

d. 人工林を自然林に復元するまでの時間軸の整理（復元手法によって目標植生に到達するまでの時間の違いがわかるような管理シナリオの検討

1. シナリオを検討する目的

- ・「赤谷の森」では、生物多様性保全のため、生態系のプロセスが作り出す本来あるべき自然林を中心とした森の姿に復元することを目指し、人工林から自然林へと復元する林分の「目標植生（将来の望ましい森林の姿）」は、潜在自然植生を基本としている（平成21年度策定 赤谷の森基本構想より）
- ・カラマツ林自然林復元試験地（241つ）の伐採後5年目のモニタリングの結果、小高木も含めた樹木はある程度定着したものの、目標植生のブナ・ミズナラなどの成熟した自然林の林冠構成樹種の稚樹は非常に少なく（図1）、目標植生に遷移するまでには100年以上かかると予想された。この試験地と同様の管理（天然下種二類施業を用いた20m帯状伐採）が実行された赤谷周辺部のカラマツ林の伐採跡地6林分においてモニタリングした結果、「241つ」の更新状況は、他の6林分に比べると非常に良好であり（図2）、他の林分で同様の施業を適用する際には注意が必要である。
- ・これらの結果の評価、特に「いつまでに目標植生に戻せばよいのか」について、異なる意見がある。それは、100～1000年後と時間がかかってもいずれ目標植生に復元されると思われるので問題ないという意見と、目標植生に向けて可能な限り早く復元するような工夫を加えた管理を行うことが望ましいという意見である。この意見の相違は、価値観が伴うため、科学的には解消することはできない。そのため、この森の管理の意志決定を行うプロジェクト中核3団体の意向を踏まえて、今後の管理のあり方を検討する必要がある。
- ・以上のことから、目標植生に復元するまでの時間軸の整理を行うために、復元手法によって目標植生に到達するまでの時間の違いがわかるような管理シナリオの検討を行った。

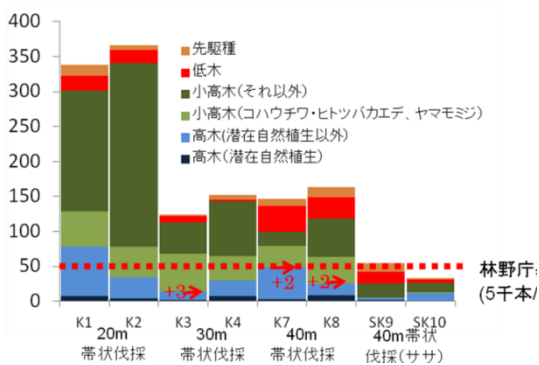


図1. 自然林復元試験地（241つ）の伐採後5年目（2011年）生活型ごとの個体数密度（本/100m²）

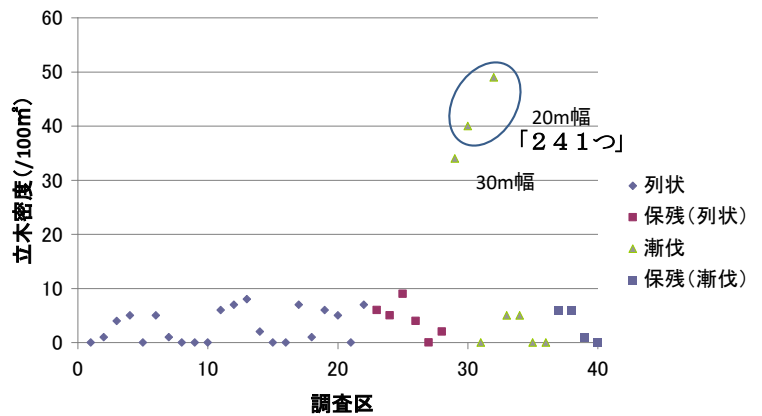


図2 帯状伐採区間の更新した樹木の密度の比較（20m, 30m幅が「241つ」；長池ら（2010）に加筆）

2. シナリオの検討にあたっての人工林の現状の整理

2-1. 主伐可能な林齢に到達する林分面積の年変化 (人工林を自然林に復元するための自然林復元施業群)

人工林を自然林に復元する林分は、赤谷の森管理経営計画の伐期齢の基準に従えば、2015年時点で約600ha以上の人工林が主伐可能であり、2025年までには半数以上の林分が主伐可能な林齢に到達し、2040年には9割以上の林分が主伐可能な林齢に到達する(図3、4)。

