

スギ人工林に天然更新した広葉樹の成長パターン

小川智也 (東農大院)・長池卓男 (山梨森林総研)・佐藤明 (東農大)

要旨：本研究はスギ人工林内に天然更新した広葉樹の成長パターンを調査し、天然林化に向けた基礎データを得ることを目的とした。調査地は群馬県北部の「赤谷の森」において50m×50mのプロットを設置した。豪雪地で平均傾斜は約17°，かつて30年生前後のミズナラ等の広葉樹林を伐採し、1973年に5mほどの間隔でスギが列状に植栽された。植栽された列の間を中心に更新木が認められ、これら更新木の樹種別の成長パターンと立木位置の関係を競争指数として解析した。胸高直径を基準とする競争指数では、ミズキでは樹冠中心位置から4m以内のスギ立木を、ハルニレでは根元位置から4m以内の全ての立木を競争木とした場合に、成長量比(RG；ある時点以後3年分の直径成長量/ある時点以前3年分の直径成長量)との間に最も強い相関がみられた。樹高を基準とすると、ハルニレでは直径を基準とした場合と同じ結果が得られたが、ミズキでは根元位置から4m以内のスギ立木を競争木とした場合にRGとの間の相関が最も著しかった。

キーワード：スギ人工林，広葉樹，天然更新，競争指数

Abstract : This study aims to obtain the basic data to clarify the relationship between the position of trees of hardwood and Japanese cedar trees, also growth patterns of natural regenerated hardwoods in the artificial cedar forest to consider to convert natural forests from plantation. Study area was a plot of 50m × 50m in the "Forest of Akaya" which was national forests in the northern part of Gunma Prefecture. The average slope was approximately 17°. Hardwood forest had been consisted of mainly about 30 years *Quercus mongolica* before planting *Cryptomeria japonica* in 1973. The cedar trees were planted alternately at intervals of about 5m. We consider and report the relationship between the position of the trees (competition index) and growth patterns of tree species from the study results. In the competition index relative to the diameter at breast height, when *Cryptomeria japonica* competition within 4m from the center position of the crown, in the *Swida controversa* ratio growth rate (RG ; diameter growth for three years before at some point / diameter growth for three years after at some point) between strongest correlation was found. In the *Ulmus davidiana* var. *japonica* was observed when it was trees of all the competition within 4m from the base position. And with respect to the height, in *Ulmus davidiana* var. *japonica* same results were obtained, in the case relative to the diameter. When *Cryptomeria japonica* competition within 4m from the base position, in the *Swida controversa* RG between strongest correlation was found.

Key words : *Cryptomeria japonica* plantation, broadleaf trees, natural regeneration, competition index

I はじめに

適切な管理が行われない人工林は木材生産機能ばかりでなく、公益的機能を低下させる可能性も危惧される。一部人工林については、従来の木材生産重視からその地域本来の天然林に戻すことで生態系を回復し公益的機能を高める森林を考えることが必要である。人工林を天然林へと転換する場合、人工更新と比較すると、天然更新では更新する樹種に偏りが生じる場合があり、更新にも時間を要するが、人為的に種子・苗木の導入を行わない分、コストが抑えられる可能性がある。しかし、前述した天然更新の欠点を克服するためには更新により再生・侵入する樹木の種類や成長過程を対象林分ごとに把握、対応する必要がある(7)。人工林での天然更新による樹木の再生・侵入は植栽木の樹

種や林齢、光環境、土地利用履歴などにより影響されることが知られている(1)が、一度定着した樹木が自然状態でどのように成長していくのかはほとんど分かっていない。そこで本研究ではスギ人工林に広葉樹が天然更新した林分において、天然更新した広葉樹の成長パターンをスギと広葉樹の立木位置に着目して明らかにし、人工林から天然林への誘導を行う上での基礎データや、より早期に誘導させるための管理方法の検討を行うことを目的とする。

