土台にあるため、モデル開発を進める上では、航空機 LiDAR（レーザー測量）などを利用して、森林の樹高や立木密度等の基盤データを整備していく必要がある。本県では既に航空機 LiDAR により、地盤高である地形モデル（Digital Elevation Model: DEM）や樹冠高（Digital Canopy Model: DCM）などのデー

タが一部地域で整備されていることから、それらのデータを有効に活用することが極めて重要である。さらに、県内に散在している各機能の定量的なデータ（森林バイオマス量や水文データなど）を収集してデータベースとして整備しておく必要がある。

森林生態系の根幹である水・炭素循環のモデルは、現実の森林管理に適用可能な段階まで発展しており、優先的に取り組むべき課題である。基本計画で重要視されている「水源涵養機能」や、ネットゼロ社会に向けて喫緊に算定が求められている「炭素固定機能」の評価に直結する点も無視できない。なお、森林の文化的価値などはモデル化が難しく、各地域で丁寧に価値評価を行う必要がある。

2.3.3. まとめ

多面的機能に関する研究会を計 11 回開催し、同機能の専門家から得た知見を踏まえ、各機能の特徴と重要性を整理した。さらに、基本計画の内容を踏まえ、本県で重要な多面的機能として、水源かん養、地球環境保全、生物多様性保全、土砂災害防止／土壌保全、文化が挙げられた。

また、多面的機能のメカニズムが複雑であるが、森林構造を予測する森林動態モデルを基礎とし、森林構造と関連づけた各機能評価サブモデルから構成される多面的機能評価モデルを構築することにより、森林管理が多面的機能に及ぼす影響を評価することが可能となることがわかった。なお、森林の文化的価値などはモデル化が難しく、各地域で丁寧に価値評価を行う必要があると考えられた。

これらの結果から、本県において多面的機能の長期的な保全を図るためには、森林動態モデルを構築し、水源かん養や地球環境保全などの発揮のメカニズムを明らかにすることが重要であると考えられる。

3. 森林のゾーニングに係る自然的条件と社会的条件の分析

3.1. はじめに

拡大造林政策の当時、木材は需要の増加に伴って、価格が急騰したため、県内各地にスギやヒノキなどの針葉樹が植栽された。しかし、当時の森林所有者は、管理や伐採時の利便性や作業費用などを十分に考慮せずに植栽場所を選んだとみられ、放置されてきた森林も多い。その後、林道や森林作業道の整備が進み、路網の配置や、架線、スイングヤーダやハーベスタなど高性能林業機械が導入されるようになり、伐採から集材、造材までの作業の効率化が進んできた。長期の時間スケールで見ると、木材生産が経営的に成立するための条件も変わりつつある。

主伐期にある現在、路網の整備が進んだ森林では、木材利用が進み安定した林業経営ができる。一方、地山勾配が

緩くても路網の整備が進んでいない森林では、新たに路網を整備して木材利用をすすめるべきかの判断が求められる。地山勾配が急な森林では、今後の路網の整備計画を踏まえて、多面的機能を重視した森林タイプへ転換していくことも視野に入れる必要がある。このように、木材生産が経営的に成立する条件を見直し、循環林と環境林の森林タイプや、そこで導入する施業法のそれぞれの配置について再検討することが課題となっている。

このように森林タイプや施業法を検討する際、ゾーニングより、森林の区画ごとに重視する機能を配置し、森林の将来像と管理方針を示すことが有効である。そこで、本研究では、ゾーニングの方法論について整理した上で、同方法論を用いてゾーニングを行う際に必要となる自然的条件と社会的条件について検討する。

3.2. 方法

本研究ではまず、多面的機能の持続的な発揮に向けたゾーニングの方法論について、空間スケールと、時間スケール、森林タイプ、評価指標、自然的・社会的条件、地理情報、多面的機能の評価の視点に着目し、文献調査を行った。

次に、ゾーニングに関する自然的・社会的条件について、木材生産機能とそれ以外の公益的機能のそれぞれについて整理した。その際、事例地を設定し、ゾーニングを実施する際に有効なツールの一つである地理情報システム（Geographic Information System: GIS）を用いた事例分析および視覚化を試みた。なお、本研究では、手法の波及性を踏まえ、オープンソースの GIS ソフトウェアとして、QGIS、SAGA GIS（以下、SAGA）を用いた。

3.3. ゾーニングの方法論

本研究で想定するゾーニングの進め方について、図 3-1 に示す。図に示したように、ゾーニングは、①区域の設定、②評価指標の設定、③地理情報の収集、④地域スケールにおける森林管理目標の設定、⑤団地スケールにおける森林タイプ・施業法の配置の順に進めていく。

3.3.1. 空間スケール

森林のゾーニングの空間スケールに関する考え方として、河川流域を対象範囲、小集水域をゾーニングする「地域スケール」と、小集水域を対象範囲、林分をゾーニングする「団地スケール」に 2 分した階層的ゾーニングがある（光田ら 2013）。本県の地勢の特徴や、水源かん養機能の観点などから、合理的なゾーニングの単位として、流域と小集水域が挙げられる。なお、流域と小集水域は、地理情報と GIS を用いて抽出可能である。図 3-2 に事例として野洲川流域を取り上げ、流域全体が該当する地域スケールと、

野洲川の支流の一つを取り上げた場合の団地スケールの範囲をそれぞれ示した。

3.3.2. 時間スケール

森林管理目標(以下、管理目標)の設定を行う段階では、ゾーニングの時間スケールの検討が重要である。地域スケールのゾーニングでは、普遍性の高い自然的条件に基づき、数百年の時間スケールで森林管理目的の配置を行う(光田ら 2013)。ここでは、自然的条件に影響する地理情報として自然情報を分析することが重要となる。例えば、樹木の成長量に影響する地位が高い小集水域では、長期間の時間スケールで循環林としての管理目標が設定される場合が多い。なお、ここで設定する管理目標はあくまでも、自然的条件を重視した流域全体の長期的な目標である。そのため、例えば、木材生産機能の発揮を管理目標とした小集水域において、生物多様性保全機能の発揮を目的とした環境林の配置は可能である。

団地スケールのゾーニングでは、自然的条件と社会的条件の両方を踏まえ、数十年の比較的短期間の時間スケールで、森林タイプや施業法の配置を検討する。そのため、両条件に影響する地理情報として、自然情報と社会情報を取得し、分析することが重要となる。

3.3.3. 評価指標の設定

ゾーニングで検討する多面的機能の分類群については、基本計画などを踏まえて整理することが重要である。また、それ以外にも、必要に応じて意識調査を行うなどして、恣意的にならないよう幅広く抽出することが必要となる。

多面的機能を分類群ごとに評価するためには、それぞれの評価指標を決定する。地方自治体の森林管理計画において、モントリオールプロセスなどの国際的な枠組みが備えた基準や指標に基づき、同計画を策定することの重要性が指摘されている(山田 2019)。例えば木材生産機能に関し

ては、2018年に本県の森林政策課が策定した「琵琶湖の保全・再生の視点に立った森林整備指針」の中では、森林の状況を「収益性」と「災害リスク」の2つの視点で把握している。一方、モントリオールプロセスでは、基準2「森林生態系の生産力の維持」の指標2.d「木材の年収穫量と純成長量又は保続的な収穫量に対する比率」、基準3「森林生態系の健全性と活力の維持」の指標3.b「標準的な状態の範囲を超えて、非生物的な要因(例:火災、暴風雨、土地造成)により影響を受けた森林の面積と比率」があり、前者が「収益性」、後者が「災害リスク」に係る。したがって、本県の進めるゾーニングのなかで、木材生産機能について「収益性」と「災害リスク」の評価指標を設定することは、国際的な枠組みの観点からも、合理性がある。

一方で、他の機能に関する評価指標の設定については基本計画では十分に考証されておらず、モントリオールプロセスなどに基づき新たに評価指標を検討する必要がある。

3.3.4. 地理情報に基づく条件の検討

条件の評価値を算出するためのデータにはいくつかの種類がある。GISを用いたゾーニングでよく用いられる地理情報は、①国土の自然条件に関する情報(標高、地質、土壌など)、②各種法規制地域などに関する情報(都市地域、農業地域など)、③各種施設などに関する情報(道路密度、公共施設など)、④経済・社会に関する情報(土地利用など)の4つに分類できる(日本野生生物研究センター 1989)。

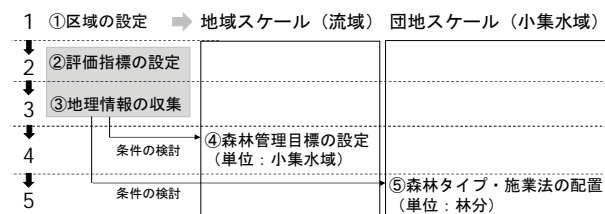


図3-1 ゾーニングの進め方



図3-2 地域スケール(流域)および団地スケール(小集水域)の例。SAGAを用いて作成。

人間の関わりの観点から、地理情報は、自然情報①、社会情報②、③、④に区分することができる。ゾーニングでは、自然・社会情報を用いながら、空間スケールの決定や、森林タイプと施業法の配置などを検討する。

機能や評価指標に関係する自然的・社会的条件を検討するためにはまず、GISや地理情報を活用するなどして、条件の評価値を計算する必要がある。ただし、自然的条件については、自然情報と社会情報のいずれかに基づく条件であれば、両情報に基づく条件もある。なお、社会情報のうち、文化機能に影響する人々の価値意識などは、量的データとしての数値化が困難である。

3.3.5. 序列化に基づくゾーニング

評価指標に関し、条件の評価値を計算した上で、多面的機能を評価し、対象地域の森林タイプと施業法の配置を検討する。この場合、評価指標を軸とし、座標空間上で序列化を行ったポジショニングマップを作成することで、関係者の合意形成にも活用することができる(光田ら 2013)。図 3-3 に木材生産機能の評価指標のポジショニングマップの例を示す。図に示したように、収益性が高く、かつ災害リスクが低い場合には木材生産機能が高くなる。また、収益性および災害リスクがともに高い場合、木材生産機能は中程度になると考えられる。なお、機能を評価するためには、数値化した評価指標について閾値を設定する必要があるが、その閾値は絶対的なものではなく、関係者で合意形成を図り決定することが望ましい場合がある。

