

c スギ人工林に天然更新した広葉樹の種組成に保残帯からの距離と土地利用前歴が及ぼす影響

1. はじめに

日本の森林面積は、国土の3分の2にあたる約2500万haであり、人工林はその内の約41%を占めている。しかし、主に戦後の拡大造林により造成された針葉樹人工林（以下、人工林）において、現在では木材価格の低迷、林業労働者の減少などにより、管理が不足している林分が多く見られる。また、想定されている管理が行われないことにより木材生産機能のみならず、森林の持つ公益的機能が失われることが懸念されている。今後の人工林のあり方を考える上では、木材生産機能を求めるよりも元の天然林に戻すことによって地域本来の生態系を回復し、森林の公益的機能を高める林分を考えることも2001年度制定の「森林・林業基本法」で政策として求められるようになり、それに関する研究も行われている（牧野、2009）。

人工林を天然林に転換する上では、将来的に天然林の林冠を構成しうる樹木が人工林内にどれだけ天然更新しているかを把握することがまず重要である（Igarashi and Kiyono, 2008）。人工林の種多様性、特に植物種の多様性が植栽木の樹種や林齢、林内の光環境、枯立木や倒木の有無などにより大きく異なることが知られている（長池、2000）。人工林に出現する樹種に及ぼす要因としては、人工林の土地利用前歴と施業履歴（Utsugi *et al.* 2006）や、種子の供給源となる母樹源からの距離（Kodani, 2006）、さらに母樹源からの距離が近いと天然更新が豊富である（長池ほか、2008）ことが指摘されてきた。その中でも、土地利用前歴が重要であることがIto *et al.*（2004）によって明らかにされている。群馬県の北部における長池ほか（2008）の研究によると、スギ人工林から100m以内に広葉樹林（以下、保残帯）がある場合は、ない場合よりも広葉樹の成木、稚樹ともに密度が高くなっており、スギ人工林の前の履歴が天然林である一代目造林地（以下、一代目）と、ヒノキ人工林の伐採後にスギを再造林した林である二代目造林地（以下、二代目）とでは、一代目の方が二代目よりも地域の極相種であるブナなどの広葉樹の更新が豊富であることが明らかにされている。母樹源として期待される保残帯があることによって、二代目においても天然更新が促進される可能性があるが、それに関する研究はない。また、保残帯からの距離が人工林内の天然更新数の割合や、更新木の種子散布型に大きく影響していることから（Kodani, 2006）、保残帯の有無とそれからの距離、さらに土地利用前歴の交互作用が、人工林内の天然更新に影響を及ぼしていることが想定されるが、それらを

明らかにした研究は見られない。

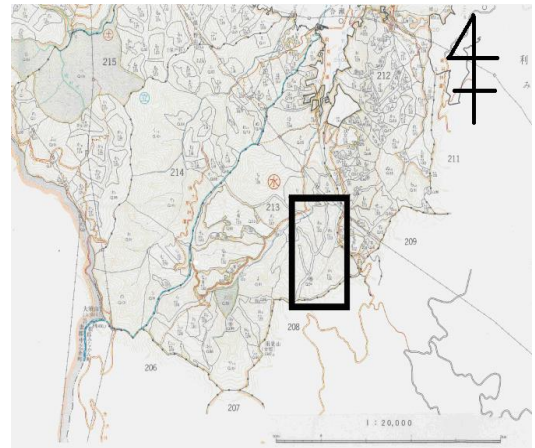
そこで本研究では、保残帯と一代目、二代目人工林が接している場所を対象として、保残帯に生育している広葉樹が人工林内のどの距離まで更新しているか、さらに同じような種組成の保残帯に隣接する、広葉樹林を林種転換した一代目と針葉樹人工林を再造林した二代目とでそれぞれの人工林内に更新する広葉樹の種類や更新特性に違いがあるのかを明らかにすることを目的に調査を行った。

2. 調査地概要

本研究は、合瀬谷エリアで行った(図-1)。現在、赤谷地域でも天然林に復元すべき人工林が多くあり、赤谷プロジェクトの生物多様性復元研究事業の一環として本研究は行われた。

調査地の標高は約900～980m、緯度と経度はそれぞれおよそ36°42'N、138°51'Eである。調査地周辺の土壌は褐色森林土(Bd)で、傾斜角は0～40°の東向きの斜面である。調査地から最も近いみなかみ町における気象庁の観測データによると、年平均降水量は1692.3mm、年平均気温は10.2℃、年平均積雪量は150cmの豪雪地帯である。またニホンジカの生息も少数ながら確認されている。

調査地である一代目人工林は36年生のスギ林、二代目人工林は37年生のスギ林であるが、一代目には一部にヒノキも植栽されている。二代目人工林の初回の植栽種は今回と同じスギである。一代目、二代目の林分の施業履歴は同様である。また、本調査地内の林床にはササとシダは生育しておらず、草本植物もほとんど見られなかった。



エリア 1 : 赤谷源流エリア
 エリア 2 : 小出俣エリア
 エリア 3 : 法師沢・ムタコ沢

エリア 4 : 旧三国街道エリ

エリア 5 : 仏岩エリア
 エリア 6 : 合瀬谷エリア

図-1. 調査地位置図；利根川源流域（左）と合瀬谷エリア（右）

3. 調査区の設定

調査区は尾根部に保残帯、その隣接した斜面下に人工林が位置し、さらに一代目と二代目が隣接して地形条件が同様の場所を選んだ（図-2）。図-2 左の図より「か1」が一代目、「わ1」が二代目、「か4」が保残帯である。本研究は保残帯からの距離別により一代目と二代目とで人工林内の広葉樹の更新の違いがあるのかを調査目的としているため、調査区は保残帯のある尾根部から人工林内へベルト状に設置した（図-3）。調査区の大きさは水平距離で10×90mであり、尾根部の25mの範囲を保残帯、残りの65mの範囲を人工林として設置した。調査区は一代目、二代目にそれぞれ4カ所ずつ設置した。それぞれの調査区の配置状況を図-2 右の図に示す。さらにこの調査区を10×10mずつに区切り、その四隅と中央に杭を埋設し調査を行った。

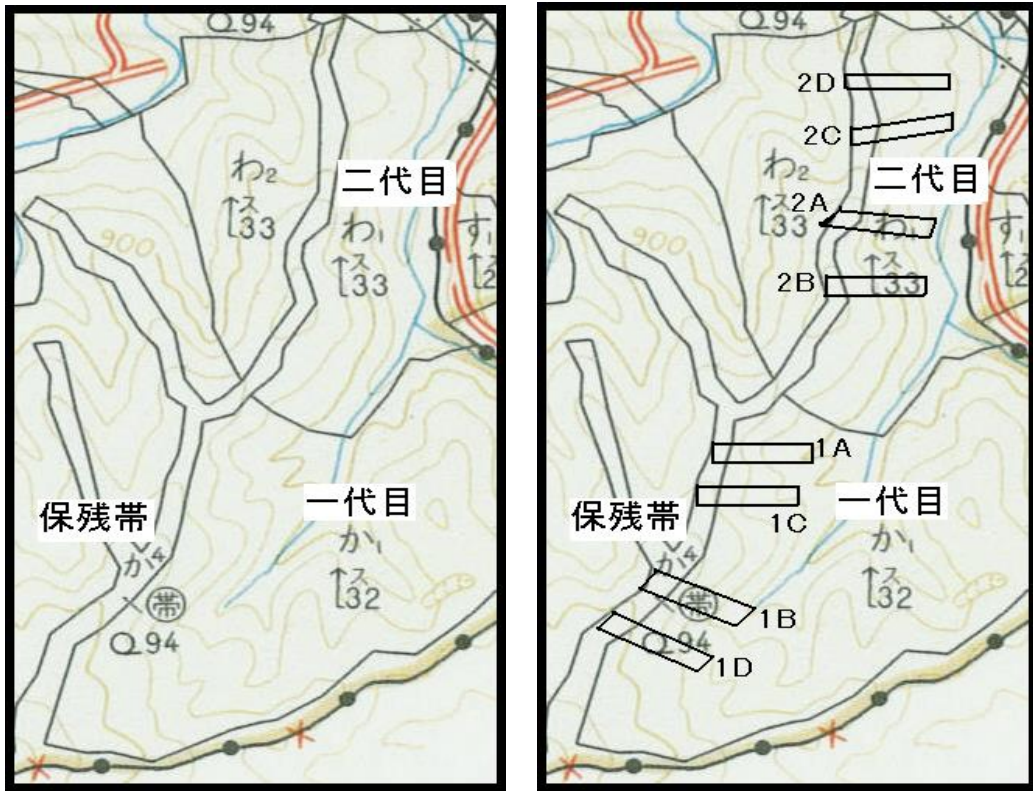


図-2. 調査地（左）と調査区の設置状況（右）

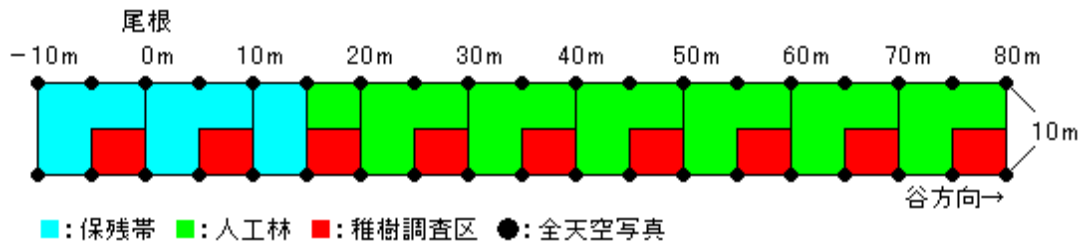


図-3. 調査区の概略図



図-4. 手前に一部保残帯を含む一代目スギ人工林(左)、二代目スギ人工林(右)



図-5. 尾根部保残帯

4. 調査方法

4-1. 毎木・稚樹調査

調査区内で胸高直径3 cm以上の生立木と枯立木を対象(木本性ツルも含む)にして毎木調査を行った。各幹の胸高周囲測定位置にナンバーテープをつけ個体識別を行った。スチールメジャーを用いて胸高周囲長を計測し、胸高周囲長が90 cm以上の個体にはスプレーで計測位置をマークした。毎木調査は、調査区内をさらに5×5 mに区切られた単位で行った。

稚樹調査は図-3 に示すように調査区内の10×10 mごとの中で5×5 mに区切られた単位のうち、斜面下方に向かって右側下部を対象にした(図-3)。稚樹長30 cm以上で胸高直径3 cm未満の高木性稚樹を対象として、稚樹長30 cm以上2 m未満の個体は稚樹長を、稚樹長が2 m以上の個体は胸高直径をノギスで計測した。稚樹調査でもそれぞれの稚樹にナンバーテープをつけ個体識別を行った。

