

## アカマツ二次林の林冠下に植栽されたスギ下層木の成長

佐野淳\*・福本靖子\*・橋本里絵\*\*\*・小笠原隆三\*

平成8年6月24日受付

### Growth of *Cryptomeria japonica* Saplings Planted under the Canopy of a *Pinus densiflora* Secondary Forest

Junji SANO\*, Yasuko FUKUMOTO\*, Satoe HASHIMOTO\*\*\* and Ryuzo OGASAWARA\*

Growth patterns of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations aged 9 years under the canopy of a secondary forest dominated by Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) were studied at the Hiruzen Experimental Forest of Tottori University, western Japan. Tree height, diameter at breast height and dimension quotient of *Cryptomeria japonica* saplings under the canopy of *Pinus densiflora* were significantly smaller than those of saplings planted on open-canopy condition. The growth differences of saplings between under canopy and open-growth were shown to be a two-year lag at this time. The mean width of annual rings of undergrowth was almost a half of open-growth. Light conditions were estimated due to such differences.

As the growth of saplings under the canopy varied widely being caused by unequal arrangement of canopy trees, the management of secondary forests should be considered on thinning and pruning under the control of light conditions. Further studies should be designed to apply such results to the forest management system.

#### 緒 言

近年、森林の公益的機能への期待が高まるにつれて、複層林施業・育成天然林施業の推進が行われてきている。複層林施業は、皆伐によっておこる表層土の流亡、保水機能の低下などの問題点を防ぐとともに、地力維持、良質材生産、定期的な収穫、作業の平準化など林業経営の

面でも多くの利点をもっている<sup>4)</sup>。

複層林施業については、これまで、林内人工更新技術の基礎となる林内光環境の把握<sup>12)</sup>、林内条件下における下層木・雑草木の成長実態の解明<sup>2)</sup>などの研究が行われてきた。下層木の成長には、上層木の林分構造や間伐・枝打ちによる林内相対照度の変化が大きく関わっている<sup>11)</sup>。さらに、上層木と下層木の樹種、樹齡、植栽

\*鳥取大学農学部森林生産学講座

\*Department of Forestry Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

\*\*現勤務先：岡山県勝英地方振興局

\*\*\*Present Address: Shoei Regional Office, Okayama Prefecture

密度の違いなどによって、様々なパターンが考えられる。

本研究では、アカマツ二次林の林冠下に植栽されたスギ下層木を対象に、上層木の林分構造調査と樹幹解析による下層木の成長解析を行った。複層林施業の基礎となる二段林における下層木の成長様式を解明することが本研究の目的である。

### 調査地および調査方法

#### 1. 調査地の概況

調査地は標高580~869mに位置する鳥取大学農学部附属蒜山演習林である。地形は比較的緩慢で東南向きの幼年地形を呈し、大山火山から供給された安山岩質の角礫や亜角礫からなっている。表土は、黒色火山灰土である。

平均気温は11.3℃、年最高平均気温は16.2℃、年最低平均気温は6.4℃である。平均降水量は2140mm、平均降水日数は約180日で、積雪期間は12月から3月であり、平均降雪日数は90日前後である<sup>15)</sup>。

本演習林では、人工林が約200haを占め、ヒノキの造林地が多い。天然林は約370haで、多くはコナラの二次林であるが、アカマツ、ブナ、ミズナラ、クヌギなどの二次林や混交林も認められる。天然林の林齢は一部に150年生に達するものもあるが、大部分は50年生以下である。

今回調査対象地とした10林班(ロ小班)の二段林は、二次林のアカマツ上層木と一斉造林のスギ下層木で構成されている。上層を構成するアカマツは平均林齢54年で本数密度は約223本/ha、下層を構成するスギは、樹齢9年で本数密度は約3000本/haである。

#### 2. 調査方法

蒜山演習林内の10林班(ロ小班)の二段林で標準と思われる林分に15m×15mのプロットを設定し、上層木については、樹高、胸高直径、枝下高を、下層木については、根元直径も計測する毎木調査を行った。なお、下層木の根元直径計測点は、地際より30cm上に設定した。また、樹冠投影図の作成も行った。下層木と同齢の対照区として、同林班内の上層木をもたない単層林に10m×10mの対照区1を設定した。また、対照区1を補うため、対照区2を設定して本数調査を行った。対照区2は、成長抑制率の計算でのみ使用した。上層木と同齢の対照区として、10林班内(ニ小班)の密度の高い林分に15m×15mのプロットを設け、同様の調査を行った。

