

Ⅲ. 更新促進のための工夫

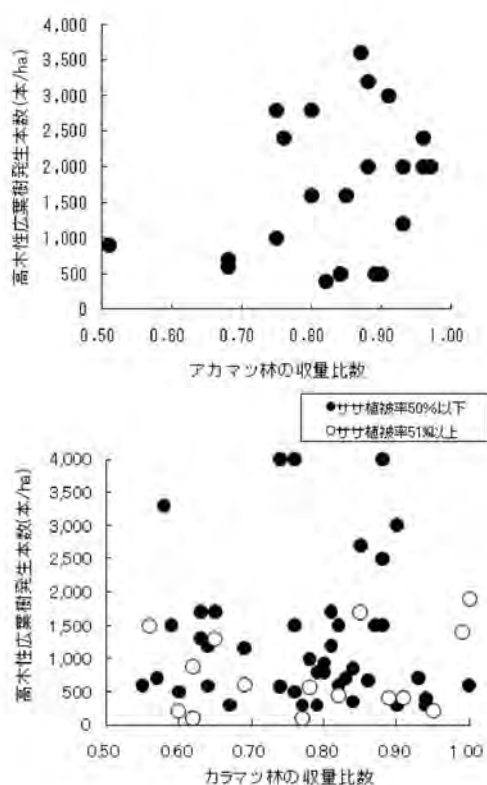
Ⅲ-3. 広葉樹下木が豊富な人工林

針葉樹人工林でも、林内に広葉樹が多く見られる林もたくさんあります。林内に一定量の広葉樹の下木（稚樹を含む）が見られる場合は、それだけで更新（広葉樹林化）が可能になると考えてよいでしょうか。

- 1.アカマツ林やカラマツ林では、収量比数が高い林でも、林内が明るく、下層に広葉樹が生えている場合が多く見られました。
- 2.下層に一定量の広葉樹があれば、列状伐採や皆伐後に萌芽更新だけで十分な稚樹数が確保できるかもしれません。
- 3.これは II-1の「予測2」とは異なるもので、広い伐採跡地でも萌芽発生が旺盛な広葉樹の稚樹群が元々あれば、更新（広葉樹林化）がうまくいく可能性が高まります。

アカマツ林やカラマツ林は広葉樹が多い

長野県内のアカマツ林やカラマツ林で、収量比数と高木性広葉樹の成立本数をしらべました。

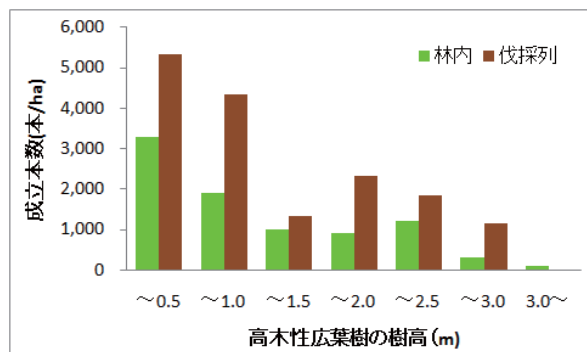


収量比数と林内下木密度との関係

アカマツ林、カラマツ林共に、収量比数が非常に高くても高木性広葉樹の成立本数が多い林分がありました。しかし、ササに覆われたカラマツ林では高木性広葉樹が少ない傾向がありました。

カラマツ林での列状抜き伐り

1伐3残で列状に抜き伐りしたカラマツ林（47年生、樹高23m）で、伐採列だけ広葉樹を伐採し、残存列の広葉樹は残しました。



伐採5年後の広葉樹の本数



伐採後5年目には、伐採列と残存列の広葉樹の樹高差がわからなくなっていました。伐採列の広葉樹は、残存列よりも本数が多く、樹高成長も良好でした。これは、伐採された広葉樹が萌芽更新したことに加えて、新たな実生も発生したためです。

カラマツ林での皆伐

下層に広葉樹が生育しているカラマツ林（59年生）を皆伐し、更新状況を調べました。



59年生カラマツ林
広葉樹は800本/ha
(直径5cm以上)



当年秋の萌芽
更新状況



種名	株/ha
ウリハダカエデ	650
サクラ類(<i>Cerasus</i>)	400
ウワミズザクラ	400
クリ	313
ミズナラ	125
その他	400
小計	2,288
リョウブ	813
ヒトツバカエデ	538
ハウチワカエデ	338
その他	350
小計	2,038
合計	4,325

樹高10cm以上の高木性広葉樹が、2,200株/ha成立
(平均樹高：53cm 最大樹高：215cm)

伐採年の秋までに、萌芽由来の稚樹が平均樹高50cm以上に育ち、これらで更新が可能だと考えられました。

前生樹が多い森林では、特段の配慮をしなくても更新が容易な場合もあります。特にカラマツやアカマツ等林内が明るい林分で萌芽性の強い下木が生えている場合は、省力的に広葉樹林へと誘導出来る可能性が高くなります。