出現した種については、菊沢(1983)、林(1985)、勝田ほか(1998)、長谷川・平(2000)、花田ほか(2006)、野々村ほか(2008)、和田ほか(2009)を用いて、生活型および種子散布型を調べた。

4-2. 生育環境調査

林内の光環境を推定するため、魚眼レンズを付けたデジタルカメラを用いて全天空写真の撮影を行った。撮影は調査区長辺上を5 m間隔に、地上高1 mで行った(図-3)。撮影された全天空写真の解析にはGap Light Analyzerを用いて相対日射量を算出した。

また、コンパス測量により各調査区の傾斜角を測定した。

5. 結果

5-1. 林内環境

各調査区の平均相対日射量は1 A、1 B、1 C、1 Dがそれぞれ13.1%、13.7%、15.7%、14.8%、2 A、2 B、2 C、2 Dが10.6%、10.4%、11.3%、6.9%であった。それらの調査区上の位置を横軸に平均相対日射量の変化を図-6, 7に示す。一代目全体と二代目全体(以下、各代)に関してt検定を行ったところ、一代目の方で相対日射量が高いことが認められた($p < 0.001$)。

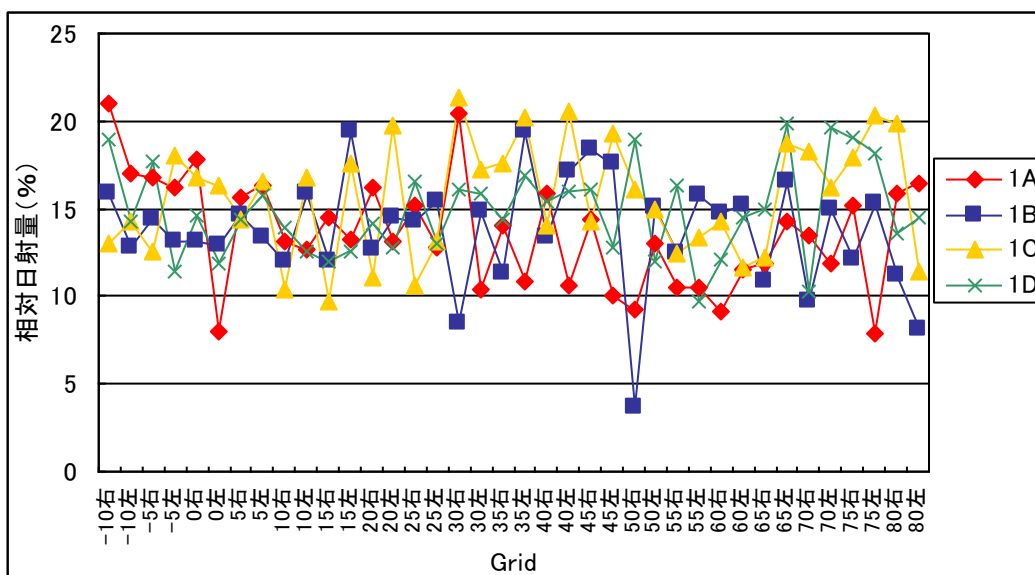


図-6. 一代目林分の相対日射量の変化

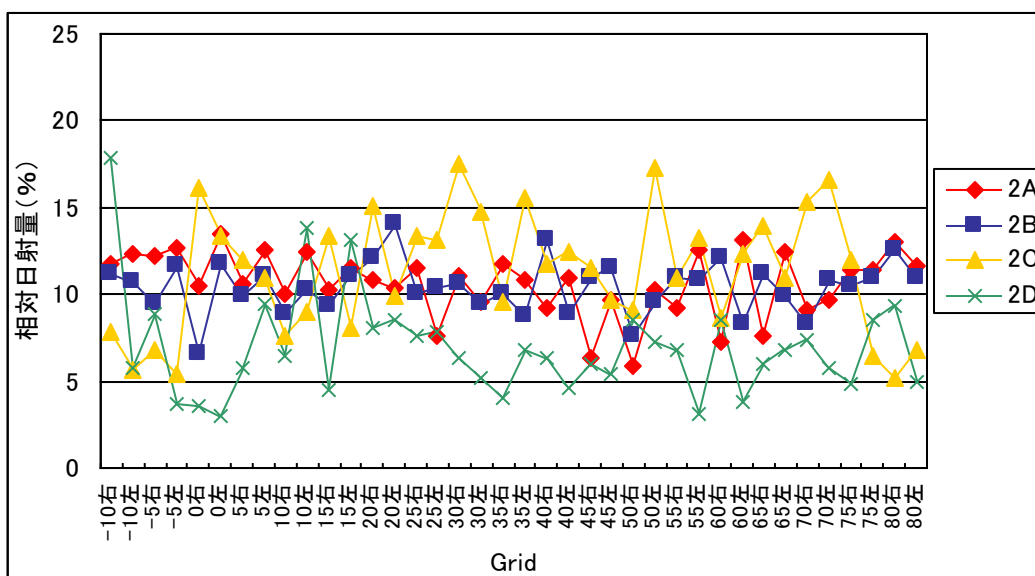


図-7. 二代目林分の相対日射量の変化

次に、各調査区の平均傾斜角を示すと、1 A、1 B、1 C、1 Dがそれぞれ 4°、27°、25°、19°、2 A、2 B、2 C、2 Dが30°、22°、25°、12°であった（図-8, 9）。各代の平均傾斜角についてt検定を行ったが有意な差は認められなかった ($p > 0.5$)。しかしながら、個々の調査区間では図にみられるように差異があり、地形に違いがあるように見える。

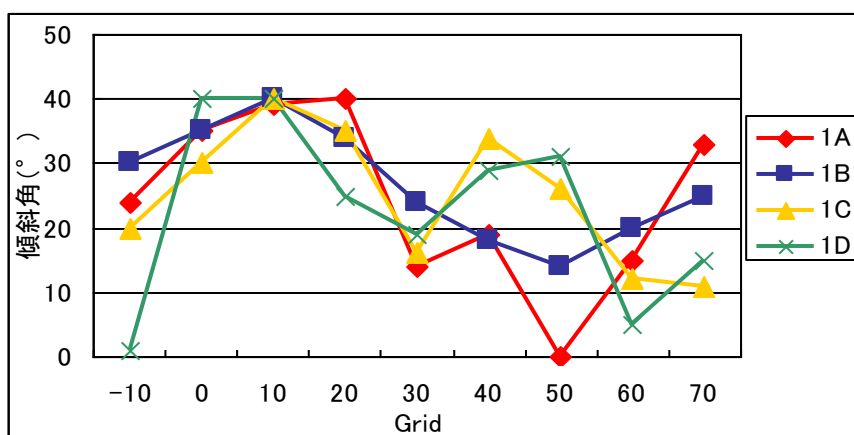


図-8. 一代目林分の傾斜角

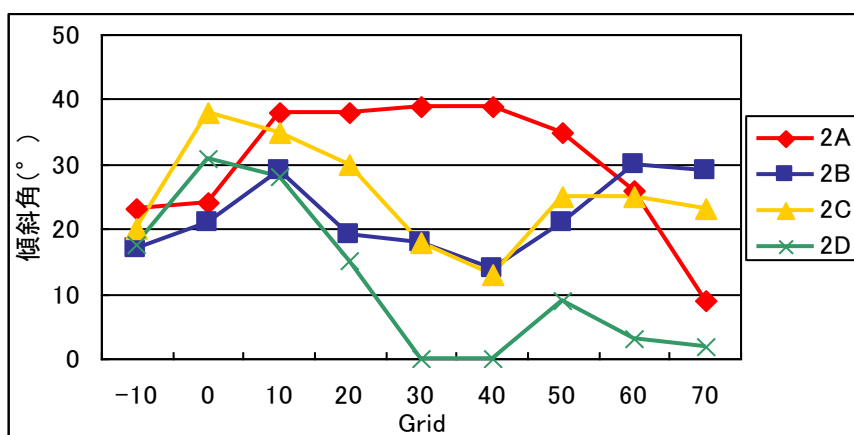


図-9. 二代目林分の傾斜角

5-2. 保残帯の林分状況

保残帯に出現した樹木の種数は一代目が33種、二代目が32種で、保残帯の調査区内の平均樹種数は一代目が17.8種、二代目が17.3種であった(表-1, 図-10)。また幹密度総数は一代目が220本、二代目が222本で、保残帯の調査区内の平均幹密度は一代目が5.5本、二代目が5.6本であった(表-1, 図-10)。t検定を樹種数と幹密度総数に関して行ったところ、どちらも有意な差は認められなかった($p > 0.9$)。

表-1. 保残帯を構成する樹種とその幹密度 (本/250 m²)