II 調査地および調査方法

1. 調査地概要 本研究は2009年に群馬県みなかみ町北部、新潟県との県境に広がる約1万haの国有林「赤谷の森」の小出俣エリアで行った。調査地から最も近いみなか

Tomoya OGAWA, Akira SATO (Tokyo University of Agric.1-1-1, Sakuragaoka, Setagaya-ku Tokyo 156-8502), Takuo NAGAIKE (Yamanashi Forest Research Institute. 2290-1, Saishoji, Fujikawa, Yamanashi 400-0520), Growth pattern of the regenerated natural hardwood in the cedar plantation

み町における気象庁観測データによると、年平均降水量は1641.9mm、年平均気温は10.4℃、年平均降雪量は934cmであった。

2. 調査区設置 調査区は南東向き斜面に設け、大きさは水平距離で50m×50m、平均傾斜角は約17°である。標高は約800m、緯度・経度はおよそN36°46′、E138°53′である。対象林分はスギが植栽された列と植栽されなかった列が交互に配置されている(通称:並木植え)。調査区は1973年~74年にスギが植栽され、90年まで下刈等の施業が行われた。スギが植栽される以前は、30年生前後のミズナラ等の広葉樹林が成立していた。

3. 調査方法 胸高直径3cm以上のスギと広葉樹に対して、個体識別を行った。識別した各個体は胸高周囲長を測定し、パーテックスで樹高を測定した。個体識別した樹木の根元位置と樹冠中心部に対してコンパス測量を行い、立木位置および樹冠位置を把握した。

成長錐を用い、樹幹コアの採取を行った。対象木は個体識別の結果から、高木性の樹木で個体数が多かったミズキとハルニレの生立木とした。採取本数はミズキが22本、ハルニレが53本である。コア採取位置は山側かつ地上高1.2mとし、樹木1個体につき1つのみとした。採取したコアはデジタルノギスを使用し年輪幅を測定した。

樹幹コアから、年輪の直径成長量の増減の程度を示すために、樹種ごとに成長量比(RG)を求めた(6)。

$$RG = Ga/Gb \quad \dots (1)$$

Gaはある時点の年輪のその後の3年間の樹幹コアサンプルにおける直径成長、Gbはある時点の年輪のそれ以前の3年間の樹幹コアサンプルにおける直径成長を示す。

樹木成長は、その樹木の周辺木と資源獲得競争を行い、競争が拮抗あるいは劣ると低下する(8)。そこで、樹幹コアを採取した個体は、周辺のスギ、あるいは全ての周辺木からどの程度影響を受けているかを調べるため、樹木間距離と樹木サイズに基づく競争指数を計算した。競争指数は主題木*i*のどの程度競争にさらされているかを知りたい樹木と競争木*j*(主題木周辺にあり、樹高が主題木より高い樹木)との距離と樹高から導きだされるBCI(式2)と、各個体の胸高直径(DBH)に着目して主題木*i*と競争木*j*(主題木周辺にあり、DBHが主題木より大きい樹木)との距離とDBHから導き出されるWCI(式3)の2つを用い(13)、主題木ごとに式2、3にてそれぞれの積算値を求めた。

$$BCI = \sum_{j=1}^n \text{ATAN}[(H_j + Z_j - Z_i) / \text{DIST}_{ij}] \quad \dots (2)$$

$$WCI = \sum_{j=1}^n [(D_j / D_i) / \text{DIST}_{ij}] \quad \dots (3)$$

ただし、ATAN: \tan^{-1} 、H_j: 競争木の樹高、Z_j: 競争木の海拔高、Z_i: 主題木の海拔高、DIST_{ij}: 主題木と競争木間の距離、D_j: 競争木のDBH、D_i: 主題木のDBH。

式2、式3ともに、図-1に示す3つの基準群を設け、各円内に存在する個体を競争対象木として計算。なお、隣接群とは主題木の樹冠が接していると思われる個体をさす。また、対象範囲内全ての個体を競争木とした場合と、スギのみとに分けて指数を出した。樹木間距離も、根元位置間の距離と樹冠中心位置間の距離のそれぞれで計算した。

