

2

第2部

森づくりの理念と 森林施業

林業の目的は、森林からの木材の効率的な生産です。しかし、森林は、私たちに木材を供給してくれるだけでなく、二酸化炭素を吸収する、水を貯留し洪水を緩和する、土砂の流出を防ぐ、川や海へ養分を供給する、多様な生物を育む、風景や安らぎを与えるなど、さまざまな公益的機能を持っています。こうした森林の持つ公益的機能は、適切な森づくりにより、木材生産と一体的に発達させることができます。フォレスターは、その実現を図るべく市町村などを指導する技術者です。

第2部では、その調和の実現に向けての森林施業の考え方やあり方、施業方法を選択する際の視点や施業における留意点などについて解説します。ただし、施業方法の選択に唯一の正解というものはありません。正解が1つだけではない中で、場面に応じて、より適切な選択をするのが技術者の使命であることを認識しておく必要があります。つまり、本章で述べる森づくりの理念を理解し、森林施業の全体を包括的にとらえ、ともすると互いに矛盾するような作業オプションを取捨選択して組み合わせ、実行に移す能力が求められるのです。

第1章

森づくりの基本的な考え方

木材生産機能と公益的機能の調和を実現させるためには、科学的な知見と森づくりの思想・理念に則った森林施業・森林管理を行うことが必要です。この章では、これらについて解説しながら、森づくりの基本的な考え方を述べます。

1 日本の森林と人との関わり

日本列島は、湿潤で温暖な気候に恵まれ、人間活動による干渉や攪乱がなければ、陸上のほとんどの場所で森林が成立する環境にあります。火山の噴火による溶岩流や土砂の崩壊、地滑り跡などでさえも、長い年月の間には遷移が進み、森林が成立します。

潜在的な我が国の本来の植生については、北海道や本州の高標高域にはモミ属・トウヒ属等の常緑針葉樹林が、北海道から九州までの山地帯にはブナ・ミズナラ・カエデなどの落葉広葉樹林が、本州中部以西の低地帯にはシイ・カシなどの常緑広葉樹林が広がっていたと考えられます。また、スギ・ヒノキなどの温帯性針葉樹の天然林も、かつては大きな広がりを見せていたことが知られています。

しかし、森林利用の長い歴史の中では、林地の開墾や過伐による森林荒廃の時期も何度か知られています。ただ、朝鮮半島や中国の一部に見られるような極端な荒廃にはいたりませんでした。というのも、森林利用への規制が行われるとともに、18世紀半ばには、スギ・ヒノキの人工造林という形で、積極的に森林資源を造成する営みが生まれたからです。現在につながる育成林業の始まりです。その後も、明治期の過伐や奥山開発と並行して行われた原野造林などによって、日本の森林は大きく変化しました。現在、我々が見ている森林景観も、第2次世界大戦中や戦争直後の大量の伐採を経て、昭和20年代後半から造林活動が進められ、また高度成長期の拡大造林によって草地・原野や里山二次林が人工林に転換され、さらには奥山の伐採とともに人工林への転換が進められた

というごく近い過去の歴史の産物です。

現在、日本の人工林は1,020万haに達し、蓄積は33億 m^3 を超え、日本の森林資源はかつてない豊かな状況にあるといえます。しかし、残念ながら、拡大造林期に植栽された人工林の中には管理放棄され、適時適切に間伐や主伐が行われていないものが少なくありません。過去に繰り返された森林荒廃・消失の危機とは全く違う意味で、危機的な状況にあるともいえるでしょう。戦後営々と作り上げてきた人工林、そして残された天然林を今後どのように持続可能な形で管理していくかを見つけ出すことは、未来の世代に向けて私たちの世代が背負った重要な課題です。

2 森林の機能と森林施業

(1) 森林という生態系

森林は、陸上生態系の中で最も巨大な一次生産者である樹木によって立体的に構成されている生態系です。樹冠部に大きな葉量を維持する森林の生産力は、草地など他の陸上生態系に比べ大きなものです。森林を構成する樹木は、光合成によって大気中の炭素を固定し、樹高成長と肥大成長によって個体サイズを増加させます。そして幹・枝といった木質部の形で、著しく大きな地上部現存量を維持するという特徴を持っています。

成熟した森林生態系では、高木、亜高木や低木、草本やシダ類、さらにはコケ類などが垂直的な階層構造を作ります。そこでは、生産者である植物以外の生物相も豊富で、消費者（一部は分解者）である昆虫類、鳥類、哺乳類などのほか、分解者である土壌動物や土壌微生物類など多様な生物群が生息しており、「食う－食われる」の関係、共生関係など多様な生物間相互作用を介したネットワークを形成しています。

このネットワークによって、森林生態系では系の外部から炭素を固定し、内部で循環させると同時に、窒素やリンなど他の物質も循環させ、また一部は生態系の外部ともやり取りをしています。人工林生態系では、林冠層が同齢の単一樹種で構成されることが多いため、生態系の構成員である生物相は変化し、単純化することはありますが、天然林と同様な生態系プロセスが働いていることに変わりはありません。

(2) 森林の発達過程

森林は、時間の経過とともにその構造を変化させていきます。ここでは大きな攪乱（台風、山火事、皆伐など）によって森林がいったん破壊された後の森林構造の変化をみてみましょう（図2-1）。

「林分初期段階」は、天然林では攪乱の後15年くらいまで、人工林では皆伐、植栽をしてから10年くらいまでに相当します（この年数は、樹種や環境によって変化します）。その後、高木性の樹種が優占して林冠が閉鎖し、個体間の競争が強くなり、下層植生が目立って少なくなる時期を、「若齢段階（樹冠閉鎖段階）」と呼びます。この段階には、葉の量も増え、森林としての生産速度が最も高くなります。50年生を越えると、樹冠同士の間隙もでき、林内が少し明るくなり、下層植生が徐々に豊かになっていきます。この段階を「成熟段階」と呼び、個々の樹木個体はサイズを増やし、表土の保全や生物の生息環境としての機能が徐々に増大します。やがて優占する高木の中

にも衰退木、立ち枯れ木、倒木などが生じ、森林は「老齢段階」に達します。枯死木が開けたギャップ内に更新した稚樹が成長を始め、森林の中で部分的な破壊と再生のプロセスが進行します。そして、森林構造は水平的にも垂直的にも多様性を増します。人工林においても、この段階に達すると、広葉樹や、稀には植栽樹であるスギ、ヒノキ、トドマツなどの天然更新稚樹が定着する例もみられます。他方、物質生産の面からみると、森林全体の現存量はほとんど増えず、定常状態に近い状態になると考えられます。

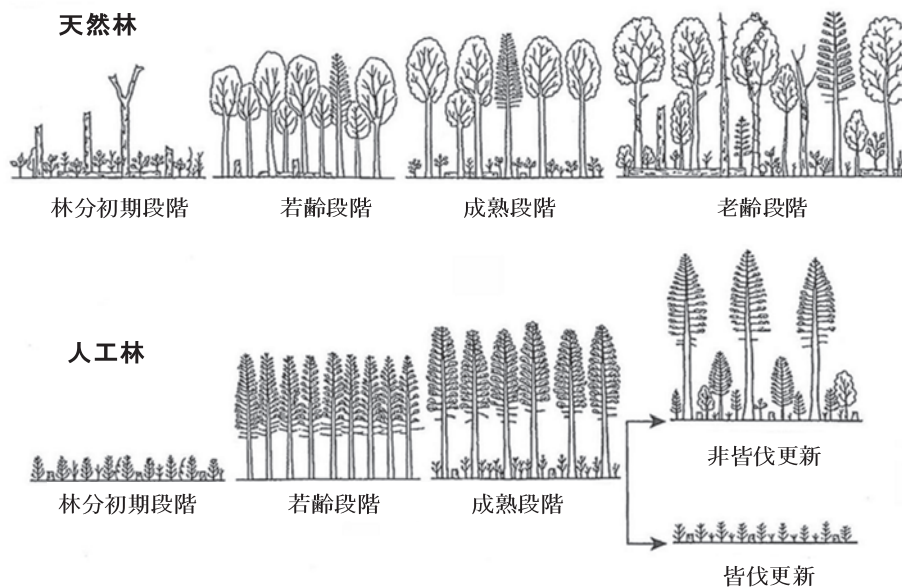


図2-1 林分の発達段階(藤森1997)

(3) 森林と林業

林業は、人間が森林に手を加え（攪乱を起こし）、この発達パターンをコントロールしながら、木材を収穫する営みです。拡大造林期に想定された40～50年という伐期齢は、若齢段階ないしは、これから成熟段階にさしかかる段階に当たります。量としての木材生産に主眼をおく場合には、この段階で木材を収穫し、森林の発達段階を1回リセットして更新を図り、若い森林の高い生産速度を効率よく利用するというのは、ひとつの理にかなった方法といえるでしょう。一方で、若齢段階を過ぎても林木は成長を続けることから、大径材生産を目的とする長伐期施業は、生態学的にみて、本来のスギやヒノキ天然林の発達パターンを模倣する合理的な施業であると考えられます。

他方、広葉樹二次林において、30年以下の短いインターバルで伐採を繰り返す薪炭林施業は、樹木の攪乱に対する適応能力である萌芽性を生かすことで更新を図る点と、若齢段階までの高い生産速度を利用する点で、とても合理的な森林施業といえます。

伐採による攪乱を自然現象の模倣という視点で見れば、皆伐作業はいわば大規模な自然攪乱を模したものであり、間伐や択伐といった作業は、小規模な攪乱や単木ベースで起こる枯死を模したものであることができるでしょう。

(4) 森林の多面的機能

森林の持つ多面的機能については、はるか昔から人々の間で認識されてきました。森林の過伐と土砂流出や表面浸食などの土砂災害や洪水の発生に関係があることに気づいた古(いにしえ)の支配層は、すでに伐採の制限や伐採後の植栽などを課していました。美しい森林景観への愛着や、巨大な樹木や森林がもたらす荘厳な宗教性の感覚も、木材を供給してくれるという実利的な側面とは別の森林の価値として、人々の心の中に育まれてきました。これらは、すなわち、山地災害防止機能、水源涵養機能、保健文化機能といった森林の多面的機能の一部です。最近では、二酸化炭素を固定し地球温暖化を防止する地球環境保全機能、また多様な生物の生息地を提供する生物多様性保全機能など、森林の持つ多面的機能への新しい評価があり、その重要性が強く認識されています(表2-1、学術会議答申)。

人間にとって、森林生態系がもたらす恵みは、木材ではありません。林業活動を中心にすえた森林管理を持続可能なものにするためには、木材を生産する物質生産機能の他に、森林生態系が持つさまざまな生態系サービス(=多面的機能)を十全に発揮させることが大切です。

表2-1 森林の多面的機能の種類

① 生物多様性保全 遺伝子保全 生物種保全 植物種保全 動物種保全(鳥獣保護) 菌類保全 生態系保全 河川生態系保全 沿岸生態系保全(魚つき)	防風 防雪 防潮など	行楽 スポーツ つり
② 地球環境保全 地球温暖化の緩和 二酸化炭素吸収 化石燃料代替エネルギー 地球気候システムの安定化	④ 水源涵養機能 洪水緩和 水資源貯留 水量調節 水質浄化	⑦ 文化機能 景観(ランドスケープ)・風致 学習・教育 生産・労働体験の場 自然認識・自然とのふれあい
③ 土砂災害防止機能/土壌保全機能 表面侵食防止 表層崩壊防止 その他の土砂災害防止 落石防止 土石流発生防止・停止促進 飛砂防止 土砂流出防止 土壌保全 その他の自然災害防止機能 雪崩防止	⑤ 快適環境形成機能 気候緩和 夏の気温低下(と冬の気温上昇) 木陰 大気浄化 塵埃吸着 汚染物質吸収 快適生活環境形成 騒音防止 アメニティ	芸術 宗教・祭礼 伝統文化 地域の多様性維持(風土形成)
	⑥ 保健・レクリエーション機能 療養 リハビリテーション 保養 休養(休息・リフレッシュ) 散策 森林浴 レクリエーション	⑧ 物質生産機能 木材 燃料材 建築材 木製品原料 パルプ原料 食糧 肥料 飼料 薬品その他の工業原料 緑化材料 観賞用植物 工芸材料

□ : 貨幣評価されたもの

(5) 森林の発達過程と機能の変化

森林の持つさまざまな生態系サービス(=多面的機能)は、森林を構成する樹木とさまざまな生物群、土壌や大気など環境との間の相互作用によって制御されています。当然、森林構造の発達とともに、また、人間が森林に手を加えることによって、森林の持つ多面的機能も変化すると考えら

れます(図2-2)。

前述のとおり、量的な木材生産機能だけを考えるなら、若齢段階の後半から成熟段階にかけて収穫するのが最適という考えも成り立ちます。しかし、他の多くの機能は、皆伐後の林分初期段階から若齢段階にいったん低下し、森林構造の発達とともに緩やかに増加していくことが示唆されています。水流出量(水源涵養機能)も、若齢段階の混み合った森林では低下するという報告があります。生物多様性についても、伐採直後には草原性の生物種が増加するために種多様性が高まりますが、若齢段階で急激に低下します。その後は、緩やかに種多様性が増加することが、植物などいくつかの生物群で知られています。

森林が持つ多面的機能を、どのように調和的に発揮させるかは、森林管理者、林業技術者にとって重要な課題です。森林施業は、個々の対象林分の構造を変化させ、発達段階を制御することにより、機能に大きく影響します。地域や流域レベルで森林の機能を十全に発揮させるためには、それぞれの森林タイプや林齢の構成に配慮した施業を行うことが必要となります。

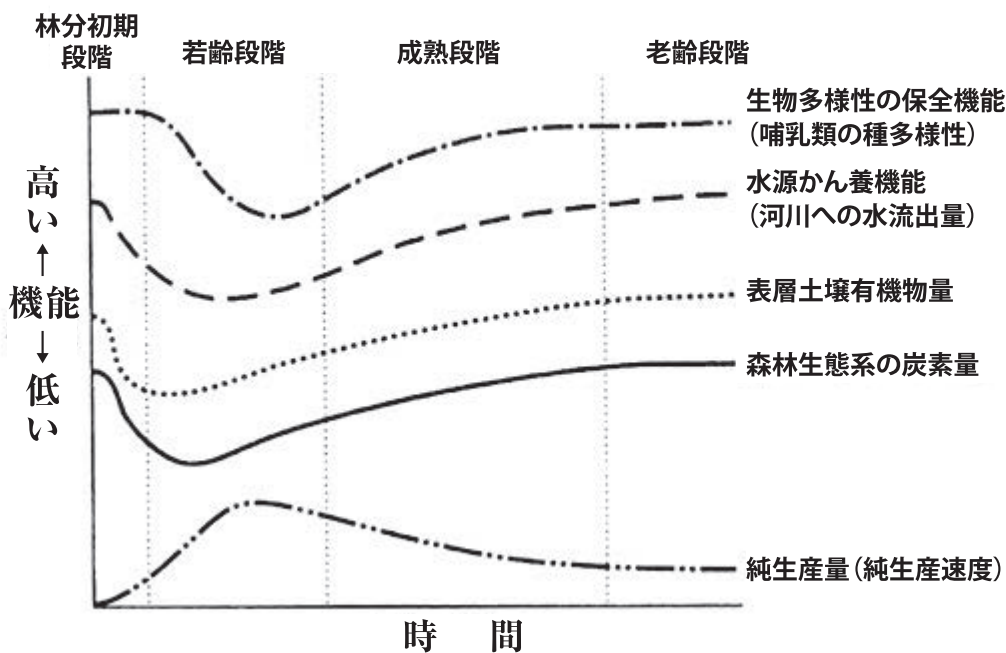


図2-2 林分の発達段階と各種機能の変化との関係(藤森2003)

出典：『提案型集約化施業テキスト』全国森林組合連合会

3 森林経営・森林施業の基本原則

森林施業を行う、あるいは持続的な森林経営を実現する上で、遵守すべきいくつかの原則があります。そのうち、最も基本的な原則は「合自然性の原則」と「保続性の原則」です。また、実際に何かをしようとするときには、「経済性の原則」を無視してはことが進みません。さらに、「生物多様性保全の原則」も重要です。フォレスターは、これらの原則をよく理解し、その具現化に向けて市町村や森林・林業関係者等を指導したり、それに反することがなされたときは戒めたりしなければなりません。

(1) 合自然性の原則

森林の成長は、基本的に自然の力に委ねられています。また、森林を取り巻く環境を人為で制御することは、ほとんど不可能です。加えて、林木を収穫するまでに要する時間はとても長いので、林木やその集合体である森林は長期間にわたり、さまざまな自然現象にさらされます。そのため、自然に逆らった森林施業は必ずどこかで失敗し、合自然性を無視した森林経営はいつか破綻します。

合自然的な森林施業・森林経営を行うには、森林経営者（森林所有者や所有者から経営を委託された者）や森林技術者（フォレスター、森林施業プランナーなど）が自然の理と地域の自然環境について熟知している必要があります。その上で、合自然性を常に意識しながら、経営方針を決定し、効果的な施業法を検討し、それを具体的な作業に落とし込んでいかなければなりません。

合自然的な森林施業は、森づくりが自然の原理に則っているということだけにとどまりません。路網の開設がその土地の地質・地形に配慮したものであることや、収穫の仕方が地域の自然環境に不可逆的な負荷を与えないことも、合自然的な森林施業の重要な要素であるといえるでしょう。

(2) 持続性の原則

持続的な森林経営を実現する上で、「持続性の原則」はとても重要な原則です。もちろん、その前提として「合自然性の原則」があることは言うまでもありません。

持続性の原則は、広義には「森林の持つ諸機能（もちろん木材生産機能も含まれます）が永続的・恒常的に維持されなければならない。また、それを支える土地の生産力（地力）を維持しなければならない」ということです。これは、「持続可能性の原則」と呼ばれることもあります。

一方で、この原則は狭義には「対象とする森林において、毎年（もしくは一定期間ごと）、同じ量の木材を収穫し、これを永久に続ける」という「収穫の保続」としても理解されています。持続的な森林経営にとって、生産基盤である森林をいつでも収穫できるような状態に維持し、そこから間断なく木材を収穫すること、すなわち「収穫の保続」を実現することは重要です。もちろん、収穫の保続は、森林の持つ多面的機能を維持させつつ実現させなければなりません。

この狭い意味での保続－収穫の保続を森林側からみると、「連続的あるいは断続的に林木を収穫できるような状態に、森林を維持する」ということ、収穫の側面からみると、「森林の成長量分だけを収穫する」あるいは「森林の成長量を超えて収穫しない」ということになります。林木・森林の伐採は、収穫であると同時に、生産基盤としての林木・森林を失うということを意味します。収穫の度に森林の成長量が小さくなってしまえば、後々に収穫できる量は目減りします。これに対して、一定期間内の伐採量が全体の成長量を超えなければ、全体の蓄積量は増えることはあっても減ることはありません。

森林の成長量を維持するためには、地力の維持も重要です。地力が低下する（土地が痩せる）と、森林の成長量も低下します。林地の生産力を維持するには、表土を保全することが何より大切です。

このような収穫の保続の実現を個々の林分で考えるのか、一体の経営が行われる林分の集まりを対象とするのか、さらには地域全体の森林で行うのか、対象のスケールが違えば適切な施業方法も異なります。

例えば、個々の林分を対象に収穫の保続を図るなら、それは択伐林施業で実現することになります。小・中規模の森林所有者が所有山林で継続的・持続的な木材生産を行いたいときは、この選択になります。ただし、択伐林施業の実行は、高い技術力と路網などの生産基盤の整備が必要になるため、簡単ではありません。これが大規模森林所有者になると、複数の林分で収穫の保続を考えることができるようになります。そうすると、小面積の伐区による皆伐（法正林的な取り扱い）も可能になり、施業方法の選択の幅が広がります。

小規模森林所有者の森林を集約して経営を受託する事業者の場合、所有者個々の森林に対して、また、それらを集約した各団地に対して、どのような保続のデザインを描くのかという力量が問われます。例えば、次々に団地を設定して仕事を回していけば、事業者の経営の持続性は確保されるかもしれません。しかし、それぞれの団地において収穫の保続を無視した伐採を行ったとすれば、それは委託者（森林所有者）に対する背信行為となります。当然、こうした団地では森林経営計画の認定を受けることはできません。

森林計画制度では、森林経営計画単位で収穫の保続を確保することを基本としており、例えば属地計画（林班計画）の場合、林班または複数の隣接した林班単位ごとに保続のルールが適用されることとなること等をよく理解しておく必要があります。

③ 経済性の原則

経済性の原則は、経済的合理性を追求する原則であるといえ、林業が経済活動として行われる上で重要な原則です。経済性は、費用対効果で考えます。例えば、効果が一定のときは費用を最小とすることで、費用が一定のときは効果を最大にすることで、費用対効果を高めます。一定の材価の木材を低コストで育成収穫するのが前者、同じコストで育成収穫した材をより高く販売するのが後者になります。費用を小さくすると同時に、効果を大きくすることで、費用対効果はより高くなります。

経済性の原則は、生産活動に対してのみ適用されるものではありません。公共事業である森林整備事業においても、この原則が適用されています。さらに、今日的にはさまざまな目的で行われる森林管理について、経済的合理性が技術的合理性とともに問われています。

④ 生物多様性保全の原則

森林を構成する植物やそこに暮らす動物にとって、自らが作り出す生態系は、同時に自らが生存する場であるといえます。森林を利用する人間は、自己の利益に反しても生態系を構成する多様な生物種の生存を保証する義務があり、その生存権を損なわないような形で森林経営をすべきです（鈴木2001）。こうした生命倫理に基づく原則が、生物多様性保全の原則です。この原則をすべての林分に求めることは、現実的には不可能です。したがって、この原則は流域などの広がりにおける林分配置（ゾーニング）で考えるべき原則といえるでしょう。生物多様性保全の詳細については、次項と第2章で解説します。

4 生態系・生物多様性の保全

(1) 生態系の定義

生態系は、「物理的な環境と、そこに生息する生物群集の相互作用から構成されるシステム」と定義されます。しかし、この表現で生態系とは何かということを理解することは難しいと思われま。例えば、スギ花粉の飛散範囲は100km以上におよぶので、スギ同士の花粉のやりとりという相互作用は、100km四方以上の面積を持つ生態系が舞台となります。このように、どこからどこまでが生態系の範囲なのかを定めることは難しく、研究者の間でも、いまだにコンセンサスが得られないのが実情です。

そのため、現実の森林管理においては、便宜的に生態系の範囲を定めるしかありません。例えば、ある流域全体を生態系の範囲と定める、あるいは、ある行政界内の森林を生態系の範囲と定める、というのが生態系の現実的な定義となります。このように定められた生態系の健全性を保つことが持続的な森林経営につながります。

(2) 生物多様性の定義

生物多様性には、遺伝子の多様性、種の多様性、生態系の多様性、という3つのレベルがあります。遺伝子の多様性とは、集団（互いに交配可能な生物の集まり）内の遺伝的変異のことです。遺伝子の多様性は生物進化の原動力であり、種の多様性の源泉でもあります。また、遺伝子の多様性の低い集団は絶滅のリスクが高いことが知られています。