種名(学名)	1A	1B	1C	1D	一代目合計	2A	2B	2C	2D	二代目合計
アオダモ (<i>Fraxinus lanuginosa</i>)	2	3	0	0	5	1	2	0	3	6
アオハダ (<i>Ilex macropoda</i>)	2	3	1	0	6	2	7	4	1	14
アカシデ (<i>Carpinus laxiflora</i>)	7	0	6	3	16	2	0	14	4	20
アズキナシ (<i>Sorbus alnifolia</i>)	0	9	1	3	13	4	0	0	1	5
アブラチャン (<i>Lindera praecox</i>)	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
アワブキ (<i>Meliosma myriantha</i>)	0	2	0	1	3	0	0	1	0	1
イタヤカエデ (<i>Acer mono</i>)	0	0	3	0	3	1	0	0	2	3
イヌシデ (<i>Carpinus tschonoskii</i>)	0	6	0	0	6	1	9	0	0	10
イヌブナ (<i>Fagus japonica</i>)	0	5	7	0	12	1	0	19	14	34
ウダイカンバ (<i>Betula maximowicziana</i>)	0	1	0	0	1	0	0	2	0	2
ウラジロノキ (<i>Sorbus japonica</i>)	1	0	0	0	1	2	0	0	0	2
ウリカエデ (<i>Acer crataegifolium</i>)	0	2	0	0	2	0	1	0	0	1
ウリハダカエデ (<i>Acer rufinerve</i>)	0	1	0	7	8	0	3	1	0	4
オオヤマザクラ (<i>Prunus sargentii</i>)	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
オノオレカンバ (<i>Betula schmidtii</i>)	2	5	3	1	11	3	4	1	0	8
クマシデ (<i>Carpinus japonica</i>)	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
クマノミズキ (<i>Swida macrophylla</i>)	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
クマヤナギ (<i>Berchemia racemosa</i>)	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0
クリ (<i>Castanea crenata</i>)	0	1	4	1	6	4	1	3	0	8
コナラ (<i>Quercus serrata</i>)	5	7	6	1	19	4	7	1	7	19
コハウチワカエデ (<i>Acer sieboldianum</i>)	4	8	0	3	15	4	4	5	6	19
サワシバ (<i>Carpinus cordata</i>)	1	1	3	0	5	0	1	0	0	1
タカノツメ (<i>Evodiopanax innovans</i>)	4	3	0	0	7	4	1	1	1	7
ツルウメモドキ (<i>Celastrus orbiculatus</i>)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
ナツツバキ (<i>Stewartia pseudocamellia</i>)	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
ハウチワカエデ (<i>Acer japonicum</i>)	0	0	2	0	2	0	0	4	0	4
ハクウンボク (<i>Syrax obassia</i>)	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0
ヒナウチワカエデ (<i>Acer tenuifolium</i>)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
ブナ (<i>Fagus crenata</i>)	0	3	1	0	4	0	0	7	2	9
ホオノキ (<i>Magnolia obovata</i>)	0	0	0	3	3	3	1	0	2	6
マンサク (<i>Hamamelis japonica</i>)	2	4	3	5	14	3	4	1	0	8
ミズキ (<i>Swida controversa</i>)	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0
ミズナラ (<i>Quercus crispula</i>)	6	7	6	4	23	5	2	2	4	13
ミズメ (<i>Betula grossa</i>)	0	1	1	0	2	0	0	1	0	1
ヤマハンノキ (<i>Alnus hirsuta</i>)	0	3	0	1	4	0	0	0	0	0
ヤマボウシ (<i>Benthamidia japonica</i>)	1	0	0	0	1	2	0	0	1	3
ヤマモミジ (<i>Acer amoenum</i>)	0	1	2	1	4	0	1	0	0	1
リョウブ (<i>Clethra barbinervis</i>)	10	1	3	1	15	0	1	3	0	4
総計	48	78	54	40	220	48	54	71	49	222

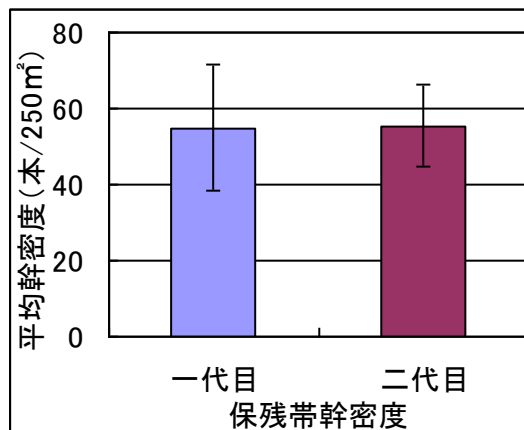
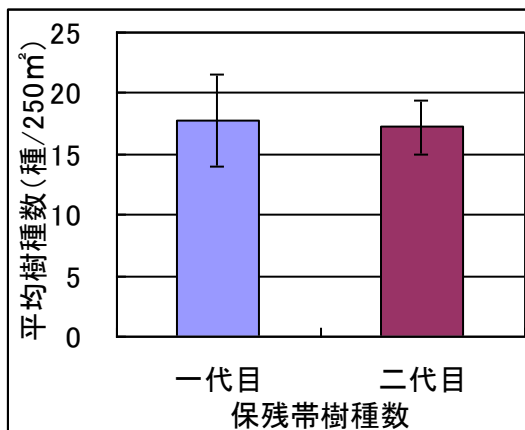


図-10 保残帯の樹種数と幹密度（左：樹種数、右：幹密度。縦棒は標準偏差を示す）

Hornによる重複度指数を用いて各調査区の種組成についてクラスター解析を行った。その結果、1Dでやや異なっていたが、ほとんどのプロットで類似度が0.6以上であり全体的に類似していた（図-11）。以上の結果から、一代目と二代目の人工林と隣接する保残帯の種組成や立木密度に違いは見られなかったため、人工林になる以前の植生や人工林への種子供給の条件は同等であるといえる。

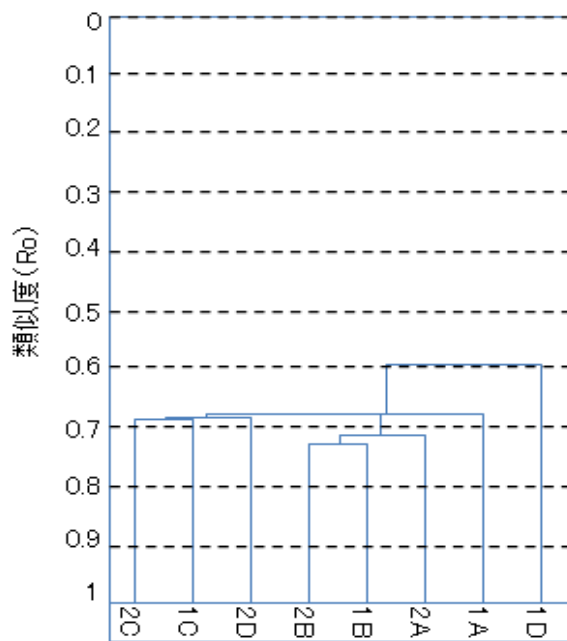


図-11. 保残帯調査区ごとの Horn の重複度指数によるクラスター解析

本調査地での種組成を調べるために、各代で胸高断面積合計から相対優占度を求めた（図-12）。これによると広葉樹で相対優占度が高いのはミズナラ、コナラ、オノオレカンバ、イヌブナ、アカシデであった。ブナ属に関しては、ブナよりもイヌブナで相対優占度が高かった。図-12 の結果からブナ属とコナラ属を主組成とする混交林が、本調査地の安定した二次林のように推定される。

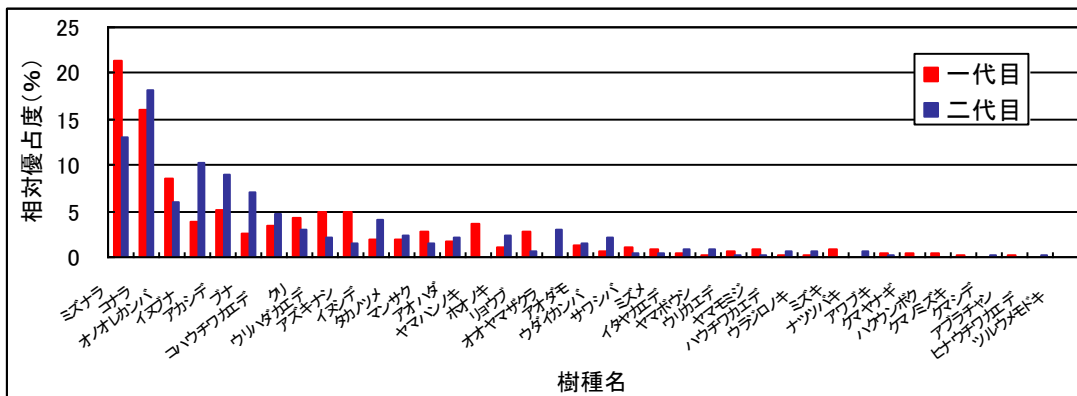


図-12. 保残帯における一代目と二代目の林分の樹種別相対優占度

5-3. 人工林の林分状況

スギの胸高断面積合計（以下、BA）での占有率は一代目が50～77%で、二代目は76～93%であった（表-2,3）。スギの胸高直径（以下、DBH）および幹密度、BAでの占有率に関してt検定を行ったところ、全てにおいて再造林した二代目の方が高いことが認められた（ $p < 0.01$ ）。また樹木全体とスギについて、幹密度、BAを各代でt検定したところ、樹木全体における幹密度では一代目が多く（ $p < 0.001$ ）、BAでは二代目のスギが多いと認められた（ $p < 0.01$ ）。一方、全体のBAおよびスギの幹密度では一代目と二代目とで有意な差は認められなかった。

表-2. 一代目スギ人工林の胸高直径と占有率

一代目	1A	1B	1C	1D	合計	平均	標準偏差
スギ平均胸高直径(cm)	13.6	12.8	15.0	11.7	53.1	13.3	1.37
全体幹密度(本/ha)	2956	4022	3078	2856	12911	3228	537
スギ幹密度(本/ha)	1467	1733	1278	1156	5633	1408	252
スギ幹密度;占有率(%)	49.6	43.1	41.5	40.5		43.7	4.11
全体胸高断面積(m ² /ha)	32.86	41.33	35.49	30.28	139.97	34.99	4.73
スギ胸高断面積(m ² /ha)	25.21	26.07	27.10	15.19	93.57	23.39	5.52
スギ胸高断面積;占有率(%)	76.7	63.1	76.3	50.2		66.6	12.65

表-3. 二代目スギ人工林の胸高直径と占有率

二代目	2A	2B	2C	2D	合計	平均	標準偏差
スギ平均胸高直径(cm)	15.3	16.3	18.1	16.6	66.1	16.6	1.16
全体幹密度(本/ha)	1856	2767	1656	2056	8333	2083	484
スギ幹密度(本/ha)	933	1689	1200	1256	5078	1269	313
スギ幹密度;占有率(%)	50.3	61.0	72.5	61.1	61.1	61.2	9.06
全体胸高断面積(m ² /ha)	26.73	45.20	38.00	37.73	147.65	36.91	7.62
スギ胸高断面積(m ² /ha)	20.36	38.93	35.29	31.20	125.78	31.44	8.04
スギ胸高断面積;占有率(%)	76.1	86.1	92.9	82.7	84.5	84.5	6.98