以上の調査で得られたデータより、平均値を示す樹木を選定し、二段林の下層木で4本、上層木をもたない対照区で3本を伐倒し、樹幹解析を行った。円板の採取位

置は、樹高が5m前後の幼齢木を対象としたため、地際(0.0m)、根元直径の位置(0.3m)、胸高直径の位置(1.3m)、それより上は1m間隔とした。

### 結果と考察

#### 1. 上層木の林分構造

本調査地のアカマツは二次林であり一斉林のように林齢が同一ではない。そのため、蒜山演習林森林調査簿と過去の樹幹解析結果を検討して平均林齢を推定したところ54年となった。上層木の概況を第1表に示す。

第1表 アカマツ上層木およびその対照区における測定値の平均(平均林齢54年)

プロット	本数 (/ha)	樹高 (m)	枝下高 (m)	胸高直径 (cm)	形状比
1	267	19.8	11.6	38.3	53.6
2	178	17.8	11.4	37.4	47.4
3	178	20.9	10.5	43.0	48.9
4	178	19.7	10.6	37.3	53.4
対照区1*	756	18.5	13.9	27.6	72.2
対照区2*	489	19.4	13.5	32.9	61.0

注) \*対照区1と2は、下層木を持たない密度の高い林分である。

樹高については、二段林の上層木とその対照区では、違いはみられなかったが(Mann-Whitney *U* test, 以下の検定も同じ,  $P > 0.05$ ns), 胸高直径は、約10cm, 割合にして約20%, 上層木の方が、対照区よりも大きい値を示した( $P < 0.001$ )。枝下高は、約14%上層木の方が小さく、対照区よりも樹冠部の深い林分であることを示した( $P < 0.001$ )。上層木の形状比は47.4~53.6%, 対照区では61.0~72.2%と、有意な差を示した( $P < 0.001$ )。

形状比(M)は、通常、樹高を胸高直径で割ったもので求められ、冠雪害の受けやすさの目安ともなっており、 $M \leq 60$ :冠雪害に安全、 $M > 90$ :冠雪害にきわめて弱い、 $M > 100$ :それ以上に危険、とされている<sup>16)</sup>。これによると、本調査地の上層木は冠雪害に対して安全といえ、密度の高い対照区はやや弱いことが分かる。

本調査地では、単層林である対照区と比べると密度が約4分の1であるため、二段林の上層木の方が、光環境が良好であり、また上層木どうしの競争が対照区ほどおこらないため、胸高直径成長が良く、形状比が低かったと考えられる。しかし、樹高については、密度による成長差は、受けにくいとされており<sup>7)</sup>、本調査地でもその

傾向を示した。また、下層木が上層木の成長に影響を与えることも考えられるが、これまでのところ明らかにはなっていない<sup>3,13)</sup>。

## 2. 下層木の成長

下層木の概況を第2表に示す。二段林の下層木と上層木をもたない対照区1を比較すると、下層木の方が樹高、胸高直径、根元直径共に低い成長を示した(すべて $P < 0.001$ )。すなわち、本林分でも上層木が下層木の成長を制限していること<sup>7)</sup>が認められた。このことは、林分の発達につれて強くなる下層木間の光の獲得に対する競争が、上層林冠の状態に影響されてくることを示唆している。

下層木のスギについて、現在までの成長過程を明らかにするために樹幹解析を行った。対象としたスギが9年生と小さいため、1年ごとの成長を求めた。材積については、幹足材積にはスマリアン式、梢頭材積には円錐体の体積を求める公式、その間の部分の区分材積にはフール式を用いて合計した。

