

スギ人工林の林床での広葉樹の侵入および優占様式

誌名	石川県林業試験場研究報告
ISSN	03888150
著者	小谷, 二郎 高田, 兼太
巻/号	30号
掲載ページ	p. 1-10
発行年月	1999年3月

スギ人工林の林床での広葉樹の侵入および優占様式

小谷二郎・高田兼太*

要旨：22～49年生のスギ人工林内で広葉樹の侵入実態を広域的に調べると共に、50年生の特定林分において広葉樹の侵入および優占様式を調べた。広域調査では、人工林の胸高断面積合計の小さい林分に出現種類数の多い例が見られ、特に小高木性種は断面積合計と負の関係が認められた。しかしながら、有用な高木性種の侵入は少なかった。冠雪害が主な原因と思われる林冠ギャップを有する特定林分での調査では、ギャップ属性地と種の豊富さや優占度は正の相関が認められ、林冠ギャップが広葉樹の侵入に好機会を与えていることが明らかとなった。以上のことから、スギ人工林への有用な高木性広葉樹の侵入を期待するには、林冠ギャップを創出するか間伐の繰り返しが必要であろう。林冠の閉鎖度合いの弱まった50年生以上の成熟した林分ではさらに侵入の期待度は高いと考えられた。

1 はじめに

木材価格の低迷等林業諸情勢の現況から、針葉樹人工林の伐期の長期化傾向は避けられないであろう。特に、積雪地帯においては根元曲がりの発生が初期成長を遅らせると同時に幹の曲がりにも影響を及ぼし(平, 1987)、短伐期での生産が困難な林分も少なくない。また、長伐期化の傾向は異樹種の混交を促すことも指摘されており(藤森, 1994)、将来的に人工林は長伐期混交林へ移行することも考えられる。

このような観点から、今後の人工林を取り扱うに当たっては長伐期に対応した施業指針が必要であると同時に、侵入した広葉樹においても多くの情報を収集し、混交林施業のための基礎的データを集積しておく必要があると考える。

針葉樹人工林への広葉樹の侵入に関しては、豪多雪地帯における不成績な造林地において侵入または再生した広葉樹を取り扱った詳細な報告があるが(前田ほか, 1985; 小谷, 1990; 長谷川, 1991; 長谷川, 1998; 横井・山口, 1998)、若齢から壮齢の人工林の林床に成立した広葉樹を取り

扱った例は少ない(清野, 1990)。前者の場合は、下刈りや除伐の後にほぼ一斉に成立した場合であるが、後者の場合はどのような樹種がどのようなタイミングでどのような場所に侵入するのかといった基礎的な調査はなされていない。

天然林の更新においては、多くの種の共存と個体群の維持に林冠ギャップが大きく貢献していることが指摘されている(Runcle, 1989)。この場合は、天然林であるので、上層林冠を構成している樹種を中心として考えた場合の話であるが、ギャップが樹木の侵入や再生に大きな影響があることが推察される。したがって、人工林においてもギャップの存在は他の樹種の侵入のきっかけを与えるものと思われる。天然生の広葉樹のギャップの利用特性に関しては、陽性の樹種が大きなギャップを利用し、耐陰性の高い樹種が小さなギャップを利用することが明らかとなっている(Whitmore, 1989)。針葉樹の人工林の林床は一般に暗く、耐陰性の高い常緑の広葉樹が優占している(清野, 1990)が、落葉広葉樹が主たる潜在植生である冷温帯においては、林床が何らかの原因によって明るくならなければ、高木性の落葉広葉樹の定着はなされないと考えられる。

針葉樹人工林において、林冠ギャップの形成が期待できるのは冠雪害や暴風雪などの自然現象と主伐や間伐など人為的伐採においてである。日本海側のスギ人工林では、56豪雪時(三代, 1982)

Invasion and dominance pattern of broad-leaved trees in forest floor of *Cryptomeria japonica* D. Don plantation

*金沢大学理学部生態学研究室

なお、この研究の内容の一部は、平成10年4月に宇都宮大学で行われた第109回日本林学会本大会で口頭発表した。

に限らず、常に冠雪害が発生する可能性があることから、今後とも多くの広葉樹の侵入のきっかけとなることが推察される。

そこで、この研究では県内の20から50年生のスギ人工林において、どのような広葉樹が侵入しているか概況を調べ、また過去に冠雪害が生じた50年生のスギ人工林においては広葉樹の侵入状況を調べ、ギャップとの関係について考察した。

この報告書をまとめるに当たっては、平成2～6年度「酸性雨等森林被害対策事業」のデータを利用した。データの活用にご協力いただいた千木森林育成科長にお礼申し上げる。

なお、この研究は平成6～10年度交付金事業「森林施業の高度化に関する調査」(大型プロジェクト「混交林等多面的機能発揮に適する森林造営管理技術の開発」)の成果の一部である。

2 調査地と調査方法

広域概況調査地として用いられたのは、酸性雨モニタリング調査地として設定された県内13カ所のスギ人工林(付表-1)である。これらの人工林の前生林は、1カ所を除きコナラやミズナラを主とする二次林である。調査方法は、0.1haの円形プロットを設け毎木調査した後、その中出现した蔓を含む広葉木本類の種類数をカウントすると共に、中心の200m²の小円内で植生調査を行って被度を把握した。調査は、1990～1995年までの期間に行った。

また、詳細調査区として用いたのは石川県林業試験場の50年生のスギ人工林0.39haで、標高160m、方位西向き、傾斜5°である。この林分は、昭和56年と59年の豪雪によって冠雪害を受け、一部にまとまった面積の林冠ギャップが生じている。調査方法は、毎木調査形式によって区域内に出現した50cm以上の広葉樹(一部蔓性種を含む)を対象に、樹種を判別し樹高と根元直径を測定した。また、林冠に1m²以上の開空が存在する箇所をギャップ地と見なし、更にそのギャップに面した林冠下を含めてギャップ属性地とした(図-1)。ギャップおよびギャップ属性地の面積は、長径とその直交する最大径を測定し、それを中心交点とする楕円形と見なしてその面積を算出した。また、ギャップ属性地を放射状に4分割し、それぞれN・E・S・Wゾーンを設定しギャップ内での広葉樹の侵入位置を調べた。

