

持続可能な北方天然林管理をめざして —択伐施業林における施業管理技術—



独立行政法人 森林総合研究所北海道支所

はじめに

森林からの木材生産については、これまで量の継続的な確保に視点が置かれてきました。しかし、近年は持続可能な森林管理が求められており、木材の生産において生物多様性の保全など森林の質的な面への配慮が必要となっています。木材生産の方法としては、短い育成期間で、かつ、コストが抑えられる人工林施業の利点は大きいのですが、非皆伐で生物多様性など生態系を保全しつつ木材生産が可能な天然林施業は、質的な面をより確保できるという点で有効な施業方法といえます。また、エゾマツや広葉樹などは人工林での育成が難しいことから、多様な樹種の木材生産といった観点からも天然林施業は重要と考えられます。

ところで、施業とは計画立案に始まり、選木、伐倒集材、更新作業に至る一連のシステムですが、これまで天然林施業という伐ることに関心が置かれてきました。しかし、天然林施業の本質は天然更新施業であり、本来は更新の確保が最優先されるべきと考えられます。なぜなら、後継樹のない林分では木材の持続的生産は不可能だからです。現状の北海道内の天然林は質的量的に林分内容が低下していますが、更新を確保してこなかったことがその大きな原因の一つと考えられます。

この冊子はシステムである施業をイメージしつつ、更新の確保と生態系保全の重要な柱である枯死木に研究の重点を置いて進めてきた森林総合研究所内プロジェクトの成果を中心に、既往の知見も併せ持続可能な天然林管理をめざした択伐施業管理技術を紹介するものです。本冊子の内容が、人々にとって必要な資材である木材の供給と生態系の保全などを同時に達成させるという持続可能な森林管理の理念を実現するための一歩となり、現場での実際の施業実行に役立てば幸いです。

択伐について

－ 択伐と抜き伐り（選伐）－

択伐とは、森林の保護・更新および立木の保育を考慮しつつ、常に小径木から大径木にかけてなだらかに減少する胸高直径階本数分布、すなわち択伐林型を維持することを目標に、全林から単木もしくは群状に伐採対象木を選び、主伐・間伐の区別をせず回帰年と呼ばれる年数ごとに繰り返し伐採する方法です。ここでは、木材収獲が将来にわたって継続的に得られること（これを「保続」といいます）が大前提です。そして、このような条件を備えている森林を択伐林とよびます。一般に抜き伐り＝択伐として使用されていることがありますが、これは正しくありません。

択伐では、折れたり腐れが入っている被害木、葉量が減少するなど活力が低下している成長衰退木、目標としている胸高直径に達している木などを、保続を第一に考えつつ、対象森林の成長量の範囲内で選木します。ここで、択伐を行うにあたって重要なのは更新の確保です。なぜなら、更新によって後継樹を確保しないと永続的な木材収獲（保続）が不可能だからです。択伐は伐採方法の呼称ですが、更新の確保が必須の条件として含まれることを認識する必要があります。なお、本冊子中では択伐林を目指している段階の伐採方法も択伐とし、択伐から更新にいたる一連の作業を択伐施業としています。

目次

天然林材の利用

天然林材の流通・加工の動向と今後	1
------------------	---

天然林における枯死木

天然林における枯死木量とその形態	3
枯死木の供給と分解	5

択伐施業による生物への影響

枯死材性昆虫の多様性への影響	7
木材腐朽菌類（多孔菌類）の多様性への影響	9
樹洞営巣性鳥類への影響と立ち枯れ木の管理	11

択伐施業による植生への影響

択伐後の林床植生の変化	13
倒木更新の実態と択伐の影響	15

伐倒集材作業

伐倒集材作業による下層木の損傷とその影響	17
伐倒集材作業による下層木損傷の低減方法	19

更新補助作業

択伐後の地表での更新に影響する条件	21
大型機械による更新補助技術	23
植込みによる更新補助技術	25

天然林施業管理法

林分レベルの択伐施業林管理	27
計画レベルの択伐施業林管理	29

天然林材の流通・加工の動向と今後

天然林は我が国森林面積の53%を占める重要な資源です。その蓄積の74%は広葉樹であり、ナラ、ブナ、イタヤカエデなどの有用な樹種が多く存在します。広葉樹材の使われる用途は床、壁、階段、カウンターなどの建築内装のほか、家具、漆器木地、クラフト、楽器等があり、消費者にとって身近な木材であるといえます。そのため、単に強度や量だけでなく、木目、色や手触りなども評価の対象となり、その価格形成は分かりづらいものでした。針葉樹においても、エゾマツ、ヒバなど人工林からの供給が少ない樹種があり、地域の林産業や生活様式に独自性を生み出しました。特に北海道は、広大な天然林資源が輸出・移出産業としての木材加工業を育てたといえます。しかし、今日天然林材の供給が減少し、競合材との関係で需要も大きく変わっています。そこで資源育成の方向性を検討するために、木材の価値を具現化する媒体としての加工業の動向を調査しました。

大きく変わった広葉樹流通

北海道における広葉樹材の製材消費量は、2010年には1990年の9%に過ぎず大きく減少しました。この間、国・公有林は資源保護等により天然林の伐採を抑制しましたが、この減少を補ったのがロシア材でした。しかし、中国の木材消費が拡大したため、その輸入も減少しました。このため、それまで輸入材で床や集成材などの原板を挽いていた小規模工場は国産材に転換しましたが、少量分散的な国産材の供給では中規模以上の工場は原料の確保が難しいため、転換できずに休廃止する工場が相次ぎました。現在、広葉樹材については安価で安定的に供給出来る海外資源は見当たらない状態です。

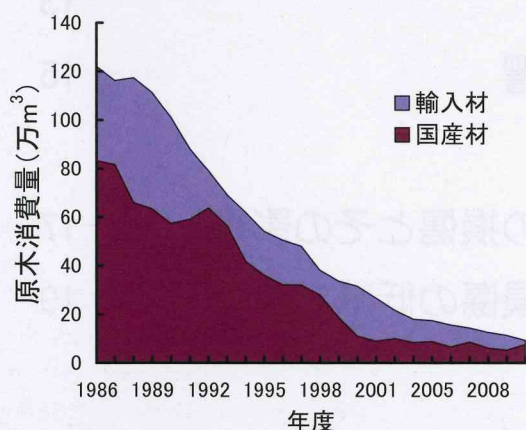


図1 製材における広葉樹素材の消費量(北海道)

資料：北海道木材需給報告書

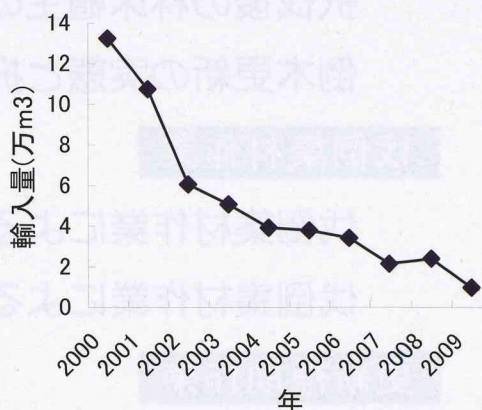


図2 ロシアからのナラ原木輸入の推移

資料：財務省貿易統計

供給縮小による木材価格への影響

供給の縮小が需要と価格にどのような影響を与えたのか、イタヤカエデを事例にみます。イタヤカエデの特徴としてピアノのアクションなどの部材として利用がありました。従来も国産材で不足する分はハードメイプルなどの輸入材が使われてきましたが、2007年秋、原料供給の不安定さからピアノメーカーの1社が普及品の部材を木材からプラスチックへ変更しました。その後もさらに原料が不足したため、他の1社も国内調達を大幅に縮小、需給は崩れイタヤカエデの価格は大きく低下しています。ある需要が確保されている時、供給の減少により価格は上昇しますが、その需要の要求する最低量を供給が下回るとその需要自体が失われ、他の需要が開発されるまで価格が混乱することが確認されました。



図3 楽器に使われるエゾマツ



図4 楽器に使われるイタヤカエデ



図5 エゾマツから作られた食器
柔らかい色味を生かした塗装がされる



図6 広葉樹から作られた家具
木材の使い方としては最も身近である

天然林材の社会への貢献

エゾマツはその木肌や特性が評価されており、楽器や経木等の利用は堅調です。経木は菓子折でも、地元を代表するお土産品となった生キャラメル包装材料として地域の観光や品質を重視する「もの作り」を支えています。こうした材を安定供給することは、我が国の森林管理技術を世界に示すことになります。

広葉樹については、民有林からの供給が増加する傾向がみられます。現在は薪炭二次林整備から生産されている段階なので若齢の細い木が主体ですが、これらは床、階段、カウンター、枠材に使われる集成材の原料となっています。これらの製品は一般住宅、集合住宅にかかわらず、内装として用いられるものであり、近年の我が国の住宅建築において無くてはならないものです。このように広葉樹天然林材が適正に利用されることによって、広葉樹資源の質的向上も図れます。

今日、中国からの木材製品の輸入が増加しています。中国の工場は設備投資を重ね大型化しており、少品種大量生産体制になりました。木材は加工しやすく寸法や形状を簡易に変更できる利点があります。少量多品種生産や個別対応の受注生産、流通在庫を抑制するためのオンデマンド生産といった面で国内での木材加工に対する期待はあり、様々な形質を持つ多様な国産天然林材原料を適正に使い分けることで、社会の多様なニーズへの貢献が可能です。

(天野智将)

天然林における枯死木量とその形態

天然林における枯死木

天然林における枯死木は、鳥類、昆虫等の生き物の生息や倒木更新など森林生態系において重要な役割を担っています。一方で、天然林における択伐施業では、立木を木材として利用するために、立木の品質が低下したり、衰弱、枯死する前に伐採し林外に持ち出すため、立ち枯れ木や倒木となって林内に残る枯死木は減少することが予想されます。ここでは、長期にわたって観察を続けた天然林試験地の調査結果を用いて、枯死木の発生量とその形態を択伐を行っている場合と行っていない場合で比較しました。

枯死木の発生状況

図1は択伐区と無択伐区が隣接している川湯試験地における長期観測結果から、55年間の枯死木発生量を択伐の有無で比較したものです。これをみると、無択伐区では期間により大きな変動があるものの、全期間をつうじて無択伐区の方が択伐区より枯死量が多く発生していることがわかります。川湯調査地の択伐区では10年おきに択伐が繰り返されており（図2）、大径木の枯死木はほとんど発生していません。一方、無択伐区では調査期間内に台風による風倒など大きな被害は受けていませんが、間断的に大径の枯死木が発生しています。なお、図1、2を見比べると、無択伐区においては枯死量が多いと林分材積が減少し、枯死量が少ないと林分材積が増加していることがわかります。これは成長量に大きな変動がないために枯死量の大きさが林分材積の変化に関与していることを示しており、択伐を行わない成熟した天然林（原生林）の林分材積の推移傾向の特徴です。

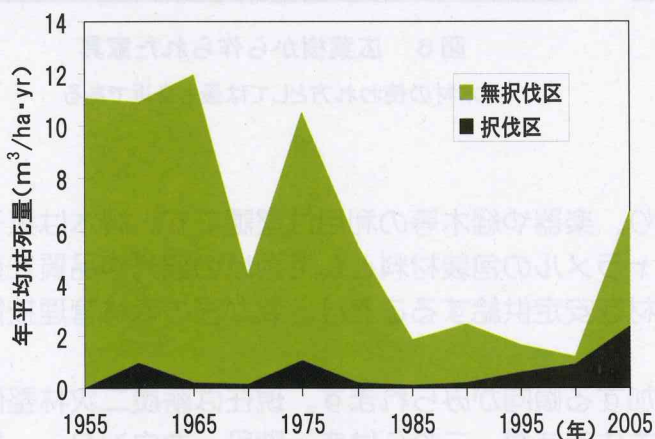


図1 枯死量の推移(川湯試験地)

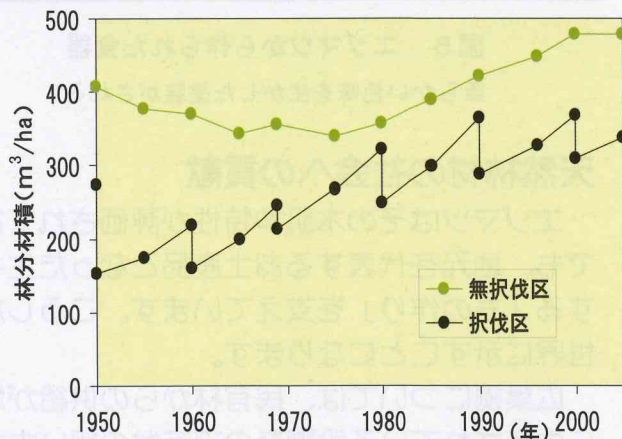


図2 林分材積の推移(川湯試験地)

図3は川湯試験地以外の択伐が行われていない原生林試験地7カ所と択伐施業林試験地3カ所について、約30年間の年平均の成長量、枯死量、収穫量を比べたものです。これをみると、原生林のほうが択伐施業林より枯損量が多く、また、原生林では成長量と枯死量がほぼ同じであるのに対して、択伐施業林は成長量が枯死量よりかなり多く、これに収穫量を加えるとさらに差が大きくなることがわかります。以上のように、択伐が行われていない天然林（原生林）では、択伐が行われている天然林（択伐施業林）に比べ、多量の枯死木が発生していることがわかります。

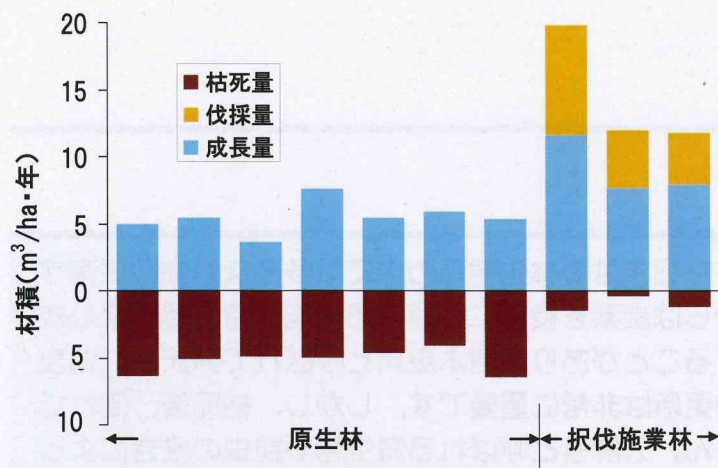


図3 成長量と枯死量の比較

表1 枯死木の形態

形態	原生林	択伐施業林
立ち枯れ	12.1	2.6 (0.1)
幹折れ	16.7	1.0 (0.3)
根元折れ	23.2	2.6 (0.4)
根返り	13.2	2.6 (0.3)
計	65.2	8.8 (1.1)