樹高、胸高直径、胸高断面積、材積の成長曲線を第1

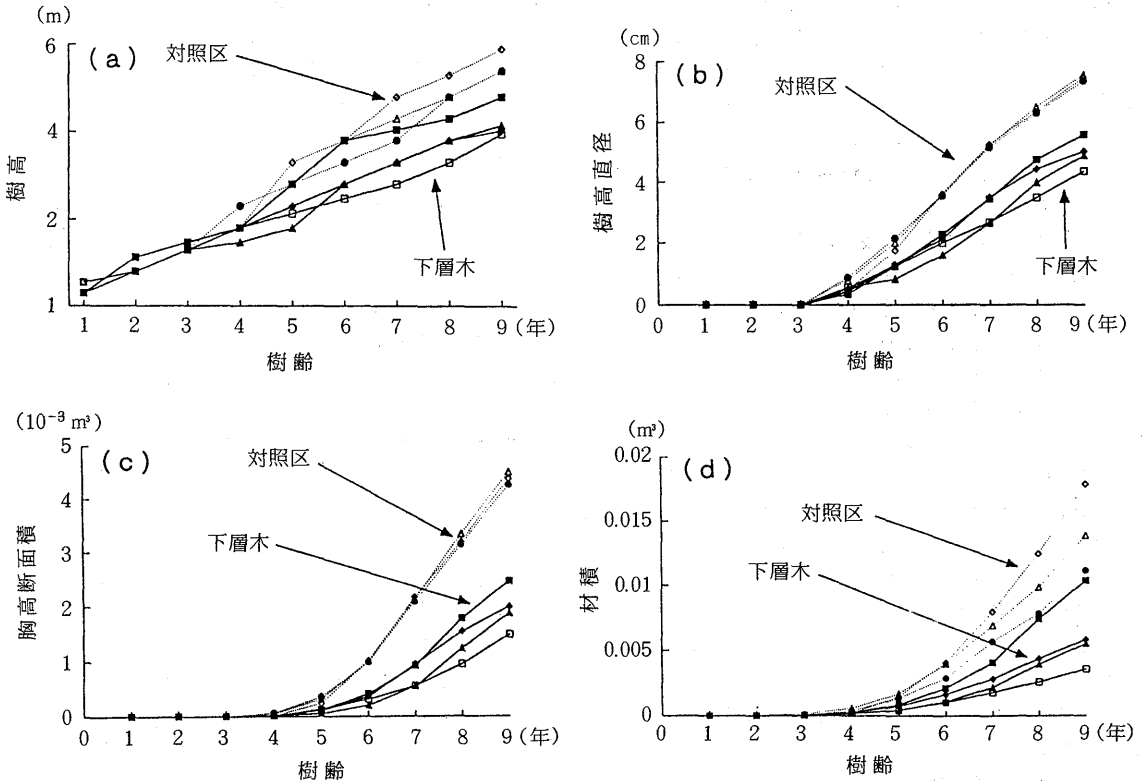
図に示す。4年生までは下層木、対照区に間に統計的に有意な差は見られなかったが、樹高は8年生から( $P < 0.05$ )、その他は5年生から有意な差が認められた(それぞれ $P < 0.05$ )。本調査地に植栽されたスギは、3年

第2表 スギ下層木およびその対照区の測定値の平均(樹齢9年)

プロット	本数 (/ha)	樹高 (cm)	胸高直径 (cm)	根元直径 (cm)	形状比
1	2978	391	6.1	8.0	65.4
2	3022	378	5.2	7.1	75.2
3	2844	400	5.0	7.3	82.6
4	3067	374	5.0	6.4	75.6
対照区1*	3100	595	8.6	10.3	57.1
対照区2*	-**	548	8.0	9.6	56.5

注) \*対照区1と2は、上層木を持たないオープンな立地の調査区である。

\*\*対照区2については、プロット調査ではなく本数調査による。



第1図 アカマツ林の下層および対照区におけるスギの成長曲線。

(a) 樹高, (b) 胸高直径, (c) 胸高断面積, (d) 材積

生の実生苗で植栽されたものである。3年生までは苗畑において同じ条件で育ったスギが、アカマツ樹冠下と上層木のない場所に植栽されたため、その異なる条件下になった2年後から、成長に差が生じていたことになる。また、下層木は9年生の時点で、対照区の7年生の成長しかしておらず、この時点で下層木は、上層木のない対照区に比べて2年分、成長が遅れていることになる。

下層木については、アカマツ樹冠下に植栽されたことにより光環境が悪くなり、対照区に比べて成長が低い値で推移しているものと推察される。単木的に見ると、上層木を持たない対照区に比べて、上層木を持つ下層木の成長のばらつきが大きいので、上層木の樹冠の配置が下層木の成長の個体差の原因であると考えられる。現在までのところ、それぞれの連年成長が平均成長を上回っているが、今後、成長が進めば、通常いわれるように、成長のピークはまず連年成長に表れ、それを追うように平均成長に表れる<sup>7)</sup>と考えられる。

年輪幅を比較すると、3年生まではほとんど差はみられなかったが、4年生から胸高直径成長に差が認められた。年輪幅の値を平均すると、下層木で3.4mm、対照区で6.2mmとなり、下層木は、対照区の約55%であった。また、それぞれの標準偏差は、下層木では±0.90mmであるのに対し、対照区では±2.83mmであった。すなわち、下層木は対照区に比べ、年輪幅が狭く、均一な成長を示していた。

