

(研 究 資 料)

人工林の複層林施業に関する研究 (I)

光 環 境 の 測 定 方 法

複 層 林 施 業 研 究 班

Working Group on Multistoried Forests : Research Materials
on the Treatment of Artificial Multistoried Forests I
Methods for Mesuring Solar Radiation in the Stands
(Research note)

要 旨：複層林施業においては、林内下層木の生長を支配する光環境の把握が重要であり、簡便でしかも安定度の高い測定法の開発が望まれた。この研究では、全天写真利用およびジアゾ感光紙利用による測定法の確立、さらには照度積分計の開発を重点として研究を進め、それぞれ実用化の見通しを得た。

全天写真利用の測定法では、撮影条件とその手順を明らかにし、画像解析装置（ビデオパターンアナライザー）による開空度測定法を検討した。さらに樹種、林齢、林分構造などの条件ごとの林内平均相対照度と開空度との間に高い相関があることを確め、全天写真による林内照度測定法の実用化をはかった。

また、これまでの照度計による林内照度測定法では、安定した値を得るに多数点の測定が必要であるが、メモリーオード（積分素子）を利用した照度積分計を三洋電機中央研究所の協力を得て開発し、従来よりも短時間で正確な林内平均照度を測定することが可能となった。

さらに、簡易で低廉な機器による測定法として、ジアゾ感光紙利用の測定法を検討した。トレーシングペーパーをずらし重ねた遮光板の下に感光紙をおく方法と、感光紙の小冊子を小穴のあいた容器に入れ、穴から感光させる方法とを検討したが、それぞれ日射量と感光紙の感光度合との間に密接な関係があることが確められ、相対日射量の簡易な実用測器として利用できることを明らかにした。

目 次

全天写真による林冠の開空度の測定	安 藤 貴	4
開空度の測定とその光環境示標としての応用	早稲田 収	9
メモリーオードを応用した照度積分計	早稲田 収	14
ジアゾ感光紙による林内日射量の測定	安 藤 貴	19
ジアゾ感光紙による林内日射量の測定法の検討	飯 盛 功 竹 下 慶 子 上 中 作次郎	28

全天写真による林冠の開空度の測定

安 藤 貴⁽¹⁾Takashi Ando : Measurement of Openness Grade of
Canopy by Hemispherical Photograph

は じ め に

林内の光環境は、同一林分についても測定月日、時間、天候などの種々の要因によって変化する。このため記録性にすぐれる全天写真から得られる情報を光環境の指標として用いる試みがなされている。

ANDERSON¹⁾ は全天写真から曇天時の相対照度を算出する方法を示し、玉井・四手井²⁾ は ANDERSON の方法で求めた相対照度と直接測定による相対照度の比較を試みた。また、EVANCE ら³⁾ は、太陽軌道を求め、全天写真から、写真撮影地点の直射光の可照時間や陽斑光の量を算出している。さらに早稲田⁴⁾ は、全天写真の画像面積に対する林冠のすきま、すなわち開空部面積の百分率を開空度と呼び、画像解析によるその測定方法と、光環境の指標として用いる事を示した。

早稲田⁴⁾ は VIDEO PATTERN ANALYZER (VPA-740 A 型、レスカ製) を用い、印画紙に焼きつけた陽画から開空度を求めたが、筆者は魚眼レンズで撮影した全天写真の白黒フィルムの陰画から直接開空度を求める方法に検討を加えたので、その結果について述べる。早稲田⁴⁾ は長方形の画像について画像解析を行ったが、本報では円形画像について画像解析を行っている。前者から得られた開空度を方形画像開空度、後者のそれを円形画像開空度と呼ぼう。本報では特にことわらない限り、開空度とは円形画像開空度を指す。

1973 年以降撮影してきた数百枚の全天写真の画像解析には、高知市朝倉の石川啓二氏の労に負うところが多い。ここに謝意を表する。また、写真の撮影にご協力いただいた林業試験場四国支場の桜井尚武技官(現：東北支場育林部)、竹内郁雄技官に感謝する。

I 測定器とその操作

画像解析には PLANIMEX 25 (日本レギュレーター K.K. 製) を用いた。PLANIMEX 25 による画像解析の概要を図 1 に示す。以下本項で述べる A, B, C, …… は、図 1 中の A, B, C, …… を指す。

本器は測定試料の光学像を高解像度テレビカメラ (A) によって電気信号に交換する光学測定部と、光学画像をディスプレイするための 9 インチモニターテレビ (F)、およびテレビカメラのビデオ信号から画像の面積または面積率を演算し、結果を (J) にデジタル表示する演算部 (I) の 3 部から構成されている。複雑な輪郭を持つ試料の面積または面積率を画像の濃度差を二つのインデックス (H) で指示することにより求める。

全天写真の撮影には日本光学製のフィッシュアイ・ニッコール (F 5.6, 7.5 mm フィルター内蔵) を用いた。使用したフィルムは 35 mm の白黒フィルム (ASA : 100) である。

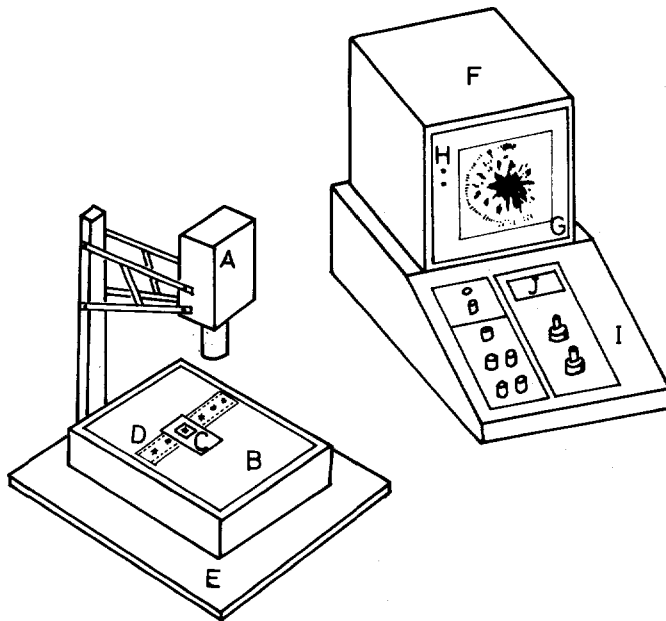


図1. 測定器の概要

A: テレビカメラ, B: 光源箱, C: 方形枠, D: 全天写真ネガフィルム, E: 台板,
F: モニターテレビ, G: フレーム, H: インデックス, I: 演算部, J: デジタル表示窓