単位：本/ha

() は択伐林の枯死木のうち搬出されず林内に残っているもの

幹折れ：1～10m程度以下で折れているもの

根元折れ：1m程度以下で折れているもの

枯死木の形態

枯死木は立ち枯れ、幹折れ、根元折れ、根返りの形態に分けられ、その発生には樹齢（寿命）、立地条件、樹幹腐朽、強風など様々な要因が複合的に関与すると考えられます。表1は、前出の7カ所の原生林と3カ所の択伐施業林において発生した枯死木の形態ごとの本数を比較したものです。ここでは、約30年間に発生した胸高直径30cm以上の枯死木の形態（最終調査時）を示しました。これをみると、樹洞営巣性鳥類に重要とされる立ち枯れ木（幹折れ木も含む）でみると、原生林では平均してヘクタールあたり28.8本存在するのに対して、択伐施業林では3.6本しかないことがわかります。また、択伐施業林では枯死したばかりの木を択伐時に搬出利用することもあり、林内の枯死木はさらに減少してしまいます。そのため、生態系に配慮しつつ択伐施業を行っていくためには、枯死木をどのようにして確保するかが重要になります。



← 立ち枯れ

樹洞営巣性鳥類にとっては、特に重要な枯死形態です。枯死後、時間とともに幹折れ、根元折れに変化します。

幹折れ →

幹が折れた高さを1m～10m程度までと定義しました。鳥類などによる採餌跡がみられます。



← 根元折れ

幹が折れた高さを1m程度以下と定義しました。折れた部位の幹内部は腐朽している場合がほとんどです。

根返り →

ほとんどが強風によって単木、集団状に発生します。マウンドと呼ばれる根元部分も重要な更新サイトです。



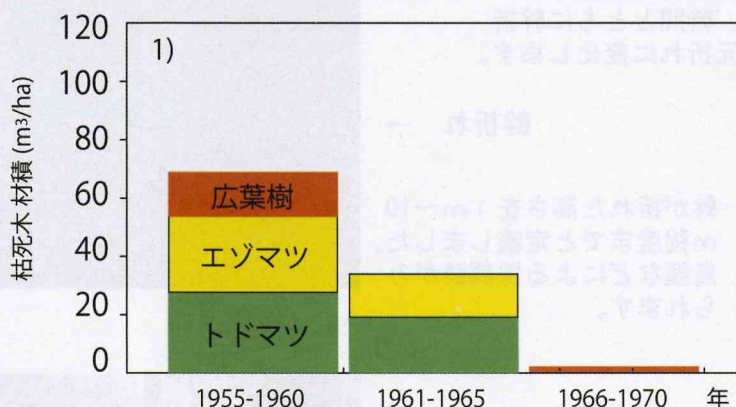
(石橋聡)

枯死木の供給と分解

森林には枯死木が多く存在しています。枯死木は森林生態系の中では多様な生物が生育する場として、そして、温暖化防止の観点からは炭素を長期に貯留する機能を持つ場となります。また、枯死木上で実生が発芽し成長することがあり、倒木更新と呼ばれています。地表面での更新が困難な場合には、倒木上での更新は非常に重要です。しかし、枯死後、倒れたばかりの倒木は実生の更新に適していません。分解者と呼ばれる微生物や昆虫の働きによって倒木の分解が進むことで、倒木は種子が発芽し成長できる環境へと変わっていきます。一方、倒木の分解がどのように進むのか、そして、倒木更新に適するまでには何年くらい要するのかは分かっていません。本研究では、幾寅試験地で枯死した年が分かっている枯死木を用いて、枯死木の発生と倒木の分解が進む様子を明らかにしました。

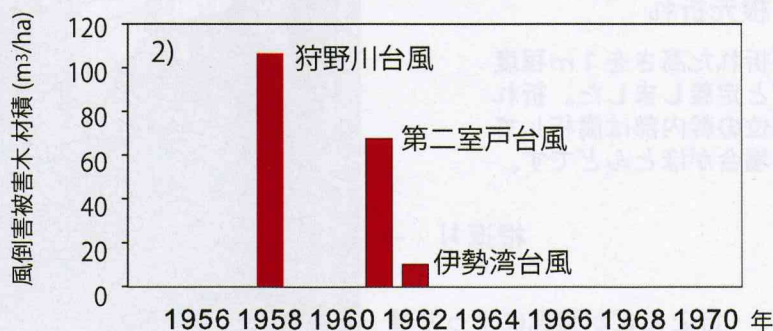
枯死木は風倒害によって発生

幾寅試験地に1955～2002年の47年間に供給された枯死木材積は256m³/haでした。このうち、初めの10年（1955～1965年）に供給された枯死木は、調査期間全体の枯死木の4割に相当します（図1）。そして、当時の旭川営林支局事業統計書に記載された幾寅地区の風水害による被害木量発生と幾寅試験地の枯死木の供給とを比較すると、そのパターンが一致していることが分かりました。さらに、この風水害をもたらしたのは狩野川台風（1958年）、第二室戸台風（1961年）、伊勢湾台風（1962年）であることが明らかとなりました。つまり、幾寅試験地では台風などの風倒害による枯死木供給量が大きかったことが分かりました。



1) 毎木調査から推定した幾寅試験地での枯死木供給量。

調査を開始後10年間に供給された枯死木量は、全調査期間の47年間に供給された枯死木の4割に相当します。



2) 幾寅地区で発生した風水害による被害木量。

被害木が生じた年と、北海道への台風の被害があった年とが一致しています。旭川営林支局事業統計書(1955-2002)参照

図1. 1955～1970年の枯死木供給量



① 22年経過



② 30年経過



③ 48年経過

写真 チェーンソーで倒木を切断し、切断面の様子を観察（樹種:エゾマツ）

① 枯死後22年経過した材は、外縁部が変色しはじめ、腐朽菌の侵入が観察される。

② 枯死後30年経過した材は、全体に腐朽菌が侵入して茶褐色に変色している。外縁部分は崩れやすくなっている。

③ 枯死後48年経過した材は、全体に崩れやすい状態。黄色線が切断面の縁の部分。下側は土壌中に埋もれている。切断面の上側が潰れて平らになっている。

枯死木の分解

枯死した年が判定できた倒木をチェーンソーで切断して、切断面から分解の様子を観察しました（写真）。枯死してから年数が経過するにつれて、材の変色が進み、木材の構造が脆くなっていく様子がわかります。はじめは丸い幹の形状を残していますが、分解の進行と共に幹の外側の部分から崩れ落ち、さらにリターや土壌に埋もれるようになって上側が平らになっています。また、写真の30年経過と48年経過の倒木には倒木更新が確認されました。

枯死木の分解の速さ

倒木の材密度比は、枯死後年数の経過と共に減少しました。このことは、分解の進行によって重量減少が生じていることを示しています。枯死後約30年で、重量ははじめの半分にまで減少しました（図2）。本州以南のスギやヒノキの場合は、およそこの半分の年数で重量が半分になったことが報告されています。つまり、幾寅試験地のように寒冷な気候下では枯死木の分解がゆっくり進むことを示しています。

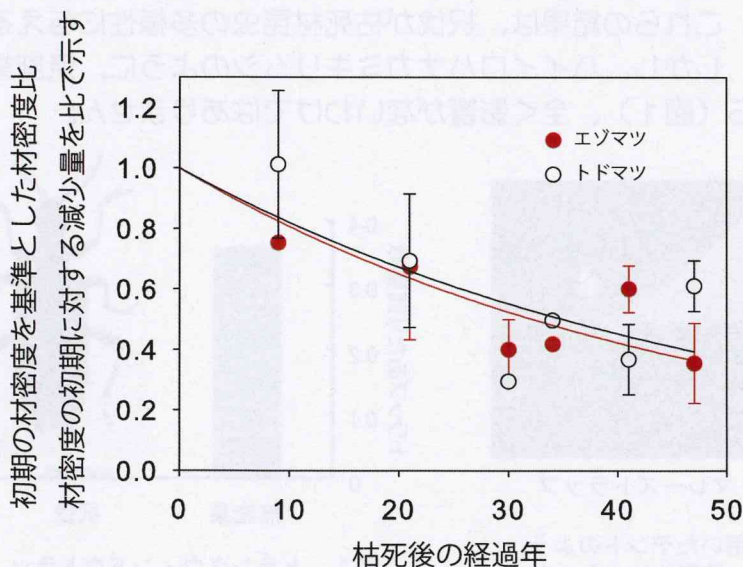


図2. エゾマツとトドマツの枯死後の経過年に伴う材密度比の変化

図中の近似曲線は、指数関数 $D = \exp(-kt)$
 D : 材密度比、 t : 枯死後の経過年数、 k : 分解定数であらわされます。

枯死後30年くらいで材密度比がだいたい0.5くらいになり、分解によって重量が半分になったことを示しています。

（酒井佳美、飯田滋生、石橋聡）

枯死材性昆虫の多様性への影響

択伐施業を繰り返すと森はどのように変化するのでしょうか。択伐施業林とこれに隣接あるいは近接する無施業林（原生林または原生に近い天然林）の間で毎木調査データを比較してみました。その結果、択伐施業林は無施業林よりも枯死材発生量が少なく、蓄積と胸高断面面積計も小さいことがわかりました（写真1）。また、胸高直径50cm以上の大径木の密度も低い傾向がありました。これらのことから、択伐施業林は無施業林よりも立ち枯れや倒木が少なく、幹の量と大径木が少ない森であることがわかります。このような違いが、枯死材を利用する昆虫の多様性にどのように影響するかを明らかにするため、トラップによる捕獲調査を行いました。



写真1. 無施業林（左）と択伐施業林（右）
択伐施業林は、無施業林よりも枯死材発生量、蓄積、胸高断面面積計、大径木密度が低い。

トラップによる捕獲調査

毎木調査が行われてきたいくつかの森林で、トランクウィンドウトラップ（写真2）とマレーズトラップ（写真3）による昆虫の捕獲調査を行いました。採集した昆虫のうち、カミキリムシ、ナガクチキムシ、枯死材性のハナアブの種同定を行いました。捕獲数、種数、多様度指数ともに択伐の影響はみられませんでした。また、群集構造にも明確な違いはありませんでした。枯死材発生量、蓄積、胸高断面面積計、大径木の密度と種数、多様度指数の間に関係も明確ではありませんでした。これらの結果は、択伐が枯死材昆虫の多様性に与える影響は小さいことを示唆しています。しかし、ハイイロハナカミキリムシのように、無施業林で多く捕獲される種もあることから（図1）、全く影響がないわけではありません。



写真2. トランクウィンドウトラップ

B5サイズの透明下敷きの下に小型バケツを取り付け、立ち枯れ木にくくりつけたもので、飛来昆虫を集めます。



写真3. マレーズトラップ

寒れ紗を用いたテントのようなもので、障害物に当たった虫が上方に移動する習性を利用して、虫を集めます。

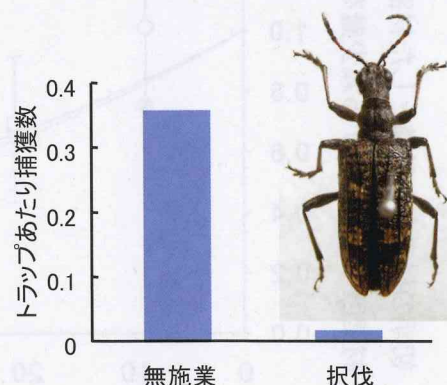


図1. トランクウィンドウトラップによるハイイロハナカミキリ平均捕獲数

エゾマツ丸太からの羽化昆虫調査

エゾマツの丸太を富良野市と南富良野町の択伐施業林と無施業林の林床と高さ80 cmに設置し（写真4）、翌年丸太から羽化した甲虫（カブトムシの仲間）数を比較しました。林床に丸太を設置した場合、ササの有無にかかわらず、択伐施業林と無施業林の間に羽化昆虫の違いはありませんでした。しかし、高さ80 cmに置いた場合は、択伐施業林の羽化昆虫数が明確に少なくなりました（図2）。高さ80 cmは、大径の倒木上面を想定した試験であることから、大径倒木上面樹皮下に生息する昆虫は、択伐の影響を強く受けることを示唆しています。丸太の含水率に択伐林と無施業林の間に違いがなく、羽化数は開空度と負の相関があったことから、丸太の乾燥よりも日当たりの違いが枯死材性昆虫に影響したと考えられます。



写真4. エゾマツ丸太設置の様子
林床（奥）と80 cm高（かごの上）
に5本ずつ設置しました。

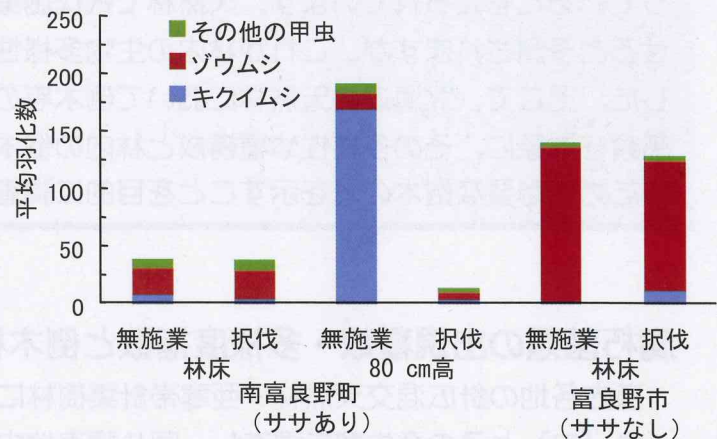
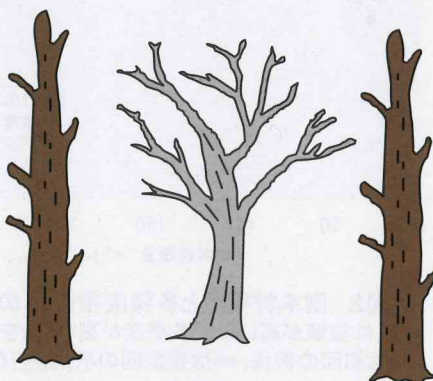


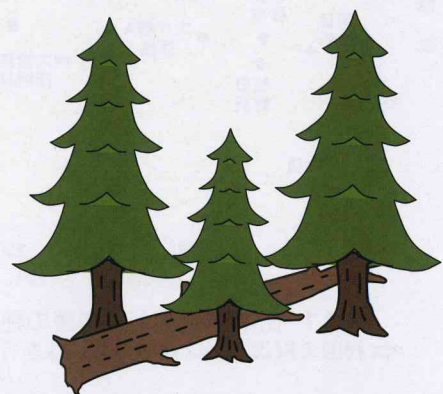
図2. エゾマツ丸太5本あたりの甲虫類の平均羽化数

枯死材性昆虫の多様性保全に向けた択伐施業とは？

まだまだデータが少ないので、断定的なことは言えませんが、今回の結果から予想される枯死材性昆虫の多様性保全について記します。択伐施業林と無施業林の間に枯死材性昆虫の多様性に明確な違いがなかったことから、現状の択伐施業では必ずしも保全の必要性はないかもしれません。しかし、ハイロハナカミキリのような原生林依存の種が減少することもありました。ハイロハナカミキリの捕獲数とトランクウィンドウトラップを取り付けた立ち枯れ木の状況の関係をみたところ、太くて高い針葉樹の立ち枯れで捕獲数が多い傾向がありました。広葉樹依存の種もあることから、択伐時に高く太い立ち枯れ木をなるべく多く残す必要があると考えられます。倒木の場合、大径枯死木からの羽化昆虫は択伐の影響を大きく受けると考えられました。択伐の影響を小さくするためには、大径倒木はなるべく日陰になる場所に配置する配慮が必要と考えられます。



