

林内の照度 (I)

玉井重信・四手井綱英

Light Intensity in the Forest (I)

Shigenobu TAMAI and Tsunahide SHIDEI

目次

要旨	53	(1) 林床の照度	
はじめに	53	(2) 垂直分布	
1. 測定器具の検討比較	54	引用文献	61
2. 測定方法の検討	56	Résumé	62
3. 結果と考察	56		

要旨

森林内での照度の変化と状態を林内の相対照度を中心に調べた。

林内の相対照度の分布は晴天時にはL型分布し、その平均値は対数正規化して求める必要がある。

林内の照度は林外の照度が高まるにつれて、その増加率は鈍る。これは、林外の照度中の散光成分の占める割合の違いによるものであろう。

晴天の場合、一日のうちでは、林内の相対照度の平均値は12時頃が最も低くなり、L型分布する。

季節変化をミズナラ林でみると、林内の相対照度の分布型は夏の生長期が最も強いL型となり開葉期、落葉期へ向うにつれくずれ、分散が大きくなる。平均値は開葉期より次第に減少して9月頃迄つづくが、これは9月迄葉量増加していることによると思われる。

林内の相対照度の垂直分布を調べた結果、林内の相対照度は葉面積に対して指数函数的に必ずしも減少せず、葉面積の少ないところ(上層)で、高目の値を示した。これは上層の葉の分布は集中分布しているため、上層では他層にくらべて遮光率が低いことによると思われる。

はじめに

森林の植物にとって最も大切なエネルギー源である陽光は、種々の物理的要因により変化するが、植物群落内ではさらに生物的作用による要素が加わって変化する。即ち散光成分と直射光成分等の物理的要因と、葉の分布、林冠構造等の生物的要因の二者により構成され変化する。このように物理的要因をもったものが植物へどのように作用し、また関係をもっているかを調べることは、かなり多くの困難があるが、今回はまず生物的要因を中心に林内照度の変化を調べた。

林内の照度は以前から多く調べられているが、生産力調査の一環として、また林内環境を表わ

す指数として調べられているものが多く、林内の相対照度そのものにどんな性質があるかは十分に検討しつくされていないと思われる。現在測定器具として最も多く使用されている光電池型照度計も機構は各々同一であるが、角特性、比感度等は必ずしも型により同一でない。そこで第一歩として異なった型の測定器具間における関係から出発し、森林の生産力と光の関係以前の基礎的要素についてまず検討してみた。林内の照度は複数の要素が作用しあって生じた値であるので、解析することは非常に難しくひとつひとつほぐしてゆかなくてはならないが、今回は今迄の実験結果から林内の照度を概論的に全体の傾向を述べ今後徐々に細部の個別問題について検討してゆきたい。

なお実験に使用した林分の概況は次のとおりである。

日野（滋賀県蒲毛郡日野町綿向山）のヒノキ林 (*Chamaecyparis obtusa* stand): 林令 33 年, 立木密度 3500 本/ha, 平均胸高直径 12.8 cm 平均樹高 10.4 m

芦生（京都府北桑田郡美山町芦生京都大学演習林）のミズナラ林 (*Quercus crispula* stand): 林令 50~60 年, 立木密度 1900 本/ha, 平均胸高直径 14 cm, 平均樹高 19.5 m.

吉野（奈良県吉野郡東吉野村杉谷、財団法人阪本奨学会所有林）のスギ林 (*Cryptomeria japonica* stand): 林令 14 年, 立木密度 1200~3280 本/ha.

(注) 吉野のスギ林の詳細は京大演報 42 (1971) を参照されたい。

終りに本研究について終始適切なアドバイスを得た川那辺三郎氏に感謝するとともに、実験、調査に際し協力を得ました森林生態学研究室の大学院生各位に深謝する。

1. 測定器具の検討比較

森林の光エネルギーを表わす方法として、一般にカロリー ($\text{g, cal/cm}^2, \text{min or day}$) 用い、明るさを表わす方法は主としてルクス (lux) を用いる。表現単位はこのようなほぼ統一されているが、それを生み出す測定器そのものは現在決して統一され、標準的なものがあるとは言い難い。エネルギーで表わすものは、ほとんどが輻射熱による温度差により生ずる起電力を利用し測定するものであり、照度は光電子を用い光エネルギーを電気的エネルギーに変換し光電流として測定するものである。

このように原理そのものは各々同形式であるが、測器の角特性、分光感度等には相違がある。ここでは測器の精度そのものにはふれず、測器各々にどのような特性があり、相互にどんな関係があるかを実際の植物群落測定を行なう以前に比較検討する意味において行なってみよう。