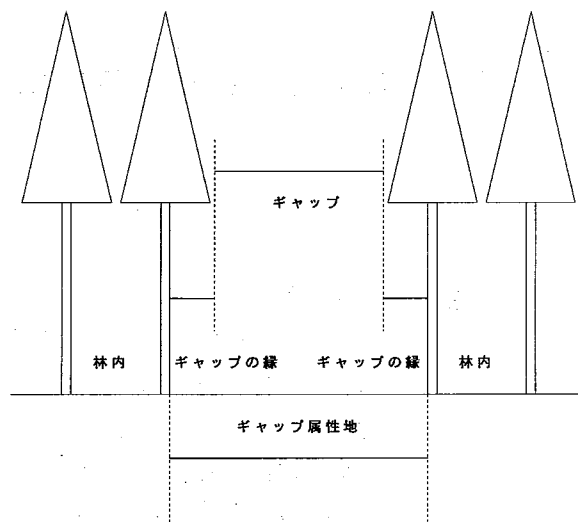


図-1 スギ人工林におけるギャップ属性地の定義

3 結果

1) 広域調査による混交広葉樹の侵入状況

13カ所の林分に出現した広葉樹の全種類は高木性種33、小高木性種26、低木性種33、小(亜)低木性種4種と蔓性種14種と合わせて110種類であった(付表-1)。これらの生活形分類は、小牧(1987)に従った。オニグルミやブナ科の大型種子を持つ重力散布型樹種が6種出現した他、風散布型と思われるカエデ類が5種出現したが、他は全て鳥散布型樹種であった。

高木性ではヤマグワやウワミズザクラが、小高木性ではエゴノキ・タラノキ・キブシ・ニワトコが、低木性ではムラサキシキブ・モミジイチゴ・クサギ・オオバクロモジ・ヒメアオキなどが60%以上の出現頻度であった(付表-1)。また、蔓性ではフジ・サルトリイバラ・マタタビが60%以上の出現頻度であった(付表-1)。しかしながら、林内での被度は低木性のクサギで4の所や蔓性のフジが4の所があったが、全体に低く1以下がほとんどであった(付表-1)。

県内で高木性の有用広葉樹と思われる樹種では、ミズキ・キハダ・ケヤキ・ヤマザクラ・ウラジロガシ・シナノキ・スダジイなどがあげられるが、いずれも出現頻度・優占度も低かった(付表-1)。

図-2は、スギの胸高断面面積合計(ha当たり)と出現樹種数との関係を示している。両者に有意な関係は見られなかったが、断面面積の小さい林分で種類数の多い例が見られた。高木性種の出現に最も関係が深かったのは標高で(図-3)、小高