Ⅲ. 更新促進のための工夫

Ⅲ-4. 誘導した散布種子を効果的に利用する

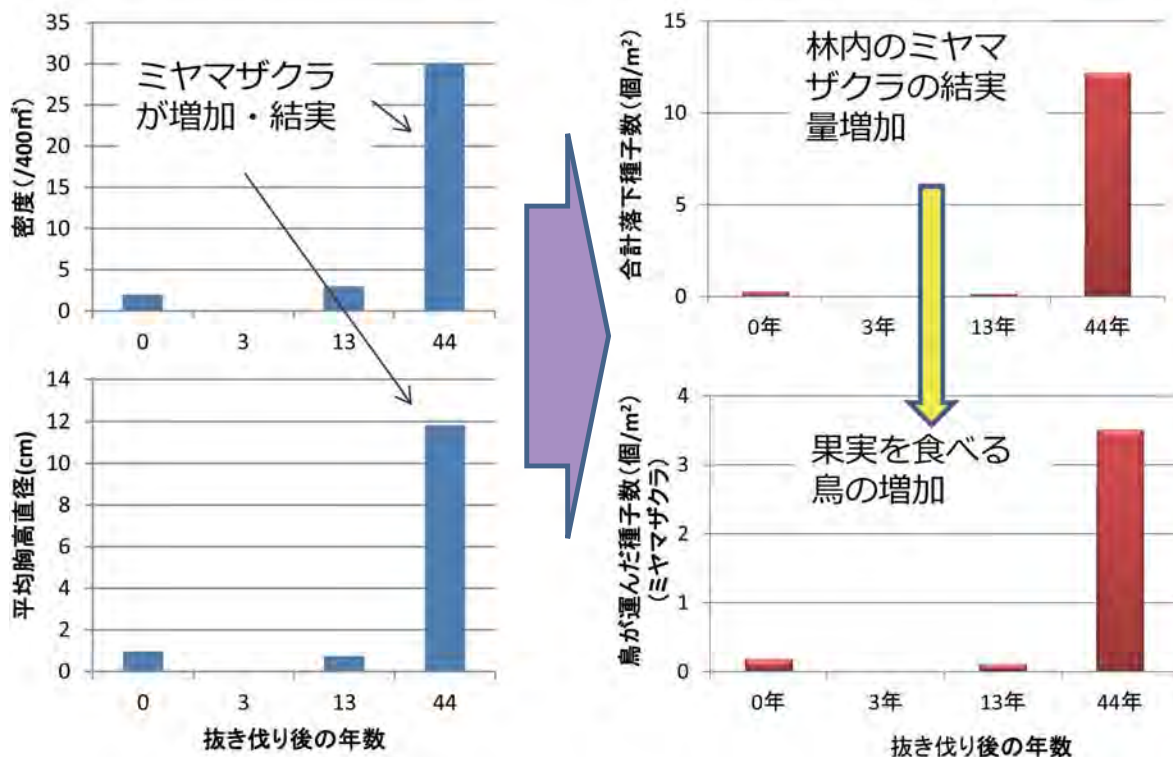
抜き伐りで林冠を疎開すること（林冠ギャップの形成）は、Ⅱ-2で示したとおり、鳥散布種子を誘導する効果があります。それが広葉樹林化につながるかどうかには、抜き伐り後に誘導された種子が発芽して実生や稚樹になるかどうか、また定着した鳥散布樹種が結実し、さらなる誘導効果を発揮するかが重要です。

1.山梨県のカラマツ人工林の間伐（以降、抜き伐りと記述）跡地で調べた結果、抜き伐りから40年以上経過した林分で、主要な構成種であるミヤマザクラの本数・サイズが増加し、一部が結実を始め、新たな林内への鳥散布種子の誘導効果がみられました。

