

2050年の 森

120周年記念改訂版



国立研究開発法人 森林研究・整備機構
森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

2050年の森

森林・林業・木材産業を取り巻く環境は、近年大きく変わりつつある。森林や木材産業に関連する様々な問題に取り組んできた森林総合研究所では、2008年に、2050年の森林ビジョンと研究面からの問題への取り組みをまとめた『2050年の森』を公開している。しかし、2011年には東日本大震災が発災して大きな社会・経済的影響をうけたほか、気象の極端現象が頻発するようになる一方、途上国での森林減少や劣化、我が国の林業・木材産業の変化なども見られたために、これらに対応した改訂が2016年に行われた。その後、2020年には2050年に向けて温室効果ガスの排出を実質ゼロとするカーボンニュートラルの実現が宣言され、2030年までに生物多様性の損失を止めるだけでなく回復に転じさせるというネイチャーポジティブ*の考え方などにより、生物多様性保全を経済活動に取り込む考え方が広がった。また、サーキュラーエコノミー*、バイオエコノミーなど再生可能な資源に対する考え方の変化も顕著となり、木材の利用方法も多様化が進んだことに加えて、人々の well-being*が重視される価値観の中で、森林や木材に対する評価も急速に変わりつつある。さらに、この10年におけるデジタル技術やAIの進展も目を見張るものがあり、今後25年に起こることを予測することは非常に困難な状況である。本稿では現在森林が抱える諸問題を再認識するとともに、それに対する各研究分野からのアプローチの最前線を概説して、2050年にあるべき森林・林業・木材産業との関わりを考えてみたい。

なお、森林の管理状態を表す用語として、本レポートでは下記の区分を採用する。

天然林	過去から現在に至るまで、完全に人為の影響を受けなかった森林（日本にはほとんど存在しない）
天然生林	現在の成り立ちに、人為が影響していない森林（一部里山も含まれる）
人工林	人間による造林—保育作業で成立した森林
里山林	人間によって常に利用されてきた森林であり、更新は自然に任されてきた森林
原生林	天然林と同義であるが、人為による影響が古い一部の天然生林も含まれる
自然林	この言葉は使用しない

目次

1. はじめに／地球規模の背景	1
1.1. 地球上の森林と木材産業の現状	1
1.2. 環境と森林	2
2. 日本の森林と環境の現状と課題から見える 2050 年	5
3. 持続可能な日本の森林のあり方	13
3.1. 基本的な考え方	13
3.2. 森林資源	14
3.2.1. 森林管理	14
3.2.1.1. 天然生林及び原生林のエリア	15
3.2.1.2. 人工林として継続的に利用するエリア	15
3.2.1.3. 一度人手が加わったが、何かしらの目標林型に誘導するエリア	20
3.2.2. 木材資源の活用	23
3.2.2.1. 建築物等における木材利用	24
3.2.2.2. マテリアル素材としての木材利用	25
3.2.2.3. 木質バイオマスのエネルギー利用	25
3.2.2.4. 木材利用におけるトレーサビリティの確保	26
3.2.3. 特用林産物	26
3.3. 気候変動の緩和と適応	27
3.4. 生物多様性	30
3.4.1. 生物多様性のモニタリングシステム構築	32
3.4.2. 在来種による被害対策技術	33
3.4.3. 外来種による被害対策技術	36
3.5. 防災・減災、国土保全	37
3.5.1. 国土保全、災害防止機能強化に向けた森林管理	38
3.6. 地域社会、経済	40
3.7. Well-being*	40
4. 2050 年に向けて考えるべきこと	43
4.1. 森林資源の新しい利用	43
4.2. 次世代の森林管理	43
4.3. 防災・減災、国土保全	44
4.4. 林木育種	45
4.5. 新しい経済メカニズム	45
4.6. 多面的機能の評価とゾーニング	46
4.7. その他	47
引用文献	48
用語集	51

文中*の印があるワードは用語集に解説がある。

1. はじめに／地球規模の背景

Executive summary

- ・人間活動が地球温暖化を引き起こしており、極端気象による被害も増大している。そのため、温室効果ガスの削減が必要である。一方で、生物多様性も大きく変化しており、多くの動植物種が絶滅の危機にある。
- ・国連気候変動枠組み条約（UNFCCC）や生物多様性条約（CBD）により気候変動影響の評価や対策と生物多様性の保全へ向けた取り組みが進められている。
- ・環境や生物多様性に負の影響をもたらす、違法伐採に代表される収奪的な木材生産から再生産や持続可能性の高い木材生産に切り替えていく必要がある。
- ・持続可能な開発のためには気候変動対策と生物多様性の回復・再生・保全の両者に配慮した社会変革が必要である。

1.1. 地球上の森林と木材産業の現状

日本の場合、森林は森林法において①木竹が集団して生育している土地及びその土地の上にある立木竹、②①の土地の外、木竹の集団的な生育に供される土地と定義されている。森林の定義は国によって異なるが、おおよそ同じような土地利用の場所を示す。FAO のレポートによると、世界の森林面積は 40 億 6 千万ヘクタールと陸域の約 3 分の 1 を占めており、1990 年から 1 億 7,800 万ヘクタール減少したが、その減少面積は年々低下していて、2010 年から 2020 年間の純減少面積（減少面積から増加面積を引いた面積）は年 470 万ヘクタールとなっている（FAO, 2020）。アフリカ大陸の森林面積の減少が年 390 万ヘクタールと最も大きく、その次に南アメリカ大陸の年 260 万ヘクタールとなっており、アジア大陸やヨーロッパ大陸では逆に増加している。人工林は森林全体の 7% しかなく、そのうち積極的に木材生産を行っている人工林は 45% しかない。世界の森林の 73% が公的に管理されており、ヨーロッパはほとんどの森林で管理計画がたてられている一方で、アフリカや南アメリカでは管理計画がある森林は 25% 以下となっている。水土保持や生物多様性保全のために保護されている森林が増える一方で、30% の森林が木材生産やその他林産物のために使用されている。1 億 8,600 万ヘクタールの森林がレクリエーション・ツーリズムや教育・文化・伝統的なことに利用されている。これらから、先進国では森林を生産と保全の場に区分して厳格な管理のもと森林を維持しているのに対し、発展途上国の一部では違法伐採や無計画な土地利用変化などにより森林を失っている状況が見て取れる。

また、同レポートによると、2015 年には 9,800 万ヘクタールの森林が熱帯を中心に火災の影響を受け、全森林の 4% が火災によって消失した。一方で、温帯や寒帯を中心に 4,000 万ヘクタールの森林が病害虫や気象害の被害を受けている。

1970 年代以降多くの国で原木の輸出が制限されている。これは、違法伐採から森林資源を保全するなど環境保全を目的としたものの他に、輸出国内の木材加工製品の産業育成などを目的としたものまで国によって意図は異なるが、原木での流通量は近年増加している。ま

た、2013年にEUがEU木材規則（EUTR：EU Timber Regulation）を施行し違法伐採木材・木材製品の輸入を禁止したため、木材の合法性を担保する認証制度の導入も進んできており、同じ流通量でも流通している内容に変化がある。2009年のリーマンショックを底として、それ以降木材の需給量は上昇を続けていたが、2023年には2年連続で原木、製材などの生産量が減少し、一方でウッドパネル、パルプやウッドチップ、燃料用のペレットなどは堅調に推移しており、特に中国の需要及び生産の増加が目立つ（FAO、2024）。紙の生産は欧米で減少しているが、中国を代表とするアジア太平洋地域で増加している。また、木質ペレットの生産はここ10年でヨーロッパや韓国、日本などのバイオマス発電の需要により劇的に増加している。また、2022年に行われたロシアの木材輸出禁止措置は、日本の木材供給構造に大きな影響を与えた。

2050年には世界人口が97億人（2024年では82億人）に達し、特に南アジアやアフリカの人口増は著しいが、一方で先進国の人口減少・高齢化が予測されている（United Nations, 2024）。先進国と発展途上国の格差はさらに広がり、人口を支える食料確保のため、農地開発を目的とした森林伐採が増す可能性もある。

人間活動は気候システムの主要な構成要素全てに影響し、うちいくつかの応答は、数十年から数百年かけて起こる

1.2. 環境と森林

地球規模の環境問題が深刻化するなかで、森林を取り巻く環境も大きく変わっている。2015年には「Sustainable Development Goals（持続可能な開発目標、SDGs）」が国連で採択され、2030年までに達成すべき17の目標のうち、13番目として気候変動対策が、14番目と15番目にそれぞれ海と陸の豊かさを守ることが明示された。これらは、森林と直接的に大きな関わりをもつ。間接的な関わりを含めれば、さらに広い範囲の目標と関わっている。

(https://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/sustainable_development_goals/)。

気候変動と生物多様性への取組は、1992年のリオサミットに合わせて採択され「双子の条約」とも呼ば

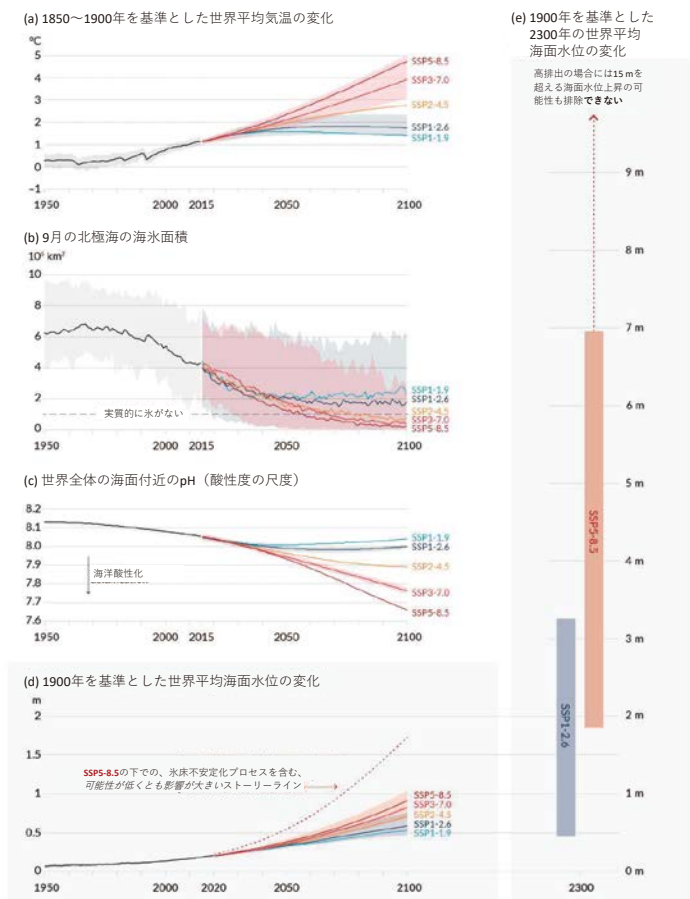


図 2100年には楽観的シナリオでも1850-1900年比で1.5°C以上の気温上昇が予測されている（IPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳（文部科学省及び気象庁）より図SPM.8を転載）

れる国連気候変動枠組条約（UNFCCC）と生物多様性条約（CBD）の下でそれぞれ個別に進められてきた。このサミットでは法的拘束力のある国際森林条約は合意に至らず森林原則声明を採択するにとどまり、この声明を反映するために現在では国連森林フォーラム（UNFF、2000年に設立）において世界の森林に関する協議が行われている。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次報告書においては、人間活動が地球温暖化を起こしており、このままだと21世紀中に世界平均気温の上昇が1850年頃と比べて1.5°Cあるいは2°Cを超えることが報告され（前頁図）、生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学—政策プラットフォーム（IPBES*）の報告書によると、人間活動による土地の改変などにより、動物・植物の約25%の種の絶滅が危惧されているなど、かつてない速度で地球環境が変化していると報告されている。

UNFCCCでは2020年以降の国際的な気候変動対策の枠組みとしてパリ協定が採択され、各国が温室効果ガス削減目標(NDC)を定め実行すること、CBDでは昆明・モントリオール多様性枠組が採択され、2030年までに生物多様性の損失を食い止め、反転させる目標（ネイチャーポジティブ*（自然再興））が合意されている。具体的な目標としては、30by30*目標をはじめ、23の目標が掲げられている（右上表）。森林に関連する目標については、生物多様性の保全や回復だけでなく、農林水産業の持続的管理、企業活動における生物多様性に係る影響評価と開示など、社会変革を促す幅広い取組みに関する目標が示されている。

森林は気候変動の緩和策・適応策にも、生物多様性の保全にも、重要な役割を果たすことから、その適切な管理を行うことは、持続可能な社会の実現に必要不可欠である。

今後、気候変動への対策と生物多様性の確保を同時に実現し、さらに国連の持続可能な開発目標（SDGs）を達成していくには、今までの考え方を根本的に変える社会変革が必要である。化石燃料中心の経済・社会、産業構造をクリーンエネルギー中心に移行させ、エネルギーの安定供給・経済成長・排出削減の同時実現を目指すグリーントランスフォーメーション（GX）*、デジタル技術とデータの活用によって社会・産業・生活の在り方を根本的に変化させ人々のwell-being*に貢献するデジタルトランスフォーメーション（DX）*など社会変革のツールと目標は整理されつつあり、AIの有効活用などを通して官民すべての主体が連携して新しい統合的な課題に取り組む必要がある。

〈目標1〉	すべての地域を参加型・統合的で生物多様性に配慮した空間計画下及び/又は効果的な管理プロセス下に置く
〈目標2〉	劣化した生態系の30%の地域を効果的な回復下に置く
〈目標3〉	陸と海のそれぞれ少なくとも30%を保護地域及びOECMにより保全(30by30目標)
〈目標10〉	農業、養殖業、漁業、林業地域が持続的に管理され、生産システムの強靱性及び長期的な効率性と生産性、並びに食料安全保障に貢献
〈目標15〉	事業者（ビジネス）が、特に大企業や金融機関等は確実に、生物多様性に係るリスク、生物多様性への依存や影響を評価・開示し、持続可能な消費のために必要な情報を提供するための措置を講じる

表. 昆明・モントリオール多様性枠組における主な森林関連の目標（令和6年度森林・林業白書より）

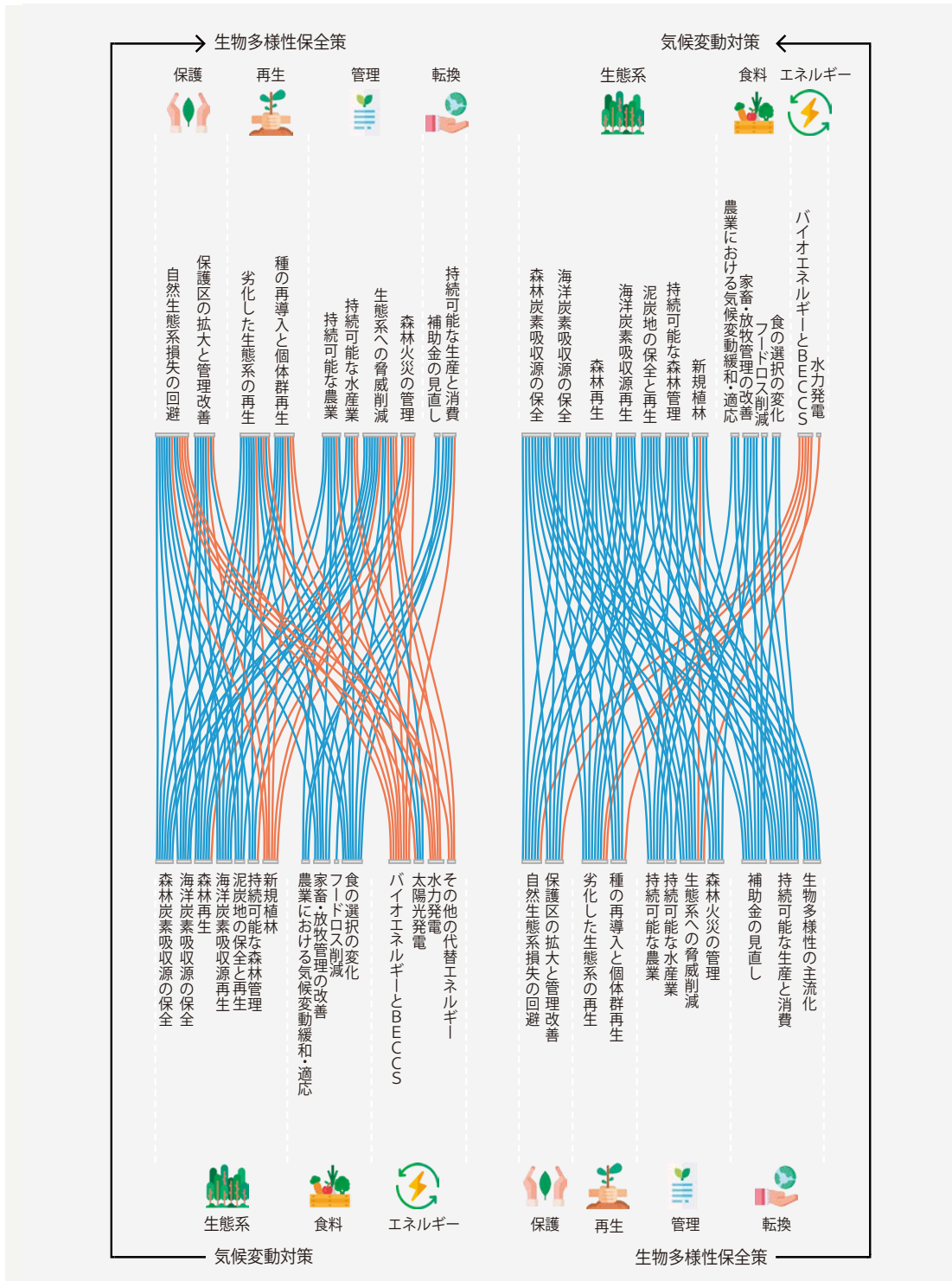


図 気候変動対策と生物多様性保全策の相互作用 (季刊森林総研 No.66 より転載)

2. 日本の森林と環境の現状と課題から見える 2050 年

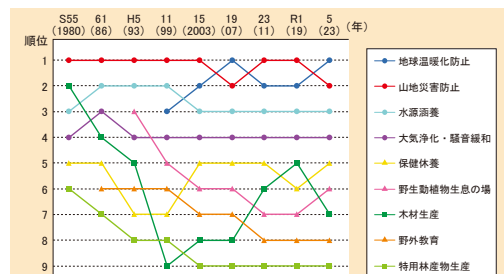
Executive summary

- ・1960年代の拡大造林期の人工林が多くを占め、2050年には林齢60年を超える森林の比率が高まり、森林全体の炭素固定速度が低下していく。人工林の伐採・更新が進み林齢の平準化が進むことにより、単位面積あたりの二酸化炭素吸収速度は増加する。
- ・森林面積は国土の70%弱で大きく変化しておらず2050年まで変化はないが、森林の多面的機能を持続的に発揮するため、育成単層林*を減らし、育成複層林*に転換していくとされている。
- ・林業人口は減少していき、森林管理が必要な山村地域での高齢化・過疎化が深刻になる。そのため、機械による省力化・安全性の向上などに加え、若手の参入に向けての施策を続け、最低限の水準の労働力を維持すれば、増大する国産木材の需要に応えられる。
- ・木材の自給率は年々増加している。木材の利用はより多様化し、国産木材の需要は増加するため、今後は一定水準を維持するか増加する可能性が高い。
- ・人口減少により住宅着工数などは減少が見込まれ木材需要は減少する。一方で、木材利用率の上昇や高層建築物への木材利用などによって木材需要は増加することが見込まれる。バイオマスエネルギー利用は進み、林地残材の有効利用などによりエネルギーの国内自給率が高まる可能性が高い。
- ・花粉症問題は、花粉のないあるいは少ない品種への転換が進みつつあるが、その加速化と花粉防止技術の普及の両輪で考える必要がある。

■ 理想・目標と現実

Society 4.0 としての情報社会に続く Society 5.0 として「サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会」が第5期科学技術基本計画（平成28年1月22日閣議決定）において提唱された。第6期科学技術・イノベーション基本計画（令和3年3月26日閣議決定）では、我が国が目指すべき Society 5.0 の未来社会像を「持続可能性と強靱性を備え、国民の安全と安心を確保するとともに、一人ひとりが多様な幸せ（well-being*）を実現できる社会」としている。また、地方の社会問題を解決するためにデジタルの力を用い、地方創生を加速化・深化するとしてデジタル田園都市構想（令和5年12月16日閣議決定）が提唱された。一方で、日本政府は2016年に発効した国連の温暖化防止条約パリ協定の貢献案（NDC）として、温室効果ガス排出量を2030年度に2013年度比マイナス46%、2050年にはカーボンニュートラル（排出量と吸収量を同じにする）を掲げた。