照度と輻射エネルギーそのものは、物理性において性質を異にするものであるが、植物の物質生産に作用する類似性と植物群落内の光環境測定における各々の測定上の長所を利用し使い分けの必要性を考慮し両者を検討する。

まず光エネルギーを測定する日射計について調べてみたが、半球面のガラスドームで被われているゴルチンスキー型のものと管形の日射計（いずれも英弘精器製）は同一条件下でほぼ等しい値を示したが、管形のは水準器がついていないので受光面を水準にすることが難しく、その誤差と思われるものが日射量にでてくることがあった。

次に照度計の従来使用していた東芝 5 号型と改良型の SP-1 型（いずれも東芝製）について調べてみた。

両者の受光器の分光感度はほぼ同じで、可視光線の波長部分に感度を合わせてある。しかし角特性をみると入射角が大きくなると SP-1 型は 5 号型に比べて比感度は大きくなり、差が生じてくる。これは SP-1 型の受光器には受光部に角補正グローブがついているためと思われる。そこ

でこの両者を実際に太陽光下で比べてみよう (Fig.-1)。

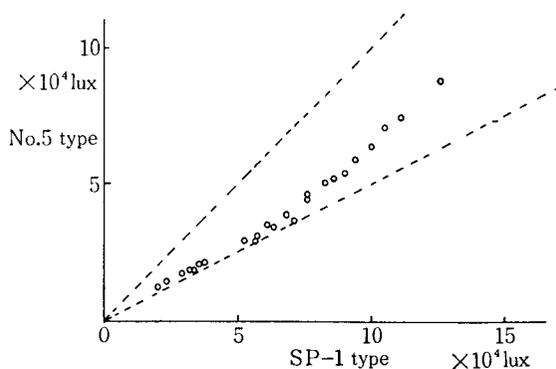


Fig. 1. Relation between old (No. 5) and new (SP-1) type illuminometer.

SP-1 型で 50 klux 以下では 5 号型の 2 倍前後の値を示し、それ以上明るくなるとその比率は小さく 120~130 klux (SP-1 型) では 5 号は SP-1 型の 7 割強の値を示すようになる。これは太陽光は照度が高くなるにつれて散光成分が少なくなり、陽光量中の直射光の強さが測定値を左右するが、低照度になると散光成分の占める率が高くなり、光の入射角単一指向性が弱くなるためと考えられる。SP-1 型は角補正グローブがついており、入射角の大きい成分の光を 5 号型に比べて捕え易くなっており、その結果低照度になるほど、SP-1 型と 5 号型との測定値の差が大きくなると思われる。表現方法は同じルクスであっても照度計の形式により倍近い値の差があるので照度計の形式が異なる場合はこの点を考慮する必要がある。

つぎに熱量と照度の関係についてみよう。

照度計は SP-1 型、日射計は管形とゴルチンスキー型のものを持ちいた。その結果 (Fig-2) ほ

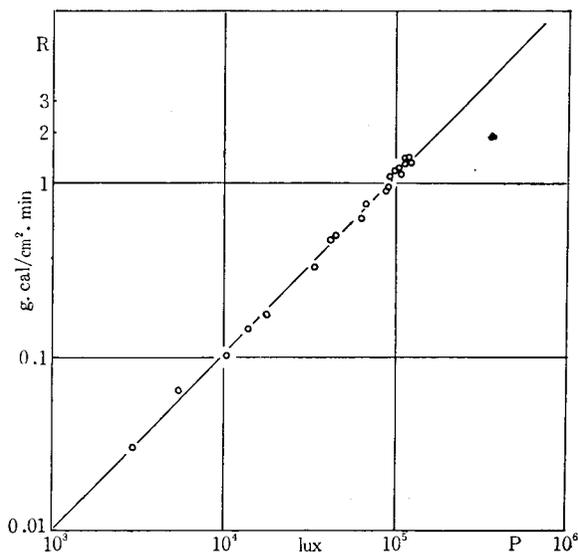


Fig. 2. Relationship between solar radiation (R) and illumination (P).

