

スギ若齢人工林における劣勢木の本数割合の変化

國崎 貴嗣*

Change in the number ratio of overtopped trees in young Sugi
(*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations

Takashi KUNISAKI*

1. はじめに

スギ若齢人工林に対する保育間伐では、本数率10~30%の下層間伐が採用されるのが一般的であり（安藤ら，1968），間伐の時間間隔が短くなり過ぎるのを避けるという森林経営の観点から，弱度間伐であっても本数間伐率20%以上とすることが推奨されている（岩手県林業水産部，1979；竹内，1998）。一方，我が国では独自課税（森林環境税）の拡大に反映されるように，粗放的に管理された過密なスギ人工林が各地で見受けられる状況にある。そして，独自課税に基づく森林整備事業では，本数間伐率40%以上の強度間伐（森林総合研究所，2010）を採用する県もある（高橋，2011；林野庁，2014）。

初回間伐で25%，二回目の間伐で20%の本数率で間伐すると，間伐前の本数密度に対する間伐木の積算本数割合は40%（ $=25\%+75\%\times 0.2$ ）になる。そのため，初回間伐と二回目の間伐をまとめて実施するならば，本数間伐率40%は妥当である。ただし，独自課税に基づく森林整備事業では，三，四回目の間伐を含めて未実施で，最多密度曲線に達した超過密なスギ若齢人工林を整備対象とする場合もある（國崎，2013b）。こうした超過密なスギ若齢人工林に強度間伐を実施するにあたり，本数率40%で十分に形質不良木や劣勢木を伐倒できるのか，ほとんど検討されていない。

劣勢木とは，樹冠の位置が低く，上方からも側方からも太陽光が制限され，幹成長が劣った林木である（Smith et al., 1997；全国林業改良普及協会，2001）。寺崎式間伐における樹型級

Received February 28, 2015

Accepted June 9, 2015

* 岩手大学環境科学系（農学部共生環境課程）

表1 スギ若齢人工林固定試験地の概要

林分	調査区	調査面積 (ha)	標高 (m)	初回調査時 (林齢12年生時)			直近の調査時 (林齢29年生時)		
				平均直径 (cm)	平均樹高 (m)	本数密度 (本/ha)	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)	本数密度 (本/ha)
無間伐林	上部	0.054	225-235	7.8	5.7	3370	18.0	15.4	2981
	中部	0.073	205-225	9.1	6.4	2877	19.6	17.2	2260
	下部	0.052	190-205	10.9	8.0	2654	20.1	18.7	2192
間伐林		0.125	185	12.4	8.9	3229	24.4	21.9	1803

区分で言えば、第4、5級木（第4級木：被圧木、第5級木：瀕死・枯死木）に相当する（全国林業改良普及協会，2001）。寺崎式間伐では、第4、5級木をすべて間伐木として選定するのが基本である（安藤，1986）。しかし、超過密なスギ若齢人工林においては、本数間伐率40%の下層間伐でも、すべての劣勢木を伐倒できない可能性がある。

本研究の目的は、スギ若齢人工林固定試験地2林分（無間伐林と間伐林1林分ずつ）を対象に、劣勢木の本数割合における変化特性を明らかにすることである。無間伐林のデータから、超過密なスギ若齢人工林における劣勢木の多寡を定量的に把握することで、本数率40%の下層間伐で劣勢木をすべて伐倒できるのかを評価した。また、弱度の下層間伐が実施された間伐林のデータを無間伐林のそれと比較することで、林齢20年生前後に実施される間伐の意義についても考察した。

II. 調査地と方法

1. 調査地

本研究の調査地は、岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター滝沢演習林（以下、FSC滝沢）内にある。FSC滝沢の標高210m地点での気象観測データによれば、年平均気温9.2℃、年平均降水量1,219mm、最深積雪深は約40cmである。

FSC滝沢におけるスギ若齢人工林固定試験地2林分（2014年時でいずれも林齢29年生）のうち、無間伐林は平均傾斜22度の東向き斜面上にある。間伐林は、平均傾斜5度未満の平坦地にある。両林分は、林業専用道を挟んで近接しており、無間伐林の標高は190～240m、間伐林の標高は185mである。両林分とも1986年に植栽密度3500本/haで植栽され、下刈り・除伐が実施された。無間伐林では、その後、保育作業は一切実施されていない。一方、間伐林では1998年（林齢13年生時）に除伐が実施され、本数で3%のスギ林木が伐倒された。1999年（林齢14年生時）に本数間伐率19%の下層間伐が実施された。また、2003年（林齢18年生時）に本数間伐率26%の下層間伐が実施された。その後、2010年末に発生した冠雪害木5本（本数で2%）の伐倒処理を除き、2014年（林齢29年生時）まで間伐は実施されていない。つまり、間伐林と