2.しかし、誘導された種子は発芽前に大半がネズミなどの捕食によって死亡し、実生も林床がすでに暗くなっているために、新たに定着するのは困難な状況でした。

抜き伐り後に定着した 鳥散布樹種による誘導効果

抜き伐り後の時間経過にともなうミヤマザクラの定着、結実の状況を調査すると



抜き伐りして44年後にはミヤマザクラが結実を始め、果実を食べる鳥によって散布される種子数が新たに増加し、稚樹数が増えました。

鳥散布種子を誘導した後も上木の処理が必要

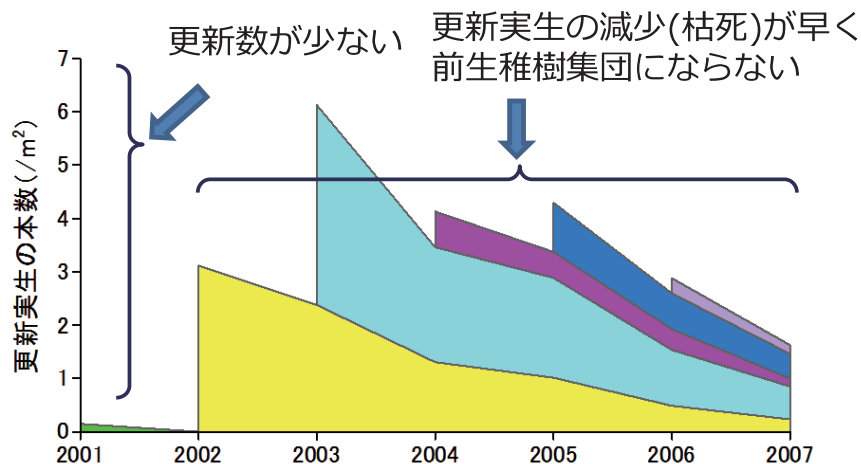


図1 1963年に抜き伐りしたカラマツ人工林における実生の増減

その背景にあるものは・・・

第1の原因：種子が捕食されている

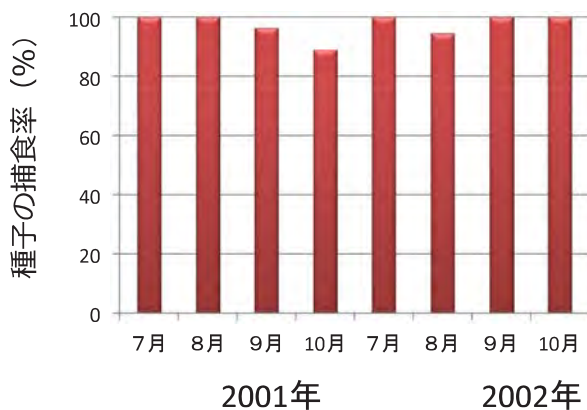


図2 カラマツ人工林に置いた種子が
野ネズミに食べられた割合

第2の原因：林床がすでに暗い

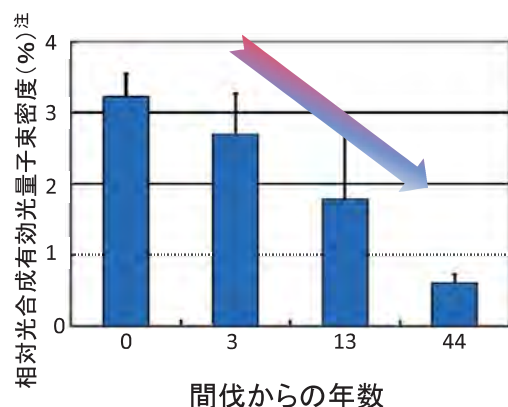


図3 抜き伐り後の年数にとも
なう光環境の変化

注：相対照度とほぼ同じものと考えてください。

伐採後年数が経過すると、1) この林分ではミヤマザクラが更新し、2) それが結実を開始し、3) その果実を食べに鳥類が来る事がわかりました。これを利用してさらに更新を進めるためには、阻害要因の改善が必要（種子捕食者を排除する、光環境を改善する）であることも解りました。

林内に結実している鳥散布型樹木がある場合は、結実による散布誘導効果によって稚樹が増えることが期待できますが、散布された種子の捕食回避や光環境の改善等、追加的な施業が必要となります。

Ⅲ. 更新促進のための工夫

Ⅲ-5. シカが嗜好しない樹種の選択

二ホンジカによる食害は、広葉樹林化を図る上で大きな障害です。シカが非常に多く生息する地域で広葉樹が更新するとすれば、食害を受けない樹種か、あっても生き残れるものに限られます。

そうした樹種の1つにエゴノキ科の落葉小高木・オオバアサガラがあります。シカの食害を受けた森林は下層植生が衰退・消失しますから、小高木とはいえ、水土保持の面からもオオバアサガラによる更新は有効といえます。

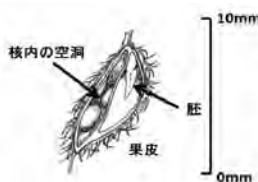
オオバアサガラは本来の広葉樹林の主要構成種ではありませんので、シカ害の回避や密度管理対策が可能になれば、目的とする広葉樹林の組成に戻していくことが必要ですが、ほとんどの場合、目的樹種の前生稚樹がないことから、植栽を検討する必要があります。

オオバアサガラの生態

オオバアサガラは6年生前後から開花・結実します。種子は水に浮く構造となっていますが、風でも運ばれます。種子の寿命は長く埋土種子となり、一定の明るさと湿り気の下で発芽します。



結実の様子



種子の構造



根系による
崩壊防止の様子



一斉林化した伐採跡地



スギ林内での稚樹



萌芽枝とシカ摂食害

ある程度成長して定着すれば、暗い林床でも生育できます。通常シカはこの木を食害しません（不嗜好性）が、他に食べるものが無くなると摂食を始めます。しかし、萌芽再生力が強いいため、多少の摂食害では枯死しません。

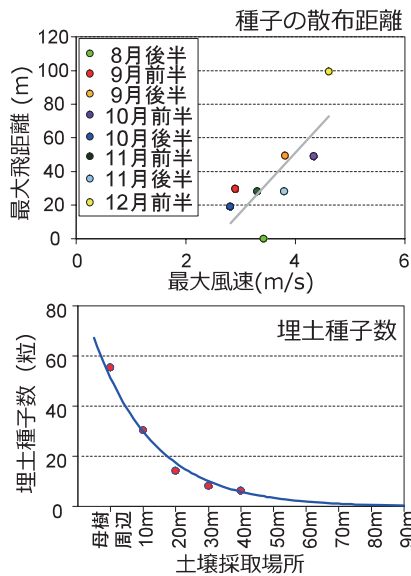


樹皮剥ぎ害
(これでも枯れない)