内閣府が行っている「森林と生活に関する世論調査」（右図、例えば2023年調査、



注1：回答は、選択肢の中から複数回答。
 注2：選択肢は、特になし、わからない、その他を除き記載している。
 資料：総理府「森林・林業に関する世論調査」（昭和55(1980)年）、「みどりと木に関する世論調査」（昭和61(1986)年）、「森林とみどりに関する世論調査」（平成5(1993)年）、「森林と生活に関する世論調査」（平成11(1999)年）、内閣府「森林と生活に関する世論調査」（平成15(2003)年、平成19(2007)年、平成23(2011)年、令和元(2019)年、令和5(2023)年）に基づいて林野庁企画課作成。

令和6年度森林林業白書より

<https://survey.gov-online.go.jp/r05/r05-sinrin/>) によれば、「森林に期待する働き」について、1999年には災害防止機能と水資源を蓄える働きが上位2つだったが、2004年から2023年まで「災害防止機能」と「地球温暖化防止機能」が交互にトップを占めるようになり、「水資源を蓄える働き」は3位となった。これら以外では、「空気の浄化・騒音緩和機能」、「癒しや安らぎの場の提供」、「野生動植物の生息の場の提供」が続いていて、ここ20年ほぼ変化がない。これは、近年顕著に見られる夏の猛暑と気象の激甚化による豪雨災害の頻発による国民の危機感を反映していると思われる。今後も温暖化は着実に進み、猛暑や豪雨災害は頻発することが予想されることから、国民からの森林への期待の上位は2050年になっても変化していないと予想されるが、令和5年の調査では、「木材を生産する役割」に期待する割合は7位と「癒しや安らぎの場の提供」と同じ程度まで増加しており、以降に述べるように木材資源の活用が進み林業が活性化すれば、「木材を生産する役割」への期待は高まってくると思われる。

森林の働き ～生態系サービス、多面的機能、公益的機能 とは？～

森林の働きとして、この3つがよく使用される。それぞれ微妙に使い方が異なる。

生態系サービスとは自然の生態系が人間に提供する利益で供給サービス、調整サービス、文化サービス、基盤サービスの4つのサービスから構成されるもの、森林の多面的機能は温暖化防止、木材生産、水源涵養、防災、生物多様性、レクリエーションなどの森林の持つ機能のこと、そして森林の公益的機能とは森林の多面的機能のうち、木材生産などの経済的機能を除いたものと使い分けされている。

■ 日本の人口問題 ～少子高齢化～

日本の人口は今後単調に減少し、2024年の123,844千人から2050年には104,686千人にまで減少するとされる（国立社会保障・人口問題研究所、2023）。高齢化率（65歳以上の割合）も2024年の29.4%から2050年には37.1%に達し、超高齢化社会になると予測されている（次頁上図、国立社会保障・人口問題研究所、2023）。国連の報告（World Urbanization Prospects: The 2018 Revision）によると、世界の都市の人口比率が1950年には30%であったが2018年には55%、2050年には68%になり、都市への集中がさらに進むと予測されている。日本でも三大都市圏（東京、名古屋、大阪）の人口比率はここ数年52～53%とほぼ横這いであるが、長期的に見ると三大都市圏の人口比率は増加傾向にあり、2050年には57%に達すると見込まれ都市への人口集中は進むと予測されている（国土審議会政策部会長期展望委員会、2011）。しかし、国土交通省の「国土のグランドデザイン」（国土交通省、2014）では、2050年に向けて、地方の生活に不可欠なサービスの維持のためには地域人口の一定程度の維持が必要であり、そのためには各地域の魅力を生み出す多様性が重要で、その多様性が生み出す地方都市同士の連携と対流が地域生き残りの鍵となるとしている。それぞれの地域に固有の森林生態系やその恵みがもたらす林産物・文化は地域の多様性の源泉であり、これらの保全や継承は重要である。

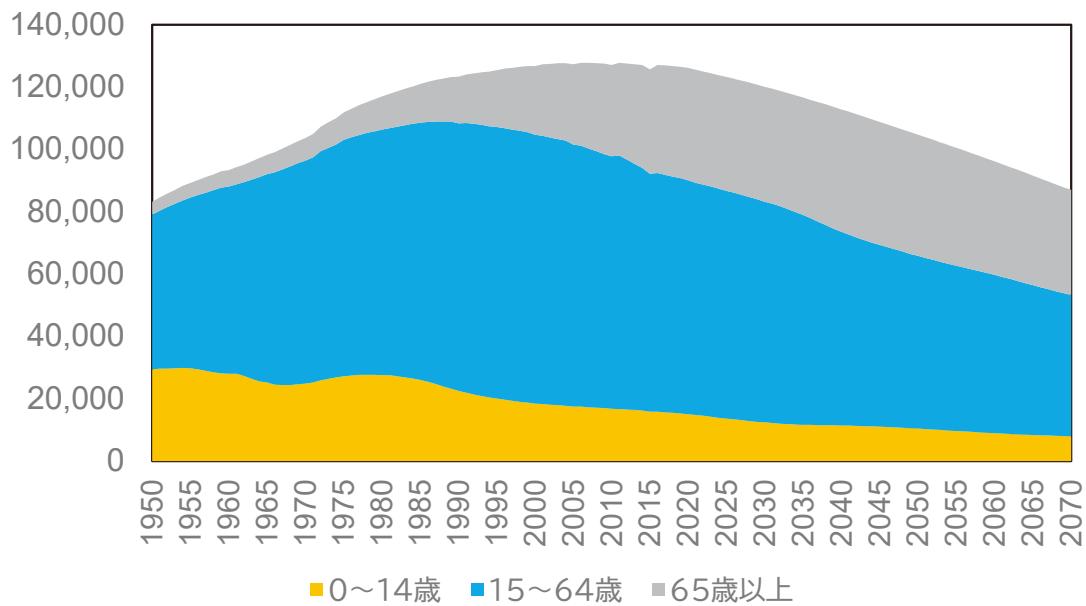


図 日本の総人口の予測（単位は千人、国立社会保障人口・問題研究所、2023より作図）

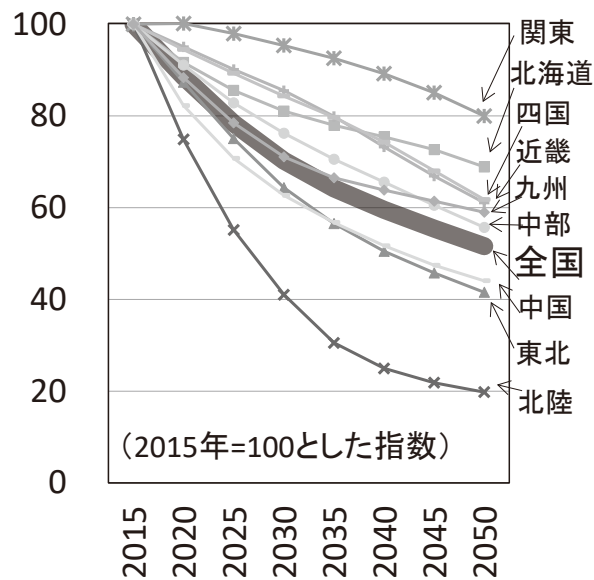


図 林業従事者数の地域別将来推計結果（田村(2020)より転載）

■ 林業従事者の減少と高齢化

現在の林業従事者の高齢化率は25%（2020年）と、全産業の15%と比べて高い水準にあるが、35歳未満の若年者率は17%と1990年頃と比較して増加している（林野庁、<https://www.rinya.maff.go.jp/j/routai/doukou/index.html>）。林業従事者数は2015年において4万5千人と減少傾向にあるものの、2003年に開始された「緑の雇用事業」以降、新規就業者数は3,000人を超えており、年あたりの就業日数が増加している。様々な仮定をおいたコーホート変化率法による林業従事者数の予測では、2030年に現状の7割、2050年に半減となるとされている（上下図、田村、2020）。また、2025年10月現在、林業事業所で

雇用されている外国人労働者は 327 人と推計されており（厚生労働省、2026）、技能実習生の受入れで先行した農業や漁業に比べて極めて少数にとどまっている（田中、2020）。林業従事者数を維持するには、5 年間で 5,000 人前後の若年層の新規参入が必要であり、全労働人口は減少することから、全労働人口に対する林業従事者の割合が年々増加しない限り、林業従事者数は減少していくことを示している。所要労働量に占める育林作業の割合は長期的に増大するが、省力型育林に移行後も年 1%の省力化が継続するなら、育林の所要労働量は現状並みに収まると見込まれる（田村、2020）。

林業が抱えるもう一つの大きな課題は労働災害発生率の高さである。災害発生率は近年減少しているものの、未だに全産業平均の 10 倍となっている（下図）。近年でも年間に約 30 人もの人命が失われている。このような労働災害発生率の高さが従事者の新規参入や定着を妨げる要因の一つとなっている。

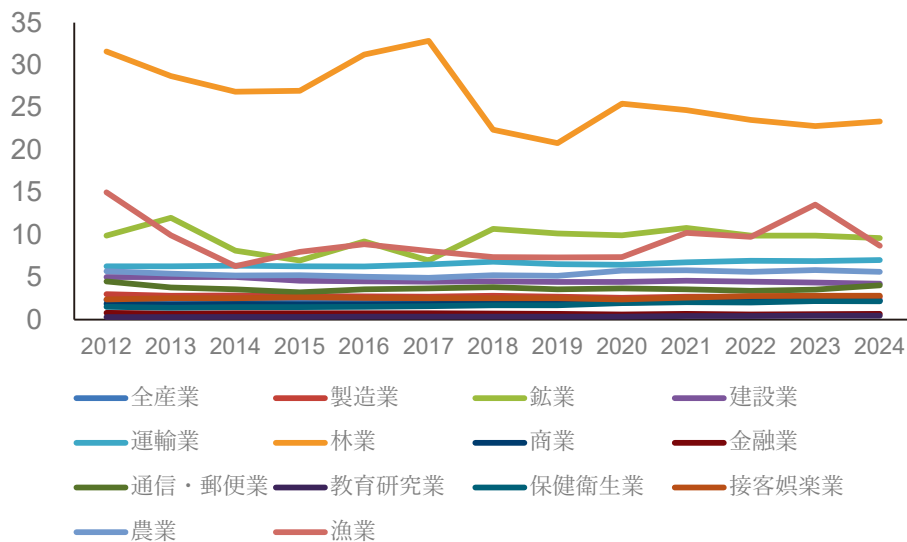


図 業種別死傷年千人率（休業4日以上）の推移（厚生労働省、労働災害統計より作図）

■ 森林資源の成熟と高齢化

一方で日本の森林に目を向けると、1950年代と1960年代を中心とした戦後拡大造林期の一斉造林（右下図）を受けて、

日本では林齢50年生を超える林分の割合が増加しており高林齢化が進んでいる。林齢40年生までの炭素固定速度と比べるとそれ以降の林齢では炭素固定速度が減少することから、今後25年間で相当な面積を伐採・植栽していかなないと、日本全体の森林による炭素固定速度は減

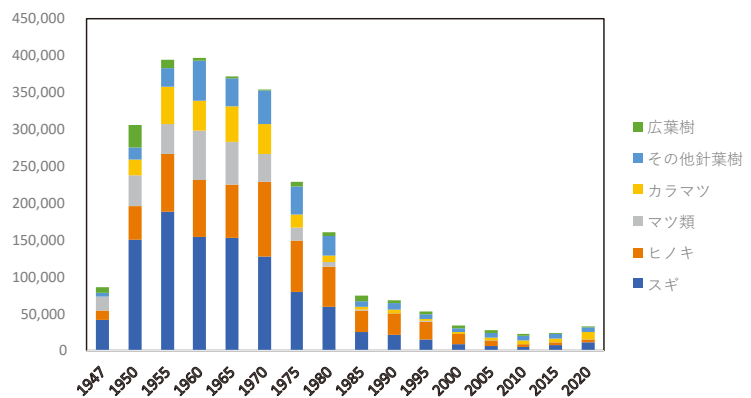


図 戦後の樹種別造林面積の推移（令和5年度森林・林業白書データより作図）

少の一途をたどる。また、高林齢化によって単木あたりのバイオマス量が大きくなり、災害時に受ける被害が大きくなる。しかし、木材産業においては、木材生産による利潤が生まれにくい構造となっており、積極的な伐採が進まない背景となっている。こういった背景に加えて、シカの食害による再生林のコスト増も問題となっており、再生林が進まないことによる生態系サービスの低下が問題となっている。生態系サービスを維持し、炭素固定機能を回復する方策の策定と普及は国民のニーズも高く、喫緊かつ長期的な課題である。

■ 現在の日本の森林整備計画

現状での日本の森林整備計画（全国森林計画、令和5年10月閣議決定）では、全森林面積（2,505万ヘクタール）は国土面積（3,779万ヘクタール）の66%を占め、そのうち4割（1,020万ヘクタール）が人工林であり、6割（1,348万ヘクタール）が天然生林である。

また同計画では、2022年から2039年にかけて、天然生林*31万9千ha、育成単層林*29万8千haを育成複層林*に転換する計画であり、これにより森林の蓄積はヘクタールあたり16m³の増加が期待される。保安林*の面積は1,300万haでほぼ一定である。森林・林業基本計画では達成年は示していないものの、2020年比で育成単層林*のうち350万ha、天然生林のうち210万haを育成複層林*に転換して、最終的に指向する森林の状態（育成単層林*660万ha、育成複層林*680万ha、天然生林1,170万ha）となるとしている。しかし、その先2050年に至るまでのランドデザインは、まだ示されていない。これらのことから、保安林*を維持しつつも、OECM*などを活用して、2030年グローバルターゲットの一つである30by30*を達成しようとする目論見が見て取れる。2023年時点では陸域の20%が保護地域に指定されており、10%を2030年までに新たに保護地域に指定するか、OECM*に登録できるかが達成の鍵を握っている。

■ 木材需要の現状と展望

ピークの1973年には1億2,102万m³を数えた我が国の木材総需要量は、2000年代に入ってから1億m³を上回ったことはなく減少を続けたが、リーマンショックの影響で大きく落ち込んだ2009年の6,479万m³を底に近年は増加傾向にある。2022年の木材総需要量は8,509万m³であり、うち用材が6,749万m³、燃料材が1,739万m³を占めるが（林野庁企画課、2023）、うち国産木材の供給量は3,462万m³で自給率は43%であった。2002年に18.8%と最低水準だった国産木材の供給量は年々増加し、ここ3年間は40%を超えている。木材輸入に関しては、輸出国における資源的制約と産業の保護育成などを受けて原木の輸入量が1990年代から減少する反面、燃料材の輸入量は急速な伸びを示しており2022年には713万m³（前年度比32%の増加）に達している。

一方、森林・林業基本計画においては、2030年の木材総需要量について8,700m³との見通しを立てており、そのうちの国産木材の利用量については2019年の3,100m³から4,200万m³に拡大する目標が立てられている。2019年の国産木材の利用量の内訳は、製材用や合板用としての建築用材等が1,800万m³、パルプ・チップ用材や燃料材としての非建築用材が1,300万m³であったが、2030年には建築用材等が2,600万m³、非建築用材が1,600万m³を目標としている。

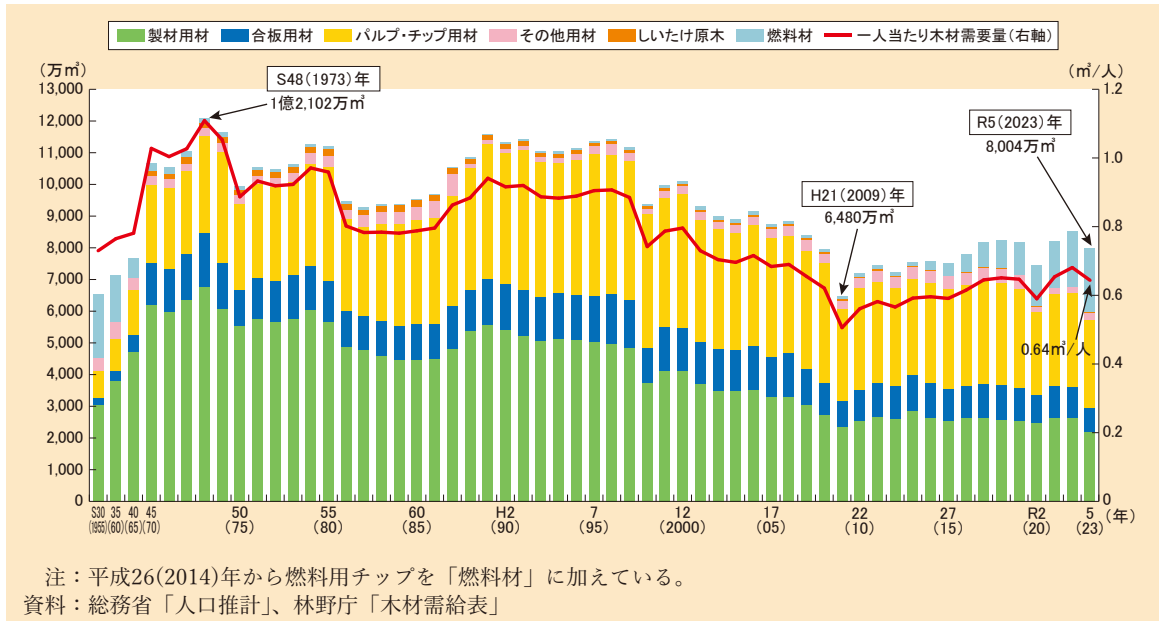


図 木材需要の推移（令和6年度森林・林業白書より）

ここで、木材利用と密接な関係のある住宅着工数が1973年の191万戸から2022年の86万戸へと減少したことなどを主要因として、人口1人当たりの木材総需要量は1973年の1.1m³から2022年の0.68m³へと減少した。今後の人口減少に伴う住宅着工数の減少を考えると、木材総需要量の水準低下の可能性は高い。

森林・林業基本計画において、国産木材で最も大きな利用量増加を見込んでいるのは建築用材等のうち製材用材で、横架材や羽柄材での利用拡大、公共建築物の木造化、内装の木質化、機能改善によるリフォーム需要の取り込みなどが進み、2019年の1,300万m³から2030年には1,900万m³へ増加することを目標としている。人工林が本格的な利用期を迎え大径材の出材量の増加が見込まれる中で、国産材率の低い横架材に利用される平角や、ツーバイフォー工法用の構造材、内装材等に利用される板材などを大径材から効率的に生産するための技術開発が進められている。

木質バイオマスを電気・熱のエネルギー源として利用することは、化石燃料を代替して脱炭素社会の実現や非常時のエネルギー供給による災害レジリエンス*の向上に貢献するとともに、特に国産の木質バイオマス燃料に関しては、エネルギー自給率を向上させ、エネルギーの地産地消により林業の振興や山村地域の活性化を促すことから、持続可能な社会構築の有効な手段として期待されている。電気利用については、2012年に創設されたFIT制度（再生可能エネルギーの固定価格買取制度）により急速に拡大し、2024年12月時点で全国321件の発電事業が稼働しており、その発電容量は合計約577万kW（農作物残渣であるPKSと呼ばれるアブラヤシの殻を燃料とする発電事業分を含む、<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>）となり、発電容量は再生可能エネルギー全体の約6.4%を担うまでになっている。また、工場や公共施設、農業施設、家庭等における木質バイオマスの熱利用も進められている。これらの取り組みに伴い、木材の燃料利用量は年々増加し、2023年次では国内生産分で1,132万m³、輸入分では916万m³（いずれも丸太換算値、令

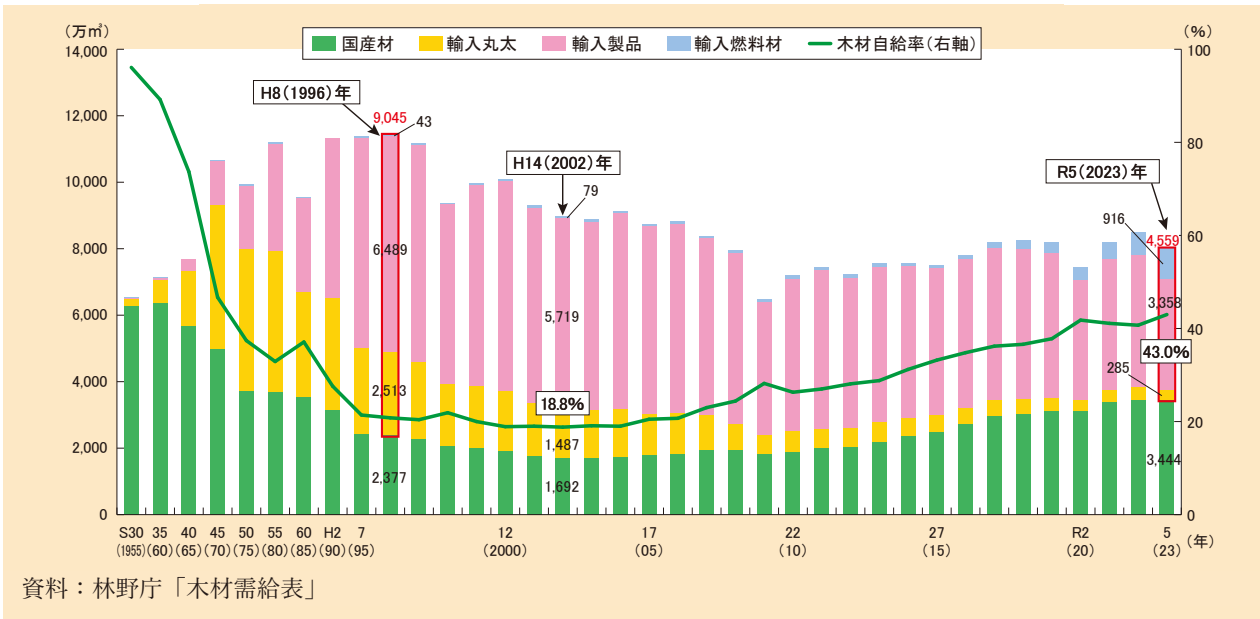


図 木材自給率の推移（令和6年度森林・林業白書より）

和6年度森林・林業白書）となっており、国内で生産される丸太の約3割は燃料として利用されている。このように急速に木質バイオマスの燃料利用が広がる中、燃料の安定供給、他の木材利用とのバランスの確保、森林資源の持続性の確保等が重要な課題となっている。