3.3.6. 森林タイプの配置

本県では、ゾーニングの区分の考え方として、現在の針葉樹人工林については木材生産を継続する「循環林」と多面的機能の高度な発揮を目指す「環境林」に、天然林については、広葉樹林施業などの生産活動を行う「里山林」と多面的機能の高度な発揮を目指す「環境林」にそれぞれ区分することとしている。その上で、循環林では主伐や再造

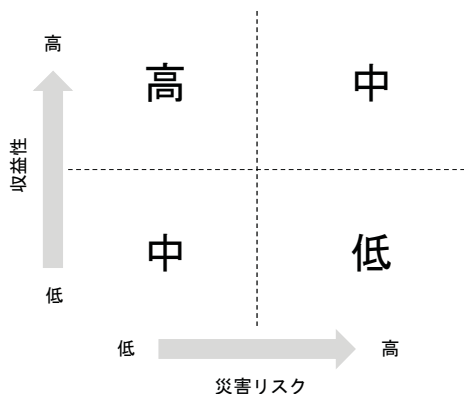


図 3-3 管理目標として木材生産機能の発揮の位置づけを検討する場合のポジショニングマップの例

林、複層林施業など、環境林では針広混交林化や保安林指定など、里山林では里山整備活動や森林サービス産業の振興といった施業法や事業を導入することとしている。

このうち、里山整備活動では、適切な手入れをしながら、必要に応じて、資源利用を図ることとしている。実態として、広葉樹材の利用が進んでいる地域がある。例えば、東近江市永源寺森林組合では、広葉樹材の木材市を開催し、木工業者と連携し家具の生産・販売に取り組み、チップ用材以外の用途を目的とした広葉樹材の生産を強化している(東近江市 2020)。管理された二次林は、基本計画で重視する生物多様性保全機能が強く維持されることから「里山」の森林の維持管理は本県において重要である。

したがって、本研究では、森林の機能区分は、基本計画を踏まえ、循環林と環境林に大別し、循環林はさらに針葉樹人工林にある経済林と、天然林にある里山林に区分した。なお、光田ら(2013)は、団地スケールのゾーニングで施業法を配置することを提案している。また、本研究のゾーニングでは、多面的機能の発揮を目指すため、森林タイプに加え、施業法の配置についても検討した。施業法の配置は、例えば、経済林においては、伐期(単伐期か、長伐期か)、主伐の方法(択伐か、皆伐か)などが挙げられる。

3.4. 管理目標として木材生産機能の発揮の位置づけを検討する場合の条件

ここでは、木材生産機能の発揮を管理目標に位置づける場合の条件について検討する。木材生産機能の発揮を管理目標に設定した小集水域では、積極的な循環林の配置が求められる。ここでの検討結果は、同機能以外の公益的機能の発揮を管理目標に設定した場合、団地スケールで循環林を配置する場合においても活用可能である。なお、実際にゾーニングを行う際には、同機能を含めた多面的機能全体についての評価指標や条件を検討し、管理目標の設定や森林タイプ、施業法の配置を検討する。

3.4.1. 収益性

管理目標として木材生産機能の発揮を位置づける場合、「琵琶湖の保全・再生の視点に立った森林整備指針」に基づく「収益性」と「災害リスク」が重要な評価指標として挙げられる。また、林分の地位格差は、林業経営の収益性に大きく影響することが知られている(長谷川 2000)。したがって、木材生産機能の評価指標には、「収益性」「地位」「災害リスク」などが挙げられる。木材生産機能を重視したゾーニングにおける、評価指標および条件、地理情報について整理した結果を表 3-1 に示す。表に示したように各評価指標について、自然情報と社会情報に基づき閾値を検討する必要がある。

収益性の条件は、集材方法を車両系と架線系に区分した場合、前者で「森林作業道の縦断・横断勾配および延長」、後者で「架線の設置と搬入の可能性」が挙げられ、いずれも、地山勾配や標高、車道の地利情報を用いて、GISで評価値を算出することができる。

車両系の収益には、道路からの距離と地山勾配が、森林作業道の設置コストや集材コストに影響を及ぼす。森林作業道作設指針では、地山勾配が35°以上の場合、丸太組などの構造物を設置するか、架線集材を行うことが望ましいとされている(林野庁 2022)。収益性を高めるため、車両系集材の適地は、地山勾配がおおよそ35°未満であることが条件となる。また、同指針では、作業道の縦断勾配として、10°から14°程度以下とすることが示されている。そのため、これらの勾配の条件を満たす線形の作業道の設置が不可欠である。斜面勾配および道路のデータおよびSAGAを用いて、大津市葛川の森林を事例に林道からの到達距離を分析した結果を図3-4に示す。なお、この分析では、地山勾配の閾値θを35°以下、作業道の縦断勾配φを14°に設定し、5mDEMを用いて計算した。幅Aが5mの斜面メッシュを想定すると、メッシュの1マスを横切る場合の登攀距離Lは次の式が成り立つ(山田 2012)。

$$L = A \frac{\tan \theta}{\sin \phi}$$

なお、架線系集材の収益性を高めるためには、集材機を目的地まで運搬するための道路が配置されていることに加え、道路の位置や地山勾配などを勘案して、集材効率の良い配置パターンを検討することが重要である(林野庁 2015)。架線集材のうち、例えば、タワーヤードに関しては、地理情報を用いることで、集材可能な範囲が抽出できることが報告されている(木野・長島 2023)。

3.4.2. 地位

収益性に影響を及ぼすその他の要因として地位がある。標高や地山勾配、方位などの地形条件(Mitsuda et al., 2007)や、花崗岩や未固結堆積物群の分布といった土壌条件(西川・西川 1998; 島田 2010)は地位に影響していると考えられる。なお、これらの条件に関するDEMデータを用いた地位指数推定モデルが考案されている(Mitsuda et al., 2007)。

表3-1 管理目標として木材生産機能の位置付けを検討する場合の評価指標および条件

評価指標	条件	地理情報		参考文献
		自然情報	社会情報	
収益性(車両系)	森林作業道の縦断・横断勾配および延長	DEM(基盤地図情報)	真幅道路・軽車道・徒歩道(基盤地図情報)	木野・長島(2023) 光田(2023)
収益性(架線系)	架線の設置と搬入の可能性	DEM(基盤地図情報)	真幅道路・軽車道・徒歩道(基盤地図情報)	
地位	地位指数の値	林冠高(航空LiDAR)、林齢(森林簿)		
災害リスク	指定地	災害・防災データ(国土数値情報)		
	集落の近くで地山勾配が急	DEM(基盤地図情報)		
	積雪が多い	平均値メッシュデータ(国土数値情報)	男女別人口総数及び世帯総数(統計地理情報システム)	
	風速が大きい	風害リスク指数	農業集落境界データ(農林水産省統計部)	安田ら(2020)

林齢が既知の森林においては地位の推定が可能である(光田 2023)。本県では航空機LiDARによる計測が一部地域で行われており、林冠高を推定できる。また、本県では森林政策課が作成した「間伐マップ」のシェイプファイルの属性データの中に林齢が含まれている。林冠高と林齢のデータを用いて大津市内のスギの施業実施林分において地位を推定した結果を図3-5に示す。図に示したように、施業実施林分に限っては地位指数を推定できるが、より広範囲で行うためには、林齢に関する地理情報をより網羅的に整備することが重要である。なお、地位指数の推定では次の地位指数曲線を用いた(今井 2006)。

$$\text{スギ } Ht = H * (1 - \exp(-0.0795 - 0.0159(t-5)))$$

ただし、Htは地位指数、Hは平均樹高、tは林齢

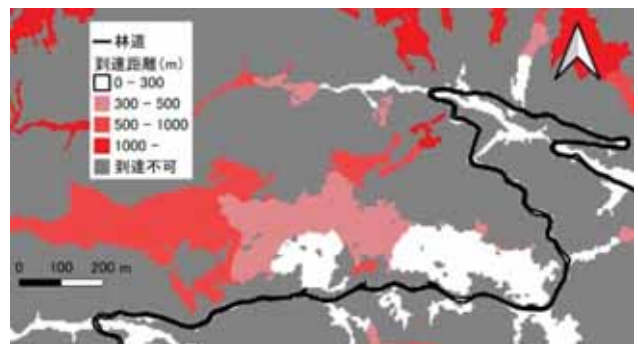


図3-4 大津市葛川の森林を事例に林道からの到達距離を計算した結果

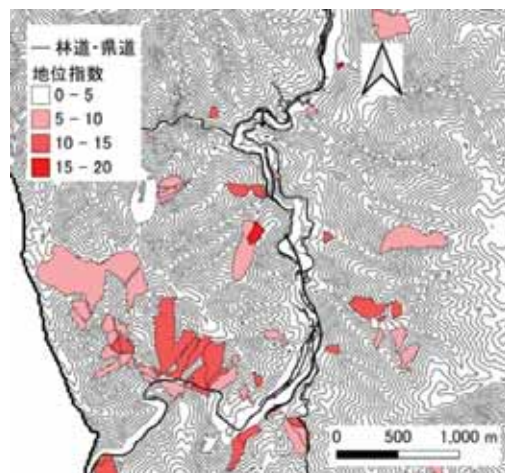


図3-5 大津市スギ施業実施林分の地位の推定値

3.4.3. 災害リスク

災害リスクに関しては、木材生産に起因して人的な被害による発生と、気象災害に分けて考えることが必要である。このうち、人的な被害については、土砂災害、地すべり、急傾斜地の崩壊などが考えられる。これらの災害は、対策の重要度が高いことから、国土数値情報の災害・防災データの中で、土砂災害危険箇所、地すべり防止区域、災害危険区域、土砂災害警戒区域、急傾斜地崩壊危険区域のポリゴンが公開されている。

集落に隣接する森林における災害危険区域などの災害リスク情報、急峻な地山勾配といった条件を検討することで、木材生産機能における災害リスクを評価し、リスクが高いと判断した場合には環境林を配置することが求められる。

一方、災害リスクのうち、気象災害については雪害や風害などが挙げられる。このうち、風害の発生リスクは、より強い風が、より高い頻度で吹く場合にリスクが高くなる。風速 30ms^{-1} を超える場合における風害リスクの指標として、風害リスク指数が開発されている（安田ら 2020）。滋賀県における風害リスク指数の分布を図 3-6 に示す。

3.5. 管理目標として公益的機能の発揮の位置づけを検討する場合の条件

ここでは、木材生産機能以外の公益的機能を管理目標に設定する場合の条件、または木材生産機能の発揮を管理目標に設定した場合、団地スケールで環境林を配置する場合のゾーニングの条件について検討する。