とんど両対数で直線関係にあり、 $1 \text{ g. cal/min, cm}^2 \cong 10 \text{ k lux}$ として換算しても誤差は 1 割弱程度

である。しかし上記の値はすべての場所、時期に普遍性があるとはいえない。 $1\text{ g. cal/min, cm}^2$ の照度は太陽高度が高くなるにつれて大きくなる¹⁾との報告等もあり今後これらの要因を加味して、調べる必要があるがカロリーとルクスの関係は実用的には今回の実験結果でほぼ十分であろう。

2. 測定方法の検討

森林の光環境測定の方法には大別して、二つある。その一つは、林内に一点又は複数の点を固定し、その地点の照度を一日あるいはより長期間連続測定するいわゆる「連続測定」である。他の一つは森林の現存量調査等のさいその林分の光環境を知るために行なうことが多いが、ある一定のプロットにつき必要点数だけ、できるだけ短時間に測光地点をかえて行なう方法で瞬間測定 (instantaneous measurement) と呼ばれるものである。これら二つはいずれも実際に実験するとき長所、短所が裏表になって出てくるのでこの点について考えてみよう。

まず連続測定は森林の生産力を調べるさいに用いられることが多い。林外の照度は太陽高度により晴天の場合は日変化するが、林内の照度は林冠構造の関係で必ずしも林外の照度と比例して変化しない²⁾³⁾⁴⁾。また植物の生産の主機構である光合成作用において、同化量と照度の間にある一定の関係⁵⁾がある。これらのことを考慮する場合、植物の生産に強い関係をもっている積算量の光を知る必要性からある期間の連続測定が必要とされる。例えば実際の林分での現存量や生産力調査の場合、林冠のある層の現存量とその層の受ける陽光量などの関係はある一瞬時のその層、その部分で受ける陽光量とそれぞれの現存量とでは関係が密接でなく、その部分で受けた光量の積算値と各単位時間の両方を考慮する必要があるからである。

次に瞬間測定について検討してみよう。

一般に群落外の太陽光をさえぎる障害物のないところでコントロールの照度を測定し、これとの相対値で林内照度を表わす値を相対照度と呼んでいる。実際の植物群落では、群落内の水平方向、垂直方向ともに測定位置により照度の値にかなりのバラツキがあるので、平均値を求める場合にはそれに必要な測点数を考慮する必要がある。この必要測点数の問題については改めて述べることにする。一般に林内の相対照度の平均値を必要とする場合最も便利なのがこの瞬間測定である。理想的により正確な値を得るためには連続測定を群落内の多数の地点で行なえばよいのであるが、実際問題としては多数の測器が必要となり時間的、経済的、さらに森林調査の場合の機動性を考えるとこの方法は不可能に近い。

以上連続測定と瞬間測定について簡単に検討してきたが、両者は互いに補間的性質があるので、面積方向は瞬間測定で補い、時間方向は連続測定を用い二者で二方向を結合させることにより必要なすべての方面を網羅することが望ましいだろう。

3. 結果と考察

林内の光環境を測定する方法はいろいろあるが今回は光電池型の照度計 (東芝5号型) を用いて測定したものを主に、林内の相対照度で表わしたものを中心に林内の照度を検討してみた。

(1) 林床の照度

先に述べたが一般に林内の照度は瞬間測定から相対照度を求めてその平均値によって示されることが多い。しかしこの方法を用いるさい一つ考慮せねばならない問題がある。普通閉鎖してい

る森林内で晴天時に林内の相対照度を測定したとき、その分布はL型分布となる⁶⁾⁷⁾。L型分布の場合正規分布と異なりその平均値を求めるとき算術平均によることは平均値が高目に出易いので問題がある。そこで対数変換によりほぼ正規化することができるが⁶⁾、林分の状態、天候状態により必ずしもlog-normal分布になるとは限らずなお検討の余地があるがこれについては後述する。まず代表的な例について検討してみよう。

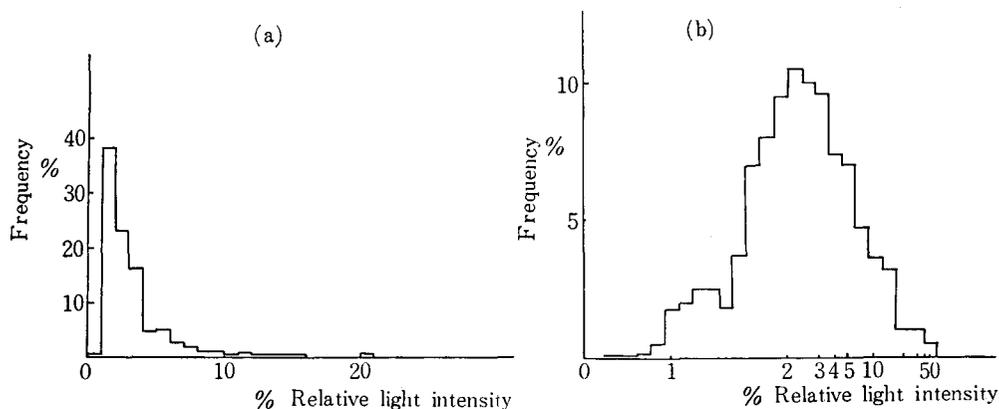


Fig. 3. Frequency of light intensities under the canopy in *Chamaecyparis obtusa* stand. (b) is translated into log-normal distribution.