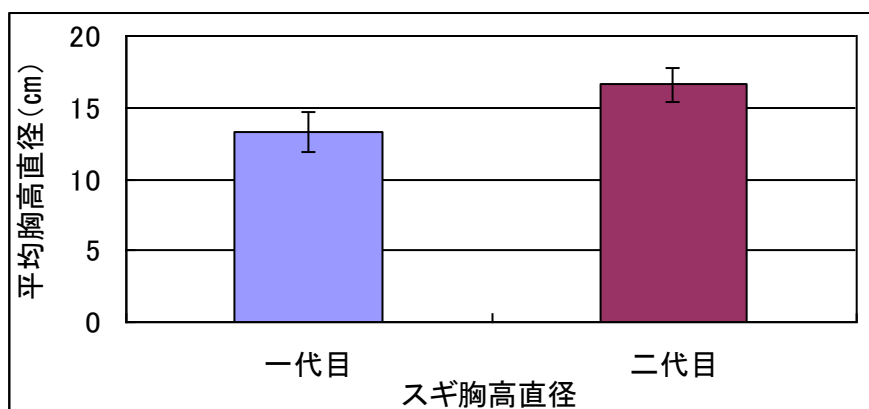


図-13. 人工林のスギ胸高直径の一代目、二代目での比較（縦棒は標準偏差を示す）

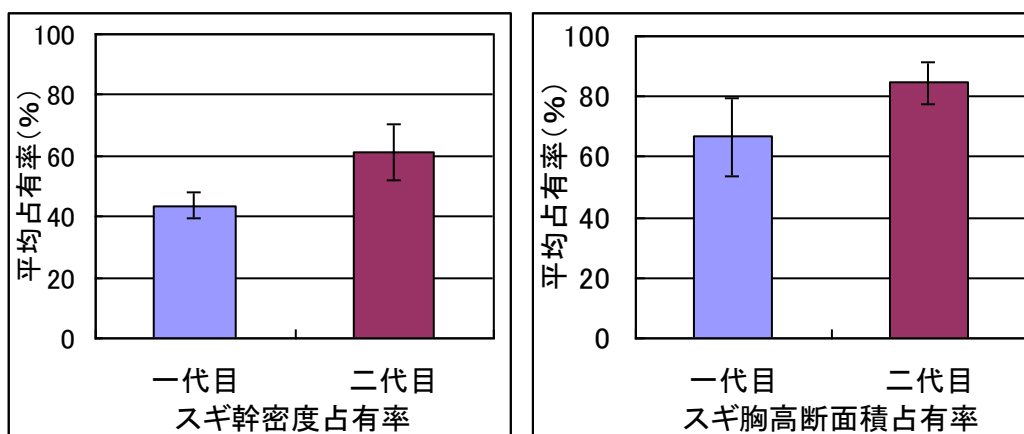


図-14. 人工林のスギ幹密度と BA の占有率に関する一代目、二代目での比較（縦棒は標準偏差を示す）

人工林内に天然更新した樹種数はスギ、ヒノキを除き一代目が58種、二代目が42種で、人工林の調査区内の平均樹種数は一代目が35種、二代目が20種であった（表-4、図-15）。また天然更新している幹密度の合計は一代目が651本、二代目が291本で、調査区内の平均幹密度は一代目が163本、二代目が

73本であった(表-4, 図-15)。t検定を樹種数と幹密度に関して行ったところ、いずれに関しても新たに林種転換した一代目の林分の方が多いことが認められた($p < 0.05$)。

表-4. 人工林を構成する樹種とその幹密度(本/650㎡)

種名(学名)	1A	1B	1C	1D	一代目合計	2A	2B	2C	2D	二代目合計
アオダモ (<i>Fraxinus lanuginosa</i>)	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
アオハダ (<i>Ilex macropoda</i>)	1	1	1	1	4	0	0	0	0	0
アカシデ (<i>Carpinus laxiflora</i>)	3	0	5	0	8	0	0	0	1	1
アサダ (<i>Ostrya japonica</i>)	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
アズキナシ (<i>Sorbus alnifolia</i>)	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
アブラチャン (<i>Lindera praecox</i>)	5	0	10	15	30	7	0	8	2	17
アワブキ (<i>Meliosma myriantha</i>)	0	9	6	5	20	0	0	1	5	6
イタヤカエデ (<i>Acer mono</i>)	12	14	10	10	46	0	10	0	8	18
イヌシデ (<i>Carpinus tschonoskii</i>)	2	1	0	2	5	0	0	0	0	0
イヌブナ (<i>Fagus japonica</i>)	1	3	2	0	6	1	0	0	0	1
ウダイカンバ (<i>Betula maximowicziana</i>)	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0
ウラジロモミ (<i>Abies homolepis</i>)	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
ウリカエデ (<i>Acer crataegifolium</i>)	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0
ウリハダカエデ (<i>Acer rufinerve</i>)	3	16	12	3	34	0	7	0	3	10
ウワミズザクラ (<i>Prunus grayana</i>)	3	1	0	1	5	0	5	2	5	12
オオバボダイジュ (<i>Tilia maximowicziana</i>)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
オオミヤマガマズミ (<i>Viburnum wrightii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
オオヤマザクラ (<i>Prunus sargentii</i>)	1	1	1	1	4	0	0	0	0	0
オヒョウ (<i>Ulmus laciniata</i>)	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
カジカエデ (<i>Acer diabolicum</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
カスミザクラ (<i>Prunus leveilleana</i>)	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
キハダ (<i>Phellodendron amurense</i>)	0	5	1	2	8	2	4	2	1	9
キブシ (<i>Stachyurus praecox</i>)	6	1	1	0	8	4	0	3	0	7

種名(学名)	1A	1B	1C	1D	一代目合計	2A	2B	2C	2D	二代目合計
クマシデ (<i>Carpinus japonica</i>)	0	6	10	9	25	0	0	0	0	0
クマノミズキ (<i>Swida macrophylla</i>)	1	1	1	9	12	2	1	0	1	4
クマヤナギ (<i>Berchemia racemosa</i>)	1	0	1	5	7	0	2	2	2	6
クリ (<i>Castanea crenata</i>)	5	27	9	5	46	9	3	2	17	31
ケヤキ (<i>Zelkova serrata</i>)	0	0	1	3	4	1	2	0	0	3
コナラ (<i>Quercus serrata</i>)	10	6	1	0	17	0	9	0	1	10
コハウチワカエデ (<i>Acer sieboldianum</i>)	7	8	5	0	20	0	1	0	0	1
サルナシ (<i>Actinidia arguta</i>)	1	0	2	6	9	16	3	1	2	22
サワシバ (<i>Carpinus cordata</i>)	4	0	13	7	24	0	13	0	0	13
サンカクヅル (<i>Vitis flexuosa</i>)	0	0	0	0	0	4	0	0	1	5
サンショウ (<i>Zanthoxylum piperitum</i>)	1	0	1	0	2	2	0	4	0	6
シナノキ (<i>Tilia japonica</i>)	0	2	0	0	2	2	0	0	0	2
タラノキ (<i>Aralia elata</i>)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
ダンゴウバイ (<i>Lindera obtusiloba</i>)	2	1	0	0	3	0	0	0	0	0
チョウジザクラ (<i>Prunus apetala</i>)	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
ツノハシバミ (<i>Corylus sieboldiana</i>)	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ツルウメモドキ (<i>Celastrus orbiculatus</i>)	1	0	0	3	4	2	2	1	0	5
テツカエデ (<i>Acer nipponicum</i>)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
ナツツバキ (<i>Stewartia pseudocamellia</i>)	1	0	2	2	5	0	0	0	0	0
ヌルデ (<i>Rhus javanica</i>)	2	0	1	1	4	2	2	0	0	4
ハウチワカエデ (<i>Acer japonicum</i>)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
ハクウンボク (<i>Styrax obassia</i>)	2	1	1	0	4	0	1	0	2	3
バッコヤナギ (<i>Salix hultenii</i>)	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
ハリギリ (<i>Kalopanax pictus</i>)	1	3	1	0	5	0	0	0	1	1
ハルニレ (<i>Ulmus davidiana</i>)	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
ヒトツバカエデ (<i>Acer distylum</i>)	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0
フサザクラ (<i>Euptelea polyandra</i>)	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0
フジ (<i>Wisteria floribunda</i>)	0	0	3	0	3	0	3	0	0	3
フジキ (<i>Cladrastis platycarpa</i>)	2	3	4	0	9	4	1	3	0	8
ブナ (<i>Fagus crenata</i>)	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ホオノキ (<i>Magnolia obovata</i>)	14	16	22	27	79	11	16	5	11	43
マタタビ (<i>Actinidia polygama</i>)	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
マツブサ (<i>Schisandra nigra</i>)	0	0	1	0	1	1	2	0	0	3
マンサク (<i>Hamamelis japonica</i>)	3	15	4	1	23	0	3	0	0	3
ミズキ (<i>Swida controversa</i>)	1	3	5	10	19	4	2	1	0	7
ミズナラ (<i>Quercus crispula</i>)	21	37	14	8	80	0	1	0	6	7
ミズメ (<i>Betula grossa</i>)	5	2	3	1	11	0	0	0	0	0
ミツデカエデ (<i>Acer cissifolium</i>)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
メグスリノキ (<i>Acer nikoense</i>)	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
ヤマザクラ (<i>Prunus jamasakura</i>)	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2
ヤマハンノキ (<i>Alnus hirsuta</i>)	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0
ヤマブドウ (<i>Vitis coignetiae</i>)	0	0	1	1	2	1	0	2	0	3
ヤマボウシ (<i>Benthamedia japonica</i>)	1	5	0	0	6	0	0	0	0	0
ヤマモミジ (<i>Acer amoenum</i>)	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
リョウブ (<i>Clethra barbinervis</i>)	3	9	3	0	15	0	0	0	0	0
総計	133	206	162	150	651	82	97	41	71	291

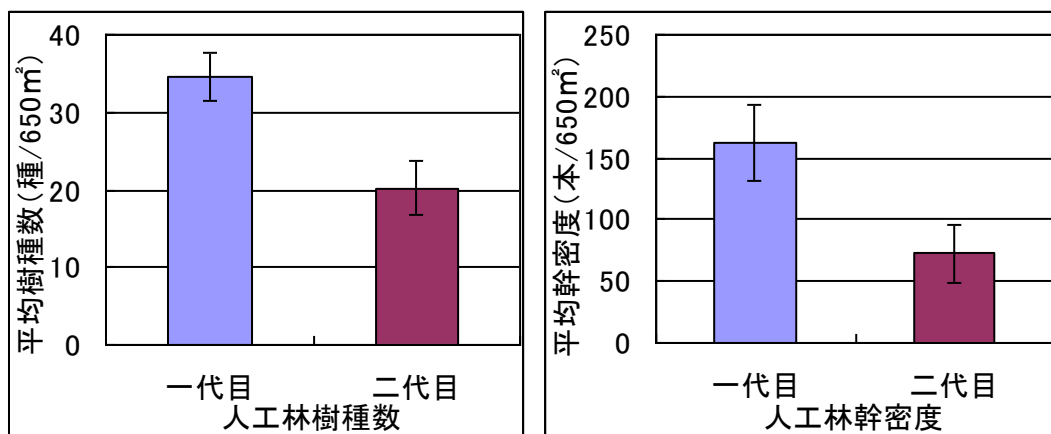


図-15. 人工林に天然更新した樹種数と幹密度（左：樹種数、右：幹密度。縦棒は標準偏差を示す）

保残帯においてと同様に Horn による重複度指数を用いて種組成のクラスター解析を行ったところ、一代目の各調査区は全て類似度が 0.7 以上と類似していたが、二代目の各調査区は 2 つのグループに分かれた（図-16）。これは二代目林分における傾斜等、微地形が影響を及ぼしているのかもしれない。