3.5.1. 水源かん養機能

水源涵養機能は大きく、洪水緩和機能と水質浄化機能に区分される。そのため、管理目標として同機能の発揮を目指す場合、洪水緩和と水質浄化を評価指標とする。

洪水緩和機能では、山地災害に含まれる洪水と土砂害がいずれも規模の大きい降雨によって引き起こされることから（小島ら 2018）、規模が大きい降雨時でも災害を抑制できることが条件となる。また、条件に関わる地理情報には、斜面方位や地山勾配、地質、土壌層の厚さ、降水量などの自然情報が挙げられる（小島ら 2018）。

森林タイプの配置について、水源かん養機能の発揮を森林管理目標に位置づけた小集水域では、循環林と環境林のいずれの配置も可能である。また、森林タイプの配置は、施業法と併せて検討することが必要である。例えば、循環林を配置する場合、降雨時の地表流の土壌浸食力を抑制するために大面積皆伐を避け、小面積皆伐や択伐、長伐期多間伐方式を導入することにより、水源かん養機能の発揮を促進することができる（藤森 2020）。

3.5.2. 地球環境保全機能

ここでは、二酸化炭素を吸収し、蓄積する炭素固定機能を取り上げ、管理目標として同機能の発揮を目指す場合の条件について検討する。

炭素固定機能は、木材成長量が大きいほど高くなることから、木材成長量を評価指標の 1 つとする。

木材成長量は、循環林で天然林よりも大きくなることが知られている（山浦・山田 2022）。また、木材成長量は地位と相関がある。したがって、木材成長量に加えて、地位が高いことも条件の一つとなると考えられる。

森林タイプの配置について、炭素固定機能の発揮を管理目標にした小集水域では、循環林を優先的に配置することが望ましい。また、施業法については、炭素吸収機能は 65 年生以降に低下するため（山下ら 2021）、65 年生未満の伐期を設定することなどが挙げられる。

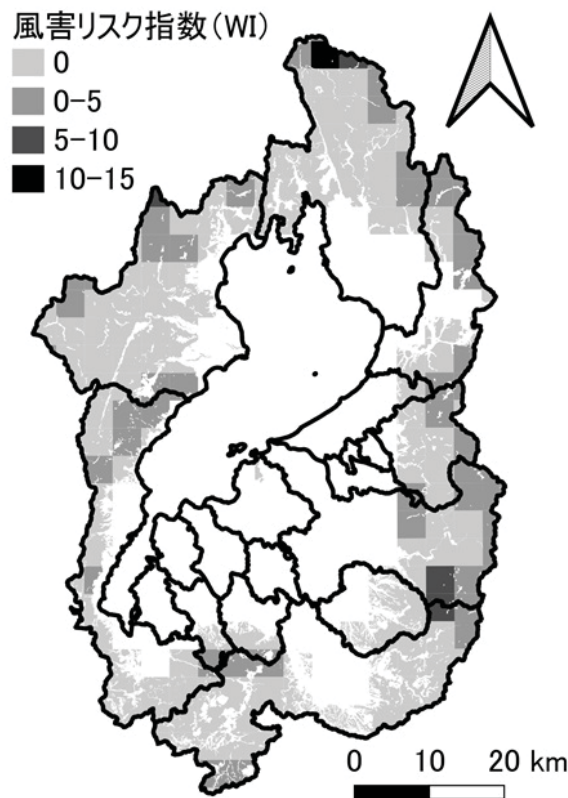


図 3-6 滋賀県における風害リスク指数の分布

3.5.3. 生物多様性保全

管理目標として生物多様性保全機能の発揮を目指す場合、団地スケールの γ 多様性に着目する考え方が重要になる。光田ら (2013) は、生物多様性の保全のために、団地スケールの γ 多様性に着目し、自然立地環境に対応した異なる自然植生のタイプの再生を目的とした。例えば、阿武隈山系の南部を対象としたゾーニングでは、ブナ優占林の成立適性を気候および地形といった自然情報

を用いて管理指標とし、ブナ優占林成立適性が傾度に沿って変化すると仮定して γ 多様性を評価した（光田ら 2013）。したがって、 γ 多様性を評価するためには、地域性を踏まえて地理情報を作成する必要がある。

本県においては、ブナの分布は、北部で標高 400m 以上、南部では標高 600m 以上にある。そのため、ブナの分布域では、ブナ優占林成立適性を評価指標とし、団地スケールの管理目標として生物多様性保全機能を設定する方法が考えられる。

森林タイプの配置について、生物多様性保全機能の発揮を管理目標に位置づけた小集水域では、里山林または環境林の配置を重視することが求められる。同機能を高めるためには、団地スケールで木本種の γ 多様性や、森林タイプの時空間的なモザイク配置、あるいは森林を含む複数の生態系の配置を踏まえて検討する必要がある。施業法には、例えば、里山林において適期的な択伐を実施、多様な遷移段階の二次林が存在するように促すことが挙げられる。

3.5.4. 土砂災害防止／土壌保全

土砂災害防止機能は、大きく、表面浸食と表層崩壊の抑制に区分することができる。そのため、管理目標として、土砂災害防止機能の発揮を目指す場合、評価指標を表面浸食と表層崩壊に区分し、前者の条件として、森林斜面に下層植生やリター層が十分に存在していること、後者については発達した樹木根茎が存在していることを位置づけられる。ただし、これらの条件に関係する自然情報は整備されていない。

森林タイプの配置については、同機能の発揮を森林管理目的に位置づけるかどうかに関わらず、同機能は考慮されるべきである。同機能の発揮が強く求められるのは、人的な被害が大きい場合である。そのため、例えば、管理目標として木材生産機能の発揮を位置づけた小集水域においても、災害リスクが高い人工林は、環境林に位置づけることが求められる。

3.5.5. 文化機能

文化機能は、①人々の精神的、文化的、あるいは知的向上を促す機能であり、②人々の歴史性・民族性・地域性に関わる機能でもある。モントリオールプロセスの基準 6「社会の要望を満たす長期的・多面的な社会・経済的便益の維持及び増進」では、6.5「文化的、社会的、精神的なニーズと価値」があり、指標として「人々にとっての森林の重要性」がある。

人々にとっての森林の重要性は、人々の価値意識に関わるものであり、時間軸で変化していく社会的条件である。

そのため、文化機能は管理目標よりも、森林タイプと施業法の配置において検討すべき機能である。

人々の価値意識については、個人の属性に関するさまざまな条件が内在しており、ゾーニングにおいてはその条件を詳細に分析するよりも、価値意識そのものを把握することが求められる。そのため、社会情報として、人々の文化機能に対する価値意識を意識調査などにより把握することは極めて重要である。

森林タイプの配置については、いずれの多面的機能を森林管理目的に位置づけた場合においても、同機能の発揮を並行して考えることが求められる。文化機能の発揮が認められる森林の範囲については、事例によってさまざまである。前述したトチノキ巨木林では、市民活動の成果として巨木の位置情報のデータが存在している（青木 2020）。一方で、比叡山や奥永源寺の事例では、対象となる森林の範囲が必ずしも明確ではない。したがって、意識調査を行うなどして、人々の価値意識を把握し、適切な森林タイプを配置することが求められる。

3.5.6. 保健・レクリエーション機能

本県の基本構想では 13 の政策を掲げており、「からだところの健康づくり」、「滋賀ならではのツーリズムの推進と地域の活力づくり」など、レクリエーションや観光に係る政策がある。特に近郊林では同機能の発揮が求められ、除間伐などの施業法の導入が課題となってきた（岸上 1996）。

森林を利用したレクリエーションの形態は多様であり、文化機能と同様に人々の価値意識に関わり、時間軸で変化していく。したがって、管理目標よりも森林タイプと施業法の配置において機能すべきである。

森林タイプの配置については、いずれの多面的機能を森林管理目的に位置づけた場合においても、同機能の発揮について林分を単位として検討することが重要である。ここでは、代表的な形態の一つである山登りを例に取り上げ、木材生産機能の発揮を森林管理目的に設定した小集水域における森林タイプと施業法の配置について検討する。

近年、周囲の自然や地域の文化、歴史、人々と触れながら歩く「ロングトレイル」が新たなレクリエーションとして認知され、本県の高島トレイルもその一つである（木村 2017）。山登り、ロングトレイルのいずれも林内の歩道を歩くため、特定のルート of 始点と終点の間で、歩道に沿った森林タイプの種類と分布は、それらのレクリエーションの価値に影響すると考えられる。

森林タイプの配置については、歩道の利用状況の評価指標に設定し、条件を検討する。その上で、条件に応じて、歩道に沿った区域に環境林や経済林を配置する。施

業法としては、長伐期施業を導入し、林内の光環境を改善していくことが重要になる。また、その際に用いる地理情報として、自然情報である林相区分図、社会情報である道路のデータが挙げられる。

3.6. 森林のゾーニングの条件

管理目標として公益的機能の位置づけを検討する場合の評価指標と条件、地理情報について一部を整理した結果を表3-2に示す。各機能について評価指標、条件を設定し、自然情報と社会情報を活用して機能を数値化し、ゾーニングに反映させることができる。基本計画では多面的機能の発揮を目指すことから、これらの評価指標や条件を考慮して、木材生産機能に加えて公益的機能も考慮したゾーニングを進めていくことが求められる。

しかしながら、次のようにいくつかの課題がある。

まず、地理情報が十分に整備されていない点である。例えば、土砂災害防止機能では、表面浸食および表層崩壊の評価指標に関する地理情報が不足している。また、文化機能についても、人々の価値意識の程度を把握する地理情報がない。これらの地理情報について整備する必要がある。

次に、本研究で取り上げた評価指標や条件だけではゾーニングの検討には十分ではない可能性がある。そのため、森林のゾーニングに着手する段階において、関係者が多面的機能に関する評価指標および条件について十分に議論することが重要である。

3.7. まとめ

森林のゾーニングにおいては、水源かん養機能の発揮の観点から、ゾーニングの空間スケールを流域および小集水域を単位として設定すること、また、生物多様性保全の観点からは、配置する森林タイプにおいて、二次林から形成される里山林を含めることが重要である。

地域スケールの管理目的および団地スケールでの森林タイプの配置を検討するために、既存の計画や国際的な枠組みであるモントリオールプロセスを踏まえ、各機能の評価指標を合理的に検討することが求められる。その上で、