種の多様性は、最も簡単にイメージできるものでしょう。たくさんの種類の生物が生息している状態であれば、種の多様性が高いといえます。

生態系の多様性は、天然林、人工林、草地、湿地など、景観として認識される「場」の多様性を意味します。

通常の森林管理においては、種の多様性を保全するように配慮すれば、明確に意識せずとも結果的に、遺伝子の多様性と生態系の多様性の保全も図られるといえるかもしれません。

(3) 森林の生物多様性保全機能

森林が持つ生物多様性保全機能は、2つのスケールで考える必要があります。

1つは、一定の広がりの中で発揮される生物多様性保全機能です。これは、ある範囲にさまざまな生態系—さまざまなタイプの森林やさまざまな発達段階の森林、さらには伐採跡地や草地など—が存在し、それらが相互に関係しつつ発揮される機能です。

もう1つは、属地的に発揮される生物多様性保全機能です。これは、その土地の自然条件で定常状態を示す原生的な森林生態系や希少な生物が生育する森林で発揮されるものです。したがって、この機能を持つ森林は、代替がきかないものといえます。

(4) 生物多様性を保全する意味

日本の林業は、スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツなどの材を生産し、市場に供給するために、これら針葉樹の一斉人工林を造成・管理しているのが普通です。これらの針葉樹人工林における種の多様性は、天然林のそれに比べて低いといえます。さらに、同一クローンである挿し木苗を起源とする人工林であれば、主林木の遺伝的多様性は皆無です。また、一定の広がりの中に人工林しかなければ、生態系の多様性も乏しくなります。

しかし、合自然性の原則からみて林業地域においても、生物多様性を維持することが必要です。これには次のようなメリットがあります。

①病虫害を軽減する

種の多様性の高い生態系は、外来種の侵入が起こりにくく、また、害虫の大発生を抑制します。種の多様性が高い生態系は、安定性が高いといえます。

②生態系の復元力を高める

自然界では、大規模な風倒災害や土砂崩れなど、予期せぬことが起こります。そのとき、生物多様性の高い生態系は、自然の回復力が高いことが知られています。生物多様性は、いざというときにそのありがたさがわかる、一種の「保険」のようなものです。

③生産力を高める

ある種が単一で生育するより、複数種が混生するほうが、全体の生産力が高くなることがあります。

④複数の機能を発揮させる

人工林においては、木材生産機能は主として植栽木が担い、その他の機能は植栽木とそれ以外の種の組み合わせにより発揮されることとなります。多様な種が生育しているほうが、バランスよく多様な機能が期待できるといえます。

⑤森林の外にも恩恵をもたらす

森林の生物多様性が高いことは、その地域全体にとって、大きなメリットがあります。その一例として、周囲に広葉樹林など多様性の高い森林が存在しているとソバの収量が増します。これは、森林から多様な昆虫が来ることで、ソバの花の受粉率が高まるからです。

⑥市場の多様化に備える

生物多様性は、有用資源の利用可能性という意味で極めて重要です。たとえ今は見向きもされない種であっても、新たな用途が開発されて有望な商品になる可能性を秘めています。

⑦歴史や風土を保全する

生物多様性は、その地域の過去の履歴（攪乱や土地利用の歴史）に依存する面が大きいことが知られています。また、山菜利用など地域の食文化も、地域の生物多様性のもとで形成されてきました。

た。生物多様性の喪失は、地域の歴史や文化の喪失につながりかねません。

(5) 林業地域における生物多様性の保全

林業地域で生物多様性を保全する方法は、大きく2つあります。第一の方法は、単一の人工林(小班)の中で種の多様性を高める方法、第二の方法は、異質な林分を組み合わせることで生態系の多様性を高める方法です。

第一の方法には、単一の人工林(小班)の中で、樹種を多様にする、階層構造を作ることなどがあり、植栽や下刈り、除伐等の作業において、植栽木の成長や事業の効率性、安全性等を十分に考慮した上で、侵入広葉樹を残すなど配慮事項を取り入れることが重要です。

なお、このうち、階層構造を作るためには、間伐などを行って多様な植物を林床に定着させる手法がありますが(ただし、樹冠下に広葉樹を植えるようなことは考えないほうが無難です。これについては複層林の項を参照してください)、これを例えば40～50年生のスギ林で実施するのは、あまり感心しません。森林の発達段階でみると、階層構造がではじめるのは成熟段階に達してからで、それが発達するのは老齢段階においてです。40～50年生のスギ林はまだまだ成熟段階に達する手前であり、この発達段階の森林に階層構造を持たせようとするのは、「合自然性の原則」に合わず、望むような結果が得られない可能性が高いからです。基本的にこの手法は、長伐期施業の中でのとるべき方法です。

森林経営においては、むしろ、第二の方法が現実的です。例えば、広葉樹林が保残帯として伐り残されていれば、そのことによって生態系の多様性が保全されます。人工林も、短伐期林と長伐期林を組み合わせれば、生物多様性が高くなります。

また、希少種など、個別の種の保全については、上記のような一般的な枠組みの他に特段の配慮が必要となります。例えば猛禽類の生息地では、人工林に強めの間伐や小面積の皆伐をほどこし採餌可能な環境を創出することで、生息環境としての質を高めることができます。しかし、暗い環境下を好む希少なランなどにとっては、むしろ間伐などを行わない方がよいともいえます。個別の種の保全については、それぞれの性質に応じて異なる施業法が有効となるので、一律な施業マニュアルでは対応できないので注意が必要です。

5 本テキストにおける森林施業関係の用語の定義

人と人がコミュニケーションをとるとき、同じ用語に対して両者が同じことをイメージしないと誤解が生じます。とくに技術的な話をするときには、意味の取り違えが起きないように注意する必要があります。ここでは、このテキストにおける森林施業関係の用語について、その意味を確認します。ただし、ここに示した用語にも、現実に使われる場面によっては意味が異なることがありますので、気をつけてください。

(1) 人工林・天然林

人工林は、植栽または播種によって造成した森林です。スギ・ヒノキ・カラマツ・トドマツなど

針葉樹が人工林の主体ですが、コナラ・シイ・イチイガシ・ケヤキなど広葉樹の人工林も存在します。

天然林は、人工林以外の森林すべてです。つまり、人間が持ち込んだ更新材料によって更新したのではない森林のことです。人の手の加わっていない原始的な森林から、人間による利用による攪乱を受けてきた里山二次林のような森林も含まれます。

(2) 間伐と主伐 (皆伐・択伐)

森林における施業は、究極的には、木を伐ることに尽きます。その中でも、林冠を構成する木を伐る場合には、その目的に応じて呼び名が変わることに注意が必要です。

間伐は、残存木を育てることを主目的とする伐採です(間伐木は収穫されることもあれば、伐り捨てられることもあります)。後述しますが、間伐の目的は第一に林木間の競争を緩和し林型を整えることにありますので、間伐では、伐採後に一定の期間が経過すれば林冠が再閉鎖するような伐り方をします。

これに対し、主伐は林木を収穫するための伐採であり、更新を伴うものを指します。主伐の方法には、皆伐と択伐があります。皆伐は、一定の区域の森林の立木をまとめて伐採するものです。択伐は、伐採区域の森林を構成する立木の一部を適切な比率で伐採するもので、単木的に伐採することもあれば、帯状または群状に伐採することもあります。

(3) 伐期・伐期齢・伐採齢

いずれも、人工林の施業における主伐に関する用語です。農作物とは異なり、林木には自ずと決まる収穫の適期が存在しません。そのため、収穫の適期は森林経営の目的に応じて、経営者が決めなければなりません。

「伐期」とは、林木が生産目的を完全に満たした状態に達した時期のことです。したがって、それが実際にいつになるかは、将来のその時期に近づかないとわかりません。これでは経営の計画が立てられないので、予測的に主伐林齢を設定します。これが「伐期齢」です。しかし、実際に伐採される林齢は、予測的な伐期齢とは必ずしも一致せず、また、よほどの計画的生産でない限り一致させる必要もありません。この、実際に主伐が行われたときの林齢を「伐採齢」と呼びます。

伐期齢には、生理的伐期齢(寿命、萌芽能力維持、心材率などが考慮されたもの)、工芸的伐期齢(使用目的に応じたサイズでの収穫できる齢)、収穫量最多の伐期齢(伐期平均成長量等が最大となる齢)、森林純収益最高の伐期齢(収穫量ではなく収益を最大化する齢)などがあります。さらに収益にさらに利子を考慮した伐期齢なども提案されています。

「標準伐期齢」というのは、主伐時期の目安として市町村森林整備計画に定められたもので、収穫量最多の伐期齢が採用されています。標準伐期齢は、概ねスギで35～50年、ヒノキで45～60年、カラマツで30～40年です。標準伐期齢は、この林齢での伐採を奨励するものではなく、この林齢より若くしての伐採を抑制するためのものです。

(4) 一斉林

同一樹種かつ同一年齢の林木で構成される森林を一斉林といいます。同齢単純林も同じ意味です。

(5) 複層林

単一の林地に、大きさの異なる樹木が生育する林分を複層林といいます。上木の直下に下木が生育している状態はまさに複層林であり、見た目にも「複層」と感じられます。さらに、小面積の発達段階の異なる林分が同じ小班内に成立している場合も、複層林としています（これを「複相林」と呼ぶべきだという意見もあります）。ここでは、大きさが異なっていることが重要であり、必ずしも異齢状態でない複層林も存在します。

(6) 施業・作業

よく混同される用語です。「森林施業（単に施業と呼ぶこともあります）」とは、伐採・造林・保育のように、人間が目的を持って継続的に森林に働きかけることをいいます。地ごしらえ・植栽・下刈り・枝打ち・除伐・つる切りなどは、施業における個別の「作業」です。すなわち、施業は複数の作業の組み合わせで構成されると考えればよいでしょう。

第2章

目標林型とゾーニング

森林の管理を正しく進め、適切な施業技術を適用するためには、対象とする林分をどのような森林に導くかという目標の設定が不可欠です。間伐方法の選択などにあたっては、伐期や森林の状態をどのように想定するかで、その判断は変わってきます。また、対象林分の目標を設定するに当たっては、その林分の現状のみならず、周辺の林分も含む森林景観、流域全体の将来像、すなわちゾーニングで示された求められる機能の発揮（期待される）を常に意識することが必要となってきます。この章では、こうした目標林型（目標とする森林の姿）の設定のために考えるべきことについて説明します。

1 流域レベルと林分レベルの目標林型

それぞれの森林に対して、第1章で述べた森林の持つ多面的機能の中で、どのような機能を求めるかに応じて、適切な目標林型を設定することになります。その際には、その林分の現況から見る視点（「林分の目標林型」）と、その林分を含む地域のあるべき森林配置（ゾーニング）の中での位置づけから見る視点（「流域の目標林型」という2つの判断のレベルがあります（図2-3、図2-4）。

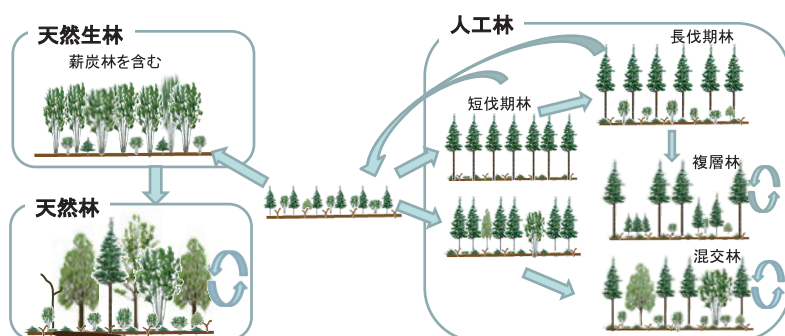


図2-3 いろいろな林分の目標林型

出典：森林施業プランナーテキスト基礎編（森林施業プランナー協会）

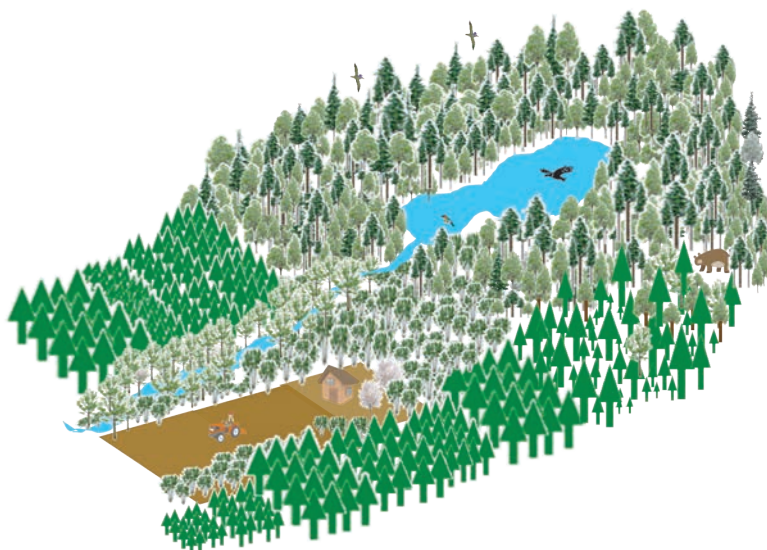


図2-4 目標林型の例

出典：森林施業プランナーテキスト基礎編（森林施業プランナー協会）

多くの場合、現実の林分は、所有者の意向やこれまでの管理状態などさまざまな制約下にあります。このため、「流域の目標林型」という視点から将来像を決定することが困難なことも多いでしょう。その場合でも、自然環境条件と地域社会のビジョンに照らして地域の中でどのように森林を配置するか、というゾーニングの視点は重要です。より長期的かつ理想的な森林管理を進める上で、このことを常に意識し、考慮していく必要があります。

2 ゾーニング：流域レベルでの目標林型

地域の中で森林の配置を考える場合、地形や土壌といった自然条件に従うことが基本になります。具体的に言えば、地位の高い場所と低い場所という生産性の軸と、災害の危険が高い場所と低い場所という災害防止の軸の2つによって、ベースとなるゾーニングを考える必要があります。これは、第1章で述べた「合自然性の法則」に従ったものです。木材生産に適した生産性の高い地形・土壌条件の場所では、木材生産機能を重視した人工林を維持していけばよく、他方、痩せた土壌の場所や岩石地では、木材生産を積極的に目指す必要はないでしょう。また、急斜面や崩壊の危険性がある場所、特に天然林であれば、山地災害防止・水源涵養・生物多様性保全などの機能を発揮する安定した老齢林を目標とし、そのまま放置することで、ゆっくりとした自然の推移に任せます。人工林の場合でも、将来的には混交林化等を目標として、過度な人為を加えないという取り扱いを選ぶべきでしょう。施業困難な場所では、無理に強度の間伐を入れるよりも放置したほうが、災害リスクやコストの無駄が軽減される場合もあります。

自然環境条件とあわせ、地利もゾーニングを考える上で重要です。路網整備が行われ、効率的な作業システムによって集約的な施業が可能となる基盤がある人工林では、「経済性の原則」を踏まえ、木材生産機能の維持増進を積極的に目指すことが適切なのはいうまでもありません。

ゾーニングにおいては、生物多様性の保全も大きな比重を占めます。多様な生物種が生息する河畔域の天然林が断片化して残存している場合、生物多様性保全機能を十全に発揮する場所として、その保全に努めることが重要です（コラム「河畔林」を参照）。しかし、河畔域は、通常生産性の高い場所であることから、木材生産を目標とする針葉樹人工林がすでに河川の流路ぎりぎりまで形成されている場合があります。このような林分には、河畔林の保全について地域のコンセンサスを得る中で、そのような人工林の目標林型を混交林や広葉樹林に設定し、間伐を繰り返すことで徐々にこれらに誘導するような施業も選択していくことが重要です。生物多様性の保全は、林業地域の中でも重要であり、現存する天然林要素（老齢林や河畔林）を保全すること、里山二次林の利用を通じた手入れを行いつつ天然林として取り扱っていくこと、人工林としての生産に向かない場所を天然林へと徐々に戻すこと、人工林についても短伐期林と長伐期林を適度に配置することが、そのために有効な方法になってきます。

3 林分レベルの目標林型

第1章で触れたように、森林の生態系サービスは、人工林においても、天然林においても、その発達段階によって変化します。個々の森林においては、そこで発揮が求められる機能に対応した森林の将来像を描き、森林施業を進めていくことが重要です。

(1) 人工林の目標林型

木材生産と目的とした人工林の目標林型は、生産目標、すなわち想定する主要な用途（例えば、柱・土台・梁桁などの構造材・合板材・ラミナ用材・チップ材など）から決まります。生産目標により、主林木が備えるべき径級や形質（年輪幅や無節性など）は異なります。また、それにより、主伐時

期やそこに至るまでの育林方法が決まります。

人工林の主伐時期は、大きくは短伐期と長伐期に分けられます。これまで短伐期施業における40～50年という伐期齢が、量的な木材生産機能を最大に発揮させるという意味で合理的な目標設定であったことはすでに述べました。しかし、後述するように（第4章）、多くの人工林で80年生以上になっても良好に成長するという研究データが近年になって蓄積されてきました。すなわち、木材生産機能を重視しつつ、80年以上の伐期を想定するような施業が考えられるということです。もちろん、これはすべての地域の人工林に当てはまるわけではありません。例えば、温暖で成長速度の速い九州地方のスギでは、常襲する台風の被害リスクの回避も含め、従来どおりの短い伐期に十分な合理性があります。また、大径材に対する需要があまりない地域でも、短伐期が主体となるでしょう。しかし、材質・採材歩留まりなどのメリット、今後の製材技術の改良なども考慮すると、木材需要の面からも長伐期を目標とすることは意義があると考えられます。また、長伐期施業により成熟段階まで伐期を延ばすことは、木材生産機能以外のさまざまな機能（二酸化炭素の吸収を除く）の発揮という側面からは非常に効果的であるといえます。なお、生産目標に応じた人工林の具体的な目標林型については、次章で詳しく述べます。

他方、木材生産機能より、生物多様性など他の生態系サービスを重視する林分もありえます（例えば奥山、急峻地、溪畔域の人工林など）。人工林から混交林や広葉樹林への誘導は決して容易ではありませんが（天然更新の項を参照）、そのような場所では、これらが目指すべき目標となる可能性も十分あります。

(2) 天然林の目標林型

その土地の自然条件で定常状態を示す原生的な天然林については、生物多様性保全のために、人手を排除して保護することに疑問の余地はありません。老齢林が備えるさまざまな属性（大径木、枯死木の存在、複雑な空間構造、そのような環境に依存した生物群の存在）は、かけがえのないものです。そこでは、文化的機能や水土保持機能など、他の多くの機能も同時に維持されます。また原生林ではなくても、集水域の中でモザイク状に残された若齢林や成熟林も、当面は生物多様性保全や水源涵養機能などの公益的な生態系サービスの発揮を目標として、特に積極的な施業目標をたてず発達を見守るという施業方針をとることが適切です。

里山の広葉樹二次林は、木材生産林としての集約的な施業により生物多様性が保全されてきた森林です。一部の地域では、現在も薪炭林施業とシイタケ原木林施業が積極的に行われていますが、多くの場合、伐採がされずに大径化が進み、タケ・ササ類や常緑性低木類の侵入も進行しています。また、近年、ナラ枯れの拡大によって、これら放置された広葉樹二次林の管理・利用の問題がクローズアップされるようになってきました。

これらの広葉樹二次林は、生物多様性の面からみると、明るい光環境を利用する一定の動植物群に好適な生息地を提供してきました。里山の広葉樹二次林は本来、木材生産林としての集約的な施業により生物多様性が保全されてきた森林であることを認識して、施業方針を立てる必要があるといえます（木材生産のための目標林型については、第5章参照）。

コラム

溪畔林

溪畔林とは、水域（溪流）と陸域（植生）が直接に影響を及ぼし合っている場所に成立する森林です（溪流を含んで、溪畔域と呼びます）。溪流はしばしば増水して溪岸の浸食、砂礫の移動や堆積などの攪乱をもたらしますが、その後には樹木の更新しやすい裸地が生じるなど、森林の新陳代謝をうながし樹木の多様性を高める効果があります。一方、森林の樹木は流路内への落葉や倒木の供給を通じて多様な動物の生息環境を提供し、また、森林の土壌は溪流に入り込む水の栄養塩類を吸着するなど水質を整える機能があります。その結果、よく保全された溪畔林を含む溪畔域は生物多様性が極めて高い、重要な生態系となっています（写真2-1）。

溪畔林は、溪流がある程度「攪乱される」ことで多様性が保たれます。下流の状況からみて安全が保たれるのであれば、生物多様性の観点からダムなどの工作物などを可能な限り溪流内に配置せず、自然の溪畔林を残すことが勧められます。なお、溪畔域の定義は、溪流が「攪乱される」範囲、すなわち谷底面プラス斜面下部の急斜面の範囲となります。



写真2-1 溪畔林の一例

谷底面の溪畔林から流路内への倒木や落枝によって多様な環境が形成されるとともに、覆いかぶさっている樹冠からのリター供給で水棲昆虫の餌資源も供給され、生態系の生物多様性が高く保たれている。

第3章

針葉樹人工林の目標と間伐

我が国には、面積にして約1,020万haの人工林があり、それは全森林面積の約4割を占めています。人工林面積の44%がスギ人工林、25%がヒノキ人工林で、その他の針葉樹（カラマツ・トドマツなど）を含めて97%が針葉樹人工林です。その多くは戦後に植栽されたもので、平成28年度末現在、スギ人工林は11齢級、ヒノキ人工林は10齢級にピークがある1山型の齢級構成になっています（平成29年3月31日現在の森林資源の現況から類推）。森林所有者にとっては収穫の機会がやっと訪れ、木材業界に対しては国産材を供給する基盤がようやく整ったといえます。

しかし、林業を取り巻く情勢の変化などにより、主伐による収穫が計画されずに放置されたままになっている森林が少なくないのが実態です。森林が高齢になると、木材生産機能を含めた多くの機能が高まりますので、人工林の高齢化自体は悪いことではありませんが、放置状態で高齢化が進むと混み合い度が増し、それによるさまざまな弊害が発生します。そのため、高齢化が進む人工林、とくに今までの間伐が不十分であった人工林では間伐が必須です。また、間伐により木材が収穫できれば、それは森林経営にプラスとなり、市場に対する木材供給の責務も果たせます。

ただし、間伐は森林施業の中の一つの作業であり、それ単独で林業が成立するわけではありません。フォレスターは長期的な視野を持ち、施業全体に対して間伐を位置づけられなければなりません。この章では、現存する針葉樹人工林について、再度その目的を確認し、目的を達成させるための目標について述べた上で、目標に到達させるための間伐方法について解説します。なお、記述はスギ・ヒノキ人工林を主体としています。

1 生産目標・機能目標と目標林型

多くの場合、人工林の造成の目的は木材生産です。さらに、現存する人工林の多くは短伐期施業による柱材生産を生産目標としていました。現存する人工林に対して過去形で記したのは、ようやくその目的が達成できそうなまでに森林が育ってきたにもかかわらず、それを果たす目処が立たない人工林が多いことに加え、柱材の需要が減少したためこれまでのような生産目標に位置づけにくくなっているためです。また、不適地への造林や手入れ不足により、期待どおりの森林が育たず不成績造林地化している人工林、路網などの生産基盤が整備されていないために、効率的な木材生産が困難な人工林も数多く存在します。

このようにさまざまな状態・状況下にある人工林の将来について、いま一度、原点に立ち返って考えてみる必要があります。すなわち、計画的に管理されていない人工林においては、目的を再確認・再設定し、その目的を達成するための最適な目標林型を明確にすることが必要です。その際、経済的合理性と技術的合理性の双方から判断することが重要になります。