### 3. 樹冠下と樹冠外の下層木の成長

上層木の樹冠下に生育する個体と樹冠外の個体では、成長に差があるかを検討した。それぞれのプロットの上層木および下層木の配置および樹冠投影図を第2図に示す。ここで、下層木の樹冠が上層木の樹冠に完全に覆われているものを「樹冠下」、全く覆われていないものを「樹冠外」とし、成長の比較を行った。ただし、一部だけ樹冠に覆われていた個体は、今回の解析から除外した。

樹冠下の個体は、樹高および胸高直径で、樹冠外の個体より小さい値を示した（それぞれ $P < 0.01$ ）。すなわち、上層木による被覆は、下層木の伸長成長とともに肥大成長も抑制していた。このことは、上層木の樹冠の配置によって下層木間の成長に差が生じ、下層木間の階層性が次第に大きくなっていくこと<sup>17)</sup>を示唆している。実際の施業に当たっては、樹冠下の個体は、林冠密度の低い位置に植栽するなどの工夫が必要であろう。

### 4. 林内の光環境の推定

上層木の林分構造と下層木の成長解析より、林冠状態が下層木の成長に影響を与えていることが明らかに

なった。ここでは、その直接的原因と考えられる光環境<sup>2,11,14)</sup>を、以下の2つの方法で求めた相対照度によって推定した。

#### (1) アカマツの相対成長関係より

鳥取大学蒜山演習林におけるアカマツ単木の器官の現存量に関する基礎的資料<sup>10)</sup>における相対成長関係式は(1)式ようになった。

$$YL = 17.243D^2H^{0.6873} \dots\dots\dots(1)$$

$$(r = 0.8802)$$

ここで、 $YL$ は葉乾重、 $D$ は胸高直径、 $H$ は樹高である。(1)式から、上層木アカマツの平均葉乾重は、3.89ton/haと推定された。

一方、葉面積と相対照度の関係が、次の(2)式である<sup>9)</sup>。

$$I/I_0 = e^{-kF} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $I$ は葉面積層Fの下の被陰された光の強さ、 $I_0$ はもとの入射光の強さ、 $k$ は吸光係数である。 $I/I_0$ が相対照度を表している。

葉面積指数と葉乾重とは同一樹種内ではば一定であるので、置き換えることが可能であり、その置き換えた式が(3)式である。(3)式の $k'$ は、単位葉乾重に対する吸光係数であり、針葉樹、常緑広葉樹、落葉広葉樹などの違いにより、異なった値を示す。マツ属では、0.31と報告されている<sup>14)</sup>。

$$I/I_0 = e^{-k'YL} \dots\dots\dots(3)$$

(1)式で求めた平均葉乾重3.89tonと吸光係数0.31を、(3)式に当てはめたところ、本調査地における下層の相対照度は、29.9%と推定された。

#### (2) スギの成長抑制率より

林内植栽木の相対照度と樹高成長の抑制率の関係から相対照度を算出した。ここで用いた樹高は、林齢、密度、立地条件などの相違をなくすために、相対照度が100%の場合、すなわち、皆伐跡地に植栽された値を100とした場合の相対樹高である。林内被陰下における下層木スギの相対樹高は、地位や品種・系統、樹齢などにあまり関係なく、相対照度と、(4)式のような一定の関係をもって成長するとされている<sup>6)</sup>。

$$1/H = 0.169/RLI + 1/118 \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 $H$ は相対樹高、 $RLI$ は相対照度である。(4)式と本調査地における下層木スギの樹高成長抑制率67.8%より、相対照度は27%と算出された。