このレンズで撮影された画像は、フィルム面に直径 23 mm の円として作画される。PLANIMEX 25 はモニターテレビ画像の測定範囲を決めるフレーム (G) が方形に設定する構造となっているため、円形画像のままでは測定できない。このため、 23×23 mm の正方形に切りとった方形枠 (C) を厚紙で作製し、この方形枠の上下端をセロテープで光源箱 (B) に固定し、図 1 に示すように横からフィルムをこの方形枠の下に挿入できるようにする。これにフィルム (D) を挿入し、フィルム上の円形画像をこの方形枠に内接させ、この上に無反射ガラスを乗せる (図 1 には無反射ガラスは図示しなかった)。光源箱としてはフジカラー・スライドボックス 5,000 を用いた。このようにした光源箱はテレビカメラの台板 (E) 上に乗せる。テレビカメラはフィルム下部からの透過光を受けてモニターテレビ上に画像を写しだす。テレビカメラには焦点距離 25 mm のレンズが着装されているが、接写リングを用いて画像をモニターテレビ上に拡大する。フレーム・コントロール・ノブを操作することによって、水平と垂直のフレームで画像の方形枠の部分を囲み測定範囲を決める。この場合、光源箱を台板上で前後・左右に動かして、フレームの方向と方形枠の辺の方向を完全に一致させる。この調整が終了段階で、光源箱をガムテープで台板に固定する。このようにすると、次回からは、新しいフィルム画像を方形枠に内接させるだけで測定が可能となる。インデックス・コントロール・ノブを操作して、モニターテレビ画像の開空部 (黒色部分) に 1 個のインデックスを、開空部以外のところ (白色部分) にもう 1 個のインデックスをセットすると、フレームで囲まれた画像面積に対する開空部面積の百分率が、J の部分にデジタル表示される。

この数値は 23 mm の方形枠の面積に対する開空部の面積率であるため、 $1.274 (= 4/\pi)$ を乗じ円面積に対する面積率に換算し、これをもって開空度とする。

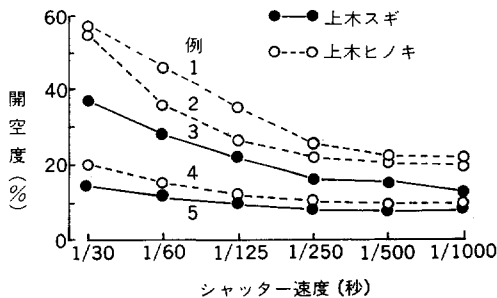


図 2. シャッター速度と開空度
絞りは F 5.6 に固定した。

II 全天写真の撮影条件

本報に示す方法で全天写真から開空度を求める場合の写真の撮影にあたっては、以下述べることに留意する必要がある。

全天写真の撮影は前述のとおり、フィッシュアイ・ニッコールと ASA 100 の白黒フィルムによったが、フィッシュアイ・ニッコールにはフィルターが内蔵されている。撮影時には内蔵フィルターを必ずスカイライト (LIA) として用いる。

写真の撮影を晴天の日中に行うと、ハーレーションをおこすので好ましくない。撮影時には太陽が雲で覆われていることが必要である。作画は樹体や地表などが現像後のフィルム面上にハーフトーンとなって写らないように、露出不足で完全に透明にとばし、天空部のみを黒色に残すようにすることが必要である。フィルム面上に樹体などがハーフトーンで残ると、その部分がカウントされるため、次に述べるように、天空部が過大に求められる。

同一地点で、F=5.6 とし、シャッター速度を 1/30, 1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1,000 と変えて撮影した陰画から開空度を求め、シャッター速度と開空度の関係を求めて図 2 に示す。この写真の撮影は樹種、林齢および立木密度の異なる 5 林分で行った。

図からわかるように、シャッター速度がおそいほど開空度は大きな値を示すが、これは演算部でハーフトーンの部分を開空部として読みとったためと考えられる。例 3 を除き、1/500~1/1,000 のシャッター速度ではほぼ一定した開空度が得られているが、これらの例は、いずれも、まぶしくない程度に太陽が雲で覆われたうす曇りの日か、浮き雲によって太陽が覆われた時に写真の撮影が行われた。例 3 は 1/250~1/500 ではほぼ安定した値を示し、1/1,000 では再び開空度が低下している。この例は、いまにも雨が降りそうな、厚い雲で空の全面が覆われた暗い日に撮影したもので、このようなときに高速の露出で撮影すると、小さな林冠のすきまが露出不足でつぶれるため、開空度が低くなる。いずれにしても、ASA 100 のフィルムを用いて、F 5.6, 1/500 に相当する露光を行えば、本報で述べる画像解析に好ましい画像が得られる。1/500 のシャッター速度であれば、風で樹冠がゆれ動くときでも手持ちで撮影が可能である。

画像はコントラストの強いものが好ましいので、ミニコピーを用いて検討してみた。その結果、フィルムの感光度が低いので、シャッター速度がおそくなり、このために三脚を必要とし、また風で樹冠がゆれ動いていると撮影できないという不便さが認められた。このような点から ASA 100 のフィルムの方が都合がよさそうである。もちろん ASA 400 の白黒フィルムでもよいであろう。