は、林齢14年生時に初回、林齢18年生時に二回目の弱度間伐が実施された後、11年にわたって三回目の間伐が実施されていない若齢林である。

2. 林分調査

1997年（林齢12年生時）の夏に、無間伐林に0.179ha、間伐林に0.125haの標準地を設定し、標準地内のスギ全林木について、スチール製の直径巻尺を用いて胸高直径を0.1cm単位で測定した。また、全林木本数の20～30%を胸高直径階別標準木として選び、その樹高をブルーメイス測高器により0.1m単位で測定した。1998年から2014年までの再測については、毎年秋に実施した。胸高直径の測定には、引き続きスチール製の直径巻尺を使用した。一方、樹高測定においては、2001年から超音波式測高器（VERTEX III, Haglof社, Sweden）を用いて0.1m単位で測定した。なお、無間伐林では斜面位置によってスギ上層木の樹高成長が異なる（すなわち、局所的な地位級が異なる）ため、標準地を斜面下部（0.052ha）・中部（0.073ha）・上部（0.054ha）に分けてデータを取りまとめた（表-1）。

3. 劣勢木の判定

固定試験地では樹型級を現地調査していないので、以下の知見を総合することで、劣勢木を定量的に判定した。

國崎（2001）は、針葉樹人工林における林木の胸高直径成長に関する国内外の文献を総括し、林冠閉鎖直前になると胸高直径が小さい林木の胸高直径成長が減退し、期首の胸高直径が小さいほど胸高直径成長量が低くなるというサイズ依存成長に変化することを報告した。さらに、自己間引き期に達すると胸高直径が小さい劣勢木の胸高直径成長量が0.0cm/年近くなることを報告した。

また、加治里ら（2004）が福岡県内の林齢43年生以上のスギ人工林1林分を対象に、明らかな被圧木6本の年輪幅を調査したところ、すべての被圧木において、最近15～20年の年輪幅は1mm未満（胸高直径成長量0.2cm/年未満）であった。

さらに、スギの良材生産では、従来から平均年輪幅1mm（胸高直径成長量0.2cm/年）以上が基準とされ（安藤ら、1968）、針葉樹では一般に年輪幅1mm以下で容積密度が低下すると考えられている（平川、2002）。

これらの知見を踏まえ、本研究では、林冠閉鎖直前（斜面上部で1999年、それ以外では1997年以前）からそれ以降のすべての時期において、固定試験地ではサイズ依存成長が成り立つことを確認した上で、胸高直径成長量0.1cm/年以下（0.1cm/年と0.0cm/年）の林木を劣勢木と定義した。ここで、胸高直径成長量0.0cm/年の林木のうち、前年秋の調査時点までに枯死と判定された林木を、その年以後の劣勢木には含めない。なお、無間伐林における平均胸高直径成長量は0.29cm/年（斜面下部で2011年）から0.75cm/年（斜面中部で2001年）、間伐林で

表2 スギ若齢人工林固定試験地における劣勢木の積算本数

林分	調査区	1997年の 林木本数	1998～2014年に発生した劣勢木				
			総本数	Sr ≤ 15.4 での発生 本数*	Sr > 15.4での発生*		
					枯死木及び 雪害木本数	間伐木本数	2014年の 生存木本数
無間伐林	上部	182	75	69	5	—	1
	中部	210	97	72	20	—	5
	下部	138	71	60	10	—	1
間伐林		403	85	64	0	20	1

* 相対幹距 (Sr) 15.4%以下は、過密で自己間引きの生じやすい状態である。

は0.40cm/年(2013年)から0.82cm/年(1999年)であり、胸高直径成長量0.1cm/年以下とは、成長減退が著しい林木であると言える。ただし、樹型級を現地調査していないため、実際には胸高直径成長量0.2cm/年以上の林木にも劣勢木が含まれる可能性はある。そのため、本研究における劣勢木の本数割合は、若干、過少に推定されていると考えるべきであろう。