以上2種類の方法で求めた相対照度に大きな差は見られなかったので、本調査地におけるアカマツ樹冠下でのスギの相対照度は約30%と推定された。

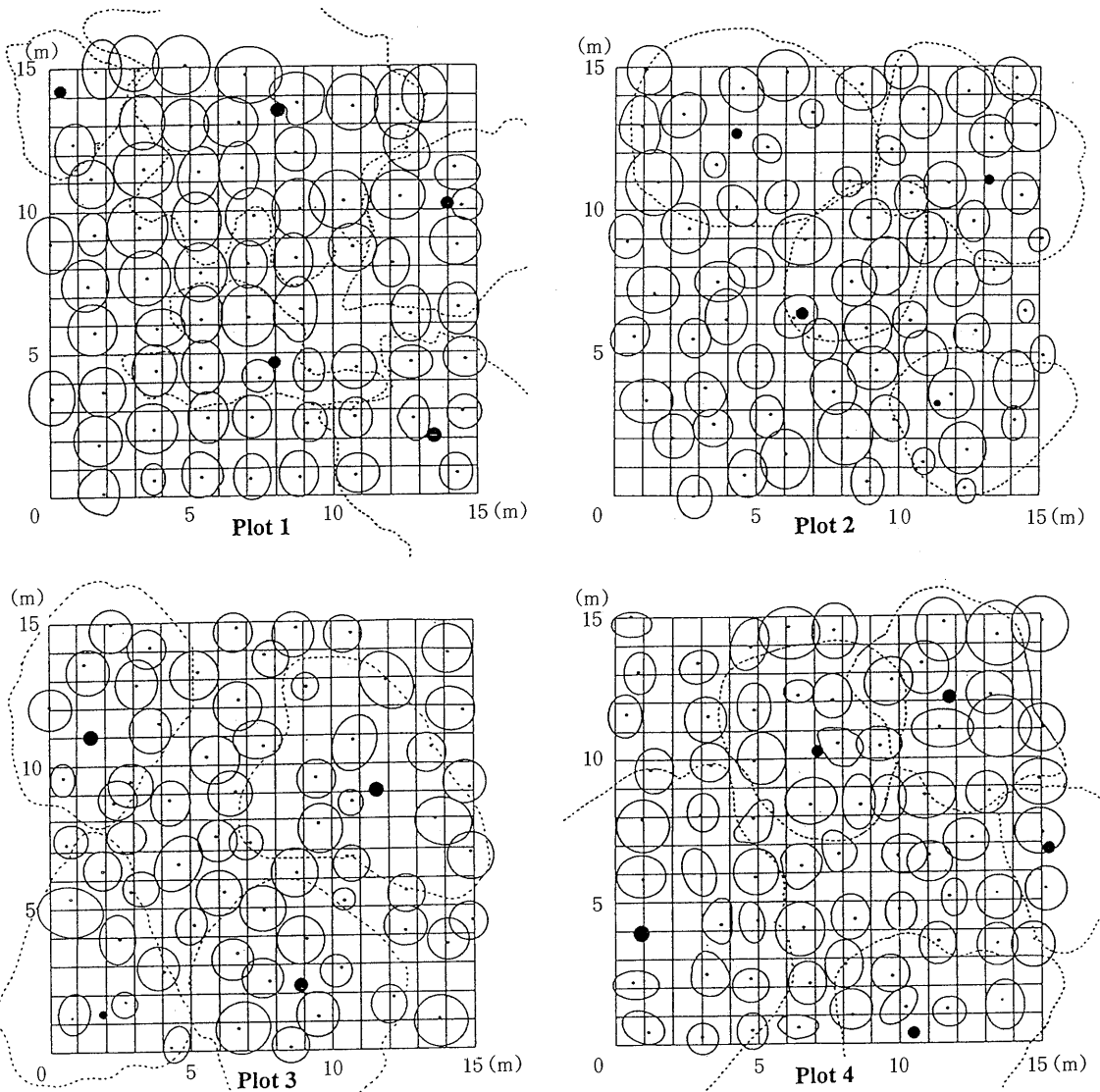
同様の方法でプロットごとの相対照度を求めると、プ

ロット1が24.6%，プロット2が36.9%，プロット3が25.9%，プロット4が34.4%となった。下層木スギの成長には、植栽後15年以上は20%以上の相対照度が必要とされているが、林内相対照度があまり高くなると雑草木の成長もよくなるので、林内の相対照度は40%までに抑えた方がよいといわれている<sup>4)</sup>。この条件からすると、本調査地のどのプロットも下層木の成長のためにも雑草木の成長抑制のためにも適度な明るさをもった林分であるといえる。

るといえる。

## 結 言

本論文では、上層木を持たない対照区と比較することによって、上層木が下層木の成長に与える影響を推察した。上層木をもたない対照区の成長を100%とすると、下層木の樹高成長は67.8%，胸高直径成長は64.8%に相当した。対照区は、下層木のプロットと隣接した立地条