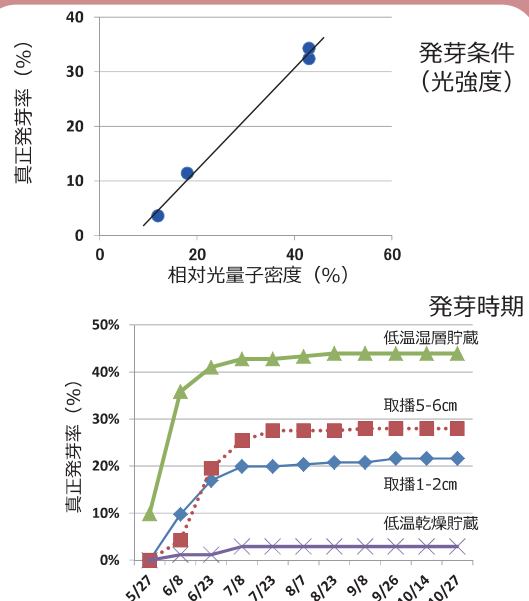


旺盛な萌芽再生力

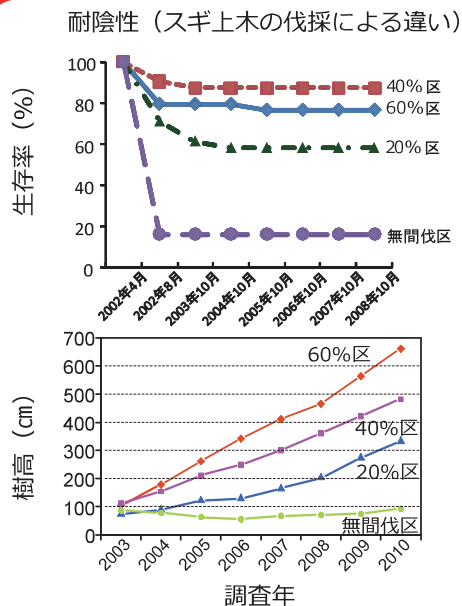
オオバアサガラの発芽・更新・成長特性



1) オオバアサガラの種子は樹高の10倍程度距離まで風で散布され、埋土種子集団も形成する。



2) 6月初旬から中旬頃に、一定の明るさと湿潤な条件があれば発芽する。



3) 林内においても、初期に大きく減少するが、それを乗り越えた個体は容易に枯死しない。

増殖方法

発根率

	6月 (8週目)	7月 (12週目)	8月 (16週目)
吸収剤なし	0%	0%	40%
吸収剤あり	0%	20%	20%

生存個体での発根率

	6月 (8週目)	7月 (12週目)	8月 (16週目)
吸収剤なし	0%	0%	100%
吸収剤あり	0%	40%	100%

吸収剤あり



吸収剤なし



4) 若枝を採取し、直挿しでの更新も可能である。高分子吸収剤を用いれば、発根の成績も良好である。

オオバアサガラのような、シカ不嗜好性、耐食害性を持つ樹種がある場合は、シカ害地域における広葉樹育成の有効な手段となり、公益的機能の維持にも役立ちます。

IV. 植栽による更新促進

IV-1. 菌根菌を使う（その種類と機能）

樹木の根に感染する菌根菌を利用した、つまり菌根菌感染苗を使った植栽技術は、熱帯の荒廃地植林等で実用化されています。天然更新による広葉樹林化が難しく、植栽による更新の補助が必要な場合でも、菌根菌を活用すれば、樹木の成長が促進され良好な結果を得ることが期待できます。菌根菌の種類は樹木や土壌の種類によって異なります。菌根菌を活用した植栽技術を効率的に進めるためにも、菌根菌の特徴を理解しておく必要があります。

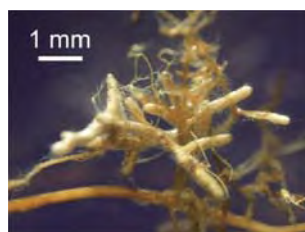
菌根の種類とはたらき

種類

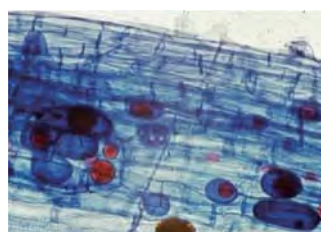
菌根菌は、土壌に生息する真菌（カビ、キノコなど）の一種であり、植物の根に感染して菌根という構造物を形成し、感染した植物との間で物質の授受に関する共生関係を成立させています。

・**外生菌根**・・・ブナ科（ブナ、ナラ、カシ類）やカバノキ科（カンバ、ハンノキ類）に形成されます。菌糸は細根の表面を覆います。外生菌根を形成する菌には、マツタケ、ホンシメジ、テングタケ、イグチ類などキノコを作るものがあります。

・**内生菌根（アーバスキュラー菌根）**・・・スギやヒノキなどの樹木に形成されます。菌糸は根の表面を覆うことなく、根の組織の細胞壁内部にまで侵入します。



外生菌根



内生菌根

はたらき

菌根菌の菌糸は土壌中を広範囲に拡がり、養水分を効率的に吸収し、樹木に供給します。そのため、樹木の成長は向上します。



左：菌根菌接種苗
右：非接種苗

1. 菌根菌は、内生菌根菌と外生菌根菌とに大きく分けられます。
2. 我が国における人工林の主要樹種であるスギやヒノキは内生菌根を形成します。一方、ブナ科やカバノキ科などの広葉樹は外生菌根を形成します。ですから、広葉樹植栽には外生根菌を上手に活用することが有効となります^{*R1}。

IV. 植栽による更新促進

IV-2. 菌根菌を使う（感染苗による成長促進）

共生微生物である菌根菌を活用して広葉樹林化を行う場合、実生苗に菌根菌を接種して感染苗を作成して、それを現場に植栽することになります。そこで、具体的な感染苗の作成方法を検討しました。また、菌根菌感染の効果を人工林皆伐跡地の土壤に植栽して実証試験をしました。

菌根菌感染苗の作り方とその効果

作り方

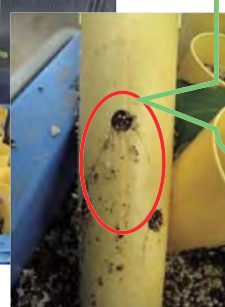
菌が増殖した土壤に
穴の開いたポットを
埋め込む



穴を通じて菌が
侵入感染します

ポット苗 菌増殖土壤

成長促進効果



穴から内部に菌糸
が侵入

ツチグリ菌の簡易接種法



ウラジロガシ



コジイ

菌根菌を感染させた苗を人工林皆伐跡地土壤にて6ヶ月栽培。
左より、ツチグリ接種、ニセショウロ接種、非接種。

1. 菌根菌としては、ツチグリ、ニセショウロ、ウラムラサキ、コツブタケのような、植生の遷移の早い時期に出現する種を用いると容易に感染苗をつくることができます。
2. ツチグリ、ニセショウロを接種したシイ・カシの苗木は、人工林伐採跡地のような養分の乏しい積悪土壤に植栽しても順調に成長し、現地に植栽した場合でも感染苗の成長は順調でした。
3. 国内でも、感染苗育成技術が実用化されています。