評価指標に関係する条件を設定し、GISと地理情報を活用して条件に影響する自然情報と社会情報を分析し、整理する方法を例示した。

一方で、地域の森林で長期的に多面的機能の発揮を図る観点から、条件の分析で不可欠な自然・社会情報の整備が不十分である。例えば、自然情報では、樹木の成長に影響する地位、詳細な林相区分と樹種区分、社会情報では人々の価値意識などが挙げられる。今後、これらの情報基盤を構築していくことが重要である。

4. 人工林伐採後の天然更新にかかる野外調査

4.1. はじめに

近年、森林が持つ多面的機能を高度に発揮させていくため、人工林の一部を環境林に位置づけ、天然更新による針広混交林や広葉樹林への誘導の取り組みが全国的に行われている（島田・野々田 2010）。広葉樹林化を目指す天然更新地では、将来成立する広葉樹林の構成種となる、更新木の種子が侵入し、発芽後、稚樹が成長していくことが重要となる。そのためには、天然更新を行う人工林の周辺で稚樹の種子供給源が十分に確保されていることや、供給源からの距離が近いことが重要である（今ら 2013）。第五期中期計画では前述したように、供給源から近い森林で実現可能性を確認した。

一方、本県の人工林は、広葉樹種子源が少ない、遠距離に位置するなど、更新に不利な場所が少なくない。広葉樹種子源の存在だけでなく、斜面方位や土壌型、標高といった不変的要因に加え、林床型や樹冠疎密度といった可変的要因が重要である（松崎・河原 2006）。このうち、林床型は、林床の植生を「木本優占型」「ササ優占型」「草本優占型」「シダ優占型」などに区分するものである（菅原ら 2018）。林床型は、針葉樹の人工造林の適地を判断する上での有効性は報告されてきたものの（埼玉県秩父農林振興センター 2015）、広葉樹林化を目指す天然更新では十分な検討は行われていない。

そこで、本研究では、広葉樹種子源の少ない条件下の人工林における、択伐による天然更新の可能性を評価するこ

表3-2 管理目標として公益的機能の発揮の位置づけを検討する場合の評価指標と条件、地理情報

機能	評価指標	条件	地理情報		参考文献
			自然情報	社会情報	
水源かん養機能	洪水緩和機能	規模が大きい降雨時に災害を抑制	斜面方位や地山勾配、地質、土壌層の厚さ、降水量		小島ら (2018)
地球環境保全機能	炭素蓄積機能	地位指数の値	林冠高（航空LIDAR）、林齢（森林簿）		
生物多様性保全機能	γ多様性	ブナ優占林成立適性 森林タイプの時空間的なモザイク配置 サンバの生息適地	気候、地形 林相区分図、樹種区分図 DEM、林相区分図		光田ら (2013) 松浦ら (2001)
土砂災害防止機能	アンブレラ種の生息地 表面浸食 表層崩壊 災害リスク	森林斜面に下層植生やリター層が十分に存在 発達した樹木根茎が存在 指定地 集落の近くで地山勾配が急	災害・防災データ（国土数値情報） DEM（基盤地図情報）	男女別人口総数及び世帯総数 農業集落境界データ	
文化機能	文化機能に対する価値意識	価値意識の程度			
保険・レクリエーション機能	歩道に沿った森林タイプ 景観	森林タイプの種類と分布 眺望点の利用状態 眺望の状態	林相区分図、樹種区分図 DEM（基盤地図情報）	真幅道路・軽車道・徒歩道 真幅道路・軽車道・徒歩道	環境省 (2000)

とを目的とした。そのため、まず、同条件下にあり、林床型の異なる2か所の調査地を設定し、両調査地における伐採後の稚樹の侵入と成長過程を比較した。その上で、これらの自然的条件が天然更新の実現可能性に及ぼす影響について検討した。

4.2. 調査地

大津市伊香立のスギ人工林 (A 調査地) および東近江市杠葉尾のスギ・ヒノキ人工林 (B 調査地) の2か所を調査地として選定した (図4-1)。両調査地において、ニホンジカによる稚樹の摂食を防ぐための防護柵を設置し、設置後の春期から1年間を第1生育期と位置づけた上で、柵内でプロット調査を行った。

4.2.1. A 調査地

A 調査地は生産森林組合が所有し、北西向き斜面にあり、傾斜は約32°、地質は段丘堆積層 (古生層) であった (林1974)。同調査地では、2014年6月に、スギの優勢木を中心とした単木の伐採が実施され、造林木の本数密度は、伐採前は約1,600本 ha⁻¹、伐採後は約470本 ha⁻¹であった。同調査地では2016年5月に、10m×20mの防護柵で囲ったプロットを設置した。プロットの外周から半径50mの範囲において、造林木以外で胸高直径が5cm以上の木本植物は確認されなかった。

4.2.2. B 調査地

B 調査地は造林公社の営林地であり、南西向き斜面にあり、傾斜は約18°、地質は花崗岩であった。このように、B 調査地はA 調査地と比較し、斜面方位や地質、それらの影響を受ける土壌型がそれぞれ異なる自然的条件を有している。同調査地では、2019年10月に、スギおよびヒノキの優勢木を対象に択伐が実施され、造林木の個体密度は、伐採前は約1,100本 ha⁻¹、伐採後は約650本 ha⁻¹であった。同調査地では2020年4月、5m×5mの防護柵で囲ったプロットを設置した。プロットの中心から半径50mの範囲において、造林木以外で胸高直径が5cm以上の木本植物は、クリが4本、タムシバが2本、コナラが1本、アカシデが1本であった。

4.3. 調査方法

プロット調査は毎年9月から11月に実施した。調査期間は、A 調査地では2016年 (第1生育期) から2022年 (第7生育期)、B 調査地は2020年 (第1生育期) から2022年 (第3生育期) であった。なお、A 調査地では、プロットを5m×5mの8区画に分割し、区画ごとにデータを整理した (図4-2)。

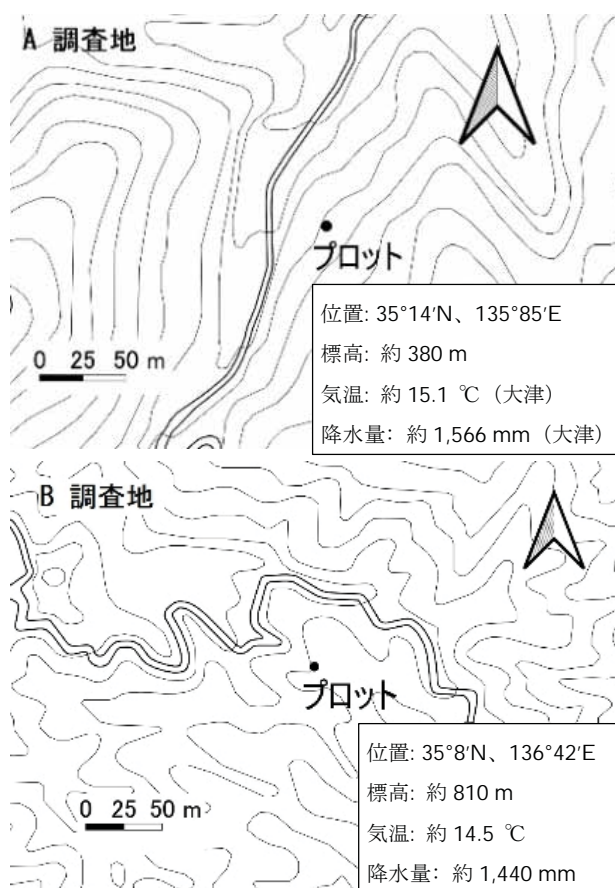


図4-1 調査地の概要

出典: 気象庁 (2023)

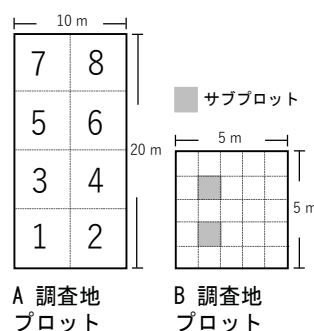


図4-2 プロットの概要

4.3.1. 稚樹の消長

A 調査地では区画毎に、B 調査地ではプロット内にそれぞれ1m×1mのサブプロット2つを無作為に選び、サブプロット内で確認された樹高5cm以上の稚樹について、種の同定および樹高の計測を行った。樹高は、地際から稚樹の最上端までの高さとし、コンベックスで計測した。また、牧野 (1989) に基づき、出現種を高木種、亜高木種、低木種の3つの生活型に区分した。両調査地の稚樹の個体密度を比較するため、サブプロットのデータに基づき、Studentのt検定により有意差検定を行った。なお、サブプロットの中心点の間の距離は2mであった。

4.3.2. 高木種および亜高木種の消長

高木種および亜高木種について、プロット内の全域で確認された樹高 20 cm 以上の個体を対象に、種の同定および樹高の計測を行った。また、プロットの構成種の個体密度に基づくプロット間の相関について、Spearman の順位相関係数を用いて評価した。なお、分析には統計解析ソフト R (バージョン 3.1.9) を用いた。

4.3.3. 競合植生および相対照度の把握

稚樹の消長に影響する要因として、競合植生の生育状況および相対照度に着目した。競合植生については、A 調査地では区画毎に、B 調査地ではプロット全体で、毎年 9 月から 11 月にかけて、高さ 1 m 未満の草本層における種ごとの植被率を Braun-Blanquet の全推定法を用いて目視評価した。なお、同推定法に基づき調査区内で各構成種がどの程度の面積を覆っているのかを表す測度を被度と定義し、被度が 75%以上を階級「5」、50%から 75%を階級「4」、25%から 50%を階級「3」、個体数が極めて多いか、または被度が 10%から 25%を占めているものを階級「2」、個体数は多いが被度が 5%以下のものを階級「1」、個体数および被度がともに少ないものを階級「+」とした。相対照度は、A 調査地では区画毎に、B 調査地ではプロット全体を対象として、毎年 9 月、デジタル照度計 (LX-1000、カスタム) により曇天日の正午頃に測定した。