(1) 木材生産機能の評価

人工林における目的の再確認・再設定は、木材生産を目的に造成された人工林に対して、現在または将来の木材生産の可能性を評価することから始めます。この評価では、森林の現況と生産活動

の可能性という2つの視点から、木材生産の見込みがあるか否かを判断するとよいでしょう（表2-2）。当然のことながら、森林所有者が木材生産を行う意志を持っているか否かも、重要な視点ですが、ここでは客観的に機能を評価することに限定して解説します。

表2-2 既存人工林の木材生産機能の評価

		森林の現況 ・被害は受けていないか？ ・地力は高いか？	
		○	×
生産活動の可能性 ・路網の整備、あるいは計画されているか？ ・架線による搬出は可能か？	○	木材生産を推進する。	最も有効・有意義な利用方法を検討する。
	×	備蓄的な意義を持たせる（将来、路網整備の計画の可能性）。	木材生産には不向き。

「森林の現況」からは、その森林が木材生産を果たせるだけの森林であるかどうかを評価します。例えば、気象害・病害・獣害・つる被害などによる形質不良木が多い人工林は、木材生産機能を十分に果たすことができません。地力が低いために林木の成長が悪い人工林も、今後の成長が期待できないので、木材生産のための管理を続けるのに適しません。地力は、林齢と上層木の樹高とから、「地位級別樹高成長曲線」や「収穫予想表」（これらは都道府県や森林管理局で作成されています）を使って「地位級」という指標で知ることができます。地位級がわかれば、将来の成長も予測できますので、そこから木材生産林としての可能性を検討します。

「生産活動の可能性」の評価とは、経済性の原則に照らし合わせての評価になります。この評価は、効率的な木材の搬出が可能かどうかをみることになります。路網がすでに整備されている、または、開設される計画や可能性があれば、その周辺の人工林は（搬出可能性からみた）木材生産機能が高いといえます。路網がない場合は、架線集材による搬出が可能かどうかなどを検討します。経済性はコスト面だけでなく、林況やその将来予測から推測される収入と比較しながら考えることが必要となります。これらに関しては第6部に詳しいので、そちらを参照してください。

森林現況・生産活動の両方が○となった人工林は、積極的な木材生産をすべき森林です。反対に、どちらも×の人工林は、残念ですが木材生産をあきらめざるを得ない森林となります。森林現況が○で生産活動が×の人工林は、備蓄的な意義を持たせて必要最小限の管理を行います。できれば将来路網整備の計画が行われ、生産活動が○となることを期待したいところです。森林現況が×で生産活動が○のときは、その人工林の最も有効・有意義な利用方法を、林況と地力とから考えるとよいでしょう。

(2) 生産目標と目標林型

先の評価で木材生産機能が高いとされた人工林では、経済的合理性と技術的合理性の両視点から、生産目標を明確にして目標林型を設定します(第2章の3を参照)。目標林型を持っているれば、森林管理の方針をきちんと立てることができ、的確な間伐を実行することができます。また、目標林型を持つことは、適正な路網計画にも必要なことです。

既存の人工林で生産目標を再設定するときは、地位や林木の形状からみて、達成可能なものでなければなりません。例えば、幹曲がりの林木が多い林分で芯持ち柱材生産を目標とすることや、幹の下部にまで枯枝が多く残る林分で無節の優良柱材を目標とすることはできません。地位が低い林分や樹冠長率が極度に小さい林分で、大径材生産の目標を立てるのも困難です(図2-5、図2-6)。

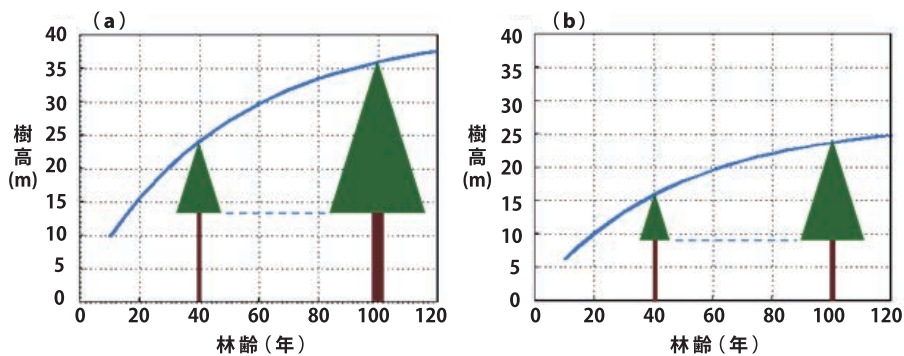


図2-5 地位級による樹高成長・樹冠形の差異

図中の曲線は、ある地域のスギの樹高成長曲線。各図の左側(40年生時)の樹形シルエットは、樹冠長率40%のものである。右側の樹形シルエットは、間伐の繰り返しによって枝が枯れ上がらなかったとしたときのものである。地位が高い場合(a)は、適正な間伐により樹冠量が多くなるため、大径材生産が期待できる。地位が低い場合(b)は、伐期を長くしても樹冠量は地位が高い場合に比べてずっと少なく、大径材生産は困難である。

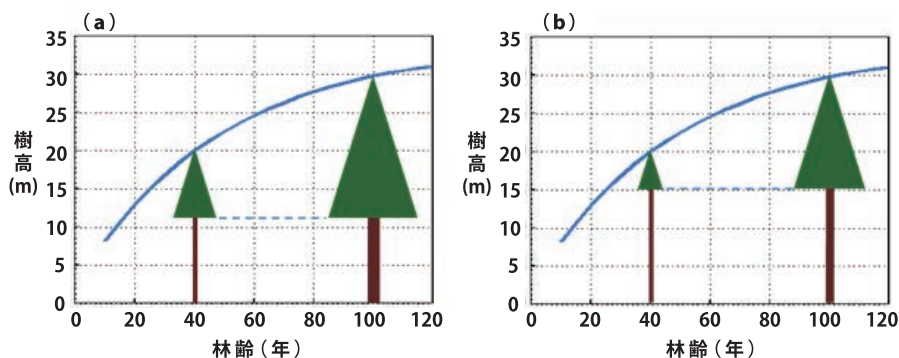


図2-6 現在の樹冠長による将来の樹冠長の予測

図中の曲線は、ある地域のスギの樹高成長曲線。各図の左側(40年生時)の樹形シルエットは、(a)が樹冠長率40%、(b)が樹冠長率25%である。右側の樹形シルエットは、間伐の繰り返しによって枝が枯れ上がらなかったとしたときのものである。100年生時の樹冠量は、(a)が(b)よりずっと多い。(b)では伐期を長くしても大径材生産は望めない。

人工林の目標林型は、択伐林施業以外の場合、伐期齢、伐期における主林木の胸高直径と本数密度で表すとわかりやすいでしょう。択伐林施業の場合には、繰り返しの択伐作業が可能となったときの森林の状態が目標林型となります。択伐林の目標林型は、胸高直径階ごとの本数密度で示すことができます。

伐期における樹高と目標直径から、このときの形状比が計算できます。気象害に対して十分な抵抗性を示す形状比は70以下あるいは60以下とされており、形状比からみて目標直径が妥当であるかも見ておく必要があります。

①小・中径材生産の目標林型

生産目標を小・中径材（構造材であれば芯持ち柱材や土台など）とすれば、このときの目標林型は、例えば、「胸高直径が20～26cmの林木を主とする本数密度が1,000～1,200本/haの森林」というように示されます（これはあくまで例示で、数値は樹種・品種・地域などによって異なります）。この場合、主伐時期は若齢段階終盤から成熟段階初期（図2-1）に当たるため、短伐期施業ということになります。

伐採利用ができる林型に近づいている人工林にこの目標を設定するときは、近い将来に訪れる主伐後の更新について検討しておく必要があります。また、収穫時に扱う丸太の本数が多くなるなどコストが高くなりがちで、材の単価はさほど高くないことが予想されますので、収穫時の作業システムや収支予測についても検討しておくことも大切です。

②大径材生産の目標林型

生産目標を大径材（構造材であれば梁や桁、社寺建築用材など）とするときの目標林型は、一斉林型と択伐林型とが考えられます。一斉林型の目標林型は、例えば、「主林木の平均胸高直径が36～40cmで本数密度500本/haの森林とか、胸高直径50～60cmの主林木からなる本数密度250本/haの森林」と言ったものになります（これはあくまで例示で、数値は樹種・地域・これまでの施業経過などによって異なります）。この場合は、主伐時期を成熟段階の中盤から後期（図2-1）とする長伐期施業を行うことになります。主伐を皆伐によらずに択伐林施業を指向する場合には、目標とする径級の林木から小径の林木までが連続して含まれる（通常は小径木ほど個体数が多い）森林が目標林型となります。

このような長伐期施業においては、単木あるいは林分が高齢になっても十分に成長を続けることが重要です。そのため、長伐期施業は、地位が十分に高い場所でなければ成り立ちません。また、若い時期から十分な樹冠量を持たせるような管理が必要となります。これは、林木の形状比を早い時期から下げ、気象害に対する抵抗性を高めることにもなります。既存の人工林の施業法を長伐期施業に転換する場合、これらのことに注意しなければなりません。

また、将来の木材需要の変化、気象害を受けるリスクが高まることについても留意することが必要です。

③長伐期施業における伐期の考え方

既存の人工林を長伐期施業に移行する場合の伐期齢について考えてみます。例えば現在50年生

の人工林の伐期齢を80年としたなら、その伐期において最大・最高の収穫・収益が得られるような目標林型を設定し、今後30年間の間伐計画を立てることになります。もしこれが伐期齢150年であるなら、ゴールは今から100年先になり、80年生時はその先が70年もある通過点に過ぎなくなります。当然、80年をゴールとして描いた目標林型と、150年のゴールに到達する途中にある80年で必要とされる林型は異なる可能性があります。具体的には、80年で主伐するように育てられた林木の樹形では、その後70年も成長を持続させることが困難である可能性が高いということです（写真2-2）。（もし、明確な伐期についての見通しが無い等、現時点で具体的な伐期齢が設定できない場合には高めの伐期齢を想定するのが無難です。）



写真2-2 約80年生のスギ人工林

もともと80年を伐期齢として仕立てられた林分で、600本/haほどの本数密度がありました。さらに伐期を延長して抜き伐りを行いました。各林木の樹冠が小さいために、今後の成長の持続が心配されます。また、後生枝の発生もみられます。

(3) 木材生産以外の目標と目標林型

海岸防災林や災害復旧時の造林など木材生産以外の目的でつくられた人工林は、その目的に合致した目標林型を設定して管理します。また、木材生産機能が低い人工林は、木材生産に変わる目的と目標を設定します。この場合、林況からみてその人工林はどのような機能を持ちうるのか、その場所ではどのような機能の発揮が求められるのかを考え、新たな目的を設定するとよいでしょう。その目的により、今の人工林のまま管理していけばよいのか、違ったタイプの森林に作り替えていくほうがよいのかが変わり、それに応じて目標林型も異なったものになります。もし、森林タイプを変えるのであれば、技術的合理性をきちんと検討する必要があります。

これらの森林では、直接的な経済効果は期待できませんので、その管理は、経済的合理性の観点から必要最小限なものとなります。

2 間伐の目的

人工林の目的いかんに関わらず、それを健全に管理する技術として間伐は重要です。改めて、針葉樹人工林における間伐の目的を考えてみましょう。

森林は、それを構成する林木が個体間競争をしながら発達します。間伐は、その個体間競争を人為的に制御し、森林をより望ましい姿に整える作業です。この望ましい姿が、中間あるいは最終の目標林型です。一方で、間伐は林木の伐採行為であるので、それによって木材を収穫することもできます。

林齢が若いうちは、林型を整えることが間伐の主目的になります。しかし、林齢が高くなるにつれ林木のサイズが大きくなると、間伐の目的の中で収穫の比重が徐々に高くなっていきます。森林経営は長い時間軸の中で繰り返されるため、間伐による木材の収穫は、経営上、大きな意味を持ちます。とくに長伐期施業を実施している場合は、主伐までの時間が長くなるため、途中の間伐による収穫の重要性が高くなります。だからといって、収穫だけに目がいくと「保続性の原則」に反することになりかねません。間伐には、後述するようにさまざまな方法がありますが、常に、林型を整えるという基本的な目的があることを忘れてはなりません。木材生産林における間伐は、林型を整えながら収穫を得るという作業であると理解してください。

木材生産を目的としない針葉樹人工林や、木材生産機能が期待できない針葉樹人工林でも、間伐しないことによる弊害が生じるおそれがあるときは、間伐が必要です。このときは、それぞれの森林に求められる機能に応じた林型を整えることだけを目的に、間伐を実施します。

3 林木の成長と間伐の基礎理論

本項では、林木の成長と間伐に関する生物学的な基礎理論を解説します。植栽から主伐までの間、生物である林木は森林という集団の中で近接個体どうしが干渉し合いながら成長します。間伐は、その干渉作用（競争）を制御する技術です。したがって、森林施業において、林木の成長、成長と競争の関係について生物学的に理解していることはとても重要です。その理解は、生産目標の設定が妥当かどうかを判断するとき、生産目標に至るまでの間伐計画を検討するとき、間伐の必要性・緊急性を判定するとき、効果的な間伐方法を選択するときなど、さまざまな場面での技術的な根拠となります。

ここでは、針葉樹の一斉林について解説します。なお、成長などに関しては、少し単純化して説明しています。

(1) 林木の成長

林木は時間の経過とともに成長し、個体サイズが大きくなります。林木の個体サイズは、通常、幹のサイズで表します。ふつう用いられるのは、樹高、幹直径（胸高直径で代表させることが多い）、断面積（胸高断面積で代表させることが多い）、幹材積です。それぞれに、生物学的な意味や木材利用上の意味があります。その意味や、それぞれの相互関係を理解しておくことが重要です。

林木の成長は、伸長成長と肥大成長に分けることができます。主軸の伸長成長が樹高成長となり、

枝の伸長成長は樹冠の発達とそれに伴う着葉量の増加をもたらします。一方、肥大成長は、光合同化物が幹や枝へ分配され蓄積されることによる成長です。伸長成長と肥大成長の結果として樹幹全体の蓄積が増加し、これが材積成長になります。材積成長量は、生産基盤である着葉量が多いほど大きくなります。また、材積成長量が同じときは幹の表面積（＝形成層の総面積）が大きいほど単位面積当たりの配分量が小さくなるため、肥大成長量（直径成長量）は小さくなります。また、着葉量が増えずに成長すると、直径成長量は徐々に小さくなっていきます。もし、直径成長量の減衰を望まない（例えば、年輪幅が一定の材を得たいなど）のであれば、個体サイズの成長に応じて着葉量が増えていくような管理をしなければなりません。

(2) 林木の成長と本数密度の関係

植栽された林木が成長し、隣接木どうしの枝と枝が触れあうようになると、個体間競争が始まります（図2-7 a）。その状態のまま林木が成長すると、樹高成長に伴って樹冠は上方に移動し、隣接個体と競合する枝の位置も高くなり、かつて隣接個体と競合していた枝はその陰になって枯れてしまいます（図2-7 b）。すなわち、樹高成長に伴い、樹冠はほぼ同じ大きさを保ったまま（つまり、着葉量がほぼ変わらずに）、樹高が高くなった分だけ上方に移動し、枝の枯れ上がりが進みます（図2-7 c）。この過程で、樹冠長はほとんど変化せず、樹冠長率（樹高に対する樹冠長の割合）は徐々に小さくなります。このように推移するとき、林木は着葉量が増えずに成長するので、幹の直径成長量は徐々に小さくなっていきます。

図2-7は、林木の成長に伴って、だんだんと混み合い度が高くなっていく様子を示しているともいえます。混み合い度は同じ本数密度でも、林木の大きさによって変わります。したがって、本数密度だけでは林木の混み具合を表現することはできず、混み合い度は森林の発達段階と本数密度との関係でとらえなければなりません。

林冠が閉鎖した森林では、単位面積当たりの葉現存量は林のタイプごとにほぼ一定になります。例えば、スギ林の葉現存量（乾燥重量）は19.6t/ha、ヒノキ林のそれは14t/haです（齋藤1989）。この葉現存量は、個々の林木の着葉量を合計したものです。これを逆にみれば、森林が持つことのできる一定の葉量を、そこに生育する林木で分け合っているということになります。林木の数が多くなれば、1本当たりの持ち分が少なくなることは、容易に想像できます。林木の成長と本数密度の関係を考えると、本数密度の意味するところはこういうことです。

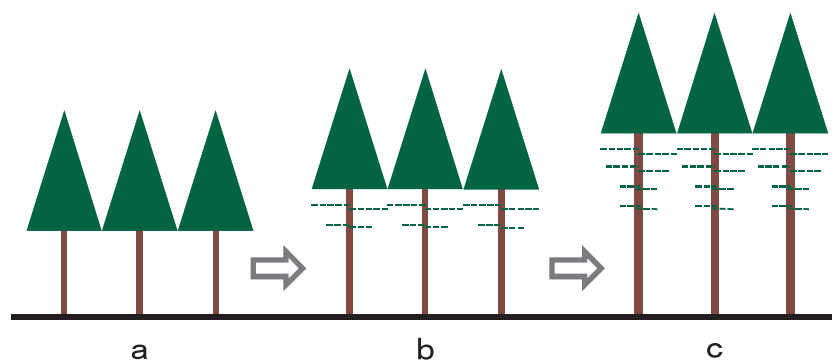


図2-7 枝の枯れ上がりの模式図

(3) 混み合い度の指標

林分の混み合い度を客観的に表現するため、いくつかの指標が考案されています。また、それ自体は混み合い度を示すことが目的でなくても、混み具合の目安になる指標もあります。

① 相対幹距比 (Sr)

相対幹距比は、上層平均樹高（上層木の平均樹高）に対する平均個体間距離の割合のことです。平均個体間距離は、単位面積である10,000m²（1ha）を本数密度で割り（これが個体当たりの平均占有面積になります）、その平方根をとります（これは個体の占有空間を正方形とみなしたときの1辺の長さとなり、これを隣接木との平均距離とします）。例えば、樹高25mで本数密度400本/haの林分では、相対幹距比は、20%になります。相対幹距比は、20%くらいが適当な混み具合で、17%を下回ると混み過ぎ、14%以下であればかなりの混み過ぎであるとされています。

② 収量比数 (Ry)

林分密度管理図（後述）において、最多密度（ある樹高のもとで、もうこれ以上は入らないという上限の本数密度）を1としたときの、それに対する相対的な混み具合を収量比数といいます。林分密度管理図は、一斉林の密度管理のために、地域ごと樹種別に作成された図です。横軸に本数密度、縦軸にha当たりの幹材積をとった両対数のグラフで、樹高階ごとの本数密度と幹材積の関係が等平均樹高曲線で示されています。このグラフには、最多密度曲線と等収量比数曲線（どちらもグラフ上では直線）が示されており、収量比数は対象林分の上層平均樹高と本数密度から読み取ります。一般に、収量比数0.8以上が混み過ぎとみなされます。

③ 樹冠疎密度

樹冠疎密度は、樹冠投影面積を森林面積で割った値です。樹冠の開空度（樹冠を下から眺めて、空が見える面積の割合：通常は%で表します）から求めることもできます（100 - 開空度 = 樹冠疎密度 × 100）。保安林整備や森林経営計画での間伐の基準において用いられており、樹冠疎密度0.8以上が混み合った状態であるとされています。

④ 形状比 (H/D)

樹高 (cm) を胸高直径 (cm) で除した値を形状比といいます。形状比が低いことはズングリムックリの樹形であることを、形状比が高いことはヒョロヒョロの樹形であることを示します。形状比が80を超えると気象害に対して弱い樹形だとされていることから、この値を超えるような林木が多い林分は混み過ぎであると考えられます。

⑤ 樹冠長率

樹冠長率は、樹高に対する樹冠長の割合です。樹冠長は、樹高から枝下高を引いて求めることができます。樹冠長率が40%以下の林木が多くなると、混み過ぎであるといえます。

相対幹距比と収量比数は、上層木の平均樹高に対する本数密度から求める指標です。上層木の平

均樹高を基準にするのは、それが森林の発達段階を示す指標として優れており、また、樹高成長は本数密度の影響を受けないという性質があるからです。相対幹距比は、現場ですぐに計算できるという利点があり、また、樹高に対する個体間距離という見方は、直感的でわかりやすいといえます。

形状比と樹冠長率は、それ自体が直接的に混み合い度を示すものではなく、林木の形態を表現するものです。林木の形態は、ある混み合い状態のもとで、その個体が生育してきた結果として形成されます。そのため、林木の形態は、林木が育ってきた環境を表現しています。したがって、それから混み合い具合を読み取ることは、育てる対象を直接的に見るという意味合いも含め、とても合理的なことです。ただし、間伐により過密状態が解消されても、形状比も樹冠長率もすぐには変化しませんので、その数値だけから混み具合を評価することはできません。

これらの指標の意味するところを理解し、森林を観察するときこうした指標を参考にすれば、適切に林分の混み合い度を判定することができるでしょう。そのとき、いくつかの指標を組み合わせることも有効です。

4 間伐方法の類型

間伐には、さまざまな方法があります。適切な間伐方法を選択するためには、それぞれの特徴をよく理解している必要があります。間伐方法を選木の仕方大きく分けると、定性間伐と定量間伐の2つになります。定性間伐は選木を重視する間伐方法、定量間伐は選木を重視しない、あるいは間伐率に基づき機械的に伐採木を決める間伐方法です。前述のとおり、間伐の基本目的は林型を整えることにありますが、対象林分の状態に対して不適切な間伐方法を選択すると、間伐本来の目的から外れたものになりかねないことに注意してください。以下、主だった間伐方法について解説します。

①下層間伐

下層木(劣勢木)を中心に間伐する方法です。ただし、下層木だけを間伐しては、それより上の階層の混み合いは解消されませんから、上層木や中層木も含めて間伐する必要があります。間伐木の収益は期待できませんが、上層の暴れ木(暴領木)や下層の劣勢木を取り除くことから、林木の個体サイズを一定の範囲に収めることができ、短伐期で皆伐する場合に生産目標に応じた素材の生産が可能となり、販売に有利に働くと考えられています。

②上層間伐

上層木(優勢木)を中心に間伐する方法で、優勢木間伐やなすび伐りと呼ばれることもあります。これは収穫に重きを置いた間伐方法で、間伐木は大きく育った個体、あるいは、そのときに材価の高いサイズの個体を選ぶことになります。しかし過去の間伐が不十分で、林型が整えられていない林分をこの方法で間伐すると、間伐後の森林の経済的価値が低下したり、健全性が損なわれたりするおそれがあります。したがって、上層間伐は、過去にしっかりと間伐が実施されてきた林分においてのみ行うことができる間伐です。

③将来木施業

ドイツのフォレストアスターによって日本に紹介された方法です。「将来木」を早い時期に選び、その成長を妨げる個体だけを間伐します。池田(2010)による具体的な手法は、1) ha当たり100～200本(目標直径を60～80cmとしたとき;本数は樹種により異なります)の将来木(選ぶ基準は、優先度の高い順に活力・質・間隔です)を選び、その木にマーキングして、2) 将来木の樹冠拡張を妨害する個体を、大きい個体から間伐(1回の間伐で、将来木1本に対して1～4本)し、3) それ以外の部分には手を加えず、4) 林分構造の複雑さをつくり出すとされています。