感染苗作成等についての詳細は、巻末の問い合わせ先をご覧ください。

Ⅳ. 植栽による更新促進

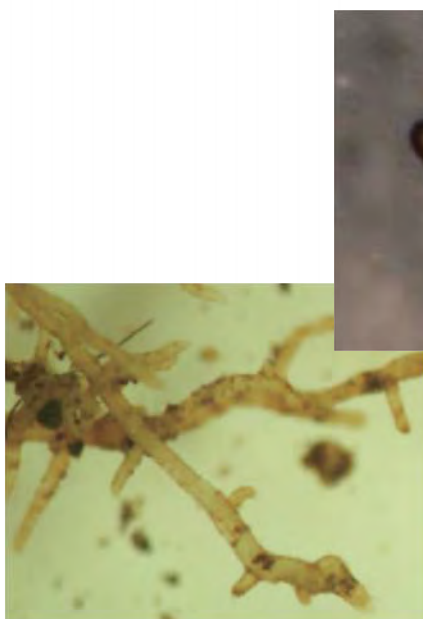
Ⅳ-3. ヒノキ林における外生菌根菌の分布

スギ・ヒノキなどの人工林植栽樹種は、ブナ科の広葉樹とは菌根菌の種類が異なります。そのことが、スギ・ヒノキ人工林では容易に天然更新による広葉樹林化が図れない原因となる可能性があります。

植栽木の根にアーバスキュラー（内生）菌根菌が優占するヒノキ林分においても、ブナ科の広葉樹と共生する外生菌根菌は見られるのでしょうか？ また、どれくらい、どのような種類の外生菌根菌がいるのでしょうか？

三重県内のヒノキ林内に生育するブナ科の実生や林縁部から異なる場所に植えたコナラ実生における外生菌根の形成状況を調べるとともに、ヒノキ林土壌を採取して、その土壌に定着する外生菌根菌を調べました。それらの結果から、感染苗木植栽の有効性を考えて見ました。

ヒノキ林には外生菌根菌が少ない



コナラ細根に外生菌根菌が定着している（上）、していない（下）状態



調査を行った三重県内のヒノキ人工林9林分

- ヒノキ林内に自生するブナ科実生の根にも外生菌根は形成されるものの、その程度は個体によって大きく異なりました。
- ヒノキ林分内の土壌には外生菌根菌が潜在していますが、その量は林縁から数10m程度の短い距離で急激に減少します。その種類数も林縁からの距離に伴い減少しました。

キノコが見つからなくても大丈夫

野外植栽法



無菌的に育成した
コナラ実生苗を
現場に埋設

釣菌法

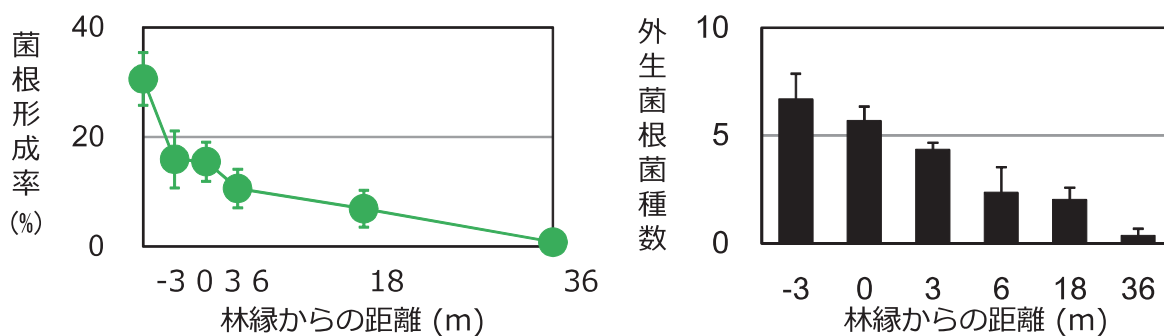


採取してきた土壌に
コナラ種子を
無菌播種して育成

外生菌根菌にはキノコを作るものが多く含まれますが、キノコが出ていなくても、外生菌根性の苗木を野外に植えたり、野外の土で育てたりすることで、土の中に潜んでいる菌を引っ張り出すことができます。

外生菌根菌の多様性は林内に行くほど単調化

外生菌根の形成に関わる菌の種多様性を遺伝子解析で調べました。
菌類の種の特特定は、核リボソームDNAの塩基配列を読み取りました。



ヒノキ人工林における菌根菌の分布状況

外生菌根菌は、ヒノキ林の林縁から林内に行くにつれて少なくなり、種多様性も低下しました。

外生菌根菌と共生しないスギ・ヒノキの人工林内で、外生菌根性のブナ科などの広葉樹稚樹が順調に育つためには、土壌中の外生菌根菌が少なすぎることが想定されます。広葉樹稚樹が見られない一斉林や積悪地などでは特に共生菌の利用が有効で、外生菌根菌を施用して林内土壌の菌根菌の密度を高めるか、接種苗（IV-2 参照）を使うことで促進効果が期待できます。

Ⅳ. 植栽による更新促進

Ⅳ-4. 広葉樹の種内変異（地理的分化）

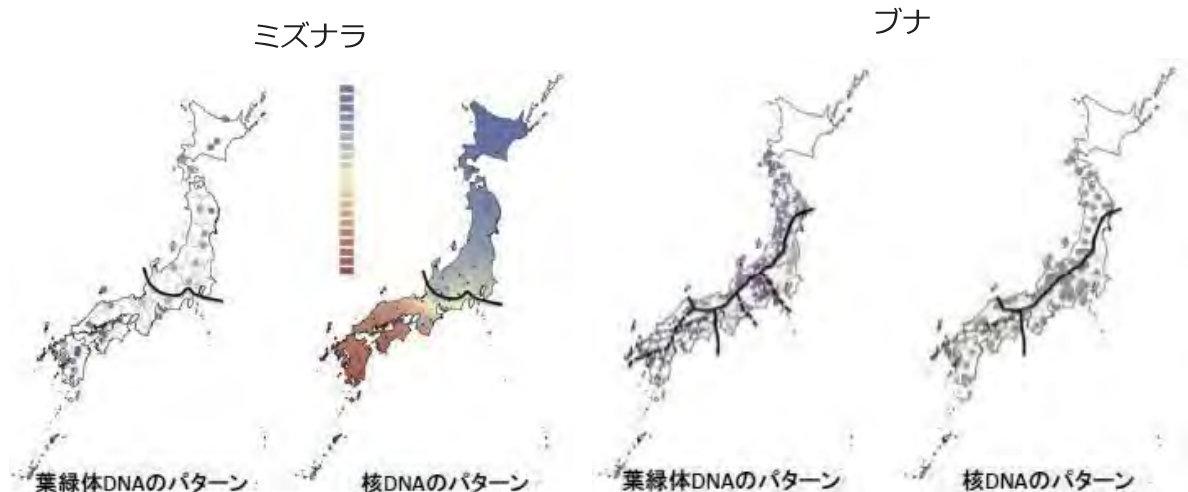
樹木は長期にわたって環境変化に適応しながら、分布域を拡大または縮小させてきました。そのため、同じ樹種であっても地域によって異なる遺伝的変異を持つ集団があること（地理的分化）が知られています。