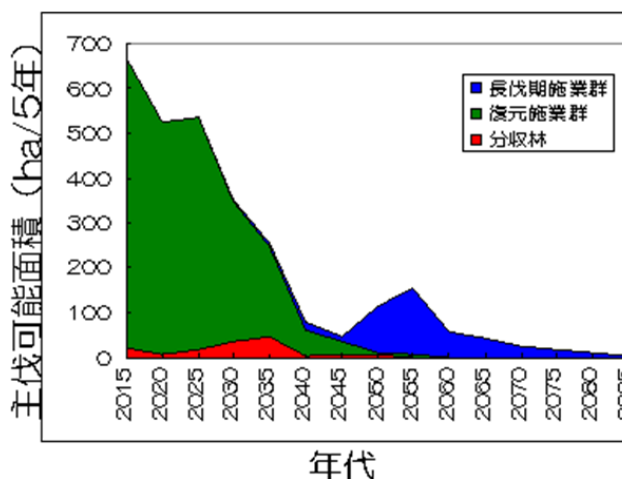
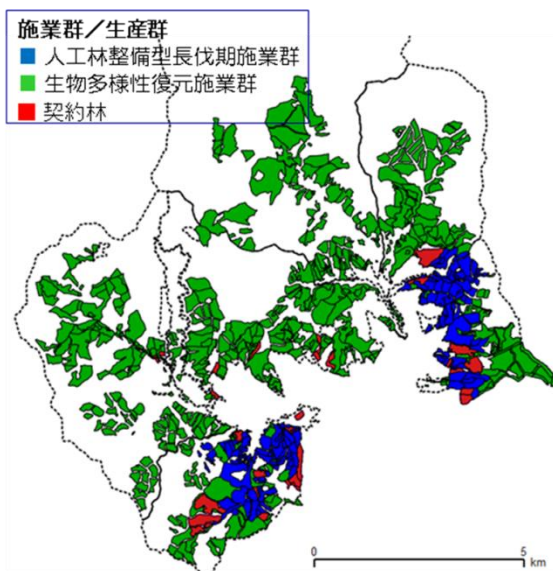


図4 施業群/生産群ごとの主伐可能面積 (ha/5年)の経年変化 (試験地以外)

図3 人工林の管理区分 (施業群/生産群)ごとの分布

2-2. 自然林からの距離

- ・植栽に頼らず、人工林を自然林に復元する際に、天然更新する樹木は主に2つのプロセスを経て定着する。1つは、隣接する自然林から散布され新たに定着するプロセスであり、もう1つはもともと人工林内に定着していた樹木が伐採後に萌芽もしくは伐採されず更新/定着するプロセスである。
- ・前者の場合、種子を散布するための母樹 (自然林) からの距離と種子散布距離を考慮する必要がある。自然林から 100m 未満にある人工林は全面積の 74%を占める一方で、自然林からの距離が遠い林分 (200-500m) も存在している (図5、6)。