④列状間伐

列状間伐は、代表的な定量間伐です。このため、選木に要する時間が省略できるとともに、列状に伐採することからかかり木の発生が少なく、経済的合理性や労働安全性の観点から有効性の高い方法です。間伐列に面した立木には直径成長を促進する効果がみられますが、3列以上が残された場合の内側の立木には間伐効果があまり表れず、4列以上となるとそれが顕著になります。伐採列を2列以上にすると、林冠の疎開幅が大きくなりすぎて、林冠が再閉鎖するのに時間を要します。このため、1伐2残または1伐3残が基本になります。また、列状間伐では選木をしないので、優良木と不良木の比率は間伐前後で変わりません。間伐後に樹冠は偏奇成長しますが、それによって年輪幅が不均質になることは確認されていません。気象害の発生については、報告例は少ないながらも冠雪害の報告があります。伐採列は、次回以降の間伐時の搬出にも活用でき、初回間伐に向いていると言えます。なお、再度列状間伐を行う際は、林内における疎開幅が均一になるよう工夫が必要です。

これら以外にも、さまざまな工夫を凝らした間伐方法が提案されています。例えば、中層間伐と呼ばれる方法があります(渡邊1970、2009)。

こうした間伐方法のどれを選択するかは、林況・目標林型・経済性と、採用できる作業システムとから総合的に判断することになります。また、間伐作業にあたる現場技術者の技術力が低いと、それが間伐方法を選択するときの制限要因になることがあります。

よく、定性間伐か列状間伐のどちらを採用するかに迷うと聞きます。定性間伐によって利用間伐を行おうとすると、労働生産性が上がらずにコスト増になりがちです。また、伐採や集材の際に残存木の幹に傷が付きやすく、それを避けるためにさらに労働生産性が低下するという懸念も生じます。伐り捨て間伐だと、間伐費用を支払わなければなりません。間伐の急を要する森林において、このような経済的な理由で定性間伐が実施できない場合、列状間伐を検討することが有効です。

将来木施業のように残す木を先に決めて印を付けるという方法は、上層間伐や下層間伐にも応用できます。

間伐方法は、どれか1つを選んで、それをかたくなに継続する必要性はなく、複数の方法を組み合わせるなど、自由度が高いものだと考えてください。例えば、列状間伐の間伐率を弱めにして、林分全体での間伐率に留意しながら、残存列で下層間伐を実施すれば、列状間伐だけのときより効果的に林型を整えることができます。また、将来木施業では将来木の隣接木だけを間伐することが基本となりますが、それだと混み過ぎが解消されない部分が残し、風害・冠雪害の危険性が高まる懸念されるのであれば、その部分においても間伐を実施することが適当です。

5 間伐の指標・基準

(1) 間伐率

間伐強度の基準として、間伐率があります。間伐率には、本数率・断面積率・材積率の3種があり、よく使われるのは本数率と材積率です。本数率は、立木本数を数えるだけでわかることからとても簡便で、また、直感的にわかりやすいこともあって、よく使われています。しかし、間伐強度について本質的に意味があるのは、材積率と断面積率です。間伐は、保残木の樹冠が拡張できるように間伐木の樹冠を除去する作業ですので、間伐率は、除去した樹冠量を示す数字でなければ意味がないからです。

本数率には、間伐木のサイズの概念が含まれていません。このため、優勢木を間伐したときと劣勢木を間伐したときで、同じ間伐率でも間伐の有り様はまったく異なります。図2-8は、いくつかのスギ人工林についての本数間伐率と材積間伐率との関係を示したものです。例えば、本数間伐率が30%であったとしても、小さい個体から間伐していったときの材積間伐率は約15～18%であり、大きい個体から間伐したときの材積間伐率は40～45%になります。さまざまな間伐方法がある中で間伐強度を正しく示すには、本数間伐率は適さないことがわかります。

林木の材積は樹高を測定しないと求められないので、材積間伐率を計算するのは労力がかかります。このような労力をかけられない場合には、胸高直径から断面積率を求めることが適当です。材積率と断面積率とは、多少の違いはあるものの、ほぼ似た数値になります。なお、本テキストでは特に断らない限り、間伐率は材積間伐率を指します。

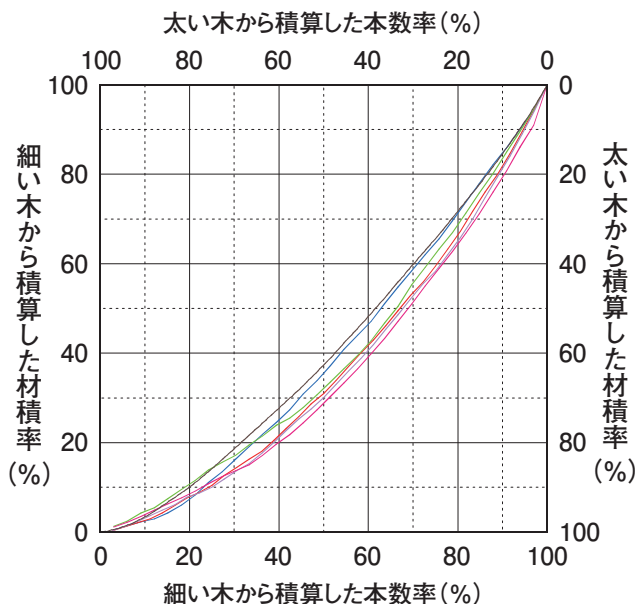


図2-8 スギ人工林における本数率と材積率の関係

この図には、原点が2つあります。細い木からの積算値をみる場合は左下を原点とする軸(下と左)を、太い木からの積算値をみる場合は右上を原点とする軸(上と右)をみてください。

(2) 従来の指標と基準

針葉樹人工林施業の道筋を示すものとして、各都道府県で主要な樹種ごと・生産目標ごとに施業体系が検討され、人工林の管理スケジュールとしての「施業基準」が作成されています。残念ながら、その基準に沿って管理されてきた人工林はほとんどなく、多くの人工林の本数密度はその基準よりかなり高くなっています。施業基準が長伐期施業に対応しているものであっても、基準から大きく外れた本数密度を基準の密度にいきなりもっていくことはできません。施業基準に示されている本数密度は、継続的に基準に沿って管理されてこそ有効だからです。また、本数密度を急激に落とすような間伐をすると、選木方法にもよりますが、間伐後の気象害が懸念されます。したがって、現実の林分が施業基準に沿って管理されていない場合これらの施業基準は、今後の施業の基準とはなりえないと考えるべきです。今後の施業は、今の林況をスタートとして生産目標、目標林型に応じて考えていく必要があります。

針葉樹人工林の密度管理指標として代表的なものに、「林分密度管理図」があります。これは、一斉林の密度管理のために考案されたもので、先に説明した「収量比数」を指標として密度管理を行うためのガイドとなるものです。ただし、これは短伐期施業を想定して作成されたもので、下層間伐に利用することはできませんが、それ以外の間伐方法では目安として利用できる程度です。人工林の高齢化が進む中、今後、林分密度管理図を用いた間伐計画を立てられる人工林は少なくなっていくといえるでしょう。ただ、林分密度管理図で与えられる収量比数は、多くの人が馴染んで、その意味するところもよく理解されている混み合い度の指標であるため、当分の間、林分の混み合い度を評価するときに活用できると思われれます。また、「相対幹距比」は応用性に優れた指標・基準であるといえます。相対幹距比は、上層木の平均樹高と本数密度がわかれば（ここまでは収量比数と同じですが）、電卓があれば簡単に計算できます。また、目標とする相対幹距比を決めれば、即座に目標とする本数密度を知ることができます。ただ、幹の太さや材積に関する概念は含まれていませんので、間伐によって同じ本数密度にしたとしても、間伐木のサイズによって間伐後の混み合い度は違ってきます。相対幹距比を利用するときは、このことに注意を払う必要があります。

(3) 樹冠を指標とした間伐

ここで考えたいのは、「原点に帰って、生き物として林木を育てるという視点で、間伐をとらえ直す」ということです。林木の成長を支配するのは、その個体が持つ葉の量です。したがって、個体の着葉量（具体的には樹冠サイズ）を指標に間伐を考えるとすることは、生物学的な合理性を持ちます。そもそも、間伐は立木本数を調整して1本当たりの葉量を増やし成長を促すという面で樹冠管理技術ということができ、この点においても樹冠を基軸とした見方は合理的です。

樹冠の水平的な広がりをもとにした指標に、「樹冠疎密度」があります。これは、林冠の閉鎖具合から間伐の要不要を判断する指標になります。ただし、樹冠疎密度には森林の発達段階や本数密度などが考慮されていませんので、これをもって間伐の緊急度を判定することはできません。間伐の緊急度は、樹冠長率で判定するとよいでしょう。個々の林木の樹冠投影面積は林木のサイズに比例しますので、間伐による樹冠疎密度の低下幅は材積間伐率と比例します。間伐後の樹冠幅の拡張は、各林木の成長量により変わります。成長が旺盛な森林なら、高めの間伐率でも速やかに林冠が

再閉鎖しますが、成長量が小さい森林で高い間伐率で間伐を行うと、林冠はなかなか再閉鎖しません。具体的には、樹冠疎密度が0.8以上の森林で間伐率35%以内の間伐を行った場合、樹高成長量が年間30cm以上であれば、概ね5年後には樹冠疎密度が0.8以上に回復することが既往の研究データなどからわかっています。樹高成長量は地位級別樹高成長曲線（林齢－樹高－地位級の関係）から推定できますので、それに応じて、次回の間伐までの期間（林冠の再閉鎖に要する期間）を考えたしながら、適正な間伐率を知ることができます。

今後は人工林の高齢化に伴って、間伐技術は林分管理技術から個体管理技術へと移行していくと考えるといいでしょう。このとき必要となるのは、科学的根拠に基づいて林木とその集合体である森林の管理を考えるという視点です。

(4) 収穫予想表とシステム収穫表

人工林を育てるとき、林齢とともに本数密度や林分幹材積などがどのように変化するのがわかれば、森林経営を行う上で参考になります。こうした目的などのために、「林分収穫表」（「林分収穫予想表」と呼ばれることもあります；以下、「収穫表」とします）が各地域において、さまざまな樹種を対象に作成されています。収穫表には、林分当たりの平均値や総量が林齢ごとに示されています。それらは、標準的な管理をしたときの値、あるいはその地域にある森林の平均的な値です。

収穫表は、他に何も参照するものがない場合や、粗々でもいいから林分幹材積や収穫量の目安がほしいという場合には、威力を発揮します。また、市町村レベルや都道府県レベルで資源把握したり資源管理計画を立てるときにも、収穫表は役に立っています。なお、森林管理局や都道府県によって作成された収穫表の多くは、短伐期施業を指向していた時代に調整されたものでしたが、長伐期施業に対応するものを作成する取り組みも行われています。

ただ、現実林分の将来の収穫量を収穫表で正確に予測することはできません。それは、現実林分の現在の値が収穫表の値と一致しない場合が多く、スタートが違えばその後も違ってくるためと、間伐の頻度・強度・選木方法によってその後の姿や成長が変わるためです。この不都合を解消するために、「システム収穫表」がつくられました。システム収穫表は、現実林分の調査データを初期値として入力し、その森林（コンピューター上の仮想森林）がコンピューターの中で育つ様子をシミュレートするものです。仮想の間伐を行うことで、収穫や間伐後の成長を知ることができます。さらに、直径階別の本数分布が示されるので、どんな径級の木をどのくらい収穫できるかも予測することができます。このように、システム収穫表は、さまざまな間伐を試してみて、いつ・どんな間伐を行えばよいか、主伐をいつにすればよいかを計画するときの意思決定を支援してくれます。ただし、あまり遠い将来を予測するときは精度が低下しますので、注意が必要です。

6 間伐の留意点

(1) 間伐と気象害

間伐を行うと、林分構造が急に変化することで、風害（倒伏・折損・もめ）や冠雪害（倒伏・折損・湾曲）などの気象害を受ける危険性が高まることがあります。とくに、これまでの間伐が不十分な

人工林では、林木の形状比が高くなっており、また樹冠が上部だけに片寄ることで風心高（風を受けたときの重心の高さ）が高くなっているため、より気象害の危険性が高まります（後述）。

風害はどこでも発生する危険性があります。それに対して、冠雪害は発生しやすい地域が限定的（狭いということではありません）です。これらの被害は、形状比の高い林木が被害を受けやすい点が共通しています。したがって、形状比が高くなりすぎないように管理することで、これらの発生リスクを軽減させられます。このためには、適正な間伐による管理を普段から心がける必要があります。とくに長伐期施業を進めるときは、早い段階で形状比が低くなるように管理することが重要です。

(2) 伐倒・搬出による樹幹の損傷

間伐時の作業、とくに間伐木を搬出する作業の際、間伐木が保残木の幹に当たり、そこに傷が付くことがあります。間伐により林型を整えても、次回以降の収穫対象となる保残木の幹を傷付けてしまえば、間伐が林分の価値を下げる作業になってしまうので、十分留意して間伐を実行する必要があります。

7 間伐遅れ林分の取扱い

間伐が行われていない期間が長い、あるいは間伐が全く行われていない人工林（間伐遅れ林分）は、過密な状態が長く続いたために樹冠長率が小さく、形状比が高くなっています。そのため、風害・冠雪害を受ける危険性が高い状態にあります。その状態を解消するためには間伐が必要ですが、間伐後しばらくの間はその危険性がさらに高くなります。そのため、間伐遅れ林分では弱度の間伐をこまめに繰り返すのが適切であるとされています。しかし、これまで間伐が行われてこなかったことを考えると、こまめな間伐を繰り返していくことは現実的ではありません。また、樹冠長率が小さいということは、間伐後の樹冠の拡大（着葉量の増加）がそれほど期待できず、そのために幹の肥大成長の改善もあまり期待できないことを意味します。肥大成長が期待できないということは、形状比も改善されず、また、大径木化も難しいということです。

間伐遅れ林分では、これらのことを考慮してその取扱いを決めなければなりません。それには、将来的に樹冠の拡張が期待できるかどうか、すなわち間伐後に肥大成長がどのくらい期待できるかの判断が重要です。間伐遅れ林分は、その判断によって取扱い方法を決める必要があります。

(1) 将来の樹冠拡大が期待できる場合

間伐遅れ林分であっても、今後の樹高成長が期待できる林分（若い林分、さらには地位の高い林分）であれば、間伐による樹冠の拡大が期待できます（図2-9）。こうした林分では、気象害への耐性が高く、かつ先々の肥大成長が見込まれる個体、すなわち優勢木を育てるような間伐をします。そのためには、優勢木の樹冠の拡張を妨げる隣接個体を間伐する必要があります。こうした間伐は、上層木を間伐することになり間伐強度が高くなるため、ある程度の気象害のリスクは覚悟する必要があります。

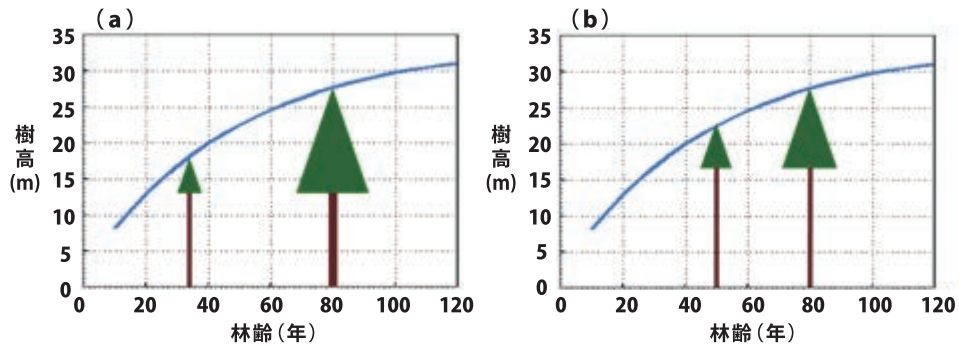


図2-9 間伐開始時期による将来の樹冠形の差異

図中の曲線は、ある地域のスギの樹高成長曲線。各図の左側の樹形シルエットは、樹冠長率25%である。右側の樹形シルエットは、間伐の繰り返しによって枝が枯れ上がらなかったとしたときのものである。35年生時の間伐(a)だと80年生時の樹冠長率は53%であるが、50年生時の間伐(b)だとそれが38%にしかない。

(2) 将来の樹冠拡大が期待できない場合

樹高成長曲線に示されているように、林木の樹高成長は林齢が高くなるにつれ徐々に低下します。このため、高齢になればなるほど、間伐後の樹冠長の拡大が望めなくなります(図2-9)。前述のとおり、こうした林分では間伐による形状比の改善や大径木化は期待できません。このような林分を長伐期化しようとしても、林木の肥大成長が期待できないまま、かつ、気象害の危険性が高い状態のまま長期間を過ごさせるだけの結果になってしまいます。

したがって、こうした林分では長伐期化を避けるのが賢明です。また、保育によって健全な林型に誘導するのが難しいと予想される場合は、皆伐して再造林するのも選択肢の1つです。

第4章

針葉樹人工林の収穫と更新

1 皆伐・択伐、間伐

(1) 主伐(皆伐)と伐期齢

主伐(皆伐)するとき、それをいつにするかという問題があります。伐期齢(標準伐期齢とは違います)が定められていれば、それがひとつの目安になりますが、民有林の多くは伐期齢を定めていません。各森林計画区にはそれぞれの標準伐期齢が示されていますが、実際の主伐時期はあくまでも経営判断において決定すべきです。すなわち、今現在で伐期(商品として林木を出荷できる状態)に到達しているのか、あるいは今後も据え置くことで木材の価値がどれだけ高くなるかを知り、経済的合理性の観点から、経営上いつ主伐するのが最適かを判断するということです。

このとき、据え置いた場合に見込まれる現存林分の今後の成長量は、システム収穫表などを利用して予測することができます。ただ、その結果のみを鵜呑みにするより、科学的な根拠をあわせ持つことでより良い判断が可能となります。

こうした科学的根拠となる一例を紹介します。図2-10は、明治32(1899)年に秋田県で植栽されたカラマツ林4林分のデータです。左は間伐木による収穫(後述)も含めた、総収穫材積の推移を表しています。右はそれに基づいて計算された、伐期平均成長量のグラフです。これを見ると伐期平均成長量は80年生ごろにピークに達し、その後はほぼ水平に推移しています。見方によっては、やや減衰傾向に入ったといえるかもしれませんが、ほとんど誤差の範囲内といえ、ha当たり毎年8~10m³の成長を継続していることがわかります。ここで、右の図中に示してある、収穫表に基づく伐期平均成長量に注目してください。このように、現在の収穫表に基づけば、カラマツ林の伐期齢は30年がベストということになっています。しかし、実際には80年生以降での主伐が、収穫

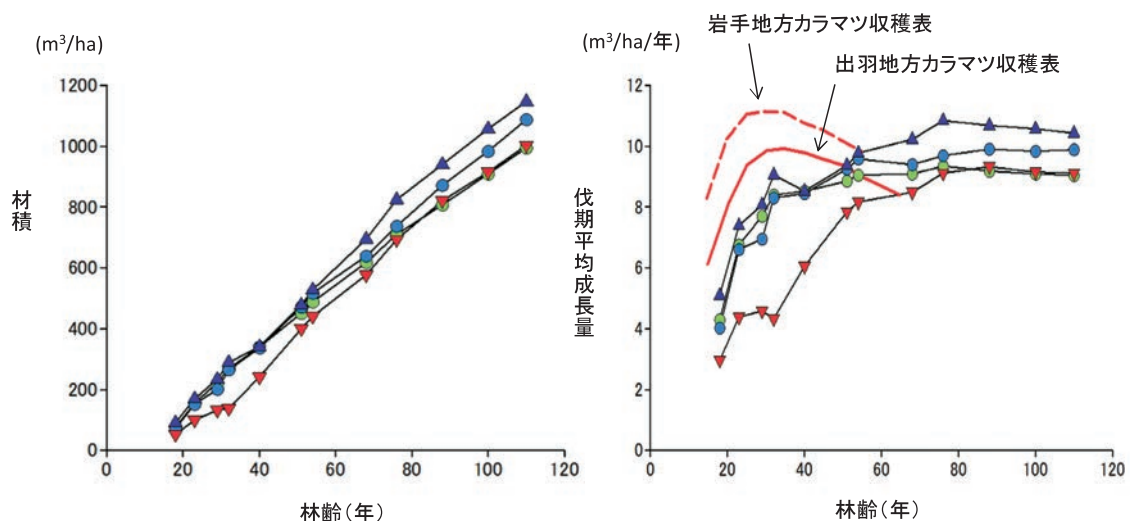


図2-10 秋田県に植栽されている110年生カラマツ人工林の成長経過(左)と伐期総平均成長量(右)

森・大住(1991)に掲載されている図にデータを加えて作図

効率を最大にすることがわかります。このほかにも、日本の各地の高齢人工林で、現在の収穫表の予想よりも高い成長を示していることがわかってきています。

したがって、現行の森林計画書に示されている標準伐期齢当たりで主伐するのは、森林が持つ力を十分に引き出す前に収穫することになる可能性があります。森林が真に安定した成長を示すのは、おそらくは標準伐期齢よりも後の段階であると認識しておくといよいでしょう。

(2) 間伐による収穫

長伐期施業においては、主伐までに間伐による収穫をくり返すことで、断続的な収益を得ることを考える必要があります。ただし、収穫を考えるとしても、残存林分の成長の持続性を損なわないような伐採量にとどめる配慮は欠かせません。

例えば図2-10のカラマツ林でいえば、高齢級になってからの間伐による収穫量を年・ha当たり8～10m³以下にとどめておけば、主伐まで持続的に収穫をあげることが可能です。

また、初回間伐等においては、列状間伐の導入等による効率化が重要です。他方で、高齢林で間伐によって収穫を行う際にはいくつかの注意点が必要です。第一に、高齢の閉鎖林分では、それ相応に大きな木が互いに接するように成育しています。このような林分で、かかり木が発生しないように単木を伐採するには、高度な技術が要求されます。また、密な路網が整備されて森林作業道に接した林縁から間伐ができる状態にするなど、生産基盤の整備も必要でしょう。第二に、間伐の収穫では、「いい木」から選んで伐ってしまいがちです。その結果、肝心の主伐のときに価値のある木がほとんど残っていない、という事態も起こりえます。

したがって、長伐期施業を行う場合、目標林型を具体的に設定して間伐を計画的に実行していく必要があります。林業のトータルな技術力が求められ、技術者としての腕の見せ所といえます。

(3) 択伐による収穫

択伐は小班単位で一定の期間ごとに部分的に伐採を行い、木材を生産する方法です。この期間のことを回帰年といいます。この施業は、異齢状態になっている天然林で行われることが多く、ドイツのモミ・トウヒ・広葉樹混交林あるいは北海道の針広混交林などで採用されてきました。

択伐では、伐採後は前生稚樹の成長が促進されて後継樹となり、蓄積も回復し、森林の構造が一定に保たれ、持続的な生産が行われるようにしなければなりません。欧州のように、林床の草本層が貧弱で樹木の実生・稚樹が自然に定着しやすい環境では、択伐が容易かもしれません。しかし、日本のようにササや低木の多い環境では、稚樹が成長するよりも前に、ササや低木植生が発達・繁茂し、前生稚樹の成長・生残が阻害され、結果として森林資源が劣化する事例がみられます。