図-3-aは5月9日日野のヒノキ林内に800点測点を50cm間隔にとったものの林内の相対照度の頻度分布である。天候状態は必ずしも安定した状態ではなかったが、分布は強いL型分布である。このL型分布を対数変換して正規化したものが図-3-bである。算術平均により求めた平均値は4.7%、対数変換により求めたものは2.4%でほぼ半分になる。

しかし特に強いL型でない場合や林分間の相対値として各々の平均値を比較する場合、算術平均で求めてもその差は無視し得るものもある。さらに考慮せねばならない点は、サンフレック(sun fleck)により生じた相対照度の大きい値の取り扱い方である。サンフレックを省いて計算する方法もあるが、閉鎖した林分でのサンフレックの果す役割について2, 3の研究⁸⁾⁹⁾はあるが十分検討し尽されておらず、また一日の積算光量中サンフレックの占める割合が大きい⁴⁾という報告もあり、サンフレックを省くのは正しくないと思われる。サンフレックは一点であってもその平均値をかなり引き上げることがあるので林分間の光環境を比べる場合はくもりの状態で測定することがよいであろう。また晴天時に測定する場合には測点数を多くとることと、先に述べたように分布の正規化を行なって求めることが必要と思われる。

次に林内の照度は林外の照度に正比例して増減しないことを上述したが、この点について調べてみよう。図-4はスギ林¹⁰⁾と落葉広葉樹林³⁾で連続測定した結果より描いたものである。

両林分とも林内の照度の増加の場合、林外の照度が高くなるにつれ、その増加率は鈍っている。林外の照度が同じでも太陽高度の差により林内の相対照度がどのように変化するかを同時に調べてみたが、ほとんど太陽高度の変化に関係なく林内の相対照度が増加している⁷⁾ようであった。林内の照度と林外の照度の関係について述べた報告は多く見られるが、林内の照度の分布幅の大きいことによりはっきりした関係はみとめられないが、およその傾向は図-4と同じであった。この林内と林外の照度の関係はC-D rule¹¹⁾にあてはめてみると、ほぼ一致する。

このように林内の照度は林外の照度が高くなるにつれて、その増加率が鈍るのは、太陽光中の散光成分の占める割合の違いによると思われる。太陽光は太陽高度が高いほど散光成分の占める

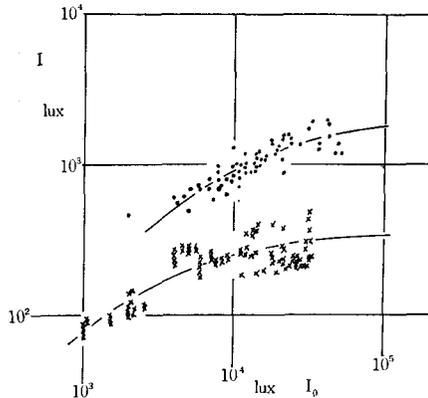


Fig. 4. Relations between light intensities in the open (I_0) and under the canopy (I).

ことにより、すべての天候状態の測定結果を換算し得るようになる。吉野のスギ林で密度別に測定した結果¹⁰⁾によるとほぼ林分当りの葉量ごとに対応して林内と林外の照度の相互関係は定まるものと思われる。以上のように林内の照度は林外の照度に正比例して増減するものでないで、林分間の光環境を比較する場合、この点を十分注意する必要がある。

次に林内の照度とこれを最も関係する葉量との関係についてみよう。一般にこの関係は Beer-Lambert の法則に従って林内の照度は減少する¹³⁾と言われている。図-5 は 5 段階に立木密度を変

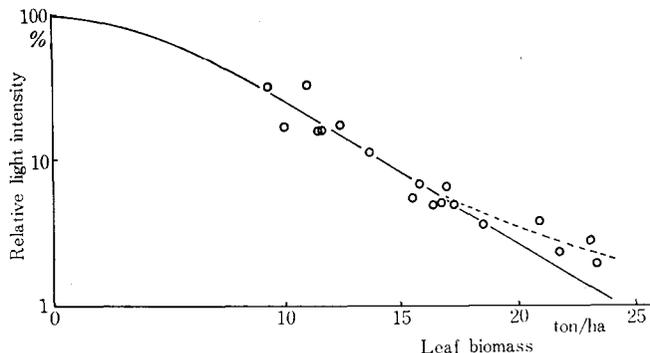


Fig. 5. Relation between the relative light intensity under the canopy and leaf biomass (1966-1970).