広葉樹林化のために、苗木の植栽が必要となる場合、地理的分化を無視して遺伝的に遠いものを植栽すると、その気候など立地条件に適応できずに枯死、成長不良を起こす可能性があります。また成林したとしても、そこから発生する花粉や種子によって、自然集団が遺伝的に攪乱され、生態系を壊す恐れがあります。

つまり、採種や苗木育成にあたっては、対象樹種の地理的分化についての情報を得て、適正な処理をすることが重要です。そこで、主要な樹種の地理的分化を調べました。

DNAのパターンから見た地理的分化

遺伝子（DNA）は、細胞の中の「核」と呼ばれる部分と「葉緑体」と呼ばれる部分に入っています。核DNAと葉緑体DNAのそれぞれについて地理的分化を調査し、明確に大きく不連続な違いが見られるところに線を引いて、ゾーニングを行いました。^{*R2}



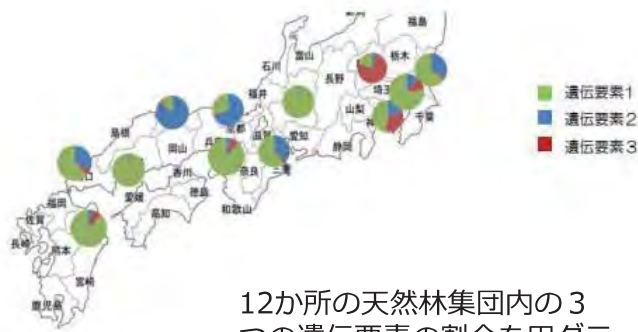
※実線は地理的分化が明確で、遺伝的に不連続になる境界線を示しています。

- ミズナラでは大別して東日本、西日本型の2つのグループに分かれます（境界線の存在）。ブナでは、葉緑体DNAでは7グループに分かれましたが、核DNAの分析からは、太平洋側、日本海側、西日本型の3グループに分かれます。
- この不連続線を超えて、種子や苗木を移動させることは、遺伝子攪乱を生じさせる行為となる可能性があります。

常緑性カシ類の地理的分化

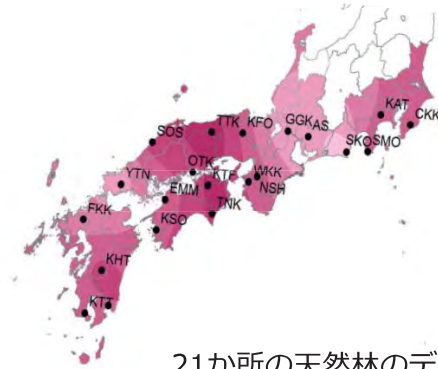
西南日本での広葉樹林化で植栽の可能性がある常緑のカシ類について、シラカシとアラカシを対象として、核DNAの地理的分化を調べました。

シラカシ



12か所の天然林集団内の3つの遺伝要素の割合を円グラフで表しました。関東の集団に遺伝要素3が目立つこと、日本海側の集団で遺伝要素2の割合が高いことなどが示されました。

アラカシ



21か所の天然林のデータをもとに、空間補完を行って全体の遺伝要素の分布を推定しました。地理的な違いがわかりました。

この2種のカシ類では、明確な不連続性を示す境界線は引かれませんでした。地域によって遺伝的変異に違いがあり、地理的分化が起こっていることがわかりました。

この他の主要なカシ類をはじめ、分布域の広い広葉樹を中心に、地理的分化を明らかにする調査・解析が進んでいます。

1. 広域に分布するブナやミズナラでは、地域的な変異の差が大きく、不連続な地理的分化が見られます。
2. 照葉樹林帯に分布するシラカシやアラカシでは、地理的分化はあるものの、不連続になることはありませんでした。
3. 地理的分化を考慮しない遠距離移動による苗木の植栽は、その後の適応不良を引き起こし、成長が不良になったり枯死率が高くなったりする可能性があります（IV-6参照）。
4. 植栽個体が成長したとしても、周囲の個体と交雑することで遺伝的な攪乱を招きます。その結果、世代が進むうちに不適応な個体の割合が増加し、集団全体が衰退していく可能性が高くなります。
5. 広葉樹10種の地理的分化については、既刊の「広葉樹の種苗の移動に関する遺伝的ガイドライン」* R^2 をご覧ください。