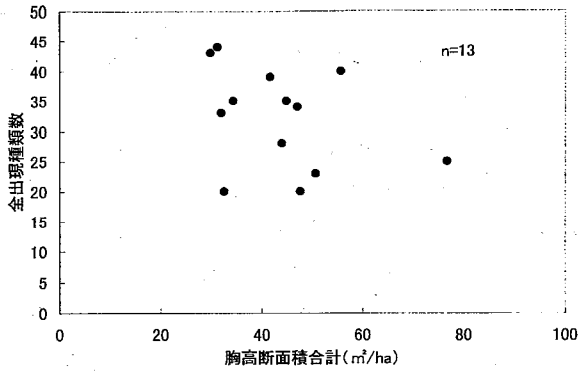


図-2 胸高断面積合計と全出現種類数との関係

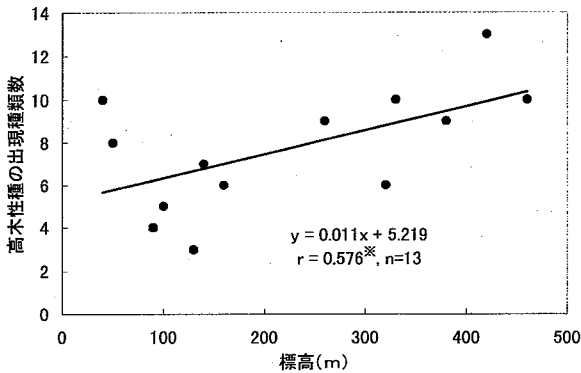


図-3 標高と高木性種の出現種類数との関係
※：5%水準で有意

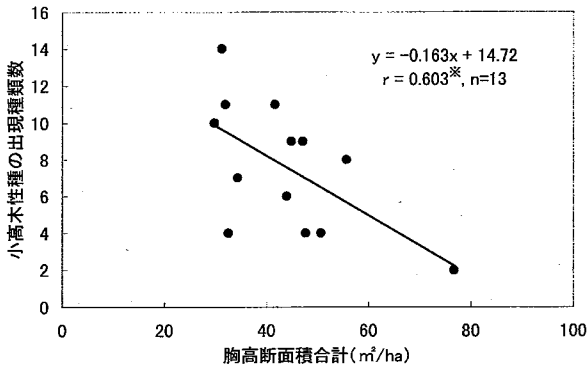


図-4 胸高断面積合計と小高木性種の出現種類数との関係
※：5%水準で有意

木性種に最も関係が深かったのは胸高断面積合計であった(図-4)。低木性種・亜低木性種・蔓性種は、特に有為な相関を示す要因はなかった。

2) 広葉樹によるギャップの利用様式

① 侵入広葉樹の優占状況

詳細調査林分の50cm以上の樹種は、高木性(高木・小高木)が31種、低木性が21種の合計52種出現していた。密度は、4,171本/haであった。

図-5 (a, b) は、林分内に侵入した広葉樹の

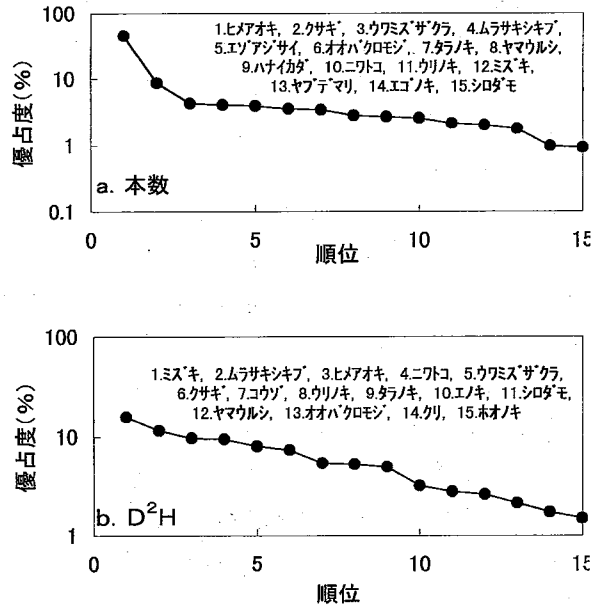


図-5 (a, b) 種の優占度順位曲線

表-1 主な樹種の1本当たり幹本数の頻度

樹種	1株当たり成立本数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10以上
高木性										
ウワミズザクラ	58	4	1							
エゴノキ	12	2								
エノキ	14									
クリ	2	2								
シロダモ	13	1								
タラノキ	56									
ホオノキ	7									
ミズキ	22	2	1	1						
ケナシヤブデマリ	20	3	1							
ヤマウルシ	29	7	1							
低木性										
ウリノキ	13	2	4			1				
ヤマアジサイ	42	3	4	1						
クサギ	136	3								
オオバクロモジ	41	7	1							
コウゾ	3	1								
ハナイカダ	12	3	3	1						1
ヒメアオキ	278	81	40	11	5	6	2	1	3	1
ムラサキシキブ	27	10	5	1						
チャノキ	11	2								
ヤマウコギ	7	1	1							

種の優占度順位曲線である。本数では、ヒメアオキが突出して優占度が高く、次いでクサギといった低木性種が上位を占めた。しかし、D²Hではミズキが最も優占度を高め、エノキやクリやホオノキといった高木性種が上位進出が目立った。また、これらの樹種の生育特性を見るため、1株当たりの成立本数の頻度を表-1のとおり示した。

高木性種は4本成立しているものがあったが、1本立ちがほとんどであった。それに対し、低木種はヒメアオキやハナイカダなどで10本以上の成立本数のものも見られた。

② ギャップの出現状況

図-6 (a, b) は、林内の1㎡以上のギャップおよびギャップ属性地の出現頻度である。ギャップは全部で39個出現し、20㎡以下の小ギャップが67%を占めた(図-6 a)。それに対しギャップ属性地は20~60㎡の面積が67%を占めた(図-6 b)。両者の関係を分布図であらわすと、図-7のとおり傾きが約2の直線関係が示された。

③ 林内での広葉樹の出現パターン

ギャップおよびギャップの縁の面積は、それぞれ0.07haと0.13haであった。よって、ギャップ：ギャップの縁：林冠下の面積割合は9：17：24で

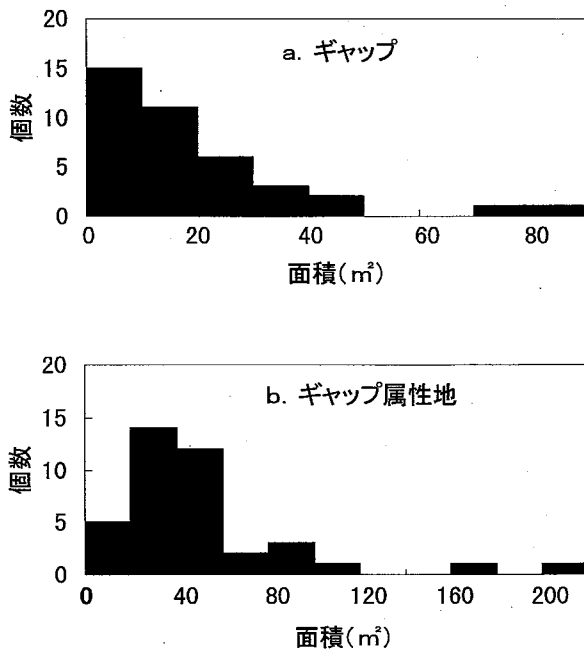


図-6 (a, b) ギャップとギャップ属性地の面積頻度分布

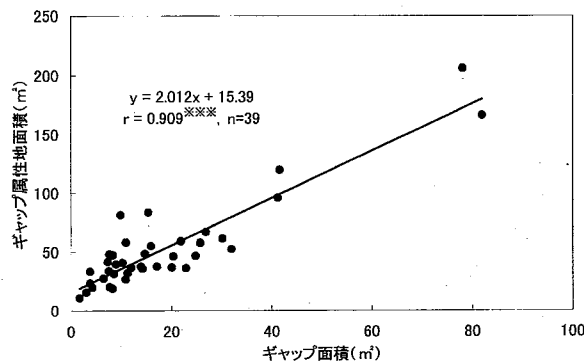


図-7 ギャップ面積とギャップ属性地面積との関係
***: 0.1%水準で有意

あった。この面積比を使って、それぞれの広葉樹がどの場所で優占的に侵入しているかを χ^2 検定を行って調べた。表-2は、この検定によって有意な差の見られた樹種を示している。52種の内13種で有意差がみられたことから、大半の樹種は上記の面積割合に従って侵入していた。しかしながら、全体では有意差が認められ、ギャップの縁から林冠下に多くの本数が偏っていることが示唆された。樹種別では、シロダモ・ヤマウコギなどが林冠下を利用するタイプ、ウリノキ・ハナイカダ・ヒメアオキなどがギャップの縁から林冠下を利用するタイプ、ヤマアジサイ・クサギ・ヤマグワなどがギャップの縁を利用するタイプ、クリがギャップからギャップの縁を利用するタイプであった。