III 1 画面の測定回数

画像解析を行う場合、前述の方法では同一フィルムの画面でも、インデックスのセットされた位置を変えると、開空度も多少異なった値を示す。これは測定器の性格と、画面の微小な色調の違いによるものと思われる。同一画面でインデックスの位置を変えて繰り返し測定を行った場合の開空度の平均値とその変動係数を表 1 に示す。表からわかるように、変動係数は 6% から 13% の範囲にある。この程度の変動係

表1. 1 画面の開空度とその変動係数

No.	開空度 (%)	標準偏差 (%)	変動係数 (%)	No.	開空度 (%)	標準偏差 (%)	変動係数 (%)
1	5.9	0.65	11.0	6	24.2	1.50	6.2
2	6.9	0.97	14.1	7	25.0	2.69	10.8
3	6.6	0.57	8.6	8	26.2	2.24	8.5
4	6.6	0.89	13.5	9	26.6	1.97	7.4
5	6.3	0.75	11.9	10	26.3	2.08	7.9

表2. 林分の開空度と変動係数

調 査 区			上木の樹種	開 空 度 (%)	標 準 偏 差 (%)	変 動 係 数 (%)
宇 和 島	弱度間伐区	間伐前	ヒ ノ キ	6.2	0.93	15.0
		間伐後	〃	23.5	2.48	10.6
	中庸度間伐区	間伐前	〃	9.5	1.43	15.1
		間伐後	〃	27.5	3.08	11.2
	強度間伐区	間伐前	〃	17.3	5.42	31.4
		間伐後	〃	27.8	2.01	7.2
宿 毛	{	上段区	ヒ ノ キ	25.1	4.19	16.7
		下段区	〃	28.3	5.48	19.4
小 田 深 山	弱度間伐区	間伐前	ス ギ	10.6	1.25	11.8
		間伐後	〃	20.7	1.30	6.3
	中庸度間伐区	間伐前	〃	16.9	1.94	11.5
		間伐後	〃	25.3	2.45	6.1
	強度間伐区	間伐前	〃	22.6	2.17	9.6
		間伐後	〃	28.8	1.75	6.1
小 田 深 山	弱度間伐区	間伐前	ヒ ノ キ	6.8	1.92	28.8
		間伐後	〃	16.6	2.70	16.3
	中庸度間伐区	間伐前	〃	18.1	4.93	27.2
		間伐後	〃	25.5	1.58	6.2
支 場 実 験 林			ヒ ノ キ	11.1	1.09	9.8
育 種 場 見 本 林			ス ギ	10.5	1.87	17.8
〃 クロウン集積所			〃	9.7	2.05	21.1

数であれば、3回インデックスの位置を変えて測定し、その平均をとれば、危険率5%で誤差率15%以下の精度で開空度が求められる。

フィルムの画像を方形枠にセットし、3回インデックスの位置を変えて測定するに要する時間は5分以内である。

IV 1 林分あたりの撮影枚数

同一林分内の20地点で全天写真の撮影を行った21例について、開空度と変動係数を表2に示す。変動係数は6%から31%の範囲にある。

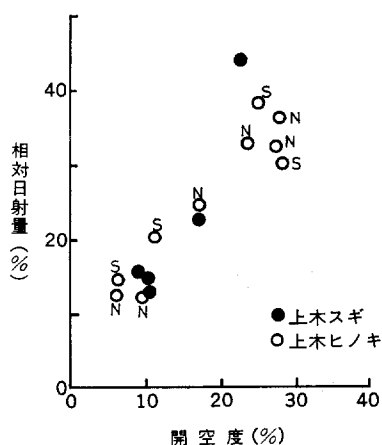


図 3. 開空度と相対日射量の関係
S : 南面斜面, N : 北面斜面

変動係数を間伐の前後についてみると、間伐前の値が間伐後より大きい傾向を示し、また、間伐の強度との関係でみると、強度間伐区が弱度間伐区より変動係数が小さい。これらのことから、間伐は林冠のすき間の変動を小さくする効果があり、その効果は間伐が強度であるほど大きいといえそうである。

林冠のすき間に変動が多く、開空度の変動係数が 30% を示すような場合には、同一林分内で at random に 10 か所の全天写真を撮影しておけば、危険率 5% で誤差率 20% 程度で開空度が求められるが、林冠のすき間の変動の少ない、変動係数が 6~7% の林分では、2 か所の撮影で誤差率 10% 以下の精度で開空度が決められる。

V 開空度と相対日射量

開空度と相対日射量の関係を、上木の樹種がスギとヒノキの場合について、図 3 に示す。相対日射量の測定はジアゾ感光紙法²⁾によった。図からわかるように、開空度と相対日射量の関係には、高い相関が認められそうである。また、上木がスギの場合とヒノキの場合では、回帰係数に違いが認められそうにもみえる。調査点数の多い上木ヒノキの林について、斜面の向きを大きく南と北に分けて、図中に N または S として北面と南面を示した。同じ開空度ならば、南面の相対日射量が北面斜面より高い値を示すように伺える。これらの傾向については、測定点数が少ないので、後日調査事例をふやし、統計的な検討を加えた上で結論づけたい。

引用文献

- 1) ANDERSON, M. C. : Studies of woodland light climate. 1. The photographic computation of light condition. J. Ecol., 52, 27~41, (1964)
- 2) 安藤 貴 : ジアゾ感光紙による林内日射量の測定. 林試研報, 323, 19~27, (1983)
- 3) EVANCE, G. C. and D. C. COOMBE : Hemispherical and woodland canopy photography and light climate. J. Ecol., 47, 103~113, (1958)
- 4) 玉井重信・四手井綱英 : 林内の照度 (II), 全天空写真による解析 (1). 京大演報 44, 100~109, (1972)
- 5) 早稲田 収 : 本場における研究の概要, 人工林の非皆伐施業に関する研究, 第 1 次経過報告. 林試, 60~68, (1977)

開空度の測定とその光環境示標としての応用

早 稲 田 収⁽¹⁾Osamu WASEDA : Measurement of Openness Grade of Canopy
and Application for the Index of Light Condition