4. データ解析

混み合い度の指標として相対幹距を算出し、相対幹距と劣勢木の本数割合との関係を無間伐林と間伐林で比較した。相対幹距(%)については以下の計算式で算出した。

$$\text{相対幹距} = 10000 / (\sqrt{N} \times \bar{H})$$

ここで、 \bar{N} はha当たり本数密度(本/ha)、 \bar{H} は上層木平均樹高(m)である。相対幹距はスギ若齢人工林では最適な混み合い度の指標とみなされており(國崎, 2013a)、無間伐林では相対幹距19%前後で林冠閉鎖完了、17%以下で林木間競合が顕著になり、15.4%以下で自己間引きが生じやすくなる(國崎, 2013a)。また、11%以下で最多密度曲線に達し、超過密状態となる(國崎, 2013a)。

相対幹距と劣勢木の本数割合との対応関係を定量的に明らかにするため、無間伐林と間伐林に分けて、3次の多項式により近似した。回帰分析にはDeltaGraph 5 (Red Rock Software, Inc, USA)のカーブフィット機能を適用した。

III. 結 果

無間伐林と間伐林における劣勢木の積算本数を表-2に示す。無間伐林では、相対幹距15.4%以下の時期(斜面下部2003年以後、斜面中部2004年以後、斜面上部2006年以後)に劣勢木と判定された林木が多く、劣勢木総本数に対するその割合は74~92%であった。相対幹距が15.4%より高い時期に劣勢木と判定された林木のうち、そのほとんどは2013年までに枯死木または雪害木(倒伏木、折損木、幹曲がり木)となり、2014年まで生存した劣勢木の劣勢木総本数に対

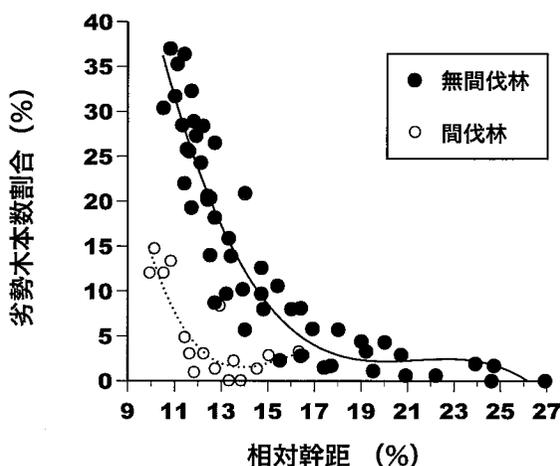


図1 相対幹距と劣勢木の本数割合との関係
曲線は3次の多項式による近似曲線である。

表3 スギ若齢人工林における劣勢木の本数割合の推定値

相対幹距 (%)	無間伐林	間伐林
17	3.8	—
16	5.7	—
15	8.4	1.9
14	12.2	1.4
13	17.2	1.9
12	23.6	3.8
11	31.6	7.7
10	41.2	14.1

する割合は1～5%であった。間伐林では、相対幹距15.4%以下の時期（2000年以後）に劣勢木と判定された林木の劣勢木総本数に対する割合は75%であった。相対幹距が15.4%より高い時期に劣勢木と判定された林木のうち、そのほとんどは1999年または2003年時の下層間伐で伐倒され、2014年まで生存した劣勢木の劣勢木総本数に対する割合は1%であった。

無間伐林と間伐林における相対幹距と劣勢木の本数割合との関係を図-1に示す。無間伐林の場合、相対幹距22.2%以上では劣勢木の本数割合は0～1.9%であった。相対幹距19.0～20.9%で0.6～4.4%、相対幹距16.9～18.0%で1.5～5.8%、相対幹距15.5～16.4%で2.3～8.1%と、相対幹距が低くなるほど、劣勢木の本数割合は緩やかに高くなった。相対幹距15.4%以下では劣勢木の本数割合は急激に高くなり、相対幹距13.2～15.4%で5.7～20.9%、相対幹距12.1～12.7%で8.7～28.4%、相対幹距10.5～11.9%で19.3～37.0%となった。3次の多項式 ($n=51$, $r^2=0.88$) で近似したところ、劣勢木の本数割合の推定値は、相対幹距17%で3.8%、相対幹距15%で8.4%、相対幹距13%で17.2%、相対幹距12%で23.6%、相対幹距11%で31.6%、相対幹距10%で41.2%となった（表-3）。