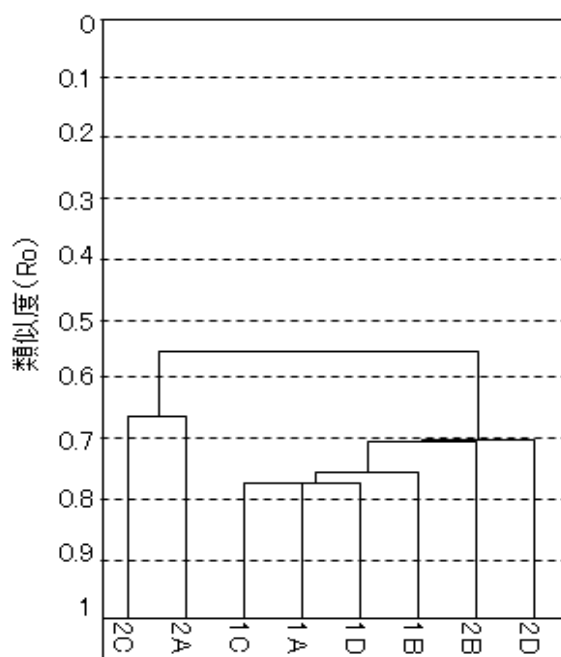


図-16. 人工林調査区ごとの Horn の重複度指数によるクラスター解析

傾斜角と更新木の関係をグラフに示した（図-17）。一代目は 20° 前後で最も

更新が多くなる傾向があった。また、二代目のみに傾斜角と更新木幹密度で負の相関が認められた ($p < 0.05$)。なお、二代目には 40° を超える場所はなかったため幹密度は 0 となっている。

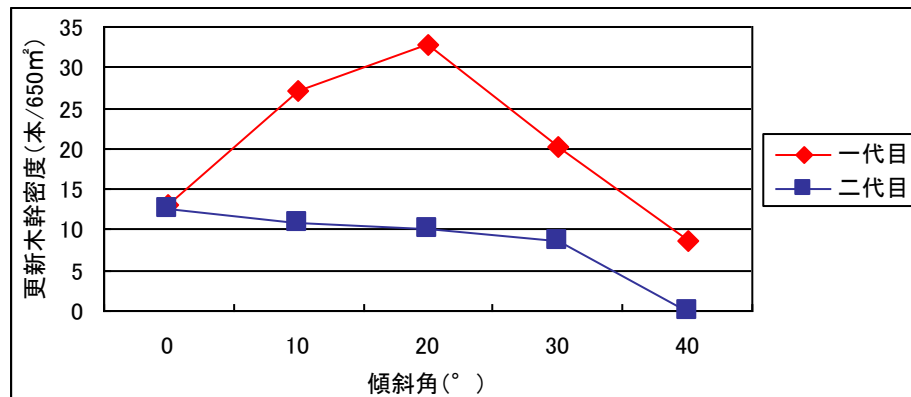


図-17. 人工林における傾斜角と平均更新木幹密度との関係

5-4. 人工林の種組成

種組成の異なりが、どのような種の出現の違いによってもたらされているかを検討した。その結果、一代目のみに出現したのは 24 種、二代目のみに出現したのは 10 種であった (表-5)。調査地周辺の極相種であるブナは一代目のみに確認された (表-5)。

表-5. 一代目または二代目のみに出現した種の生活型と種子散布型

一代目のみ出現			二代目のみ出現		
種名	生活型	種子散布型	種名	生活型	種子散布型
アオダモ	落葉高木	風散布	オオバボダイジュ	落葉高木	風散布
アサダ	落葉高木	風散布	オオミヤマガマズミ	落葉低木	鳥散布
アズキナシ	落葉高木	鳥散布	オヒョウ	落葉高木	風散布
イヌシデ	落葉高木	風散布	カジカエデ	落葉高木	風散布
ウダイカンバ	落葉高木	風散布	サンカクヅル	落葉つる性	鳥散布
ウラジロモミ	常緑高木	風散布	タラノキ	落葉低木	鳥散布
ウリカエデ	落葉小高木	風散布	テツカエデ	落葉高木	風散布
オオヤマザクラ	落葉高木	鳥散布	ハウチワカエデ	落葉高木	風散布
カスミザクラ	落葉高木	鳥散布	ハルニレ	落葉高木	風散布
クマシデ	落葉高木	風散布	ミツデカエデ	落葉高木	風散布
ダンコウバイ	落葉小高木	鳥散布			
チョウジザクラ	落葉低木	鳥散布			
ツノハシバミ	落葉低木	動物散布			
ナツツバキ	落葉高木	風散布			
バッコヤナギ	落葉高木	風散布			
ヒトツバカエデ	落葉高木	風散布			
フサザクラ	落葉高木	風散布			
ブナ	落葉高木	動物散布			
マタタビ	落葉つる性	動物・鳥散布			
ミズメ	落葉高木	風散布			
メグスリノキ	落葉高木	風散布			
ヤマボウシ	落葉小高木	鳥散布			
ヤマモミジ	落葉高木	風散布			
リョウブ	落葉高木	風散布			

一代目と二代目林分で共通して出現するものの、どちらかに偏っている種を χ^2 検定により抽出した(表-6)。人工林で一代目に偏って出現している種はコハウチワカエデ、マンサク、ミズナラで、二代目に偏って出現している種はウワミズザクラ、サルナシ、サンショウであった。一代目の種は高木が多く様々な種子散布型を示す種であるが、二代目は生活型が異なっている種であるが、鳥散布型に偏っている種に偏っていた。

表-6. 一代目または二代目に偏って出現した種の生活型と種子散布型

一代目			二代目		
種名	生活型	種子散布型	種名	生活型	種子散布型
コハウチワカエデ	落葉高木	風散布	ウワミズザクラ	落葉高木	鳥散布
マンサク	落葉小高木	自発的散布	サルナシ	落葉つる性	動物・鳥散布
ミズナラ	落葉高木	動物散布	サンショウ	落葉低木	鳥散布

保残帯からの距離と幹密度との関係を図-18~21 に示した。ツルは林分を構成する樹種ではないので、幹密度にツルを含む場合と含まない場合の2種のグラフを作成した。その結果、幹密度にツル本数を含む場合と含まない場合の違いはほ

とんど見られなかった。

一代目の林分では保残帯からの距離が15～45mで更新が最も多かった。

距離と本数の相関関係は、ツルを含んだ場合は1Bと2Cに正の相関($p < 0.05$)、2Bで負の相関が認められた($p < 0.05$)。またツルを含まない場合は1Bに正の相関($p < 0.05$)、2Bで負の相関が認められた($p < 0.05$)。

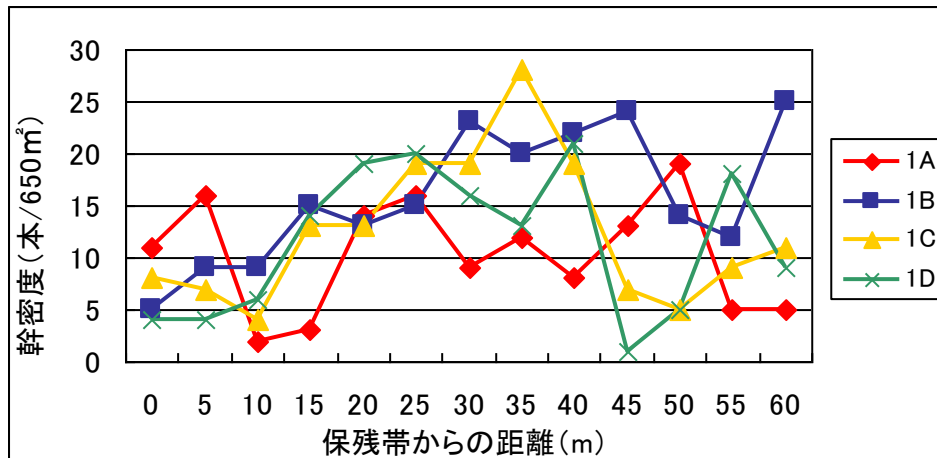


図-18 一代目人工林更新木の距離別幹密度 (ツルを含む)

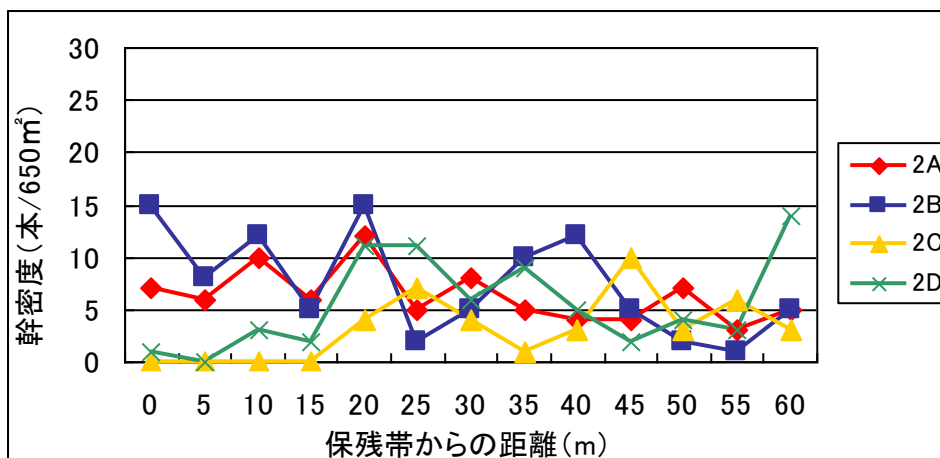


図-19. 二代目人工林更新木の距離別幹密度 (ツルを含む)