4.4. 結果

4.4.1. 調査地における草本層の植被率および相対照度

A 調査地における 2018 年 (第 3 生育期) と 2022 年 (第 7 生育期) の草本層の植被率を表 4-1 に整理した。表に示したように、2018 年から 2022 年にかけて、リョウメンシダやミヤコザサ、スゲ属の一種の植被率が高かった。また、2018 年にはイワヒメワラビやコバノイシカグマの植被率が比較的高かったが、2022 年にかけて両種の植被率は低下した。なお、谷の向かい側にある南東斜面においても、種組成や植被率は同程度であった。

次に、B 調査地における 2018 年と 2022 年の草本層の植被率について表 4-2 に示す。表に示したように、同期間、草本層の植被率は低く、シシガシラ、トウゲシバ、スゲ属の一種が点在していた。なお、現地調査の結果から、尾根を挟んだ北北東の斜面においても、種組成や植被率は同程度であった。

また、プロット内の相対照度は、A 調査地は全区画の平均値で 2018 年が約 32.1%、2022 年が約 17.1%であり、各区画で大きな差は認められなかった。一方、B 調査地は 2020 年が約 33.5%、2022 年が約 32.2%であった。

4.4.2. 稚樹の個体密度

両調査地における第 3 生育期の稚樹の個体密度を図 4-3 および図 4-4 に示す。A 調査地の各区画における 2018 年の生活型別の個体密度に関しては、区画 4 の約 2,800 本 ha⁻¹ から区画 8 の約 14,000 本 ha⁻¹ までの間で区画ごとに大きくばらついた。また、生活型別の個体密度の平均値は、低木種が最も高く約 3,800 本 ha⁻¹ となり、続いて亜高木種が約 2,600 本 ha⁻¹、高木種が約 1,200 本 ha⁻¹ となった。

次に、B 調査地における 2022 年の生活型別の個体密度については、全体で 50 万本 ha⁻¹ 以上の稚樹が確認された。また、生活型別の個体密度では、高木種が約 511,000 本 ha⁻¹ と大部分を占め、次に低木種が約 31,000 本 ha⁻¹、亜高木種が約 9,000 本 ha⁻¹ となり、いずれも A 調査地と比較して多かった ($p < 0.01$)。

次に、両調査地における第 3 生育期の高木種の個体密度について整理した結果を図 4-5 および図 4-6 に示す。まず、A 調査地の各区画における高木種の個体密度については、図に示したように、大部分が落葉性の種であった。このうち、アオハダとヤマザクラは複数の区画で高い個体密度となっていた。一方、B 調査地における高木種の個体密度についてみると、ヒノキが約 435,000 本 ha⁻¹ と最も多く、次にスギが約 70,000 本 ha⁻¹ となり、造林樹種である両種で大部分を占めた。造林樹種以外では、コシアブラが最も多く約 2,800 本 ha⁻¹、次にアオハダが約 1,600 本 ha⁻¹、ヤマザクラが約 1,200 本 ha⁻¹ などとなった。

次に、A 調査地における 2022 年 (第 7 生育期) の高木種の種別の個体密度を図 4-7 に示す。2018 年 (第 3 生育期) と比較すると、2018 年から 2022 年にかけて個体密度の増加幅は、区画 1 と区画 2、区画 5 で大きく、区画 4 と

表 4-1 草本層の植被率 (A 調査地)

	2018								2022							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
リョウメンシダ	2	2	3	1	2	2	2	3	3	2	4	3	3	3	3	4
イワヒメワラビ			1		2	1		2								+
コバノイシカグマ	+	2	2	1			1	2					+			
イワガネゼンマイ	1	+	1	1					1	1	1	1		+		+
サイゴクベニシダ					+			1					1			2
イノデ					+						+		+		1	+
トウゴクシダ	+		+		+				+	+	+	+	+	1		+
イワガネソウ								+								+
ナンゴクナライシダ						+								+		
フモトシダ														+		
ベニシダ								+								+
ヤマイタチシダ											+					
ミヤコザサ	1	1	3	2	3	1	3	2	2	2	4	3	4	2	5	3
スゲ属の一種	2	3	3	2	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	2	2

表 4-2 草本層の植被率 (B 調査地)

	2020	2022
シシガシラ	1	1
トウゲシバ	+	+
スゲ属の一種	1	1

区画6で小さかった。なお、区画7は、2018年と2022年で約3,000本 ha⁻¹となり、同程度であった。

また、2022年にアオハダは区画1で約1,200本 ha⁻¹、ヤマザクラは区画5で約2,000本 ha⁻¹とそれぞれ高かった。一方、アカメガシワは区画3、7で同期間に個体密度が減少した。両年の各種の個体密度の関係について、Spearmanの順位相関係数を用いて評価したところ、両者の間に有意な相関関係が認められた($r = 10.8$, $p < 0.01$)。

4.4.3. 稚樹の樹高成長

A調査地における主な高木種の樹高成長の推移を図4-8に示す。図に示したように、いずれの種も平均樹高が樹高成長に伴い増加した。2018年にはアオハダが約54.2 cm、ヤマザクラが約74.1 cm、アカメガシワが約75.4 cmであり、2022年にはそれぞれ158.3 cm、195.6 cm、157.5 cmまで増加した。その結果、3種の樹高の平均値は、2018年(約67.9 cm)から2022年(約170.5 cm)にかけて約2.5倍に増加した。

次に、B調査地における主な高木種の樹高成長の推移の結果を図4-9に示す。図に示したように、いずれの種も平均樹高が樹高成長に伴い増加した。調査期間の平均樹高の増加率はアオハダが最も大きく、2022年(第3生育期)には同種の平均樹高は30 cm以上となった。

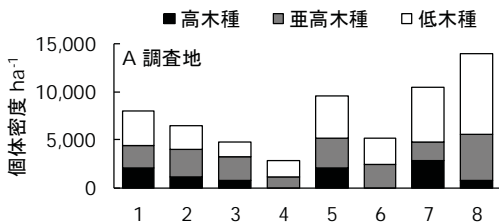


図4-3 第3生育期における生活型別の稚樹の個体密度(A調査地)

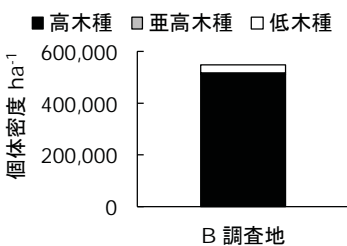


図4-4 第3生育期における生活型別の稚樹の個体密度(B調査地)

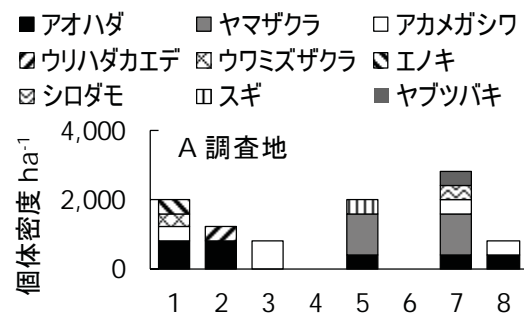


図4-5 第3生育期における高木種の稚樹の個体密度(A調査地)

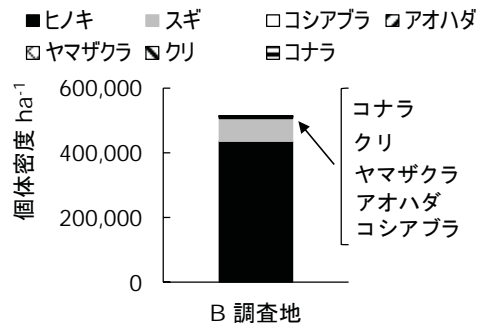


図4-6 第3生育期における高木種の稚樹の個体密度(B調査地)

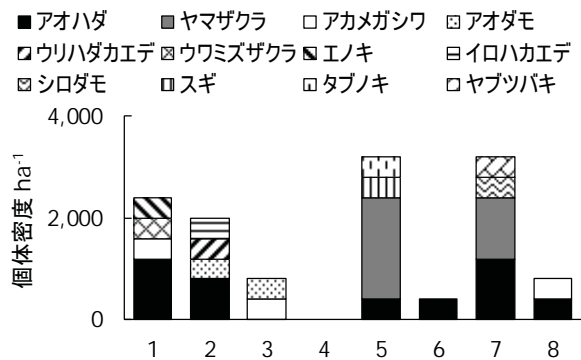


図4-7 A調査地における第7生育期の高木種の稚樹の個体密度

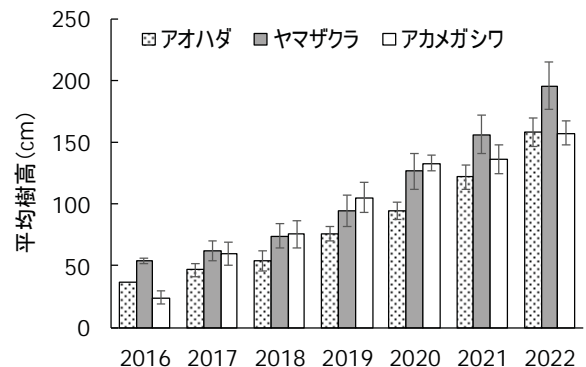


図4-8 A調査地における主な高木種の稚樹の樹高成長の推移

図中のエラーバーは標準誤差を示す

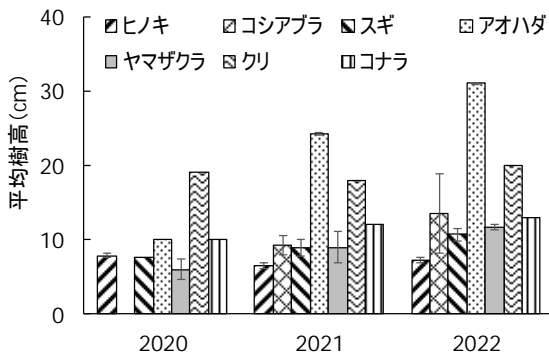


図 4-9 B 調査地における高木種の稚樹の樹高成長の推移
図中のエラーバーは標準誤差を示す

4.5. 考察

4.5.1. A 調査地における第 7 生育期までの稚樹の動態

A 調査地における稚樹の個体密度に着目すると、第 3 生育期 (2018 年) に区画による差が大きく、特に、区画 1 と区画 2、区画 5 と区画 7 がそれぞれ隣接していた (図 4-3)。照度の差は各区画の間で大きくなかったことから、10 m×20 m のプロット内の位置により、埋土種子や新たに散布された種子の量にばらつきがあったことが影響したものと考えられる。第 7 生育期 (2022 年) になっても、区画間の個体密度の差が解消されず、両生育期の個体密度に相関が確認された。これらの結果から、少なくとも、第 7 生育期の段階における高木種の稚樹の種組成と個体密度は、第 3 生育期の時点で予測できることが示唆された。