立木に当たる光は方位によって偏りがあるため、主題木を囲むエリアを4分割し(図-1)、式2を方位ごとに分けたものも算出した。ただし、主題木に対して北側に位置する立木は光獲得競争において、有効な競争木となりえないため(8)北のBCIは除外した。さらにBCI算出の際に使用する主題木と競争木間の距離は、スギ人工林において、スギを主題木と競争木にした場合、これらの方位及び相対距離を使用したBCIが最も有効に競争関係を表せる(13)といわれていることから、固定距離(DIST_{ij})ではなく式4による相対距離(*r*DIST_{ij})を使用した。

$$r\text{DIST}_{ij} = \text{DIST}_{ij} / (H_j + Z_j - Z_i) \quad \dots (式4)$$

Yamashita (2006) は南と東のBCI算出に使用する相対距離は0.6以下、西のそれは0.3以下とし、それら範囲内の競争木が主題木の成長増減に最も関係していると報告している。よって、ここでも4式の左辺に0.6および0.3を代入し、等号を不等号≤にし、判別式として最適な競争木の距離を算出した。

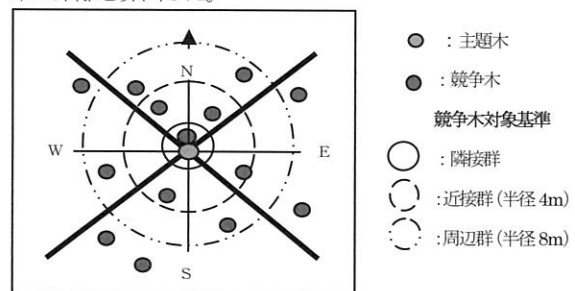


図-1. 方位により4分割した模式図
Fig.1 Figure 4 divided by the orientation

III 結果と考察

1. 林分構成 林分構成を表-1に示す。幹密度はスギが一番多く、胸高断面積占有率も81%を占めていた。広葉樹は幹密度が高い順にハルニレ、アブラチャン、オオバアサガラ、ミズキであった。しかし、胸高断面積占有率は高い順にハルニレ、ミズキ、オニグルミ、アブラチャンとなっ

た。スギ人工林に侵入した広葉樹の特徴として、被食型散布や風散布型の特徴をもち、埋土種子として長期に生存できる樹種の多いことが指摘されている(2)。本調査区も被食型散布、風散布型の広葉樹が多数出現していた。

表-1. 林分構成

Table.1 Stand configuration

出現種(学名)	幹密度(本/ha)	平均胸高直径(cm)	胸高断面積合計(m ² /ha)	胸高断面積占有率
スギ(<i>Cryptomeria japonica</i>)	1380	18.7	37.901	81.13%
ハルニレ(<i>Ulmus davidiana</i>)	276	12.8	3.121	7.55%
アブラチャン(<i>Lindera praecox</i>)	268	4.0	0.337	0.62%
オオバアサガラ(<i>Pterostyrax hispida</i>)	124	12.1	1.426	3.08%
ミズキ(<i>Swida controversa</i>)	88	14.5	1.453	3.30%
イタヤカエデ(<i>Acer pictum</i>)	40	6.0	0.113	0.23%
オニグルミ(<i>Juglans mandshurica</i>)	40	16.2	0.824	1.60%
ウツミズザクラ(<i>Padus grayana</i>)	28	8.9	0.174	0.33%
フジキ(<i>Cladrastis platycarpa</i>)	24	5.2	0.051	0.10%
キハダ(<i>Phellodendron amurense</i>)	24	11.3	0.241	0.45%
メグスリノキ(<i>Acer maximowiczianum</i>)	12	6.8	0.044	0.08%
シ(樹種不明)	12	4.5	0.019	0.03%
オホウ(<i>Ulmus laciniata</i>)	8	18.6	0.217	0.38%
ヤマハシノキ(<i>Alnus hirsuta</i>)	8	21.3	0.285	0.55%
ヤマモミジ(<i>Acer amoenum</i>)	8	4.9	0.015	0.03%
サウグルミ(<i>Pterocarya rhoifolia</i>)	8	11.8	0.087	0.22%
バッコヤナギ(<i>Salix caprea</i>)	8	14.9	0.139	0.26%
ハウチワカエデ(<i>Acer japonicum</i>)	4	5.2	0.008	0.02%
ヤマボウシ(<i>Benthamedia japonica</i>)	4	3.6	0.004	0.01%
ウラジロノキ(<i>Aria japonica</i>)	4	5.2	0.008	0.02%
クマヤナギ(<i>Berberis racemosa</i>)	4	4.4	0.006	0.01%
サルナシ(<i>Actinidia arguta</i>)	4	4.2	0.006	0.01%
総計(スギ除く)	996	—	8.578	18.88%