このようなことを背景に、日本では択伐林施業の是非をめぐって以前から論争がありました。現時点での共通認識としては、日本のように林床植生の豊かな森林では、天然更新による択伐林施業をあまり取り入れないほうがよい、ということに落ち着いてきています。択伐林施業の実例として岐阜県の今須林業がありますがここでは、天然更新の困難さを植栽で補ってきました。このように更新の現実性を担保することは、技術的には可能かもしれませんが、それはかなり集約的な施業になると理解する必要があります。

ここまでは、木材の収穫を主目的とする場合の話です。多面的機能の発揮を重視する場合には、択伐を施業のオプションに積極的に取り入れることが可能です。これについては「**4** 間伐、択伐、複層林の関係」の項で詳述します。なお、群状や帯状の伐採後に植栽する方法も択伐といえますが、これについても複層林の項で述べることにします。

2 更新

(1) 更新（再造林）を巡る現状と課題

我が国の森林資源は、戦後先人たちが造成した人工林を中心に本格的な利用期を迎えています。近年の国産材の供給量は増加傾向にあり、令和2（2020）年度の素材生産量は約3,100万m³と10年前のおよそ1.7倍となっています。特に主伐材の供給量が増えている一方で、造林面積は約3.4万ha程度に留まっています。このため、再造林の推進が大きな課題となっています。

再造林が進まない理由として、立木販売収入だけでは再造林の費用を賄えないこと、木材価格の低迷による林業経営への関心の低下等が挙げられます。このため、再造林を進めるに当たって、収入増と支出減をあわせて進める必要があり、後者については、植栽本数の縮減やエリートツリー等の活用等による下刈り回数の削減や伐採と造林の一貫作業等による再造林の低コスト化・省力化を図る必要があります。

(2) 更新方法の種類

主伐後の更新方法には、大きく分けて植栽（人工更新）と天然更新の2種類があります。植栽は、苗畑などで一定期間育てた苗を山に植える方法であり、天然更新は自然に落下した種子（天然下種）の発芽に由来する実生や切り株からの萌芽を育てて次世代の森林に仕立てることです。

また、苗は苗畑で裸苗を生産する方法が一般的ですが、近年はハウス内でコンテナ容器を使って育苗するコンテナ苗の導入が拡大しています。なお、苗の材料は、種子から育てる実生苗と切り枝を挿して苗とする挿し木苗の2種類があります。

(3) 更新方法の選択

針葉樹の木材生産を目的として更新を行う場合、基本的には、今のところ植栽以外の選択肢はないと考えておくのが無難です。それは、植栽による更新は収穫までの管理が容易であるのに対し、天然更新は、計画的な森林施業を行うにはあまりに不確定要素が多すぎる（詳しくは「**2** (6) 天然更新は難しい」で後述）からです。したがって、産業として計画的な生産活動を行うためには、植栽による更新が最も確実であるといえます。

一方、収穫を主目的とせず、多面的機能（土砂災害防止機能、水源涵養機能、文化機能、生物多様性保全機能など）が保たれる森林を目指すのであれば、天然更新も選択肢に含まれますが、これには注意が必要です（「**2** (6) 天然更新は難しい」で後述）。

(4) 樹種を選択

植栽する場合、一般的にはスギ・ヒノキ・カラマツ・トドマツなど、造林実績のある針葉樹から選ぶことになります。ただし、目的によっては広葉樹を植栽することもあります。植栽樹種を選択するときは、伐採前の人工林の成長実績（地位級）を踏まえることが重要です。また、伐採前の森林と異なる樹種を植栽するときには、土壌の水分条件等を踏まえ、適地適木にかなう選択かどうかを十分に吟味する必要があります。

また、早期の成林が期待される成長に優れたエリートツリー等（※）の苗木の活用も重要です。エリートツリー等は、成長が優れており、低密度植栽や下刈り期間の短縮等による造林コストの削減が期待されることから、こうした優良種苗の積極的な活用も検討する必要があります。

（※）エリートツリーとは、林木育種センターが70年以上かけて指定してきた精英樹同士を交配させ、優良なものを選抜した第二世代以降のものをいいます。そのうち、森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法（以下、「間伐等特措法」）に基づき指定された特定母樹に由来する苗木が特定苗木です。特定母樹は、間伐等特措法に基づき、同様の環境下の対照個体と比較して成長量がおおむね1.5倍以上、一般的なスギ・ヒノキと比較して剛性が平均以上で雄花着生性がおおむね半分以下等の基準を満たすものを、農林水産大臣が指定しています。

(5) 植栽密度

植栽密度については、古くは、奈良県吉野地方における酒樽等の生産を目的とした、7,000本/ha以上といった高密度植栽が行われた一方で、宮崎県飫肥地方における木造船向けの木材生産を目的として、750本/haといった低密度での植栽が行われるなど、地域によって様々でした。その後、拡大造林が進められる中、3,000本/haを基本とした施業体系が一般化していきました。

また、主伐時の本数が1,000本/haに満たない（50年生の場合）にもかかわらず、3,000本/ha程度で植えるのには4つの理由があります。

- 1) 植えた木がすべて生き残るとは限らない＝気象害等や誤伐のリスクがある。
- 2) 林冠を早く閉鎖させる＝下刈り・除伐・つる切りの手間を減らす。
- 3) 劣悪な木を淘汰して優良木を残す＝とくに実生苗には遺伝的な変異がある。
- 4) 樹幹の形状を整える＝枝下高を上げ、梢殺（うらごけ）を防ぎ、歩留まりを高める。

このように、良い材をなるべくたくさん生産するために、初期密度はある程度高くする必要があるのであります。しかし、通直・完満・無節等の役物需要が低下して並材の需要が高まっており、低密度の植栽も選択肢として考えられるようになってきています。

低密度植栽については、各地に設置された植栽試験地でのデータから、2,000本/ha程度の低密度植栽であっても材質に影響がないことや、1,500本/ha植栽であれば間伐が不要となること等が実証され、低密度植栽の推進に道筋がついたところです。

これらを踏まえ、政府は造林の低コスト化・省力化を推進するため、低密度植栽に対する森林整

備保全事業による支援を強化する等の予算措置を講じています。

(6) 天然更新は難しい

前述したように、日本において木材生産を目的に天然更新を行おうとする場合、そこには大きな障害があります。

第一に、スギやヒノキはきわめて天然更新しにくい樹種です。とくに生態系として成熟段階に達する前の40～50年生人工林では、生態学的にみても天然更新は考えにくく、自然の理に適っているとはいえません。

第二に、日本の森林はササや低木層が豊富であり、種子の芽生えから始まる実生ではこれらに太刀打ちできません。耐陰性の高いといわれている樹種でも、更新は難しいでしょう。とくに伐採後に、冷温帯林ではササ、暖温帯林ではススキが一度繁ってしまうと、その根絶は容易ではなく、天然更新はほぼ絶望的です。

第三に、種子生産には豊凶現象があります。例えばブナなどの場合、天然更新に十分な種子生産は、5～7年に一度しか起こりません。このため、ササやススキの刈り払いが行われたとしても、その年にブナの種子生産がなかったら更新が始まらず、翌年以降も刈り払いを続けなければ、次の豊作までの間にササや低木の繁茂が回復し、元の木阿弥となってしまいます。

第四に、天然更新は生えてくる樹種を選ぶことができません。有用広葉樹が更新すればよいですが、伐採後は往々にしてアカメガシワ・カラスザンショウ・ヌルデなどの、いわゆる短命な陽樹ばかりが生えてくるものです。ミズナラやウダイカンバが都合よく更新するとは限らず、むしろそういうことは稀です。

第五に、木材生産ではなく、多面的機能の発揮を目指した天然更新であれば、樹種は高木層を形成するものであればなんでもよいかもしれません。そのような天然更新作業は、主に針葉樹人工林に広葉樹を導入して多面的機能を生かすときに用いられるべきものと思います。しかし、針葉樹人工林、とくに40～50年前後の人工林は、芽生えの定着環境としては暗すぎ、100m、理想的には30～50mの範囲内に広葉樹がなければ更新に十分な種子が散布されず、さらに二代目造林地では埋土種子すら期待できません。要するに針葉樹、広葉樹を問わず天然更新が期待できる人工林は、非常に限られているのです。針葉樹人工林で天然更新が可能なのは、若齢時の一定の管理（強めの間伐など）によって広葉樹の稚樹がある程度定着している場合ですが、そのような人工林は稀です。あるいは若齢時に雪害によるギャップ形成、除伐の不徹底などによって広葉樹の稚樹が侵入した人工林も天然更新が可能ですが、これはそもそも期待すべきものではありません。

以上のように、日本における天然更新は、技術としての難しさがトップクラスです。天然更新というと、放置しておけば勝手に生えてくる広葉樹を活かすので低コスト、という印象があるかもしれませんが、それは希望的観測にすぎません。前生稚樹が豊富な林分ならばともかく、前生稚樹が少ない林分で上木の伐採後に天然更新を期待することは、ほとんど不可能です。

コラム

「植栽によらなければ適確な更新が困難な森林」と天然更新完了基準

林野庁は、伐採後に植栽が行われず、また天然更新もしないという状況を招かないよう、「天然更新完了基準書の手引き」(平成24年)の中で、植栽が行われるべき区域を確認できるよう、「植栽によらなければ適確な更新が困難な森林」の考え方を示しています。伐採後の天然更新は、母樹の存在など自然条件に左右され、不確実性が伴います。このため、確実な更新を図るために、天然更新を計画する前には現場で状況をよく判断して行うことを求めています。特に、大きな面積で人工林を皆伐し、天然更新を計画している場合には、確実に現地確認を行うことが必要です。

具体的には、伐採区域の態様、近隣の伐採跡地や若齢の造林地における更新樹種の生育状況、人工林の林床に生育する若齢木及び前生稚樹の有無、周囲の種子の供給源となる広葉樹林の有無(ほとんどの種子は母樹から30m以内に散布されます)などを現場で確認し、天然更新の実施の可否を判断することとしています。これらに加え、林床のササの被覆、シカの食害状況など、更新を阻害する要因に注意することが必要です。

3 複層林

木材生産と多面的機能の発揮を両立させるための目標林型として、複層林があげられます。複層林について注意していただきたいことは、生態学的に理にかなった複層林と、不合理な複層林があることです。

ある針葉樹の直下に同じ樹種の苗を植えた複層林をイメージしてください。下木が上木の直下に植えられているので、垂直的に層が作られています。また、下層と上層は同じ樹種です。しかし、垂直があれば水平があるはずですし、上下で樹種が異なってもよいでしょう。つまり、複層林には、大きく2(垂直・水平)×2(同種・異種)=計4通りの型がありえます。さらに、異齢か同齢かも含めれば、8通りになりますが、ここではよくみられる異齢の複層林に話を絞ります。

(1) 垂直—同種 (=問題点多し)

かつて、スギの下にスギを植えた複層林が多く造成されました(上・下の2層なので、二段林とよばれることもあります)。実は、この林型はほとんど自然界には存在しません。耐陰性が高いといわれるヒバもブナも、他種の樹冠の下か、あるいは林冠ギャップの下でなければ稚樹が定着しません。また、実務上も高度な伐倒技術が必要です。各地で上木の間伐・主伐時に下木が損傷されるという問題が多く発生しています。このように、このタイプの複層林は、生態学的にも実務上も多くの問題点が明らかになってきており、今後は、造成を避けるべきです。

(2) 垂直—異種 (=多面的機能発揮には有望)

アカマツやカラマツの下層に広葉樹が豊富に定着していることがあります。これらの樹種の一斉林の林床は比較的明るく、このような複層林が自然にできあがります。一方、スギやヒノキの人工

林の林床は暗いので、なかなかそうはなりません。ただし、80年生を超えるようなスギやヒノキの高齢林で間伐を行うと、ときとして林冠の隙間がなかなかふさがらず、林床に光が届いて広葉樹が定着し、複層林の状態に移行することがあります。

このように、伐期を伸ばし、間伐を行い、複層林に誘導して、多面的機能を発揮させることは可能です。ただし、上述したように予定どおりに広葉樹稚樹が定着するかどうかは条件次第であり、注意深く施業を行う必要があります。また、このときの広葉樹は、林内を生活の場とする低木性樹種が多く、後継樹となりうる高木性樹種が定着・成長するとは限りません。これは、あくまでも、階層構造の発達した森林という意味での複層林です。

(3) 水平—同種 (または異種) (=持続的な収穫には有望、しかしある程度は慎重に)

ブナの極相林は、ブナの老齢木からなるパッチ(区画)と若齢木からなるパッチ(区画)がモザイク状に組み合わさって成り立っています。このようなパッチを「相」とよびます。齢の異なる相を人工的に組み合わせた林分も、複層林の一種です(複相林や面的複層林と呼ばれることもあります)。群状択伐林や帯状択伐林もこれに含まれます。施業の具体例は、関東森林管理局の筑波山複層林試験地に設定されている長期育成循環林でみることができます(図2-11)。更新木の成長もよく、作業も比較的容易ですが、100年生区で間伐を行う際に林縁の木を外に向けて伐倒すると、隣接する20年生区の更新木を損傷してしまいます。二段林ほどではありませんが、やはり、慎重な取り扱いが必要です。

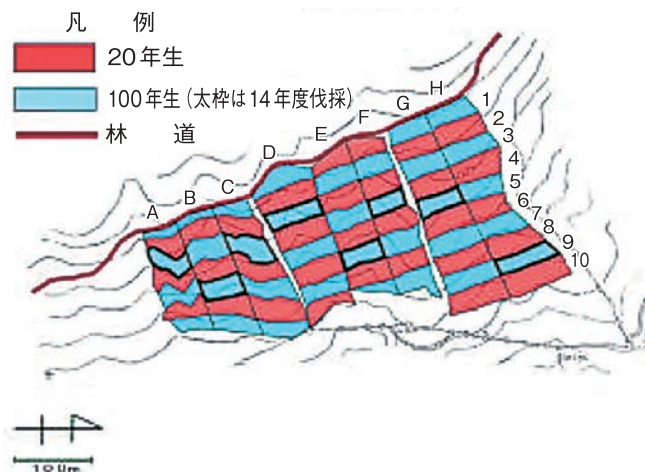


図2-11 関東森林管理局筑波山複層林試験地内で、長期育成循環施業へ誘導するための試験が行われている帯状保残区

(関東森林管理局のホームページより引用)

4 間伐、択伐、複層林の関係

高齢級林分で間伐を行い、林冠にギャップ(隙間)が生じたとしましょう。樹高成長が減衰している高齢林では、このようなギャップは時間が経過してもなかなかふさがらないことがあります。

このような場合、ギャップ下に苗を植栽して更新させることも可能です。また、ギャップ下に自然に定着した高木性広葉樹があれば、それをそのまま育成することができそうです。そうなれば、この高齢林は立派な複層林と言えます。また、更新（後付けですが）を伴う伐採が行われたという意味では、択伐作業が行われたということになります。

このように、人工林施業で伐期を長くすると、複層林の概念、間伐・択伐の概念が入り混じり、一見するとわかりにくく感じるかもしれません。しかし、あくまでも複層林は林型を指すものであり、択伐・間伐は更新の有無で分けるもので、それぞれ独立した概念であることに留意して下さい。

5 初期保育

更新後は、稚樹の成長・生残・質を確保するために、初期保育が必要となります。主な工程は、下刈り・つる切り・除伐です。

下刈りは、通常、植栽木が成長して雑草木による被圧がなくなるまでの期間（概ね5～7年）、複数回行われます。下刈りは、人件費がかかり、また炎天下での過酷な作業であることから、下刈り面積を減らす目的で坪刈りや筋刈りなどの方法も提案されています。また苗の成長が植生の回復速度と比べてそん色があれば、下刈りの回数を減らすことも可能です。

ツル植物が植栽木に巻き付いているのを見つけたら、即座に根元から切る必要があります。そして植栽から10年目ころには、目的樹種以外の樹木を伐り除く除伐が行われるのが普通です。しかし、除伐をどこまで実施するのかは、判断が容易ではありません。例えば、多雪地のスギ人工林などでは、植栽されたスギよりも、たまたま混交して除伐を免れたウダイカンバのほうが高価な材になるという事例もみられます。このように混交した広葉樹をすべて除伐するよりは、むしろ適当に残すことも考えてよいはずで、これは、除伐のコストを低減することにもつながり、また、生態系としての回復力を保全する効果もあります。

結局、初期保育をどこまで徹底的にやればよいのかという判断には正解がありません。現場の植物の繁茂状況、有用広葉樹の侵入状況、そして経営目的によって判断することになります。

6 植栽・保育の低コスト化

日本における人工林の施業では、植栽と保育に大きな費用がかかります。主伐後の再造林を進めるにあたり、植栽・保育にかかるコスト削減は喫緊の課題であり、現在、各地で低コスト化の取り組みが進められています。

例えば、大きめの苗を1,000本や1,500本という低密度で植栽し、植え付けや下刈りのコストを低減する取り組みが始められています。また、欧米で利用されているコンテナ苗（プラグ苗）は、少なくとも雪の少ない地方では季節を問わず植栽できるなどの利点があり、伐採工程と上手に組み合わせ、地ごしらえを省力化することで造林コストを低減できる可能性があることから、日本の気候風土にあわせた技術開発・実証が進められているところです。

第5章

広葉樹林施業

日本の森林面積の54%が天然林で、その84%が広葉樹林です。広葉樹林の多くは伐採後に成立した二次林で、齢級分布(20齢級以上を除く)は13齢級をピークとする1山型の分布をしています(平成29(2017)年3月31日現在の森林資源の現況から類推)。これらの広葉樹林は、各種の公益的機能を発揮する森林としてだけでなく、木材生産林としても重要です。

また、とくに有用な樹種や資源の枯渇が懸念される樹種については、広葉樹の人工林施業も行われています。広葉樹の人工造林面積は全国で約32万haと針葉樹人工林の面積に比べるとわずかですが、近年の民有林では、ヒノキの造林面積より広葉樹の造林面積のほうが多くなっています。

広葉樹林では、薪炭林施業とシイタケ原木林施業を除いては、多くの場合、将来を見通したきちんとした施業が確立されず、伐採利用された後は放置されてきました。そのため、伐採跡地がササ地になったり、木材生産の目的樹種となるような高木性樹種が更新しなかったりして、木材生産機能が低下することがあります。こうした林地は、いくつかの公益的機能の発揮も果たさなくなります。今後は、合自然性の原則・持続可能性の原則に則った適切な管理が、広葉樹林にも求められます。そのためには、広葉樹林においても目標林型を定め、施業の必要性を見極め、必要な場合には適切な施業を実施することが必要です。

1 広葉樹林の目標林型

現在、施業されている広葉樹林では、その施業目的を達成する姿が目標林型になります。しかし、ほとんどの広葉樹林は、目的が与えられずにそこに存在し、その中で一定の機能を発揮しています。こうした広葉樹林に目標林型を設定することで、今後の取り扱い方針を明確にすることができ、資源の管理計画を立てることも可能になります。広葉樹林に対する目標林型の設定は、森林経営計画を策定するときには不可欠であり、市町村森林整備計画におけるゾーニングの際にも必要となります。

現存する広葉樹林に目標林型を設定するときは、2つの視点で考えます。1つは、森林の現況(樹種構成・林分構造・林木の形質など)からみて、どんな機能の発揮が可能かを判断するということです。この視点は、木材生産機能について検討する際、特に重要になります。もう1つは、その森林が位置する場所からみて、どんな機能の発揮を期待するかという視点です。これらの視点から、それぞれの広葉樹林に期待する機能を明確にし、それに応じて目標林型を設定します。

広葉樹林に木材生産機能を期待する場合、生産目標は製材用材(建築用材・家具用材など)・シイタケ原木・薪炭材・チップ用材のどれかになることが想定されます。生産目標が製材用材の場合、目標林型は、「成熟段階の広葉樹林で、市場価値の高い樹種であって幹が通直な大径木からなる森林」になります。シイタケ原木や薪炭材が生産目標の場合は、「クヌギ・ナラ類からなる若齢段階の森林で、胸高直径が8~14cmほどの森林」が目標林型になります。チップ用材が生産目標のときの目標林型は若齢段階の広葉樹林ですが、シイタケ原木林とは異なり樹種や胸高直径は重視しません。シイタケ原木林・薪炭林・チップ用材林の目標を若齢段階に設定するのは、伐出がしやすく、更新から伐採までの時間が短いことに加え、若齢段階で伐採すると萌芽による更新がしやすいために、更新の確実性が高く、コストも低く抑えられるからです。

公益的機能の発揮を目的とする広葉樹林の目標林型は、第2章に示したとおりです。

2 目標に応じた広葉樹二次林の管理

(1) 木材生産を目的とした場合の施業

製材用材を生産目標にした場合、除伐や間伐を適時的確に実施することで、目標林型への到達の確実性を高めたり、到達時間を早めたりすることができることがあります。

広葉樹林二次林の除伐は、目的樹種で幹の形質に優れた個体を主林木として育成するために、その生育を妨げる個体を除去する作業です。したがって、多くの個体が競争しながら盛んな樹高成長をする林分成立段階の終盤から若齢段階の初期に行うのが適当です。このとき、あまり本数を減らしすぎると、低い位置の枝が太くなって後々の利用に不利になることがありますので、注意が必要です。

間伐は、枝下高が5～7mほどになり、かつ、樹高成長の鈍化が始まっていない、若齢段階の後半から成熟段階の初期がその適期です。作業コストと間伐効果を考えると、間伐はできるだけ早い時期に行うのが効果的です。広葉樹林の間伐は、針葉樹林の間伐と比較して、より樹冠制御的な色彩が濃くなります。それは、広葉樹の樹冠が横方向に広がるため、着葉量を大きくするためには樹冠を広げるための大きな空間を確保しなければならないからです。したがって、広葉樹の間伐は上層木間伐になります。広葉樹の間伐での注意点は、後生枝の発生・発達を抑制するということです。間伐後に林内が明るくなると、枝下の幹に発生した後生枝が発達することがあり、それが木材利用上の欠点になります。そのため、間伐時には作業上の支障にならない限り中・下層木を伐らないようにします。

広葉樹二次林の除伐・間伐は、混み合いすぎて林床の表層土壌が流出するというような、健全な森林の成長を強く妨げる状況でなければどうしても行わなければならないという作業ではありません。従って作業を実施することによる効果を見込み、作業にかかるコストを試算し、作業実施の可否を判断することが重要です。

(2) 公益的機能の発揮を目的とした管理

保健・レクリエーション機能は、不用木などを除去することで高められる可能性があります。立木本数の調整や下層植生の刈り払いによる、林内景観の整備や林内活動空間の確保などがそれに当たります。こうしたことや(1)でも述べた表層土壌の保全以外では、公益的機能を発揮させるために広葉樹林に手をかける必要は、基本的にはないと考えられます。

3 収穫時期・収穫方法と更新方法

広葉樹林の収穫時期と収穫方法は、その後の更新方法を含めて決定する必要があります。

収穫時期は、基本的には利用適期になります。萌芽更新が可能な時期と利用適期が重なる場合には、その時期に収穫します。林齢が高くなると萌芽更新が期待できなくなるため、実生による天然

更新（天然下種更新）または植栽によって更新を図らなければなりません。もし、天然下種更新を期待するのであれば、種子生産の豊凶に配慮して収穫のタイミングを決定する必要性が生じます。その場合も、前生稚樹により更新させるのか後生稚樹に期待するかによっても、最適な収穫のタイミングが異なります。

収穫方法は、伐採搬出作業の生産性を考慮して決めることが重要です。しかし、皆伐作業か択伐作業かによって、天然下種更新の成功の度合いが変わったり、更新樹種が変わったりします。これは、伐採により生じる空間の大きさが異なると、種子を供給する母樹の種類や林床に届く光の量が変ることなどによります。

天然更新の不確実性は、種子生産の豊凶によるものだけではありません。地表面の状態や更新初期の競争、動物による捕食など、更新を阻害する要因は多岐にわたります。これらの阻害要因を除去するには、更新補助作業が有効です。更新補助作業には、種子の発芽や実生の定着のために行う、ササ類などの刈り払いや地表のかき起こし、稚樹の生残のために行う刈り出し（人工林施業における下刈りに相当する作業）などがあります。

植栽により更新させるときは、適地適木に配慮して、植栽樹種を選択する必要があります。広葉樹を選ぶ場合、ケヤキをはじめとして、水分が適当でなかったり生産力が高くない土壌条件だとガクンと成長が悪くなる樹種が多いことに注意しなければなりません。また、広葉樹の造林地では、下刈り作業で誤って植栽木も刈ってしまう誤伐がよく発生しますので、それに対する注意も必要です。

【引用文献】

- 藤森隆郎 (1997) 日本のあるべき森林像からみた「1千万ヘクタールの人工林」. 森林科学19:2-8.
藤森隆郎 (2003) 新たな森林管理. 428pp. 全国林業改良普及協会.
池田憲昭 (2010) 将来の木施業 (森林・林業再生プラン実践事業研修資料).
齋藤秀樹 (1989) 森林の葉量 (堤利夫編: 森林生態学, 166pp, 朝倉書店) 56-61.
渡邊定元 (1970) これからの林業経営に資する新聞伐法. 林業技術341:21-24.
渡邊定元 (2009) 中層間伐の繰り返しによる持続的人工林管理. 日本の森林を考える39:4-18.