■ 花粉症問題

花粉症の有病率は2019年には42.5%と、1998年の19.6%から10年ごとにほぼ10%ずつ増加しており、スギ花粉症は38.8%とほぼ3人に1人が罹患しているとされている（環境省、花粉症環境保健マニュアル2022）。スギ、ヒノキ花粉症以外にもシラカンバなどの樹木に加え、イネ、ブタクサ、ヨモギなどの草本などの花粉もアレルギーとなる。スギ・ヒノキは戦後の拡大造林期にモノカルチャーとして人工林の7割を占める700万ヘクタールという大面積に植林され、その森林が花粉を大量に生産する樹齢に達してきたことが、近年の花粉症の増加に寄与していると考えられる。これらの花粉を減らすために、林木育種事業によりこれまでに花粉の少ない少花粉スギ・ヒノキ、花粉を作らない無花粉スギ・ヒノキが開発されており、近年では、単木材積が一般のスギ・ヒノキの1.5倍以上でかつ花粉量も一般のスギの半分以下である特定母樹の申請と普及も進んでいる（林野庁、<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/kanbatu/boju.html>）。2023年度には苗木の生産のうち、花粉の少ない苗木は1,776万本と全体の60%程度になっており、2033年度には9割にする目標が掲げられている（林野庁、https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/kafun/naegi.html）。但し植え替えだけでは飛散量を早期に劇的に減らすことは難しく、花粉飛散防止技術も併用する必要がある。

■ 2050年、森林を取り巻く環境はどのように変わっているか？

以降に詳述する内容を反映して、2050年の森林・林業・木材産業の理想として下記のような状況を想定してみた。

温暖化により激甚化する台風被害、降雨の極端化による土砂災害の増加により、森林災害の発生は増大するが、災害発生予測技術によりこれらによる死傷者は抑制できている。人口減少に伴って山間部を中心に人口減少が続くことにより、山間部の居住地へのアクセス網維持へのモチベーションが低下する一方、採算性向上による林業活動の活発化や森林でのレクリエーション活動の活性化などによってアクセス網維持へのモチベーションが上昇することによって、かろうじて山間部へのアクセス網は維持されていて、災害復旧の際にこれらのアクセス網が重要な役割を果たしている。三大都市圏の各種機能の地域への分散化が進み、さらに地域間の交流や物流網の構築により都市部への依存度が大きく減少しており、伝統と文化、観光資源やレクリエーションが充実した地域特有の社会と森林サービス産業が形成され、森林は人々の **well-being*** に大きく貢献している。適切な森林配置により、人工林の一部は広葉樹林へ移行し、生物多様性は高まり、外部からの様々な変化に対してもレジリエントな環境が構築されている。林業機械の自動化により林業の安全性や生産性が向上し、少人数の高齢者でも安全に伐採・搬出・造林が行えるようになってきている。木材が当たり前のように中高層建築物にも使用されるようになり、セルロースやリグニンなどの高度利用による付加価値も相まって原木の単価が上昇することに加え、育林コストを低減する技術によって林業の採算性が飛躍的に改善している。これにより、採算面から見た人工林の適地が拡大し、林業は地域の基幹産業の一つとなっていて、地域の生計を支える欠かせない産業として認知され、林業人口も一定の水準で維持される。人口の多い都市部に近いスギやヒノキの人工林は少花粉・無花粉のものに置き換えられ、春先の花粉症が話題にならなくなっている。エリートツリーや早生樹による短伐期施業が広がり、バイオマス発電のエネルギー源の安定供給に貢献し、エリートツリーの造林が進むことや建築物・土木事業への木材利用の増加によって木質としての炭素固定量が増大し、カーボンニュートラルを達成している。こういった社会の維持のために必要な教育を子供の頃から受けた新しい大人たちは、ネイチャーポジティブ*の考えのもと持続可能な経済活動を行うことを共通認識として社会活動を行い、理想的な循環型社会が構築されている。

3. 持続可能な日本の森林のあり方

Executive summary

- ・ 林業採算性を重視した人工林管理、生物多様性を重視した天然林管理、採算の取れない人工林を目標林型に誘導する管理が主軸となる。適切な管理方法を判断するサポートツールの開発とゾーニング管理が求められる。
- ・ 機械化や自動化、デジタルツイン技術を活用したスマート林業などによる高効率林業の開発と普及によって林業を持続可能とする。
- ・ 木造建築あるいは建築部材の木質化、代替プラスチックや代替エネルギーなど既存の化石燃料利用を代替可能な技術開発により、高齢化する国内の森林資源をより有効に利用することが可能となる。
- ・ 気候変動対策として、再生林の確実な実施など森林の整備、建築物における国産材の需要拡大、木質バイオマスエネルギー利用、改質リグニンなど新素材の利用、REDD プラスなど途上国の森林保全や森林炭素の蓄積増強への国際連携などが重要となる。
- ・ 生物多様性の面では、特に大型哺乳類の適正管理、捕獲鳥獣の利活用、鳥獣保護管理の次世代担い手の確保・育成、被害防止策の担い手の確保・育成、感染症への対応が重要となる。
- ・ 森林の変化が環境に与える影響を明らかにし、懸念されている豪雨や干ばつなど極端な気象現象の頻度の増加に対して、森林の災害軽減機能を適切に発揮させるために望ましい森林管理の方法を確立する必要がある。
- ・ 森林と触れ合うことが心身の健康にもたらす効果や、レジャー・レクリエーションの場としての森林空間の活用や児童・生徒・成人に対する教育の場として、人々の well-being*を支える機能の高度発揮が求められている。
- ・ well-being*を支える機能の高度発揮と山村社会の維持、国土の均衡ある発展を促すため、森林サービス産業の創出が期待されている。

3.1. 基本的な考え方

内閣府では Society5.0 の未来社会像として「持続可能性と強靱性を備え、国民の安全と安心を確保するとともに、一人ひとりが多様な幸せ（well-being*）を実現できる社会」としている。森林は木材の生産のみならず、防災・減災、水資源の安定供給、炭素固定機能や生物多様性の維持などの生態系サービスを提供する場として、また都市では得られない憩いやレクリエーションを提供する場として、さらには文化的活動の源泉としてなど、多様な役割を果たしており、国民の well-being*に森林は重要な役割を果たしている。これらの役割を持続可能な形態で維持するには、それぞれの森林に期待する役割を適切に割り当て（ゾーニング）、それに応じた森林管理と資金の配分を行うことが重要である。一方で、自然を社会・経済活動の基盤と捉えて社会課題の解決に取り組む考え方は、自然を基盤とした解決策（NbS: Nature-based Solutions*）と呼ばれ、気候変動対策や防災・減災といった社会課題の解決では、自然環境が有する多様な機能を活用する取組であるグリーンインフラや Eco-

DRR*、生態系を活用した適応策（EbA: Ecosystem-based Adaptation）を積極的に取り入れることが重視されている。

また、莫大なストックとなっている木材などの森林バイオマスは、従来の主たる用途である住宅用材や土木資材、パルプ・チップ用材、バイオマス燃料としての利用、中高層建築での利用拡大が期待される CLT（直交集成板）の利用拡大、また改質リグニンやセルロースナノファイバーに代表される木材を使った新しい素材の開発や木の酒のような全く新しい用途の開発などによってその価値をより一層高めることが重要である。これによって、森林が経済活動の中で持続的に利用され、同時に都市部において木材として炭素が常に蓄積される社会の仕組みが構築できれば、森林の健全な管理に貢献できるだろう。

人口減少は林業従事者の減少の他にも中山間地域の道路網の維持に負の影響を与えるが、森林災害は減少しないと考えられ、災害対応のためにもこれらの道路網の維持は必要である。林業が地域の基幹産業になり、憩いやレクリエーションの場として国民全体が中山間地域へアクセスする社会となれば、これらの道路網の維持も自然と図られることになるだろう。森林保護地域は、生物多様性の確保などを通して環境変化にレジリエントな社会基盤として受け入れられ、各事業活動が生物多様性と生態系に配慮している社会が構築されることで、well-being*の実現に大きく貢献する。

3.2. 森林資源

森林は木材生産の場であるとともに、防災・減災機能や水源涵養機能、気候緩和機能や生物多様性保全の場としての機能などの公益的機能を提供し、レクリエーション・憩いの場の提供などの森林サービス産業としても重要な役割を担うなど様々な形で人々の生活に役立っており、これらすべてを森林資源とみなすことができる。

この章ではこの中でも森林管理の在り方、木材資源の利用、特用林産物に関して課題と今後をまとめた。

3.2.1. 森林管理

森林管理は、人間の直接的な活動に利用される場所と、間接的に使われる場所を明確に区分して議論されるべきである。前者は林業活動であり、後者は生態系サービスと考えられる。林業経営が可能な土地を林業活動地域とすべきであるが、木材利用（パフォーマンス）に関する国際的資源戦略としてどれだけ林業地を保持しておくべきか戦略を立てる必要があり、これにより生産・維持コストへの投入量が変化する。指標としては、木質資源生産のパフォーマンスがコストを上回る場所を生産林にし、残りの土地を主として生態系サービスを期待する場所としてゾーニングする考え方がある。「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的機能の評価について」（日本学術会議答申、平成 13 年 11 月）において、森林の多面的機能を①二酸化炭素吸収機能、②表面浸食防止機能、③表層崩壊防止機能、④洪水緩和機能、⑤水資源貯留機能、⑥水質浄化機能として分類し、その経済効果の合計は年間約 68 兆円と試算している。このほかにも生物多様性や健康・観光・教育といった側面も指

摘される。今後 2050 年に向けて技術が進展する GIS を用い、適切な評価軸を設定することで、これらの機能が発揮する経済効果を改めて精緻化する事が非常に重要である。すでに林野庁では森林ゾーニング支援ツール「もりぞん」（林野庁、2023）を提供しており、これらのツールの普及と改良が期待されている。

森林資源が成熟し利用期を迎える一方で、相続登記がなされていない森林も多く、森林所有者の所有林に対する認知状況の低さ、森林組合と所有者との関係性の希薄化、無届伐採や伐採届の偽造といった不正行為による無断伐採の発生、無断伐採発生後の対応のあり方といった解決すべき課題が多く残されている。所有地の境界線の問題がさらに問題解決を難しくしている。これらの課題は所有者の世代交代や人口減少に伴う森林への立ち入りの減少に伴ってさらに深刻化することが予想される。地方自治体が適切なゾーニングによる管理を計画しても、土地所有者が特定できないあるいは連絡が取れないために適切な管理が行えないのは問題であり、早急な対応が必要である。都市部に比べて遅れている森林地域の地籍調査の加速化と林地台帳の整備に加え、森林経営管理制度における経営管理権の集約や所有者不明森林の特例措置、さらには 2023 年 4 月に創設された相続土地国庫帰属制度などの今後の動向が注目される。

3.2.1.1. 天然生林及び原生林のエリア

人為による影響が少ない森林に関しては、国立公園や保護林などの保護地域へ組み入れて管理の質の向上による保全を目指し、30by30 の目標達成に寄与する活動が求められる。

■ このエリアにおける森林整備及び保全の基本方針は「生物多様性保全」

このエリアの森林は多様な生物の生育・生息の場として生物多様性の保全に寄与している。このことを踏まえ、森林生態系の不確実性を踏まえた順応的管理の考え方にに基づき、時間軸を通して適度な攪乱により常に変化しながらも、一定の広がりにおいてその土地固有の自然条件等に適した様々な生育段階や樹種から構成される森林がバランス良く配置されていることを目指す。とりわけ、原始的な森林生態系、希少な生物が生育・生息する森林、陸域・水域にまたがって特有の生物が生育・生息する溪畔林など、属地的に機能の発揮が求められる森林については、生物多様性保全機能を維持増進する森林として保全する。また、野生生物のための回廊の確保にも配慮した適切な保全を推進する。

それに向け、各地の主要樹種または稀少樹種の天然生林・原生林内を対象として長期モニタリング調査地を設定し、成長・繁殖等の年次推移を継続的に調査しており、その解析結果に基づき将来の天然遺伝資源の生息域内での保存について検討を進める。

3.2.1.2. 人工林として継続的に利用するエリア

我が国の人工林は 2022 年現在 1,009 万 ha で森林全体の 40%、国土面積の 27%を占めており、人工林の森林蓄積は 35.5 億 m³である。現在国産材への回帰が進み、素材生産量が増えているものの、全体としては人工林の伐採量は成長量を大きく下回っていると推定される。しかし一方で、地域によっては主伐面積の増加に対して造林面積が見合っておらず、資

源の持続性が疑問視されるケースも存在する。したがって、全体の需要量を満たしたうえで、かつ再造林が確実に行える場所において木材生産が行われる持続可能な林業を行う必要がある。現在人工林であるエリアすべてを将来とも木材生産中心の人工林として管理するのではなく、一部は公益的機能を重視した人工林あるいは針広混交林に誘導されることが望ましい。もっとも、木材生産とそれ以外のゾーニングは固定的、排他的なものではなく、木材の需要量や価格、育林コストによって変化することがあり得ることや、木材生産とそれ以外の機能は完全なトレードオフ関係にあるわけではない点も考慮される必要がある。

将来にわたって人工林として継続的に利用するエリアは、林業として木材の販売収入で採算が取れるような場所に再配置されるべきである。採算性はパフォーマンスとコストの差分であり、前者は木材の価格、後者は素材生産経費、造林保育経費と考えられる。加えて植栽樹種の選択肢を増やすことや、採算性以外の機能に配慮した森林管理を考慮する必要がある。採算が取れるような有利な場所であってもコストを抑えるには、皆伐を行う、1回の施業面積を大きくする、作業道を密に開設する、ことなどが有利に働くため、山地防災や生物多様性確保の観点で特に配慮を要するエリアに対しては人工林として継続的に利用することが難しくなる。国連の定義する持続可能な開発とは「将来の世代の欲求を満たしつつ、現在の世代の欲求も満足させるような開発」であり、これを林業にあてはめると、経済性ととともに、地球環境と生物多様性の保全、国土の防災・減災、さらには文化的サービスの提供を将来にわたって両立させることが大前提となる。例えば、林業と生物多様性保全に焦点を当ててみると、南三陸町の取組が参考になる。南三陸町の FSC 認証林は、自然共生サイトにも認定されているが、TNFD の評価手法（LEAP アプローチ）と FSC 認証制度の親和性が検証され、両者の審査項目には高い整合性があることが報告されている。このことは、針葉樹人工林においても FSC 認証で求められている施業を行うことで十分に生物多様性保全としての機能を果たし得ることを示している。森林管理の実績を TNFD が推奨する情報を開示することによって、森林が企業や金融機関からはネイチャーポジティブを実現する優良な融資・投資対象と見なされ、先行する森林吸収系クレジット（J-クレジットなど）と相まって持続的な資金獲得に繋がることが期待される。

■ このエリアにおける森林整備及び保全の基本方針は「林業」

林業としてのパフォーマンスを高めるためには、木材の需要の多様化と国際的戦略における国産材の加工・利用体制の強化が有効である。住宅だけではなく、公共建築物等非住宅への木材の利用により安定的な需要を確保するとともに、林地残材の利用もプラスした単位土地面積当たりのパフォーマンスの向上が求められる。さらに受給者側と需要者側の情報共有により、短時間に対応できるマーケットインによる木材の付加価値創出が求められる。素材生産のコストは、安全性管理と表裏一体となる。日本の地形に合致した林業機械の開発により、安全性の向上と効率化を同時に目指すべきであり、効率性のみを優先すべきではない。造林保育のコストは、初期保育、枝打ち、間伐に大別される。初期保育は造林から下刈りと除伐までを言うが、2025 年においてその機械化は進んでいない。作業形態から大型の機械を必要としないため、この作業に適した小型多機能型作業機の開発が望まれる。またこうし

た技術はロボット開発と相性が良いため、農業分野での利用も期待される。枝打ちと間伐では、主伐における木材の形質を向上させ、市場での付加価値を上げるための技術として発達してきた。今後は 2050 年に向けて市場での木材利用方法を見据えながら保育技術を開発する必要がある。

■ 林業適地を選択するゾーニングツールの開発

現在森林総合研究所を中心に実施されている農林水産省技術会議委託プロジェクト「日本全国の林地の林業採算性マトリクス評価技術の開発」では、木材としての森林の成長速度をパフォーマンスとして評価する技術開発を進めている。このプロジェクトでは毎年森林に溜まっていく材積を将来の売却価格に価値変換し、現在価値（LEV）として林業に適した森林であるかどうか評価する。こうした土地評価システムを導入することにより、アセットマネジメント等による投資を引き込む基幹データを提供できるようになる。今後は付加価値として、一定期間の二酸化炭素吸収機能等を入れ込み価格設定を行うなどの指標開発が重要となる。また前出したコスト評価も LEV 評価には非常に重要な視点となる。

■ 林業経営が成り立つ限界点

林業を行って黒字になることが、安定的な森林経営を持続させる鍵となるが、集成材の販売価から原木流通コスト、素材生産コストを除いた立木価格は 2021 年現在 3,000 円/m² となり、木材を生産するコストに比べて安く、原価割れしている状況である。例えば製材・集成材の一体的な生産体制の導入や、曲がり挽き対応の機械の導入による対応材単価の減少、さらには原木流通コストの低下、事業量の増大による素材生産コストの低下などにより、立木価格が 6,500 円/m² 程度になり、造林・保育コストが現状のままでも黒字経営が可能となると試算されている（森林総合研究所、2021）。これらの各工程のコストダウンにより、より安定した経営が可能となるため、それらに貢献する研究や技術開発が重要となる。なお、木材生産を主目的とする人工林であっても、後述するような森林空間利用の場として活用することにより収入が得られる可能性がある。

コラム 人工林と限界集落の関係

今後高齢化と少子化が進み、65 歳以上の人口が半数を占める集落を限界集落（大野晃、2005）としている。九州地域では、県によって事情が異なるが限界集落となることが予想されている箇所に存在する人工林が高標高域に偏在しており、これらの森林を人工林として維持していくことが難しくなる可能性が指摘されている（鳥山・橋本、2023）。一方で、人工林へのアクセスが確保できていれば、人工林としての維持は人口問題にあまり影響を受けないことも考えられ、人工林の維持と人口減少の問題の関連については、慎重な解析が必要と考えられる。

■ 早生樹の活用

早生樹には、①初期の成長が早く下刈りなどの保育の効率化に資する早生樹、②木材として早期に伐採利用できる早生樹、③エネルギー利用等单位面積当たりの収量が大きい早生樹に分けられる。①としては、2025年現在開発中であるエリートツリーが当てはまる。②としては、今後長期間の材積成長量について検証が進むエリートツリーや、センダンと言った付加価値の向上が考えられる広葉樹が当てはまる。ただしこの場合は個体としての早生樹であり、単位面積ベースで材積が早期に大きくなるものではない。2025年現在、コウヨウザンはこの部類として試験中である。③としてはヤナギ類やユーカリ類が当てはまる。ヤナギ類は近隣の河川より採集した個体を挿し木によって高密度に植栽し、3~5年程度で伐採利用する。ユーカリ類はオーストラリア原産の外来樹種であるため、その自然拡大に注意する必要があるが、すでに多くの国に植林されており、国内での利用可能性も視野に入る。ニセアカシア(ハリエンジュ)なども成長量は高いが、根萌芽による拡大が懸念され、要注意外来生物にも指定されていることから、③としての利用は避けるべきである。