高く太い立ち枯れ木が重要



太い倒木はなるべく日陰に配置する

（上田明良）

木材腐朽菌類（多孔菌類）の多様性への影響

近年持続可能な森林施業が提唱され生物多様性の維持が重要視されていますが、天然林において普通に見られる倒木・立枯木・大形落枝などは、森林生態系における菌類・小動物・昆虫・植物などの生息環境として重要な要素であり、この組成や構造はこれらの生物の多様性に影響を与えるとされています。木材腐朽性菌類、特に多孔菌類は、倒木などを分解する種や生立木に腐朽病害を起こす種など多様な種が存在し、森林生態系の中で重要な役割を担っていると考えられています。天然林で択伐施業を行うと、林内の倒木などを次第に減少させると予測されますが、これが林内の生物多様性に与える影響については判っていませんでした。そこで、北海道の天然林において倒木等の減少に大きな影響を受けるとされる多孔菌類を対象に、その多様性や種構成と林内の倒木量との関係を明らかにし、多様性を維持するために必要な倒木の量を示すことを目的に調査を行いました。

腐朽菌類の出現種数・多様度指数と倒木材積量の関係

道内各地の針広混交天然林・亜寒帯針葉樹林において、林内に発生した多孔菌類の子実体（キノコ）とその発生数を調査し、同じ調査地内で林内の倒木・立枯木・大形落枝の材積量（以下「倒木材積量」と表現します）を測定しました。その結果、倒木材積量が多いと多孔菌類の出現種数や多様度指数（示したのはShannon-Wiener関数 H' ）も増加する傾向が見られ（図1、2）、倒木材積量が多孔菌類の多様性に影響を与えていることが示唆されました。ただし、高標高地の亜寒帯針葉樹天然林では、針広混交林での倒木量に比べて出現種数が低い傾向がありました。

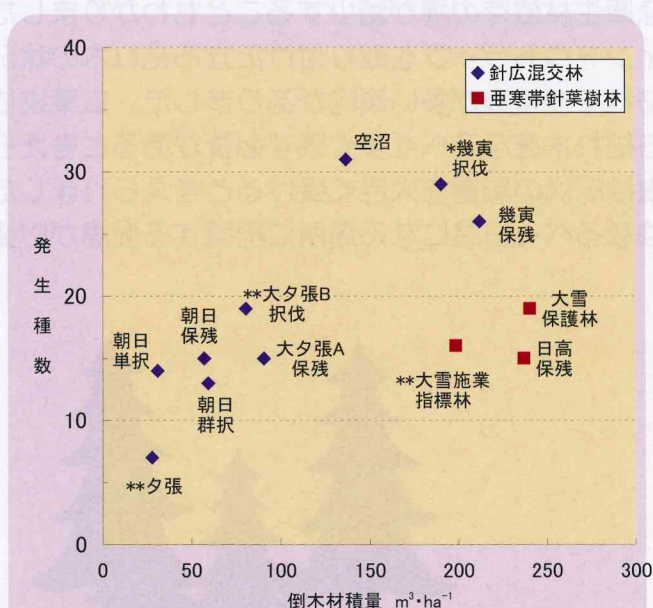


図1 倒木材積量と腐朽菌の種数の関係
*は初回の伐、**は複数回の伐を行なった箇所

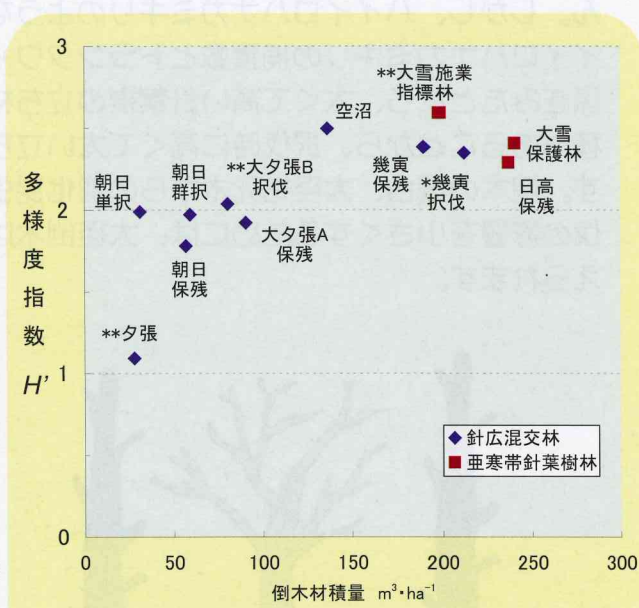


図2 倒木材積量と多様度指数 H' の関係
 H' は数値が高いほど多様度が高いことを示す
*は初回の伐、**は複数回の伐を行なった箇所

出現種・調査地の類似度と分類

各調査地点間の多孔菌類の種組成の類似度を比較するクラスター分析（非加重群平均法：図3）や発生種・地点間の分類と指標種分析を二元指標種分析（TWINSpan：図4）という手法により分析すると、倒木材積量の多少によって調査地点が大きく二つのグループに分割されました。また、TWINSpanでは図5に示されるような腐朽菌が図4の分割の指標種として示されました。

解析方法の違いにより多少の違いがありますが、これらの結果から針広混交林での多孔菌類の菌類相が倒木量の多少で大きく二分されることが示唆され、倒木量がおおよそ100~150m³・ha⁻¹前後を閾値として多孔菌の種組成がより原生的自然に近くなると推測されました。

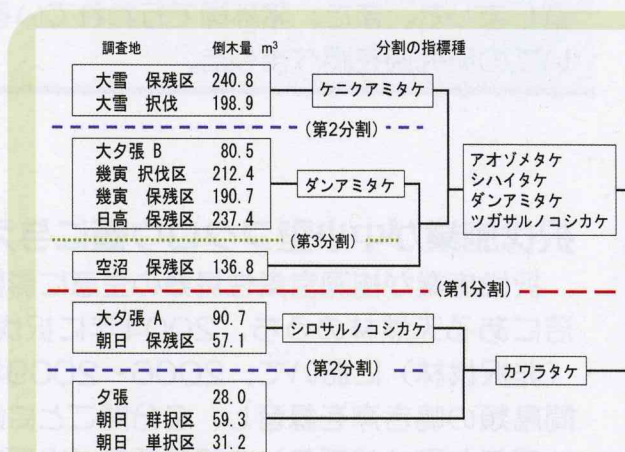
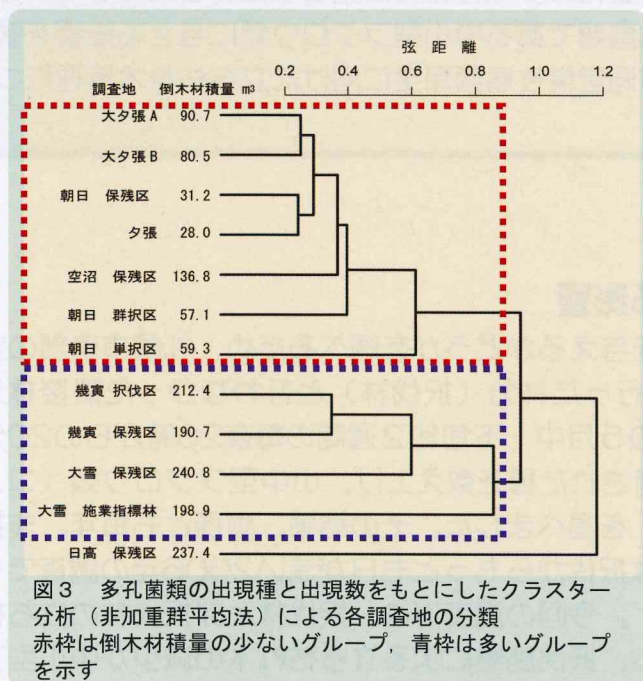


図4 二元指標種分析 (TWINSpan) で示された各調査地の分類と指標種
図3と違い第1分割で「大タ張 B」、「空沼保残区」は倒木材積量の少ないグループに分類された。



図5 倒木量の多少で区分(図4での第1分割)される調査地の指標種

腐朽菌類の多様性を維持するためには...

以上の結果から、倒木材積量おおよそ100~150m³・ha⁻¹前後の値を目安に、これ以上の倒木材積量が林内に現存すればこれを維持するよう努めること、この値を下回るようであれば風倒木や伐採木の不要部位あるいは腐朽部位を林内に残すことにより積極的に倒木材積量の増加に努めることで、択伐施業林でも多孔菌類の多様性を保つことができると考えられます。

(山口岳広、飯田滋生、石橋聡)

樹洞営巣性鳥類への影響と立ち枯れ木の管理

森林にすむ多くの動物が、営巣場所、ねぐら、採食場所などとして立ち枯れ木を利用しています。特に、樹洞で繁殖する動物は樹洞のあるなしが子孫を残せるかどうかにかかわるため、立ち枯れ木は重要な存在です。また、樹洞で繁殖する動物は、森林動物群集の重要な構成要素となっており、立ち枯れ木は、森林の動物の多様性維持に重要な役割を果たしているといえます。そこで、択伐施業が樹洞営巣性鳥類である中小型フクロウ類に与える影響を調査しました。また、諸外国で行われている樹洞営巣性鳥類保全に向けた立ち枯れ木管理についての研究例を調べました。

択伐施業が中小型フクロウ類に与える影響

択伐施業が樹洞営巣性鳥類の生息に影響を与えるかどうかを調べるため、札幌市南部の空沼にある天然林のうち、2004年に択伐を行った林分（択伐林）と行わなかった隣接林分（非択伐林）において、2006～2009年の5月中～下旬約2週間の毎夜20時からの20分間鳥類の鳴き声を録音し、2分間ごとに録音された種を数え上げ、小中型フクロウ類（コノハズクとアオバズク）の記録頻度（出現率）を調べました。その結果、両種とも毎年、非択伐林で択伐林よりも出現率が高く、その差は択伐からもっとも日が浅い2006年の調査でもっとも大きいことが観察されました（図1）。今回の調査では、択伐林と非択伐林の立ち枯れ木の本数にほとんど差はなかったことから、択伐施業による立ち枯れ木の減少が中小型フクロウ類の生息に与える影響を明らかにすることはできませんでした。しかし、今回の結果は択伐施業時における作業が一時的に小中型フクロウ類の生息に影響を与える可能性があり、その影響は択伐直後がもっとも大きく、少なくとも択伐後4年間はあることを示唆しており、択伐の繰り返し期間（回帰年）の設定に配慮が必要であるといえます。

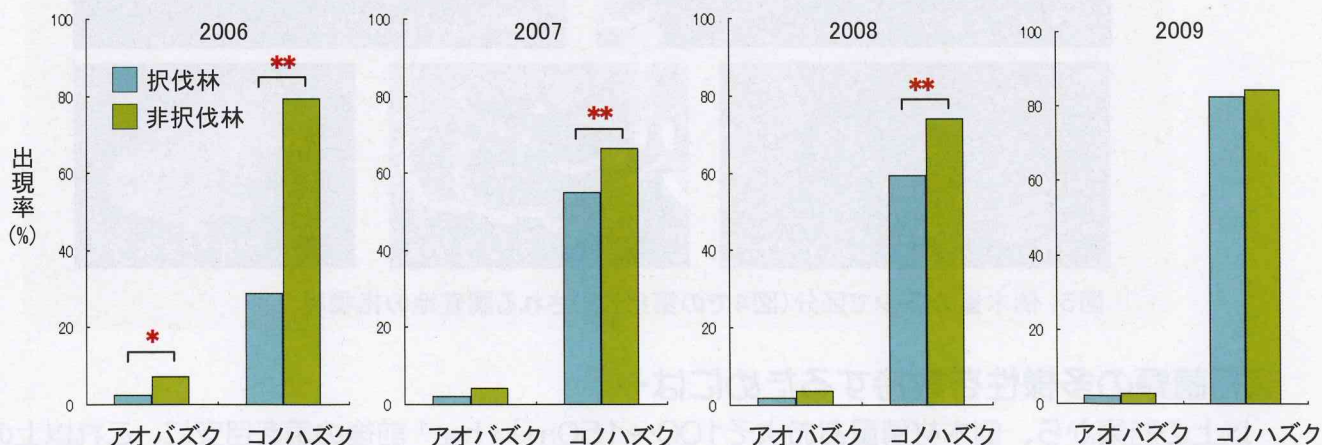


図1 択伐林と非択伐林における中小型フクロウ類の出現率の違い
比率の検定(統計学的有意差: ** ; 1%, * ; 5%)

立ち枯れ木を残す施策

持続可能な森林管理をすすめるためには、森林にすむ動物の多様性への配慮が求められ、そのうち樹洞営巣性鳥類に対しては立ち枯れ木を確保することが必要であり、その管理が重要な項目の一つとなっています。このような管理項目では、立ち枯れ木を確保するため択伐の際に立ち枯れ木を残すような配慮を行います。一方で、択伐作業の障害となる立ち枯れ木は除去せざるを得ないことから、欧米では積極的に生立木から立ち枯れ木を作る処理を行い、必要な立ち枯れ木数を確保することがあります。立ち枯れ木の人工的な作出には、除草剤の使用、腐朽菌の注入、環状剥皮、数メートル以上の高さでの幹の爆破や切断などの方法がとられています。



アカゲラの古巣を使うエゾモモンガ
樹洞営巣性鳥類の巣穴は、エゾモモンガや他の樹洞営巣性鳥類など（二次樹洞利用種）にねぐらや営巣場所として利用されます。



巣の幼鳥に餌を運ぶオオアカゲラ

どれくらい立ち枯れ木を残す必要があるか？

樹洞営巣性鳥類にとって必要な立ち枯れ木本数の研究例をみると、北米のカンムリキツツキ（北海道に生息する大型のキツツキであるクマゲラと似たサイズと生態を持つ種）では、ポンデローサパイン林で最大の個体数を維持するために、胸高直径51cm以上の立ち枯れ木を、100ヘクタールあたり32本残すことが推奨されています。また、より小型のセジロアカゲラ（中型キツツキのアカゲラと大きさが似た種）では、胸高直径21cm以上の立ち枯れ木が446本必要とされています。そして、他のキツツキ類もすべて含めると、このポンデローサパイン林では、100ヘクタールあたり胸高直径51cm以上の立ち枯れ木が32本、同31cm以上が339本、同25cm以上が187本、合計で558本以上残すことが望ましいとされています。これとは別に、カナダのブリティッシュコロンビア州での研究では、樹洞営巣性鳥類の繁殖のためには、立ち枯れ木がヘクタールあたり2～3本必要であるとされています。これらの研究例から勘案すると、立ち枯れ木の管理指針としては、大径の立ち枯れ木をヘクタールあたり2～5本程度確保することが一つの基準になると考えられます。