④ 林内とギャップ属性地での優占度の違い

表-3は、ギャップ属性地と林冠下において樹

表-2 各生育環境における出現本数 (χ^2 検定で有意に差の見られたもの)

樹種	0.39ha 当り				主な場所
	ギャップ	ギャップ縁	林冠下	合計	
シロダモ		2	13	15	林冠下
ヤマウコギ		2	11	13	林冠下
ウリノキ	11		25	36	縁~林冠下
ハナイカダ		18	26	44	縁~林冠下
ヒメアオキ	68	353	309	730	縁~林冠下
ムラサキシキブ	6	39	21	66	縁~林冠下
エゾアジサイ	12	33	19	64	縁
クサギ	20	82	40	142	縁
ヤマグワ	1	6	2	9	縁
ニワトコ	8	27	7	42	縁
サンショウ		4		4	縁
フジ	1	5		6	縁
クリ	5	2	1	8	ギャップから縁
全体	186	770	667	1,627	縁~林冠下

ギャップ：ギャップ縁：林冠下=9：17：24(面積割合)を期待値の割合とした

表-3 樹種別の優占区(D²Hの合計)

ギャップ属性地	
ホオノキ、ミズキ、ウワミズザクラ、エゴノキ、エノキ、アカメガシワ、ウリハダカエデ、クリ、オニグルミ、コブシ、イタエカエデ、リョウブ、カキノキ、ヤマモミジ、チャンチン、ガマズミ、ヤマグワ、サンショウ、タラノキ、ヤマウルシ	高木20種
クサギ、トウグミ、オオバクロモジ、ウツギ、コウゾ、コマユミ、サワフタギ、フジ、チャノキ、ツノハシバミ、ニワトコ、エゾアジサイ、ヒメアオキ、ムラサキシキブ、モミジイチゴ、ハイイヌツゲ、ヤマウコギ、ウリノキ	低木18種
林内	
ウラジロガシ、クサキ、コシアブラ、コナラ、シロダモ、オナカマド、ハクウンボク、ミズナラ	高木8種
ハナイカダ、クサギ、ヤマアジサイ、コアジサイ、ツリバナ、ダシユウバイ、モミズリ	低木6種

※波線は本数で林内の方が多かったものを示す。

種別のトータルD²Hの優占度が多かった場所を示している。この表より、ほとんどの樹種がギャップ属性地において優占度が高かったことを示していた。しかしながら、ウラジログシ・ハナイカダなど14種は林冠下において優占度が高かった。また、林冠下で優占度の高かった樹種は本数においても優占度が高いものが多かった。

⑤ ギャップの大きさによる優占度の違い

今回の調査で最も大きかったギャップ属性地は約200m²であったことから、半分の100m²を境にし

表-4 樹種によるギャップの大きさ別の優占区 (D²Hの合計)

100m ² 以下のギャップ属性地で優占度の高かった樹種	
アカメガシワ、ウリハダカエダ、エゴノキ、エノキ、カキノキ、リョウブ、チャンチン、コブシ、オニグルミ、ヤマウルシ、ガマズミ	高木11種
オオバクロモジ、コマユミ、サワフタギ、サンショウ、チャノキ、ツノハシバミ、フジ、ウリノキ、モミジイチゴ、ヤマウコギ、ウツギ、エゾアジサイ、ガマズミ、クサギ、トウグミ	低木15種
100m ² 以上のギャップ属性地で優占度の高かった樹種	
ウワミズザクラ、イタヤカエダ、クリ、ホオノキ、ミズキ、ヤマモミジ、ヤマゲタ、タラノキ	高木8種
ムラサキシキブ、ハイイヌツゲ、コウゾ、ニワトコ、ヒメアオキ	低木5種

て出現樹種のトータルD²Hの優占度の違いを調べた(表-4)。その結果、26種が100m²以下で優占度が高く13種が100m²以上で優占度が高かった。6樹種においてギャップ属性地の大きさとトータルのD²Hとの関係を図-8に示した。これによると、ミズキ・ヒメアオキ・タラノキはギャップ属性地の大きさと共に優占度が増加したのに対し、クサギ・オオバクロモジ・エゾアジサイは相関関係は見られず、むしろ小ギャップ属性地において優占度の高い場合が見られた。

⑥ ギャップ内の方位別侵入パターン

ギャップは、その特性として南側が日陰になりやすいのに対し、北側が比較的日当たりが良い(Poulson and Platt, 1989)。そのことがスギ人工林内でも見られるかどうかを検証した。表-5は、4方位ゾーンでの出現パターンの違いを χ^2 検定をつかって調べた結果で、有意差の見られた樹種を示している。52種の内有意差の見られたのは15種であった。したがって、大半の樹種がほぼランダムに出現していることが示唆された。しかし、全体では明らかに北側に多く侵入していることが示された。その他、ウワミズザクラ・トウグミ・オオバクロモジ・ヒメアオキなどが北側に多