えた吉野のスギ林で測定したものより、林内の相対照度 (R.L.I.) と葉量 (WL) の関係を示したものである。R.L.I. は WL に対し指数函数的に減少しておらず、S-curve をしている。これは密度の違いにより樹冠構造に差があることによると思われる。低密度の林分の樹形は相対的にみて、孤立木型に近いと思われる。従って、葉に被われている林冠は「かたまり」となっており林分全体としての葉の分布は葉の分布を *clump*, *random*, *regular* の三つの分布型があると仮定すると集中分布 (*clumped distribution*) をしているであろう。陽光量の遮光率は *clump* であるほど低くなり、R.L.I. は Beer-Lambert の法則より導かれる値より高くなる。低密度から密度が高まるにつれて葉の分布は *clump* から *random* になると思われる。葉が *random* に分布していると R.L.I. は、WL に対し指数函数的に減少する。したがって WL に少ない部分では直線関係よりやや高目に R.L.I. が存在し、中密度では *exponential* に近づくであろう。

割合は少なくなり¹²⁾、同一高度であってもくもりの状態よりはれの時の方が散光の割合は少なくなる。ところで森林の状態をみると、林冠構造は全体として主に、葉はランダム分布に近い構造をもっておりそのため直射光より散光の方が浸入しやすいと思われる。

その結果、林外の照度の高いときは散光成分が少ないので林内の相対照度は低くなるのであろう。今後更に林冠構造の解析とともに、散光の性質をあわせて検討する必要があると思われる。この曲線関係は樹種、密度 (主として葉量)、季節等によって変化するが、植物の生長期で落葉広葉樹が葉をつけている夏期に限った場合、樹種と密度の因子を入れるこ

日変化：林内の照度は太陽高度の変化，即ち日変化によりどのように変化するか相対照度の分布を中心にみてみよう。

図-6は1968年7月26, 27日の2日間にわたって，1日3回（10時，12時，15時）ミズナラ林で測定したものである。7月26日は快晴

であり，7月27日(b)はくもりであった。7月26日の結果をみると，全体にL型分布をしているが，正午近く最も強いL型分布をし，正午から遠ざかるにつれて，L型がくずれて正規型に近づくのが一般であるが⁷⁾，はっきりしてはいないが，今回でもその傾向がでている。同じ場所でも林外の照度によって分布型，平均値ともかなり変化する。図-6-bはaと全く同じ場所で同時刻に次の日の7月27日のくもりの天候下で測定したものである。分布は全体に相対照度の高い方へ移行し，分散の幅も狭くなっており，分布型も7月26日のものと変っている。平均値でみると3回の中やはり12時のものが最も低い値を示しており，その傾向は快晴日とほぼ同様である。またくもり日では10時，12時，15時各時間の分布型の差はそれ程ないようである。前日の快晴日のものの対数変換して求めた平均値を比較すると，いずれも2倍以上の値を示した。

季節変化：林外では太陽高度の変化により季節変化するが，林内では森林の林冠構造が季節により開葉から落葉まで次第に変化するのて，ここでは最も変化の大きい落葉広葉樹林分の場合について調べてみよう。図-7は1968年5月から11月の間に芦生のミズナラ林分で測定したものの

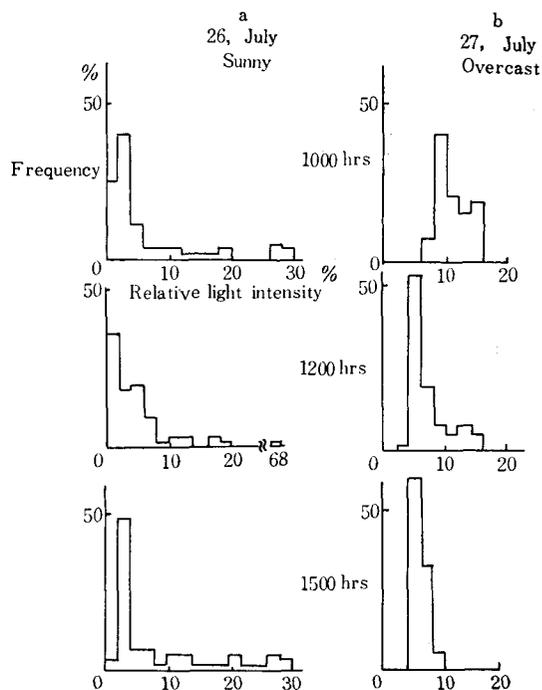


Fig. 6. Frequency of the relative light intensities under the canopy in *Quercus crispula* stand.