（松岡茂）

択伐後の林床植生の変化

択伐施業は、森林生態系を大きく破壊せずに木材生産が可能な施業方法とされています。しかし、実際には多くの択伐施業林で、蓄積の回復が期待されるようには進んでいません。その大きな理由としては、択伐によって草本類、特に北海道ではササ類が著しく繁って他の植物の更新や定着を妨げていると推測されていました。ここでは、択伐後にクマイザサが繁茂する過程を5年間の観察で検証しました。また、多様な種の保全を図る観点から、林床植生が択伐の後にどう変化するか調べました。

択伐後のクマイザサの変化

ササが優占して地表を覆う林床は、北海道の天然林では最も普通に見られます。幾寅試験地でも、クマイザサが80%以上の地表を覆っています。ここで2002年11月に行われた択伐では、積雪前であったことから伐倒と搬出作業により林床は強く攪乱されました。その結果、地表を覆っていたクマイザサは大きな損傷を受けましたが、(写真1 a)、2年後には再びクマイザサが覆いはじめ、5年後には密生した様子が観察されました(写真1 b, 1 c)。作業による地表攪乱は土壌の表層に限られたため、地下茎が残されたクマイザサが、損傷した地上部を速やかに回復させたと考えられます。



写真1 a 2003年5月
(択伐直後の攪乱された林床)



写真1 b 2005年9月
(2年後にはササが覆いました)



写真1 c 2007年10月
(5年後ササは密生状態です)

この調査では択伐を行った調査区(択伐区)に隣接して択伐を行わなかった調査区(保存区)を設けて、両者を比較しました。その結果、択伐区でのクマイザサの回復はもともとの繁茂状況を越えて、保存区の被覆を大きく上回りました(図1、2)。林床のクマイザサが択伐の後わずかな期間に著しく繁茂を促され、密生した実例が示されたことになります。択伐後には林床の明るさが大きく上昇するため(図3)、これが繁茂を促した大きな要因と考えられます。

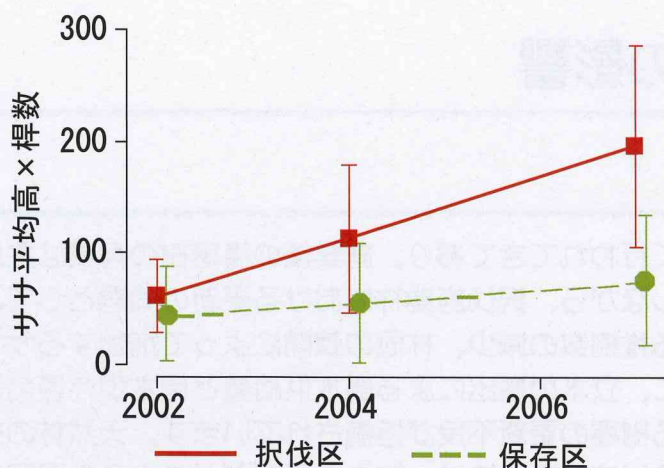


図1 ササ地上量の変化
(択伐区25カ所、保存区24カ所で観測したササ量について、各年の平均値と標準偏差)

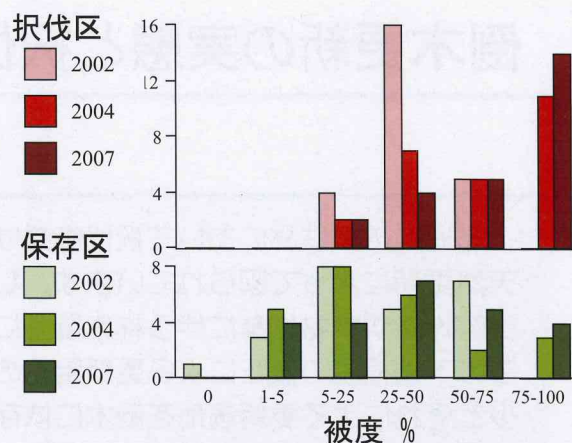


図2 ササ被度の変化
(択伐区25カ所、保存区24カ所のササ被度について、各年の頻度分布。択伐区では時間と共に高被度ヘシフトしています)

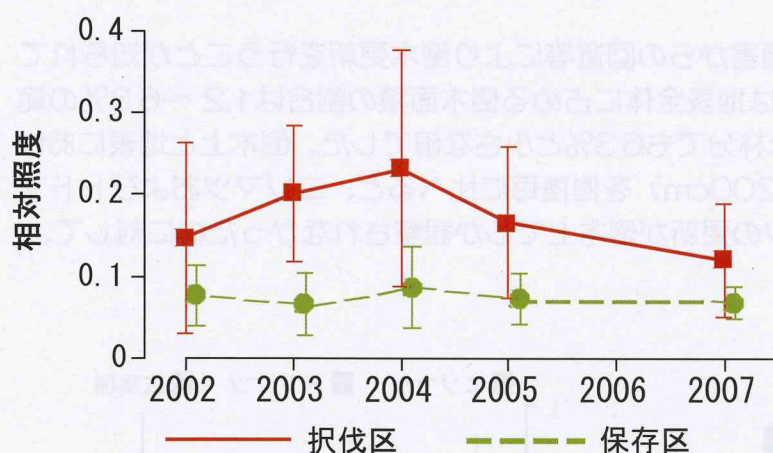


図3 林床の明るさの変化
(択伐区と保存区で光センサーを用いて測定した相対照度について、各年の平均値と標準偏差)



写真2 択伐区の集材路上 (2004年)
(アキタブキやハンゴンソウなどが侵入しています)

下層植生の多様性

明るさや地表攪乱など作業に伴う直接の環境変化、またクマイザサの繁茂のような間接の環境変化によって、他の植物は影響を受けたでしょうか。択伐区と保存区の全体を比べたところ、種数やその多様性を表す指標（シャノン関数）については、調査期間中に著しい増減はありませんでした。択伐後の少なくとも5年は、種の多様性は低下しなかったことになります。また、トドマツやヤチダモなど、高木種の発生傾向の変化は認められませんでした。

このように、択伐区ではクマイザサの著しい繁茂があったにもかかわらず、出現する種の多様性は維持されました。これには、繰り返し搬出に使われたため特に強く荒れた集材路跡で、他の多くの植物の侵入が観察されていたことが影響していると考えられます（写真2）。すなわち択伐施業林では、搬出作業で強く攪乱される地表が、ササ以外の種の生存を支えている可能性があります。また、択伐後に多く出現したエゾニワトコや逆に減少したフッキソウのような種もあり、択伐による環境変化に対する反応が種ごとに異なることも推測されます。択伐施業林において種多様性の維持を図ったり、伐採予定地に希少な植物がある場合には、それぞれの種の性質を把握したうえで施業計画の立案と実施が必要です。

倒木更新の実態と択伐の影響

北海道の天然林において択伐施業は広く行われてきており、施業後の後継樹の育成は主に天然更新によって図られています。しかしながら、択伐施業林における更新の問題として、伐倒作業や集材作業に伴う林床攪乱による稚樹数の減少、林冠の疎開によって増加するササ等の下層植生の被圧による更新阻害の他に、立木の搬出による倒木供給量と倒木現存量の減少とそれによる更新適地を倒木に依存する樹種の更新不良が指摘されています。天然林の持続的な利用と管理に適した択伐施業法を検討するためには、樹木の更新がどのような要因に影響を受けるかを明らかにする必要があります。そのため、本研究は北海道中部の択伐施業履歴の異なった針広混交林において樹木の更新状況について研究を行いました。

生育サイト別の稚樹密度

北海道の針葉樹は地表で発生する菌害からの回避等により倒木更新を行うことが知られています（写真1）。調査した6林分では地表全体に占める倒木面積の割合は1.2～6.3%の範囲であり、択伐の影響のない原生的な林分でも6.3%と小さな値でした。倒木上と地表における稚樹密度（2年生以上かつ樹高5～200cm）を樹種毎に比べると、エゾマツおよびトドマツは倒木＞地表であり、特にエゾマツの更新が倒木上でしか観察されなかったのに対して、広葉樹は地表＞倒木でした（図1）。



写真1 倒木更新

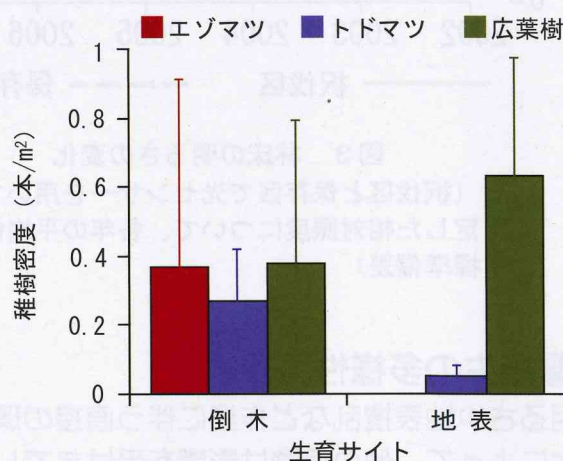


図1 倒木と地表における平均稚樹密度
（縦線は標準偏差を表す）

倒木の腐朽度と稚樹密度

倒木の腐朽度を定性的に5段階に分けて稚樹密度を比べると、腐朽度によって稚樹密度は異なりました（図2）。全体的に稚樹密度は腐朽がある程度進んだⅢクラスから増加し始めました。樹木が倒れてから腐朽度Ⅲクラスまでになるには、条件によって異なりますがおおよそ15年以上が必要である事が分かりました。また、エゾマツは腐朽度Ⅲで最も多く、腐朽が進むに従って減少する傾向があるのに対して、トドマツと広葉樹は腐朽の進行に伴って増加する傾向を示し、樹種によって定着に適した腐朽度が異なると考えられました。

試験地全体の稚樹本数

地表と倒木の面積の割合とそこにおける稚樹密度から林分全体の稚樹本数を推定すると、わずか数%の面積を占める倒木上にエゾマツは100%、トドマツは約20%の稚樹が生育しており(図3)、針葉樹、特にエゾマツの更新にとって倒木は非常に重要であると言えます。一方、広葉樹の稚樹はそのほとんどが地表で生育しており、更新適地としての倒木の重要性は小さいといえます。

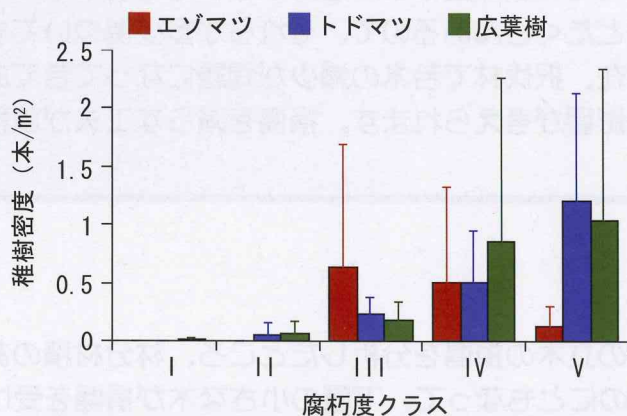


図2 倒木上生育稚樹の腐朽度クラス別の平均密度。(縦線は標準偏差を表す。腐朽の進行にしたがって倒木の腐朽度を定性的にI~Vの5段階に区分した。)

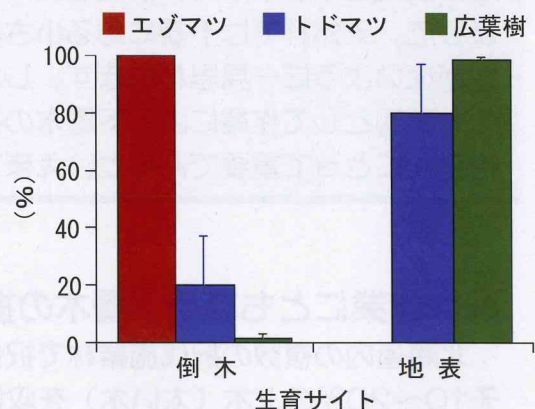


図3 林分全体で生育する稚樹の生育サイト別の割合。(縦線は標準偏差を表す。)

稚樹数に影響を及ぼす要因

稚樹密度に影響のある要因を統計的な手法を用いて調べると、倒木上の稚樹は倒木の腐朽度、倒木の太さ、コケの被度および母樹密度(表1)が、地表の稚樹ではササの濃さ(表2)に影響を受けていることが分かりました。太い倒木は周囲のササによる被圧の影響をより受けにくく、光環境の点から有利である事が一つの理由として考えられます。また、コケの被度は倒木の水分環境、母樹密度は種子落下量、そしてササは被圧の程度に影響していると考えられます。

表1 倒木上の稚樹密度に影響を与える要因

樹種	要 因			
	腐朽度	倒木の太さ	コケの被度	母樹密度
エゾマツ	*	*(+)	*(+)	*(+)
トドマツ	*	*(+)	*(+)	*(+)
広葉樹	*	ns	*(+)	ns

*: 選択された要因、(+): 正の影響、(-): 負の影響、ns: 選択されなかった要因。

表2 地表の稚樹密度に影響を与える要因

樹種	要 因	
	ササ	母樹密度
トドマツ	* (-)	ns
広葉樹	* (-)	ns

*: 選択された要因、(+): 正の影響、(-): 負の影響、ns: 選択されなかった要因。ササは被度×高さ。エゾマツは地表では生育していない。

更新稚樹を確保するために

このように択伐施業林において天然更新によって稚樹を確保するためには、倒木の量、腐朽度およびサイズ等、さらにササの抑制や母樹密度に留意する必要があります。しかしながら、択伐施業は一般的に倒木や母樹を減少させ、林冠の疎開によってササが増加するため、天然更新だけによって後継樹を確保するのは不確実であり、補植や地掻きなどの更新補助作業が必要であると考えられます。

(飯田滋生、倉本恵生)

伐倒集材作業による下層木の損傷とその影響

択伐作業の際、林分全体の材積の1～2割の上木を収穫するのにもなって林分全体の材積と本数の1～2割を占める下層木が損傷を受けることが分かりました。さらに、小さい木ほど損傷を被りやすく、損傷を受けることでその後の生存率が低くなることも明らかになりました。天然林では下層にある小さい木ほどたくさんあるので、それらが多少傷ついても影響がないように一見思われます。しかし現在、択伐林で若木の減少が問題になってきており、その要因として作業による下層木の損傷の影響が考えられます。損傷を減らす工夫が収穫の持続性にとって重要であるといえます。