は じ め に

複層林施業では、林内の光環境が問題となり、これまでは主として林内相対照度を測定して、これを示標としている。

しかし、林内の照度は、季節、時間、天候、地形などによっても変化し、このことは林外との相対値についても同様である。したがって、照度の測定値を用いる場合は、長期間の積分値によるか、または特定の時期・条件に限っての相互比較をする以外にはあまり意味がなく、また測定 of 器機・方法の制約もあって、あまり有効な方法とはいえない。

林内の光環境は、光を遮蔽する林冠の疎密によって支配されるので、その結果としての明るさを測定するよりは、林冠の疎密を把握の方がより優れた方法と考えられる。しかし、その手段はより簡易であることが必要であり、特に事業的に応用するためには、このことが必須条件となる。

この研究は林床から魚眼レンズによって林冠を撮影し、この画面上の空の面積率を求め、これを林冠の空隙の度合として開空度と仮称し、この開空度の林内光環境示標としての応用を検討したものである。実用的応用を目的としたため、精密さよりは簡便さをより重視した。

I 開空度の測定

1. 全天空写真の作製

1) レンズの選択

レンズは魚眼レンズを用いるが、市販のレンズは種類が多い。一般に画角 180° 未満のレンズでは方形画像が、これを越えるものでは円形画像が得られるが、前者の方がはるかに安価である。

画角は 180° で十分と考えられるので、ここでは画角 180°、方形画像である SMC フィッシュアイタクマー (f 17mm, 1:4) と円形画像の得られる フィッシュアイニッコール (f 8mm, 1:8) の2種類のレンズを試した。

フィッシュアイニッコールによる円形画像とそれに内接する方形画像との開空度を比較したのが図 1 であり、ニッコールによる方形画像と SMC フィッシュアイタクマー (方形画像) との開空度を比較したのが図 2 である。

全円画像に比べ、これに内接する方形画像での開空度は当然小さな値となり、その差は明るい林で大きく、暗い林で小さくなる。しかし、これらの間には直線関係が成立つので、指標としては方形画像によ

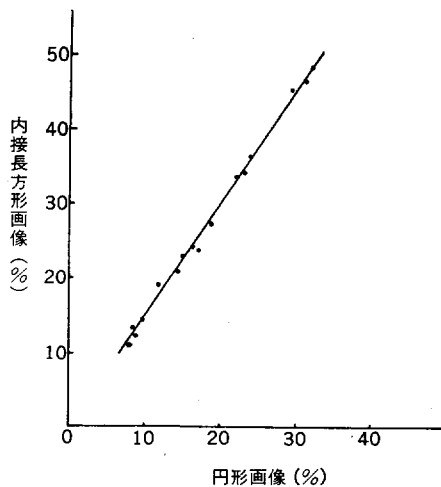


図1. 円形と長方形画像による開空度の関係

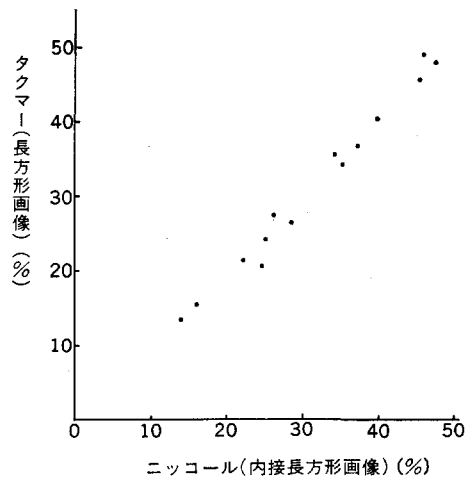


図2 レンズの違いと開空度

表1. 写真の長辺方向と開空度

林 分 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
長 辺 が 傾 斜 と 直 角	20.3	15.6	16.8	18.5	19.7	6.4	28.0	16.5	36.2	22.4
〃 平 行	21.1	14.7	16.6	18.8	20.1	6.2	28.3	18.6	36.1	23.6

表2. 写真撮影点と開空度 (比叡山試験地 S.52.8.撮影)

撮 影 点 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平 均
開 空 度	15.3	15.0	13.8	16.6	17.0	15.2	14.2	15.2	18.4	15.6

でも差し支えないと判断した。林冠の状態を示すには、全円画像がより優れるとは考えられるが、開空度測定の際に円周部分が見えにくいため誤差を生じやすく、また取り扱いも不便であり、レンズの価格差も大きい。

ニッコールによる内接方形画像とタクマーによる画像との開空度の値の関係は図2のように、ほぼ45°の直線上にあり、少なくともこの2種のレンズについて大きな差はない。

したがって、総合的には当初より長方形画像が得られるレンズ（この場合はタクマー）の方が有利と考えられる。以下多くの資料は殆んどが SMC フィッシュアイタクマーによるものである。

2) 写真の長辺方向と開空度

傾斜地において、傾斜の方位に対する画像の長辺方向との関係を比較した結果が表1である。

空疎地を含んだ No. 8, 10 の林分を除き殆んど差がなく、No. 8, 10 の林分での差もそれほど大きくない。したがって、通常はこのことに対する配慮は不要であるが、林道や伐開地に隣接する場合は2方向について撮影がのぞましい。

3) 撮影地点と開空度

同一林分でも撮影点が異なると、開空度にどの程度の差を生ずるかを検討した。

53年生ヒノキ林分で約500m²を区画し、そのほぼ中央の平均的な場所をNo.1とし、その上下、左右(間隔約7m)計9地点で撮影を行った。その開空度は表2のとおりで、地点による差はあるが、それらの平均値はNo.1とほぼ一致する。画角が180°であるために、平均的な地点を選べば通常は1点の撮影で足りると考えられる。なお、この林分は林内照度の調整のために、間伐および枝打ちを行った直後の林分である。