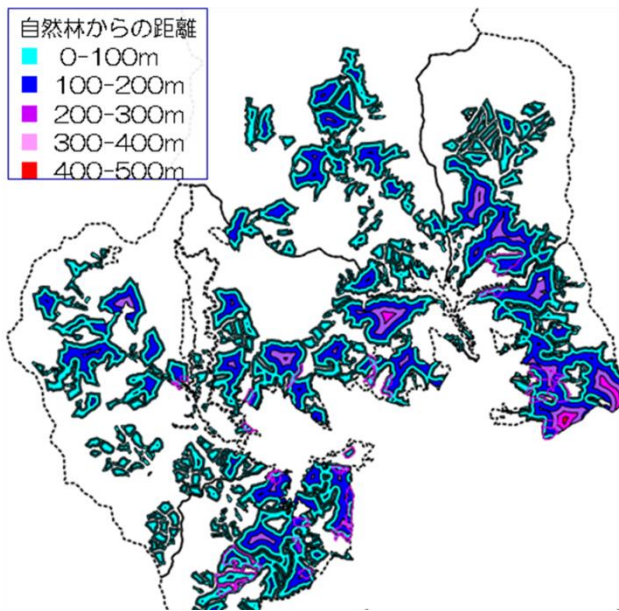


図 5 自然林からの距離別の人工林の分布

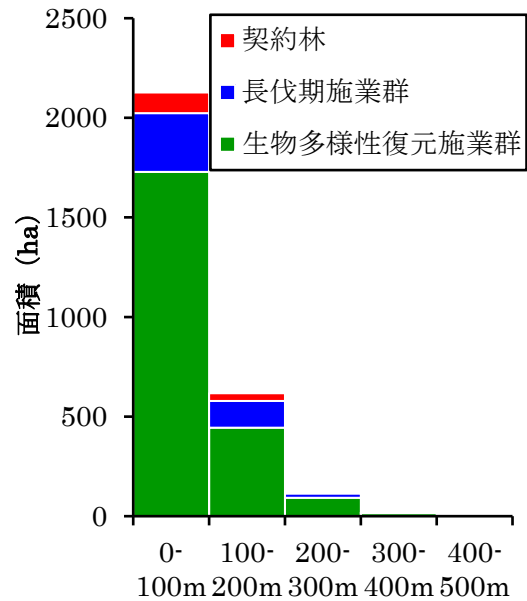


図 6 自然林からの距離別・施業群別の人工林の面積

2-3. 人工林内の広葉樹（天然更新した針葉樹も含む）の侵入状況

・人工林として植栽し管理してきた林班内は、現在は植栽木だけでなく、広葉樹が定着している場所もある。

・空中写真判読によって、人工林内の様子を調べた結果、多数の人工林が既に広葉樹林に置き換わっている可能性があることがわかった（図7）。

・スギ人工林の現地調査（2008～2009年）の結果、スギ林の中に自然の樹木が全く定着していない林分は、調査した202ヶ所のうち61ヶ所（約30%）であり、約70%のスギ林には、何らかの形で自然の樹木が定着していることがわかった（図8；長池ら2010）。さらに、定着していた前生稚樹のうち、ブナは自然林から遠い林分では少ない傾向があった（図9；長池ら2010）

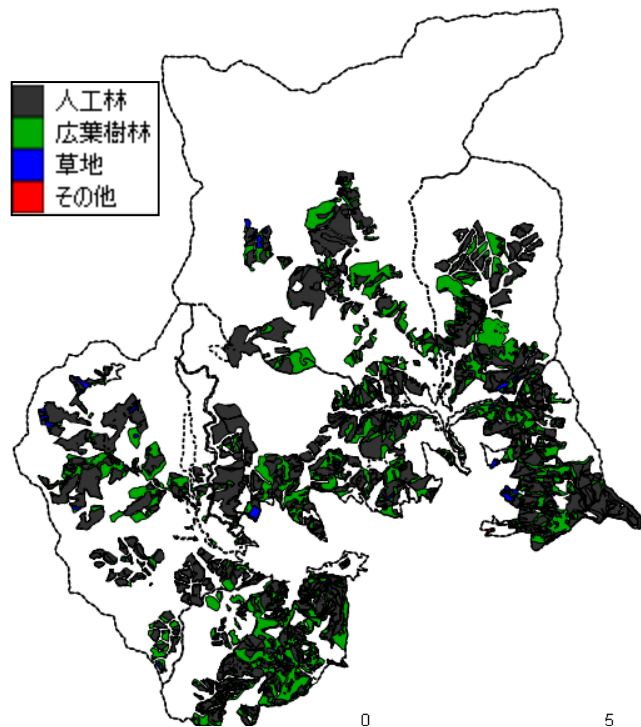


図 7. 空中写真判読に基づく人工林として造林した林分の現存植生（10m×10m単位で認識される単位で識別した；作成中）

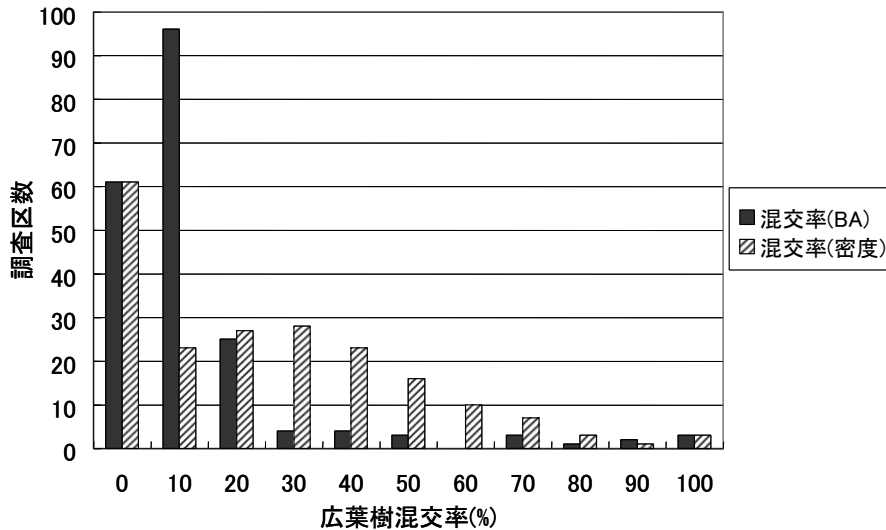


図 8. 自然林からの距離別・施業群別の人工林の面積 (長池ら 2010)