択伐作業にともなう下層木の損傷

北海道内の複数の択伐施業林で択伐の際の立木の損傷を分析したところ、林分材積のおよそ10～20%の上木（太い木）を収穫するのにもなって、下層の小さな木が損傷を受けることがわかりました（図1）。小さい木ほど損傷が多く、損傷木は林分全体の木数と材積のおよそ10～20%になります。

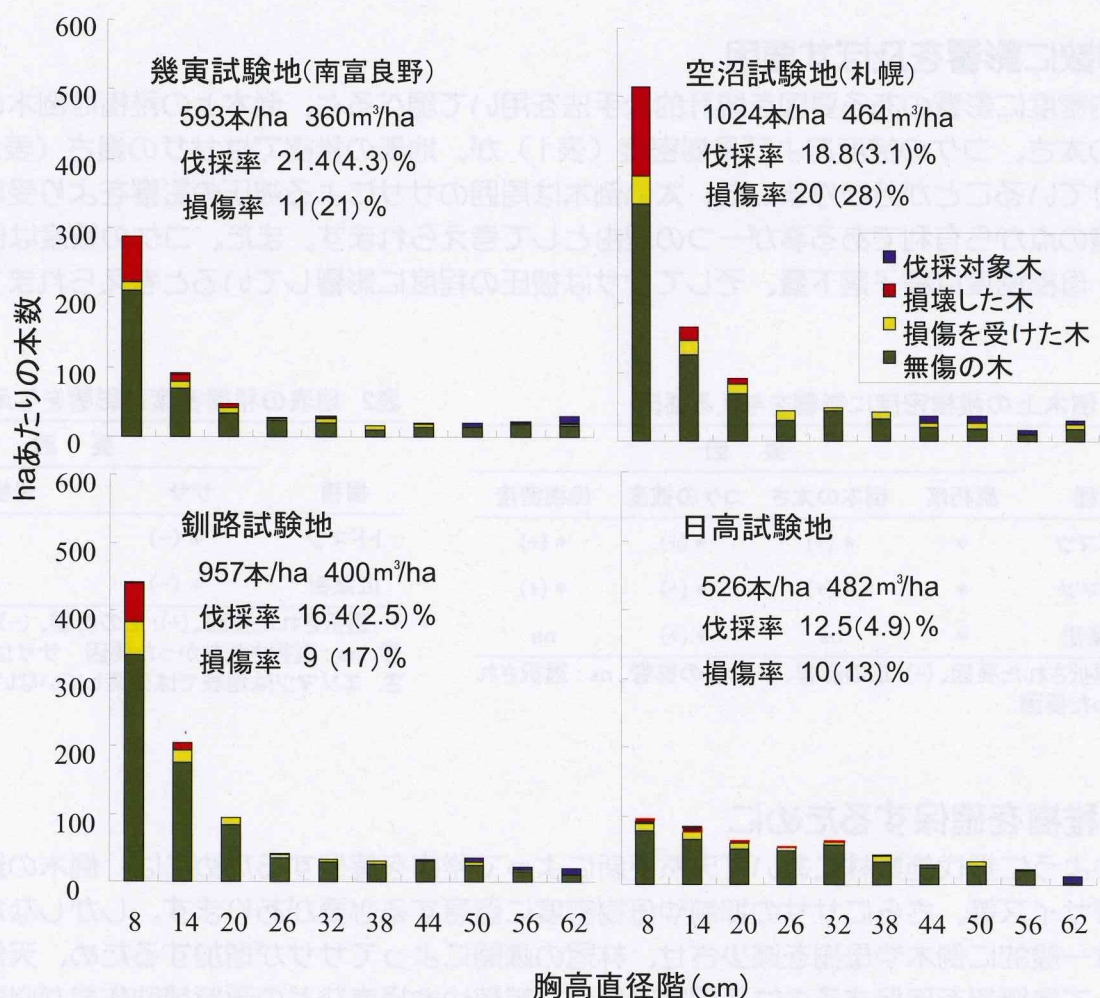
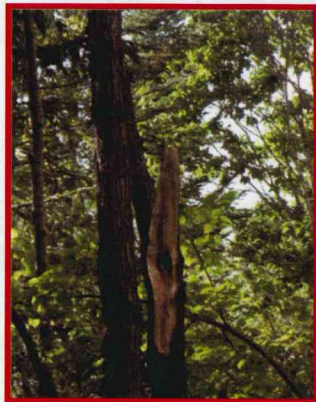


図1 択伐試験地の立木直径分布と損傷木の割合
各試験地名の下の数値は、択伐前の立木密度と林分材積
伐採率・損傷率の数値は林分材積に占める割合(カッコ内は本数に占める割合)

択伐の作業過程と損傷

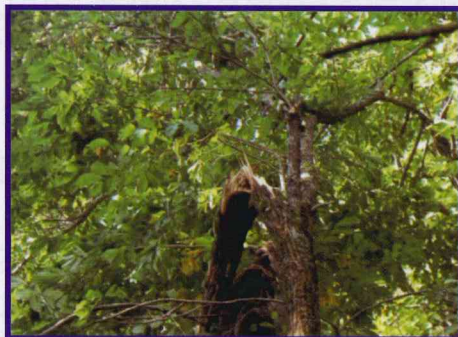
天然林の択伐では、チェーンソーで伐倒した木を、全幹材としてトラクターで林内から土場へけん引し搬出する方法が一般的です。最近では短幹材にして、フォワーダで搬出することもあります。伐倒過程では伐採木が当たることで下層木の枝や幹が折れる場合が多く、集材の過程では搬出木や機械が幹に当たることで剥皮が多く発生します（写真1）。伐倒木や機械が直撃して強い力がかかった場合には樹体全体が破壊され、その時点でもはや生育することができません。ただ、実際の損傷の多くは部分的なものです。

壊滅的な損傷



幹ごと樹冠全体が折れる
根元から引っ張り返るなど

部分的な損傷



折損：
一部の枝が折れ樹冠が減少
主に伐倒時に発生
（伐採木の直撃）



剥皮：
主に搬出時に発生
（搬出木・機械の衝突）

写真1 択伐にともなう下層木の損傷の例

損傷が下層木の生育に与える影響

天然林はもともと小さい木が多く、大きい木は少なくなっています（図1）。つまり小さい木の多くは大きくなるうちに数を減らすと考えられるため、損傷を受けて減少しても林への影響はないと思われがちです。しかし、択伐後数年間の生育を調べた結果、択伐にともなう損傷を受けた下層木は無傷の木や風倒などの自然撓乱による損傷を受けた木にくらべて生存率が低いことがわかってきました（図2）。自然状態では下層木が上層木になる何十年もの長い時間の中で数が減っていきませんが、択伐は人間の目にもわかる数年という短い時間の中で下層木の数を減らしてしまうといえます。森林の姿を損なわずに天然林から木材を持続的に得ていくには下層木の損傷をいかに減らすかが重要といえるでしょう。

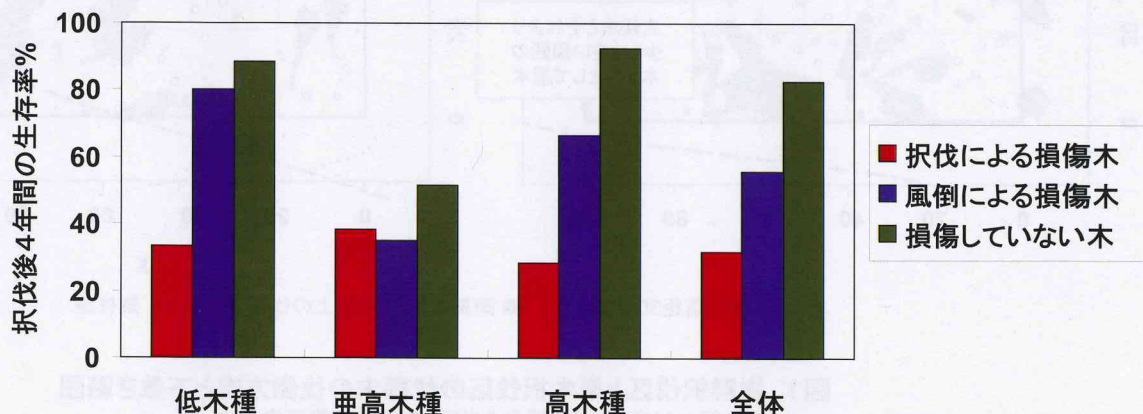


図2 下層小径木（樹高1.3m以上、直径5cm未満）の択伐後4年間の生存率
損傷による生存率の低下は択伐対象となる高木種でとくに大きい

この研究成果の一部は科学研究費補助金No.21580192の支援を受けて実施したものです

（佐々木尚三、倉本恵生）

伐倒集材作業による下層木損傷の低減方法

天然林択伐では、伐倒や集材作業により伐採木以外の立木が損傷します。択伐を繰り返した林分で、下層木の減少が顕在化している場合が多くみられますが、この大きな要因として作業による損傷の影響が考えられます。損傷を低減する方法として伐採木を樹群で選抜する方式（樹群択伐）に着目し、従来型の択伐（単木択伐）との損傷発生状況の比較を行いました。これをもとに、損傷を低減する伐採方式や作業上の注意点をまとめました。

樹群択伐が損傷を低減する？

トラクタで集材する場合、伐採木が分散しているほど機械の林内走行回数が増し、集材による損傷は増加すると予想されます。逆に伐採木がまとまっているほど、機械の走行回数は減少するので、その分集材による損傷は少なくなると期待されます。また同じ伐採量でも、大きな上木を分散的に選んで伐採する（単木択伐）より、大きな木とその陰になっている木を樹群で選んで伐採（樹群択伐）すれば、大木の伐倒の直撃を被るはずの木を収穫対象として予め伐採することで損傷を避けることができると考えられます。

そうした予測に基づき、同一林分の近接した調査区の一方に樹群択伐を、もう一方に単木択伐を実施し、損傷の発生を調査しました。

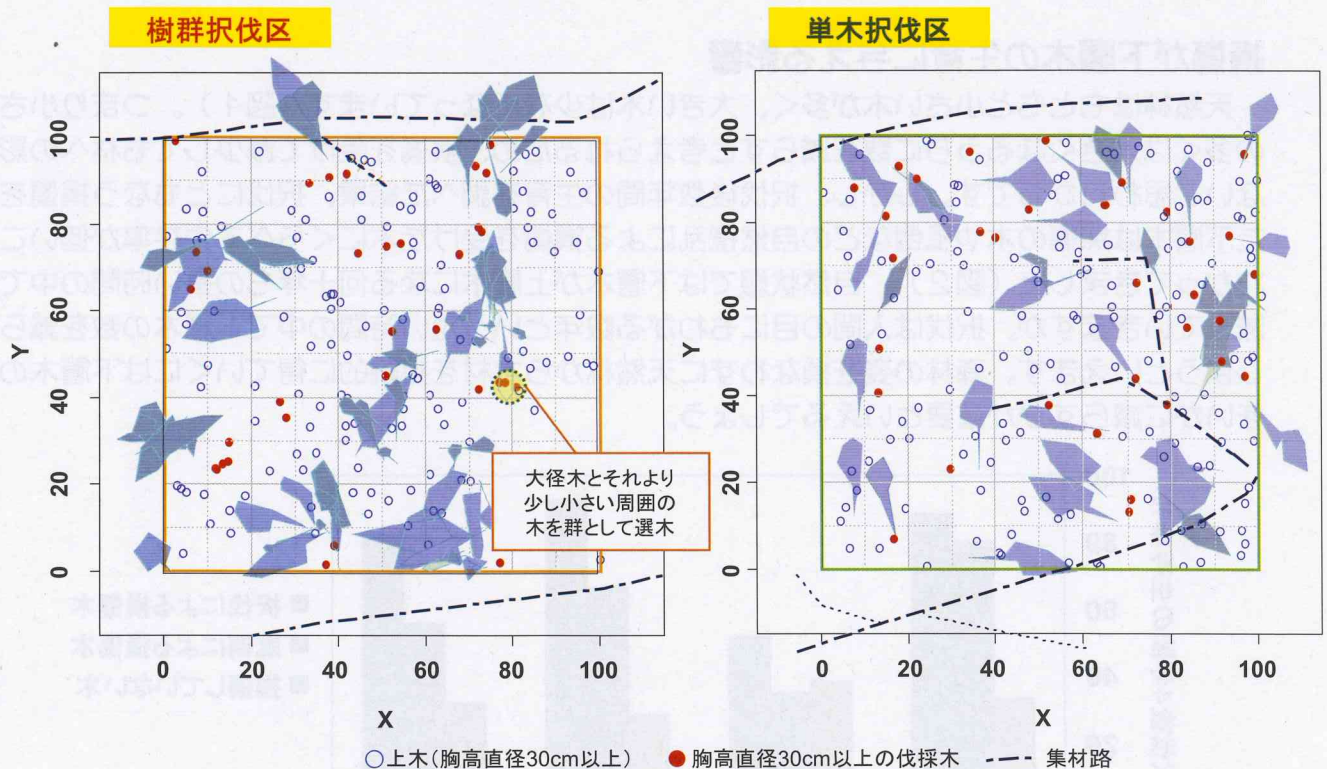


図1 樹群択伐区と単木択伐区の伐採木の伐倒方向と下敷き範囲

青い網かけ部分が伐採木の樹冠の下敷き範囲を示す

樹群択伐区では赤丸で示した胸高直径30cm以上の伐採木の付近にある胸高直径30cm未満の木も選木し樹群として伐採している（伐採材積は単木択伐区と同じ）

樹群択伐で損傷発生率が低減！

伐採木の伐倒方向と樹冠の下敷範囲を調査した結果、樹群択伐は伐倒木の攪乱範囲が集中していました（図1）。このことは、伐倒木あたりの攪乱面割合が少ないことを示します。

これに対応して、樹群択伐の方が損傷率・損壊割合ともに低くなっていました（図2）。

損傷発生状況を詳しく見ると、樹群択伐では伐採樹群の下層および周辺の小径木が複数の伐採木に由来した損傷を被っていました。伐採木をまとめることで、各伐採木が生じる損傷木が重複し、その結果、伐採木1本あたりの損傷木数が低減されていたのです。