4) カメラの傾き

カメラの水平からの傾きが開空度にどのように影響するかについて検討したが、0°~25°程度の範囲では大差がなかった。

これは、厳密に水平でなければならないとすれば、三脚や水準器の使用が必要となり、撮影が著しく複雑になるからである。

この結果から撮影は手持ちでよく、3~4本の立木の間に立ち、その林冠の空隙の中心をねらって撮影することで十分と判断した。

5) シャッター速度、フィルム

手持ち撮影によるブレよりは、被写体の風による揺れの方がはるかに大きい。したがって、風の条件にもよるが、一般に1/500~1/1,000のシャッター速度を選ぶことが安全である。

このためには、フィルム感度はASA 400程度の感度のフィルムの使用が便利である。フィルムはカラーでもモノクロームでも開空度の測定は可能であるが、モノクロームの方が測定しやすく、安価である。

露出は適正かやや控え目に統一するのがよい。軟調に揃えて仕上げるためである。

6) 天候、その他

晴天時の撮影は、ハーレーションにより、葉先・枝先の映像がとぶ場合があり、正確な測定を困難にする。したがって、撮影は曇天時に限ることがのぞましい。

また、魚眼レンズには通常フィルタが内蔵されているので、UVの位置にあることを確認する。YやRがかかると青空の部分が濃くなり、映像の解析を困難にする場合がある。

7) 現像・焼付け

現像・焼付けともすべて軟調に仕上げるように留意する。ハーフトーンの部分が消えないようにすることが正確な開空度測定のための必須条件である。淡色でも面積測定は可能であるが、消えた部分は測定不能だからである。

焼付けの際は、写真1のようにフィルムおよび周辺を含めて焼き付ける。No.を入れるのは以後の整理のための便であり、周辺を入れるのは正確な測定のためである。

II 画像の解析

画像の解析にはVIDEO PATTAN ANALYZER (VPA-740A型)または同様の機能をもつ機器を用いる。

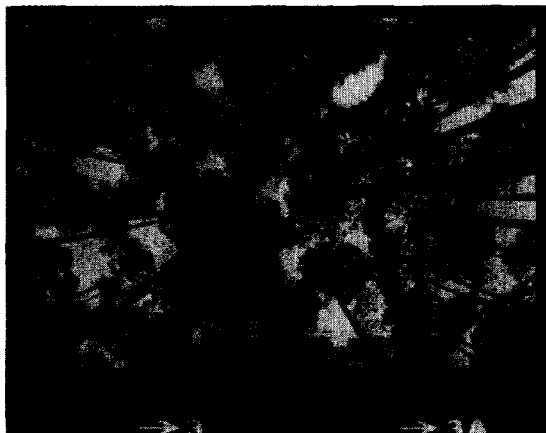


写真1. 全天写真の焼付け方

モニターテレビ画面上の白（空の部分）または黒（葉・枝・幹などで遮蔽された部分）の面積を計測するが、黒の方が測定が容易で精度も高い。

したがって、

$$\text{開空度 (\%)} = 100 - (\text{黒の面積カウント数} / \text{画面面積カウント数}) \times 100$$

として算出する。

白・黒分離濃度の設定は、ダイヤルを操作して、モニターテレビ画面上で遮蔽物の映像全体のカウントを確認する方法で行うが、正確なレベル設定にはある程度の熟練を要する。

Ⅲ 開空度の林内光環境指標としての応用

開空度は同一林分におけるうっ閉度の経年変化や、同種林分の疎密度の指標として十分利用できるが、林内光環境指標としての応用についても検討した。

これまで各種の樹種・林齢、疎密度の林分について開空度と林内相対照度の測定を行ったが、細部の検討を行うためには、いまだ十分とはいえない。

しかし、中間段階のものではあるが、それら資料によりスギ、ヒノキ、カラマツ、落葉広葉樹について、幼齢林（25年生以下）、壮齢林別に開空度と林分相対照度との関係を図3に示した。また、それらを一つの図に総括したのが図4であり、開空度と相対照度との間にはかなり高い相関がある。

相対平均照度は照度積分計による資料のみに限ったが（点測定の値はばらつき、信頼性の低いことを裏

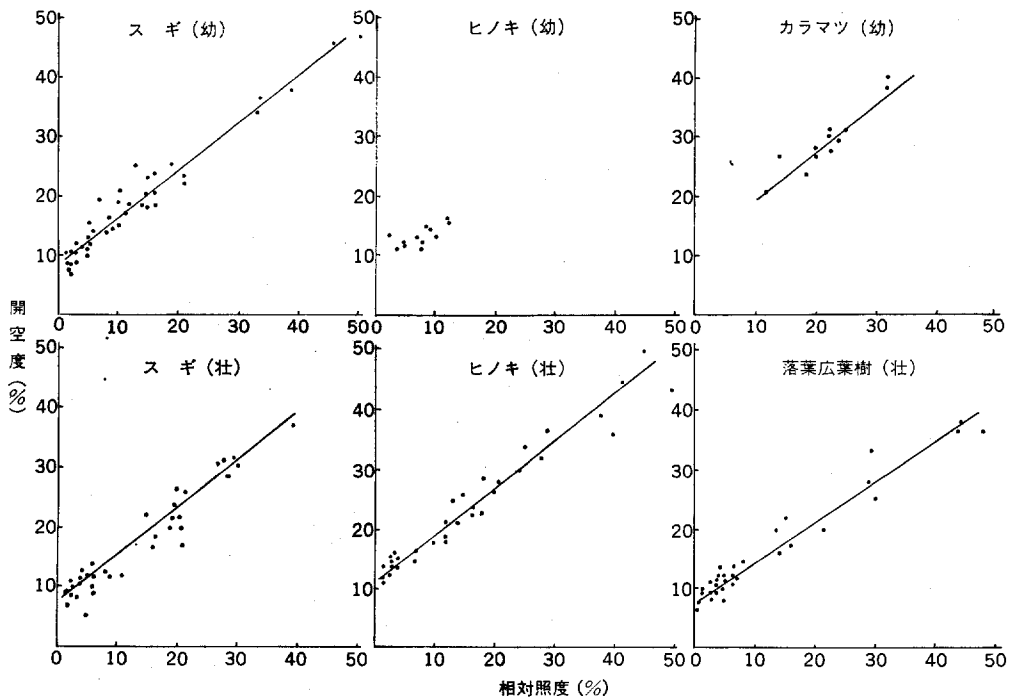


図3. 開空度と相対照度との関係

付けた), なお, 測定時間, 季節, 天候, 傾斜方位などの問題を残し, 開空度にも一部写真作製上不備なものを交えていることを考慮すれば, この結果は開空度が林内光環境の示標として十分な有用性をもつことを示唆する。