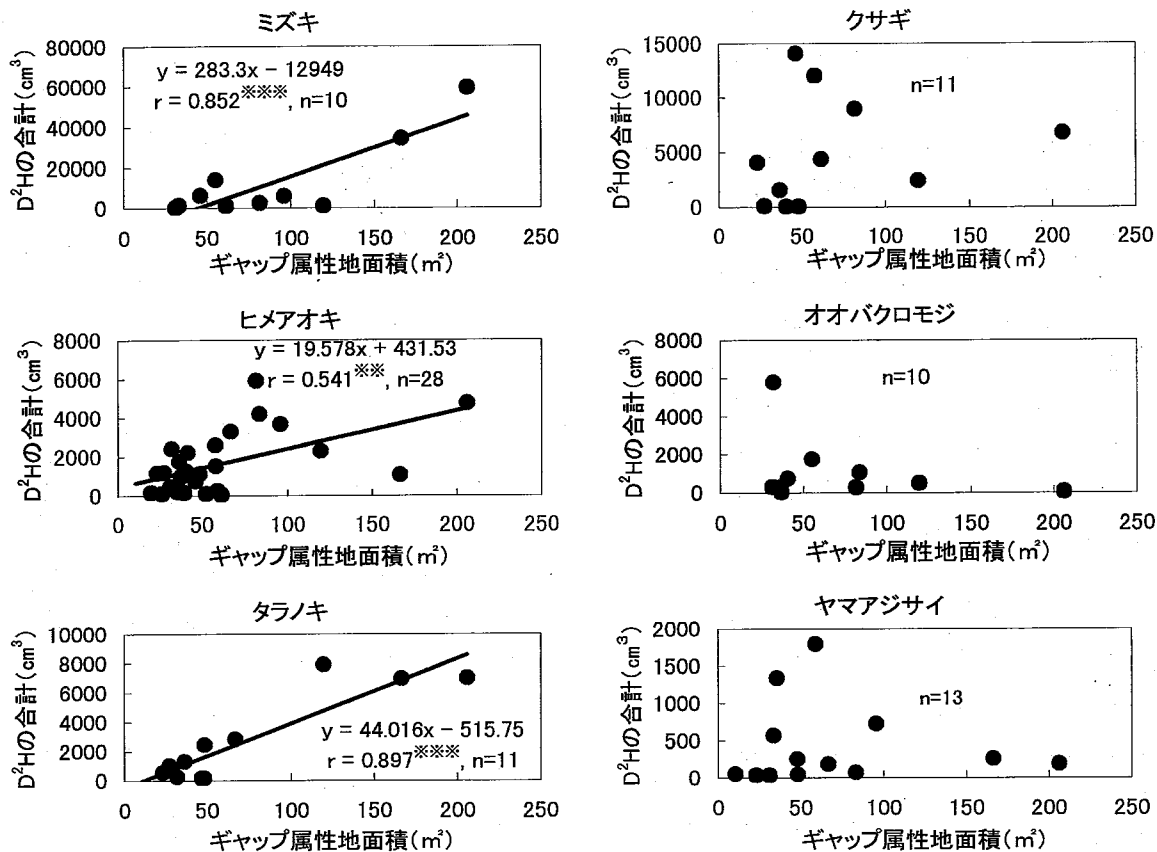


図-8 6種広域樹のギャップ属性地とD²Hとの関係
有意水準：** 1%、*** 0.1%

表-5 4方位での出現本数の違い
(χ^2 検定で有意差の認められたもの)
0.39ha 当り

樹種	N	E	S	W	主な場所
ウワミズザクラ	22	6	5	4	N
トウグミ	3				N
オオバクロモジ	14	8	3	6	N
ヒメアオキ	191	95	64	70	N
サンショウ	4				N
ムラサキシキブ	23	11	5	6	N
ケナシヤブデマリ	7	3	1	1	N
ヤマウルシ	15	3		5	N
ウリノキ		9		1	E
ヤマグワ		5	1	1	E
コウゾ		3			E
ハナイカダ		15	3		E
エゴノキ			1	4	W
コシアブラ				3	W
タラノキ	7	10		18	W
全体	377	250	150	179	N

N:E:S:W=1:1:1:1の期待値を期待値の割合とした

く侵入していた。また、ウリノキ・ヤマグワなどは東側にエゴノキ・コシアブラなどは西側に多く侵入していた。南側には特定の樹種の侵入は見られなかった。

⑦ ギャップ属性地と広葉樹の種の多様性との関係

図-9, 10は、ギャップ属性地面積と成立本数およびトータルのD²Hとの関係を高木種と低木種で示したものである。これによると、本数では低木種がギャップ属性地の増加と共に大幅に増加しているのに対し、トータルのD²Hでは両ギャは接近した分布を示していた。図-11は、ギャップ属性地の面積とH' (種の多様度指数) (Shannon and Weaver, 1949) との関係を示している。ギャップ属性地面積の増加と共に多様性は増加する傾向があった。

4 考 察

広域調査では、数多くの広葉樹が侵入しているのが認められた(付表-1)。これは、スギ人工林の適地が斜面の中腹から下部にかけての肥沃な土壌条件にあるためと思われる。しかしながら、全体的に高木性種の出現頻度や優占度が低く、小高木性種以下低木性種や蔓性種に優占度の高いものが多かった(付表-1)。これは、スギの林齢

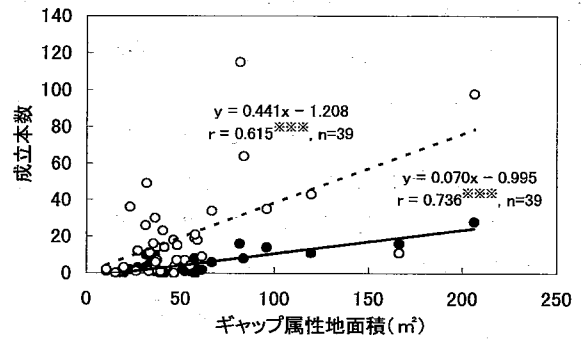


図-9 ギャップ属性地面積と成立本数との関係
***: 0.1%水準で有意

● 高木種 ○ 低木種 — 線形(高木種) - - - 線形(低木種)