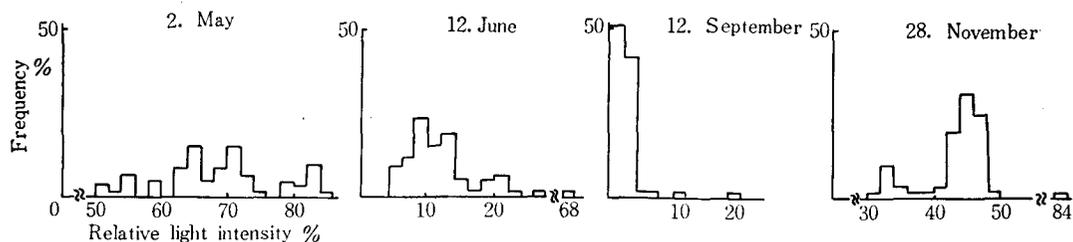


Fig. 7. Seasonal variation of frequency of the relative light intensities under the canopy in *Quercus crispula* stand (1968).

うちから正午に測定したものの林内の相対照度の頻度分布を示したものである。5月2日はまだ開葉しておらず林内の相対照度の平均値は70%ほどで50~80%の間に分布して分布の幅が大きい。5月中旬より開葉が進み，6月にはほぼ林冠が閉鎖した。開葉が進むにつれて分散の幅は狭まり分布型は次第にL型化してゆく。10月の落葉前までL型分布がつづき落葉後再び林内は明るくなりL型分布はくずれている。

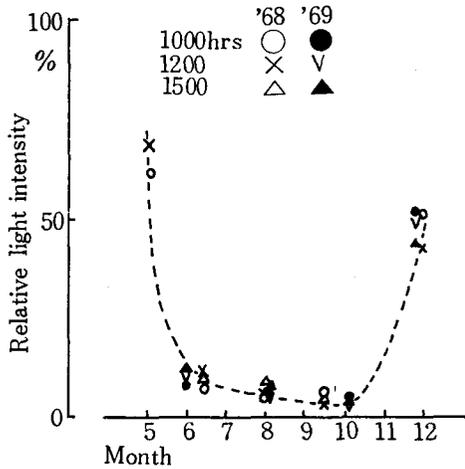


Fig. 8. Seasonal changes of the mean values of the relative light intensities under the canopy in *Quercus crispula* stand (1968 and 1969).

定した結果¹⁶⁾によると、落葉は6月から9月迄 70 kg/ha・month 前後でほぼ一定で10月に急激にふえ 450 kg/ha・month になっている。

故に葉の現存量は9月まで増加しつづけていると思われる。2年間の季節変化を調べてみたが年による差はほとんどみられなかった。

(2) 垂直分布

森林の生産構造を解析する場合、生産の最も大切なエネルギー源である光エネルギーの利用のされ方、即ち吸収のされ方を調べる必要がある。しかしながら実際には直接吸収された光の量そのものはとらえることができないので逆に吸収されなかった光から求めることになる。

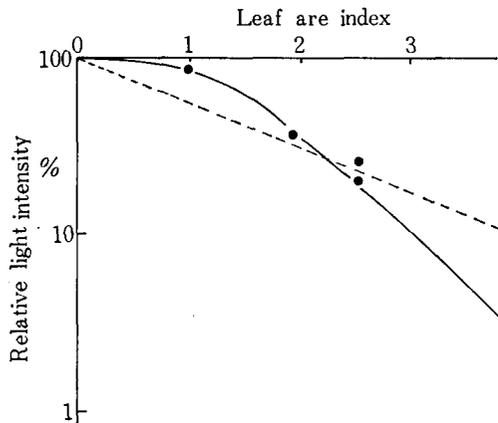


Fig. 9. Relation between leaf area index and the relative light intensity under the canopy of the small model stand of *Alnus hirsuta* var. *sibirica*.