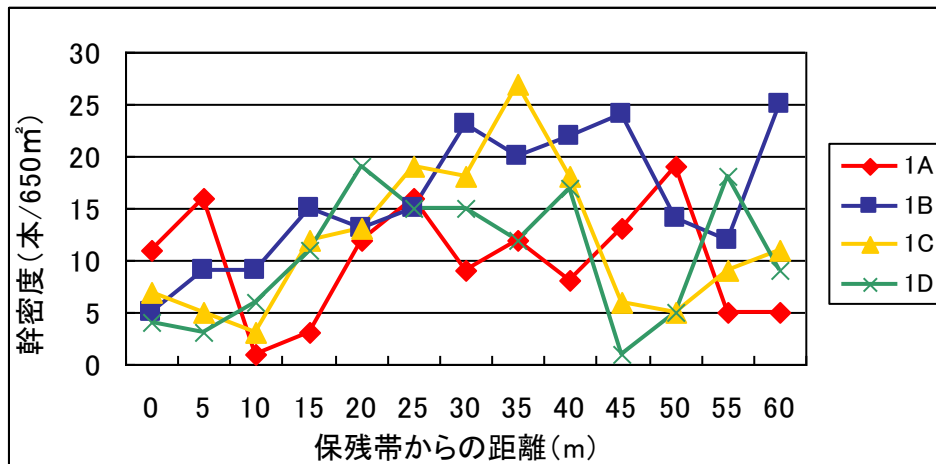


図-20. 一代目人工林更新木の距離別幹密度（ツルを含まない）

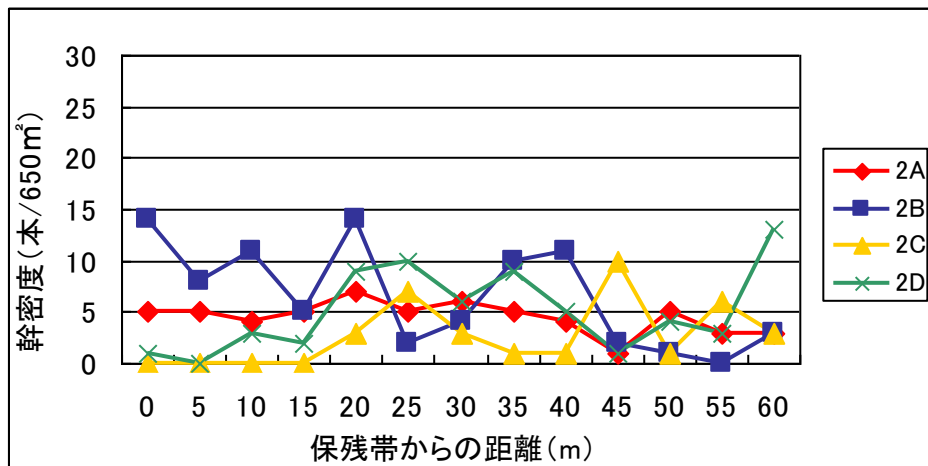


図-21. 二代目人工林更新木の距離別幹密度（ツルを含まない）

ツルについても距離と幹密度の関係をグラフに示した（図-22）。一代目のツル幹密度合計は27本、二代目は47本であった。一代目にはツルが出現しない調査区があった。しかしながら、一代目と二代目とでツル幹密度に関してt検定を行ったが、有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)。また、距離とツル幹密度の関係は、いずれの調査区の場合も相関は得られなかった。

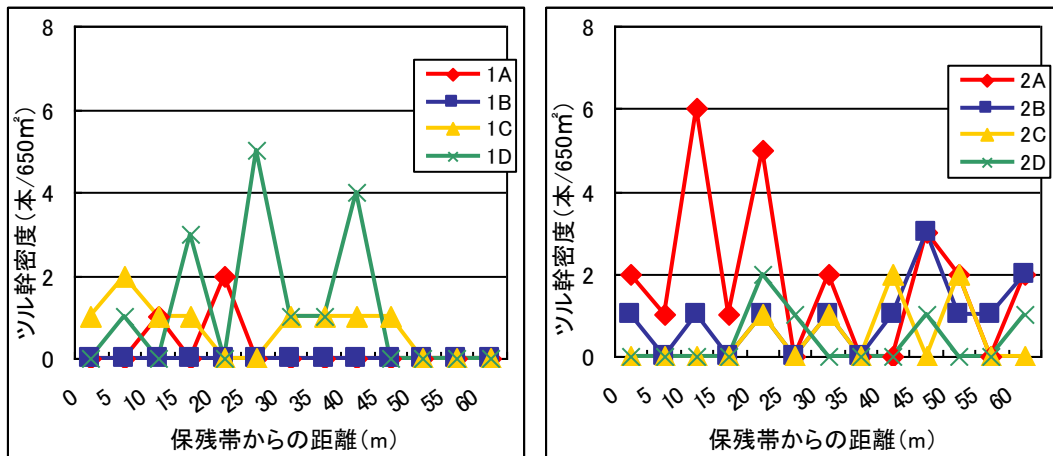


図-22. 人工林の距離別ツル幹密度 (左：一代目、右：二代目)

各代で人工林に更新した幹密度の上位5種を選び、距離と幹密度の関係をグラフ化した(図-23~25)。一代目の上位5種はミズナラ(88本)、ホオノキ(79本)、クリ(46本)、イタヤカエデ(46本)、ウリハダカエデ(36本)で上位5種合計は285本であった。

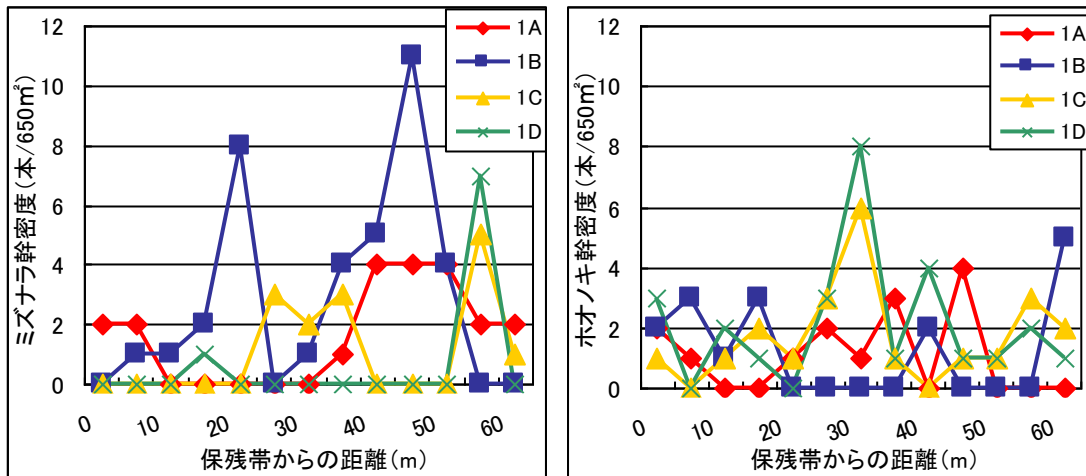


図-23. 一代目人工林幹密度上位5種 (左：ミズナラ、右：ホオノキ)

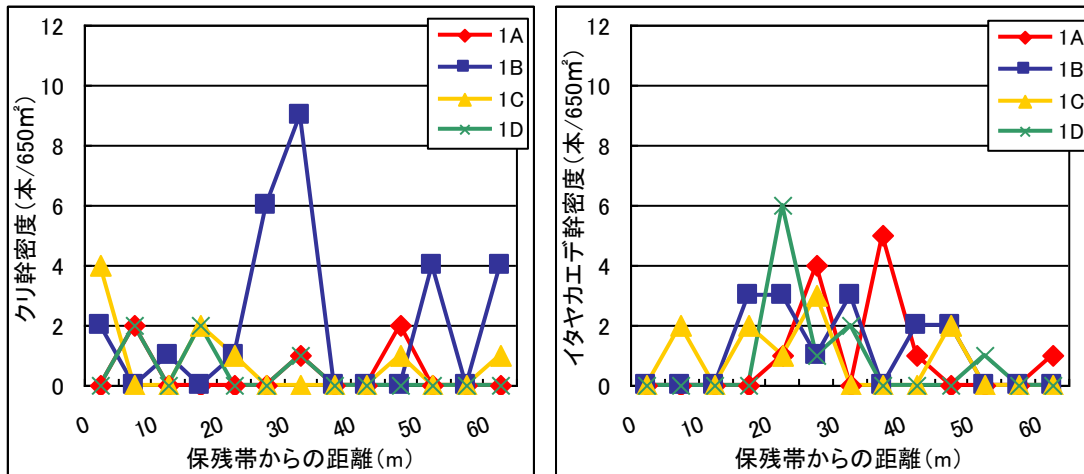


図-24. 一代目人工林幹密度上位 5 種 (左：クリ、右：イタヤカエデ)

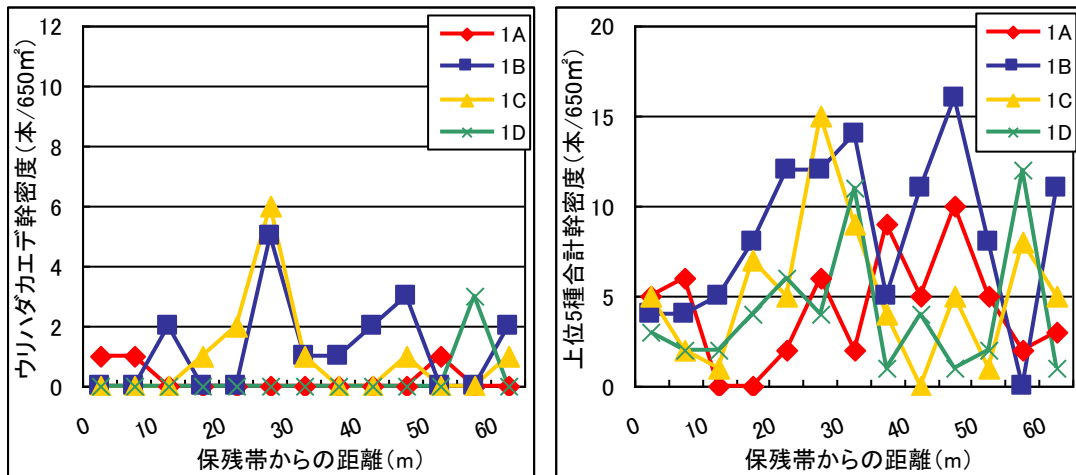


図-25. 一代目人工林幹密度上位 5 位 (左：ウリハダカエデ、右：上位 5 種合計)

二代目の上位 5 種はホオノキ (43 本)、クリ (31 本)、サルナシ (22 本)、イタヤカエデ (18 本)、アブラチャン (17 本) で上位 5 種合計は 131 本であった (図-26~28)。