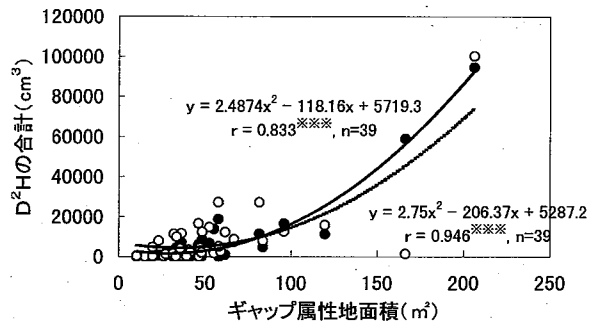


図-10 ギャップ属性地面積とトータルのD²Hとの関係
***: 0.1%水準で有意

● 高木種 ○ 低木種 — 多項式(高木種) - - - 多項式(低木種)

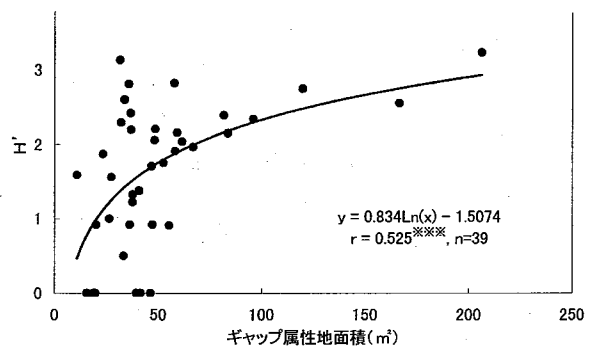


図-11 ギャップ属性地面積と種多様性(H')との関係

が20~50年と林冠が比較的閉鎖期(藤森, 1994)にあり、林内に耐性的な生活様式を持った種しか侵入の余地がないためと思われる。また、侵入した広葉樹はスギの胸高断面積の小さい林分で種類数が多い例が見られ(図-2)、特に小高木性種ではその大きさとの関係が見られた(図-4)。これは、小高木性種が閉鎖の度合いに敏感に対応していることを示すものであり、これらの樹種の侵入には林冠ギャップが必要なことを示唆した。高木性種の種類数は人工林の胸高断面積との間に関係はなく、標高との間に有意な関係が見られた

(図-3)。これは、調査地域の範囲からして、暖温帯から冷温帯への移行地域(古池, 1983)が多く含まれていることから、高標高域ほど種類数が増加した可能性が高い。また、高木性種は林内の閉鎖度に対し、種類数ではなく占有面積や個体数で対応しているかもしれない。

侵入した広葉樹のほとんどは鳥により散布されたと思われる樹種が多かった(付表-1)。こうした現象は、他の若齢から壮齢の針葉樹人工林(清野, 1990; 紙谷ほか, 1991)でも見られている。つまり、こうした林分内での広葉樹の侵入においては繁殖源が近くにない限りは鳥散布型の種が先駆的になりやすいようだ。逆に、鳥散布型の種にとっては、こうした人工林は格好の更新場所とも言えるだろう。

侵入した広葉樹が、スギ人工林内のどのような場所を選んでいるのか特定の人工林で調査を行った結果、ギャップ属性地に依存的であり(表-2, 3, 4)、種の多様性もギャップの大きさと共に高くなる傾向があった(図-11)。特に、高木性種はギャップの大きさと共に材積優占度の増加割合が高く(図-8, 図-9, 10)、そのことが林分内での優占度を高めている原因と思われた(図-5b)。中でも、ミズキやタラノキはギャップに対する依存度が高い樹種の例であった(図-8)。逆に、オオバクロモジやヤマアジサイなどはギャップの大きさに無関係で、どちらかと言えば小ギャップで優占度の高い場合も見られた。このことは、高木性種が単幹で上長成長重視なのに対し、低木性種が数本の株立ちによって群状に個体を維持しようとする生活様式の違いとも関係があると思われる(表-1)。しかし、ウラジロガシ・ケヤキ・シロダモといった高木性種などは、必ずしもギャップに依存しておらず林内に侵入しているケースも見られた(表-3)。これらの樹種は、林内に耐性的かギャップでの競争を避けるべくして林内を選択しているか、どちらかの性質を持ち合わせているのであろう。これらに比較し、ヒメアオキは最も本数優占度が高く(図-5a)、常緑でありながらギャップの好光条件に依存し(表-2, 図-8)かつ株立ち状(表-1)で勢力を拡大している。このことは、ヒメアオキにとってスギ林内は繁殖と生存に最適な条件となっていることを示唆した。

広葉樹の侵入に、林冠ギャップの縁が重要な役

割を果たしているのは注目される点である(図-1, 表-2)。これは、ギャップと縁との面積はほぼ同じか縁の方がやや大きいという結果(図-7)から、縁は更新場所として大きな面積を占めていることを示すものである。しかも、ギャップ内での方位の違いが侵入に偏りを与えているという結果(表-5)からも、縁は生存や成長にも影響を与えていると考えられる。一般に、ギャップの北側は南側に比べ有利な光条件にあると言われている(Poulson and Platt, 1989)。本調査では、出現パターンで統計的に有意な差が見られたのは8種のみで、ほとんどの樹種がランダムであった(表-5)。しかしながら、全体では明らかに北側に偏っており、最も本数の多かったヒメアオキやヒメアオキを除いた残りの数でも北側が最も本数が多かったことから(表-5)、スギ人工林でもギャップの光環境が樹種の侵入に影響を与えていることを示唆した。

本調査地でのギャップの出現頻度は、小ギャップサイズに偏る分布を示した(図-6)。しかし、高木種はでトータルのD²Hが100m²のギャップ属性地付近から急激に増加し(図-10)、また有用な高木性種もこの面積以上で優占度が高かった。このことから、高木性の有用な広葉樹の侵入のために、100m²のギャップ属性地は最低必要な面積と思われ、その時の林冠ギャップ面積は50m²程度必要であることが示された。