一方、間伐林では、林齢13年生時の除伐により本数で3%のスギ林木が伐倒され、相対幹距は16.5%となった。その翌年の林齢14年生時に本数率19%の下層間伐が実施されたものの、相対幹距は16.3%とほぼ一定であった。そして林齢18年生時に本数率26%の下層間伐が実施され、相対幹距は間伐直前の12.9%から間伐直後の15.0%まで増加した。その後、冠雪害木（本数で2%）の伐倒処理を除き、林齢29年生時まで間伐は実施されていない。この結果、直近の4年間（林齢26~29年生）では、間伐林の相対幹距は9.9~10.8%と極めて低かった。

この間伐林の場合、劣勢木の本数割合は相対幹距13.3~16.5%で0~3.2%であり、無間伐林における相対幹距19.0%以上でのそれとほぼ同程度であった（図-1）。相対幹距13%未満で劣勢木の本数割合は急激に高くなり、相対幹距12.2~12.9%で1.3~8.3%、相対幹距9.9~11.8%で0.9~14.7%となった。3次の多項式（ $n=17$, $r^2=0.75$ ）で近似したところ、劣勢木の本数割合の推定値は、相対幹距15%で1.9%、相対幹距13%で1.9%、相対幹距12%で3.8%、相対幹距11%で7.7%、相対幹距10%で14.1%となった（表-3）。

IV. 考 察

1. 無間伐林における劣勢木の多寡に及ぼす混み合い度の影響

無間伐林と間伐林いずれにおいても、劣勢木の大半（74~92%）は、スギ無間伐若齢林で自己間引きが生じやすく、過密と位置づけられる相対幹距15.4%以下（國崎, 2013a）の時期に判定された（表-2）。一方、相対幹距が15.4%より高い時期（過密でない時期）に判定された劣勢木（8~26%）のうち、2014年まで自己間引き（間伐林では下層間伐）されず、雪害にも遭わなかった本数割合は1~5%とごくわずかであった。これらのことから、本研究で用いた劣勢木の定量的判定法は、概ね妥当であると考えられる。

スギ無間伐若齢林では、林分の混み合い度によって劣勢木の多寡に違いが生じた。すなわち、劣勢木の本数割合は、閉鎖林冠形成期である相対幹距22%以上（國崎, 2013a）で0~1.9%、林冠閉鎖が完了する相対幹距19%前後（國崎, 2013a）で0.6~4.4%と低かった（図-1）。林木間競争が顕著になる相対幹距17%以下（15.5~17.0%）（國崎, 2013a）において、劣勢木の本数割合は2.3~8.1%と緩やかに高くなり、自己間引きが生じやすくなる15.4%以下で5.7~20.9%と、劣勢木の本数割合は急激に高くなった（図-1）。そして、林分密度管理図における最多密度曲線に達し、超過密状態となる相対幹距11%以下（國崎, 2013a）では、劣勢木の本数割合は30.4~37.0%と極めて高かった（図-1）。このように、混み合い度と劣勢木の本数割合との間には明確な対応関係が認められることから、混み合い度の指標である相対幹距を用いて、スギ無間伐若齢林における劣勢木の本数割合を定量的に推定できると考えられる。

2. 無間伐林に対する下層間伐本数率の設定基準

相対幹距を説明変数とした3次の多項式で推定した劣勢木の本数割合に基づき、必要な本数間伐率の下限を議論する。選木基準については以下のとおりとする。劣勢木についてはすべて間伐する。寺崎式間伐の樹型級区分における第2, 3級木(欠点のある優勢木と介在木)については一部(全林木本数に対する本数率15%以上)を間伐する。第1級木(欠点のない優勢木)については間伐しない。ここで、第2, 3級木の本数割合合計は、初回間伐後のスギ若齢林であっても60%以上に達する(工藤ら, 1996)。樹高上位木である第2級木をある程度間伐することで、残存木(第1級木や形質の良い第3級木)の受光状態を改善できる(橋本, 1986)。そこで、第2, 3級木についてはその四分の一、換言すれば、全林木本数に対して15%以上を間伐することとした。

スギ無間伐若齢林における劣勢木の本数割合は、相対幹距17%で3.8%であった(表-3)。相対幹距17%以下になると林木間競合が顕著になるものの、この段階では劣勢木の本数割合は低い。このため、本数率20%の下層間伐で劣勢木を確実に伐倒できるとともに、寺崎式間伐の樹型級区分における第2, 3級木の一部(全林木本数に対して15%以上)を伐倒できる。ゆえに、この段階では、本数率20%の弱度間伐でも良いだろう。