IV. 植栽による更新促進

IV-5. 地域性種子の確保

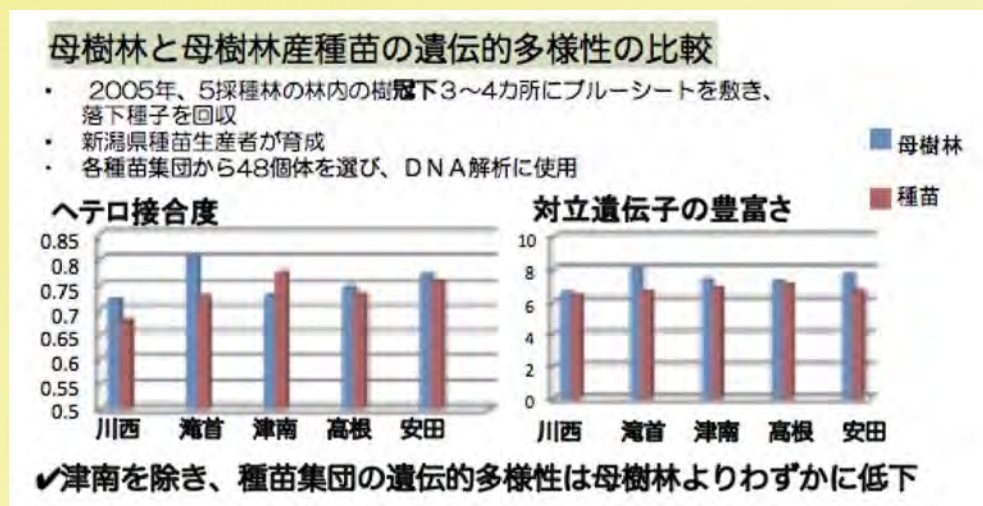
植栽を行う地域に適した種子を確保するには、IV-4で述べたような同じゾーンの中（同一の地理的分化内の集団）であったとしても、なるべく近くの種子源から採種することが最も適切な方法です。また、種子源とする母樹の数が少ないと遺伝的多様性の低下を引き起こします。このようなことを考慮して母樹林（採種林）を設定し、十分な個体数の母樹から種子を集めて育苗することが推奨されます。

そこで、新潟県と山梨県のブナの事例から、母樹林の持つ遺伝的多様性と、そこから採種して育苗した苗木が持つ遺伝的多様性を調べました。

母樹林と遺伝的多様性（新潟県の例）

新潟県では、県内に9か所のブナの母樹林（採種林）を設定しています。これらは県境地域の優良な天然林もあれば、標高の低い地域の二次林などもあります。そこで遺伝的多様性を調査しました。

その結果、このような二次林も十分な遺伝的多様性を保有しており、地域の採種林としては適当であることがわかりました。なお、隔離された小さな林分は遺伝的多様性が低く、採種林としては不適当でした。



「ヘテロ接合度」と「対立遺伝子の豊富さ」は、遺伝的多様性の指標として使われており、これらの値が高ければ多様性が高いと言えます。

各母樹林で3-4ヶ所に採取用シートを敷き、その落下種子から得られた苗木(種苗)は、元の母樹林よりもやや低い遺伝的多様性を持つことがわかりました。母樹林内で、幅広く採種する場合は少なくとも4-5ヶ所以上の場所で採種することが望ましいといえます。

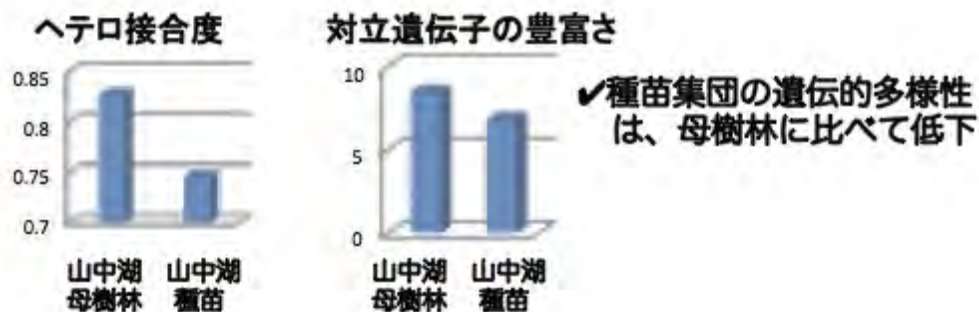
母樹林と遺伝的多様性（山梨県の例）

山梨県では、植栽事業を進めている富士山周辺で、天然林2か所と二次林1か所を母樹林（採種林）として整備を進めています。

これらは同一ゾーン（地理的分化）内にありいずれも、十分な遺伝的多様性を保有しており、この地域の採種林としては適切であることがわかりました。

母樹林と母樹林産種苗の遺伝的多様性の比較

- ・ 山中湖採種林内で母樹を10本選定。
- ・ 2006年に各母樹の樹冠下にブルーシートを敷き、落下種子を回収
- ・ 山梨県森林研究所富士吉田試験園にて育苗し、48個体を選びDNA解析に使用



1つの母樹林内で、10本の母樹から採種する方法で得られた苗木は、元の母樹林よりもやや低い遺伝的多様性を持つことがわかりました。このことより、母樹を選んで採種する場合は少なくとも10本以上の母樹から採種することが望ましいといえます。

1. IV-4で述べた各ゾーン内でも遠く離れると少しずつ遺伝的変異は変化していきますので、その地域の種子を用いて育苗し、植栽することが最も安全です。
2. 地域の単位としては県内を基本とすることが考えられます。遺伝子の調査によって県内が異なるゾーンに分けられる場合には、県内を複数に分ける必要があります。また、県内で環境条件が大きく異なる地域がある場合には、可能であれば複数の地域に分けその内に母樹林を設定することが推奨されます。
3. そのため、遺伝子調査が行われていない樹種については、当面、県内を地域の単位（1ゾーン）として考えて下さい。
4. 母樹林での採種方法にも配慮し、少数の母樹の種子に偏らないように、多くの母樹から種子を得るようにして下さい。