第6章

森林保護

シカ等の野生鳥獣や松くい虫等の病虫害による森林被害、林野火災による森林の消失は、森林資源の損失にとどまらず、森林の公益的機能の低下、森林所有者の経営意欲の喪失等につながるものです。

このため、野生鳥獣や病虫害による森林の被害対策の総合的な実施、林野火災予防対策を推進していくことが重要となっています。

1 鳥獣被害対策

我が国では、かつて、ノネズミやノウサギの害が深刻でしたが、近年シカやクマなどの野生鳥獣が増加し、ノネズミの被害も依然深刻で、林業経営はこれらの対策なしには成り立たない状況となっています。地域における森林施業の方針づくりや将来構想にあたっては、各地域の野生鳥獣管理施策や農業被害対策も踏まえて、被害対策を計画することが重要となっています。

(1) シカの増加と森林被害

シカは日本の在来種であり、江戸時代には全国の農村で普通にみられる害獣でした。明治31年に出版された「吉野林業全書」には、「獣害は何れの地も之れなきはなし…鹿は芽を喰い又角もて幹の皮を剥ぎ…」とあり、苗木の防護や柵の設置などの必要性が記されています。しかし、東北地方で江戸時代に組織的で大規模な駆除が実施されたことや、明治期から大正期にかけて、毛皮の需要から密猟が盛んに行われたことなどで激減し、林業被害もみられなくなりました。

戦後は一転して保護・回復措置がとられ、若齢造林地の増加もシカの増加の一因とされているほか、最近(平成19年)まで続いたメスジカの保護措置や、狩猟人口の減少・高齢化の中で大幅に増加し、令和2(2020)年度現在、本州以南で約218万頭の生息が推定されています。

林業では、成長のあらゆる段階で被害が発生します。苗木は頂芽を含む枝葉が食害



図2-12 吉野林業全書(1898)

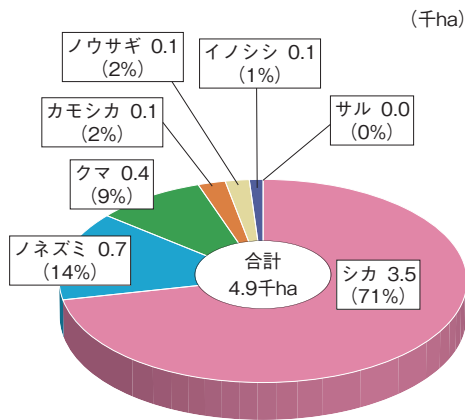


図2-13 全国の主要な野生鳥獣による森林被害面積(令和3年度)

資料：林野庁 研究指導課、業務課調べ
 注1：国有林(林野庁所管)、民有林の合計。
 2：森林及び苗畑の合計。

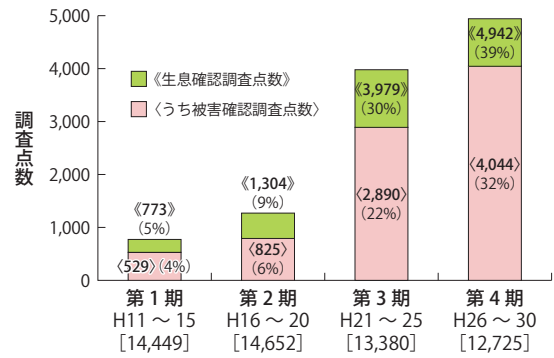


図2-14 シカによる森林被害の状況

出典：森林生態系多様性基礎調査
 注1：第3期、第4期は、第1期、第2期と調査方法が違うため比較できないことに留意。
 2：[] は総調査点数、() は総調査点数に対する割合。

【シカによる森林被害】



写真2-3 連続した枝葉の食害により盆栽状になったカラマツの植栽木
 植栽木への食害



写真2-4 スギ人工林におけるシカの剥皮害
 シカによる樹皮剥ぎ



写真2-5 天然林におけるシカの食害による下層植生の消失(一部表層崩壊)
 下層植生の衰退



写真2-6 風衝地(以前はチシマザサ等が植生)におけるシカの食害による裸地化
 食害による裸地化

をくり返し受け、成長が見込めなくなります。樹皮剥ぎは幹に腐朽菌が侵入し、商品価値を大きく低下させるほか、幹を一周すると樹木が枯死します。伐採跡地ではシカの餌資源となる下層植生が増えることから、シカの利用が集中する傾向があります。また、シカはほぼあらゆる植物を食べ、樹皮や落葉までも栄養源とするため、下層植生だけでなく落葉層まで消失し、土壌流出に至ります。森林の回復には長い時間を要するので、被害が次の世代にも受け継がれることになります。このため、シカの影響が深刻化する前の対策が重要です。

(2) 鳥獣被害対策を視野に入れた森林・林業

森林所有者（林業関係者）の間では、シカが多くて困る、減らしてくれという声が多く聞かれます。しかし、人間がタンパク源や皮革をシカに依存することが少なくなった今日では、シカが狩猟等で自然に減少することも期待できません。シカも生態系の一員であり、餌をあまり選ばないことから、天然林を確保すれば、人工林には出現しなくなるということも期待できません。このため林業側で植栽木を保護する必要があります。

シカは草本（イネ科）を好むため、伐採跡地などの開けた森林に多く出現します。また、広葉樹の萌芽や森林内の下層植生を好んで採食します。

シカの生息密度（生息頭数）が多くなるほど、柵や忌避剤等の対策のみでは植栽木を保護することは難しくなります。更に、立木の幹で角こすりや、餌が不足した時期などに樹皮を食害します。このため、柵やチューブ、忌避剤などの対策と生息密度を下げるための捕獲を同時に進めることが被害低減に有効です。

施業地に出現するシカを減らすためには、施業を行う森林や林道の周辺で捕獲を継続的に行うと効果があります。また、それを農業被害対策（農地周辺での捕獲、収穫放棄作物の撤去、隠れ家となる耕作放棄地等の環境整備等）と同時に行うと効果は高まります。一方、広域的にシカの数減らしていくためには、都道府県の策定する特定鳥獣管理計画の下で、環境省による指定管理鳥獣捕獲等事業、都道府県による個体数調整、市町村による被害防止計画等の実施を通じて捕獲を進めることとなっています。有害鳥獣捕獲を行うためには、林業関係者が市町村の有害捕獲関係の協議会等に参加するとともに、市町村の被害防止計画に林業被害を位置付けるといった取組が必要です。

表2-3 シカ捕獲対策

指定管理鳥獣捕獲等事業	都道府県	奥地山系など	都道府県等から委託された認定鳥獣捕獲等事業者が実施
生態系維持回復事業	環境省	国立公園	地方環境事務所から委託された者が実施
個体数調整	都道府県		都道府県から委託された者が実施
有害鳥獣捕獲	市町村	農村部など	林業被害対策を目的とすることも可 〔市町村の被害防止計画に林業被害を位置付け、 対策実施区域に森林を含めておくことが必要〕 市町村の鳥獣被害対策実施隊などが実施

平成28年5月の森林法改正により、市町村森林整備計画において、シカ等の野生鳥獣による森林の被害があるか又はそのおそれがある地域（鳥獣害防止森林区域）を定めることとされ、当該区域において森林経営計画に基づき人工植栽を計画する場合には、被害防止対策を経営計画に記載することが必須とされました。

地域の森林施業のあり方や、将来像を検討する際、シカの存在を織り込んでいく必要があります。シカの多い地域では、シカによる侵入、食害の圧力が高いため、防護を行ったとしても被害のリスクが高く、結果として施業コストが高くなることも考えられます。伐採跡地で集中的な捕獲を行い、シカの密度を下げた後から植栽を行うことも検討の価値があります。

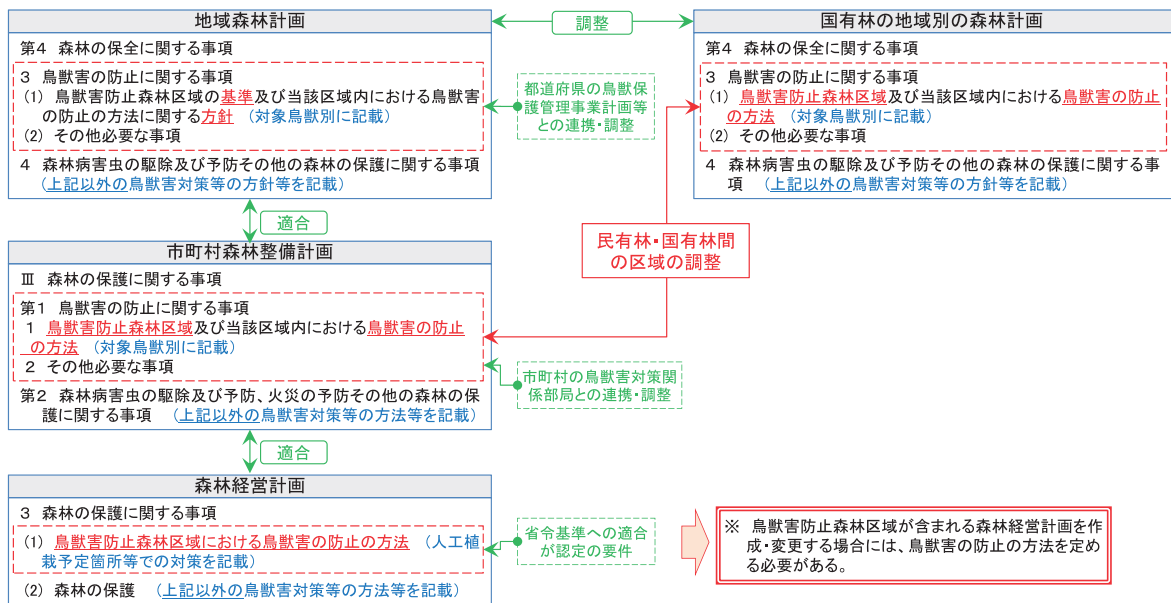


図2-15 鳥獣害防止に向けた森林計画制度

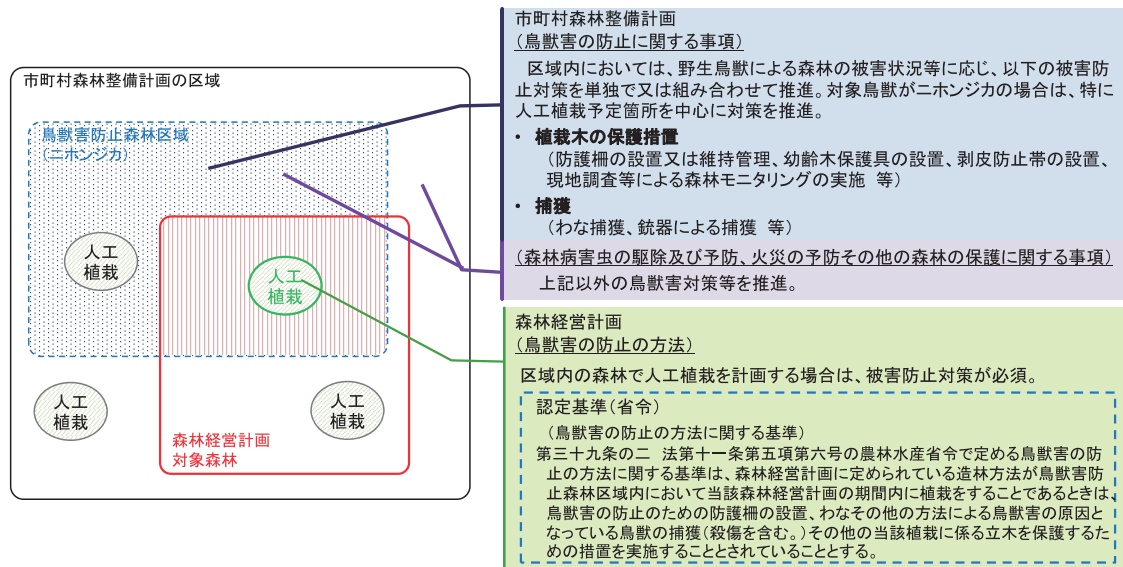


図2-16 鳥獣害防止森林区域

対策には、林業関係者の他にも地域の農業関係者、猟友会などと対話し、地域の被害や対策を知った上で、林業サイドでできることと、それ以外の者に協力を求めることを整理していくことが重要です。

(3) シカ被害対策の手法

シカ被害対策は、被害対象である樹木や下層植生を被害から保護すること（防護）、シカそのものを減らす捕獲、被害状況やシカの生息状況の確認（モニタリング）から成り立ちます。また、被害状況や生息状況を確認したうえで対策を計画、実行し、被害状況や生息状況への効果を検証することが重要です。

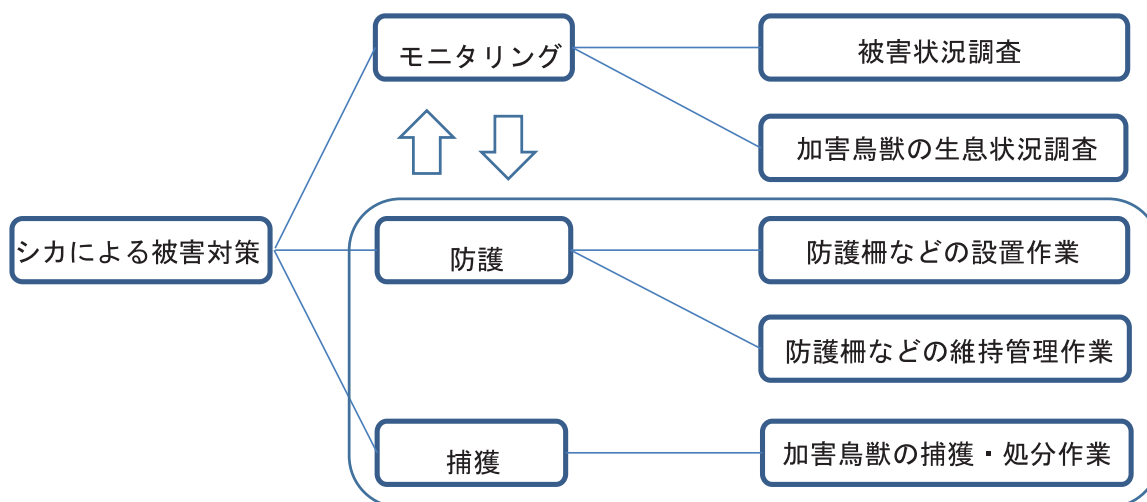


図2-17 被害対策の考え方

〈1〉モニタリング

シカ被害が発生した場合、まずは被害の程度と量（面積）を把握し、市町村などの関係者と協議して対策を検討します。また、可能ならばシカの生息調査も行うと以降の対策が立てやすくなります。特に地域全体で継続的に行う場合や農業対策と一緒にを行う場合は生息調査も重要です。被害や生息状況の調査方法を統一しておくこと、広域での被害状況も把握できます。

①被害状況調査

被害のある林分において、毎木調査によって被害を受けた植栽木の本数を調べます。林分当たり40本から50本の植栽木を調べ、被害率を計算している事例があります。樹皮剥ぎについては年輪を調べることで、被害が何年前から発生しているかを調べることができます。

②生息状況調査

生息の調査方法としては、シカの痕跡（糞、食痕、獣道、足跡など）の有無を確認する間接的な

方法と、夜間に強力なライトで林内を照射して観察したり（ライトセンサス）、センサーカメラを用いてシカの確認をしたりする直接的な方法があります。

【痕跡調査】

対象地域に踏査ルートなどを設け、糞や食痕などのシカの痕跡を確認します。登山道の両側数mの幅を調べている例もあり、また他の業務で森林内に入った際に確認する方法も行われています。



写真2-7 シカの糞



写真2-8 シカの食痕

【ライトセンサス】

対象地域の道路を夜間に車で走行しながら森林内を強力なライトで照射し、シカの眼からの反射により頭数を確認し、また、シカの発見位置や頭数から出没経路や行動を把握します。特別な技術を必要とせず、対策の効果検証や捕獲地域の選定などに活用できます。

【センサーカメラ調査】

対象地域内にメッシュを切り、各メッシュの任意の場所にセンサーカメラを1台ずつ設置し、定期的にデータを回収・チェックすることで、数か月間にわたり地域全体の生息状況を昼夜を問わず確認できます。動画も撮影できるため、柵やわなに対するシカの反応やクセも把握できます。



写真2-9 センサーカメラ



写真2-10 ライトセンサス

〈2〉防護

森林の被害対策には忌避剤の施用、単木防護、柵等による防護が基本になります。臭いや光、爆音などによる侵入防止は、シカの慣れ、学習のために効果が小さいとされています。

①設置作業

防護には忌避剤、単木防護、柵の設置（ゾーンディフェンス、パッチディフェンス）の3つの手法があります。

・忌避剤

忌避剤を幼齢木の枝葉及び幹へ噴霧器で散布、又は手ですり込みます。シカの密度が小さい場合は有効ですが、シカが多くなると効果は小さいとされています。また、散布後に伸びる新葉には効果はありません。

・単木防護

植栽木をポリエチレンチューブや樹脂製ネット、テープなどで囲い込み又は巻きつけ、シカの食害や角こすり、クマ剥ぎなどから保護する方法です。生分解素材製品のほか、枝条や金網を利用したものもあります。苗木をチューブで保護する場合は下刈り省略の効果もある一方、風や雪により倒壊しないよう設置場所に注意が必要です。



写真2-11 食害防止チューブ



写真2-12 成木保護テープ

・ゾーンディフェンス

新植造林地で、1～10ha程度の面積を囲う柵を設置する方法です。コストは比較的小さくなりますが、一旦柵内にシカが侵入すると被害が大きくなるため、次の注意が必要です。



写真2-13 人工林のゾーンディフェンス



写真2-14 金属柵のスカートネット

【柵の設置の留意点】

- 柵の高さはシカが跳び越えられない高さとする（2m程度）。傾斜の下に柵を設置するときは、斜面に面する側の柵を高くしたり、斜面から離したりしてシカの侵入を防ぐ。
- 柵の破損・変形の原因は、倒木・落枝、落石・流出土砂、イノシシやシカによる潜り込み・破壊である。このため、
 - ①隣の林分からの落枝や倒木で柵が破損しないよう柵の設置位置を考える。
 - ②網目の細かい金網は、リターなどが下部に溜まり支柱や金網がたわむ可能性がある。また、土砂や立木の流出の可能性の高い谷地形は設置を避ける。
 - ③台風・強風の後には見回りを行う。
 - ④シカやイノシシが柵をくぐって侵入できないよう柵の下部をペグやアンカーで固定したり、スカートネット（樹脂ネット・金属製）を柵の外側に向けて設置する。凹凸の多い微地形では支柱の間隔を短くしたり、ペグやアンカーの本数や打ち込み方向を変える。
- 中型肉食哺乳類が侵入しにくい柵の場合、ノウサギやノネズミによる食害が発生することがある。

・パッチディフェンス

一定の範囲内に小規模な柵を複数、パッチ状に設置し、植生を保護する方法です。狭い範囲ですが、複数設置することで、まとまりを持った植物群落を保護することができ、シカが狭い囲いへの侵入をためらう性質も利用しており、植物群落の保護、広葉樹林の復元などに対して効果が高い方法です。



写真2-15 森林内のパッチディフェンス



写真2-16 ササ原のパッチディフェンス

②維持管理作業

防護柵は定期的に見回る必要がありますが、ドローンで省力化を図ることができます。



写真2-17 ドローンによる防護柵の点検

【注意点】風倒木の影響が懸念される箇所に防護柵の欠損等がないか、シカの侵入がないか、シカが通り抜けられる穴が柵に空いていないか等について、ドローンにより概況の確認ができ、また、補修が必要な箇所を事前に確認することで、資材量等を把握することができます。(四国森林管理局)

〈3〉捕獲

シカの生息密度が高い場合は、防護だけでは被害を防ぎきれなくなる可能性が高まります。このため、捕獲にも取り組む必要が出てきます。

広大な森林に生息するシカを捕獲することは容易ではありません。一方、人工林内や周辺でシカを捕獲しつづけると、シカの出没頻度が下がったり、生息密度が低くなることが報告されています。

森林域では、都道府県の指定管理鳥獣捕獲等事業や個体数調整、森林管理署と市町村の協定等に基づく国有林野内の捕獲、環境省の生態系維持回復事業による国立公園内での捕獲などが行われています。これらの実施状況もみながら、人工林周辺での捕獲が必要かどうか判断します。また、農村部では市町村の鳥獣害防止計画に基づく鳥獣被害対策実施隊による捕獲が既に行われていることも多く、同計画の対象に林業被害を加え、被害のある人工林周辺での捕獲を実施してもらうことも有効です。

以上のような取組では十分ではないと考えられる場合、林業関係者による捕獲を検討する必要があります。捕獲を行う場合は、鳥獣保護管理法に基づく有害鳥獣捕獲を都道府県（又は市町村）に申請する必要があります。また、わなや銃器の使用にあたり狩猟免許が必要です。