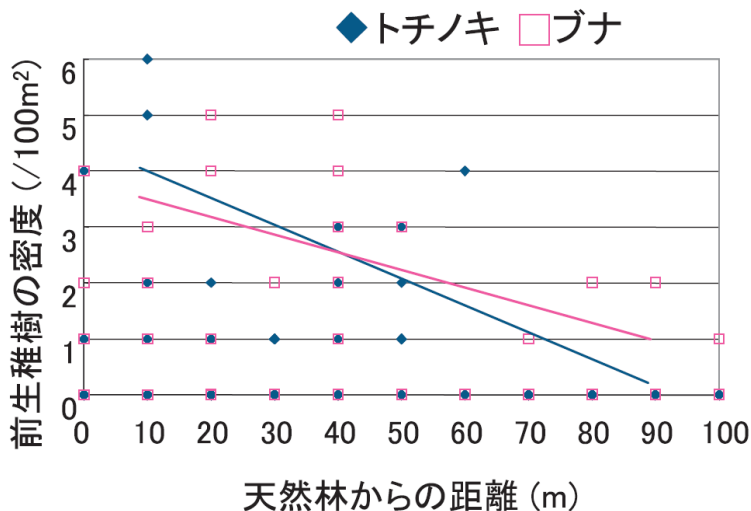


図 9. 自然林からの距離とブナ・トチノキの個体数密度 (長池ら 2010)

2-4. 自然林に復元する人工林の面積 (約 2000ha) と過去の人工林管理 (間伐と主伐) からみた、自然林復元までの時間スケールの検討

・自然林復元までの時間スケールを検討するために、自然林に復元する人工林の面積規模 (2000ha) から、人工林管理 (間伐と主伐) を続けた場合に必要な年数の検討 (2-3-1) と、いつまでに自然林に復元するか? 目標を設定した際の 1 年あたりの伐採面積の検討 (2-3-2) を行った。

2-4-1. 過去 5 年間の赤谷の森における管理実績を考慮した時間スケールの検討

・過去 5 年間の人工林管理 (間伐と主伐) の実績 (表 2) を維持すると仮定すれば、35 年 (=2000ha ÷ 288 × 5 年) で一巡するようなペースとなる。また、今ある人工林を伐採して自然林に誘導するための主伐を行うためには、間伐が必要な林分も多いことから、自然林に復元するためには、少なくとも 1 巡半 (35 年 × 1.5 = 52.5 年) ~ 2 巡 (35 年 × 2 = 70 年) 程度、必要だと考える方が妥当であろう。さらに、主伐林齢に

達した後、1回ではなく、数回に分けて植栽木を伐採することを想定した場合、回数を乗じた年数が必要となる。

・ただし、この年数は、現状で林道がなく管理できない林分や、管理の必要がない林分を含み、現状で管理できる林分に限ればもっと少ない年数になると思われる。

表2. 過去5年間(H19-23年)エリア内の伐採実績(ha)

	保育間伐	間伐	主伐	総計
面積 ha	123	132	33	288

2-4-2. いつまでに自然林に復元するか? 目標を設定した際の1年あたりの伐採面積の検討

・一方で、2000haの人工林を自然林に戻すための管理(主伐)を100年以内にすべて終了すると仮に設定した場合には、1年あたり20haの伐採を行う必要がある(表3)。伐採地を作るとニホンジカの餌となる草本が増えるため、1ha以上の皆伐地を作る際にはニホンジカの対策を行うこととしている(赤谷の森地域管理経営計画)。そのため、一定規模の伐採地を毎年作る際には、ニホンジカの餌場とならないような工夫を継続的に実施する必要がある。

表3. 2000haの人工林を自然林に戻すための主伐を実行する年数を設定した場合の年当たりの伐採面積

	2000haの人工林を自然林に復元するまでの年数				
	400年	200年	100年	50年	25年
伐採面積 ha/年	5ha	10ha	20ha	40ha	80ha

3. シナリオを策定するにあたっての仮定の整理

目標とする植生の主要な林冠構成樹種であるブナ・ミズナラ・コナラの生態から、目標植生に到達する時間の違いがわかるような管理シナリオを策定する際には、下記の3つの仮定をおいた。