樹種および幼・壮齡林別については, 次のことがいえる。

1. スギでは壯齡林の線は幼齡林よりわずかに低い位置にあるが, 両者はよく近似し, その区分は不必要と思われる。

2. ヒノキ壯齡林はスギと同様の傾きの線をとるが, やや上に位置し, 同一の開空度では, スギ林よりヒノキ林の方がやや暗いことを示している。幼・壮区分では, 幼齡林の資料不足のため不明である。

3. カラマツ幼齡林は, ヒノキ壯齡林線とはほぼ一致するが, 資料不足のためさらに検討が必要である。

4. 落葉広葉樹の線は, 他樹種に比べ低い位置にあり, その傾きも最も緩い。すなわち, 同一開空度では他樹種より林内は明るく, その差は開空度が大きくなるほど大きい。これは, 他樹種より葉の光の透過量が大きいためと考えられる。

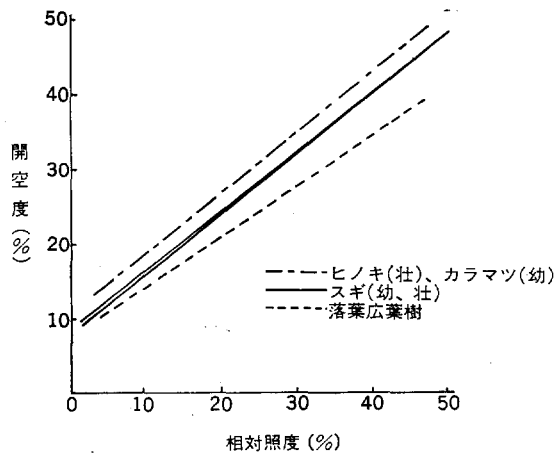


図4 開空度と相対照度との関係

お わ り に

全天空写真による開空度は, 同一林分のうっ閉度の経年変化, 同種林分の葉量を含めての疎密度の示標としてばかりではなく, 林内光環境の示標としても利用できることが明らかになったが, 樹種別, 林齡別にはいまだ資料不十分の点があり, 今後の整備が期待される。

当面は図4により相対照度に読み換えるか, または開空度をそのまま林内光環境示標として利用すればよいが, この方法には, 画像解析に高価な機器と, ある程度の熟練を要する欠点がある。今後, さらに実用性を高めるためには, 樹種別, 幼壯別に適当な開空度段階の標準全天空写真集を作製し, 画像解析を必要としない方法を開発することがのぞましい。

引 用 文 献

- 1) 玉井重信・四手井綱英: 林内の照度(Ⅱ), 全天写真による解析(1). 京大演報 44, 100~109, (1972)
- 2) 早稲田 収: 本場における研究の概要, 人工林の非皆伐施業に関する研究, 第1次報告. 林試, 60~68, (1977)
- 3) ———・大場貞男: 同上, 第2次報告. 同上, 81~89, (1979)
- 4) ———・—————・飯盛 功: 同上, 第3次報告. 同上, 68~76, (1980)

メモリオードを応用した照度積分計

早 稲 田 収⁽¹⁾

Osamu WASEDA : Integrating Pyrheliumter Applied Momoriodoe

I 照度積分計の開発理由

林内の光環境は、多くが開放地に対する相対値で示し、その測定は、銅の析出量、ジアゾ感光紙その他の方法もあるが、既存の照度計による場合が大部分を占め、林分内の平均はその多点の測定値の平均によっている。

しかし、林内の明るさは、個々の林木の樹冠による遮蔽に支配されているため、必然的に不均一となり、地点ごとに著しく異なる場合が多い。したがって、面としての平均を求めるには、多点の測定が必要となり、現実には、実施不可能な点数である場合が多い。測定点数が過少であれば、再現性がなく、全く不確実な値になってしまう。

一つの実例を示せば、表1のとおりで、この林分は、約60年生のヒノキ林であり、比較的良好な揃った部分100m²を区画して測定した。m²あたり1点の測定でも完全に再現性のある値が得られるとはいえないが、この程度が現実に実行可能な限界であるし、この林ではかなり信頼できる値であった。しかし、2m²あるいは3m²に1点では、不十分なことは明らかである。照度積分計による測定値も参考として示したが、この値と100点の平均値との差には、測定器機の違いも含まれている。

一般にm²あたり1点以下の測定によって、かなり信頼性の高い値いが得られるのは、間伐後かなり経過した揃った相対照度10%以下の比較的暗い林に限られ、それ以上明るく、また揃わない林ほど、多数の点測定を必要とする。

結局、林内照度のように場所による偏差の大きいものの平均を得るためには、林内を一定時間移動しながら連続して明るさの値を積分するような方法が、最も容易な解決法と考えられる。

表1. 測定点数と平均相対照度

	測定点数	平均 (相対照度)	積分値に対する比数	100点平均に対する比数
点 測 定	100 点	17.4%	110%	100%
	50 点 (A)	15.5	98	89
	50 点 (B)	19.2	122	110
	34 点 (A)	13.7	87	79
	34 点 (B)	14.8	94	85
	34 点 (C)	23.7	150	136
積 分 計		15.8	100	91

面積；100m²，測定日時；50.8.20，13：20～50，林外照度；7～4×10⁴Lx

三洋電機 K.K. では、小型の電位記憶素子をすでに開発していたので、これを利用して、明るさの積分する器機の開発を三洋電機中央研究所に協力して試みた。

II 照度積分計 (VIP-SIS 1)