また、A 調査地における稚樹の樹高成長に着目すると、個体密度が多かったアオハダ、ヤマザクラ、アカメガシワの 3 種の平均樹高は、第 1 生育期 (2016 年) から第 7 生育期 (2022 年) にかけて約 2.5 倍に増加し、約 170.5 cm となった (図 4-8)。島田・野々田 (2010) は、三重県全域の針葉樹人工林を対象に、高木性広葉樹の稚樹の侵入状況を調査した結果から、照度が高いほど、個体密度が増えることを示した。また、単木での伐採による天然更新を図る場合、林内の相対照度が 20%~30%程度になれば多くの種の実生が侵入できると考えられている (市河・荻野 1986)。本研究では両調査地とも相対照度が 30%以上あり、A 調査地の結果を踏まえると、第 3 生育期の段階の相対照度が同程度以上あれば、稚樹の侵入と樹高成長を促進できると考えられる。

4.5.2. 調査地における伐採後の稚樹の侵入と成長過程

伐採後の稚樹の侵入と成長過程を比較すると、いくつかの点で大きな違いが認められた。

まず、A 調査地と B 調査地における稚樹の個体密度を比較すると、B 調査地では全体の個体密度が極めて多く、高

木種の割合が高かった (図 4-4)。両調査地の相対照度は同程度であったが、草本層は A 調査地においてリョウメンシダやミヤコザサを中心とした植被率が極めて高く、B 調査地ではシガラシラなどによる植被率は 10%に満たなかった (表 4-1、表 4-2)。森澤ら (2010) は、ヒノキの天然更新過程におけるササ抑制処理の効果を検討した結果から、ササの被覆を低下させる処理がヒノキの天然更新促進に大きな効果をもたらしたことを報告している。したがって、両調査地の草本層の植被率の差が、稚樹の個体密度の違いに影響しているものと考えられる。

また、稚樹の種組成は、いずれの調査地においても、確認した稚樹のほとんどは落葉性であった。このことは、周囲に常緑性の樹種の種子源が少ないことが影響したと考えられる。

確認された稚樹のうち、個体密度が多い種は、A 調査地でアオハダ、ヤマザクラ、アカメガシワ、B 調査地でコシアブラ、アオハダ、ヤマザクラで、いずれも特定の樹種に限られた (図 4-5、図 4-6)。周囲に広葉樹種子源がないスギ人工林において、皆伐後に稚樹の侵入状況を調査した先行研究では、アカメガシワやヌルデなどの先駆性樹種の稚樹が多いことや、アオハダ、ヤマザクラ、エゴノキなどの二次林構成種が侵入している (石川 2020)。

本研究で確認された先駆性樹種は、A 調査地のアカメガシワであった。アカメガシワやカラスザンショウなどの先駆種は相対照度が約 4.4%以上あれば林内でも発芽することが報告されている (市河・荻野 1986)。しかし、A 調査地ではアカメガシワの個体密度が減少傾向で推移していたことや、樹高成長が二次林構成種のアオハダやヤマザクラと同程度かそれ以下にとどまっていたことは、アカメガシワの生育環境は相対照度の制約を受けていることを示唆している。両調査地において先駆種は発芽するものの、比較的低い生存率により優占度が抑制されているものと考えられる。

また、本研究では二次林構成種であるアオハダ、ヤマザクラ、アカメガシワなどの稚樹が両調査地で共通して確認されたが、これらの種は周囲に広葉樹種子源がないスギ人工林で行われた先述の先行研究においても確認されている (石川 2020)。また、いずれも鳥散布型の樹種であり、種子が比較的長距離を散布されるものと考えられる。そのため、周囲に広葉樹種子源がない場合でも、一定数の種子が散布され、実生の侵入が図られるものと考えられる。

一方、B 調査地ではクリやコナラといったブナ科の高木性樹種の種子源がプロット周辺に存在しており、個体密度は少ないが両種の稚樹の侵入が確認された (図 4-6)。このことは、広葉樹種子源として、まとまった面積の広葉樹林だけではなく、天然更新地に単木で生育する広葉樹種の

個体の存在の重要性を示唆している。

4.5.3. 調査地における稚樹の樹高成長

稚樹の樹高の増加率に関する両調査地の結果をみると、A 調査地は B 調査地と比較して大きかった。また、B 調査地で個体密度が最も多かったヒノキの樹高増加率は極めて低かった (図 4-8、図 4-9)。

A 調査地は、北西向き斜面にあり、リョウメンシダが優占することなどから、土壌が適度に湿った土壤型であると考えられる。

一方で、B 調査地は、南西向き斜面であった。南西斜面は、北向きの斜面と比較すると土壌の水分量が少なく、その変化量の増減が大きい(藤澤ら 2009)。これらの点から、A 調査地に対して B 調査地の土壌はやや乾燥していると考えられる。さらに、シシガシラの個体密度がやや高かったことから、同地は地位が低いとみられる。

ヒノキの適地は土壤型が黒ぼく土で、林床が適度に湿っているコケ型であることが重要である(松崎・河原 2006)。本研究の結果も踏まえると、天然更新により広葉樹林化を図る場合にも、土壌が適度に湿った林床型であることが重要な条件になることが示唆された。

一方で、今後の稚樹の生育の点から課題もある。高木種の樹高成長について、第 3 生育期に A 調査地で約 67.9 cm、B 調査地で約 17.8 cm と、いずれもニホンジカの採食範囲のほぼ上限とされる地上 200 cm を下回っていた。新たな稚樹の発生数は、A 調査地で第 3 生育期には約 2,800 本 ha⁻¹、B 調査地でヒノキとスギを除く高木種が約 6,400 本 ha⁻¹であった。A 調査地で第 7 生育期の発生数は、約 3,200 本 ha⁻¹であった。高木性の樹種による天然更新の成功率は、稚樹の個体密度が 20 万本 ha⁻¹になると高くなる(正木ら 2012)ので、各地で導入されている広葉樹の天然更新の完了条件は、樹高 30cm 以上の稚樹の個体密度が 5,000 本 ha⁻¹以上生存である。これを鑑みると、本研究の調査地では基準本が低すぎるといえる。

4.5.4. まとめ

広葉樹種子源の少ない針葉樹人工林における天然更新では、相対照度が約 30%以上となるように伐採を行うことで、鳥散布型の種を中心に、高木性種の稚樹が一定数確認された。また、これらの稚樹の樹高成長に伴い、群集全体の平均樹高が増加した。これらの稚樹の中には、アオハダやヤマザクラのように調査地間で複数の共通種が含まれ、稚樹の樹高成長には、両調査地の地質や斜面方位、土壤型などの違いが影響していることが示唆された。

これらの結果から、広葉樹種子源の少ない針葉樹人工林でも、長距離の鳥による種子散布があり、低密度で鳥散布

型の稚樹が確認でき、針広混交林化が進んでいくと考えられる。そのため、ゾーニングで環境林の配置を検討する場合には、周囲に種子供給源が少ない森林に環境林を配置しても問題はないと考えられる。

また、広葉樹種子源が少ない針葉樹人工林を環境林に位置づけた場合の施業法には、最初の伐採で、相対照度が約 30%以上となるよう伐採本数を決定することが重要である。このように伐採することで、本調査地と同様の条件であれば、少なくとも第 7 生育期までの間、埋土種子由来の稚樹の侵入と樹高成長を促進できると考えられる。

2022 年の A 調査地では相対照度が約 17%まで低下したので、稚樹の樹高成長を促進するには、照度を確保するため追加の伐採が必要になる。天然更新のための施業法として受光伐の実施も用意する必要がある。

また、本調査地の稚樹の個体密度は十分とはいえなかったことから、稚樹の生存率を維持するために防護柵を設置することも重要な施業法の 1 つである。なお、設置期間は稚樹の成長速度が土壤型など自然的条件の影響を受けると考えられることから、土壤型や地質などの地位に関する自然情報を収集し、情報基盤を構築していくことが重要である。

5. 人工林の林分構造にかかる野外調査

5.1. はじめに

滋賀県の人工林は、第二次世界大戦後造成されたものを主体として成熟期を迎えており、林齢が 50 年以上の伐採利用の可能な林分が増加している(滋賀県琵琶湖環境部 2023)。これまでは、木材価格の低迷が長く続いたことや林業労働者の減少や高齢化等の問題を背景として、人工林が放置され、高齢林化が進んできた。しかし、近年では、国産材の需要が増加してきており、県産材の生産量も増加傾向にある(滋賀県 2023)。

木材生産の基礎となる樹木の成長状況については、これまでは 50 年程度での伐採が主流であったことから、これ以上の高齢林については、成長状況をほとんど調査されてこなかった。前述したとおり、今後はこの林齢以上の森林の伐採が多くなると予想される。また、長伐期の施業法の導入については、スギ、ヒノキの一斉林においては、上層植被率を 88%程度以下にすることにより、下層植生が維持され、多面的機能が維持されることが確認されている(太田 2009)。このように、長伐期の施業法では木材生産機能とそれ以外の公益的な機能の保全が実現されるという視点から、高齢林での成長状況を的確に把握する必要が生じている。そこで、本県でもヒノキの高齢林の成長過程を樹幹解析によって調査することとした。

なお、県内のスギ高齢林の成長過程については、既報(杉

本ら 2004)を参照されたい。

5.2. 調査地および調査方法

樹幹解析では、樹木を伐採して、その年輪幅を高さ毎に測ることで、解析が進められていく。ヒノキの高齢人工林の調査地および調査木を表 5-1 に示した。各調査地から供試する樹木を 2~4 本選定し伐採した(図 5-1)。伐採後、地表面から高さ 2~4m 毎に厚さ約 5cm の横断円盤を採取した(図 5-2)。採取した円盤は、室内で十分乾燥した後、計測に供した。なお、本県のヒノキの植栽地が県南部に多いことから、試料樹木の採取地もこれを反映して県南部が多くなっている。