次に季節変化を平均値によってみてみよう (図-8)。

開葉前の70%から開葉と太陽高度の上昇により林内の相対照度は急激に減少し、6月頃より減少率はゆるくなるが、この頃はほぼ林冠が閉鎖を完了しているためであろう。しかし7月から9月末頃まで割合は小さいが減少しつづけている。葉量が7月頃で最大値に達し以後減少してゆくとすれば当然林内の相対照度は増加してゆくはずである。また葉量がほぼ9月迄一定であると仮定しても6月中旬より太陽高度は下降してゆく、それ故林内の相対照度は増加してゆくはずである。しかしながら図-8でみると減少している。これは葉量が9月いっぱいまで増加している¹⁵⁾ことによるとと思われる。同じミズナラ林内にリタートラップを設定して落葉量を測

定した結果¹⁶⁾によると、落葉は6月から9月迄 70 kg/ha・month 前後でほぼ一定で10月に急激にふえ 450 kg/ha・month になっている。

森林の上層を形成している樹木の生産、下層植生、更新など一連の太陽エネルギーの森林生態系への影響と利用のされかたを調査するとき、単に林床面での使い残された光を測定するだけでは説明することはできない。そこで光エネルギーは大部分森林の上方から入り、下方へ徐々に吸収されつつ減少してゆくことより、垂直方向の変化、状態を調べてみた。

図-9はポットに植えたヤマハンノキの2年生の苗木を集めて作った模型林分で実験したものである。詳細については日本林学構要旨集¹⁷⁾を参照されたい。葉量は一辺が、20 cm

の立方体を単位に細目刈りで求め、葉面積は直接測定をした。林内の相対照度は葉面積に対して理論的には指数函数的に減少するはずであるが今回のヤマハンの測定結果をみると exponential

(破線)でなくて曲線関係(実線)に近似している。この関係は先に述べた図-5における関係とほぼ同様な理由で生じたものと思われる。細目刈りした結果、葉の分布をみると上層は比較的かたまっており(clumped distribution), 変動係数をみても中層に比べて大きい。したがって上層の葉は集中分布をしており葉の重なりあっている割合が多く、遮光率は相対的に低い。従って林内の相対照度と葉面積との関係は exponential 関係より林内の相対照度が高くなっていると思われる。次に中層の部分の分布は random 分布をしているようにみられる。葉が random 分布していることより中層は林内の相対照度は葉面積に対し指数函数的に減少する傾向を示すのであろう。

次に実際林分で測定した垂直分布についてみよう。

図-10は日野のヒノキ林で実験したもので、測定は各高さ毎に1本の木のまわり8方向、16点ずつ4本行なったものから林内の相対照度の平均値を求めて示したものである。上層の光の減少率はそれ程大きくないが中層即ち林冠の上から2/3位の間に激減する。これは葉量の積算量の増加率と先に述べた葉の分布のしかたによるものと思われる。林冠の2/3以下ではほとんど変動のない安定した値を示している。次にこの各高さ毎の林内の相対照度の分布について

9, 7, 4 m の3つの高さ別にみてみよう(図-11)。上層(9m)では分散は大きく10~100%迄分布しており、分布の型は正規分布のややくずれた型でモードは右よりである。なお100%以上のものは測定時に受光部がやや傾いたためであろう。中層(7m)になると分布型は全く変わり、L型に変化するが、分散はやはり大きく1ヶタ台から50%台まで分布している。下層(4m)になるとL型が一層きつくなり、分布は10%台迄で狭くなっている。分布型をみると一般に林床でみられるL型分布はすでに中層の辺よりあらわれている。しかし林外の照度と太陽高度により分布型、分散の幅も変るであろうから一概に上記のものが普遍性をもつとは言えぬが B. Acock らの報告¹⁴⁾と比べてみてほほこのような傾向になるとと思われる。

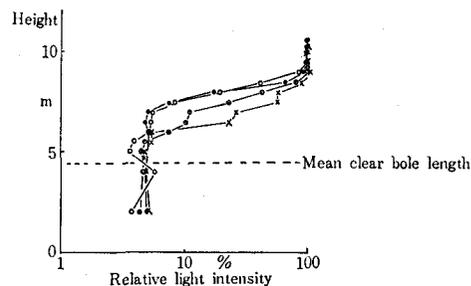


Fig. 10. Vertical distribution of the relative light intensities in *Chamaecyparis obtusa* stand.