1. 構 成

この照度積分計の構成は図1のとおりである。

2. 光 電 変 換 部

光電変換部は、光を電流に変換するものであり、変換素子には光電池を用いた。光電変換素子にはホトトランジスター、ホトダイオード、太陽電池、光電池などが考えられたが、その分光特性はそれぞれに異なる。

従来林内照度の測定に最も多く用いられているのは東芝照度計であるので、これらのデータとの関連を考慮して光電池とした。

光電池は、経時的に劣化し、東芝照度計による野外測定では、おおむね毎年の検定を必要とするので、劣化速度を落として実用上の便をはかるためと、照度変化に対する出力電流の誤差を小さくするために、1/4,000の減光板によって減光した。

また、散光をも含めて測定するために、さらにその外側を入射光余弦法則にしたがった入射角補正グローブで覆った。光電池の入出力特性は図2のとおりである。

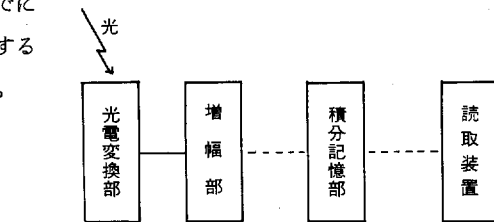


図1. 照度積分計の構成

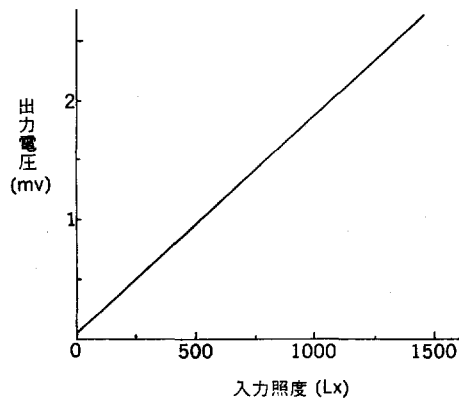


図2. 光電池の入出力特性

受光面の角度が変われば測定値は大幅に変化する。この点が配慮されていないことも従来の照度計の欠点の一つであり、特に照度積分計は、林内を移動測定するので、光電変換部には自動水平機構を設けた。

測定範囲を垂直あるいは水平的に広げる意味と、測定者の衣服の反射光の影響を防ぐために、光電変換部は延長パイプの先に取り付けるよう設計した。

3. 増 幅 部

増幅部は、光電変換部で変換された電流値を、積分カセットに印加するために、適当な電圧値に変換増幅する。

光電変換部、増幅部、積分記憶部の回路は図3のとおりである。

A₁ は光電変換部の出力電流を適当な電圧に変換および増幅する回路である。幅広い明るさの測定に対応するため、5,000 Lx・min、50,000 Lx・min、750,000 Lx・min の3レンジを設け、増幅度を変化させる。

各レンジの照度積分容量を越えると、警報ブザーが鳴り、積分素子への充電電流が断たれて、過充電を防止するとともに再調査を指示する。増幅部全体に対しては、光電変換部、積分記憶部を接続しなければ作動しない方式であり、これにより、測定ミスの防止と回路保護を行っている。

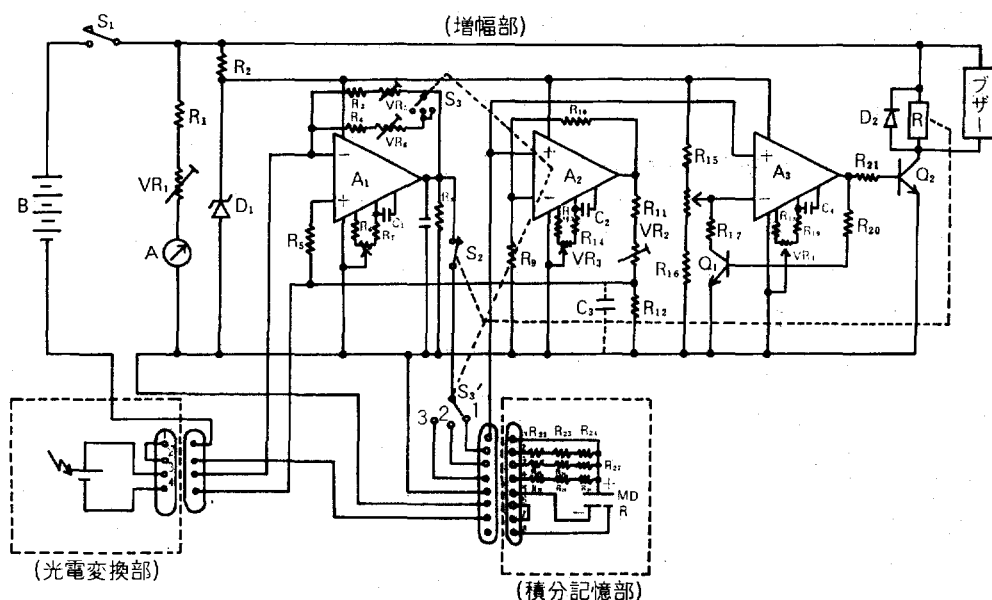


図3. 光電変換部, 増幅部, 積分記憶部

4. 積分記憶部 (積分カセット VIP-M 01)

積分記憶部は小型 (40×44×20 mm) で増幅部に差し込み着脱できるカセットタイプとした。記憶部に印加された電圧は、読取装置に接続して読み取り、その後消去して繰り返し使用できる。積分カセットが相当数あれば、野外測定のみを順次行い、読み取り、消去は内業として行うことも可能である。記憶値の経時変化はない。

5. 読み取り装置 (VIP 501)