仮定1) 種子散布距離: 30mと仮定

ブナ・ミズナラ・コナラの種子散布に関する過去の研究事例(表3)から、これらの種の散布距離は、30mと仮定した。

仮定2) 発芽から結実するまでの樹齢: 50年と仮定

ブナ、ミズナラ、コナラの研究事例(表4)から、ミズナラ・コナラは条件が整うと発芽後3~10年と早く結実できる(橋詰1987, 生方2003)が、若い個体は種子生産量が少なく次世代の定着への貢献度が低いことと、ブナは成熟して結実するまでに50年程度かかる(橋詰1987)とされるため、50年と仮定した。

仮定3) 伐採後の萌芽能力: 50年生以上のブナ・ミズナラ・コナラを伐採後は、萌芽せず枯死する

主伐は従来通り50~55年生以上の林分において行われ、植栽木以外の天然更新した樹木も伐採されることを想定すると、過去の研究事例(表5)より50年生以上では、ブナはほとんど萌芽せず(櫻村ら1952)、ミズナラ・コナラは萌芽能力が低下し萌芽による更新は期待できないため(小谷2005, 2012)、伐採後は萌芽せず枯死すると仮定した。

表3. ブナ・ミズナラ・コナラの種子散布距離の研究事例

樹種	場所	森林タイプ	散布者	散布距離	文献
ブナ	奈良	針広混交林	ヒメネズミ	7m	島田 (1997)
ブナ	北海道	ブナ林	ヤマガラ	163~529m	松井ら (2010)
ミズナラ	北海道	広葉樹林	エゾアカネズミ	8.1m (最大 32m)	今ら (2013)
ミズナラ	北海道	トドマツ林	エゾアカネズミ	12.6m (最大 71m)	今ら (2013)
ミズナラ	北海道	トドマツ林-広葉樹林	ミヤマカケス・エゾリス?	>100m	今ら (2013)
ミズナラ	北海道	ミズナラ二次林 (ササ境界)	エゾアカネズミ	30m (最大 42m)	Iida (2004)
ミズナラ	北海道	ミズナラ林	エゾアカネズミ	30-40m	Miyaki & Kikuzawa (1988)
ミズナラ	長野	アカマツ林-ミズナラ林	カケス	250m	中村&小林 (1984)
ミズナラ	不明	不明	アカネズミ	数十 m 以内	宮木&菊沢 (1986)
ミズナラ	不明	不明	風など?	平地地 5m、傾斜地 10-17m	Ohsawa et al. (2007)
コナラ	長野	伐採跡地-広葉樹林	アカネズミ・ヒメネズミ	30m	Takahashi et al. (2006)

表4. ブナ・ミズナラ・コナラの発芽から結実するまでの樹齢の研究事例

樹種	発芽から結実するまでの樹齢
ブナ	鳥取大森山演習林において、ブナの開花開始年齢は40~50年(最低38年)だったが、40~50年生では着果数が少なく、100年生以上にならないと盛果期に入らない(橋詰 1987)。
ミズナラ	北海道において、観察によると最も若齢で着果が認められた個体は樹齢5年生で、その2年後から雄花も着果し始めた(生方 2003)。
コナラ	苗畑で育苗中の実生苗で着花習性を調べたところ、コナラの実生苗は2年生で雌花序と雄花序を着生したが、開花しても落果が多く結実の見られない場合が多い。結実は3年生ではじめて認められた(橋詰 1987)。

表5. ブナ・ミズナラ・コナラの伐採後の萌芽能力の研究事例

樹種	伐採後の萌芽能力
ブナ	ブナは、50年生で萌芽能力は極めて衰え(檜村 et al. 1952)、新潟のブナ二次林においてブナ林を萌芽更新させるためには25年生が最適とされる(紙谷 1986)
ミズナラ	ミズナラは、石川県内のミズナラ二次林伐採後3年目の結果から、株径が18cm以上、株の年齢が36年生以上で株の枯死が認められ、46.5cm以上、79年生以上では生存萌芽がみられた株は存在せず、株径18cm以下であれば萌芽更新を、株径30cm以上であれば天然下種更新を選択すべき(小谷 2005)。
コナラ	コナラは、石川県内のコナラ二次林伐採後2年目の結果から、株の生存率、萌芽本数、樹高も林齢とともに低下する傾向があった。萌芽更新が期待できるのは45年生程度までと考えられた(小谷 2012)