■ 林業と生物多様性保全の両立

人工林を継続的に利用しつつ生物多様性保全に寄与するために、人工林の主伐時の工夫として、一部の樹木を切らずに残しておく保持林業などの手法が検証されている。残置木を分散的に設定した場合と集合的に設定した場合ではそれぞれ異なる利点があるため、経済的なデメリットを最小限に抑制した上での最適な組み合わせで配置することが重要と考えられている(Ozaki et al., 2024)。一方、森林管理の持続可能性を確保するためには、FSCに代表される国際的な森林認証制度や、モントリオールプロセスに基づく国レベルでの評価枠組みも重要である。また、近年は違法伐採規制やEUDR(欧州森林破壊防止規則)に象徴される市場側の要請も強まっており、人工林材の持続的利用にはこれらの国際的潮流を踏まえた対応が求められる。

■ 森林デジタルツイン*の構築と自動化技術の開発

人工林の管理をアシストするため、無人・遠隔走行林業機械、自動伐採・搬出林業機械、マルチオペレーション技術の開発、林業現場におけるデジタルツイン活用技術、AI等によるロボット制御技術等の開発とともにこれらを活用するための高速通信技術などの研究を進める必要がある。

森林内においても短距離RTK*等の技術により数センチの誤差での位置把握が可能となっており(瀧ら、2020)、GNSS*を利用して電動一輪車を指示した場所に到達させる技術などにより、植林時の負担が劇的に軽減することが期待される。

特に林業の作業システムにおいて生産性のボトルネックの一つであるフォワーダによる運搬作業については、複数台の同時無人走行フォワーダが開発され現場実証も完了しており、現在は市場投入に向けた運行ルールの作成が行われている。これに呼応する形で、自動運転・遠隔操作林業機械の安全性確保ガイドラインが策定されるなど新規技術導入に向けた環境整備が進められており、林業現場における安全性確保と省力・効率化が期待される。

この他にも、特化型 AI による荷役作業の自動化、全天候型 LiDAR の環境地図構築と自動走行への応用、森林内の携帯電波等不感地帯における高速通信技術の開発などが行われている。森林域での実現には様々な課題があるものの、林業現場における半自動化は十分に可能であると予想され、将来的には危険な作業は機械が自動で行うことで、林業の労働災害発生率が劇的に減少することが期待できる。

これらの技術を実現するためには、森林域における Cyber Physical System (CPS) *の確立と CPS の基盤データベースとなる森林デジタルツイン*の構築が必須である（瀧、2024）。このため上記機械・技術開発と同時並行的に CPS と森林デジタルツイン*の構築に向けたプラットフォーム造りが進められている。CPS と森林デジタルツイン*の構築は、自動化技術だけに活用されるものではなく、すでに先行して構築されている都市部のデジタルツイン*情報や大気情報等と一つのプラットフォームで共有することで、森林環境の変化も加味した炭素収支モニタリングや環境変動モニタリングなどが全球スケールで把握、シミュレーションできると期待されている。人口の減少と高齢化は不可避であることから、高齢者でも行えるような省力・効率的でかつ安全性を重視した造林・保育・伐倒・搬出技術の開発の優先度は高い。

■ 花粉症対策

先に述べたように、少花粉スギ・ヒノキや無花粉スギ・ヒノキへの転換が進みつつあるが、さらに加速化するには苗木の供給体制の充実も必要であり、森林総合研究所ではそれらの苗木の大量生産に寄与する組織培養による苗木の大量増殖技術の開発を進めている。林木育種センター及び各育種場では特定母樹や少花粉スギ・ヒノキ等の採種穂園の母樹となる原種苗木の都道府県・認定特定増殖事業者への配布を年間 2 万本以上の単位で急速に進めている。都市近郊において優先的にこれらの転換を行い、人口密集地域への花粉飛散量を減らす方が有効であり、この優先転換林分を決定する手法の開発が急がれる。一方で、森林面積の大きさや林齢配置を考慮すると、花粉飛散量を早期に劇的に減らすことは難しい。そのため、花粉の飛散を防止する技術も併せて適用していく必要がある。環境の安全に配慮し、かつコストを最小限にとどめる飛散防止剤の開発と利用が進むことが期待される。将来的にはゲノム編集によるスギ・ヒノキの無花粉化とその活用も見据えており、多様な視点で花粉症対策に関わる研究が進められている。

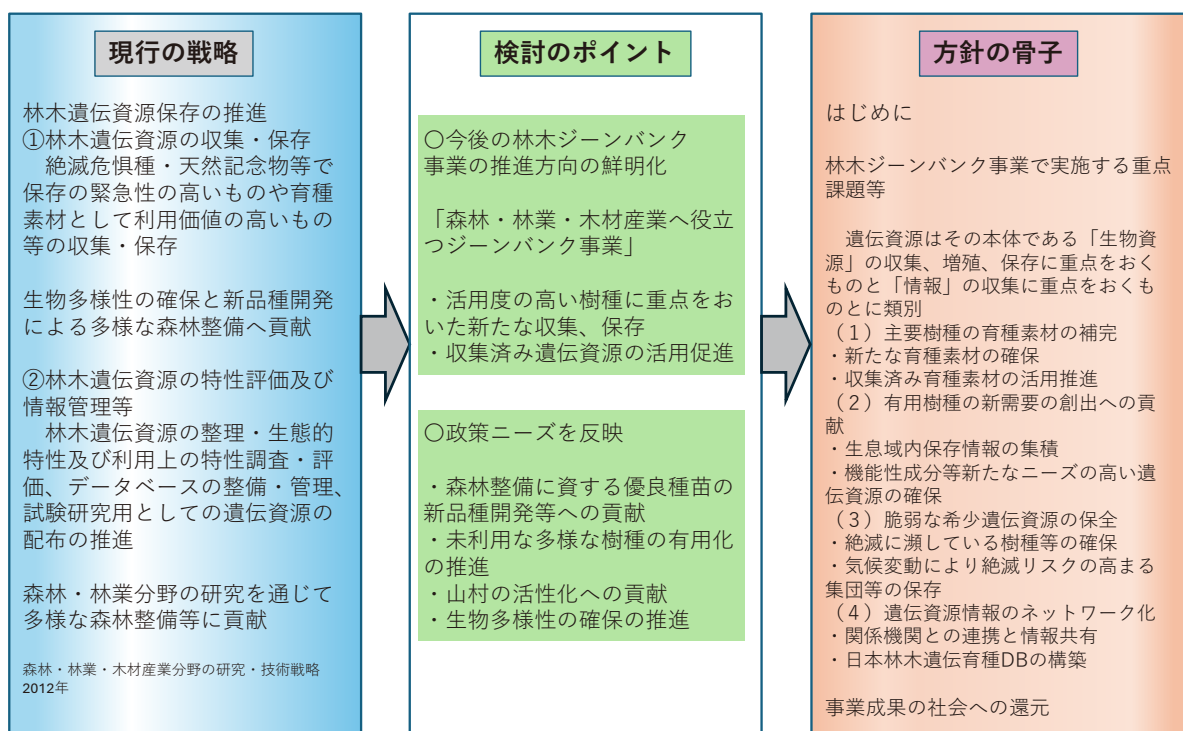
コラム：林木遺伝資源の保存に関する最近の動向

林木のリソースに求められるニーズは多様であり、多様な新品種の継続的な開発や、新需要の創出、稀少なリソースの滅失防止のためには、林木遺伝資源をより効果的・効率的に保存する必要がある。これまで林木の遺伝資源については、1985 年に農林水産省ジーンバンク事業の一環として発足した「林木ジーンバンク事業」において、遺伝資源の探索・収集、保存・評価が進められてきたが、以降 30 年が経過し、低コスト林業や地球温暖化対策、早生樹等への樹種転換、森林における生物多様性保全、脆弱な樹種及び集団の

保全等、一層の多様なニーズに資する林木遺伝資源の保存と活用が求められてきている。このような背景から、2014年12月には林木ジーンバンク事業の進め方について見直しを行い（下図、『林木ジーンバンク事業の方針』：林木育種センター2014）、より中長期的展望に基づいた事業展開を進めている。

遺伝資源は、資源の本体である「生物実体」とそれらに関する「情報」の大きく二つの要素から成り立っている。効率的かつ効果的に事業を推進するためには、林木遺伝資源の重要度を勘案した階層化と階層ごとに濃淡をつけた事業展開が重要である。このため、「生物実体」の収集、保存を行う対象については、有用な育種素材として林木育種に貢献するもの、ニーズが高く早期に新たな需要が見込まれるもの、生息域内の保存のみでは種または集団の絶滅のリスクが高いもの等に限ることとし、それ以外の森林を構成する樹種等については、生育地の位置、生育地での形質等といった「情報」の収集の充実を図ることとしている。

林木ジーンバンクの事業の方針の骨子



『林木ジーンバンク事業の方針』：林木育種センター2014 を改変

3.2.1.3. 一度人手が加わったが、何かしらの目標林型に誘導するエリア

2019年4月より森林経営管理法に基づいた新たな森林管理手法である森林経営管理制度が開始された。この制度では林業経営に適さない森林を市町村が経営管理することが可能になり、特に自然条件に照らして林業経営に適さない人工林は針広混交林等へ誘導することで森林の多面的機能の発揮させることを目指している。これは、採算の見通しが立たない人工林に管理コストをかけ続けることが採算に合わないこと、通常人工林では単一樹種の一斉林であるため、木材生産以外の生態系サービスが低下していることが背景にある。しかし、人

工林の広葉樹林への誘導については、成立条件に関する知見の欠如、誘導や成林技術の欠如、地域産苗木不足など研究及び技術的に解決すべき課題が山積しており知見の集積が必要な高度な解決策が必要となっている。また、天然生林には、様々な遷移段階が含まれており、単一的な管理方法の提起にはまだまだ知見の集積が欠かせない。

■ 広葉樹林施業

広葉樹林には、資源利用に加えて、生物多様性の保全や水源涵養、土壌保全、炭素吸収、景観形成など、多様な生態系サービスの供給が求められている。このような多機能性を活かすためには、単なる木材生産にとどまらず、地域の自然環境や文化的背景を踏まえた総合的な森林管理が必要である。

日本の広葉樹林施業は、針葉樹人工林施業に比べて体系化が遅れているが、萌芽更新はコナラやクヌギなどで広く実施され、薪炭林施業でも活用されてきた歴史がある。一方、天然下種更新では、種子散布距離や発芽条件、稚樹の成長特性を考慮した計画が必要であり、母樹の配置や前生稚樹の量、競合する植生の状態などが更新成功率に大きく影響するため、想定される場合の数が多すぎて、単純な体系化は困難である。また、天然下種更新では通常コストをかけずに更新が完了することが求められるが、実際には、目的樹種を限定する場合であれば、苗木の植栽や下刈りも必要になる。さらに、パルプや薪炭利用だけでなく、木材生産を目指すのであれば、更新後にも樹形を改善して通直な幹を育成するため、適切な間伐や除伐が不可欠である。

近年、円安や世界的な木材価格の高騰、供給国における資源保護政策の強化といった要因により、資源としての国産広葉樹材への期待が高まっている。この需要に応えるためには、従来の施業技術を発展させるとともに、早生広葉樹の導入や集約的な管理による木材生産の効率化が課題とされている。センダンなどの早生樹種は、短期間で収穫可能であり、木材供給の安定化や耕作放棄地の有効活用に資するが、単一樹種の植栽は病害虫リスクや生態系の単純化を招く恐れがあるため、ゾーニングにおいて配慮が必要である。また、早生樹種に対応した効率的な製材・乾燥技術の開発も重要な課題である。現段階では天然下種更新で目的樹種を確実に更新させることは難しいことから、着実に目的樹種を更新させる技術の開発とともに、更新してきた樹種を育成・利用する形での森林管理方法の開発も求められる。さらに、広葉樹材の多様な用途を活かし、地域資源の循環利用や地場産業との連携を強化することが、持続可能な森林経営と地域振興の両立に不可欠である。このため、生態学的知見、経済的合理性、地域資源の活用を統合した施業体系の確立が求められる。

■ ネイチャーポジティブ*～生物多様性と生態系サービスの理解と保全

世界的に生態系の劣化が進み、生物多様性の損失が止まらない状況を転換すべく、ネイチャーポジティブ*という考えが生まれている。国内でもその重要性が認識されており、生態系の健全性の回復には、生物群集全体の保全に向けた場の保全・ネットワーク化、陸域及び海域の利用・管理における生物多様性への負荷軽減、野生生物の保全、保全上重要な地域の保護・保全に関する関係省庁の連携などが必要とされている（生物多様性国家戦略 2023-2030 の基本戦略 1）。これらにより、全体として生態系の規模が増加し、質の向上（健全性

の回復)、種レベルでの絶滅リスクの低減、遺伝的多様性の維持が図られることが期待されている。そのためには、陸域及び海域の保護地域を新たに指定したり、区域を見直したりすることに加え、OECM*（保護地域以外で生物多様性保全に資する地域）を設定することで、陸と海の30%以上を保全して管理を強化する必要がある。林業経営に適さない人工林は針広混交林等へ誘導する流れが加速した場合、生物多様性の保全という面からプラスの価値が創出され、生態系の健全性の回復、ひいては森林資源の保全にも寄与できるであろう。

■ OECM*の設定（30 by 30）による保全

日本国内では環境省により2023年度から「民間の取組等によって生物多様性の保全が図られている区域」を「自然共生サイト」として認定してきた。認定区域のうち、すでに保護地域に指定されている場所を除いた部分がOECM*に登録される。2025年4月から地域生物多様性増進促進法（地域における生物の多様性の増進のための活動の促進等に関する法律）が施行され、従来の生物多様性が豊かな場所を維持する活動に加え、管理放棄地などにおける生物多様性を回復する活動と開発跡地などにおける生物多様性を創出する活動が対象となった。これら「回復」と「創出」は将来的にOECM*の基準を満たす場所となるような活動が想定されているが、生物多様性がいかに回復あるいは創出されたかを評価するには、基準（レファレンス）が必要となる。国内の複雑で多様な生態系を対象に基準を設定するのは簡単ではない。加えてその基準年をいつに設定するのかという問題もある。例えば温暖化対策の京都議定書第一約束期間（2008年～2012年）では、原則として1990年が基準年として設定されたが、各種セクターでの統計データに基づく温室効果ガス（GHG）排出量の算定が整備されていたため、基準年及び約束期間中の排出量を正しく評価することができた。一方で生物多様性の場合、積み上げ可能な統計データに類するデータが極めて限定的であり、生物多様性の状況を過去に遡ることは困難であることから、基準年を至近に設定せざる得ない現実がある。加えて日本国内の森林所有の複雑さ（細分化や所有者不明）が広範囲の森林を一括して管理することを難しくしている。

これらOECM*の設定・管理を困難にしている問題はあるものの、例えば地域内で連携して細分化された森林を一括して広域に「自然共生サイト」として登録するなどの取組が進めば、そこで得られる生物多様性保全という付加価値が企業などによる投資（ESG投資）の呼び水となるだろう。その結果、企業にとってTNFD*やネイチャーポジティブ*への貢献という形で社会的な評価に結び付き、生物多様性保全に投資が継続されるのが理想である。また、自然共生サイトの取組結果を生物多様性クレジットの生成に繋げ、森林を利用しながら保全するという、新たな価値の創出に繋げていく必要がある。

■ 将来への期待 人工林としての利用を継続するか？

現状では採算が取れず、人工林として継続する選択肢が有力でない場合でも、将来の保育の低コスト化や省力化が進展したり、木材の単価が上昇したりすれば採算性が改善し、人工林の適地に変化する可能性はある。さらに、人口減少や少子高齢化による担い手の問題や、林道の維持などの問題も関わってくるため、生業としての林業の生産物である森林をどう維持していくべきかについては社会・経済的な要素も大きく関わる。そのため、これらの要素

に柔軟に対応した管理支援技術が必要とされている。具体的には、現状では木材生産に適さない人工林に対して、国土保全や生物多様性維持、森林サービス産業の場としての活用の観点から、必要最小限の間伐や針広混交林への誘導を低コストで実施する技術や、長期間放置された林道・作業道を再利用する技術の開発等が求められる。

3.2.2. 木材資源の活用

脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律（平成 22 年第 36 号、通称：都市（まち）の木造化推進法）に基づき、農林水産省木材利用推進計画（平成 22 年 12 月農林水産省策定、令和 4 年 4 月改定）や建築物における木材の利用の促進に関する基本方針（令和 3 年 10 月）が作成され、国及び地方公共団体が整備する公共建築物だけでなく建築物一般に対する木材利用が推進されている。自治体や企業等によるこういった木材利用を加速化するため、農林水産省では 2025 年 10 月に「『森の国・木の街』づくり宣言」の募集を開始し、2026 年 3 月時点で 414 の自治体・企業等が宣言している。また、循環経済（サーキュラーエコノミー*）の実現を目指す計画においては、エネルギー利用も含めた未利用間伐材の有効活用や木材の建築用材としての長期的利用の促進、端材や建築廃材の新素材への活用や再生利用などを進めることが期待されている（第五次循環型社会形成推進基本計画、2024）。サーキュラーエコノミー*は、資源の有効活用を通して、気候変動、生物多様性損失、環境汚染を低減させ、将来にわたって人々の well-being*にも貢献するとされる。

木材を用いた各種生産物による炭素固定もカーボンニュートラルに貢献する。バイオエコノミー戦略（統合イノベーション戦略推進会議、2024）において、生物由来の素材、さらには微生物や動植物の能力により生産した素材を用いて物質を生産する「バイオエコノミー」が世界的に注目され、社会実装に向けた技術開発が進んでいる。

材質育種

材密度や材強度、含水率等の材質形質は遺伝性が高いことが知られており、材質に優れた系統の選抜や普及もカーボンニュートラルの実現や優良材生産、製材における乾燥コスト低減に貢献すると考えられる。これまでの研究により、材密度や材強度等の優良性を組織学的に規定する晩材率・晩材密度や MFA（マイクロフィブリル傾角）の遺伝的変異について知見が蓄積されてきた。さらに近年では、成長錐コアサンプルからの心材含水率の非破壊かつ多検体の測定により含水率の低い系統の効率的な選抜も可能となってきている。加えて、画像解析等の新たな評価技術の導入に基づく材質評価手法の高度化や材質に関連する遺伝子座群の特定、幼老相関の解析等による材質形質の早期評価等の取り組みも行われており、優れた材質形質を有する個体の効率的な選抜に向けた取り組みが進められている。

3.2.2.1. 建築物等における木材利用

建築物への木材利用については、製造時の二酸化炭素排出量が少ないことや炭素固定効果によるカーボンニュートラルへの貢献、地域経済の維持・活性化などによる持続可能な資源利用への貢献、内装の木質化による生活空間の快適性向上などが利点とされる（林野庁、2024）。一方で、現状ではコストが高いのが難点である。

構造材については、現在の CLT 製造技術が進展するとともに国内での中高層建築物利用が進み、知見がさらに集積されつつある。一方で、人口1人当たりの木材総需要量が2022年の0.68m³から大きく変化しないと仮定すると、将来の人口予測に基づけば2030年及び2050年の木材総需要量は8,168m³及び7,119m³(2022年の84%)と推計される。また、人口減少等による将来の住宅着工数の減少が予測されており、2030年73.5万戸、2050年34.4万戸(2022年の40%)とする報告(三菱UFJリサーチ&コンサルティング、2025)もある。森林の多面的機能の持続的発揮と地域の活性化においては、将来の木材総需要量の水準を低下させない必要があり、そのためには、非住宅・中高層建築物分野での木造化・木質化を進め、新たな木材需要を創出することが重要である。

大型建築等での木材利用を拡大するためには、川上から川下までの木材のサプライチェーンに携わる関係者が、自らの収益だけでなく相互利益を拡大することの重要性を共に認識しながら、林業の収益性を向上し、木材を持続的かつ安定的に供給できる体制を構築していくことが不可欠である（バイオエコノミー戦略、2024）。

再生可能な木材の需要の創出と生産・加工技術の高度化、木質構造の長寿命化と持続可能な木材利用、SDGs や ESG 投資*への関心の高まりを背景に、木材利用の環境価値を「見える化」することが重要となっている（建築物への木材利用に係る評価ガイダンス、2024）。2050年の人口分布やライフスタイルの変化によって、これらの需要は大きく変化する可能性がある。

■ 技術的な課題と解決

日本の針葉樹人工林の成長にともない供給される丸太の径級や品質が変化し、その時の木材需要構造に応じて求められる加工技術や製品品質も変化してきた。生産の省力化やコスト低減を目指した技術開発が進んだが、労働力不足やニーズの変化に対応し、多様な資源から付加価値の高い製品を生産するための技術革新が求められる。