2. 樹幹コアの解析 各樹幹コアから、確認できた年輪数はミズキが年輪数26の周辺、ハルニレは年輪数18と24の周辺に個体数が集中しているように見受けられた。また、年輪数10未満の個体は見受けられない。これは過去10年間で胸高に到達した個体は無い、あるいは到達後枯死したものと考えられる。スギや先に更新している広葉樹の成長により樹冠が閉鎖されたことが原因として挙げられる。年輪数とDBHの間に両樹種とも正の相関がみられた(ミズキ:r=0.65, p<0.002, ハルニレ:r=0.54, p<0.001)。これは樹幹コアを採取する際、成長錐が幹の髄か、それに近い場所を貫通出来たためと思われる。

成長増減個体数の比率はミズキにおいて1986年~1988年には約80%の個体でRGが1.0以上を示し、成長は増加していた。しかし、成長減少する個体は徐々に増加し、2007年~2009年では約75%の個体が成長減少となっていた。一方、ハルニレは1989年~1991年には約60%の個体が成長増加を示していた。その後は成長が減少する個体が徐々に増え、2007年~2009年では約70%の個体が成長減少にあった。しかし、ミズキで約25%、ハルニレで約30%の個体が最近でも成長を増していることが明らかになった。これは樹幹コア採取樹木自身や周辺の樹木が時間経過とともに成長することで、成長に必要な資源(光、水など)の獲得競争が強まり、直径成長が増加から減少に転じる個体が増えた、あるいは伸長成長や地下部の発達に転じる個体が増えたためと考えられる。

ミズキにおいては、DBHと2007年~2009年分のRGとの相関関係はみられなかったが、DBHが増加すると、RGもある程度増加しているように見受けられた。ハルニ

レにおいては正の相関がみられた(r=0.34, p<0.03)。DBHが大きい個体ほど、周辺樹木との成長資源獲得の競争に有利である、あるいは資源獲得に有利であったことが、DBHを大きくしたと考えられる。

樹高と2007年~2009年分のRGは両樹種ともに相関関係はみられなかった。これは、スギと比べ広葉樹は、光のあたる方向へ向かって、幹を大きく傾けて伸長成長できることにより突出した樹高がなくても、光を受けて成長した個体があったためと考えられる。ハルニレにおいてはDBHとRGとの間に相関がみられたものの、単純にDBHの大きさ、樹高の大きさは相対的なものであって成長が変化したということを意味しない。周辺木との立地位置や個体の大きさの違いが、成長量比の違いとなって表れてきたものと予想される(4)。

3. 直径成長傾向と周辺木との競争関係 式1~3で計算した競争指数と成長量比との相関係数(r)と危険率(p)を表-2に、それぞれの区分中でもっとも相関係数が高かったものを図-2に示す。Yamashita(2006)の研究ではrの負の値が大きいほど競争指数を求める際の最適な基準群と見なしていたため、本研究においても同様の扱いをとった。