4. シナリオの検討

従来行ってきた管理との比較をするために、下記の3つの最も単純なパターンを想定してシナリオを作った。なお、シナリオを作成するにあたっては、3で検討した3つの仮定を元に、「種子散布の制約（目標植生構成種の種子がいつ到達するか?）」と、「伐採後に各林分が目標植生へ誘導しやすさ」について検討した。

シナリオ①： 「皆伐+植栽無し」（従来行っている管理）

シナリオ②： 「広葉樹保残植栽木伐採+植栽無し」（自然林復元試験地準備「241 た」で実験中）

シナリオ③： 「皆伐+植栽あり」（未実施）

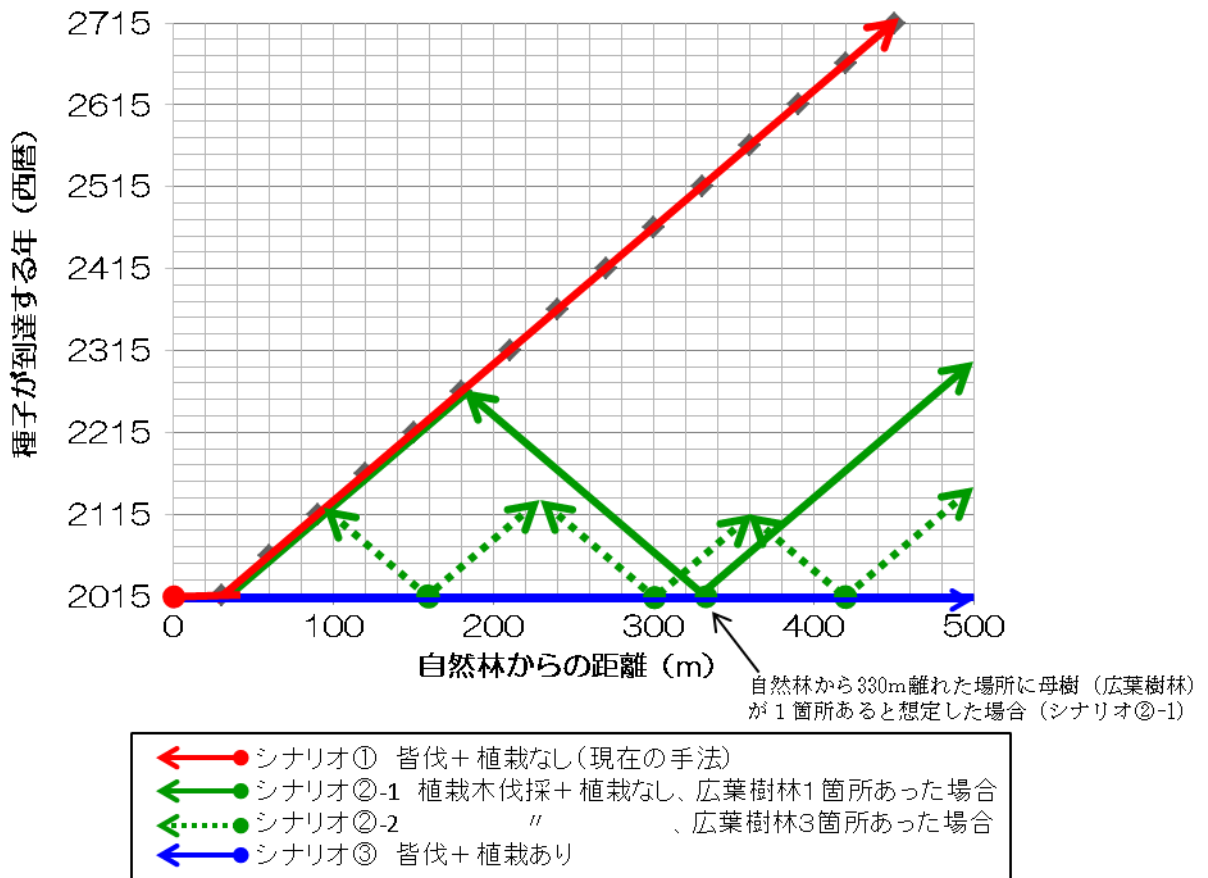


図10. ブナ・ミズナラ・コナラの種子が到達する年（基点となる年を2015年とした）と自然林からの距離の関係（この図は種子が到達する年を予測しているため、目標植生に到達するためには、さらに50～数百年程度かかる予想される）