以上のことから、将来的にスギ人工林内で混交化を呈すると思われる高木性の広葉樹の侵入には、林冠ギャップが大きな影響を与えていることが明らかとなった。しかし、20~50年生の比較的林冠が閉鎖状態にある時期は有用な高木性種は少なく、林内で耐性的な低木性種が優占状態を呈しているようだ。したがって、この時期にスギ人工林内に有用な高木性広葉樹の侵入を期待するためには、50m²以上の林冠ギャップを創出するか、頻繁に間伐を繰り返すことであろう。さもなくば、林冠に空隙が生じ林内に安定した光が射し込み始める50年生以降の林分に期待したい。

5 引用文献

- 長谷川幹夫(1991)スギ不成績造林地での下刈り、除伐が広葉樹の定着に与える影響, 日林誌 73: 375-379.
長谷川幹夫(1998)多雪地帯のスギ造林地に侵入

- したウダイカンバの消長に及ぼす下刈り、除伐の影響, 日林誌 80 : 223-228.
- 藤森隆郎 (1994) 広葉樹林の特性とその取扱いの基本, (林業改良普及双書No.118, 広葉樹林施業-藤森隆郎・河原輝彦編, 175pp, 全国林業改良普及協会, 東京) 10-36.
- 古池 博 (1983) 石川県の植生と植物相 (石川県植物誌 - 石川の植物の会編, 227pp, 石川県, 金沢).
- 紙谷智彦・川口米美・箕口秀夫・武田 宏 (1991) 北陸から東北地方南部の海岸砂丘マツ林への広葉樹の侵入 (マツ枯れ進行中の海岸林への広葉樹の侵入様式と分布拡大の機構, 平成2年度科学研究費補助金研究成果報告書, 95pp) 1-5.
- 清野嘉之 (1990) ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究, 森林総研研報 359 : 1-122.
- 小谷二郎 (1990) 積雪地帯における広葉樹林造成・改良技術, 石川県林試研報 21 : 1-13.
- 小牧 旌 (1987) 加賀能登植物図譜, 273pp, 加賀能登の植物図譜刊行会, 七尾.
- 前田禎三・宮川 清・谷本丈夫 (1985) 新潟県五味沢におけるブナ林の植生と跡地更新-スギ造林地の成績とブナの天然更新の提案-, 林試研報 333 : 123-171.
- Poulson T. and W. Platt (1989) Gap light regimes influence canopy tree diversity. Special feature-treefall gaps and forest dynamics. Ecol. 70 : 553-555.
- Runkle J.R. (1989) Synchrony of regeneration, gaps, and latitudinal differences in tree species diversity. Special feature-treefall gaps and forest dynamics. Ecol. 70 : 546-547.
- 三代千里 (1982) 5 6 豪雪によるスギ冠雪被害について (第1報) 石川県林試研報 12 : 1-21.
- ※Shannon C. E. and Weaver W. (1949) The Mathematical Theory of Communications. University of Illinois Press. Urbana.
- 平 英彰 (1987) スギ根元曲がりの形成機構と制御方法に関する研究, 富山県林試験報 12 : 80 pp.
- Whitmore T. C. (1989) Canopy gaps and the two major groups of forest trees. Special feature-treefall gaps and forest dynamics. Ecol. 70 : 536-538.
- 横井秀一・山口 清 (1998) 積雪地帯のスギ不成績造林地におけるスギと広葉樹の生育実態, 森林立地 40 : 91-96.
- ※ : 直接文献を見ることが出来なかったもの