RGとWCIの隣接、近接、周辺群における相関は、近接群で計算したものが、どれも高い相関を示した。中でも樹冠中心位置間の距離で、全樹種を競争木対象とした場合の近接群に最も高い負の相関がみられた。スギ純林での主題木、競争木との場合だが、WCIを算出する際に主題木成長の増減に最も関係する競争木とのDISTijは4m以内といわれている(5, 8)。また、Mitsuda(2002)は天然更新したシベリアカラマツを主題木、それとシダレカンバを競争木にした場合のVCI(BCIでの主題木・競争木の比高差を加味しないもの)を算出、樹冠中心位置間のDISTijが4m以内で最も成長抑制効果があると報告している。

本研究の結果では主題木は広葉樹であり、競争木に広葉樹が混ざっている場合でも、WCIにおいてはDISTij4m以内が最適である可能性が高い。

WCIを算出した際、ミズキ、ハルニレともにDISTijを樹冠中心位置基準としたときに、RGとWCIとの間に高い負の相関がみられた。これは樹冠を構成する葉で光合成が行われ、その生産物により樹木が直径成長するため、樹冠周辺の被圧が光合成のための光を遮り、直径成長に影響を与えているためだと考えられる。

RGとBCIの隣接、近接、周辺群における相関も、近接群で計算したものがどれも高い相関を示し、BCI算出の際はWCI同様にDISTij4m以内が最適である可能性が高い。

一方、Yamashita(2006)よりスギ人工林において、スギを主題木と競争木にした場合、方位及び相対距離を使用

した *BCI* が最も有効に競争関係を表せるとしている。しかし、本研究では *RG* とそれらの *BCI* の間に相関はみられなかった。その原因としては、本研究では天然更新した広葉樹も競争木に含めており、その立木位置と樹高はスギと同様に不均一であったこと、この状態で相対距離を算出すると主題木周辺に脅威となる競争木がなくても、遠方に高木があると競争木と見なすこととなり、それらが誤差として *BCI* の値に加算されてしまうことなどが考えられる。

表-2. 競争指数と成長量比との相関関係

Table.2 Correlation between the ratio of the growth increment and competition index

競争指数 距離基準 競争対象木	競争木 対象距離	樹種			
		ミズキ		ハルニレ	
		相関係数(r)	危険率(p)	相関係数(r)	危険率(p)
WCI 根元距離 全樹種	隣接群	-0.52	ns	-0.47	p<0.01
	近接群	-0.68	ns	-0.53	p<0.004
	周辺群	-0.71	ns	-0.50	p<0.007
BCI 根元距離 全樹種	隣接群	-0.40	ns	-0.29	ns
	近接群	-0.76	p<0.05	-0.38	p<0.04
	周辺群	-0.55	ns	-0.31	ns
WCI 樹冠距離 全樹種	隣接群	-0.59	ns	-0.52	p<0.005
	近接群	-0.64	ns	-0.57	p<0.002
	周辺群	-0.65	ns	-0.52	p<0.005
BCI 樹冠距離 全樹種	隣接群	-0.24	ns	-0.12	ns
	近接群	-0.63	ns	-0.21	ns
	周辺群	-0.44	ns	-0.28	ns
WCI 根元距離 スギのみ	隣接群	-0.66	ns	-0.46	p<0.02
	近接群	-0.68	ns	-0.53	p<0.004
	周辺群	-0.72	ns	-0.50	p<0.007
BCI 根元距離 スギのみ	隣接群	-0.55	ns	-0.32	ns
	近接群	-0.83	p<0.02	-0.37	p<0.04
	周辺群	-0.58	ns	-0.37	p<0.04
WCI 樹冠距離 スギのみ	隣接群	-0.73	p<0.04	-0.43	p<0.03
	近接群	-0.74	p<0.04	-0.50	p<0.008
	周辺群	-0.67	ns	-0.50	p<0.008
BCI 樹冠距離 スギのみ	隣接群	-0.32	ns	-0.34	ns
	近接群	-0.68	ns	-0.37	p<0.04
	周辺群	-0.32	ns	-0.37	p<0.04
BCI 相対根元距離	全樹種	-0.45	ns	-0.31	ns
	スギのみ	-0.37	ns	-0.36	ns
BCI 相対樹冠距離	全樹種	-0.17	ns	-0.24	ns
	スギのみ	-0.11	ns	-0.28	ns