直交集成板（Cross Laminated Timber, CLT）や単板積層材（Laminated Veneer Lumber, LVL）による中高層建築物は多くの炭素を長期間貯蔵することが可能であり、日本でも高さ40mを超える純木造ビルが建てられるなど利用が進んでいる。CLTによる建築物の需要は、建設工費が鉄骨造や鉄筋コンクリート造に比べて高いため、現在のところ伸び悩んでいる状況である。しかし、循環経済への移行が完了している2050年にはESG投資*が定着・一般化し、森林の健全化による気候変動・生物多様性・国土保全への対策、地域社会の活性化と林業の成長産業化、持続可能性をベースとした企業理念につながる木材利用促進の観点から、純木造の中高層建築物数やCLTを一部取り入れた建築物数が大幅に増加すると予想する。

中高層・大規模建築物を木造で建設するためには、耐候性、耐腐朽性、耐火性等、物理的・生物的・化学的要因による劣化外力に対して、長期使用に耐える材料の供給と維持管理体制の構築が必須である。木材が生分解性の材料であるメリットを活かしつつ、耐久性を備えた塗料による表面処理、難燃化技術の高度化、使用環境に対応した木造建築物のメンテナンス技術の開発も重要な課題である。

3.2.2.2. マテリアル素材としての木材利用

木質バイオマスのマテリアル利用は、化石燃料由来製品の代替によるカーボンニュートラルの実現に加え、地域資源の有効活用による山村の活性化等に大きく貢献することが期待されている。将来的には、改質リグニンやセルロースナノファイバー等の用途開発や製造技術の高度化に加え、汎用性の高い新たな生分解性素材の開発、「木の酒」をはじめとする食・健康分野に資する木材の新しい用途開拓が進んでいる。改質リグニンやセルロースナノファイバー等の利用技術は、木材を構成するリグニンやセルロースという化学成分を分離して利用する技術であり、現状ではそれぞれの成分に適した分離技術の開発が進められている。将来的には、これらを同時に分離する方法と、それぞれの成分について利用効率を格段に上昇させるための技術開発を進めることで、現在に比べて1本の木の価値を最大化するための木質バイオマスの利用が実現する。木材の全く新しい利用として森林総合研究所が世界で初めて開発した「木の酒」については、現在商用生産に向けた研究開発を進めている段階である。さらには「木の酒」製造残渣の食物繊維としての活用等を進めているところであり、廃棄物を出さない製造プロセス等の確立を目指している。今後は安定製造プロセスの確立や地域材を活用した「木の酒」関連製品を持続的に生産するための原料供給体制の確保等が進み、各地域の特性を活かした木材の高付加価値活用体制が整えられ、地域や中山間地の振興に貢献する利用法としての確立が進む。

一方で、木材が本来持っている生分解性という特性を活用した環境負荷の少ない材料としての利用を促進するために、木材に軽微な化学処理を施すことで、プラスチック材料との比較で大きな欠点となっていた成形性の自由度を大幅に改善した高柔軟性木材などの、より汎用的な木材のバイオマス利用が進む。さらには、木材を化学的に処理することで難分解性の耐久性材料に変換する技術やプラスチックと混練することで易成形化したWPC (wood plastic composite) が、リサイクル可能な設計のもとでその用途を拡大している。

3.2.2.3. 木質バイオマスのエネルギー利用

近年では地球温暖化の影響により年ごとの気候変動が大きく、農作物ばかりでなく草本等の単年のエネルギー作物においても、安定的な生産量の確保が困難になる可能性が生じている。木質バイオマスは植林から収穫までに数年を必要とすることから、単年作物に比べて年ごとの気候変動の影響を受けにくい。単年のエネルギー作物と異なり、木質バイオマスには、森林そのものを樹木の生きた貯蔵庫としてとして利用することで、必要な時に必要量伐採して安定供給できるという利点がある。木質バイオマスエネルギーの活用を推進するため

には、林地残材等の未利用バイオマスにいかに関格競争力を持たせて利用するかが重要になる。その問題の解決のために、未利用バイオマスの収集・運搬工程も含めた燃料生産の生産性向上や燃料の高品質化といった技術的課題に取り組んでおり、将来的には単年のエネルギー作物と複合的に利用することで、双方の利点を相補的に生かした国産バイオマスによるエネルギー生産に貢献する技術開発が進められる。また地域でのエネルギー利用では、小規模の施設においても、高いエネルギー利用効率が達成できるような熱利用・熱電併給施設の導入促進や、排熱のカスケード利用をより高度化するための技術開発が必要になる。それらの技術開発の成果を複合することで、木質バイオマスエネルギーの生産システムの高効率化が達成され、また木質バイオマスマテリアル利用を含めた複数用途への木質バイオマスの最適配分による木質バイオマスを無駄なく活用するためのシステムが構築される。その結果、原料の生産から加工・輸送してエネルギー利用に至るまでの温室効果ガスの総排出量（ライフサイクル GHG）削減と、林業振興・山村振興の同時達成が可能になる。

3.2.2.4. 木材利用におけるトレーサビリティの確保

合法伐採木材等の流通及び利用の促進に関する法律（通称「クリーンウッド法」、2023年に「改正クリーンウッド法」に改正）に基づき、木材関連事業者は、木材等を利用するに当たって合法伐採木材等を利用するよう努めなければならないとされ、木材流通の最初の段階（川上）と、輸入の段階（水際）の事業者は、木材の合法性を確認する義務が課されている。国産材については、素材生産者から木材を購入する第一種事業者に対し、購入する木材が合法的に得られたものかについて確認することを義務化している。これらを通して、違法伐採を防ぎ、持続的な森林経営の実現を通じて気候変動や生物多様性の劣化を防ぐ体制が整えられている。木材の産地判別法（アジアモンスーン地域の生産力向上と持続性の両立に資する技術カタログ、2024）や二次元バーコードによるトラッキングなども試行されており、早期の実用化・標準化が期待される。前出の FSC などの森林認証制度は森林の管理を認証する（Forest Management 認証；FM 認証）ものであるのに対して、FM 認証された森林からの木材・木材製品の製造・加工流通過程を認証するものは Chain of Custody 認証（CoC 認証）と呼ばれ、SGS 社など国際的な CoC 認証制度に対応する企業も存在している。特に、国産材の海外輸出を推進する立場をとるならば、国際的な認証制度への理解は不可欠である。

3.2.3. 特用林産物

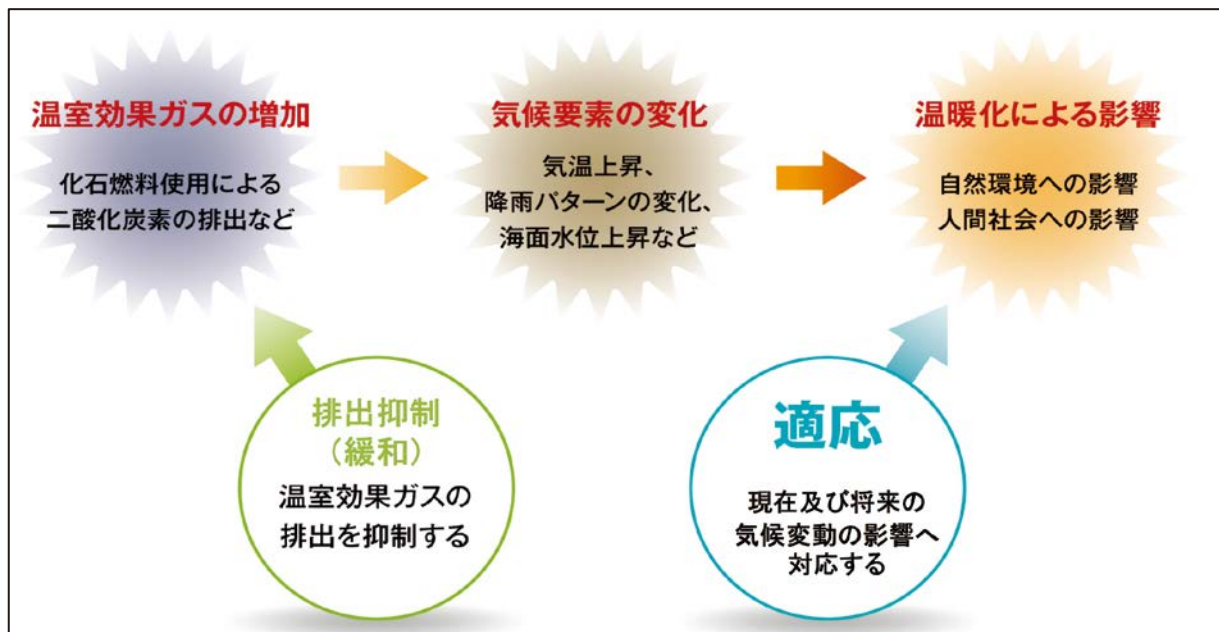
2022年3月に林野庁が策定した「森林・林業・木材産業分野の研究・技術開発戦略」では、林業の持続的かつ健全な発展に向けた研究・技術開発における特用林産物の生産振興に関して、きのこ、木炭、薪、竹、漆等の特用林産物については、林業産出額の約半分を占め、山村地域における農林複合的な収入確保に資する重要な地域資源である。このため、キノコバエ等きのこ病虫獣害の防除技術の高度化、日本産トリュフ等菌根性食用きのこの栽培技術の開発、高品質漆生産技術の開発、カギカズラなど薬用草木やきのこ原木など広葉樹資

源の持続的な利用や生産の効率化を図る技術の開発等が求められている。また、竹の用途開発や高度利用、高付加価値製品など輸出も含めた消費者ニーズに対応した製品開発に関わる研究、食用きのこ類等森林微生物の遺伝資源の収集・保存なども必要とされている（林野庁 2022）。

例えば、シイタケの主要な栽培手法は原木栽培から菌床栽培に移行したが、より低コストな培地及び栽培法の開発が考えられる。これにより人口減少による生産力の減少を労働生産性の向上で緩和することが可能となる。また、温暖化への適応として高温や病害虫への耐性を持つ品種開発が重要となる。また、子実体を発生させる機能の解析が進むことにより、これまで樹木との共生が必要で野外条件でのみ作出されてきたマツタケ等菌根菌についても共生を必要としない栽培が可能になる可能性がある。こうした生産技術の進歩は様々なきのこ類の生産を可能とし、食品以外の機能、例えば病気の抑制効果や健康増進効果への応用にも期待される。工業的な生産が進展すると増大する廃菌床の処理問題を解決する必要が生じる。現在でも廃菌床を病害防除や肥料に利用する手法が開発されており、より効率的に利用するシステムの開発によりカーボンニュートラル達成にも貢献する。日本のきのこ消費量は横ばいとなっており、海外への輸出量の増加とその対応のための流通・保存技術の進歩が期待されている。

3.3. 気候変動の緩和と適応

気候変動による森林への影響として、樹木種の分布の変化や自然災害の激甚化による森林の劣化などが考えられる。これらの影響は森林の多面的機能の低下にも結びつくことから対策が必要となってくる。気候変動対策には、温室効果ガスの排出を減らす緩和と気候変動の影響による被害を回避・軽減する適応の2つがある。これらに関しては、農林水産省の



「地球温暖化対策計画」¹⁾と「気候変動適応計画」²⁾や環境省の「気候変動適応計画」³⁾などの計画が立てられている。

1) <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/taisaku/top.html>

2) <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/adapt/top.html>

3) https://www.env.go.jp/earth/earth/tekiou/page_00004.html

■ 気候の緩和

気候変動の緩和は、温暖化の進行を緩やかにするため温室効果ガスの排出量を抑える、または大気中から除去する取り組みである。緩和策には再生可能エネルギーの普及やエネルギー効率向上、低酸素交通、循環型経済、CO₂の貯留・除去などと並んで土地利用・森林分野での取り組みが含まれている。この中で農林水産省の「地球温暖化対策計画」では、森林吸収源対策として、再造林の確実な実施など適切な森林の整備、建築物における国産材の需要拡大、木質バイオマスエネルギー利用、改質リグニンなどの木質系新素材の利用、森林吸収量算定方法の改善、J-クレジット制度の推進挙げている。また、建築物における国産材の利用拡大に関連して、事業者が自らの温室効果ガス排出削減への取り組みを可視化する SHK 制度（温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度）の活用も重要であり、木材利用による炭素ストックやライフサイクル全体での排出削減効果を適切に評価するための基盤となる。さらに、REDD プラス（途上国における森林減少・森林劣化に由来する排出の抑制、並びに森林保全、持続可能な森林経営、森林炭素蓄積の増強）など途上国の森林保全や森林炭素の蓄積増強への協力や国際機関との連携による気候変動対策も重要である。

■ 気候への適応

気候変動への適応策を環境省では「気候変動適応計画」の中でまとめている。その中で、林業への影響として、現在、一部地域でスギの衰退現象やマツ材線虫病の分布域の北限への拡大が見られ、また将来予測される影響として苗木の成長抑制、一部地域でスギ人工林の純一次生産量の低下、カラマツ人工林の林床から排出される CO₂ 増加、マツ材線虫病発生危険域の拡大、トドマツオオアブラムシによる被害、南根腐れ病菌の分布の拡大が指摘されている。これらに対する適応策として、気候変動が森林・林業分野に与える影響についての調査・研究の推進、森林病虫害のまん延の防止、主要造林樹種について適応性の評価、造林樹種の成長や樹木の周辺環境が受ける影響のモニタリング、長伐期林へのリスク評価などが挙げられている。また特用林産物についても、病原体の増加による被害増加、きのこの発生量の減少、害虫の発生増加などの影響を指摘し、適応策として病原菌による被害状況や感染経路の推定、高温環境での収穫量への影響把握、温暖化に適応した栽培技術や品種等の開発・実証・普及の促進を挙げている。加えて、農林水産省の「気候変動適応計画」では、気候変動による降雨パターンの変化や大型台風の発生により、表層崩壊、土石流、山腹崩壊に伴う流木の発生、人工林における風害発生などが指摘されている。これらに対し適応策として、治山対策及び森林整備の推進、河川沿いを避けた尾根寄りの林道設計、余裕のある林道の幅員や曲線部の拡幅、土場等の設置、排水機能の強化等による路網の強靱化・長寿命化及び海岸防災林等の整備による津波・風害の災害防止機能の発揮を挙げている。また天然林への気

候変動の影響として、自然林・二次林の分布適域の変化や、花粉媒介昆虫の発生日よりも開花期が早まることで送粉者とミスマッチが起こることなどが指摘されている。これらの影響に対する適応策として気候変動が森林に与える影響についての調査・研究の継続や、原始的な天然林や希少な野生生物が生息・生育する森林の保全管理の推進を挙げている。

人工林においては、気候変動（気温上昇・乾燥）の影響を考慮した造林適地の選定（ゾーニング）や伐期の変更など既存の施業方法の見直し、各地域の環境変化に対応できる適切な樹種・苗木の選定、コンテナ苗の利用などを進めていくことが適応策としてあげられている。また高温や乾燥ストレスに耐性のある新品種の開発が望まれる。

■ 樹木の炭素固定を検証する

樹木の炭素固定量は、直径や樹高の測定値と材積表（材積式）を用いて幹材積を推定し、これにバイオマス拡大係数・材密度・炭素含有量などを用いて炭素換算して計算されていた。近年、GNSS*による位置情報の高精度化、レーザセンサ技術の進歩による計測密度の向上による高精細化などの進展があり、直接樹木の材積を測定することが可能になってきた。さらに位置情報に時間情報を加えた森林バイオマスの計測により、4次元的に森林の炭素固定量を推定することが可能となってきた。国土地理院から公開されている1mメッシュの標高データの公開範囲も2025年10月には61%まで広がり、樹木のこれらの観測結果の共有化やネットワーク化を通して、森林全体における炭素固定量のモニタリングが2050年には著しく高度化していることだろう。現在のボトルネックはこれらのデータ取得にかかるコストであり、国土地理院のデータ公開のようにデータ公開が進めば、関連する研究や技術開発が飛躍的に進む可能性を秘めている。全球規模でも衛星搭載ライダーによる観測によって全球の3D情報の取得が推進されており、森林の吸収源としての評価が高度化されていくだろう。一方で、炭素クレジットのMRV*手法にはコストの高さや測定値の不確実性に課題が残っており、衛星リモートセンシングやAIを用いた技術開発によりMRV*のコストダウンと不確実性低減を実現することが求められる。

日本の森林が持続的に炭素を固定する能力があるかについてはデータが不足していて科学的に明らかになっていない。人工林の伐採・再造林による炭素固定機能の向上は予測されているが（Egusa et al., 2024）、高齢林化した森林が二酸化炭素吸収源なのか放出源なのかすら明瞭ではない。高齢林化した樹木も成長しており、炭素固定に貢献しているが、枯死すると放出源の一部となるため森林全体では放出源になりうる。そのため、森林全体の炭素固定量が時空間的にどのように変動しているかについてはモニタリングが必須であり、モニタリングによるデータ蓄積とデータから明らかになるメカニズムが予測モデルに組み入れられて、その予測精度が向上していく好循環を生み出すことが望まれる。

■ 気候変動適応策の効果を検証できるか？

気温上昇や降水パターンの変化によって特定の樹種の成長量が大きく阻害される立地的要因があれば、そこに代替の樹種や品種を植林し成長量を確保するとともに、生態系サービスの機能を維持することが可能となる。但し適応策の技術的な課題は多く、今後検証も含めて研究の進展が必要である。このような適応策による付加効果を科学的に立証するには精緻な

予測モデルが必要であり、2050年までの実用化は困難である。特に降水パターンの変化は重要な因子であるにもかかわらず、その予測は不確実性が高く、特に空間的な不均一性の観点からは予測不可能と言ってよく、様々なケースを確率的に想定した場合の評価にならざるを得ないという限界がある。

■ 枯死有機物や土壌の炭素固定量を検証する

中長期的な炭素固定量の変化として重要なこれらの炭素固定のうち、比較的時変動の少ない土壌による炭素固定については、日本を含めた全世界で観測が実施されており、地球土壌有機態炭素地図（GSOCmap）や森林土壌デジタルマップ

（<https://www2.ffpri.go.jp/soilmap/>）として公開されている。同時に観測されることの多い枯死木や堆積有機物をあわせて、時系列での変動観測データが加わって、気候変動への応答解明が期待されるが、空間的な不均一性が高くかつ測定コストが高いことに起因するモニタリングコストの高さが予測精度向上の大きな障壁となっている。定点観測が可能な非破壊的観測法の確立とそのコストダウンによる定点数の拡大は、今後のモニタリングにとって重要な解決策となる。

■ 広域産地試験による適応

気候変動への育種的対応として、主にスギでは乾燥等に適応した系統の選抜も進められている。2024年度にはこれまでの人工的な乾燥ストレス処理試験等の結果に基づき、スギ第1世代精英樹の中から4系統が気候変動適応性に優れた品種（耐乾性）として開発されている。

欧米を中心とする諸外国では50年以上前から、数多くの広域分布樹種について、生育地への局所適応性や優良苗木の適用範囲等の評価のため、分布域全体に由来する苗木を様々な複数の気候環境下で共通植栽する広域産地試験（provenance test）が実施されてきており、各産地の苗木の諸特性における遺伝的（適応的）な変異成分や表現型の可塑性、原産地優位性（ホームサイトアドバンテージ）を明らかにすることで、種苗配布の範囲に関するガイドラインや現地集団存続のための分布域外への移動保存（assisted gene flow/assisted migration）の可否の検討等に活用してきた。多様な気候環境を有する日本でも特に広域分布樹種では局所適応が知られている（表スギ/裏スギ、など）ものの、一部の相互植栽試験を除き、分布域全体を網羅した体系的な産地試験による評価が進んでいなかった。しかし近年の気候変動対策の重要性から、最近10年間で森林総研や大学が中心となり、主にスギやアカマツといった主要造林樹種、ダケカンバ等の広葉樹やキハダ等の有用樹について全国規模の広域産地試験地が設定され、精英樹等の育種素材や天然林由来の遺伝資源を対象に、異なる地域における苗木のパフォーマンスの評価が進められている。

3.4. 生物多様性

森林の生物多様性は、種の多様性（種または種間関係の多様さ）、種内の遺伝的多様性、森林生態系そのものの多様性と、その構造・機能の多様性、の三層から成る概念である。それらの多様性を維持することで、様々な生態系サービスに好影響があり、病虫害を軽減す

る、生態系の復元力を高める、生産力を高める、複数の機能を発揮させる、森林の外にも恩恵をもたらす、市場の多様化に備える、歴史や風土を保全する、などの効果が期待される。木材の生産量は、安定環境下では単一樹種の針葉樹人工林の方が高い場合がある。しかし、環境変動なども考慮すると、多様な種があった方が、ある種の成長や機能が低下した場合に他の種が補うことができると考えられる（Thompson et al. 2009; Aquilue et al. 2020）。