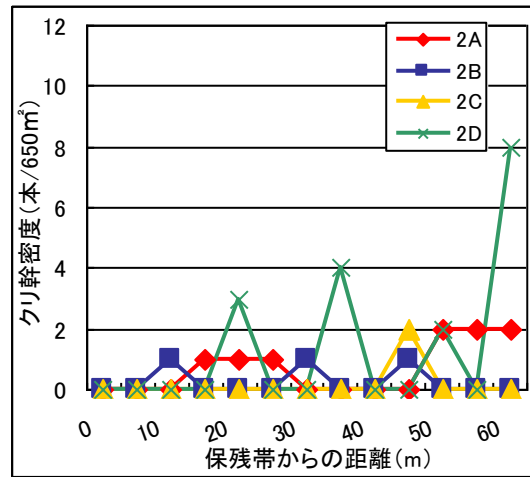
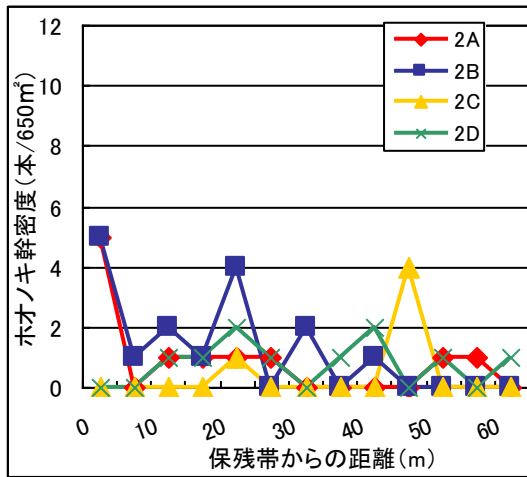


図-26. 二代目人工林幹密度上位5種 (左:ホオノキ、右:クリ)

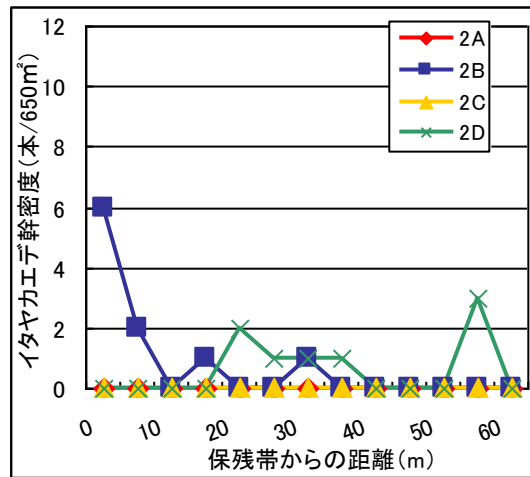
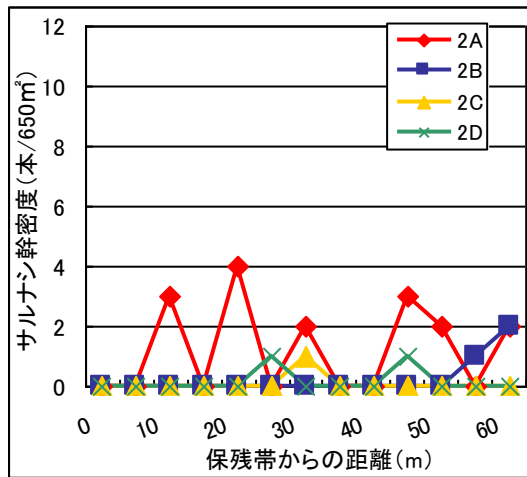


図-27. 二代目人工林幹密度上位5種 (左:サルナシ、右:イタヤカエデ)

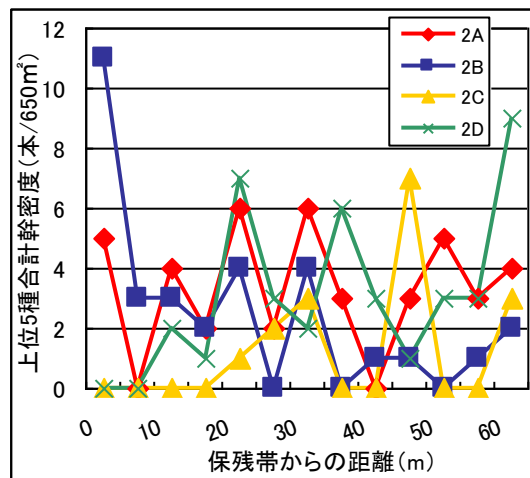
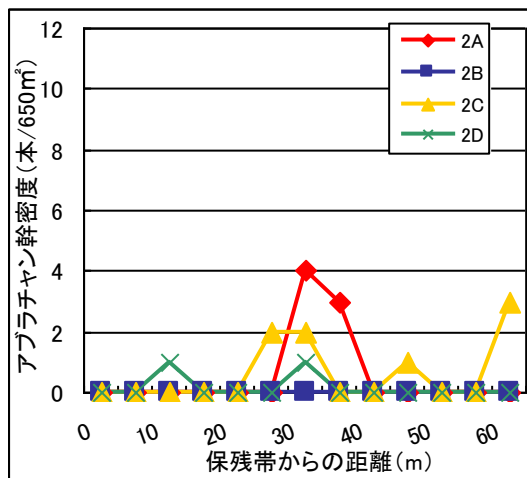


図-28. 二代目人工林幹密度上位5種（左：アブラチャン、右：上位5種合計）

二代目はクリ、イタヤカエデといった高木の種も上位にあるが、一代目とは違い低木のアブラチャンやツル性のサルナシも多い結果となった。

一代目では全ての種において距離と幹密度の相関関係が認められなかった。一方、二代目ではクリ（2A）、サルナシ（2B）で正の相関が（ $p < 0.05$ ）、ホオノキ（2B）、イタヤカエデ（2B）、上位5種合計（2B）で負の相関が認められた（ $p < 0.05$ ）。

5-5. 人工林に更新した稚樹

人工林に更新した稚樹に関して距離と幹密度の関係を図-29、30に示す。本研究では根株萌芽しているものを一個体としてカウントしそれを株単位とした。なお伐採によって近年発生した萌芽は本調査地では見られなかった。

更新した稚樹は、一代目では14種、二代目では13種出現した。主に出現した稚樹は一代目でアオダモ、イタヤカエデ、クマシデ、スギ、ナツツバキ、二代目はカジカエデ、シナノキ、テツカエデ、マンサク、ヤマモミジであった。幹数は、一代目で25本、二代目が51本であった。しかし、株単位にしてみると一代目が17株、二代目が19株と株単位の稚樹数ではほぼ変わらない結果となった。

図-29、30に見られるように幹数と株数ともに2Bの調査区においてのみ、稚樹数と保残帯からの距離とでは負の相関が確認された（ $p < 0.05$ ）。

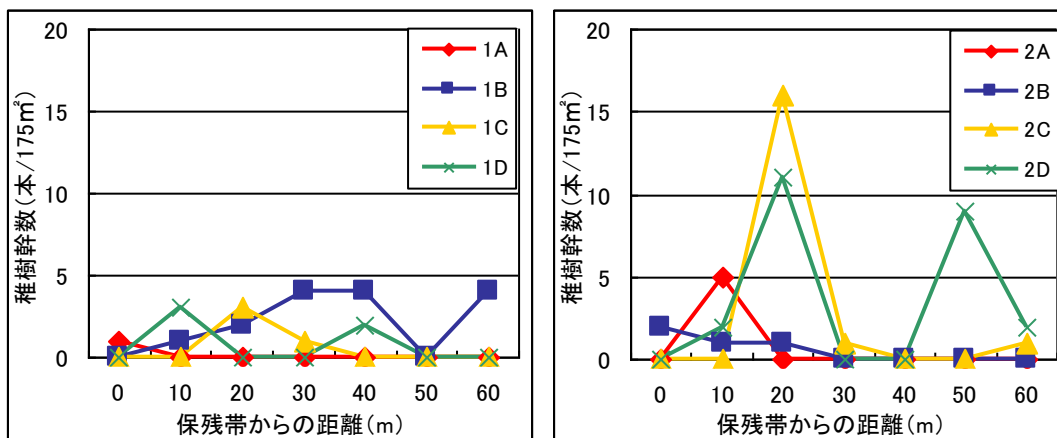


図-29. 人工林に天然更新した稚樹の幹数（左：一代目、右：二代目）

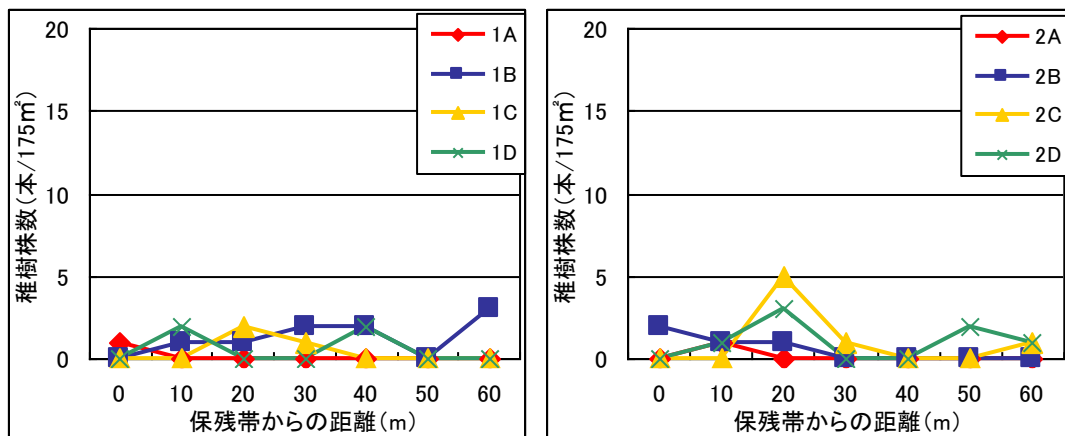


図-30. 人工林に天然更新した稚樹の株数（左：一代目、右：二代目）

6. 考察

スギ人工林に侵入する広葉樹の更新特性として、風散布型や鳥散布型の種子を産し、埋土種子として長期間生存が可能な樹種の多いことが指摘されている（長谷川・平、2000）。本調査地においても一代目と二代目林分ともに風散布型や鳥散布型の樹種が多く更新していた（表-4, 5、図-23～28）。しかしながら、再造林した林分と新たに林種転換した林分との土地利用前歴の違いで人工林に更新した樹種と本数を比べてみると、一代目の林分の方が有意に多い結果となった（図-15）。一代目と二代目林分で人工林の施業履歴とそれぞれに隣接する保残帯の種組成が同様であるにもかかわらずこのような差が導き出されたのは、一代目は天然林を林種転換してスギ造林を行っているため、造林地を再度造林した二代目よりも埋土種子が多く存在したためではないかと考えられる。また、二代目では、植栽直後の埋土種子由来の広葉樹の発生数が少ないことから一代目よりもスギが旺盛に成長し、その結果、林内の閉鎖が早まり、保残帯から種子が供給されたとしても発芽条件が満たされずに更新が進みにくくなってしまったのではないかと考えられる（図-13, 14）。