相対幹距15%における劣勢木の本数割合は8.4%と推定された(表-3)。この場合、本数率20%の下層間伐で劣勢木を確実に伐倒できるとは言え、第2, 3級木については全林木本数に対して11%しか伐倒できない。間伐の時間間隔が短くなり過ぎないという観点からすれば、本数間伐率の下限としては25%前後が必要である。

相対幹距14%における劣勢木の本数割合は12.2%と推定された(表-3)。本数率20%の下層間伐で劣勢木を確実に伐倒できるとは言え、第2, 3級木については全林木本数に対して7%しか伐倒できない。第2, 3級木を全林木本数に対して15%以上伐倒するとすれば、本数間伐率の下限として、30%前後が必要である。

相対幹距13%における劣勢木の本数割合は17.2%と推定された(表-3)。自己間引きが顕著になるこの段階で本数率20%の下層間伐を実施しても、ほとんど劣勢木しか伐倒できない。第2, 3級木を含めて間伐するという観点からすれば、本数間伐率の下限として35%前後が必要である。

相対幹距12%における劣勢木の本数割合は23.6%と推定された(表-3)。劣勢木を確実に伐倒するとともに、第2, 3級木を全林木本数に対して15%以上伐倒するとすれば、本数間伐率の下限として40%前後が必要である。ゆえに、この段階からは基本的に強度間伐を選択すべきであろう。なお、平均材積木を含む第2, 3級木への本数間伐率が材積間伐率に等しい(つまり、材積間伐率15%)と仮定すれば、40%の本数間伐率は材積間伐率26%に相当する。この値は森林経営計画における間伐率の上限(材積間伐率35%)未満である。

相対幹距11%における劣勢木の本数割合は31.6%と推定された(表-3)。この段階では最

多密度曲線にほぼ達した状況にあるため、劣勢木を確実に伐倒するとともに、第2, 3級木を全林木本数に対して15%伐倒するとすれば、本数間伐率の下限として50%前後が必要である。なお、本数間伐率50%は材積間伐率32%に相当するため、この場合も森林経営計画における間伐率の上限未満である。

相対幹距10%における劣勢木の本数割合は41.2%と推定された(表-3)。この段階ですらすでに最多密度曲線に達して久しい超過密な状況にあると言える。そのため、本数間伐率40%では劣勢木をすべて間伐することはできない。劣勢木を確実に伐倒するとともに、第2, 3級木を全林木本数に対して15%以上伐倒するとすれば、本数間伐率の下限としては60%前後が必要である。ただし、本数間伐率55%は材積間伐率35%に相当するため、60%前後の本数間伐率では森林経営計画における間伐率の上限を超える蓋然性が高い。ゆえに、本数間伐率30~50%の間伐を5~10年間隔で二回以上に分けて実施するなどの措置が必要だろう。

3. 定期的な弱度間伐の意義

間伐林では、林齢14, 18年生時と計二回の弱度間伐(本数間伐率19, 26%)が実施された後、11年にわたって間伐が実施されていない。そのため、直近の4年間(林齢26~29年生)では相対幹距9.9~10.8%という超過密状態にあった。

第二回間伐の直前に相対幹距が12.9%まで低下し、劣勢木の本数割合は、それ以前の1.3~3.2%から8.3%に急増した。それに対し、第二回間伐後7年間(林齢19~25年生時)における劣勢木の本数割合は、相対幹距11.4~13.8%で0~4.8%であり、この値は無間伐林における閉鎖林冠形成期または林冠閉鎖完了時(相対幹距19.0%以上)でのそれとほぼ同程度であった(図-1)。間伐林の林地生産力(樹高)は無間伐林のそれよりも高く(表-1)、林冠閉鎖も早いから、間伐林における第二回間伐後7年間での劣勢木の本数割合は、より高くなっても不思議ではない。それにも関わらず、相対幹距15.4%以下(無間伐林における過密状態)に達しても、劣勢木の本数割合があまり増加しなかったのは、林齢14, 18年生時で計二回の弱度間伐が実施された影響と考えられる。橋本(1986)は、FSC滝沢のスギ若齢人工林を対象に、異なる種類の間伐が林冠構造に及ぼす影響を数理的に解析した。その結果、下層間伐は上層間伐や機械的間伐に比べ、樹冠競合をよく緩和する間伐種であることを明らかにした。弱度間伐であっても、林冠閉鎖から10年ほどの間に二回実施されることで、間伐林における残存木の生育空間が広がった。このことが、新たな密度効果が生じるまでの時間差をもたらし、劣勢木のさらなる増加を抑制したものと考えられる。