第2図 アカマツ上層木およびスギ下層木の位置と樹冠投影図（プロット1～4）。  
黒丸は根元位置，点線はアカマツの樹冠，実線はスギの樹冠を示す。

件が同一のプロットなので、両者の成長差は、上層木の有無による照度の違いに起因すると考えられた。

一般に、二段林では、上層木によって下層木の肥大成長が抑制され、形状比が高くなると言われており<sup>1)</sup>、本調査地でもこの傾向を示した。形状比が高いということは、年輪幅の詰まった良質材生産につながるが、形状比が高いほど、冠雪害への危険が高くなるという問題がある。二段林では上層木の保護効果が期待される<sup>5)</sup>ので、形状比が同じでも、一斉林より冠雪害を受けにくいと考えられる。本プロットでも、上層木をもたない対照区内でのみ、冠雪害の影響とみられる胸高直径位置より少し下の位置で曲がった個体が観察された。

林冠下の個体の成長に大きな差が認められたのは、上層木の配置の不均一さやそれによる樹冠の不揃いな発達によるものである。揃った材を生産するためには、上層木と下層木の葉層部が、垂直的にも水平的にも均等に分布していることが理想的だと考えられる。また、アカマツ壯齡木の場合、間伐後の急速な樹冠の発達はみられないこと<sup>12)</sup>から、上層樹冠が偏った配置にならないような適切な間伐木の選定や下層木植栽時に林冠木の配置を考慮するなど、林分の状況に応じた森林の管理が重要である。

今後は、枝打ちの時期や枝打ち高による成長の違いに関する調査、上層木と下層木の密度の異なる場合のステージ二段林についての調査などを行い、より綿密な施業を行うための育林体系の確立が望まれる。

## 謝 辞

本研究を行うにあたりご協力を頂いた鳥取大学乾燥地研究センターの玉井重信教授ならびに大阪営林局山崎営林署の皆様へ厚く御礼申し上げます。調査地の選定では鳥取県振興局、鳥取県東部森林組合の皆様へ大変お世話になりました。そして、調査にご協力頂いた鳥取大学農学部附属蒜山演習林の谷田真人業務主任および技官の皆様、鳥取大学の林業経済・経営学研究室、乾燥地研究センター緑化保全部門ならびに森林計画学研究室の諸氏へ心より御礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 安藤貴：複層林施業の要点。林業科学技術振興所，東京（1985）
- 2) 安藤貴，宮本倫仁，竹内郁雄，桜井尚武，谷本丈夫：林内の光環境と下木の樹高成長。林試研報，323 108-110（1983）
- 3) Cobb, D.F., O'hara, K.L. and Oliver, C.D. : Effects of variations in stand structure on development of mixed-species stands in eastern Washington. *Can. J. For. Res.*, 23 545-552（1993）
- 4) 藤森隆郎：複層林マニュアル。全国林業改良普及協会，東京（1992）
- 5) 橋本与良：複層林施業の効果。複層林の施業技術。日本林業技術協会編，日本林業技術協会，東京（1982）pp.7-8
- 6) 河原輝彦：人工庇陰下の植栽木と樹下植栽木の成長比較。林試研報，323 133-134（1993）
- 7) Lorimer, C.G., Chapman, J.W. and Lambert, W.D. : Tall understorey vegetation as a factor in the poor development of oak seedlings beneath mature stands. *J. Ecol.* 82 227-237（1994）
- 8) 箕輪光博：林木成長論。測樹学，南雲秀次郎，箕輪光博編，地球社，東京（1990）pp.147-234.
- 9) Monsi, M. und Saeki, T. : Uber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung fur die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* 14 22-52（1953），（門司正三，野本宣夫訳 植物の物質生産。東海大学出版会，東京（1982）pp.183-223）
- 10) 小笠原隆三：鳥取大学蒜山演習林におけるアカマツ単木の器官の現存量に関する研究資料（未発表）
- 11) 尾方信夫，上中作次郎，飯盛功：林分構成と下木の樹高成長。林試研報，323 111-114（1983）
- 12) 斎藤勝郎，森麻須夫，佐藤昭敏：アカマツ林における光環境の経年変化。林試研報，323 79-80（1983）
- 13) 隅田明洋：広葉樹群落の空間構造。日生態誌，46 31-44（1996）
- 14) 玉井重信：林内光環境と林分構造に関する研究。京都大学学位論文（1974）
- 15) 鳥取大学農学部附属演習林：鳥取大学農学部附属演習林第4次施業計画書（1994）
- 16) 塚原初男：多雪地の造林。造林学。堤利夫編，文永堂，東京（1994）pp.59-101.
- 17) Weiner, J. and Thomas, S.C. : Size variability and competition in plant monocultures. *Oikos*, 47 211-222（1986）