多雪地域のスギ造林地に侵入する主要な樹種はブナ、ミズナラ、ホオノキ、ミズキなどさまざまである（長谷川・平、2000；和田ほか、2009）。本調査地でも一代目と二代目のいずれの林分にもミズナラ、ホオノキ、ミズキは出現していたが、調査地周辺の極相種であるブナは一代目のみに出現し、イヌブナは一代目に6本、二代目に1本出現とわずかしかなかった（表-4）。

また、二代目は動物散布型の樹種の更新が一代目と比べ少なかった（表-5）。これは、二代目の林分では一代目のそれよりも林冠が早く閉鎖し種子が散布されても発芽しにくい環境となり、しかも多くの動物散布型の種子は埋土種子を形成し

ない傾向にあるためと考えられる。一代目と二代目林分に共通して出現している種の中でも二代目に偏って出現していたのはウワミズザクラ、サルナシ、サンショウと全て鳥散布型であった(表-6)。一代目に偏っていたのは全て保残帯に出現して相対優占度も比較的高い種であったが、逆に二代目に偏っていたのは全て保残帯に出現していない種であったことは注目すべきであろう。

小谷・高田(1999)は、若齢から壮齢のスギ人工林における広葉樹の侵入において母樹源が近くでない限り鳥散布型の種が出現しやすいことを報告しているが、今回の調査のように母樹源となる保残帯が65m以内にあっても、二代目の林分では母樹源が近くでない場合とよく似た結果が得られた。つまり保残帯が近くに存在しても、二代目以上の人工林では保残帯に優占しているような種は更新しにくく、鳥散布型の樹種が優占しやすいのではないかと推測される。

以上のことから、同じ種組成の保残帯と隣接した人工林でも再造林した林分と林種転換した林分では更新に違いがあり、一代目の方が多様で地域本来の種組成の広葉樹による更新が可能であるといえる。またブナに関しては稚樹数が限られており、現状のままでは、特に二代目において更新は難しいのではないかと示唆される。

スギ人工林内に更新する樹種の特性として、種子供給源となる広葉樹林からの距離が遠いほど、風散布型や鳥散布型の樹種の割合が高くなる傾向があることも過去の研究で示されている(Kodani, 2006)。しかし、本調査での結果は全体的には風や鳥散布型の樹種が多いものの、保残帯からの距離が遠い場所には種子散布距離が比較的短く埋土種子を形成しないミズナラ、クリといったものの方が多く更新していた(図-23~28)。これは今回の調査の場合、保残帯からの距離の遠い場所での傾斜が 15° 前後と比較的緩やかであるため、落下した種子が留まりやすくなったのと、動物による散布が行われたこと、またスギ植栽時のクリとミズナラの豊凶との関係が理由の一つとして考えられる(図-8, 9)。

保残帯からの距離別に全体の更新本数の変化に着目してみると、一代目のみ距離と本数で正の相関が、逆に二代目では負の相関が認められた事例が多かった。一代目は保残帯からの距離が15~45mの間が最も更新本数が多く、0~10mの間で更新本数が少なくなっていた(図-18, 20)。これは本調査地の地形が0~10mで傾斜角が 25° ~ 40° と非常に急傾斜であるため、その間の更新本数が少なくなったと推測される(図-8, 9)。また、更新木にツルを含まない場合、保残帯から最も遠い地点における更新本数を数えても5本以下の調査区は一代目の場合1調査区のみと全体的に更新本数が多かったのに対し、二代目は3調査区もあり、いずれの調査区も3本ほどと更新が少なかった(図-20, 21)。さらに、

一代目においては傾斜角が30°前後までは多数の広葉樹の更新が可能なのに対し、二代目では傾斜角が大きくなるほど更新数が減少する傾向がみられた(図-17)。

二代目の上位5種の距離と本数に関しては、サルナシで正の関数が認められ、ホオノキに関しては負の相関が認められた。ホオノキはギャップ種(花田ほか、2006)とされているが、保残帯からの距離依存の方がこの調査地では強く影響しているようであった。以上のことから保残帯からの距離が遠い場所での広葉樹の天然更新は、二代目よりも新たに林種転換した一代目の方が容易であることがいえる。

稚樹に関しては、二代目で距離と幹と株数に関して負の相関が認められた。しかし、一代目、二代目林分ともに稚樹が少なかったため、どちらの代が更新しやすいかの結果を見出すことは困難であった。一代目、二代目の調査林分ともに稚樹が少なかった原因としては、樹冠がすでに閉鎖し、林内の光環境が稚樹の更新に適さない状態にあったためではないかと考えられる(図-6, 7)。

7. 総合考察

保残帯と隣接し天然林を林種転換した林分と、造林地を再造林した林分という主伐後の土地利用前歴の違う、施業履歴が同一な人工林の比較をした結果、保残帯に生育する広葉樹の更新は、新たに林種転換した一代目の林分の方が優位であることが示された。再造林した二代目は保残帯からの距離が遠いほどサルナシのようなツル性の種が多くなりやすく、また他の高木性の樹種が更新しにくい状況と考えられる。さらに二代目の更新木は鳥散布型の種が多く、保残帯が近くにならない人工林と同じような特性を示す傾向があり、保残帯に出現する種があまり更新していなかったという特徴を示した。

赤谷プロジェクトの最終的な目的は、人工林をその土地本来の天然林に戻していくことである。本調査地の安定した林分はブナ、ミズナラ林であるため、人工林ではそれらの樹種を中心とした更新を目指している。一代目人工林に多く出現していたミズナラは本来種子散布範囲が狭い樹種であるが、本調査地では保残帯から遠い場所でも更新数が多く今後の森林を構成する可能性が高いと思われる。しかし、コナラ属の稚樹は一代目と二代目林分では全く存在せず、しかもブナ属の稚樹は一代目の一本のみであった。また、人工林に更新しているブナ属の成木は非常に少なかった。これは、スギ植栽時の種子の豊凶が更新に影響を与えている可能性がある。

こうしたことから、現状のままでは今後の構成樹種として期待される広葉樹の更新は容易でないと示唆される。人工林を限られた期間で元の天然林に戻すので

あれば、特に二代目のような林分の場合は、目的とする樹種の種子の豊作年に合わせて間伐などの管理を積極的に行い、期待される広葉樹の稚樹の発生を促し、更新させることが必要であるといえる。しかし管理を行っても目的とする広葉樹が必ずしも更新するとは限らない。今後、人工林をブナ、ミズナラ林に更新させるためには、更新を阻害する要因を明らかにし、それらの要因を取り除く方策を検討していく必要があるだろう。

8. 謝辞

日本自然保護協会の藤田卓さん、出島誠一さんには調査における様々な面のサポートをして頂きました。そのおかげで非常に充実し、満足のできる調査を行うことができました。東京農業大学造林学研究室の上原 巖准教授、菅原 泉准教授にも、助言やご指導また、自分の質問に快く返答を頂き順調に卒論を進めることができました。

そして、急傾斜の中ヤマビルに襲われるという非常に過酷な条件の下調査を手伝って下さった、新潟大学の船田涼子さん、斎藤瑛璃香さん、斎藤友恵さん、松本幸二さん、東京農業大学造林学研究室の院生と4年生それに3年生の皆様には深く感謝しています。また院生の方々には様々なアドバイスを頂きましたが、その中でも小山未奈さん、西尾恵介さんには卒論の取りまとめの際に多くの助言を頂き大変お世話になりました。4年生とはお互いに励ましあうことで勇気づけられ無事に卒論を書きあげることができました。

この場をお借りして、全ての方々に厚く御礼を申し上げます。ありがとうございました。

本章は東京農業大学卒業論文として提出された。

9. 引用文献

- Igarashi, T., and Kiyono, Y. (2008) The potential of hinoki (*Chamaecyparis obtusa* [Sieb. et Zucc.] Endlicher) plantation forests for the restoration of the original plant community in Japan. *For. Ecol. Manage.* 255, pp. 83-192.
- Ito, S., Nakayama, R., and Buckley, G, P. (2004) Effects of previous land-use on plant species diversity in semi-natural and plantation forests in a warm-temperate region in southeastern Kyushu, Japan. *For. Ecol. Manage.* 196, 213-225.
- Utsugi, E., Konno, H., Ueno, N., Tomita, M., Saitoh, T., Kimura, M., Kanou,

- K., and Seiwa, K. (2006) Hardwood recruitment into conifer plantation in Japan : Effects of thinning and distance from neighboring hardwood forests. *For. Ecol. Manage.* 237, 15-28.
- 勝田 柁・森 徳典・横山敏孝 (1998) 日本の樹木種子 広葉樹編. 林木育種協会
菊沢喜八郎 (1983) 北海道の広葉樹林. 北海道造林振興協会 : 34-35
小谷二郎・高田兼太 (1999) スギ人工林の林床での広葉樹の侵入および優占様式.
石川県林試研報 30 : 1-10
- Kodani, J. (2006) Species diversity of broad-leaved trees in *Cryptomeria japonica* plantations in relation to the distance from adjacent broad-leaved forests. *J. For. Res.* 11, pp. 267-274.
- 長池卓男 (2000) 人工林生態系における植物種多様性. 日林誌 82 : 407-416
長池卓男・松崎誠司・安藤麻菜・高野瀬洋一郎・高橋一秋・久保満佐子・藤田卓
(2008) 小出俣エリアのスギ人工林に天然更新する樹種の組成・構造およびに
それらに及ぼす要因. 三国山地／赤谷川・生物多様性復元計画 (赤谷プロジェ
クト) 推進事業平成 20 年度報告書 関東森林管理局・日本自然保護協会 : 58-77
野々田秀一・渋谷正人・斎藤秀之・石橋 聰・高橋正義 (2008) トドマツ人工林
への広葉樹の侵入および成長過程と間伐の影響. 日林誌 90 : 103-110
長谷川幹夫・平 英彰 (2000) 多雪地帯のスギ造林地に侵入した広葉樹の種組成
構造の特徴. 日林誌 82 : 28-33
花田尚子・渋谷正人・斎藤秀之・高橋邦秀 (2006) カラマツ人工林内における広
葉樹の更新過程. 日林誌 88 : 1-7
林 弥栄 (1985) 日本の樹木. 山と溪谷社
牧野俊一 (2009) 人工林の生物多様性. 森林環境 2009 生物多様性の日本. 朝日
新聞出版 : 74-82
和田 覚・金子智紀・八木橋 勉・杉田久志 (2009) 多雪環境下におけるスギ人
工林の成林と混交林化に影響を及ぼす要因. 日林誌 91 : 79-85