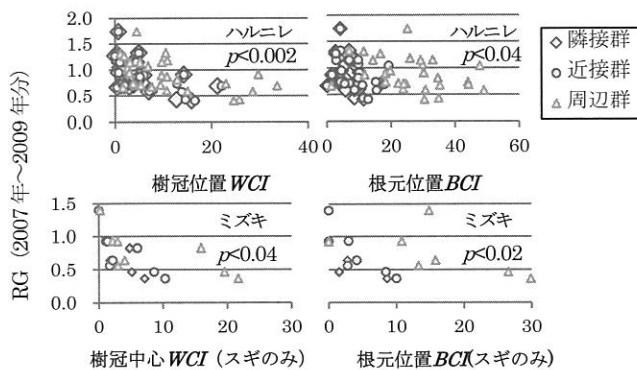


Fig.2 Relationship between ratio and growth competitiveness index

IV おわりに

ミズキ、ハルニレとも時間経過とともに成長量が減退していく個体が増えていた。樹木の成長は常に隣接木の大きさや位置関係による個体間の競争状態に影響されると仮定できる (5) ため、ある広葉樹の成長を促したいのであれば、その広葉樹よりも大きい DBH、樹高を有している周

辺木を競争木として選定し、伐採することが有効だと思われる。仮に DBH に着目するのであれば、成長促進を目指す個体がミズキの場合は樹冠中心位置から 4m 以内のスギ立木を競争木の対象とし、ハルニレの場合は樹冠中心位置から 4m 以内の全ての立木を競争木の対象として伐採すべきである。樹高に着目するのであれば、成長促進を目指す個体がミズキの場合は根元位置から 4m 以内のスギ立木を伐採木の対象とし、ハルニレの場合は根元位置から 4m 以内の全ての立木を伐採木の対象とするべきといえる。

本研究ではミズキとハルニレで最適な競争木選定基準に違いがみられた。競争木を選定する際に、優先して着目すべき項目 (DBH、樹高、競争木とする樹種) は成長を促進させたい広葉樹の樹種によって異なる可能性がある。今後の課題としては、多くの樹種の *WCI*、*BCI* を算出し、競争木を選定する際に、優先して着目すべき項目をそれぞれ検討していく必要がある。

V 参考文献

- (1) 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
- (2) 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. J . For . Res. 82 : 28-33
- (3) 西上愛 (2010) 広葉樹再生林の林分動態解析と成長予測—栃木県唐沢山における実証的研究—. 東京大学農学部演習林報告 122 : 65-127
- (4) MITSUDA, Y., ITO, S., AND TAKATA, K. (2002) Effect of Competitive and Cooperative Interaction among Neighboring Trees on Tree Growth in a Naturally Regenerated Even-aged *Larix sibirica* Stand in Considering Height Stratification. J . For . Res. 7 : 185-191
- (5) 宮本麻子・天野正博 (2002) 立木の空間分布および生育条件が個体成長に及ぼす影響. 森林総合研究所研究報告 383 : 163-178
- (6) 杉田久志 (1993) ヒバ林の成立過程 (I) 攪乱の歴史. J . For . Res. 75 : 100-107
- (7) 戸田清佐・小見山章・肥後陸輝・二宮生夫 (1995) 落葉広葉樹混生林を構成する樹種の肥大成長特性. 日林誌 77 : 289-296
- (8) YAMASHITA, K., MIZOUE, N., ITO, S., INOUE, A., and KAGA, H. (2006) Effects of residual trees on height of 18-and 19-year-old *Cryptomeria japonica* planted in group selection openings. J . For . Res. 11 : 227-234