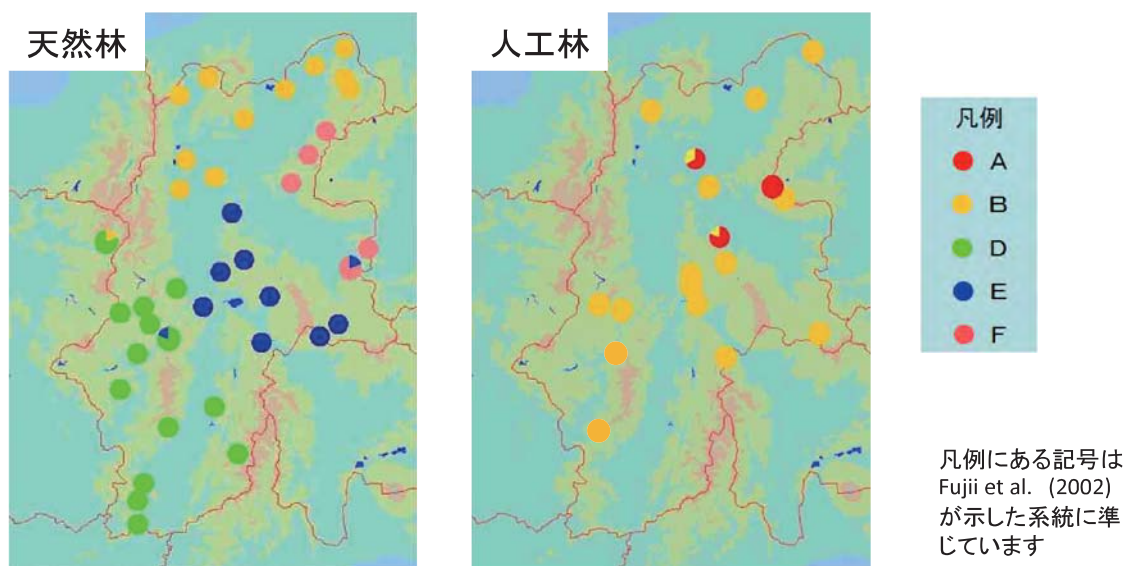
IV. 植栽による更新促進

IV-6. 異なる地域の苗木を植える危険性

さて、現在植栽されている苗木はどこから来ているのでしょうか。また、地域産（同一ゾーン産）ではない苗木を植栽すると、どのような問題があるのでしょうか。ブナを事例として長野県で調査を行ったところ、次のようなことがわかりました。

1. 長野県内に植えられたブナには、天然林の系統（地域産）と異なる場合があります。ことが確認できました。
2. 地域を越えてブナを植えると、雪や寒さの影響で苗木に障害を起こす可能性が高まることがわかりました。
3. 広葉樹の種苗生産者も、種子を外部から購入している場合がありますので、地域性種苗を求める場合は、原産地を確かめる必要があります。

ブナ天然林と人工林の系統



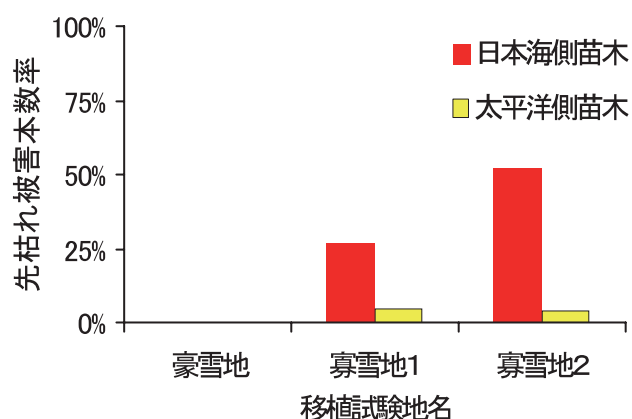
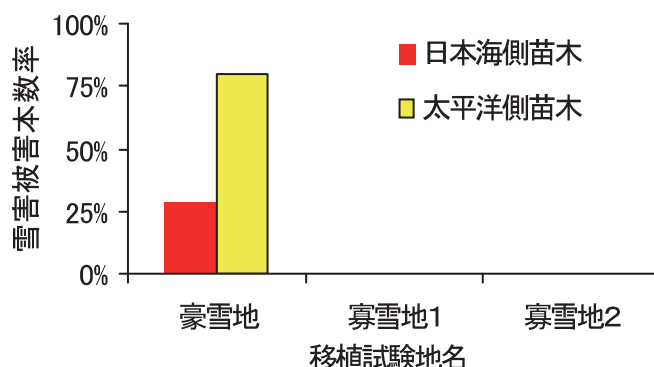
ブナ林の葉緑体DNAを調べたところ、長野県内のブナ天然林には4種類の系統が見られ、これらの地理的な分化が明らかになりました（注：ここでは、IV-4よりも詳細に地域による系統の違いを分けています）。一方、人工林には長野県の北部の天然林に見られる系統（B）と、長野県の天然林には存在しない系統（A）が植えられている事が解りました。長野県の中南部の天然林に見られたD、E、Fの系統は、人工林には植栽されていませんでした。

異なる地域の苗木を植えてみたら

地域性種子や種苗の重要性を明らかにするために、日本海側母樹を起源とするブナ苗と、太平洋側の母樹を起源とするブナ苗（3年生）を混ぜて、長野県北部の豪雪地1か所と、中部の寡雪地2か所に植栽し、翌春の状況を調べました。



雪による幹折れ（豪雪地）



先枯れ(寡雪地)

豪雪地では雪による幹折れや幹曲がりやが太平洋側産の苗木で多発していました。一方、寡雪地では、梢端だけが個損する先枯れが、日本海側産の由来のブナに、多くみられました。ブナは地理的分化によって、それぞれの自然条件に適応していることがわかります。

ブナは、地域によって系統が異なり、他の地域の系統の苗木を植えると、成長が悪くなることがあります。広域に分布する広葉樹の苗木を利用する場合、種子の原産地を確認し、地域性種子、種苗を用いることが重要です。

また、今後このような個体が開花、結実をした場合、周辺天然個体と交雑して遺伝子攪乱を起こし、地域の生態系を壊す（脆弱にする）恐れがあります。