試料円盤の直行する 4 方向の半径に沿って、年輪幅を 1 年毎に計測した(図 5-3)。樹木は中心から外側に向かって肥大していくので、各円盤の最も外側の年輪は伐採年に形成されたものである。従って、外側から中心に向かって年輪を数えることで、伐採年からさかのぼって年輪の形成年を特定できる。円盤ごとに求めた年輪の形成年、年輪幅の計測値、採取した円盤の高さの関係を樹幹解析図で表すことができる(図 5-4)。これをもとに同一年にできた年輪の計測値を結び、半径 0 の値に外挿することによって、その樹齢の樹高を求めた。さらに、材積は、順次細くなっていく円柱とみなしてその体積を合計して求めた、なお、樹頂端部分は円錐とみなして計算した。

5.3. 結果および考察

図 5-5 には多賀調査地のヒノキ(79 年生)の高さ 0.3m における半径方向の成長(肥大成長)を示した。

1 年間の肥大成長量は樹齢 30 年位までは 3mm/年程度であるが、その後は小さくなって 1.5~2mm/年程度になり、これが伐採されるまで続いた。樹齢が高齢になって肥大成長が極端に小さくなり、グラフ上でいわゆる「頭打ち」の曲線に見えることはなかった。この傾向は、他の調査地の調査木でもほぼ同様の傾向を示し、調査地間での差異や植栽年による差異は認められなかった。

図 5-6 には、調査地から各 1 本の調査木を選び、その樹高成長の状況を示した。なお、この図には島田(2010)に示された三重県における地位級別の樹高の成長推定線を 10 年ごとに読み取ってプロットしている。

いずれの調査地においても、この樹齢の範囲では伸長成長がとくに小さくなることはなかった。樹齢が大きくなると伸長成長に差がみられる場合がある。表層地質や土壌厚さ等の立地条件が異なっていることが影響していると推察された。とくに、野洲試験地は以前、いわゆる「はげ山」であって、土壌が厚くないことが影響している可能性が考えられた。

近隣の三重県の伸長成長の推定値(島田 2010)と比較すると、滋賀県の値は三重県の値と大きな差異はないといえる。滋賀県の南部地域と三重県の気象条件や地質の条件には大きな違いがないといえることから、これを反映しているものと推察された。

図 5-7 には、前記で選んだ調査木の材積成長の状況を示した。いずれの調査地の試料とも材積成長は増大を続けており、この範囲では成長の速度が遅くなっていく傾向は認められなかった。坂本と野洲の試料は他に比べて材積成長が小さいといえるが、前記の伸長成長の場合と同じく立地条件が影響している可能性があると考えられた。

表 5-1 調査木の概要

調査地名	所在地	樹種	本数	伐採年月
仰木	大津市仰木町	ヒノキ	4	2018年8月
坂本	大津市坂本町	ヒノキ	4	2019年11月
田上	大津市田上森町	ヒノキ	2	2018年11月
栗東	栗東町荒張	ヒノキ	3	2022年2月
野洲	野洲市三上	ヒノキ	4	2019年12月
日野	日野町蔵王	ヒノキ	4	2021年5月
多賀	多賀町富之尾	ヒノキ	2	2019年1月



図 5-1 調査木の選定・伐採状況



図 5-2 採取した試料円盤

5.4. まとめ

本県南部域を中心としたヒノキ高齢樹の樹幹解析を行った。その結果、樹齢100年程度までは、肥大成長、伸長成長、これらより算出される材積成長のいずれも成長し続けることがわかり、高齢化に伴う成長の極端な鈍化は認められなかった。

今回の調査では、供試できた数量は多くなかった。高齢木は材積が大きくなるため必然的に高価となり、森林所有者から伐採される樹木や台風等の災害で倒れた樹木の一部を頂くことで試料を調達してきた。従って、その林分の状態を十分反映していない場合もあると考えられる。

しかし、この調査でヒノキ高齢樹の成長過程について、滋賀県の森林での貴重なデータが得られたといえる。今回得られたデータは森林管理を進めるうえで重要な基礎データであり、地域森林計画等の森林・林業政策に活用されることが期待される。



図 5-3 年輪幅の計測状況

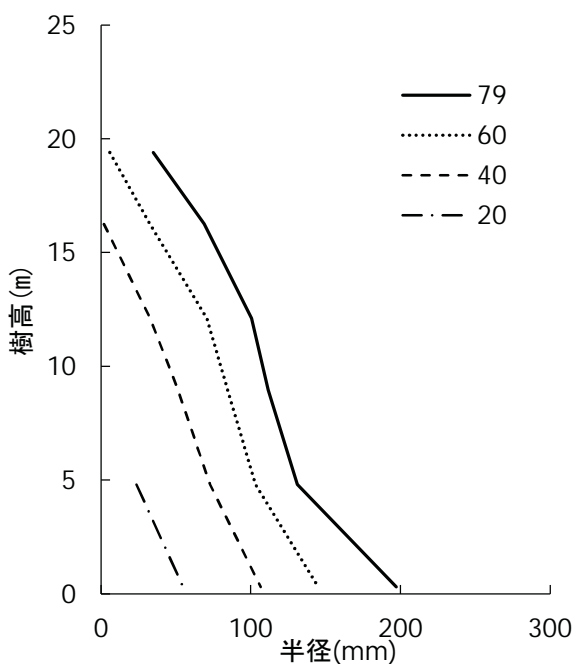


図 5-4 樹幹解析図。凡例の数字は樹齢を示す。

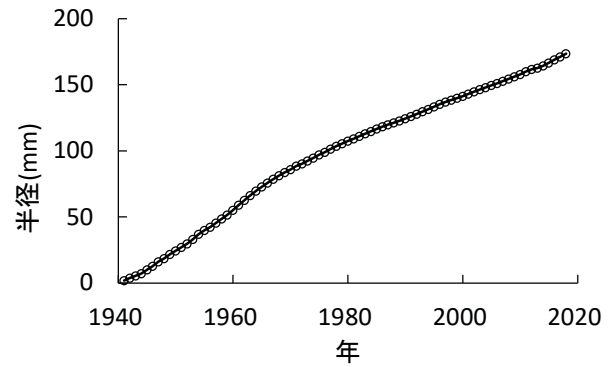


図 5-5 多賀町のヒノキ(79年生)の肥大成長の状況

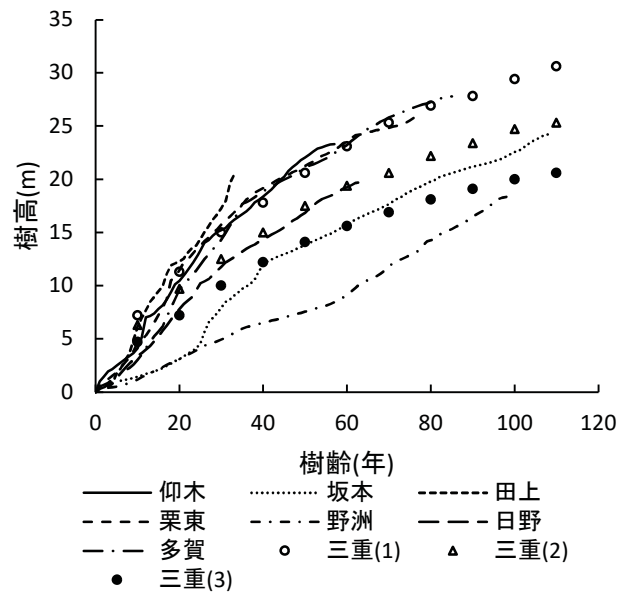


図 5-6 ヒノキの伸長成長の状況。三重(1)～(3)は島田(2010)より読み取ってプロットした。

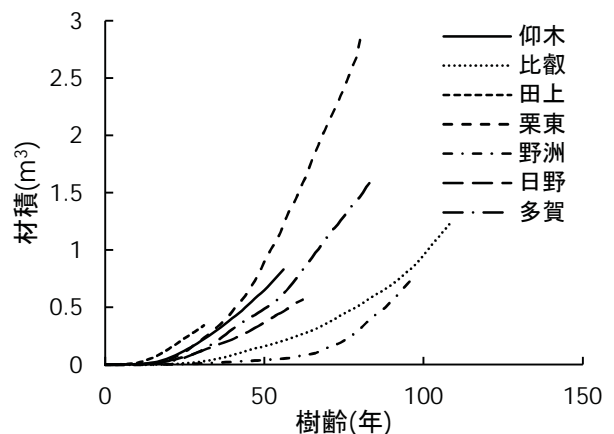


図 5-7 ヒノキの材積成長の状況

6. まとめ

本研究では、第五期中期計画で残された課題を踏まえ、基本計画の政策目標と政策手段に着目し研究を進めた。

本県の森林の多面的機能について体系的に整理し、同機能のメカニズムの解明に向けた分析手法を検討した結果、

長期間の森林動態を捉えるモデルと、森林動態と連動して発揮される多面的機能を評価するサブモデルを組み合わせた、多面的機能の評価モデルを導入することが重要であると考えられた。今後、同モデルを開発し、長期的に多面的機能が発揮される森林の姿について具体化し、政策目標や評価指標を精緻化していくことが求められる。

また、本研究では、政策手段であるゾーニングや、天然更新、長伐期施業といった施業法について、多面的機能の発揮の観点から検討した。同機能を高めるための森林タイプと施業法の配置を検討していくためには、自然情報と社会情報を考慮することが必要であるが、地位や林相・樹種区分、人々の価値意識など情報の整備が不十分であることがわかった。

基本計画の政策目標の実現に向け、各森林タイプで求められる施業法を導入し、長期間にわたり多面的機能を維持していく観点から、同機能の発揮状況について定期的に評価していくことが重要となる。このような評価を効果的に行うためにも、充実した自然情報と社会情報から構成される情報基盤を構築し、多面的機能の評価モデルを開発することが重要である。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、生津生産森林組合と滋賀県造林公社の皆様には、調査地の提供に心より感謝申し上げます。同様に、逢坂山生産森林組合、比叡山延暦寺、三ヶ山生産森林組合、宮城定右衛門氏、滋賀県森林政策課、綿向生産森林組合、大滝山林組合の皆様には、試料木のご提供に深く感謝いたします。森林の多面的機能評価においては、数理モデルの開発などで、大阪大学大学院工学研究科の松井孝典氏と芳賀智宏氏にご協力頂きました。ゾーニングの自然的条件と社会的条件の検討においては、国立研究開発法人森林研究・整備機構の山田祐亮様に、一部の分析において指導を頂きました。おかげさまで、本研究はより充実したものとなりました。心より厚くお礼申し上げます。