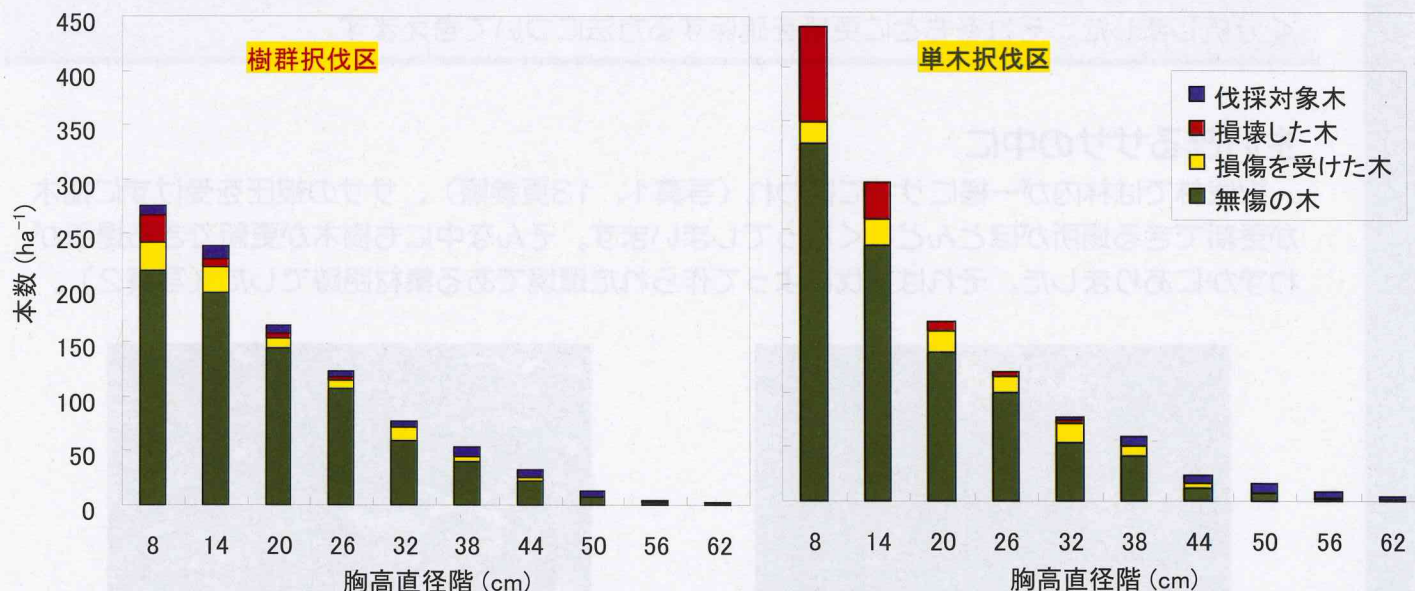


図2 樹群択伐区と単木択伐区の損傷発生状況

損傷を低減させるための作業上の注意点

重要なのは樹群択伐のどこが損傷を低減させたかという点です。これを理解すれば、従来の方式でも注意次第で損傷を低減できることが分かってきます。ひとつは伐倒方向の木にも気を配ることです。大きな木の伐倒の際には掛かり木になりそうな周囲の上木を避けようとする分、下木への配慮は低下します。樹群択伐では掛かり木になりそうな木を選木して空間的に余裕ができたことが下木損傷を低減させたと考えられます。**掛かり木を減らすような選木**は間接的に損傷を減らせるといえます。

また、樹群択伐では伐倒木の元が集中している分、木寄せ移動が少なく、これが集材損傷を減らしていました。**木寄せ移動を減らすための、選木と伐倒方向の選択**が大事といえます。

もうひとつは、集材路の配置です。集材損傷は集材路の曲がり部分で多く発生し、損傷程度も大きくなります。そのため、**計画段階で集材路の屈曲部を減らす**ことも重要なことです。

(佐々木尚三、倉本恵生)

択伐後の地表での更新に影響する条件

択伐施業では、林冠の伐開によって残った木の成長や林床の稚幼樹の加入が促され、林の構造を保ったまま持続的な収穫を行うことを期待しています。しかし実際には、ササが繁茂することによって、樹木の更新が妨げられることが多くなっています。ササの繁茂による更新阻害は、伐採・集材作業による下層木の損傷、更新適地となる倒木の減少とともに、若木の減少に大きく関係していると考えられます。そこで、ササの繁茂による樹木の更新阻害が起こる理由を、択伐によって林に加わる林冠疎開と地表攪乱という2つの要因に着目して詳しく分析しました。それをもとに更新を確保する方法について考えます。

生い茂るササの中に

択伐林では林内が一樣にササに覆われ（写真1、13頁参照）、ササの被圧を受けずに樹木が更新できる場所がほとんどなくなってしまう。そんな中でも樹木が更新できる場所がわずかにありました。それは択伐によって作られた環境である集材路跡でした（写真2）。



写真1 択伐後の林床に繁茂するササ



写真2 集材路跡での更新

集材による地表攪乱と樹冠の存在がカギだった

集材路跡ならどこでもよいわけではなく、ササが破壊されるほどの強い地表攪乱が加わると樹木が更新できること、さらに上部に樹冠があると更新が多いことが分かりました。択伐後のササの量と更新状況を見ると、両者が相反しており、ササの繁茂を抑えることが更新のカギということが分かります（図1）。集材のために機械が林内を走行する際にササは攪乱されます。その度合いは場所で異なり（図2）、個々の伐採木の近くでは一度きりの乗り入れのためササは踏みつぶされる程度で地下茎などはほとんど残っています。何度も走行する基幹集材路では、ササは地下茎ごと破壊され表土がむき出しになっています。こうして破壊されてもササは数年間で回復し、伐採によって光が林床に届くことによって以前よりも旺盛に繁茂することになります。しかし上に木が覆っていると光がある程度さえぎられ、ササの繁茂が抑えられます。ササが破壊されるくらいの地表攪乱と、その後のササの回復・拡大を抑えるための樹冠の被覆の組み合わせが、更新のカギだったわけです。

必要な場所に条件を整えるー更新補助技術への利用ー

択伐では伐採で上（林冠）が開くのに、下（林床）はわずかに攪乱される程度なので、ササに光を与える一方、樹木には光があるのに更新場所を与えない結果になっています。

択伐後の更新を確保するためには、伐採木周辺の上（林冠）は開くが下（地表）は開かないというミスマッチを解消する必要があります。そのためには、基幹集材路に加わるような強い地表攪乱を伐採木の周囲に意図的に付加するような方策が現実的かつ有効といえます。

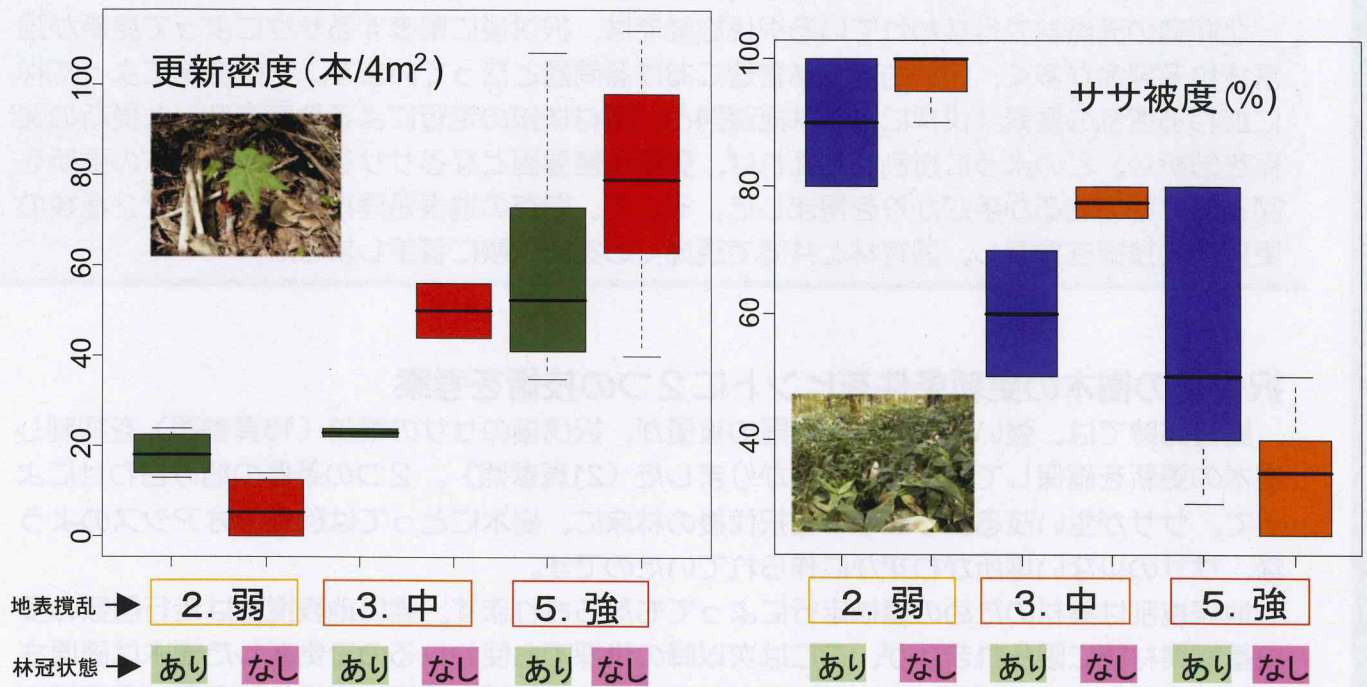


図1 択伐4年後の集材路跡地の更新とササの繁茂状況(空沼試験地の例)
地表攪乱強度の数字は図2の強度区分に対応 林冠状態:あり(上に樹冠あり)、なし(樹冠なし:伐採ギャップ)

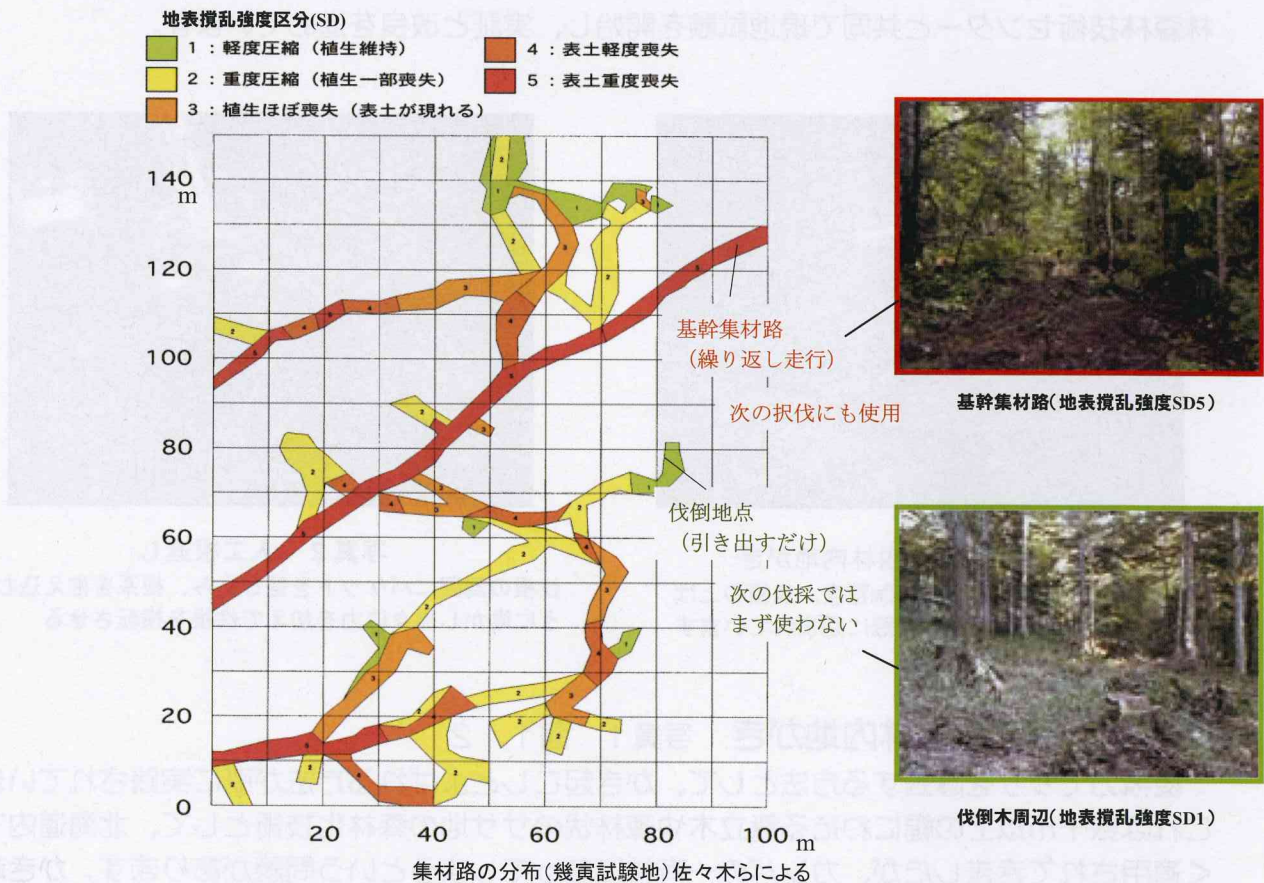


図2 集材路の配置と地表攪乱のパターン (幾寅試験地の例)

(倉本恵生、佐々木尚三)

大型機械による更新補助技術

北海道の天然林で行なわれている択伐施業では、択伐後に繁茂するササによって更新が阻害される場合が多く、持続的な森林管理における問題となっています。択伐施業によって林に加わる攪乱の要素（伐採による林冠疎開と、集材機械の走行による地表攪乱）と更新の関係を分析し、どのように攪乱を加えれば、更新阻害要因となるササを抑制し、樹木の更新を図ることができるか手がかりを得ました。そこで、既存の地表処理技術を改良した2種類の更新補助技術を提案し、国有林と共同で現場での実証試験に着手しました。

択伐跡の樹木の更新条件をヒントに2つの技術を考案

集材路跡では、強い地表攪乱と林冠の被覆が、択伐後のササの繁茂（13頁参照）を抑制し樹木の更新を確保していることが分かりました（21頁参照）。2つの条件の組み合わせによって、ササが生い茂るようになった択伐後の林床に、樹木にとっては砂漠のオアシスのような、ササの少ない場所がわずかに作られていたのです。

地表攪乱は集材のための機械走行によってもたらされます。強い地表攪乱は走行回数の多い基幹集材路に限られますが、ここは次以降の伐採でも使われるので更新した樹木は破壊されてしまいます。しばらく集材走行の入らない個々の伐採木周辺に択伐作業で用いる機械力を活用して強い地表攪乱を加え、更新条件を整える技術を考える必要があります（22頁参照）。そこで、択伐作業につけ加えて実施できる2つの更新補助技術を考案しました。国有林森林技術センターと共同で現地試験を開始し、実証と改良を進めています。