付表-1 スギ人工林内の植生調査結果

生活型	樹種	高浜	鶴来	尾小屋	下唐川	石動	小松	宝立山	長沢	金沢	輪島	山中	能登二宮	糠川	出現数	出現頻度
高木	ヤマグワ	○	○		+	○	○	1		○	+	+	1	+	11	84.6
高木	ウミスザクラ	+	○	○	+		1	+	+			+	○		9	69.2
高木	オニグルミ		+	○				+		○	○		1		6	46.2
高木	クワ			○	○		+		+			○	+		6	46.2
高木	アオハダ				○	+	+	○					○		5	38.5
高木	コナラ						+		+	○		○	○		5	38.5
高木	ネムノキ				+				+	+			○		5	38.5
高木	イタヤカエデ			+				1				+	○		4	30.8
高木	コシアブラ		+	○			+						○		4	30.8
高木	赤オノキ				+		○					+			4	30.8
高木	アカカシノ						+			○	○			○	3	23.1
高木	カラスサンショウ							+		○	○		+		3	23.1
高木	ミスギ		○	+								○			3	23.1
高木	ヤマモミジ								+			+	+		3	23.1
高木	ウリハダカエデ			+	○								+		2	15.4
高木	エノキ			+				○							2	15.4
高木	キハダ			+							○				2	15.4
高木	クマノリスギ	○			○										2	15.4
高木	ケヤキ	+			+										2	15.4
高木	コハウチワカエデ										○		○		2	15.4
高木	シロダモ				+					+					2	15.4
高木	ハゼノキ						+		+						2	15.4
高木	ヤブツバキ		+									○			2	15.4
高木	ヤマザクラ					+		+							2	15.4
高木	アオナラカシノ						+								1	7.7
高木	アヲブキ													○	1	7.7
高木	ウラジロカシ					○									1	7.7
高木	エンコウカエデ								○						1	7.7
高木	コブシ							+							1	7.7
高木	シナノキ			○											1	7.7
高木	スタシイ					+									1	7.7
高木	ニガキ										○				1	7.7
高木	ハクウンボク												○		1	7.7
小高木	エノノキ	○	○			+	1	1	1	+	+	○	○	+	11	84.6
小高木	タノノキ	○	1	+			○	1		+	○	○		+	9	69.2
小高木	キブシ	○			+			○	+	+		+	2	+	8	61.5
小高木	ニワトコ	○			+	+		+		+			+	+	8	61.5
小高木	ヤマウルシ		○			+	+	○				+	○	+	7	53.8
小高木	サンショウ				+				+			○	+	+	5	38.5
小高木	ヒサカキ				○		+		+					+	5	38.5
小高木	ケナシヤブデマリ			○				○		+		+		+	5	38.5
小高木	ガマズミ						+		○	+	○				4	30.8
小高木	リョウブ						+	+	1	+		+			4	30.8
小高木	ウリカエデ						+	+		+			○		3	23.1
小高木	コマユミ						○				○		○		3	23.1
小高木	ソコ						+					○	○		3	23.1
小高木	タムシバ		○		○				1				○		3	23.1
小高木	ナナカマド							+				○	○		3	23.1
小高木	スルデ		○				○		+						3	23.1
小高木	キンキマザクラ						+	+							2	15.4
小高木	コンズイ					+	○								2	15.4
小高木	マルバアオダモ				○				○	+					2	15.4
小高木	ヤマウバシ							+	+				○	+	2	15.4
小高木	ヤマボウシ						+								2	15.4
小高木	イソノキ						+								1	7.7
小高木	オオカメノキ												1		1	7.7
小高木	ケカマツカ				○										1	7.7
小高木	タカノツメ						+								1	7.7
小高木	マルバマンサク							+							1	7.7
低木	ムラサキシキブ	○			+	+	+	1	1	+	○	1	2	+	11	84.6
低木	モミジイチゴ	+	○		+	○	○	3	+	2		1	+	+	11	84.6
低木	クサギ	1	2		+	+	+	○		1		4	○	+	10	76.9
低木	オオバクロモジ			○	○	○	1	1	1	+		+		+	9	69.2
低木	ヒメアオキ	+	+	+	○		+					1	1	○	8	61.5
低木	タニウツギ			+	○			1	+	+		1	+		7	53.8
低木	ウツギ		○					○	+	+	1	○			6	46.2
低木	クマヤナギ						+	+	+		○	○		○	6	46.2
低木	サワフタギ				+		+	+	+			○		○	6	46.2
低木	ハイヌガヤ				○			1	+		○	+		+	6	46.2
低木	ハナイカダ			+				○			○	1	○	○	6	46.2
低木	エゾアシサイ	+		1						1		1			6	46.2
低木	ウリノキ		○		○						1			+	5	38.5
低木	コバノガマズミ				○	○	○	+						○	5	38.5
低木	ハイヌツゲ					○	+					+			5	38.5
低木	ヤマウコギ						+	+		+				○	5	38.5
低木	クマイチゴ	○									1				4	30.8
低木	コウゾ	1	1						+	1					4	30.8
低木	ツバハシ				○			○	+						3	23.1
低木	ツバハナ		○					○							3	23.1
低木	ノリウツギ			+			+								2	15.4
低木	ミヤマイトダ							+				+			2	15.4
低木	ヤマツツジ						+		○						2	15.4
低木	トウグミ					○					○				2	15.4
低木	ミヤマハナ			○									○		2	15.4
低木	エゾユスリハ												○		1	7.7
低木	エヒガライチゴ	○													1	7.7
低木	コアシサイ											○			1	7.7

低木	タマシサイ														1	7.7
低木	ツカハネウツキ									○					1	7.7
低木	ナウシロイチゴ														1	7.7
低木	ミヤマガマズミ					+								○	1	7.7
低木	ムラサキマユミ													+	1	7.7
亜低木	ヤブコウジ			+	+	+	+					○	○	○	6	46.2
亜低木	フユイチゴ	+								+				+	4	30.8
亜低木	クサイチゴ	+	○												2	15.4
亜低木	マルバハギ						+								1	7.7
蔓	フジ	+	+	+	+	○	+	2	1	+		4	1	+	12	92.3
蔓	サルトリイバラ	+	○		+	+	+	1	○	+		+	+	+	11	84.6
蔓	マダヒ				+		+	○	+	+	○	+	+	+	8	61.5
蔓	ミツバアケビ				○	+	+	○	+	+	○	+	+	○	8	61.5
蔓	クス	1		○	+			+	2						5	38.5
蔓	キツタ		○	○						+		1		○	5	38.5
蔓	イワガラミ									+		+	+	○	3	23.1
蔓	ゴヨウアケビ									○	+			○	3	23.1
蔓	ナツツタ				+		+					+			3	23.1
蔓	ヤマブドウ						2	+							2	15.4
蔓	サネカスラ						○								1	7.7
蔓	ツルアジサイ				+										1	7.7
蔓	ツルグミ					+									1	7.7
蔓	マツブサ												○		1	7.7
種類数	全体	20	28	25	35	20	44	43	33	34	23	40	39	35		
	高木	4	6	10	9	5	10	10	7	8	6	9	13	3		
	小高木	4	6	2	7	4	14	10	11	9	4	8	11	9		
	低木	7	12	9	11	6	12	16	11	9	11	15	8	16		
	亜低木	2	1	1	1	1	2	1	0	1	0	1	1	1		
	蔓	3	3	3	7	4	6	6	4	7	2	7	6	6		
スギ	密度(本/ha)	775	560	750	1565	1470	825	690	1315	880	1485	1465	1590	1080		
	断面積(m ² /ha)	32.5	43.9	76.7	34.3	47.6	31.2	29.8	31.9	47	50.6	55.6	41.6	44.8		
	材積(m ³ /ha)	254	416	875	198.1	354.2	252	219	224	393	323	399	262	397		
	収量比数	0.5	0.56	0.8	0.61	0.74	0.53	0.47	0.6	0.65	0.7	0.75	0.66	0.69		
	林齢(年)	22	36	49	25	23	29	24	22	26	23	25	33	27		
	標高(m)	90	160	460	260	100	40	330	140	50	320	380	420	130		
	傾斜度(°)	20	22	20	35	5	5	20	25	20	22	15	20	20		

注) 被度: 5-植物体が地上の75~100%を覆う, 4-50~75%, 3-25~50%, 2-10~25%, 1-1~10%, +-1%以下, ○-200m²以外で出現が確認されたもの
調査面積: 0.1ha, ただし被度は200m²