8. 執筆担当

第1章・第2章・第3章・第4章は中川宏治が執筆を担当しました。第5章は小島永裕が執筆を担当しました。

引用文献

明坂将希・榎木勉・鍛冶清弘・山内康平・緒方健人・長慶一郎・菱拓雄 (2021) : 宮崎演習林における樹木群集の α , β , γ 多様性と標高との関係に地形が及ぼす影響. 九州大学農学部演習林報告, 102, 23-30.
青木繁 (2020) : トチノキは残った一山里の恵みの自然史

と暮らし. サンライズ出版.
東淳樹 (2002) 「里山と谷津田を利用する猛禽類」 武内和彦・鷲谷いづみ・恒川篤史『里山の環境学』東京大学出版会
藤森隆郎 (2020) : これからの持続可能な林業技術研究. 森林応用研究, 29 (1), 3-12.
藤澤茂樹・奥隅豊栄・安元信廣・柴田昌三・田中伸一・小澤徹三 (2009) : 表土マット移植工法を用いたのり面緑化に関する調査研究 (I). 日本緑化工学会誌, 35 (2) : 351-356.
長谷川尚史 (2000) : 地位に基づいたスギ一般用材生産林の収益性評価. 森林利用学会誌, 15 (2), 143-154.
林隆夫 (1974) : 堅田丘陵の古琵琶湖層群. 地質学雑誌, 80 (6) : 261-276.
林真智 (2020) : 森林バイオマス推定のリモートセンシング. 日本リモートセンシング学会誌, 40 (1), 2-12.
東近江市 (2020) : 東近江市 100 年の森づくりビジョン. <https://www.city.higashiomi.shiga.jp/cmsfiles/contents/0000006/6616/bijyon.pdf>
今博計・明石信廣・南野一博・倉本恵生・飯田滋生 (2013) : 北海道中央部の広葉樹林に隣接するトドマツ人工林での種子散布 (特集) 森林の“境目”の生態的プロセスを探る. 日本生態学会誌, 63 (2) : 211-218.
今井正憲 (2006) : 京都府民有林 スギ・ヒノキ人工林収穫予想表及び材積表. 京都府林業試験場研究資料, 12: 144-148.
磯村良定 (2020) : 「比叡山の森」道元徹心編『比叡山の仏教と植生』法蔵館
市河三英・荻野和彦 (1986) : 米野々演習林のモミ・ツガ天然生 2 次林における当年生稚樹の消長. 愛媛大学農学部演習林報告, 24: 85-96.
石川実 (2020) : 周囲に広葉樹種子源のないスギ人工林皆伐後に出現する樹種とは. 日本森林学会大会発表データベース 第 131 回日本森林学会大会 (p. 733). 日本森林学会.
環境省 (2000) : 自然との触れ合い分野の環境影響評価技術検討会中間報告書—自然との触れ合い分野の環境影響評価技術 (II) 調査・予測の進め方について—. http://assess.env.go.jp/files/0_db/seika/4740_01/2.html
木村宏 (2017) : 日本におけるロングトレイルの潮流. CA TS 叢書, 11, 83-89.
岸上廣司 (1996) 都市近郊林の推移解析と機能発揮のための方策に関する調査研究. 滋賀県森林センター業務報告. 29: 41-51.
気象庁 (2023) : 過去の気象データ検索. 気象庁ホームページ

- ージ. <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 小島永裕・谷誠・川島茂人・吉岡有美 (2018) : 滋賀県森林の水源涵養機能の評価. 水利科学, 62(2), 32-49.
- 木野朗斗・長島啓子 (2023) : GIS を用いた簡易架線集材可能範囲の抽出手法の開発. 日本森林学会大会発表データベース, 134, 564.
- 正木隆・佐藤保・杉田久志・田中信行・八木橋勉・小川みふゆ・田中浩 (2012) : 広葉樹の天然更新完了基準に関する一考察-苗場山ブナ天然更新試験地のデータから-. 日本森林学会誌, 94(1) : 17-23.
- 牧野富太郎 (1989) : 牧野新日本植物図鑑. 北隆館.
- 松浦俊也・横張真・東淳樹 (2001) 数値地理情報を用いた谷津の景観構造の把握によるサシバ生息適地の広域的推定. ランドスケープ研究, 65(5), 543-546.
- 松崎誠司・河原輝彦 (2006) : ヒノキ人工林における天然更新施業の可能性: 多変量解析に基づく適地診断ソフトの作成. 東京農業大学農学集報, 51(1) : 1-7.
- Mitsuda, Y., Ito, S., & Sakamoto, S. (2007) : Predicting the site index of sugi plantations from GIS-derived environmental factors in Miyazaki Prefecture. Journal of Forest Research, 12(3), 177-186.
- 光田靖・伊藤哲・家原敏郎 (2013) : モントリオール・プロセスの枠組みに対応した広域スケールにおける森林の再配置手法の検討. 景観生態学, 18(2), 123-137.
- 光田靖 (2023) : 地位指数推定モデル開発におけるデータソースの違いが及ぼす影響. 日本森林学会大会発表データベース, 134, 265.
- 水野敏明・小島永裕・三井香代子・東善広・北井剛・浅野悟史・佐藤祐一 (2018) 在来魚の保全に向けた水系のつながり再生に関する研究. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, 13: 28-46.
- 森澤猛・杉田久志・橋本良二・赤井龍男 (2010) : 空中写真から解析した木曽地方三浦実験林のヒノキ帯状皆伐天然更新試験地におけるササおよび更新木樹冠被覆の36年間の変遷. 日本森林学会誌, 92(1) : 22-28.
- 中川宏治・金子修一・三井香代子・須永哲明 (2019) : 琵琶湖を育む森林の管理に関する研究 (琵琶湖流域生態系の保全・再生). 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター試験研究報告書, 16: 3-101.
- 日本学術会議 (2001) : 地球環境・人間生活に関わる農業及び森林の多面的な機能の評価について (答申). <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/shimon-18-1.pdf>
- 日本野生生物研究センター (1989) : 自然環境保全基礎調査 総合解析報告書. <https://www.biodic.go.jp/reports/3-4/c000.html>
- 西川理子・西川公也 (1998) : GIS を用いた森林の機能評価: 滋賀県の民有林における木材生産機能と水源かん養機能. 森林応用研究, 7, 21-24.
- 佐藤貴紀 (2023) : 降雨に対する森林の土砂災害防止機能. 日本緑化工学会誌, 48(4), 593-595.
- 太田明 (2009) 環境に配慮した長伐期施業林および複層林の調査検討. 滋賀県森林センター業務報告書. 42:55-62.
- 林野庁計画課 (1973) : 森林の多面的機能の発揮と森林施業. 林野時報: 森林・林業の情報誌/林野庁 編, 20(6), 5-9.
- 林野庁 (2022) : 森林作業道作設指針の解説. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/itakukouhyou-5.pdf>
- 林野庁 (2015) : 高度架線技能者技術マニュアル 2014 (平成 27 年度改訂). <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/jigyo.html>
- 林野庁 (2014) : 平成 25 年度森林・林業白書
- 埼玉県秩父農林振興センター (2015) スギ植栽適地判定マニュアルー指標植物からスギの植栽適地を見極めるー. <https://www.pref.saitama.lg.jp/documents/60025/sugi-manyuaru.pdf>
- 滋賀県 (2004) : 森林の多面的機能. <https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/1047728.pdf>
- 滋賀県 (2023) : 目で見える森林・林業ー滋賀県森林・林業統計要覧(令和 4 年度)概要版ー, 滋賀県琵琶湖環境部森林政策課, <https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5432804.pdf>1-8.
- 滋賀県琵琶湖環境部 (2023) : 滋賀県森林・林業統計要覧 令和 4 年度, 滋賀県琵琶湖環境部森林政策課, <https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5430930.pdf>
- 島田博匡 (2010) : 三重県のスギ・ヒノキ人工林における長伐期施業に対応した林分収穫表の作成. 三重県林業研究所研究報告, 2, 1-28.
- 島田博匡・野々田稔郎 (2010) : 暖温帯域における広葉樹林化の可能性. 森林科学, 59: 13-16.
- 菅原大輔・國崎貴嗣・濱道寿幸・麻生臣太郎・齋藤誠・山本信次 (2018) : アカマツ林皆伐後一年目の林床木本稚樹の更新状況: 林床型の相違の観点から. 岩手大学農学部演習林報告, 49, 75-82.
- 杉本勇・杉山忍・高橋二郎 (2004) : 長期育成循環施業に対応する森林管理技術の開発に関する調査. 滋賀県森林センター業務報告書, 37 : 1-10.
- 谷誠 (2011) : 山地流域における自然貯留の洪水緩和機能に関する方法論的考察. 水利科学, 55(1), 151-173.

- 手代木功基・藤岡悠一郎・飯田義彦 (2015) : 滋賀県高島市朽木地域におけるトチノキ巨木林の立地環境. 地理学評論 Series A, 88(5), 431-450.
- Yamaura, Y., et al. (2021) Modeling impacts of broad-scale plantation forestry on ecosystem services in the past 60 years and for the future. *Ecosystem Services*, 49, 101271.
- 山田祐亮 (2019) : 市町村で森林管理に関する指標を策定する際の方策の類型化と課題の抽出. 森林計画学会誌, 52(2), 49-57.
- 山田祐亮 (2012) : 多面的機能に配慮した管理方針設定支援シミュレーションシステムの開発 (東京大学大学院農学生命科学研究科修士論文)
- 山田容三 (2020) : SDGs 時代の森林管理の理念と技術ー森林と人間の共生の道へー, 昭和堂, 248pp, 京都
- 山下直子 (2020) : 木地師文化発祥の地 「東近江市小椋谷」. 森林科学, 90, 28-31.
- 山下奈穂・加用千裕・谷川寛樹 (2021) : 木造住宅と森林の木材需給を考慮した炭素ストックのシナリオ分析. 環境科学会誌, 34(4), 184-195.
- 山浦悠一・山田祐亮 (2022) : 森林の多面的機能の時空間的評価の試み. 環境情報科学, 51(2), 21-25.
- 山浦悠一 (2007) 広葉樹林の分断化が鳥類に及ぼす影響の緩和ー人工林マトリックス管理の提案ー. 日本森林学会誌, 89(6), 416-430.
- 安田幸生・齊藤哲・勝島隆史 (2020) : 強風の風速と発生頻度に基づく風害リスク評価. 水利科学, 64(5), 32-44.
- Whittaker RH (1960) : Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs* 30: 279-338