シナリオ① 皆伐+植栽無し（現在の手法）

- ・自然林から100m離れた林分に目標植生の構成樹種が到達するためには約100年以上の年数が必要であり、自然林から450m離れた林分では種子が到達するまで700年が必要となる（図10）。
- ・皆伐後、植栽しなかった場合には高木性樹種がほとんど定着せず、低木林のような状態が長く続く可能性もある。
- ・管理コストが最も低い

シナリオ② 広葉樹保残植栽木伐採+植栽無し（一部試験中）

- ・人工林内の目標植生の構成樹種の定着状況によって決まるが、シナリオ①よりは早く目標植生に復元できる可能性がある。特に自然林から遠い林分の目標植生の構成樹種が定着している場合、その効果は大きい(図10)。例えば、人工林内に広葉樹林が、自然林から330m地点に1箇所あった場合(シナリオ②-1)、300年となり、シナリオ①と比べて半分以下の年数で全域に種子が到達し、広葉樹が3箇所に適度に散らばって分布している場合(シナリオ②-2)は、約100年(シナリオ①の1/7の年数)で全域に種子が到達するため、シナリオ①より早く目標植生に復元できるかもしれない。
- ・広葉樹が保残された林分では、皆伐による生態系機能の低下を抑えることができる。
- ・シナリオ①に比べて、管理コストがやや高くなる(→主伐だけでなく、間伐の段階から大径の広葉樹を可能な限り保残する工夫が重要)



図11. 広葉樹保残+植栽木伐採実験の様子(241た スギ人工林自然林復元試験地)

シナリオ③ 皆伐+植栽あり

- ・植栽が行われるため、種子が到達することには制約はなく、最も早く種子が到達する。
- ・植栽や管理を徹底的に行えば、自然林からの距離とは関係なく、おおよそ50~100年程度で復元できる可能性が高い。
- ・シナリオ①、②に比べて、管理コストが非常に高くなる

以上のことから、赤谷の森において自然林に復元することを目指している人工林約2000haの中には、目標植生に復元するまでに数百年オーダーの時間がかかる場所があると推定された。そのため自然林から100m以上離れた大規模な人工林については、目標植生に復元するまでの時間の検討、もしくは目標植生の変更などの検討が必要である。もし、これらの林分を目標植生の構成樹種を中心とした森林に速やかに復元する場合には、人工林内の広葉樹の保残や広葉樹の植栽を検討する必要がある。

表6. 各管理シナリオ間のメリットとデメリットのまとめ

管理シナリオ	自然林から離れた林分(100m以上)における目標自然植生構成種の種子到達年	目標植生へ遷移する時間	伐採による生態系機能などの低下	コスト
シナリオ①皆伐+植栽無し	遅い(数百年~700年)	遅い可能性	一時的に低下	低
シナリオ②広葉樹保残植栽木伐採+植栽無し	少し早い(数十年~数百年)	少し早い可能性(数十年~数百年:伐採前の広葉樹の種組成に大きく依存する可能性)	シナリオ①、③より緩和	中
シナリオ③皆伐+植栽あり	かなり早い(植栽のため)	早い	一時的に低下	かなり高