①箱わな・囲いわな

餌付けにより対象動物を誘引して捕獲します。檻や柵などのしっかりした構造物の中に対象を閉じ込めるので、比較的安全に捕獲個体の処理ができます。



図2-18 箱わな

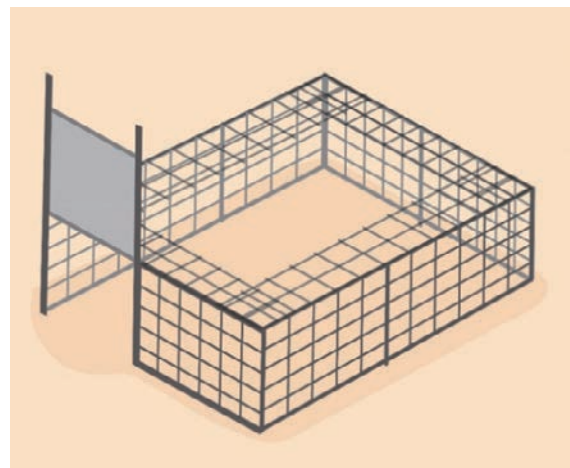


図2-19 囲いわな

【わな設置における留意点】

- 獲物が出てきやすい場所を直接観察（ライトセンサス）や痕跡（食痕、糞、足跡など）から把握。
- 土地占有者からの了解が得られ、安全確保のためにも、見通しが良く人の出入りが少ないところ（特に夜）で、毎日の見回りがしやすい場所に設置。
- わなを設置する前に餌だけを撒いてシカが来るか確認。設置後は、中の足跡や餌の食べ方により、わなへの進入を確認。

②くくりわな

獲物の移動ルート上にワイヤーなどを設置して、体の一部をくくって捕獲します。軽量で小さいため多く山中に仕掛けることができます。

ライトセンサスや聞き取り調査などで、獲物が多くかつわなの設置が可能な場所を調べ、更に山を歩いて設置場所を絞っていきます。例えば、10km²の範囲の中から捕獲適地を選ぶためには、ライトセンサス3回程度、ヒアリングや昼間の痕跡調査などを2人1組で行い、3日間6人日程度の作業が想定されます。特定された0.5km²程度の範囲の中で、設置場所を決めるのに半日程度、1つのわなの設置について30分程度の作業量が必要です。

【わな設置における留意点】

- 見回り時に捕獲が確認しやすく、人に対する危険の無いところで殺処分しやすいところ。
- 毎日、確実に設置場所を見回る。
- 必要に応じて、餌を併用する。

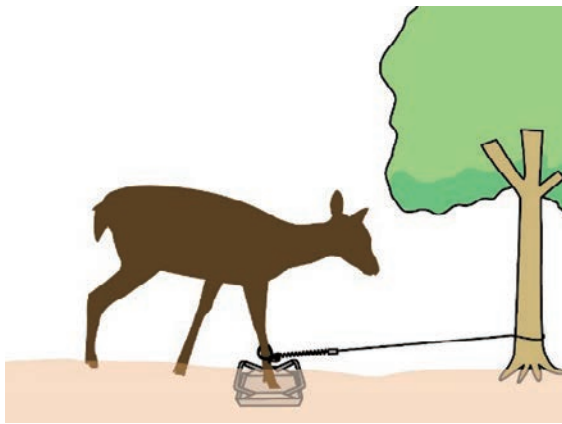


図2-20 くくりわなによる捕獲



写真2-18 くくりわなの設置地点

わなは、毎日確実に見回る必要があります。間が空くとわなを壊されたり逃亡の可能性があり、周囲の人にも危険です。見回りは労力を必要としますが、ICT技術で獲物がかかった時だけスマートフォンに通知したり、カメラの画像を送るシステムなどが開発されています。

シカは設置から2～3日で捕獲できることもあれば、1ヶ月もかかることもあります。例えば、兵庫県の捕獲実績を分析すると20日程度の誘引継続が目安になりますが、日数は、地域や季節、それまでの経緯によって大きく異なります。設置場所の選定や餌による誘引によって、捕獲の確率を高めることが重要です。

誘引の成功は、獲物にとっての餌の魅力と警戒心のバランスによります。餌の魅力は周辺の餌資源量や生息密度により変化し、警戒心にも強弱があります。

③捕獲個体の処分

わなにかかった個体の処分には危険が伴うため、必ず経験者（2人以上）の指導の下で行います。輪をかけて保定する道具（スネア）などで、首や角、鼻先などを保定し、刃物による放血、ハンマー

による頭部殴打、獲物の体（例えば頭部と胴体など）に電極を刺して通電などにより殺処分します。銃器も有効（空気銃でも十分）ですが、箱わなや囲いわなでは跳弾の危険があるため使用できません。

事業や許可の対象となっていない想定外の獣種が捕獲（錯誤捕獲）される可能性があり、このような場合にはすみやかに放獣を行います（子グマが捕獲された場合などは、非常に危険）。専門的な技術も必要となるため、どのように対応するのか予め関係者の間で取り決めておく必要があります。

④銃猟

銃による捕獲は、わなと比較すると、器物設置の必要が無く、自由に移動しながら捕獲を行えるなどの有利な点があります。

一方で、安全に射撃ができる場所でなければ、銃による捕獲はできません。原則的には夜間の捕獲はできませんし、道路（林道含む）や住宅の密集地などでも銃器を用いることはできません。また、基本的に射撃の技術や射程距離のなかに獲物を引きつける技術などが必要になり、安全管理に関しても高い水準が求められます。今までに痛ましい人身事故も数多く起きていることを考えると、銃による捕獲には厳しい制約があると考えべきでしょう。

銃器によって捕獲するには以下の3点が必須の条件になります。

- ・獲物を射程内にはっきり目視できる
- ・矢先の安全が確保できる（人がいない、背景が地面である）
- ・命中させる射撃技術がある

これらを満たしつつ、シカの獲り逃がしが警戒心の高いシカを生まないように、技量の高い射手をはじめとする役割分担により、計画的かつ効率的に捕獲を行うシャープシューティングなどの方法が開発されていますが、専門的な技術と知識を用いた戦略や体制が必要となります。

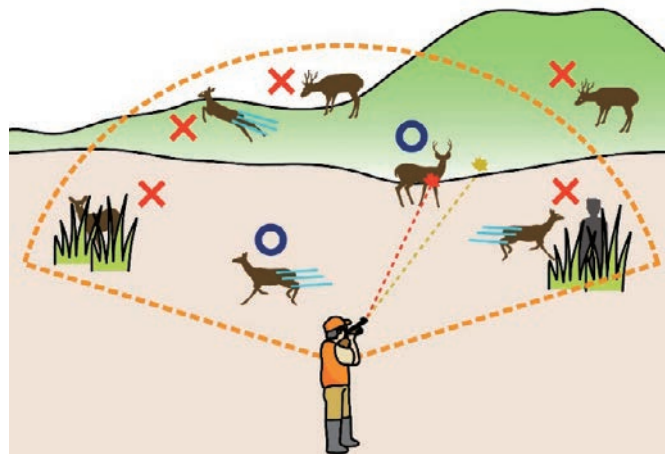


図2-21 銃による捕獲の条件

⑤捕獲事業の検証

捕獲事業を実施した後は、事前調査の結果と作業記録や捕獲成果を照らし合わせ、以下のことを検証することで、次の事業に向けての効率化や改善を図っていく必要があります。そのため、作業の従事者にあらかじめ指示した作業記録を、発注者が集計し分析することが重要です。

【検証における留意点】

- 当初の目論見や事前調査の着目点や仕様が適切であったか。
- 適切に作業計画を立案したか。
- 作業計画どおりに、所定の作業を適切に実施できたか。
- 安全面の配慮が十分にできていたか。
- 対象捕獲事業が、上位計画や広域計画の目的や方針にあっていたか。

また、これらの検討により、事業前の段階では明確な基準や根拠のなかった仕様や目標設定、作業条件、単価などを、次回から裏付けを持って示すことができるようになります。

【参考】

出典：鳥獣被害対策コーディネーター育成研修及び地域リーダー（森林）育成研修 講習テキスト

制作：(株)野生動物保護管理事務所

2 森林病虫害対策

(1) 森林病虫害等被害の概要

森林病虫害被害は、森林資源の損失や倒木、落枝等による人体・社会基盤への被害にとどまらず、森林の公益的機能の低下、森林所有者の経営意欲の喪失等につながるものです。我が国の森林における最近の森林病虫害被害量は表2-4のとおり松くい虫が最大、次いでカシノナガキクイムシとなっており森林病虫害被害量のほとんどを占めています。また、スギカミキリや松毛虫の被害もわずかではあるものの毎年発生しています。

表2-4 日本の森林における主な森林病虫害被害量

年 度		H29年度	H30年度	R元年度	R2年度	R3年度	
法定森林病虫害	せん孔虫類	松くい虫	39.9	35.2	30.2	29.8	25.9
		カシノナガキクイムシ	9.3	4.5	6.0	19.2	15.3
		スギカミキリ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		スギタマバエ	-	-	-	-	-
		ヒノキカワモグリガ	-	-	-	-	-
	松毛虫(マツカレハ)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	マツバノタマバエ	-	-	-	-	-	
	スギタマバエ	-	-	-	-	-	
	マイマイガ	-	-	-	-	-	
	スギハダニ	-	-	-	-	-	
	カラマツ先枯病	-	-	-	-	-	

単位:松くい虫及びカシノナガキクイムシは万㎡、それ以外は百ha

① 松くい虫被害

松くい虫被害は、マツノザイセンチュウという体長約1mmの外来の線虫が、在来種であるマツノマダラカミキリ等に運ばれマツ類の樹体内に侵入し枯死させるマツ材線虫病です。被害量は、昭和54(1979)年の243万㎡をピークに長期的に減少傾向で推移しており、令和3(2021)年度の被害量は約26万㎡でピーク時の9分の1程度まで減少しているものの、北海道を除く46都府県で被害が確認されており、依然として我が国最大の森林病虫害です。

松くい虫被害の発生メカニズムは、5～7月頃になると羽化したマツノマダラカミキリ成虫がマツノザイセンチュウを気管などにとどめたまま樹体内から脱出し、健全なマツに飛来して若枝の樹皮を摂食(後食と呼ばれることもあります。)します。このときに、成虫の体から離脱したマツノザイセンチュウは、成虫の摂食でできた傷口から樹体内に侵入することによりマツがマツノザイセンチュウに感染します。

感染したマツの樹体内では、異常な反応が生じて数週間のうちに樹脂を出すことができなくなり、やがて水分通導障害を起こし次第に衰弱して枯死に至ります。

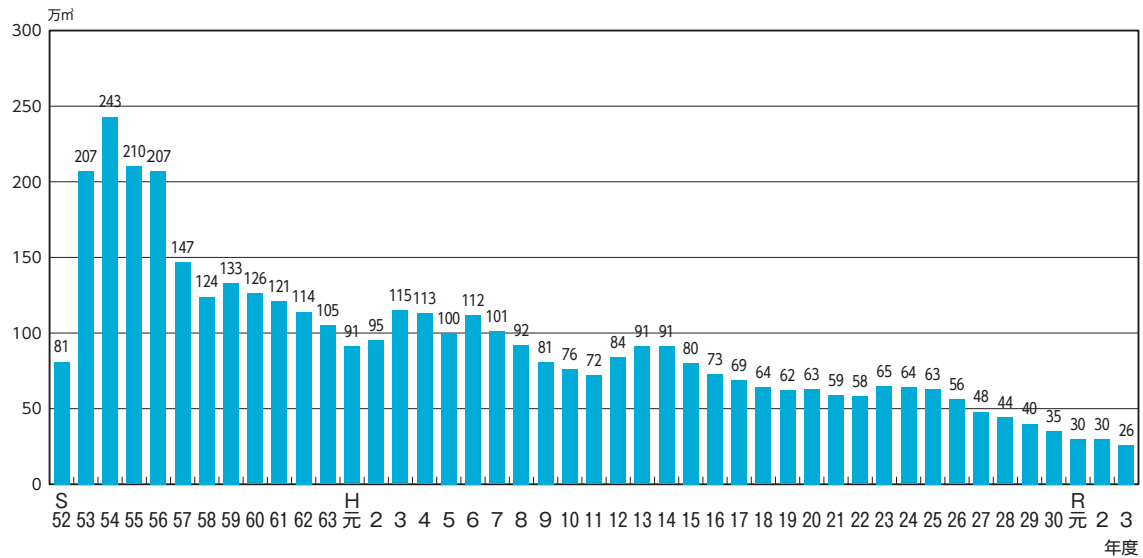


図2-22 全国の松くい虫被害量(被害材積)の推移

- 注1：民有林（林野庁所管以外の国有林を含む。）については、都道府県からの報告による。
 2：国有林（官行造林地を含む。）については、森林管理局からの報告による。
 3：少数点以下第一位を四捨五入した。
 4：四捨五入により、「都道府県別松くい虫被害量（被害材積）の推移（総数）」の合計値と一致しない場合がある。

マツノマダラカミキリ成虫は羽化脱出後、数週間摂食することで成熟し交尾・産卵が可能になります。マツノマダラカミキリ成虫のメスは産卵のため、夏から秋にかけて衰弱して樹脂の出なくなったマツを探しますが、マツノザイセンチュウに感染して衰弱したマツは、格好の産卵場所となります。

水分通導障害を起こしたマツの樹体内では、マツノザイセンチュウが増殖するとともに卵からふ化したマツノマダラカミキリ幼虫が内樹皮を食べて成長します。十分育った幼虫は、樹体内に坑道を作り蛹室を作って越冬します。この頃になるとマツノザイセンチュウは耐久型の分散型第3期幼虫がその多くを占めるようになり、マツノマダラカミキリ幼虫の排泄物に含まれる不飽和脂肪酸に誘引されて蛹室付近に集合・定着します。

蛹室内で越冬したマツノマダラカミキリ幼虫は、初夏が近づくとさなぎになり2週間ほどで成虫になります（羽化）。このタイミングに合わせて、蛹室付近に集まっていたマツノザイセンチュウ分散型第3期幼虫は、分散型第4期幼虫となり、マツノマダラカミキリ成虫の体に移っていきます。マツノマダラカミキリ成虫は体が硬化すると樹体に穴をあけて外界へと脱出します。

マツノザイセンチュウを体にとどめた状態で枯れ木から脱出したマツノマダラカミキリ成虫は、新たな健全木へと移動し周囲に被害を拡大させていきます。

- マツノザイセンチュウがマツの樹体内で活動し、水分通導障害を起こしてマツが衰弱・枯死。
- 衰弱・枯死したマツにマツノマダラカミキリが産卵。羽化した新成虫が線虫を体内に入れて別の健全なマツに移動し、その若枝を食べる際に線虫が侵入することで、周囲に被害が拡大。

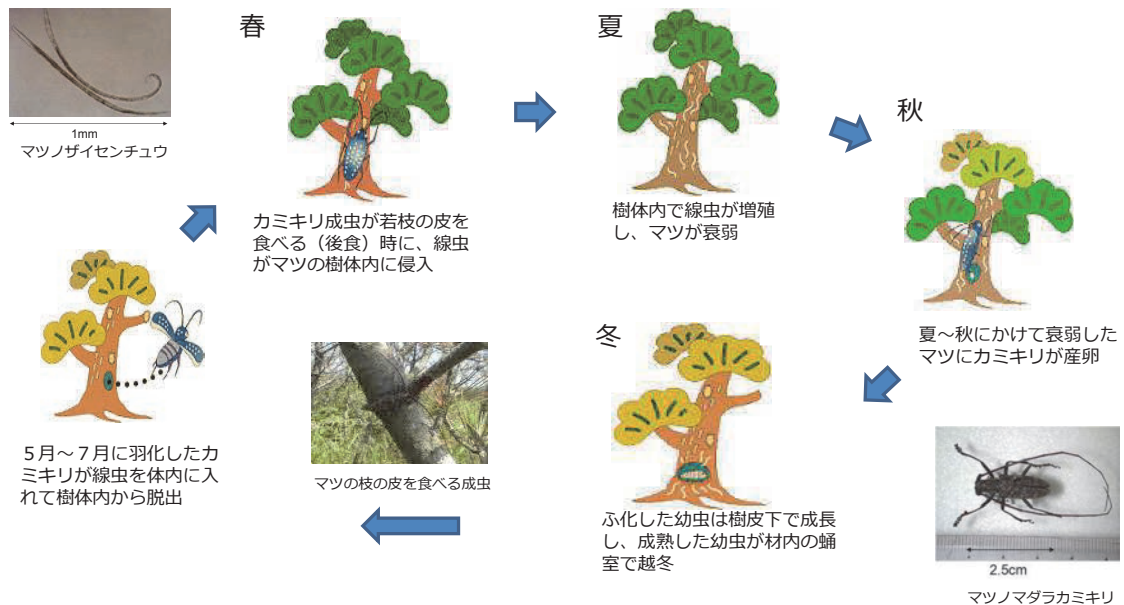


図2-23 松くい虫被害の発生メカニズム

注1：発生メカニズムについて、被害の発生時期などは地域の気候等によって異なるため、おおよその季節を記載している。
 2：「カミキリ」とは「マツノマダラカミキリ」を、「線虫」とは「マツノザイセンチュウ」のことをそれぞれ指す。

②ナラ枯れ被害

カシノナガキクイムシによる被害は「ナラ枯れ」と呼ばれ、病原菌「ナラ菌(学名: *Raffaelea quercivora*)」が体長5mm程度の甲虫であるカシノナガキクイムシによってナラ類やシイ・カシ類の樹体内に持ち込まれ樹木を枯死させるブナ科樹木萎凋(いちょう)病です。

令和4(2022)年度(速報値)のナラ枯れの被害量は令和3(2021)年度とほぼ同量の約15.6万㎡ですが、18都府県で被害量が増加するなど、依然として大きな被害が発生しており、41都府県で被害が確認されています。

カシノナガキクイムシは、菌の胞子を貯蔵する器官(菌のう)を持ち、病原菌であるナラ菌のほか餌となる菌(酵母類)の運搬を行い、坑道内で栽培し餌を確保する養菌性のクイムシで、6~8月頃になると羽化した成虫が菌のうにナラ菌をもったまま樹体内から脱出し、健全な樹木に飛来、集合フェロモンを発散し集中的に樹木内にせん入し産卵します。このときに樹体内に持ち込まれたナラ菌が坑道とその周辺にまん延し、菌の分布範囲で辺材が黒褐色に変色して水分通導が停止します。成虫のせん入数が少ない場合は、変色範囲が狭く通水の停止は部分的ですが、集中加害によりせん入数が多く活発な繁殖で坑道が密に形成されると、辺材が全面的に変色し通水は完全に停止し枯死に至ります。

坑道内の幼虫は酵母類を餌として成長し、越冬後に蛹化・羽化して新成虫となります。新成虫は菌のうにナラ菌をもって脱出し、新たな健全木にせん入することにより周囲に被害を拡大させていきます。

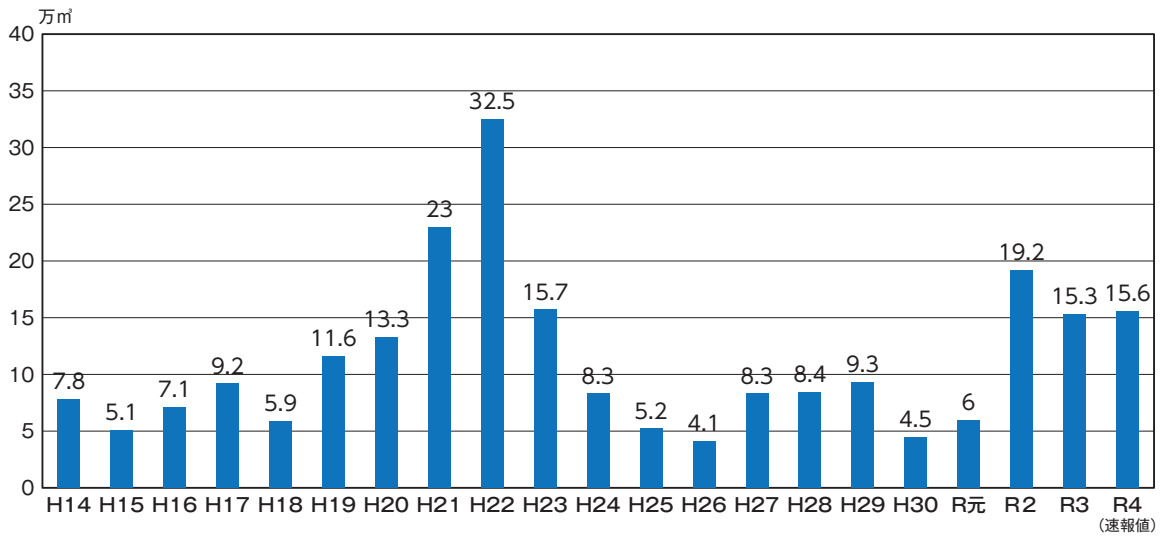


図2-24 全国のナラ枯れ被害量(被害材積)の推移

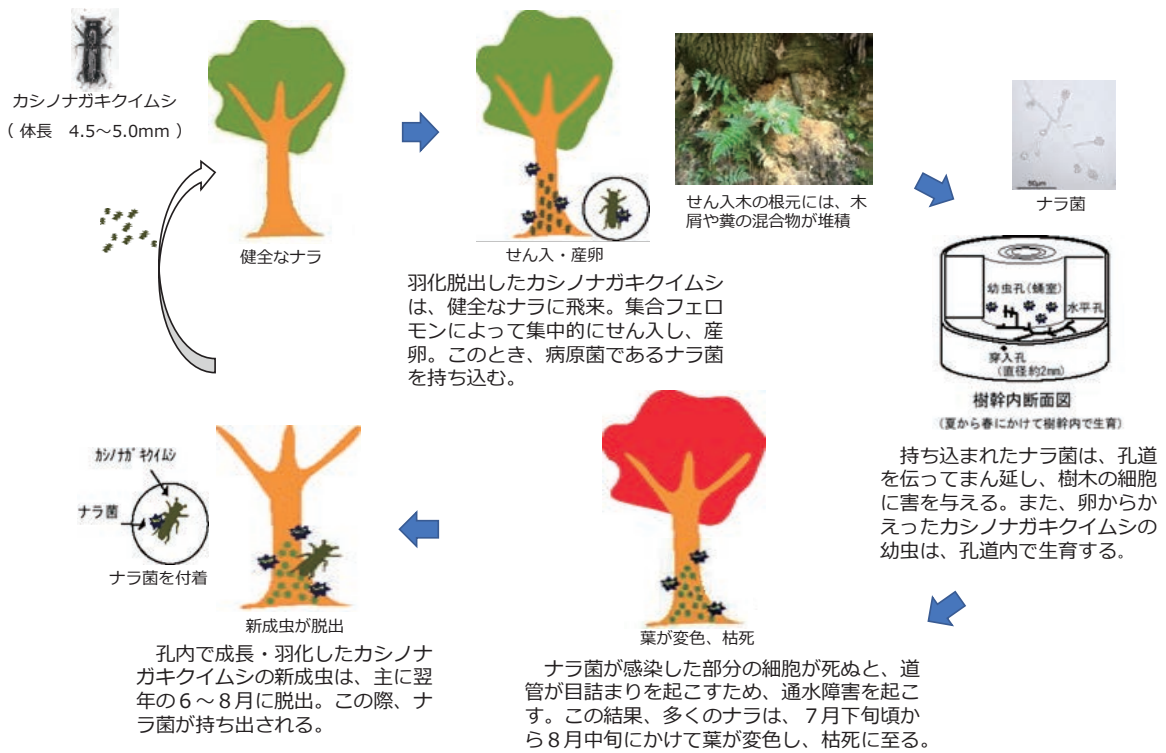


図2-25 ナラ枯れ被害の発生メカニズム

(2) 被害対策

こうした森林病虫害被害から森林を守るため、森林病虫害等防除法（昭和25年法律第53号。以下「法」という。）に基づき、松くい虫被害に対する徹底的かつ総合的な対策を実施するなど、各種の森林病虫害等について被害状況等に応じ、駆除及びまん延を防止するための諸対策が実施されています。