森林に生息する生物と人とのかかわり方には、生物多様性や人にとってプラスのものも、中立的なものもある一方、資源や空間をめぐる対立を引き起こし、人間の生命、健康、福祉または生計に悪影響を及ぼすマイナスのものもある。このような生物と人間の対立の多くは、適切な計画や管理、補償策を通じて緩和または回避することが可能であると考えられている。これらの生物の分布や個体数は気候変動による影響を受けて変動する（例えば、一部の病虫害の分布拡大には温暖化が寄与していると考えられている（国土緑化推進機構、2022））ため、常にモニタリングを行って、その動向を把握していくことが重要である。

希少種の保全や外来種の防除、保護地域の保全・管理といった、これまでに効果がみられている対策を充実させることに加え、保護地域の周辺において豊かな自然環境が保全されている地域との連結性の強化・ネットワーク化による生態系の健全性の回復や気候変動への適応の観点の導入、防災・減災等の生態系が有する多様な調整サービスを活かすことなども重要である（環境省生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会（JBO3）、2021）。しかし、わが国の生物多様性を回復に向かわせるためには、これらの対策と併せて、社会経済状況（間接要因）の変化への対処も含めた広範な対策を行い、社会変革を目指していくことが重要となる（JBO3）。

■ 森林の持続的利用のために必要な施策 ～生物多様性保全の視点から～

生物多様性国家戦略（2023）では生物多様性に関して4つの危機を提唱している。開発など人間活動による生物多様性損失の危機（第1の危機）、人と自然との関係が縮小することによる生物多様性損失の危機（第2の危機）、人間により持ち込まれたものによる危機（第3の危機）、地球環境の変化による危機（第4の危機）である。

第1の危機については、経済活動における持続可能性の向上や、生物多様性・生態系サービスがもつ多様な価値の考慮を促す ESG 投資*の促進、地域間の多様な状況を考慮した自然資本の活用を可能とする仕組みの構築が挙げられる。

第2の危機のうち、里地里山の管理・利用の縮小については、国内の自然資本を活用した自立・分散型社会の構築に向け、自然との関わりによりもたらされる豊かな生活に対する価値観の醸成に加え、都市と地方における就業機会や学習機会等に関する不平等の解消を通して、里地里山に関わる定住人口・関係人口・交流人口といった人の動きに着目した取組を強化することが求められる。また、野生動物の直接的利用に対しては、食品産業や市民によるジビエの安全かつ持続可能な利用拡大に向けた取組をさらに進めることなどが重要となるだろう。

第3の危機のうち、外来種の侵入と定着は、例えば有害な水生生物及び病原体の移動を防止することが目的のバラスト水管理条約の適切な運用に代表されるように、関係国間で連携

した取組を行う国際協調の観点が必要である。また、海外資源への依存は、国内資源のアンダーユースをもたらすだけでなく、国内での消費が海外における動植物の種の絶滅リスクを高める遠隔地間における相互作用（テレカップリング）の問題を引き起こす。したがって、一般消費者も含めて消費・廃棄の全体量の削減と地域資源の活用へのシフトを図る資源利用により一層取り組んでいくとともに、途上国の能力構築を支援していくことも重要な観点である。また、水域の富栄養化と化学物質による生物への影響については、化学肥料や農薬等の不適切な使用に対する法規制に加え、技術革新や投資を通して使用による環境負荷の軽減を促進していくことが求められる。

第4の危機に関しては、気候変動は生物多様性の主要な損失要因であると同時に、気候変動対策として期待される太陽光発電や風力発電等の施設の設置等についても、生物多様性に負の影響が生じうるトレードオフの問題を抱えている。したがって、積極的な再生可能エネルギーの導入を進めつつ、生物多様性への影響を最小限化していくことが重要な視点となる。また、生態系による気候変動緩和サービスを評価し、自然環境保全が脱炭素社会の実現にも貢献するシナジーの最大化に向けた取組を、国レベルの制度・ガバナンスにより強力に進めることも重要となる。

3.4.1. 生物多様性のモニタリングシステム構築

これまでの生物多様性に関するモニタリング体制は、大学や国立研究開発法人などが主体となっており、行われる調査を基本としている。林野庁が行っている森林生態系多様性基礎調査は、1999年度から全国約1万5千点の地点の樹木・枯死木等を5年に1回の頻度で調査している。環境省生物多様性センターの「モニタリングサイト1000」は、全国に1,000か所以上の調査サイトを設置し、100年以上モニタリングを継続することで、基礎的な環境情報の収集を長期にわたって継続して、日本の自然環境の質的・量的な劣化を早期に把握することを目的としている（<https://www.biodic.go.jp/moni1000/findings/reports/>）。日本野鳥の会の全国鳥類繁殖分布調査（<https://www.bird-research.jp/1/bunpu/>）ではボランティアベースでの広域調査により、鳥類の生態のモニタリングを行ってきた。これら従来の観察型のモニタリングの発展型として、スマートフォンによる画像データを送信することにより生物種の判定を行うサービスを提供する代わりに、その生物種の情報の収集を可能とするシステム（例えば、Biome（バイオーム）いきものAI図鑑、<https://biome.co.jp/app-biome/>）のような広域データ収集ツールなどにより、市民参加型の低コストモニタリングシステムの発達が期待される。さらに、今後のモニタリング技術として、より客観的なモニタリングが行える技術の導入が期待される。例えば、簡便に利用可能な自動撮影カメラを用いて、世界中同じ設置方法で野生動物のモニタリングを行う草の根活動的な取り組みの日本版として、Snapshot Japan（Snapshot Japan https://www.nies.go.jp/biology/snapshot_japan/）が設立されている。この取組では、野生動物の多様性保全、並びに持続的な利用や人間との軋轢の軽減を評価するための基盤情報の整備に貢献し、様々な環境変化に対する野生動物の応答の解明に寄与することが期待されている。また、ICレコーダーによる音声記録により人里周

辺に生息する「身近な鳥」のモニタリングを行う例（音声モニタリング <https://www.nies.go.jp/kikitori/contents/monitoring.html>）や、環境 DNA によるその場に生息する生物種の評価（例えば、産総研の解説、 https://www.aist.go.jp/aist_j/magazine/20250312.html）など、いずれも観察者の時空間的な位置に依存しない観測が可能であり、より客観的なデータ取得が可能である。

3.4.2. 在来種による被害対策技術

■ 病害の影響

前述の通り、日本では林齢 50 年生を超える林分の割合が増加しており、それに伴いスギ、ヒノキ等の造林樹種において在来種の腐朽菌による腐朽被害が問題となる。サクラ等の緑化樹木においても、近年の気候変動による台風の大型化など異常気象の頻発により腐朽が原因となる倒木被害が増加すると思われ、防除対策を考慮する上でこの被害の発生環境条件の解明が必要となる。また、気候変動に基づく温暖化により樹木がストレス環境下に置かれることから、これまでは大きな被害とはなっていなかった胴枯性、枝枯性の病害が顕在化しつつある。これらの病害を防除する上で、病原菌の同定も含めた診断方法の高度化が必要となる。

■ 虫害の影響

在来の病害虫であっても、環境条件や森林の利用形態の変化により大発生し、被害が急激に拡大する場合がある。日本の広葉樹林を構成する主要な樹種であるナラ・シイ・カシ類では、カシノナガキクイムシによる大量穿孔と、本種が媒介する病原菌によって樹木が枯死する「ナラ枯れ」が深刻な問題となっている。

ナラ枯れは古くから散発的な発生があったが、1980 年代後半に本州日本海側の各地で発生して以降、終息することなく全国へと拡大している。その背景として、燃料革命などによる里山林利用の低下に伴い大径木が増加し、カシノナガキクイムシの繁殖に適した環境が形成されたことが指摘されている。さらに近年では、北東北や北海道など寒冷地への被害域拡大も進行している。特に北海道では、ミズナラが広葉樹資源として重要性を増す一方、ナラ枯れに対する感受性が高いことから、今後の被害拡大が懸念される。

これまで、森林管理を基盤とした発生予防対策や、被害木の伐倒・駆除といった防除技術が提案・実施されてきた。近年では、寒冷地や人の生活圏に近接した地域での被害拡大を踏まえ、新たな対策の検討と実施も進められている。一方で、既存の防除手法を組み合わせる用いたとしても、ナラ枯れ被害を全面的に抑制することは困難であり、ナラ枯れの発生を前提とした広葉樹林管理も求められている。

今後は、新たな被害域の拡大状況を継続的に把握するとともに、温暖化の影響などを考慮した地理的な被害ポテンシャルの推定に基づき、広葉樹林管理及び防除作業の効率化を図る必要がある。また、被害後の広葉樹林では、高木層枯死後の森林の維持・更新が課題となるが、これまでの被害林分に関する知見から、林分条件に応じた対応の方向性が示されている

(伊東・酒井 2025)。これらの知見を踏まえ、被害拡大の予測に基づく対応と被害後の森林動態を考慮した森林管理が重要である。

■ 鳥獣害の影響

日本列島の生物多様性を構成する生物のうち、シカ、イノシシ、カモシカ、サル、ツキノワグマ、ヒグマといった中～大型の哺乳類の分布域は 1970 年代以降増加傾向にあり、これに伴い人間との軋轢の問題が顕在化している。これらの分布域の拡大は、人間活動の低下に伴い耕作放棄地が増加した地域や、降雪量が減少した地域で特に顕著であることから、将来の人口減少及び気候変動により、さらなる分布域の拡大が危惧されている (Baek et al. 2025)。2024 年度における中～大型の哺乳類による農作物の被害額は 188 億円、森林の被害面積は約 4,000 ヘクタール (農林水産省農村振興局、2026) となっている。林業被害の約 7 割がシカによるものであることや、高密度化に伴う樹木の枯死や下層植生の消失より、生物多様性の低下及び水土保全や炭素固定といった生態系機能の低下をもたらすことから、シカ被害対策をどのように行うかは、「2050 年の森」を考えるうえで、重要な論点になる。

これまで、シカによる林業被害を防ぐ対策としては、忌避剤散布や防護柵設置など物理的な防除と、銃や罠を用いた捕獲による個体数管理が主に実施されてきた。シカの被害防除のために様々な資材が導入されているが、設置の規模や植栽木の密度によって採算性が大きく異なり (北原、2023)、防除効果が傾斜等の立地条件や、シカの生息密度により影響される (Iijima and Oka 2023)。そのため、対象地域のおかれた状況に応じて適切な防除方法を選択する必要がある。また、シカ密度が高い地域では、定期的な補修 (大谷・米田、2023) や、シカ密度を低下させること (Suzuki et al. 2022) が被害を低減させるうえで重要となる。シカは食害によって造林地の成林に支障を及ぼすだけでなく、下層植生の消失による公益的機能の低下も問題視される。対策としてはシカ防護柵の拡充、効果的・効率的な捕獲などがあげられ、これら野生動物管理を担う人材の育成も重要である。さらに、野生動物は人獣共通感染症 (SFTS など) の病原体を保有することもあることから、適切な管理が望まれる。

SFTS とは

重症熱性血小板減少症候群 (Severe Fever with Thrombocytopenia Syndrome : SFTS) のこと。主に SFTS ウイルスを保有するマダニに刺されることで感染する。SFTS を発症している動物との接触により感染や、人から人への感染も確認されている。当初は西日本での発症例が多かったが、東日本でも感染例がある。感染を避けるための研究が進んでおり、人間と野生動物の接点となる林縁が多く、気候が温暖な場所で多く発生することなどが明らかになってきている (Iijima et al., 2025)。

■ 鳥獣害の包括的な対策

対策としては、適正管理、捕獲鳥獣の利活用、鳥獣保護管理の次世代担い手の確保・育成、被害防止策の担い手の確保・育成、感染症への対応、愛玩動物の感染への対応などが提示されている。

シカの捕獲が必要な一方、シカの絶滅は防ぐ必要があり、シカの生息実態の把握と、適切な捕獲程度の指針が必要である。都道府県が主体となって作成・実施する「第二種特定鳥獣保護計画」が重要な役割を担っている。

2025年現在、環境省と農林水産省は、シカ個体数の半減目標を掲げて捕獲を推進しているが、目標の達成にはほど遠い（環境省 2023）。さらに狩猟者の減少と高齢化に伴い、現在の体制の維持が難しい。そのため、役割分担などにより捕獲圧を強化し、シカを持続的に捕獲し続ける体制の整備が急務である。直近の10年間では、アウトドア活動やジビエへの関心の高まりや、狩猟を題材としたメディアの流行により、狩猟免許所持者はわずかに増加傾向にある一方、狩猟者登録者の割合は減少傾向にある。新規狩猟者が経験を積み、狩猟を継続できる環境の整備も求められている。

また、集実効性のあるシカ管理を実施していくため、環境省では2015年に施行した鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律に基づき認定鳥獣捕獲等事業者制度を導入して、社会の要請に沿った捕獲事業の実施と、そのための体制の維持及び向上を目指している。シカの捕獲は継続性が重要であり、捕獲された個体の取り扱いも重要な課題である。現在、捕獲された個体のうち、食肉として流通しているのは約1割に過ぎず（農林水産省、野生鳥獣利用実態調査）、自然環境下で捕殺される肉の汚染リスクを低減させるには、適切な技能を備えた人間が取り扱う必要がある。捕獲時のストレス低減や、捕獲後の内臓摘出までに要する時間の縮減などが衛生管理や品質保持について重要であるが、こういった知識をもった担い手の育成及び担い手の認証制度の導入が望ましいと考えられている（松浦、2023）。

■ 人獣共通感染症

野生動物の増加傾向に伴って、人獣共通感染症のリスクが顕在化していると考えられている。特に、節足動物を介して媒介される感染症は、野生動物の生息地の変化、土地利用の変化、気候変動に影響を受け、世界中で感染流行地の変化が報告されている。マダニ媒介性感染症の顕在化は著しく、致命率の高い感染症が複数発生している現在の状況は重要な局面を迎えていると言える。

多くのマダニ媒介性感染症はマダニの吸血に伴って病原体が伝播する。マダニ自体の移動能力は低く、分散は宿主の野生動物の分布に依存するため、野生動物と人の活動場所が重複する所が発生しやすい（Iijima et al. 2025）。シカやイノシシはマダニを増幅する役割を持ち、アライグマはSFTSウイルスの保有率が高く、加えて非常に多くのマダニを運ぶことが知られている。林業においてはシカのほかにノウサギや野ネズミ類も関与すると考えられ、幼齢林の増加とともに林業従事者が遭遇する動物種として重要性が増す可能性がある。野兎病やツツガムシ病は小型哺乳類が病原巣になることが報告されているものの、十分な知見が蓄積されていない。これら生態系内の感染症に関わる生物のネットワークを注意深く解明することによって感染症を抑制する手法の開発が可能となる。

近年、こうした人獣共通感染症リスクの問題意識から生まれたワンヘルスという概念が注目されている。ワンヘルスは、人や家畜の健康をそれぞれ個別に医学や獣医学が対応してき

た従来の枠組みから、人や家畜の健康を考えるにしても、それらは野生動物や生態系の健康とも密接に関連しているという感染症伝播サイクルの認識の拡張に基づき、人と動物と自然の持続的な関係を構築しようという考え方である。このようなより広い視点で感染症の問題を捉えることによって、野生動物や生態系の管理による感染症リスクへの対処、あるいは自然や野生動物と適切な距離をおくといった新しいアプローチも加えたより総合的な感染症への対処が可能となる。

3.4.3. 外来種による被害対策技術

ある地域の生物種が、人間活動により、意図的あるいは非意図的に自然の生息・生育域外に輸送または移動させられ新しい地域に導入されること、そしてそこで定着・拡散することを「生物学的侵入」と呼ぶ。また、人間の活動によって新しい地域に導入された生物種を外来種と呼ぶ。侵略的外来種は侵入先で定着・拡散して生物多様性や地域生態系、生物種に悪影響を及ぼしている動物、植物またはその他の生物を指す。また、多くの侵略的外来種は、生態系の財や生態系サービスや人間の良質な生活にも影響を及ぼす。

■ 外来昆虫・侵入病害による被害と防除

森林の持続性を脅かすものとして外来の昆虫が関与している被害がある。バラ科樹木の枯損（外来のクビアカツヤカミキリの食害）、各種広葉樹の枯損（外来のツヤハダゴマダラカミキリ）など広域の樹木枯損が起こっており、こういった昆虫が関与する被害の防除対策が必要である。これらは外国から侵入した外来種による被害であり、放置すると被害が大きくなり手が付けられなくなる。また、現在世界中で発生している重要病害の多くが生息地以外から侵入した病原体による病害であり、その最も有名なものがマツ枯れ（マツ材線虫病：外来の病原体マツノザイセンチュウを在来マツノマダラカミキリが媒介）であり、その他にもスギの苗木生産に多大な影響を与えるスギ赤枯病があげられる。そのため、早期の防除対策や各病虫害に抵抗性をもつ系統を選抜する抵抗性育種を進めることによって拡大を最小限にとどめるとともに、木材輸出入の際に外来種の国内侵入を防ぐために行われていた臭化メチル燻蒸処理（オゾン層破壊物質であることから2013年に使用が禁止された）に代わるシステムズアプローチ等の制度の構築が必要である。化学農薬の使用は今でも重要な防除手法の1つであるが、2021年5月に策定された「みどりの食料システム戦略」では2050年までに化学農薬使用量（リスク換算）を50%低減することを目標としている。また、近年、既登録農薬の再評価により林業分野で使用できる薬剤が減少してきている。そのため、RNAi農薬等の最新の手法をもちいた防除法の開発が期待されている。

■ 抵抗性品種による対策

マツ枯れ（マツ材線虫病）に対する育種的対応として、1978年以降、林木育種センター及び各育種場では関係府県と連携して「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」が進められ、2024年3月末時点では全国でクロマツ262系統、アカマツ303系統もの多数のマツノザイセンチュウ抵抗性品種が開発されている。近年では全国の造林用のマツ苗木の約9割が抵抗性マツとなっており、普及が進んでいるが、被害の完全な抑え込みには至っていない。

このため、抵抗性マツ同士の交配による次世代化が進められており、クロマツでは九州・関西育種基本区で 67 系統、アカマツでは関西育種基本区で 60 系統の第 2 世代抵抗性マツが開発されている。あわせて、ゲノム育種技術の進展に伴い、抵抗性形質の発現応答や、抵抗性候補遺伝子群の絞り込み等も行われている。今後は第 2 世代抵抗性マツの改良効果の実証や更なる改良（第 3 世代化）、ゲノム選抜の検討、森林保護分野との連携による防除と組み合わせた抵抗性マツの効果的な利用等の推進が進展すると考えられる。

3.5. 防災・減災、国土保全

気候変動の進行した将来においては、気温の上昇や水域からの蒸発量の増加などにより、豪雨や干ばつなど極端な気象現象の頻度の増加が懸念されている（文部科学省及び気象庁、2025）。また、これまで多雪、少雨、低温であった地域が少雪、多雨、高温に変化するなど地域毎に気象環境の変化も懸念されている。このような気象現象の変化は洪水や豪雪、斜面崩壊・地すべりや土石流等の土砂災害、暴風、高温、干ばつ、森林火災など様々な災害リスクの増加に繋がる。また大規模な地震や火山噴火などの突発的な地質災害のリスクも高い状態が続くと思われる。こうした災害リスク軽減の必要性がますます重要となっている一方で、日本では更に人口減少や少子高齢化が進み、防災・減災の分野に於いてもそれに配分できる人的リソースに限界があることから、効果や効率性を切り離して論じることはできない。そのなかで森林は生物多様性保全や水源涵養、土砂災害防止など公益的な機能を多面的に同時発揮することが期待され、低コストで環境負荷を高めずに防災・減災に役立つことが期待されている。

自然災害は自然現象が人間にとって負の影響をもたらす状況であり、自然現象と人間社会の関係性を合わせて考えることが重要である。森林を活用した防災や減災への考え方として、例えば「生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR*）」では、危険な自然現象の発生を抑制する「ハザードの軽減」、自然現象の影響に直接晒されない「暴露の回避」、自然現象が及ぼす影響に対して耐性を持つ「脆弱性の低減」などを考慮して災害リスクを軽減するという考え方を取り入れており、それぞれの要因に対して生態系の活用も考慮したゾーニング管理が有効（環境省、2023）としている。また生態系を活用した社会問題の解決の方法に関連して、森林を含む生態系を社会資本とみなすグリーンインフラという考え方も示されている。

例えば洪水災害に関しては河川管理に加えて、生態系として森林や湿地のみならず、水田や農地、都市域の緑地や遊水地など、自然環境、経済活動、社会構造など多方面から流域全体での連携が重要であり、国土交通省では、2020 年に、集水域から氾濫域にわたる流域に関わるあらゆる関係者が協働して水災害対策を行う「流域治水」を提唱し、流域全体で総合的かつ多層的な対策を実施することを目指している。

（<https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/index.html>）。森林の育成・保全の観点では、水害が危惧される低地においては水害防備林を整備し、丘陵地や台地にある平地林についてはこれらの災害防止機能や生物多様性の維持に配慮した管理が求められる。また、上流の広