5. 引用文献

- Iida S (2004) Indirect negative influence of dwarf bamboo on survival of *Quercus* acorn by hoarding behavior of wood mice. *Forest Ecology and Management* 202:257-263
- Miyaki M, Kikuzawa K (1988) Dispersal of *Quercus mongolica* acorns in a broadleaved deciduous forest 2. Scatterhoarding by mice. *Forest Ecology and Management* 25:9-16
- Ohsawa T, Tsuda Y, Saito Y, Sawada H, Lde Y (2007) Steep slopes promote downhill dispersal of *Quercus crispula* seeds and weaken the fine-scale genetic structure of seedling populations. *Annals of forest science* 64:405-412
- Takahashi K, Sato K, Washitani I (2006) The role of the wood mouse in *Quercus serrata* acorn dispersal in abandoned cut-over land. *Forest Ecology and Management* 229:120-127
- 樫村 大, 斉藤 久, 貴田 忍 (1952) ブナ萌芽林に関する研究 (I) 伐採 後の萌芽状況 (1). 61 回日林講:117-119
- 宮木 雅, 菊沢 喜 (1986) ネズミ類とドングリ--ミズナラの天然更新と関連して-2. 北方林業 38:p271-274
- 橋詰 隼 (1987) 自然林におけるブナ科植物の生殖器官の生産と散布. 広葉樹研究 4:271-290
- 今 博, 明石 信, 南野 一, 倉本 恵, 飯田 滋 (2013) 北海道中央部の広葉樹林に隣接するトドマツ人工林での種子散布(<特集>森林の"境目"の生態的プロセスを探る). 日本生態学会誌 63:211-218
- 紙谷 智 (1986) 豪雪地帯におけるブナ二次林の再生過程に関する研究(II) : 主要構成樹種の伐り株の樹齢と萌芽能力との関係. 日本林學會誌 68:127-134
- 酒井 敦, 山川 博, 清和 研 (2013) 森林景観において境界効果はどこまで及んでいるのか?(<特集>森林の"境目"の生態的プロセスを探る). 日本生態学会誌 63:261-268
- 小谷 二 (2005) 伐採林齢がミズナラの萌芽更新に与える影響. 石川県林業試験場研究報告:22-27
- 小谷 二 (2012) コナラの伐採齢が萌芽再生に与える影響. 石川県農林総合研究センター林業試験場研究報告 = Bulletin of the Ishikawa Agriculture and Forestry Research Center Forestry Experiment Station:18-22
- 松井 哲, 飯田 滋, 河原 孝, 並川 寛, 平川 浩 (2010) ブナ (*Fagus crenata*) 自生北限域における種子散布距離推定のための晩秋期のヤマガラ (*Parus varius*) の行動圏推定. 日本森林学会誌 92:162-166
- 生方 正 (2003) 北海道におけるミズナラの遺伝資源保存および天然林施業に関する生態遺伝学的研究. 林木育種センター研究報告:25-120
- 中村 浩, 小林 高 (1984) ミズナラ林をつくるのは誰か. アニマ (140):22-27
- 島田 卓 (1997) ヒメネズミによるブナ堅果の分散貯蔵. 森林総合研究所関西支所年報 (平成 8 年) 38:38
- 萩原 信 (1989) 動いてきたブナ林. In: 河野 昭 (ed) 植物の世界. 教育社, 東京, pp 44-45

Appendix ブナ・ミズナラ・コナラの種子散布に関する知見のまとめ

ブナ

奈良県大台ヶ原の針広混交林において 11 月上旬に行われた調査では、ヒメネズミによって約 7m 分散された(島田 1997)。

北海道黒松内町のブナ林において 11 月上旬に調べたヤマガラの行動圏の調査から、ブナ種子散布距離の

限界値は163～529mと推定された(松井 et al. 2010)

ミズナラ

北海道の利根別自然休養林において、エゾアカネズミによって、広葉樹林内では平均8.1m(最大32m)、トドマツ人工林内では平均12.6m(最大71m) 散布された。また、ミズナラ・カシワの当年生の実生を調べると、広葉樹との境界から100m入った人工林内でも存在し、ミヤマカケスやエゾリスが散布者となっている可能性が考えられた(今 et al. 2013)。

北海道のミズナラ二次林(ササ境界)において、エゾアカネズミによって30m(最大42m?) 散布された(Iida 2004)。

北海道のミズナラ林において、エゾアカネズミによって30-40m 散布された(Miyaki and Kikuzawa 1988)。本文未入手。abstractを見ると、エゾアカネズミの行動圏からの推定値?

長野県のアカマツ-ミズナラ林において、カケスによって250m 散布された(中村 and 小林 1984)。

アカネズミが分散貯蔵を行う範囲は数10m以内であると推定されている(宮木 and 菊沢 1986)。

ミズナラ堅果の果皮と周辺の成木のDNAを比較すると、ミズナラ堅果の散布距離は平坦地で平均5m、傾斜地で平均10～17mであると推定された(Ohsawa et al. 2007)。

コナラ

長野県の伐採跡地と広葉樹林の伐採跡地と広葉樹林において、アカネズミとヒメネズミによって30m 散布された(Takahashi et al. 2006)。

樹木種子の散布距離に関する研究例が表になっている(酒井 et al. 2013)。

樹種一覧は以下の通り

ミズキ、カスミザクラ、サカキ、シキミ、ヒサカキ、ヤブニッケイ、イチイ、ミズナラなど(以上鳥散布)、ミズナラ、クリ、トチノキ、マテバシイ、ヤブツバキ、コナラ、アカガシ、オニグルミ(以上げっ歯類による散布)、シラカンバ、アサダ、イタヤカエデ、ヤブハンノキ、ミズメ、ウダイカンバ、モミ、イヌシデ、アカマツ(以上風散布)

移動速度に関する知見

ブナ

間氷期には競争相手の少ない多雪地域において年に200m近い速度で北進した。積雪の少ない太平洋側では半分くらいの北進速度だった(萩原 1989)。