法で定める対象病虫害等は図2-26のとおりとなっており、法第2条第1項第1号において「松くい虫」が規定されています。松くい虫被害は、その被害地域の拡大と被害の甚大さから、法第7条の5において都道府県知事は、高度公益機能森林及び被害拡大防止森林を指定しなければならないとし、必要の限度において特別伐倒駆除及び補完伐倒駆除等の特別な措置を講ずることができることと規定しています。また、法第7条の6においては、高度公益機能森林を保護し、及びその有する機能を確保するために必要があると認めるときは、樹種転換促進指針を定めなければならないと規定しています。なお、松くい虫被害は、マツノザイセンチュウがマツノマダラカミキリを介して伝播する被害ですが、法においては、マツノザイセンチュウを運ぶマツノマダラカミキリ等に限定してこれを「松くい虫」と称しています。

法第2条第1項第2号に規定される「特定せん孔虫」については、松くい虫以外の森林病虫害等の中にも、被害地域の拡大等が起こり、特別な措置を講ずる必要性が生じる可能性があることから当該条項が規定されていますが、現時点において政令で定められているものではありません。

法第2条第1項第3号に規定されている病虫害等は、第1号及び第2号以外の一般的な防除措置で対応するものであり、現在政令で指定されているのは図2-26に記載された9種となっていますが、

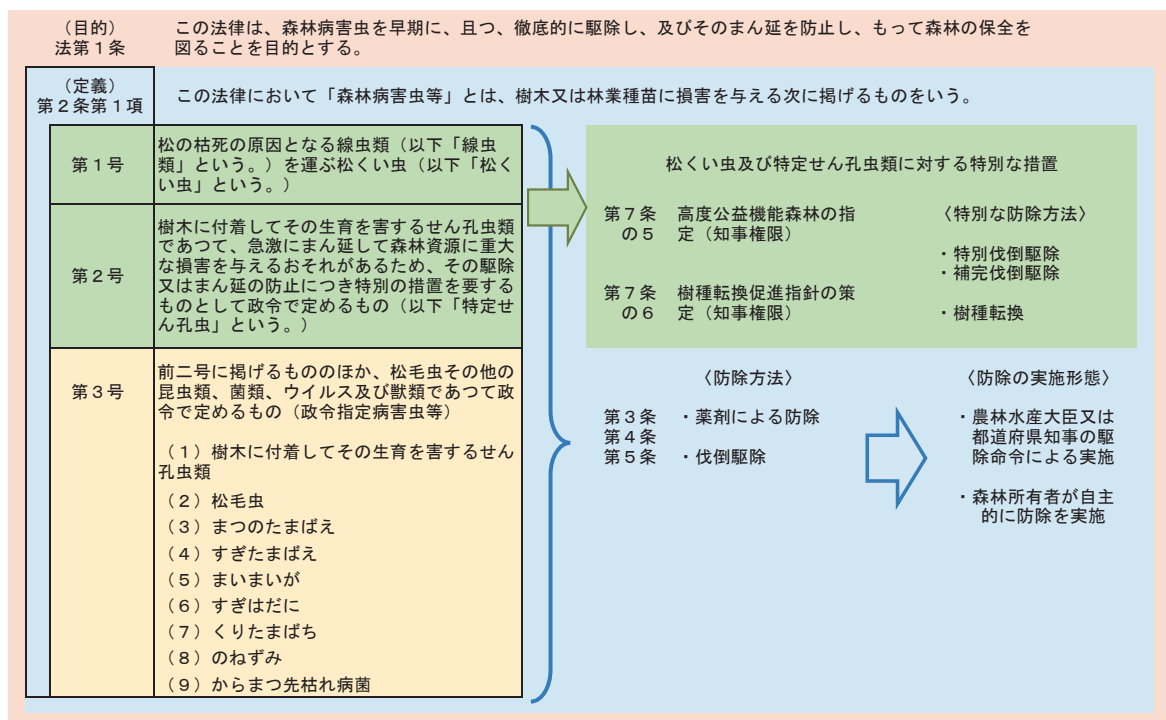


図2-26 森林病虫害等防除法における被害対策の概要

「樹木に付着してその生育を害するせん孔虫類」に該当するものは100種以上に及ぶと考えられています。

また、政令指定に当たっての勘案すべき内容は、

- 樹木の生長に著しい損害や経済価値の損失をもたらすもの。
- 被害量が公益的機能の確保等に影響のある相当水準に達し又は達することが予想されるもの。
- 県域を越えて被害拡大のおそれがあること。

となっています。

①松くい虫被害の防除

松くい虫被害の防除に当たっては、被害を未然に防ぐために行う薬剤散布や樹幹注入などの予防措置と、被害を受けた樹木が新たな被害の発生源となることを防ぐために行う駆除措置を適期に効率的に行うことが重要です。

また、松くい虫に対する特別な措置として、法第7条の5に基づき都道府県知事が、保安林や景勝地、せき悪地など、公益的機能が高く将来的に保全する必要がある森林を高度公益機能森林に指定するとともに、マツなどその樹種の森林としての機能を確保しつつ、高度公益機能森林への被害の拡大を防止する措置を実施することが適当な松林及びその周辺森林を被害拡大防止森林に森林審議会等を経て指定します。

市町村長は、法第7条の10の規定に基づく地区実施計画を踏まえて、マツなどその樹種の森林としての機能を確保しつつ、高度公益機能森林への被害の拡大を防止する措置を実施することが適当な松林及びその周辺森林を、地区保全森林、地区被害拡大防止森林として設定します。

松くい虫被害対策は、高度公益機能森林及び地区保全森林を保全すべき松林として、また、保全すべき松林に被害拡大防止森林及び地区被害拡大防止森林を含めて対策対象松林として重点的かつ総合的に対策を実施することとしています。

令和4(2022)年度の対策対象松林の面積は26.4万haであり、日本の松林は145万ha(平成29(2017)年時点)ですから、日本の松林全体の約2割が対策対象松林となっています。

松くい虫被害の防除方法のほとんどは、農林水産大臣や都道府県知事が命令できる措置として法律で規定されていますので、根拠条項と併せて表2-5に示します。

法第2条第6項に規定されている「特別伐倒駆除」は、被害木内の松くい虫を徹底的に駆除するため、伐倒木を破碎又は焼却するもので、破碎は木片の厚さが6ミリメートル以下となるよう森林病虫害等防除法施行規則(昭和25年農林省令第35号)で規定されています。

法第2条第7項に規定されている「樹種転換」は、抵抗性マツ又はマツ以外の樹種へ転換することにより、緩衝帯を作り、保全すべき松林へのカミキリムシの侵入を抑制する防除方法で、松くい虫被害を受けなくするばかりか、感染源を除去する意味でも有効な方法です。

法第3条第1項第1号で規定されている「伐倒駆除」は、被害木を伐倒した後、薬剤による防除及びはく皮並びに枝条等を焼却する防除方法です。

法第3条第1項第4号に規定されている「薬剤による防除」とは、被害を受けるおそれのある樹木を薬剤により防除する方法で、マツノザイセンチュウを伝播するカミキリムシを駆除する薬剤散布と、樹木に侵入してきたマツノザイセンチュウを殺傷する樹幹注入があります。

薬剤散布は更に航空機(一般的には有人ヘリコプター)を利用して空中から松林全体に薬剤を散

布する方法（特別防除）と、地上散布としてスパウターという機械や噴霧器、無人ヘリコプター等により薬剤を散布する方法があります。

有人ヘリにより薬剤散布する特別防除は、広い面積を効果的に散布できますが、ローターにより周辺に薬剤が飛散するドリフトの影響を考慮する必要があります。

林縁部などにおいては、無人ヘリや地上からの薬剤散布を行います。無人ヘリについては、空中から散布していますが、地上で操作するため林野庁の森林病虫害等被害対策では、地上散布と位置づけられており、有人ヘリに比ベドリフトの影響が少なく、また、地上からの散布では届かないマツの梢まで散布できるのがメリットです。

薬剤の樹幹注入は、薬剤散布ができない施設や農地周辺に生育しているマツや、都道府県や市町村指定樹木等特に守る必要があるマツに対して、健全なうちに薬剤を樹幹に注入することによって、侵入してきた線虫を殺傷する方法であり、薬効は通常6～7年程度です。樹幹注入は、健全なマツに対して行うものであり、既にセンチウが侵入してしまったマツには効果がないとされています。また、高齢木は、薬剤がうまく樹体内に回らず効果が薄くなる可能性があります。

法第3条第3項に規定されている「補完伐倒駆除」は、松くい虫が付着しているおそれのある枯死木を伐倒及び薬剤により防除する方法で、松くい虫以外の原因による枯死木も松くい虫が付着し、当該枯死木が感染源となり得る可能性があるため、被圧（ほかの樹木の日陰になることにより衰退、枯死してしまうこと）や気象害により枯死したマツを対象に行う防除方法です。

表2-5 松くい虫被害の防除方法

防除の方法		内 容	根拠法令
特別伐倒駆除		松くい虫等が付着している樹木の伐倒及び破砕又は当該樹木の伐倒及び焼却	法第2条第6項
樹種転換		特定森林を保護し、及びその有する機能を確保するために行う特定原因病虫害により被害が発生している特定森林の特定樹種以外の樹種又は特定原因病虫害により枯死するおそれのない特定樹種からなる森林への転換	法第2条第7項
伐倒駆除		森林病虫害等が付着している樹木の伐倒及び薬剤による防除又は当該樹木の伐倒及びはく皮並びに森林病虫害等及びその付着している枝条及び樹皮の焼却	法第3条第1項第1号
薬剤による防除		森林病虫害等の被害を受け、又は受けるおそれがある樹木の薬剤による防除	法第3条第1項第4号
薬剤散布	特別防除	森林病虫害等を駆除し、又はそのまん延を防止するため、航空機を利用して行う薬剤による防除	法第7条の2第2項
	地上散布	松くい虫が付着し、又は付着するおそれのある樹木について動力噴霧器・スプリンクラー・無人ヘリコプターを利用して行う薬剤の散布	—
樹幹注入		周辺の被害状況から予防措置が必要であり、特別防除又は地上散布による防除が適当でない松林等において侵入してきた線虫を殺傷するため行う健全な樹木の幹への薬剤の注入	—
補完伐倒駆除		松くい虫等が付着しているおそれのある枯死木の伐倒及び薬剤による防除	法第3条第3項

〔法〕：森林病虫害等防除法（昭和25年法律第53号）

②ナラ枯れ被害の防除

ナラ枯れ被害を媒介するカシノナガキクイムシは、マツノマダラカミキリとは違い一生のうちのほとんどを樹体内で生活するため薬剤散布による防除効果が望めません。そこで、ナラ枯れ被害対策の多くは、カシノナガキクイムシが被害木から脱出するタイミング又は健全な樹木にせん入するタイミングを狙った防除手法が行われています。

予防対策としては、健全な樹木にキクイムシがせん入するのを防ぐため、粘着剤を塗布したり、ビニールシートで被覆したりする方法がとられています。

また、松くい虫同様樹幹に薬剤を注入する方法もありますが、効果が2年と短く多くの本数を処理しなければならない森林では、費用対効果などをよく検討する必要があります。

駆除対策については、松くい虫同様伐倒して薬剤によるくん蒸処理を行うのが一般的であり、キクイムシが羽化・脱出する前に伐倒、玉切りし、薬剤が浸透しやすいよう切り込みを入れてから薬剤を散布し、シートで覆って殺虫する方法がとられています。

崖など急峻な地形のため伐倒が困難な場所では、伐倒せず立木のまま薬剤を注入しくん蒸する方法もあります。

そのほか、集合フェロモンを用いた大量集積型おとり丸太によりキクイムシを誘引して捕殺する方法や、ペットボトルやクリアファイルを用いたトラップによる捕殺方法も行われています。

広い森林内に拡大してしまったナラ枯れ被害を鎮圧することは非常に難しく、多くの経費と労力が必要となることから、どうしても守る必要がある森林については、被害が発生する前から監視を強化することがとても重要です。万が一被害が発生した場合は、被害の初期段階においてせん入木

○ ナラ枯れの防除に当たっては、特に守るべき樹木及びその周辺を中心に、被害木のくん蒸等による駆除、健全木への粘着剤の塗布やビニールシート被覆による侵入予防等を推進。

予防

○ 予防手法

- 健全木へのカシノナガキクイムシのせん入を防ぐため、粘着剤等の塗布またはビニールシートの被覆を実施（春）。
- 樹木を枯らすナラ菌や、餌となる酵母等を殺菌するため、殺菌剤の樹幹注入を実施（春～夏）。



粘着剤等を塗布
カシナガの付着を防止するためのビニール巻き



殺菌剤の樹幹注入

駆除

○ 駆除手法

- 被害木内のカシノナガキクイムシを駆除するため、羽化脱出前に薬剤によるくん蒸または焼却、破碎を実施（秋～春）。
- カシノナガキクイムシの誘引捕殺を実施（春～夏）。



材に刻み入れ



シートで被覆密閉

〔くん蒸とは〕

被害木を伐倒、玉切りした後、薬剤が容易に材の内部に浸透するよう材の表面に刻みを入れ集積し、全体をシートで被覆密閉しくん蒸剤（カーバム剤）で処理し、材内のカシノナガキクイムシを殺虫する。

図2-27 ナラ枯れ被害対策

のすべてを伐倒駆除するなどの対策を講じる必要があります。

また、太く高齢化した樹木が被害を受けやすいと言われており、こうした森林において伐採・更新による若返りや、被害を受けにくい樹種に転換することが有効なため、ナラ類等広葉樹の利用促進と合わせた有効な対策が待たれます。

(3) その他の病害虫 (外来カミキリムシ)

近年国内においてクビアカツヤカミキリ、ツヤハダゴマダラカミキリ、サビイロクワカミキリといった外来カミキリムシの生息が相次いで確認されています。外来生物が国内に侵入すると競争相手や天敵がないなどの理由から爆発的に被害が拡大するおそれもあることから、特に注意が必要です。

これらの害虫は、行政界や地目等に関係なく生息・移動するため、関係する行政機関や施設管理者等が情報を共有し、連携して対策を講じる必要があります。

①クビアカツヤカミキリ

クビアカツヤカミキリは、サクラやウメ、スモモなどバラ科の樹木にせん孔して被害を与える害虫として特定外来生物にも指定され、日本国内では、令和4(2022)年度までに茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、東京都、神奈川県、愛知県、三重県、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県の13都府県で被害が確認されています。

本虫は、脱出直後から交尾し産卵することができ、カミキリムシとしてはほかに類を見ない数の卵を産むことが知られています。未産卵のメスの卵巣内から470個もの卵が確認された事例もあり、飼育環境下では1,000個以上産卵したとの報告もあります。こうした繁殖力の強さが問題で、被害を撲滅できない原因の1つでもあります。

主な被害は、ウメやモモの果樹、街路樹のサクラとなっており、森林におけるヤマザクラ類の被害は今のところ確認されていませんが、日本の森林に比較的多く自生しているオヤマザクラなどでも幼虫の生育が可能であることが森林総合研究所等の調査で判明しています。



出典: 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

②ツヤハダゴマダラカミキリ

ツヤハダゴマダラカミキリは、海外では幅広い樹種の樹木に激甚な被害を及ぼすことから、国際自然保護連合 (ICUN) に「世界の侵略的外来種ワースト100」に選ばれています。日本では平成14 (2002) 年に神奈川県で局所的な侵入が確認されましたが、根絶に成功しています。しかし、令和2 (2020) 年に兵庫県で生息が確認されると、翌3 (2021) 年には全国各地で生息が確認され、令和4 (2022) 年度までに10県39市町で生息が確認されました。

本虫は、日本に昔からいるゴマダラカミキリとよく似た姿形をしています。全く別の生物です。見分けるポイントは、鞘翅(硬い羽)の付け根近くの小さなブツブツの有無で、在来のゴマダラカミキリはこのブツブツがたくさんありますが、外来のツヤハダゴマダラカミキリにはそれがなく、体全体に光沢があるのが特徴です。

また、在来のゴマダラカミキリは小楯版(硬い羽の付け根中央部)が白色軟毛に覆われ、前胸背に2つの白紋を持ちますが、個体によっては非常に薄い場合があることから、注意が必要です。



出典：国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

3 林野火災

(1) 林野火災の発生状況

林野火災の発生状況について過去5年間（平成29（2017）～令和3（2021）年）をみると、年間出火件数の平均が約1,300件、焼損面積の平均が約700haとなっています。林野火災が多発していた昭和40（1965）年から10年間の平均（約6,600件/年、12,000ha/年）と比べると近年は低水準で推移していますが、今でも年間1,000件を超える林野火災が発生しています。

林野火災の発生原因の多くは人為的なものであり、原因別出火件数（平成29～令和3年）をみると、「たき火」・「火入れ」・「放火（疑い含む）」・「たばこ」・「マッチ・ライター」・「火あそび」で全体の約6割を占めています（図2-28）。

また、例年3～5月の春先は林野火災の発生が多くなります。この時期は枯れた下草や落ち葉など燃えやすいものが林内に蓄積していることや、風が強く、乾燥状態が続くことに加え、山菜採りやレクリエーションで入山する人が多くなるといった要因が重なることが原因として挙げられます。

林野火災は、ひとたび発生すると、一気に被害が拡大する危険を有していることから、その未然防止が極めて重要です。

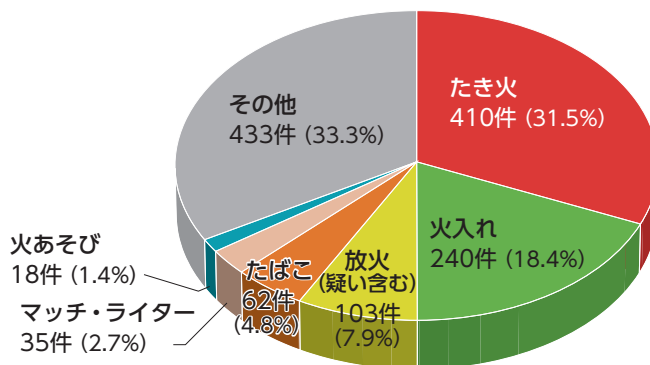


図2-28 原因別出火件数
(平成29～令和3年の平均)

資料：消防庁資料に基づき林野庁で作成

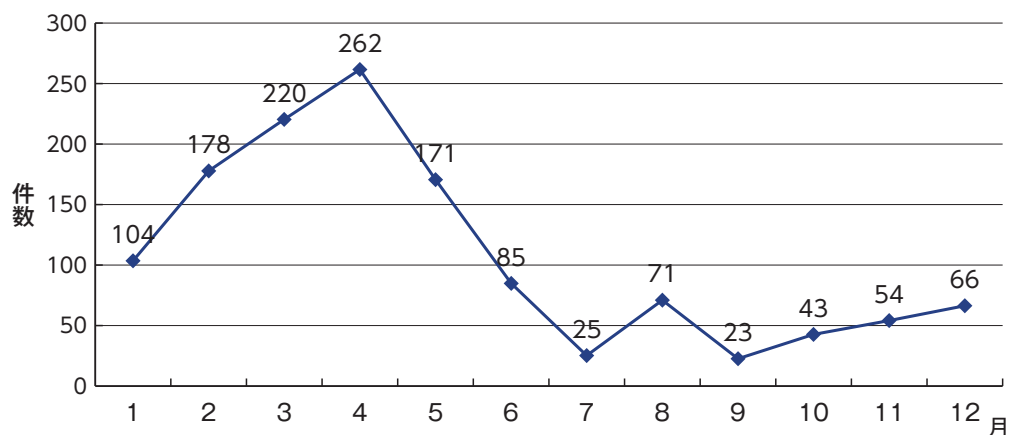


図2-29 月別林野火災発生件数(平成29～令和3年の平均)

資料：消防庁資料に基づいて林野庁で作成

(2) 林野火災発生時の対応

林野火災発生時には、各都道府県林務担当部局や森林管理局等から林野庁に対し、現場から得られた情報の報告があります。また、林野庁においても、一定の規模以上になった林野火災については、官邸等に報告することとしています。

比較的大規模な林野火災が発生した場合は、林野庁内に「林野火災情報連絡室」を設置し、情報の収集や共有等を行います。さらに林野火災が大規模化した際には、消防庁と情報共有しつつ、農林水産副大臣を本部長とする「林野火災対策本部」を設置し、応急対策や復旧対策等の林野庁として必要な検討を行います。

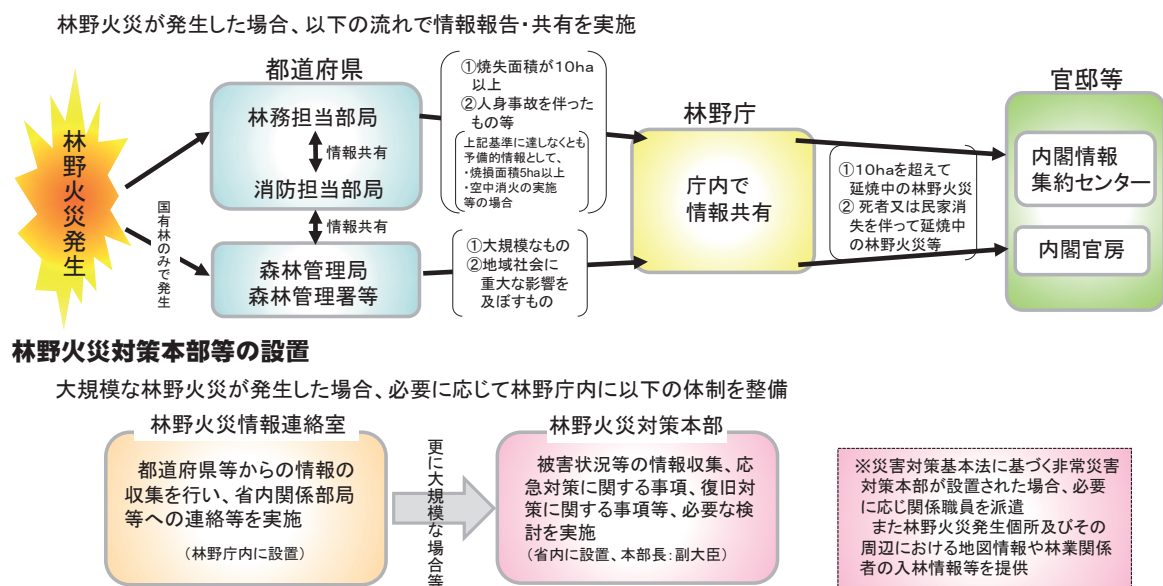


図2-30 林務関係部局における報告の流れ

資料：林野庁業務資料

(3) 林野火災跡地の復旧対策

林野火災で森林が焼損すると、経済的損失だけでなく、森林の土壌保全機能が低下し、降雨により表土が流出したり、土砂災害の危険性が高まったりするおそれがあります。

このため、林野庁では、必要に応じて林野火災跡地の復旧にも取り組んでおり、森林整備事業では、焼損した被害木の伐採、搬出やその後の造林について支援しています。

また、治山事業では、土砂流出を抑制する施設の設置や植栽等を併せて行うことで、荒廃した森林の早期復旧を図っています。