ただし、相対幹距を説明変数とした3次の多項式で推定すると、間伐林における劣勢木の本数割合の推定値は、相対幹距12%で3.8%、相対幹距11%で7.7%、相対幹距10%で14.1%となる(表-3)。ゆえに、過去に間伐が実施されていても、相対幹距が12%前後まで低下したら、劣勢木の増加による過密の進行を軽減するため、本数率20%前後か、それ以上の下層間伐を実

施するのが望ましいであろう。

引用文献

- 安藤貴 (1986) 閉鎖後の保育. (川名明・片岡寛純ほか13名「造林学 三訂版」, 200pp), 137-159, 朝倉書店.
- 安藤貴・蜂屋欣二・土井恭次・片岡寛純・加藤善忠・坂口勝美 (1968) スギ林の保育形式に関する研究. 林試研報 209: 1-76.
- 橋本良二 (1986) スギ人工林の間伐と光環境 (III) 種々の間伐による林冠構造と平均葉面相對照度の変化. 日林誌 68: 261-270.
- 平川泰彦 (2002) 長伐期と林木の材質. (桜井尚武 編著「長伐期林の実際」173pp), 115-130, 林業科学技術振興所.
- 岩手県林業水産部 (1979) 岩手県スギ人工林 林分密度に関する基礎調査書. 63pp, 岩手県.
- 加治里佳子・小田一幸・松村順司 (2004) スギ被圧木の年輪構造. 九州森林研究 57: 177-181.
- 工藤弘・菅野高穂・賈斌・門松昌彦 (1996) スギ人工林間伐における寺崎式樹型級区分と樹幹曲げヤング係数の変化. 北大演報 53: 44-68.
- 國崎貴嗣 (2001) 樹木同齡單純林における胸高直径分布とその動態—針葉樹を中心として—. 森林計画誌 35: 31-45.
- 國崎貴嗣 (2013a) 粗放的に管理されたスギ若齢人工林の簡便な密度管理指標の探索. 岩大演報 44: 1-18.
- 國崎貴嗣 (2013b) 粗放的に管理された岩手県内スギ人工林の込み合い度と直径分布特性. 岩大演報 44: 53-67.
- 林野庁 編 (2014) 森林・林業白書. 223pp, 全国林業改良普及協会
- 森林総合研究所 編 (2010) 間伐遅れの過密林分のための強度間伐施業のポイント. 20pp, 森林総合研究所四国支所.
- Smith DM, Larson BC, Kely MJ, Ashton PMS (1997) The practice of silviculture. 537pp, John Wiley & Sons.
- 高橋美恵子 (2011) 強度な間伐は, どのくらいの間伐なのか. 岩手の林業 平成23年1月号: 8-9.
- 竹内郁雄 (1998) 間伐. (林野庁 監修「林業技術ハンドブック」, 1969pp), 全国林業改良普及協会, 860-882.
- 全国林業改良普及協会 編 (2001) 森をゆたかにする間伐. 55pp, 全国林業改良普及協会.

スギ若齢人工林2林分(無間伐林と間伐林)を対象に, 劣勢木の本数割合における変化特性を調べた。無間伐林では, 相対幹距15.4%以下では劣勢木の本数割合は急激に高くなり, 相対

幹距15%で8.4%, 相対幹距13%で17.2%, 相対幹距11%で31.6%と推定された。一方, 間伐林では, 相対幹距15.4%以下であっても, 相対幹距15%で1.9%, 相対幹距13%で1.9%, 相対幹距11%で7.7%と, 無間伐林に比べて顕著に低かった。

Summary

The changes in the number ratio of overtopped trees over 17 years were investigated in an unthinned and a thinned plantation of young Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don). The number ratio of overtopped trees in the unthinned plantation increased with a decreasing relative spacing index of $(Sr) \leq 15.4\%$, and was estimated to be 8.4% in $Sr=15\%$, 17.2% in $Sr=13\%$ and 31.6% in $Sr=11\%$. In contrast, the number ratio of overtopped trees in the thinned plantation was estimated to be 1.9% in $Sr=15\%$, 1.9% in $Sr=13\%$ and 7.7% in $Sr=11\%$, and was much lower than that of trees in the unthinned plantation.