い面積を占める森林域における水源涵養機能（洪水緩和、水資源貯留、水質浄化）の維持が水害軽減のためにも重要となっている（藤枝、2007）。

森林の公益的機能を効果的に発揮するため、生物多様性国家戦略 2023-2030 では、2030 年までに防災・減災効果の高い場所を可視化することを目指している。2050 年には地域ごとに作成される生態系保全・再生ポテンシャルマップに基づいた、防災・減災機能を高度に発揮する土地利用管理ツールが開発され、それに基づく保安林*の区域指定などの活用を通して、防災・減災機能と森林の炭素固定機能が最大限に発揮できるようことが期待されている。

3.5.1. 国土保全、災害防止機能強化に向けた森林管理

■ 森林の災害防止機能とは

森林の災害防止に関わる機能として、水源涵養機能、土壤保全機能、及び土砂災害防止機能などがある。水源涵養機能は植物の根系発達や生物活動により土壤空隙が発達して、雨水の浸透や地下水への涵養を促進することで洪水時や渇水時の河川水位の平準化に寄与する。また水質浄化も森林の水源涵養機能の 1 つである。森林の土壤保全機能及び土砂災害防止機能として、落葉・落枝（リター）や下層植生により表土が被覆され雨滴衝撃を防ぎ、地表の浸透能を高めて地表を流れる水（地表流、表面流）の発生を抑制し、地表流が発生した場合も茎や幹などが阻害物となることで流速を軽減して土を削る能力を減らし土壤侵食を起きにくくしている。また、鉛直方向と水平方向に張り巡らした根系や根鉢が土壤を緊縛し、土層の強度を高めることで土が動きにくくなり、表層崩壊・落石などが起きにくくなる。

■ 災害軽減機能の発揮

森林はそれ自体が時間と共に変化する生物体であり人工構造物ではないため、森林がどのように変化して環境と双方向に影響を与えるかを十分理解した上で、森林の災害軽減機能を適切に発揮させるために望ましい森林管理の方法を確立する必要がある。

国土保全や災害防止の機能の最大化に向けて望ましい森林状態を明らかにし、その森林状態を生み出すための森林管理手法の高度化が求められる。例えば山地斜面の位置毎に想定される災害の状態にあわせて目標林型を示した「災害に強い森林づくり指針」（長野県 2008）があり、これを実現するには植栽樹種（遺伝的地域性にも配慮した植栽系統）、目標林型に応じた間伐の方法や植林密度などに関して具体的な指針が必要となる。それぞれの地域で求められる森林の災害軽減機能は必ずしも同一ではないことから、それぞれの地域ニーズに合わせた目標林型なども検討が必要である。

また森林は求められる機能は防災だけではなく多面的であることから、生産活動も考慮しながら特に求めたい森林の機能をゾーニングにより区分して、それに合わせた森林管理計画を作成することが総合的な災害軽減の観点からも有効である。一方で極端な豪雨があれば、成熟した森林においても斜面崩壊が発生するなど、森林の機能には限界があることから、機能のレベルを把握し必要に応じて保安施設などで人為的に補強することも必要である。

■ 海岸防災林の課題

防災機能を目的とした森林は土砂災害の多い山地や丘陵地のみならず平地にも設置されており、例えば日本列島を取り囲む長い海岸線には各地に海岸林（海岸防災林）が造成されている。海岸林は飛砂防備、防潮を始め、東日本大震災の際に注目された津波に対する被害軽減など、さまざまな防災機能の発揮が期待されている。海岸林は地域社会に身近な森林であることから、その管理において地域住民の考え方が重要であり、それ故の難しさもある。海岸クロマツ林は白砂青松といった日本古来の景観及び生態系を創出しており、社会文化学的にも重要で保全すべき林木遺伝資源でもある。これまでの「あればよい」という要求から、「効果的な海岸防災林のデザインと、その海岸防災林の管理方法」の提供が求められるようになった。また気候変動にともなう台風や暴風の頻度や規模の増大、加えて南海トラフ等の巨大地震の高い発生確率が予測されている中、津波や飛砂による森林の防災機能へのダメージと、それに応じた森林動態を把握する必要がある。昨今、陸地側からの土砂の供給量の減少や沿岸流の変化により、砂浜や浜崖が削られて汀線が後退することによって、海岸林の frontline と汀線とが接近し、海岸林が今の形を維持できなくなる懸念がある（Iwasaki, et.al., 2022）。

■ 極端現象に対するリスク軽減に向けた森林の扱い方

森林の災害軽減機能を「生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR*）」の「ハザード」「暴露」「脆弱性」のリスク3要素との関係で整理する。「ハザード」に関しては、森林は気候変動による極端気象（豪雨、豪雪、干ばつ、暴風、高潮、高温、低温など）に対して、二酸化炭素固定の効果により長期的には気候変動の進行に対して抑制的に働く。また極端豪雨に対して森林は水源涵養や浸食・崩壊防止、土砂流出軽減などの機能があり、「ハザード」軽減に寄与している。特に日本では既に国土の3分の2を森林が占めており、荒廃地等無立木地の森林化や森林の質の転換による今以上の「ハザード」軽減では、現状からの大幅な向上は期待できない。

このため、人間の生活空間にとって自然災害リスクの更なる軽減のためには、「暴露」や「脆弱性」についても森林を積極的に活用する必要がある。「暴露」の回避については想定される災害形態に沿ったリスクマップに基づき、被害の軽減に寄与する森林生態系を含めた土地利用計画等が考えられる。「脆弱性」の低減に対しては例えば保全対象自体の強度や耐性を高め、「ハザード」と保全対象の間に衝撃を緩和する緩衝林を設けるなど森林を活用した軽減策も考えられる。そのためには、被害想定も含めたリスクマップの精度向上や緩衝帯として衝撃を緩和するために効果的な森林構造を解明することなども必要となる。

森林の機能解明は国内ではこれまでスギやヒノキを中心とした針葉樹人工林での調査研究が多く、水源涵養機能、土砂災害防止機能、快適空間形成機能を最大化するためには、多様な森林における適切な林相についての知見が少ないのが現状である。リスク軽減に向けた森林の機能評価には、こうした視点からの研究開発も必要となっている。

■ 森林の機能を越えた極端な気象現象への対応

近年頻発している線状降水帯に伴う豪雨などでは、成熟した森林域においても大規模な洪水や土砂災害が発生しており、極端な気象現象下では森林の防災機能だけでは災害発生を防ぐことは難しく限界がある。このため、森林の機能を補完・補助して流域全体の災害防止・軽減する機能を高めるための技術や施設の開発及び高度化が必要となっている。また成熟した森林は平時には災害の発生を抑制しているが山腹崩壊が発生するとそれが流木化して被害拡大に繋がるなど、これまで顕在化していなかった災害など、新たな災害への対応も必要となっている。

また少子高齢化や人口減少に伴う労働人口減少や財政状況の縮小などに伴う防災事業の選択と集中、予防的防災の重要性、社会の防災・減災の主流化など、社会構造の変化に合わせて森林の機能の活用法、及び必要な機能の補完・補助について考えていく必要がある。

3.6. 地域社会、経済

■ 地域における森林の在り方

国土交通省の国土のグランドデザインでは、2050年には全国に格差のない情報共有と地域の多様性を反映した地方中核都市を中心とした経済圏同士のネットワーク化が重要であるとしている（国土交通省、2014）。こうした独立した経済圏の構築には、生活を支える産業構造が必要だが、その中核の一つとなるのは農業であり、農業の収入をサブシステム X で補う「半農半 X」あるいは3つ以上の収入源を持つ多業が提起されている。この従属的な収入源の重要な位置に林業・木材産業が入りこむことができれば、森林の位置付けは地域社会との結びつきが強固になるだろう。3.2.1 に述べたゾーニングによって、防災・減災や水源涵養機能などの生態系サービスなどに配慮した上で、地域の人々の生計を支える林業、すなわち森業*が発展することが期待される。森林を中心としたレクリエーションは三大都市圏では機会が限られるため、地域ならではの well-being*なライフスタイルとして定着していくことが国全体の発展に寄与すると考えられる。

■ 伝統文化との結びつき

漆や檜皮(神社仏閣用)など、森林から得られる資源が地域の伝統的な工芸作品や文化活動と結びついている。人口減少にともなうこれらの文化や活動の消失の可能性が高まっているが、これらは都市と地方のグランドデザインとも大きく関わっている。

3.7. Well-being*

Well-being*とは身体的・精神的・社会的に良い状態にあることをいい、短期的な幸福のみならず、生きがいや人生の意義などの将来にわたる持続的な幸福を含むものである。また、個人のみならず、個人を取り巻く場や地域、社会が持続的に良い状態であることを含む包括的な概念である（第4期教育振興基本計画、2023年6月閣議決定）。したがって、地球環境や生物多様性の保全、国土の防災・減災なども含む森林の全ての生態系サービスが人々の well-being*を支えているともいえる。より直接的には、森林と触れ合うことが心身

の健康にもたらす効果や、レジャー・レクリエーションの場としての森林空間の活用、児童・生徒・成人に対する教育の場としての利用に関心がもたれている。

■ 健康づくり

森林浴は1982年に日本で発祥した言葉であり、特定非営利活動法人によって認定された森林セラピーロード、森林セラピー基地が全国に広く存在している。近年は企業の健康経営という概念も広まり、従業員のメンタルヘルス向上や研修の場としても利用されるようになった。森林浴が普及する過程では、森林空間が心身の健康に及ぼす効果の科学的解明が進み、2023年に日本森林医学会が創設されるに至った。日本森林医学会のウェブサイトによると森林浴は、ストレスホルモン・血圧・心拍数を低下させる、交感神経を抑えて副交感神経を高揚する、睡眠を改善する、うつ症状を改善し血中セロトニン濃度を上昇させる、都市公園での森林浴も健康増進効果が認められる、フィトンチッドが森林浴の健康効果に重要な役割を果たす、ことなどが科学的に証明されてきた。森林浴は、将来的には健康づくりにとどまらず、予防医学やリハビリテーション医学の一部として確立し、公的医療保険の対象になっていく可能性も考えられている。

■ レジャー・レクリエーション

観光庁の「明日の日本を支える観光ビジョン構想会議」では、訪日外国人旅行者（2020年に4,000万人）を2030年までに6,000万人に増加させ、特に三大都市圏以外の地方における外国人延べ宿泊者数（2020年に7,000万人泊）を2030年までに1億3,000万人泊にまで増加させる目標を設定している。この中では、国立公園を観光資源として活用し、地方の文化財などを活用しながら景観の優れた観光資産としての価値を高めて、地域創生の礎とすることなどが盛り込まれている。

国立公園に限らず、森林空間はレジャー・レクリエーションの場としても活用されてきた。従来のハイキング、キャンプ場、娯楽としてのきのこ・山菜採集はもちろん、近年ではトレイルランニング、マウンテンバイク、アウトドアパーク、森林レンタル、ワーケーションなどの新たな利用形態やビジネスも生まれている。これらは従来のハイキングや林業用道路としての利用と対立を生じる場合もあり、利用者や事業者のモラルに任せるだけでなく、制度面も含めて共存する方策が待たれる。これからも民間や地域の独自のアイデアによって、これまでにない森林空間の新たな楽しみ方やビジネスが生まれ、一方で新たな問題点が生じることも予想される。しかしながら問題点をそのつど解決しつつ山村の振興、交流人口の拡大に結びつけることが期待される。

■ 人材育成と森林教育

2015年の国連サミットにおいて、持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）の中の「すべての人に包摂的かつ公正な質の高い教育を確保し、生涯教育の機会を促進する」として、持続可能な開発のための教育（ESD）が位置付けられた。2019年には「持続可能な開発のための教育：SDGs実現に向けて（ESD for 2030）」が採択され、5つの優先行動分野及び6つの重点実施領域が提示されている。これを受けて、幼稚園教育要領、小・中学校学習指導要領及び高等学校学習指導要領において、前文及び総則

において、「持続可能な社会の創り手」の育成が掲げられている。また、森林教育としては、「森林での直接的な体験を通じて、循環型資源を育む地域の自然環境である森林について知り、森林と関わる技能や態度、感性、社会性、課題解決力などを養い、これからの社会の形成者として、持続可能な社会を担う人材育成を目指した教育」と定義（井上・大石、2014）し、持続可能な社会の実現に貢献できる人材育成のために必要としている。

以上のような森林教育や専門人材教育の場として森林空間が利用されることに加え、近年では幼児教育や保育の場として利用する動きも広がりつつある。特定非営利活動法人森のようちえん全国ネットワーク連盟が2017年に設立され、現在北海道から沖縄県まで240を超える団体が登録されている。また、すでに述べたように企業の健康経営の取り組みとして、研修、チームビルディング、心と体の健康づくりの場として森林を活用する動きも始まっている。

4. 2050年に向けて考えるべきこと

Executive summary

- ・木材利用の情報共有の高度化と木材の高度利用によって、より多くの木材が無駄なく使われ、川上から川下まで全体が潤う状況を実現する仕組みを考える。
- ・森林データ基盤を各種レーザ計測技術により構築し、自動制御林業機械を利用した高度な森林管理技術を導入して、森林施業の自動化を促進する。
- ・森林災害リスクマップをリモートセンシング技術の高度化に合わせて高度化させ、災害の低減に寄与する。また、リアルタイム災害状況把握システムや災害予測システムの開発、防災を最大限に発揮する森林管理手法の開発も期待できる。
- ・ゲノミック選抜など高度な技術によりエリートツリーのシェアを大幅に拡大させる。
- ・森林の様々な機能のクレジット化、木材製品の産地認証の推進等により、森林分野への資金流入と循環型経済を確立させる社会変革を起こす。
- ・多基準評価のスコアリング等ゾーニング技術の進展と考え方の普及をもとに、ステークホルダーや地域住民の受容性の高いゾーニングを提案し、地域の **well-being** を高める。

4.1. 森林資源の新しい利用

■ 木材の利用に価値を見いだす市場の創出に向けた次世代利用技術の開発

これまでは木材利用の拡大とは即ち木材産業の活性化が中心であったが、これからは木を使うことに価値を認める市場の創出につながる利用拡大が重要であろう。たとえば、木材・木製品を用いた居住空間の快適性に関するエビデンスの蓄積による建築資材など身の回りの木材・木製品の利用促進とそれによる人々の **well-being*** の向上への寄与、あるいは木材の利用による環境問題への貢献の見える化など「木を使うことの良さ」をアピールするエビデンスの蓄積と発信も有効と考えられ、今後研究者が市場とともに取り組むべきテーマになると考えられる。

環境問題の解決に貢献しつつ循環経済の中で木質バイオマスの利用を促進するためには、新しい用途の開発とともに木材の価値の最大化が重要になる。現在は有用な化学成分をそれぞれの目的に応じて木材から分離・生成しているが、たとえば1本の木からすべての有用な化学成分を同時に分離・生成する技術、あるいは完全なカスケード利用技術の開発は木材の価値を最大化し、高い競争力を持つ新しい用途の開拓が期待できるだろう。特に針葉樹人工林に蓄積された炭素化合物は日本で最大の蓄積量を誇っており、莫大な資源となる可能性を秘めている。

4.2. 次世代の森林管理

■ スマート林業のためのデジタルデータの基盤整備

人口減少社会において持続可能な森林管理の実現に向けて、デジタル技術を用いた効率的な木材生産、森林施業、モニタリング技術の高度化がより一層重要になるであろう。たとえば、広範囲に分布する森林の状態を効率良く把握する技術の高度化は、川下の需要に応じた

効率的な森林管理が可能になると期待される。また、通信環境の悪い山間部で使える自動運転技術の開発においては、ウェアラブルデバイス技術との融合を図ることによって少ない人数のオペレータが安全、快適に作業できる環境の実現につながると期待できる。

航空レーザ計測や UAV*による低空からの高密度レーザ計測等による森林の正確なデジタルデータは、素材生産と育林の省力化・自動化、路網設計の半自動化、J-クレジット制度における地位の査定、森林資源量の把握、作業計画の立案、立木の売買、林業 AI の学習データなど利用価値は非常に高く、活用の場も拡大するであろう。今後は、たとえばデジタルツインのような形態が想定されるが、森林のデジタル情報を社会インフラとして整備することが極めて重要となる。そのため、各種計測の高度化とともに、得られた森林デジタルデータの全国共通フォーマットの確立は必須であり、今後、多くの利害関係者を巻き込んで取り組むべきであろう。

4.3. 防災・減災、国土保全

■ 極端な気象現象に対応した災害リスク軽減と災害予防技術

極端な気象現象の頻発化が予想される中で、予防、被害軽減、復旧の対策が必要となる。災害の予防的対応として、発生域や被災域の事前対策、及び発災時あるいは復旧時の迅速な対応にリスクマップが不可欠であり、航空レーザ測量の包括的利用、新しいレーダ衛星

(ALOS-4) による高い空間・時間分解能の地表面変動モニタリングなどによる高精度リスクマップの作成が必要である。また、リスクマップ作成には、災害メカニズムや森林防災機能の更なる解明とともに、研究事例の少ない人工林以外の森林に対しても研究が必要である。空間情報では、特に地下情報の広域把握が困難であり、リスクマップの精度向上にはセンシング技術の開発・高度化を通して地下情報の広域取得が重要である。大規模山地災害発生時におけるリアルタイム観測による被害軽減を目指して、人工衛星や UAV*などを用いたリモートセンシング技術による情報の取得とそれを利用したシステムの開発が重要となるだろう。

災害の軽減のためには空間的な予測と共に時間的な予測も重要となる。例えば森林は更新や成長に伴う長期的な変化を予測する必要があるが、山地・森林域で発生する土砂災害や洪水災害の発生時刻が降雨のピークと必ずしも一致しないように、災害の発生メカニズムに基づく災害現象の遅れ時間などの短期的な予測についても課題となっている。この様な時間情報と三次元空間情報を組み合わせてリスクを評価する技術の開発が今後大きな課題になると考えられる。さらには次世代のシミュレーションとして仮想空間の活用も検討するべきであろう。

災害に対するリスク防止・軽減機能を最大限に発揮する管理計画の構築に向けて、災害に強い森林の構造解明と森林空間に適した防災・保安施設の開発が必要と考える。労働人口の減少や財政的問題があるにせよ、災害の防止や軽減は今以上に必要となることから、災害発生域にあたる山間地においても無人化、省力化、低コストの災害軽減対策を進める必要がある、それに向けた研究開発が期待される。

4.4. 林木育種

■ エリートツリーや新たな育種手法への期待

エリートツリー（各地の山で選抜された精英樹の中でも、特に優れたもの同士を交配した苗木の中から選ばれた、第2世代以降の精英樹の総称。成長、材質、通直性などに優れる）の導入は、林業の成長産業化に有効と考えられる。近年、スギ・ヒノキ・カラマツといった主要造林樹種やコウヨウザン等の早生樹種について全ゲノム解読が進められ、近い将来ゲノム情報を利用してより効率的にエリートツリーの選抜・育種を進められるようになると考えられる。ゲノミック選抜（GS）の予測精度が向上させるための実験的検証を進めていくことが必要である。

エリートツリーの開発・普及については、2030年までに優良系統の選抜、優良形質関連遺伝子座群の解析、個体選抜の効率化・高速化を行い、2040年までに苗木生産の実証、2050年には優良品種による再造林普及拡大を見込んでいる（内閣府、2021、2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略）。2050年までに山行き苗木の9割以上をエリートツリー等でカバーするという政策目標も定められている（農林水産省2021みどりの食料システム戦略）。

4.5. 新しい経済メカニズム

■ 森林分野が導く社会変革

森林・林業・木材産業から見た新しい経済メカニズムの一つとして、これまでに行われてきた木材生産や市場取引だけでなく、森林の多面的機能を経済的に評価し、循環させることが考えられる。

森林の炭素固定機能は、経済的に評価されている森林の機能の一つである。J-クレジット制度での森林分野（森林管理プロジェクト）による創出クレジットは年々増加する傾向にあり、クレジットが林業経営の新たな収入源となる可能性がある。また、建築物等に木材利用を優先する政策が広がり、炭素固定によるカーボンニュートラルへの貢献はESG投資*などの新しい資金獲得に繋がる可能性がある。気候変動によるリスクと機会を経営にどう組み込むかを示す枠組みとして、TCFD（気候関連財務情報開示タスクフォース）が設置され、「ガバナンス」「戦略」「リスク管理」、「指標と目標」の4要素をセットで公表して企業の将来的な信頼性を証明する枠組みが公表された。TCFDは2023年10月に解散し、その理念は2024年1月よりISSB（サステナビリティ基準審議会）に統合されており、情報開示の重要性はさらに高まっている。

生物多様性保全の機能の視点からは、自然環境の価値を定量化し、保全活動に対して資金流入を促進する仕組みとして、「生物多様性クレジット」が挙げられる。生物多様性は場所固有のものであり、ある地域のもを他の地域の生態系で置き換えることができないことから、国際的に取引可能なカーボンクレジットに比べて代替可能性が極めて低い。海外の一部の国では生物多様性クレジットの市場取引が始まっているが、複雑な生態系を持つ日本では生物多様性の価値の評価手法が確立されていない。生物多様性の価値を測り、見える化する