写真1 小面積樹林内地がき
施工面積は幅5m、長さ8～10m程度。伐根の上は疎開しているが、周囲を樹冠に囲まれています



写真2 人工根返し
伐根の周囲にバケットを差し込み、根系を抱え込むように動かし徐々に力を加えて伐根を横転させる

その1. 小面積樹林内地がき 写真1 図1, 2

機械力でササを除去する方法として、かき起こしとよばれる方法が既に実践されています。これは数十m以上の幅にわたる無立木や疎林状のササ地の森林化技術として、北海道内で広く適用されてきましたが、カンバの一斉林になってしまうという問題があります。かき起こし地は、阻害要因であるササが無いという点では樹木の更新には適していますが、大面積で表土を剥ぐため水分や栄養条件ではむしろ過酷な場所であることもわかってきました。

また、上が大きく空いているためタネが飛びやすいカンバだけが発生しやすく、明るいのでカンバの成長が他の樹種を圧倒するからと考えられています。ササを除去しつつ、カンバしか出てこられない・残れないような条件をいかに緩和するかがポイントです。そこで伐採木の樹冠が空いたところを小面積（数m規模）に地がきすることを考案しました。明るさが抑えられるので、カンバの優占が抑えられ、多様な樹種の更新が期待されます。



図1 従来のかき起こしと今回考案した小面積林地がきの違い

その2. 人工根返し 写真2 図2

自然条件では上木が風害等で倒れる際には、根株が引っくり返り、表土が持ち上がった部分（マウンド）やえぐれた部分（ピット）が形成されます。このような微地形は面積的にわずかながら、倒木とともに天然更新の適地として大きな役割を果たしています。例えば、鉋物質土壌が露出しているため、明るい場所を好む小さなタネをつける樹種や、有機質腐植に生息する菌類の害を受けやすい針葉樹が更新することができます。また盛り上がっているところではササの被圧を受けにくくなります。さらに凹凸に応じて乾湿の違いが大きくなる分、各樹種に適した水分環境が用意されると考えられます。択伐では上木が伐倒されるため、このような更新場所が作られることはありません。そこで機械力によって人工的に伐根を根返しして更新適地を作り出します。複雑な微地形の創出は、多様な樹種の個々に対応した更新微地形を提供します。また、地がきと異なり、伐根周囲の前生稚樹を生かすことができます。

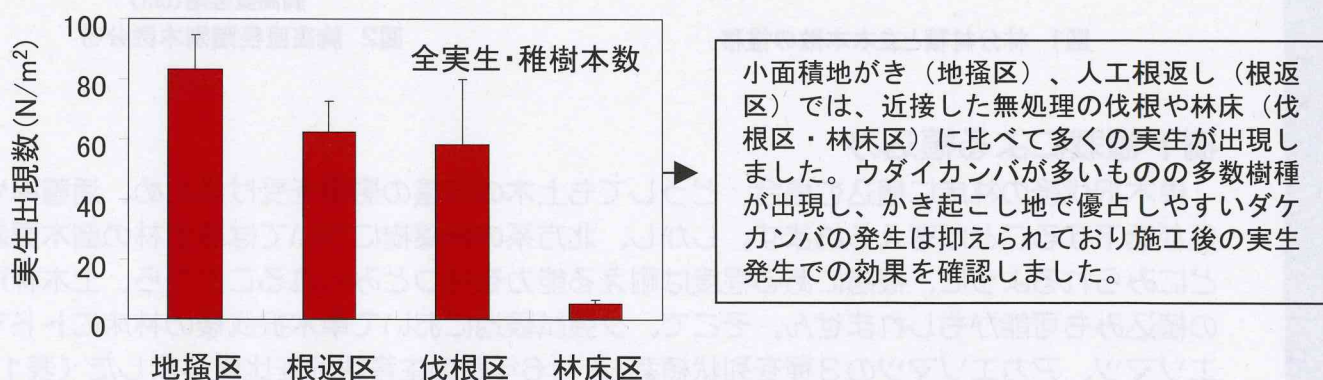


図2 考案した更新補助技術の実証状況（施工翌年の更新）

（倉本恵生、飯田滋生、共同研究機関：北海道森林管理局森林技術センター）

植込みによる更新補助技術

回帰年ごとに伐採を繰り返す択伐施業では、確実な更新は持続的な木材生産を行っていく上で不可欠な要素です。更新方法を大別すると天然下種による天然更新と苗木の植栽等による人工更新がありますが、一般に択伐施業では天然更新が期待されます。しかし、ササ類が繁茂する林床ではササ類が天然更新を阻害するため、何らかの更新補助作業を実施する必要があります。ここでは、苗木の植込みによる更新補助作業として樹下植栽と伐根周囲植栽による方法を紹介します。

植込みによる更新補助の効果

ササ類が密生して天然更新が困難な天然林では、一部でこれまでも群状択伐等によりできた比較的広い疎開面（孔状面）に人工林施業と同じ仕様で針葉樹の列状植栽を行って更新を確保してきました。図－1、2はその例として空沼試験地の調査結果を示したのですが、最初の伐採後に植込んだトドマツが成長することにより、立木本数が急激に増加し、直径本数分布も小径木が多い型に変化しており、更新が確保できていることがわかります。しかし、この方法は下刈り作業が必要になるなど、造林コストが人工林並みかそれ以上にかかってしまうことや、部分的に針葉樹人工林のような林相になってしまい天然林材生産の持続性という点でも問題となる場合があると考えられます。

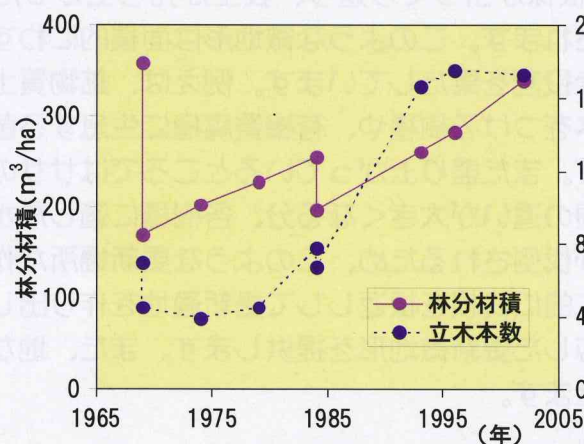


図1 林分材積と立木本数の推移

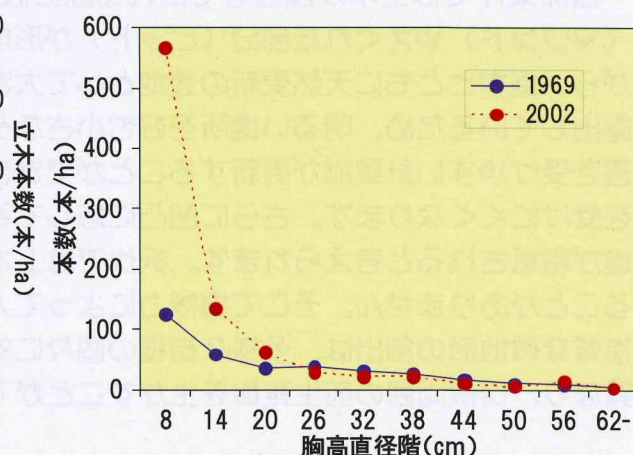


図2 胸高直径階別本数分布

樹下植栽による植込み

単木択伐後の林床に植込む場合、どうしても上木の被陰の影響を受けるため、活着率や成長が低下することが考えられます。しかし、北方系の針葉樹については原生林の倒木更新などにみられるように、被陰にある程度は耐える能力を持つとみられることから、上木林冠下の植込みも可能かもしれません。そこで、夕張試験地において単木択伐後の林床にトドマツ、エゾマツ、アカエゾマツの3種を列状植栽し、16年間の生育状況を比較しました（表1）。なお、植栽時に地拵えは行っていますが、下刈りは行っていません。

表1 調査結果(樹下植栽)

調査年月	本数	トドマツ			本数	エゾマツ			本数	アカエゾマツ		
		樹高 (cm)	生存率 (%)			樹高 (cm)	生存率 (%)			樹高 (cm)	生存率 (%)	
		平均 ± SD				平均 ± SD				平均 ± SD		
1993 年5月	73	60.1 8.7	100		72	67.8 10.1	100		73	58.3 7.9	100	
1994 年5月	71	63.7 11.1	97		72	73.9 11.0	100		70	63.4 9.2	96	
1997 年9月	68	124.0 30.8	93		72	126.6 27.3	100		62	96.7 18.2	85	
2003 年4月	55	161.7 52.7	75		64	189.6 49.7	89		52	128.8 33.5	71	
2008 年10月	46	199.4 78.7	63		58	276.7 89.5	81		45	155.0 44.6	62	

注) 生存率＝調査時の本数÷1993年5月植栽時の本数×100

これをみると、樹高、生存率ともにエゾマツが最も成績が良く、ついでトドマツ、アカエゾマツの順となっています。樹冠下の場合、場所により光条件にむらができてしまいますが、本試験では平均すると3樹種ほぼ同様の条件下であったことから、樹冠下の植込みはエゾマツが最も適し、アカエゾマツは避けた方がよいと考えられます。ただし、本事例の場合、単木択伐による樹冠疎開部が分散し、また、残った上木も広葉樹が主体であったことがこの結果につながった可能性がありますので（植栽時の平均相対照度15.6%）、針葉樹主体の林分など林床が暗い条件下への適用は注意が必要です。

伐根周囲植栽による植込み

伐根周囲植栽は伐根の周囲に4～6本程度植栽する方法で、伐根のまわりはササ類が侵入しづらいことと、伐採による林冠疎開による明るさを利用するもので、簡単な地拵えはしますが、下刈りは行いません。ここでは、幾寅試験地においてエゾマツを植栽した事例を紹介します。2003年春に伐採直後の伐根41カ所の周囲に141本植栽しました。5成長期後の生存率は65.7%で植栽木の生存には2003年時の樹高と開空度がプラスに影響していました。また、上方伸長量には開空度がプラスに影響しており、平均樹高は2003年の88.5cmから、2008年には周辺のササ丈を越えて149.4cmへと増加しました（図3）。林床にはクマイザサが繁茂しており、良好な生存と成長のためには、できるだけ大きい苗木を開空度が大きくなる直径の大きな伐根の周囲に植えることが必要と思われます。このような条件を考慮できれば、伐根周囲植栽は択伐後の更新を確保するための有効な植込み方法になると考えられます。

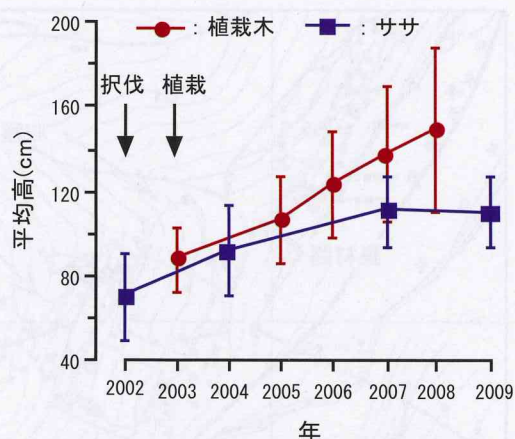


図3 エゾマツ植栽木と周辺のササの平均高の経年変化
(縦線は標準偏差を表す。)



写真 伐根周囲植栽

(石橋聡、飯田滋生)

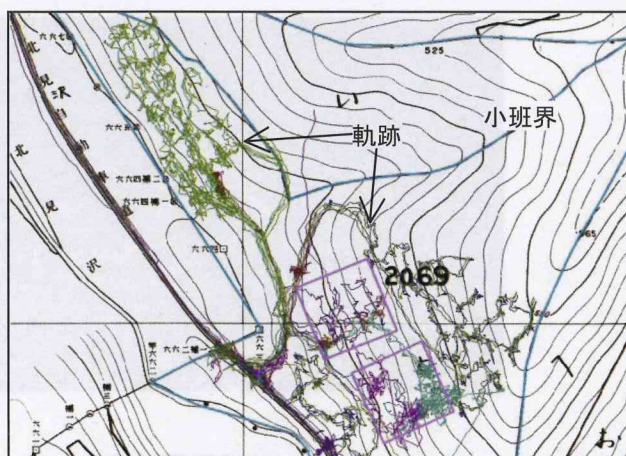
林分レベルの択伐施業林管理

択伐施業には必ず収穫木の伐倒と集材が伴います。このような伐倒集材作業時に発生する稚幼樹や小径木の損傷や損壊が、択伐施業林の持続性に影響を与えることが明らかになりました。そのため、伐倒集材作業時の立木の損傷・損壊を出来るだけ小さくするような作業管理を行う必要があります。また、更新補助作業等の択伐施業に必要な作業の計画・実行など施業実施単位となる林分レベルでの管理手法を高度化する必要があります。そこで、担当者として国有林森林官等現場職員を想定し、GISを基盤に森林情報を活用した合理的な林分レベルの択伐施業管理法を検討しました。

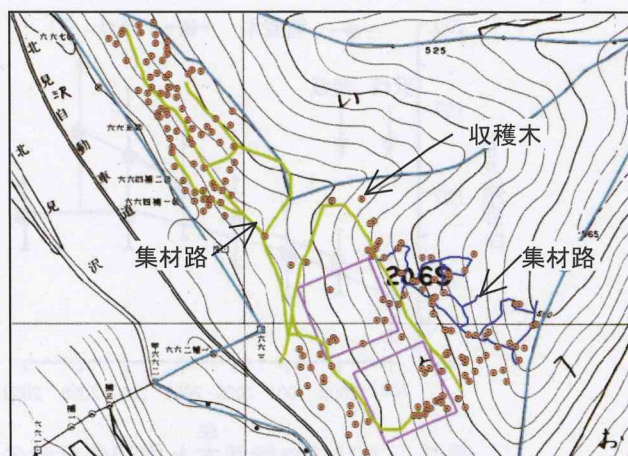
正確な森林情報の取得と伐採作業計画

伐倒集材作業は木材を得るとともに、残存立木の成長を促して次回以降の収穫木を得るために必要な作業です。しかし、不適切な伐倒集材は択伐施業に負の影響を与えることはすでに紹介しました。施業対象林分における適切な伐倒集材作業を行うためには、伐倒集材に関する作業計画の高度化が必要です。

近年導入が進んでいるGIS（地理情報システム、Geographic Information System）と進歩が著しい電子デバイスを利用すれば、従前の方法よりも精細な森林情報をより簡便に取得、管理することが出来ます。例えば、人工衛星の電波を用いて現在地の推定と正確な時間を知ることが出来るGPS（Global Positioning System）は、森林内で現地調査する際に有効な電子デバイスです。林内では平地に比べて位置精度は低下しますが、得られた位置情報をGISを利用して適切に加工することで、収穫木の位置や林道や集材路の予定線を簡便に地図化することが出来ます。GPSを搭載したデジタルカメラ等を活用すれば、時間・位置情報をもったジオタグ画像を利用できるので、収穫木の立木位置や伐採前の林内の様子、集材路予定位置の様子などと森林情報をGIS上で管理することが出来ます（図1）。従来の足取り図や簡便な路網図をGPSの軌跡やジオタグ画像とGISで作成した収穫木の位置図や集材路網図に置き換えることで、伐倒集材作業計画を事前に机上で検討することが出来ます。また、集材路網計画に従った搬出を実行することで、林内での作業機械の不必要な林床攪乱を防ぎ、残存立木への損傷を最小限に抑えることが出来ると考えられます。