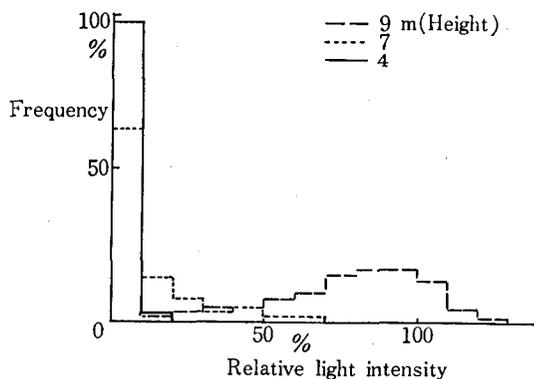


Fig. 11. Light variability of height 4, 7 and 9 m in *Chamaecyparis obtusa* stand.

引用文献

- 1) Kimball, H. H. and I. F. Hand: Monthly Weather Review., 50, (12), 615-624, (1922)
- 2) Ovington, J. D. and H. A. I. Madgwick: A comparison of light in different woodlands. Forestry, 28 (1955)
- 3) 川那辺三郎・玉井重信・四手井綱英: 林内定点における相対照度の日変化, 森林の一次生産測定法の研究班中間報告(昭和42年度), 48~52, (1968)
- 4) Mitscherlich, G., E. Künstle und W. Larg: Ein Beitrag zur Frage der Belenchtungsstärke im

- Bestunde, *Allg. Forst-u. Jagdz.*, **138**, 213-223, (1967)
- 5) Kusumoto, K.: Physiological and ecological studies on the plant production in plant communities. 4. Ecological studies on the apparent photosynthesis curves of evergreen broad-leaved trees. *Bot. Mag. Tokyo*. **70**, 299-304, (1957)
 - 6) 小川房人： 芦生ブナ林の立体構造と光分布，森林の一次生産測定法の研究班中間報告（昭和41年度），45~52, (1967)
 - 7) 玉井重信・四手井綱英： 第19回関西林会講要旨集，107~109, (1968)
 - 8) Huxley, P. A.: The effect of fluctuating light intensity on plant growth. *J. appl. Ecol.* **6**, (2), 273-276, (1969)
 - 9) McCree, J. K. and R. S. Loomis: Photosynthesis in fluctuating light. *Ecolog.* **50**, (3), 422-428, (1970)
 - 10) 玉井重信・四手井綱英： 小伐木間伐に関する研究（IV），京大演報 **42**, 163~173, (1971)
 - 11) Shinozaki, K. and T. Kira: The C-D rule, its theory and practical uses. *J. Biol. Osaka City Univ.* **12**, 69-82, (1961)
 - 12) Kimball, H. H.: *Mo, Wea. Rev.* **42**, 650-653, (1914)
 - 13) Monsi, M. and T. Saeki: Über die Lichtfactor in den pflanzen gesellschaften seine Bedeutung für Stoffproduction. *Jap. Bot.* **14**, 22-52, (1953)
 - 14) Acock, B., J. H. M. Jhornley and J. Warren Wilson: Spacial variation of light in the canopy. Prediction and measurement of photosynthetic productivity. *Proceedings of the IBP/PP*, (1969)
 - 15) 菅 誠・四手井綱英： 71回日林講，210~211, (1971)
 - 16) 河原輝彦・堤 利夫： Litter fall による養分還元量について（II），養分含有率の季節変化，京大演報，**42**, 96~102, (1871)
 - 17) 玉井重信・四手井綱英： 林内の明るさ（III） 苗木による実験，82回日林会講要旨集 93 (1971)

Résumé

The investigation was intended to study for the changes and conditions of light intensities in the forest.

The values of relative light intensities under the canopy were almost distributed L type, so that the mean values of these should be obtained by the transformation into log-normal distribution. The rate of increase of the light intensities under the canopy decreases with increase of full light intensities. This is a result of the rate of diffused light in solar illumination. In sunny conditions, the mean values of the relative light intensities under the canopy was the lowest at noon in a day, and these distribution was L type. In summer, the distribution of the relative light intensities under the canopy was L type, and in spring and autumn the variances of the relative light intensities under the canopy became large. The mean values of the relative light intensities under the canopy gradually decreased to September. This result may be depended upon the increase of leaf biomass. The results of the vertical distribution of the relative light intensities in the forest are as follows:

The relative light intensities in the forest not always decreased exponentially with leaf area indices. At the upper layer of plant communities, the values of the relative light intensities were higher than the values which were obtained by Beer-Lambert's law. This is a result of dispersion type of leaves. Leaves of upper layer may be clumped, so the rate of light interception at the upper layer will be smaller than the other layers.