ことは、ネイチャーポジティブ*の実現のために必要であり、今後取り組むべき大きな課題であろう。生物多様性の価値の見える化が可能になれば「自然関連リスクと機会の情報開示」が求められている TNFD（自然関連財務情報開示タスクフォース）の実効性を高め、生物多様性クレジット市場や生態系サービスへの支払い（PES: Payment for Ecosystem Services）が成立しやすくなることにより、森林分野に投資や資金が流入し、結果的に生物多様性保全が加速するという正の循環が期待できる。

次に持続可能な経済の視点からは、地域で育てた木を地域で使う地産地消型の林業を育む「地域循環経済」と、伐採残材や廃材の再資源化を含め、木材を多段階で利用するカスケード利用を中核とする「循環型経済」が変容の方向性として考えられる。国際的な市場を考えると、EUDR（欧州森林破壊防止規則）に代表される商品規制が強化されつつあり、合法性や持続可能性の証明が不可欠になっている。そのため、ブロックチェーンやリモートセンシング技術を用いた伐採地から最終消費者へ木材が渡るまでトレーサビリティの確保とそのためのも更なる技術開発が必要である。

4.6. 多面的機能の評価とゾーニング

■ 適切なゾーニングとその実行のために

森林の多面的機能を統合的に評価する枠組みの構築に向けて、複数の生態系サービス（生物多様性、木材生産、炭素吸収、水源涵養、観光・レクリエーション、地域文化など）を対象に、指標化や重み付け、多基準評価によるスコアリングなどによる統合評価が今後の研究の基盤となる。また、リモートセンシングや GIS、AI による画像解析などを活用することで各サービスの機能別分布図として可視化し、ゾーニングの基礎情報として提供することも可能である。

多基準評価による機能別ゾーニングのアルゴリズムの開発は重要なテーマであり、例えば保全、利用、緩衝地帯といった区分を、自動的に提案できる仕組みを構築することも目指す必要がある。加えて、気候変動や土地利用の変化に対応するため、ゾーニングを定期的に更新する動的モデルの開発も将来的な課題の一つである。森林動態モデルや気候モデルとの連携、シナリオベースのシミュレーションを通じて、長期的な森林管理計画に資する仕組みを整える必要がある。こうした技術的な開発に加え、評価手法とゾーニングを政策に結びつけることも不可欠であり、補助金配分や森林施業計画、さらには観光・教育・防災など他分野との連携に活用できる制度設計の検討が求められる。また、アクセスのよい場所は人々の well-being*のための森林空間利用、森林資源（木材）の生産、さらには防災面でも重要性が高く競合が生じやすい。地域住民やステークホルダーとの協働を通じて、社会的に受容性の高いゾーニング案を作成することも重要な課題である。そのためには、例えば参加型 GIS やワークショップ、デジタルツイン*などを活用した合意形成の仕組みを整えることが必要となるだろう。最後に、評価手法の標準化と国際比較も視野に入れる必要があり、IPBES*や CBD など国際的な枠組みで示された指標体系との整合性を確保し、データ共有や比較研究を進めることで、国際協力やグローバルな森林政策への貢献を目指すことも視野に入れる必

要がある。

わが国においても、NbS*の考え方をSDGsに示されたような社会課題全般への対処に、全国レベルと地域レベルの両方の視点で取り入れていくことが有効であろう。その際、一部の自然資本はオーバーユース等によって劣化や減少するものもあり、様々な社会課題と生物多様性・生態系サービス（自然資本）の持続可能な利用との間でのシナジーやトレードオフを明確にし、両立することが求められる。これらは、地域において脱炭素・資源循環・自然共生を実現し、環境と経済の統合的な向上をはかる「地域循環共生圏」の実現にも貢献する可能性がある。

4.7. その他

■ 林業労働力の確保と人材育成

新規就業者の確保と定着率の向上のため、給与水準の向上やきつくて危険な労働の改善など労働環境の改善が必要である。そのために、林業経営のさらなる集約化やサプライチェーンの強化など林業経営基盤の強化と安全装備・装置の開発、作業の機械化など、経験やスキルが少なくても労働者が安心して働ける労働環境の整備がこれまで以上に求められる。あわせて特定技能制度や技能実習制度の適切な運用により外国人労働者を確保して、不足する労働力を補う施策も必要だろう。また、造林保育作業を担ってきた女性従事者が減少することで女性の従事者は減少してきたが、近年は女性が参入しやすい職場と環境を作ることで、経営層にも女性を配置する割合が増加しており、引き続き女性の参画を推進する施策が求められる。これら施策あるいは技術開発によって林業全体のイメージの向上を図り、新規参入と定着を促す取組がより一層求められる。

コラム：福島の子のあり方

東日本大震災に起因する放射線被害では、現在でも帰還困難区域は337km²となっており、区域での放射線による生物影響はほとんどないと見られているが長期的に人が入れない状態が続いている。セシウム137が10分の1になるのに100年かかる（半減期30年）ことから、まだ将来に向けた見通しは立っていない。一様な立ち入り制限ではなく、一時的な立ち入りの許可や線量低減にともなう段階的な制限解除など、被ばく量に基づく柔軟な対応の検討や、積極的な保全地域とし、生物多様性や環境の長期的モニタリングサイトとすることも考えられる。森林総合研究所では、国際原子力機関（IAEA）が主導する国際プロジェクトのワーキンググループにて森林内の放射性セシウム動態に関する膨大なデータを取りまとめ、公開を進めてきた経緯がある。2025年現在も野生きのこや栽培きのこの利用制限が続いているため、これらの制限解除に向けての調査・研究が引き続き必要であり、森林総合研究所も一定の役割を担う必要がある。

■ 国際協力

地球規模の森林の問題として、第19回国連森林フォーラムでは以下のような現状認識と懸念が示されている。森林は地球の陸地面積の約30%を占め、16億人の人々の生活と幸福

に不可欠な存在である。また、森林は食料、水、木材の供給から気候変動の緩和、生物多様性の保全に至るまで多大な恩恵をもたらしている。しかし、世界的に森林減少と森林劣化が継続しており、気候変動、土地劣化、貧困、不平等といった課題を悪化させていることに懸念がある。特に、森林保全、回復、管理を支援するための資金が不足していることが重大な課題として認識されている。また、日本や他の先進国は木材や農作物の輸入を通じて世界各国で森林減少を引き起こしていることが明らかとなっており（Hoang and Kanemoto, 2021）、先進国は自国での森林面積を増加させるだけでなく、サプライチェーンを通じた国外での森林伐採の減少に取り組む必要がある。

これらの課題に対応するため、森林総研では、海外の研究機関や国際機関と共同で「開発途上国の森林減少・劣化に由来する排出の削減等（REDD+（レッドプラス））の促進や森林の防災・減災機能の強化に資する技術開発や人材育成等を支援する」、「途上国の森林保全・造成等のための国際的支援「国際熱帯木材機関（ITTO）プロジェクト支援」、「国際熱帯木材機関（ITTO）と生物多様性（CBD）条約事務曲との共同イニシアティブ支援」、「国際熱帯木材協定（ITTA）実施」、「生物多様性条約関連会合等への参加」、「生物多様性カルタヘナ議定書実施」、「生物多様性名古屋議定書実施」などに取り組んできた。また、国際森林研究機関連合（IUFRO）の日本事務局として森林・林業・林産業に関連する国内外の研究機関の相互連携を図り、IUFROに関連する諸活動に貢献している。さらに、FAO 林業委員会やモントリオールプロセスなどへの専門家派遣、IPCC の各種報告書、IPBES*の各種報告書などへの執筆者及び編集者派遣などを通じて国際的な貢献をしている。

これらの活動や共同研究を通じて海外の研究機関や大学と研究プロジェクトを推進し、今後も地球規模課題の解決へ向け、連携を強化していく。

引用文献

- Aquilue, N., Filotas, E., Craven, D., Fortin, M.-J., Brotons, L., & Messier, C. (2020). Evaluating forest resilience to global threats using functional response traits and network properties. *Ecological Applications*, 30(5): e02095.
- Baek S.-Y., Amano T., Akasaka M. and Koike S. (2025) The range of large terrestrial mammals has expanded into human-dominated landscapes in Japan, *Communications Earth & Environment*, 6(1), 292
- Egusa, T., Nakahata, R., Neumann, M., Kumagai, T. O. (2024) Carbon stock projection for four major forest plantation species in Japan. *Science of The Total Environment*, 927, 172241.
- FAO (2024) *Global forest products facts and figures 2023*. Rome.
<https://doi.org/10.4060/cd3650en>
- FAO (2020) *Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings*. Rome.
<https://doi.org/10.4060/ca8753en>

藤枝 基久 (2007) 森林流域の保水容量と流域貯留量、森林総合研究所研究報告、6(2): 101–110.

藤田隼平 (2025) 住宅着工とストックの中期見通し、三菱 JFJ リサーチ & コンサルティング 調査レポート

Hoang, N.T., Kanemoto, K. (2021) Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests. *Nature Ecology and Evolution* 5, 845–853. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01417-z>

Iijima H., Oka T. (2023) Fences are more effective than repellents in reducing deer browsing on planted two conifer species but their effectiveness is reduced by higher deer density, deeper snow, and steeper slope. *Forest Ecology and Management*, 546, 121328

Iijima H, Watari Y, Doi K, Yasuo K, Okabe K. (2025) Forest Fragmentation and Warmer Climate Increase Tick-Borne Disease Infection. *Ecohealth*, 22(1):124-137. doi: 10.1007/s10393-025-01702-4.

井上真理子・大石康彦 (2014) 森林教育に関する教育目的の構築-学校教育を中心とした分析をもとに-、日本森林学会誌、96、26-35

IPBES 「生物多様性と生態系サービスに関する地球規模評価報告書」, 2020

伊東宏樹・酒井敦 (2025) ナラ枯れ跡地の広葉樹林更新、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所
<<https://www.ffpri.go.jp/research/2forest/09for-entom/documents/5th-chuukiseika32.pdf>>, 2026.2.13 参照

Iwasaki, K., Nanko, K., Nakata, Y., Masaka, K., Shinohara, Y., Nitta, K., Mizunaga, H. (2022) Port construction alters dune topography and coastal forest growth: A study on forest decline due to coastal erosion. *Ecological Engineering*, 180, 106640, DOI : 10.1016/j.ecoleng.2022.106640

循環型社会形成推進基本計画～循環経済を国家戦略に～ (2024) 令和6年8月2日閣議決定
<<https://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku.htm>>, 2025.8.25 参照

環境省 (2023) ニホンジカ・イノシシの半減目標について
<<https://www.env.go.jp/council/content/12nature05/000210754.pdf>>, 2026.2.13 参照

環境省 (2024) 持続可能な地域づくりのための生態系を活用した防災・減災の手引き、pp.92

環境省生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会 (2021) 生物多様性及び生態系サービスの総合評価 2021 政策決定者向け要約報告書、環境省自然環境局 (JBO3: Japan Biodiversity Outlook 3)

北原文章（2023）シリーズ ニホンジカ狂騒曲、終楽章へ向けて(4) シカ対策費用を考慮した
林業採算性、山林、1670：25-30

国土交通省（2014）国土のランドデザイン 2050～対流促進型国土の形成～、pp.42

「生物多様性国家戦略 2023-2030」の閣議決定について（2023.3.31）環境省報道発表資料
<https://www.env.go.jp/press/press_01379.html>, 2024.5.02 参照

国土審議会政策部会長期展望委員会（2011）「国土の長期展望」中間とりまとめ 本文<図
表>、12 頁

国土緑化推進機構（2022）森林と気候変動-カーボンニュートラルと森林・木材利用による
気候変動の緩和に向けて-、136pp

国立社会保障・人口問題研究所編（2023）日本の将来推計人口 — 令和 3（2021）～52
（2070）年— 附：参考推計 令和 53（2071）年～102（2120）年 令和 5 年推計、人
口問題研究資料第 347 号、pp281.、グラフィカ・ウエマツ、東京

厚生労働省（2026）「外国人雇用状況」の届出状況まとめ（令和 7 年 10 月末時点）
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_68794.html, 2026.2.26 参照

松浦友紀子（2023）捕獲したシカの利用-害獣か資源か？-、山林、1674、19-26

文部科学省及び気象庁「日本の気候変動 2025 — 大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報
告書 一、36-42

内閣府ほか（2021）2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

農林水産省（2025）バイオマスの活用をめぐる状況、
<<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/attach/pdf/index-192.pdf>>

農林水産省農村振興局（2026）鳥獣被害の現状と対策（令和 8 年 1 月版）
<<https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/attach/pdf/240605-113.pdf>>, 2026.2.12 参照

大野晃（2005）限界集落—その実態が問いかけるもの、農業と経済、71（3）、5-13

大谷達也・米田令仁（2023）シカ・カモシカ生息地のスギ造林地における防護柵管理の一事
例-どの程度の見回りをしていつ直すか-、森林防疫、72、11-20

Ozaki K., Akashi N., Kawamura K., Obase K., Ueda A., Unno A., Yamanaka S., Yamaura Y.
(2024) Retention forestry in plantations: Synthesizing key findings of early studies from a
long-term experiment in northern Japan, Forest Ecology and Management, 562,121929,
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121929>.

- 林野庁（2022）森林・林業・木材産業分野の研究・技術開発戦略（令和4年3月31日）
< https://www.rinya.maff.go.jp/j/ken_sidou/senryaku/pdf/20220331.pdf >, 2026.2.12 参照
- 林野庁（2023）収益性と災害リスクを考慮した森林ゾーニングの手引き 森林ゾーニング支援ツール「もりぞん」、<<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/romou-19.pdf>>, 2026.3.24 参照
- 林野庁企画課（2023）令和4年（2022年）木材需給表、10pp
- 林野庁（2024）建築物への木材利用に係る評価ガイダンス、57pp
- 森林総合研究所（2021）地域の木材流通の川上と川下をつなぐシステム・イノベーション、第4期中長期計画成果37、<<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/4th-chuukiseika37.pdf>>
- Suzuki K., Yasuda M., Sonoda M. (2022) Spatially biased reduction of browsing damage by sika deer through culling. *The Journal of Wildlife Management*, 86(6), e22251
- 瀧誠志郎（2024）森林デジタルツインの構築に向けて、森林技術、No990、12-15
- 田村和也（2020）人口減少社会における国内林業の将来見通し、森林総合研究所研究報告、19(1)、1-43
- 田中亘（2020）林業における外国人労働力の受入れ過程—愛媛県を事例に—、森林総合研究所研究報告、19(4)、331-340
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., & Mosseler, A. (2009). *Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change: A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. CBD Technical Series No. 43, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- 鳥山淳平・橋本昌司（2023）少子高齢化社会における九州地方の人工林の分布と生育環境-人口シナリオと限界自治体指標による推定-、九州森林研究、76、117-120
- United Nations (2024). *World Population Prospects 2024: Summary of Results*. UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9. New York: United Nations.

用語集

30by30 目標

2030年までに陸と海の30%以上を保全するという目標。日本の場合、2023年時点で陸域の20.5%、海域の13.3%が保護地域として保全されている。

Cyber Physical System (サイバー・フィジカル・システム)

四次元情報としてデジタル情報の動的な変化やその情報をリアルタイムに反映し最適な管理を行うための概念であり、サイバー (Cyber) 空間と現実 (Physical) 空間の間で円滑なデジタル情報の共有と継続的なデジタル情報の更新を行うためのデジタル情報の流れ。

DX

デジタルトランスフォーメーションの略。デジタル技術とデータの活用が進むことによって、社会・産業・生活のあり方が根本から変わること。

EcoDRR

Ecosystem-based Disaster Risk Reduction の略で、生態系を活用した防災・減災の取り組みのこと。

ESG 投資

Environment (環境)、Social (社会)、Governance (ガバナンス (企業統治)) を考慮した経営・事業活動への投資活動。

GNSS

Global Navigation Satellite System の略。複数の測位衛星を利用した高精度な測位システムのこと。

GX

グリーントランスフォーメーションの略。化石エネルギー中心の産業・社会構造を、クリーンエネルギー中心の構造に転換していくこと。

IPBES

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services の略。生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム。世界中の研究成果を基に政策提言を行う政府間組織として 2012 年 4 月に設立された。

MRV

Measurement, Reporting and Verification の略。温室効果ガス排出量の測定、報告及び検証のことを指す。把握した排出量の正確性や信頼性を確保するため、備えるべきとされる一連のプロセス。

NbS

Nature-based Solution の略。自然を活用した解決策のこと。

OECM

Other Effective area-based Conservation Measures の略。保護地域以外の地域で、文化的・精神的・社会経済的等の価値とともに、生物多様性の保全に長期的にプラスの貢献をする管理がなされているもの。

RTK

Real Time Kinematic の略。固定局で受信した情報を元に移動局の位置情報をリアルタイムに補正を行う技術。短距離 RTK では数センチの精度で測位ができる。

SLAM

Simultaneous Localization and Mapping の略。カメラや 3 次元レーザスキャナによるセンシングを行いながら移動し、自己位置の推定と周囲の地図の作成を同時に行う技術。

UAV

Unmanned Aerial Vehicle の略。人が搭乗しない航空機のこと。ドローンは UAV の一種となる。

Well-being

身体的・精神的・社会的に良い状態にあることをいい、短期的な幸福のみならず、生きがいや人生の意義などの将来にわたる持続的な幸福を含むもの。1946年のWHO憲章で提唱されている一部を取ったもの。

育成単層林

単一の樹冠層を構成する森林。

育成複層林

樹齢や樹種の違いから複数の樹冠層を構成する森林。

災害レジリエンス

災害の予防力に加え、災害を乗り越える力（回復力）を加えた総合的な力のこと（林、2016、京都大学防災研究所年報、59A、34-45）。

サーキュラーエコノミー

循環経済。資源の投入量・消費量を抑制しつつ、リユース・リペア・メンテナンスなどにより製品を長く利用しつつ、再生可能な資源の利用を促進し、資源消費を最小限にすることで廃棄物量の抑制や環境負荷の低減を図る経済のこと。

自然共生サイト

企業・団体・個人・自治体などによる自発的な保全活動によって、生物多様性が実質的に守られていることを国が認定した区域。認定された区域のうち、保護地域との重複を除いた部分がOECMに登録される。

デジタルツイン

現実空間に存在するあらゆる物体（モノ）と時間変化（コト）をサイバー空間にコピーした現実空間の鏡像のこと。X、Y、Zの三次元で構築されたデジタルモデルに対して、デジタルツインは三次元に時間軸が加わった四次元情報である。

ネイチャーポジティブ

自然再興とも言われる。自然を回復軌道に乗せるため、生物多様性の損失を止め、反転させること。

保安林

水源の涵養、土砂の崩壊その他の災害の防備、生活環境の保全・形成等、特定の公益目的を達成するために指定された森林。立木の伐採や土地の形質の変更等が規制される。

森業

森林において木材供給にとどまらず、環境保全や癒しなどの森林の多面的な機能に価値を見出し、地域の賑わいや所得向上と雇用を創出する取り組みのこと。令和7年農林水産省から発表された「地方みらい共創戦略」において推進が提唱された。

執筆者一覧

責任執筆者 石塚成宏（研究リスク管理監）

共同執筆者（所属・氏名）

企画部	北島博
企画部	小松雅史
林業経営・政策領域	御田成顕
林業工学	瀧誠志郎
関西支所	中尾勝洋
森林管理	田中真哉
構造利用	野田康信
木材加工・特性	松村ゆかり
樹木分子遺伝	鶴田燃海
野生動物	大橋春香
森林防災	南光一樹（現・東京農工大）
森林資源化学	楠本倫久
立地環境	藤井一至（現・福島国際研究教育機構）
育種センター	坪村美代子
育種センター	岩泉正和

協力執筆者（氏名・所属）

永田純子、土井寛大、亘悠哉（野生動物）、横田康裕（林業経営・政策）、
秋庭満輝（きのこ・森林微生物）、高務淳（森林昆虫）、小林卓也（北海道支所）

取りまとめ執筆者

理事（研究担当）

小林功

研究ディレクター・コーディネーター

齋藤英樹、八木橋勉、浅野志穂、細田和男、前原紀敏、伊神裕司、久保智史、

宇都木玄、石川敦子

育種センター育種部長

栗田学

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

編集・発行 森林総合研究所

編集責任者 石塚成宏

発行日 2026（令和8）年 6月30日

お問い合わせ先 広報普及科編集刊行係

電話 029-829-8373

e-mail: kanko@ffpri.go.jp

本書の引用記載 森林総合研究所（2026）2050年の森120周年
記念改訂版. 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研
究所, 60pp.

※本誌掲載内容の無断転載を禁じます。