林内調査時の歩行を記録したGPSの軌跡



ジオタグ画像を利用した収穫木位置とGPSの軌跡を加工した集材路網

図－1 GPS,ジオタグ画像を活用した収穫木位置および集材路網図

林分レベルの施業管理の高度化

GPSやジオタグ画像などによって得られる森林情報を活用しGIS上で管理すれば、択伐施業時における林分レベルの一連の作業をより高度に管理することが可能になります。

図2に林分レベルの択伐作業管理計画の流れとその高度化の方法をまとめました。伐採計画では、上述のように収穫調査の足取り、集材路予定線などこれまで作成されていた計画をより精細なものに発展させることが可能です。伐倒集材時の作業機械の位置情報を分析すれば、作業機械による路網や林地の攪乱を推定することが出来ます。伐採後の検収（跡地検査）に活用すれば収穫木の確認を短時間で確実に実行できます。また、一連の森林情報や図面は次回の伐採計画や更新補助作業を計画する際に役立ちます。伐採後に更新された現実の集材路網や支障木を含む収穫木位置図は、更新補助の適地を知る上で基礎となる情報であり、伐採木の位置や伐倒集材時に生じる林床攪乱を加味した更新補助の計画、実施とその後の保育時期の適切な判断に活用が可能です。このように、現地で収集した森林情報を適切に保管し、再利用することが施業管理の高度化につながります。

天然林材の特徴の一つである優良な大径材生産を目的とした単木管理は東京大学北海道演習林等で試みられていますが、GPSやジオタグ画像を利用すれば単木管理をより簡便かつ広域の森林を対象に実行することが可能になります。優良大径木は伐採時期を選定するために定期的な観察が不可欠ですが、現地までのナビゲーションや過去の画像との比較による樹型級の変化の把握などに用いることが出来ます。

以上のように、様々な森林情報をGIS上で管理することによって施業管理の高度化が図れるとともに省力化にもつながります。その効果は大規模な経営体ほど大きいと考えられます。

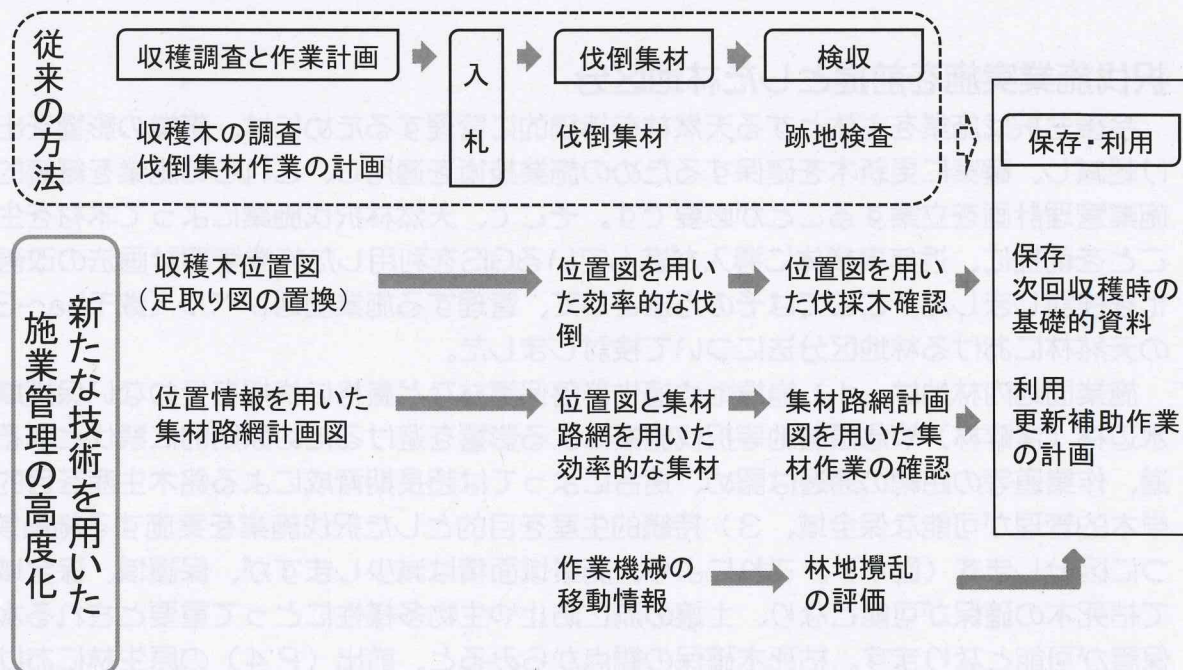


図2 林分レベルの択伐作業管理計画の流れと高度化

（高橋正義、石橋聡）

計画レベルの択伐施業林管理

択伐施業を行うと枯死木や倒木が減少するとともに、天然更新を阻害するササ類の繁茂を促すこともあります。また、伐倒集材作業における林業機械による立木損傷、損壊の軽減は択伐施業林の持続性を左右する要因の一つです。持続可能な天然林管理を行うためには、これら様々な影響を十分考慮した施業管理計画を立案し実行することが求められます。そこで、同一の考え方で森林を施業・管理する計画（施業団地）レベル（数千ha～3万ha）での管理方法の高度化手法について検討しました。

持続可能な天然林管理への課題

北海道の天然林で行われてきた択伐施業は、単木または群状に伐採する非皆伐施業法として森林に大きなダメージを与えることなしに木材の持続的な生産が可能な施業方法とされてきました。しかし、実際には北海道の天然林は質的量的に林分内容が低下し、近年の伐採量は激減しています。従来の択伐施業はこれまで紹介してきたように、倒木更新の減少、ササ類の繁茂による天然更新の不良、伐倒集材作業による小径木の減少など主に更新の確保に不十分な点があったと考えられます。そして、この更新木を十分に確保できなかったことが、結果的に伐採量の減少につながったといえます。さらに、択伐施業による枯死木の減少は生態系に少なからず影響を与える可能性があり、持続可能な天然林管理を実現する上でその扱いは重要なポイントになると考えられます。

択伐施業実施を前提とした林地区区分

今後も択伐施業を主体とする天然林を持続的に管理するためには、施業の影響を出来るだけ軽減し、確実に更新木を確保するための施業技術を適用し、これらの施業を継続的に行う施業管理計画を立案することが必要です。そこで、天然林択伐施業によって木材を生産することを前提に、近年事業体に導入が進んでいるGISを利用した施業管理計画法の改善と高度化を検討しました。ここではその方法として、管理する施業団地レベル（数千ha～3万ha）の天然林における林地区区分法について検討しました。

施業団地内林地は、1）崩壊地や植生群落保護林など厳格に伐採を行わない保護域、2）水辺林（溪畔林）や急傾斜地等択伐施業による影響を避けるため原則的に禁伐とするが、林道、作業道等の路網の通過は認め、場合によっては超長期育成による銘木生産を目的とした単木的管理が可能な保全域、3）持続的な生産を目的とした択伐施業を実施する施業域、の3つに区分します（図1）。これにより、施業域面積は減少しますが、保護域、保全域において枯死木の確保が可能となり、土壌の流亡防止や生物多様性にとって重要とされる水辺林の保護が可能となります。枯死木確保の観点からみると、前出（P4）の原生林における立ち枯れ木本数と樹洞営巣鳥類にとって必要な立ち枯れ本数の結果（P12）から計算して、施業団地面積の17%以上の保護域、保全域の設置が必要であると考えられます。

林地区区分を前提とした試算

新たな林地区区分を択伐施業が行われてきた奥定山溪国有林（約1.1万ha）に適用し、地形情報などを用いてGISで林地区区分面積を試算しました。施業域は林業機械を利用した施業が

可能な立地条件とするため傾斜を25度未満とし、環境条件の厳しい標高1000m以上は施業困難地として除外しました。保全域は、土砂流出や水質保全の面から河川周囲の溪畔域と傾斜25度以上の急傾斜地としました。溪畔は先行研究を参考に、片側15m、30m、50mの場合を試算しました。なお、今回は保全域の尾根部と保護域については試算の条件から除外しました。その結果、施業域は全体の35%~52%の範囲になり、施業団地全体に編み目のように配置されていました（図2）。この結果は一つの試算例であり、実際には区分内容など検討しなければならない点はまだ多くあると考えられますが、GISは様々なケースを容易に試算できる点で有用な森林管理ツールであるといえます。このように、計画レベルの管理は、対象となる森林の特徴をふまえた様々な条件で林地区分を試算、検討し、目標とする施業管理を実行することが重要です。

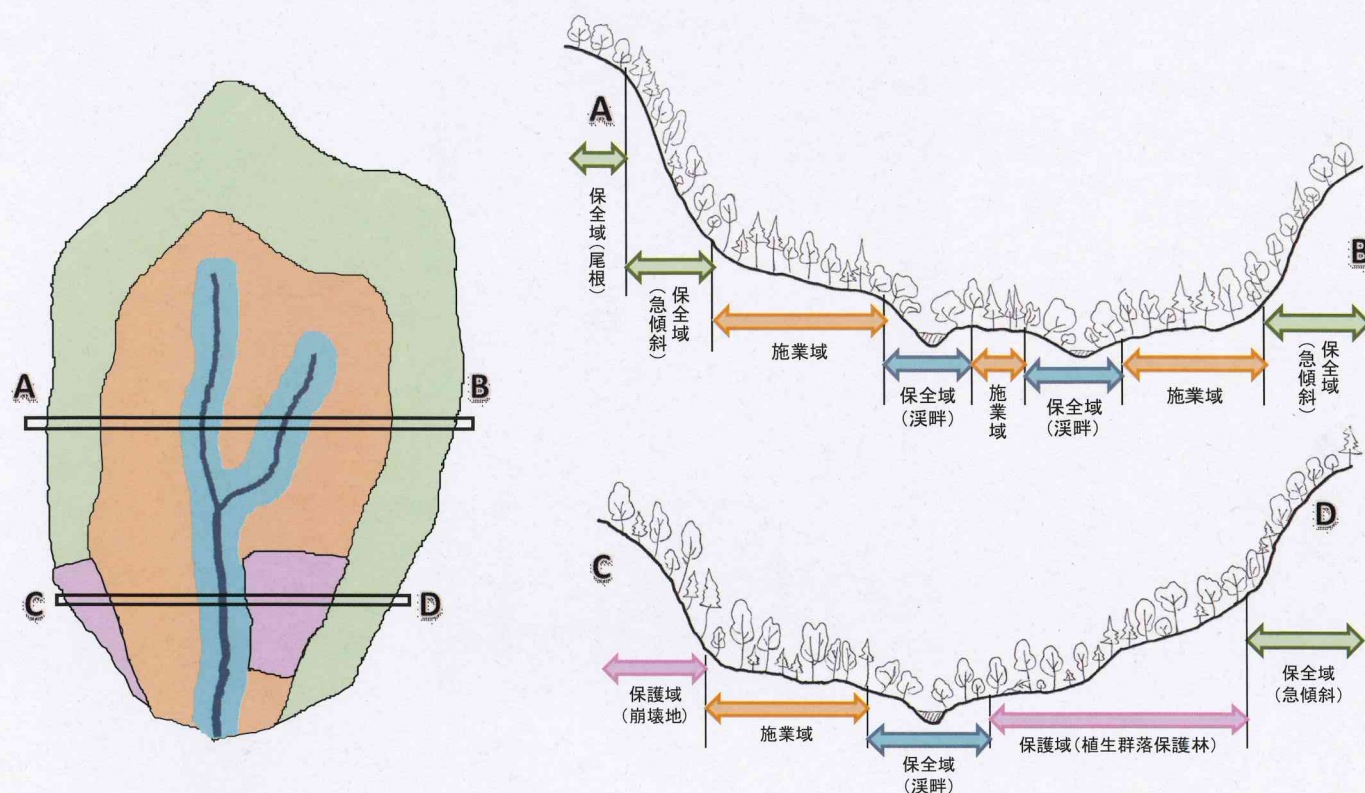


図1 施業団地レベルの管理概念図

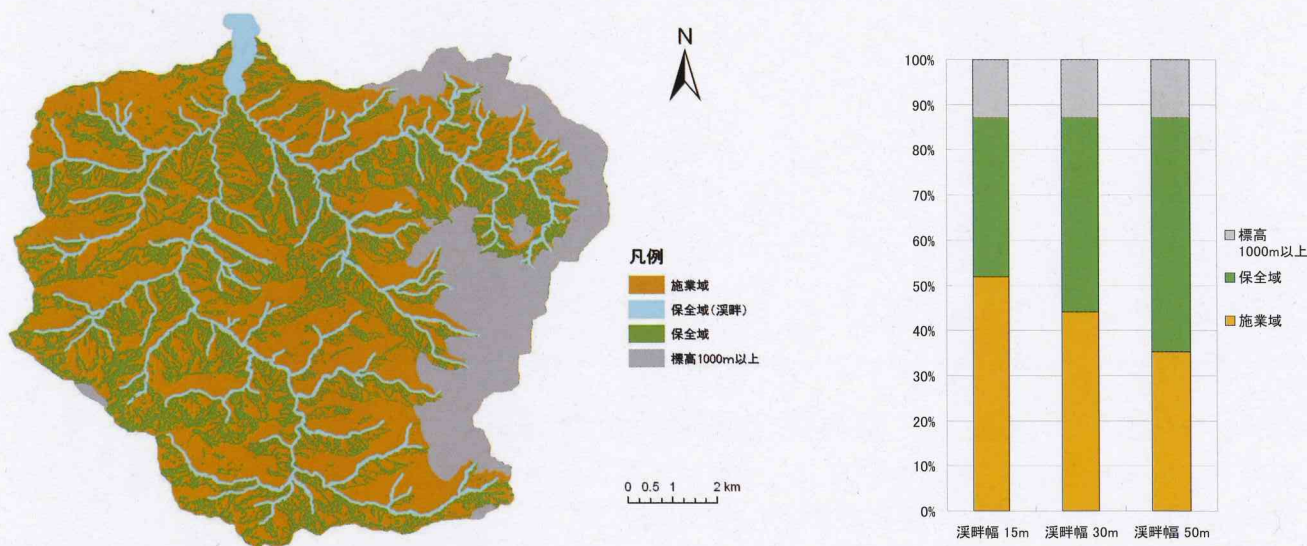


図2 奥定山溪国有林における林地区分試算例

(高橋正義、石橋聡)



ヤチダモ 1年生



2011・国際森林年

作成 独立行政法人 森林総合研究所北海道支所

本冊子は森林総合研究所交付金プロジェクト「北方天然林における持続可能性・活力向上のための森林管理技術の開発」の研究成果をもとに作成しました。

ISBN 978-4-902606-96-6

2011.03