積分カセットを接続し、指針によりそれぞれの測定レンジに応じた目盛で読み取る。

カセットが多数あれば、読み取り装置は現地に携帯しなくてもよい。

読み取り装置の回路は図4のとおりである。

Ⅲ 仕 様

この照度計の仕様は表2のとおりである。

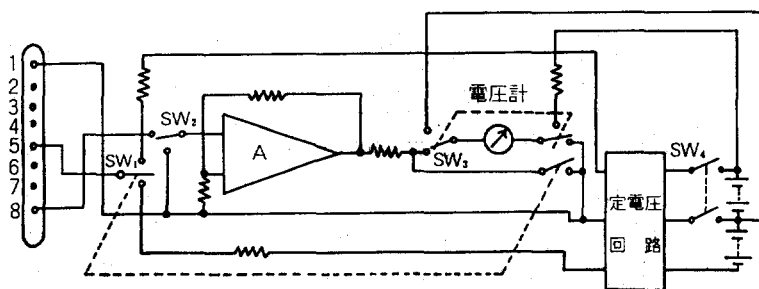


図4. 読 取 装 置

表2. 照度積分計の仕様

光電変換部, 増幅部, 積分記憶部				
項 目		単 位	内 容	
機 種			VIP-S 01, VIP-C 01, VIP-M 01	
照度積分量レンジ		Lx・min	5, 000, 50, 000, 750, 000	
測定照度範囲	Lx	照レ 度積 分 量ジ	5, 000 Lx・min	500～100, 000
			50, 000 Lx・min	500～200, 000
			750, 000 Lx・min	500～200, 000
精 度	%	± 5 以下		
電 源	V	6. 0 (単 3 乾電池 4 本)		
使 用 温 度	℃	0～40		
寸 法	mm	VIP-S 01	84×70	
		VIP-C 01	192×57×140	
		VIP-M 01	40×44×20	
読 取 装 置				
機 種			VIP-501	
精 度	%	指示値の± 5 以下		
電 源	V	± 6. 0 (単 2 乾電池 8 本)		
使 用 温 度	℃	0～40		
寸 法	mm	150×215×115		

お わ り に

この照度積分計は

1. 次の理由により林内平均照度を正確に測定できる。
 - 1) 無限の点(線)の値をとるため、意味のある平均値が得られる。
 - 2) 林内外の同時測定の誤差が少ない。
 - 3) 測定時間内の照度変化の影響が少ない。
 - 4) センサーが水平に保たれる。
 - 5) フィルターの変換などによらない。
 - 6) センサーの劣化が少ない。
2. 短時間(1~5分)で効率的に測定できる。など、従来の機器、方法に比べ、著しい利点をもつものといえる。

一方、測定中直読できない不便さがあり、レンジおよび測定時間の選定にはやや慣れを必要とするが、軽量化のためには止むを得ないものと思われる。

照度積分計は林内平均相対照度の測定に適するというよりは、このような場所による偏差の大きい値の

平均を得るには、点測定では無理であり、このような方法以外にはないものと考えられる。

終りに、本照度計の開発にあたり、使用者側としての再々の困難な要求にも快く応じていただいた三洋中央研究所副所長（当時）池田宏之助氏はじめ、多田、山田、松原の諸氏に深謝申し上げる。

引 用 文 献

- 1) 早稲田 収：本場における研究の概要，人工林の非皆伐施業に関する研究，第 1 次報告．60～68，（1977）
- 2) 池田宏之助・多田欣也・山田 誠・松原正之：電位記憶素子を応用した照度積分計．三洋電機技報，8，2，79～84，（1976）
- 3) ———・—————・—————：電位記憶素子を応用した電圧積分計および最大電圧計について．中部電食防止委，（1974）

ジアゾ感光紙による林内日射量の測定

安 藤 貴⁽¹⁾Takashi ANDO : A Method of Measuring Integrated Solar
Radiation in the Forest by Diazotype Paper

は じ め に

ジアゾ感光紙による光環境の測定は、FRIEND²⁾が測定方法を示したのにはじまり、わが国では森谷³⁾が作物群落内での測定に用い、畠山・沖野⁴⁾は森林で測定を行った。また、飯盛・上中⁴⁾は積算日射量の測定に検討を加えた。

これらの方法は、他の光環境の積算値の測定方法に比べると、高価な器具を必要とせず、方法も簡便である。しかしながら、これまでの方法は、ジアゾ感光紙を一定枚数重ねた小冊子を、一定の大きさの穴をあけた容器に入れ、その穴から露光し、回収後に現像し、漂白されたジアゾ感光紙の枚数から、積算照度または積算日射量を求めようとするものである。ジアゾ感光紙の現像に特殊な装置を要し、また薄手のジアゾ感光紙を用いても、漂白枚数が少ないため、10段階の漂白見本を作り、これによって1枚以下の部分の読みとりを行うなど複雑な点も多い。

このような欠点を補うために、光の透過率のよいトレシングペーパーをずらして重ねた遮光板をジアゾ感光紙上に乗せ、露光・現像後に、何枚トレシングペーパーが重なっているところまで、ジアゾ感光紙が漂白されたかによって積算日射量を求める方法に検討を加えたので、その結果について報告する。なお本報の一部については第30回日本林学会関西支部大会で報告した¹⁾。

報告にあたり、測定器の試作と calibration curve の作製については、高知市山ノ端町の徳久 潔君の労に負うところが多い。ここに謝意を表する。また、測定例などについては林業試験場四国支場造林研究室の桜井尚武技官（現東北支場）、竹内郁雄技官、宮本倫仁技官の手をわずらわした。あわせて感謝する。

I 測定器の構造

測定器の構造を図1に示す。遮光板には、SOMAR社製のPALNA-B150（1巻86cm×20m）というトレシングペーパーを用いた。100段階の漂白段階の読みとりが可能のように、さまざまなトレシングペーパーに検討を加えたが、これを適当なものと判断した。

遮光板は86cmの幅のロール状の長尺ものを5cmの長さに切断し、5×86cmの長方形のトレシングペーパー50枚を長尺方向に3mmずつずらして重ね合せ、最後の50枚目をやや長くして全体を16cmの長さに片端をセロテープで固定し、切断することによって作製する。86cmの長さがあるので、1度重ねると、両端から1個ずつ、同時に2個の遮光板を作ることができる。後述するように、0.5枚きざみで何枚トレシングペーパーが重なったところまで漂白されたか（以下、単に漂白枚数と述べる）を読みとる

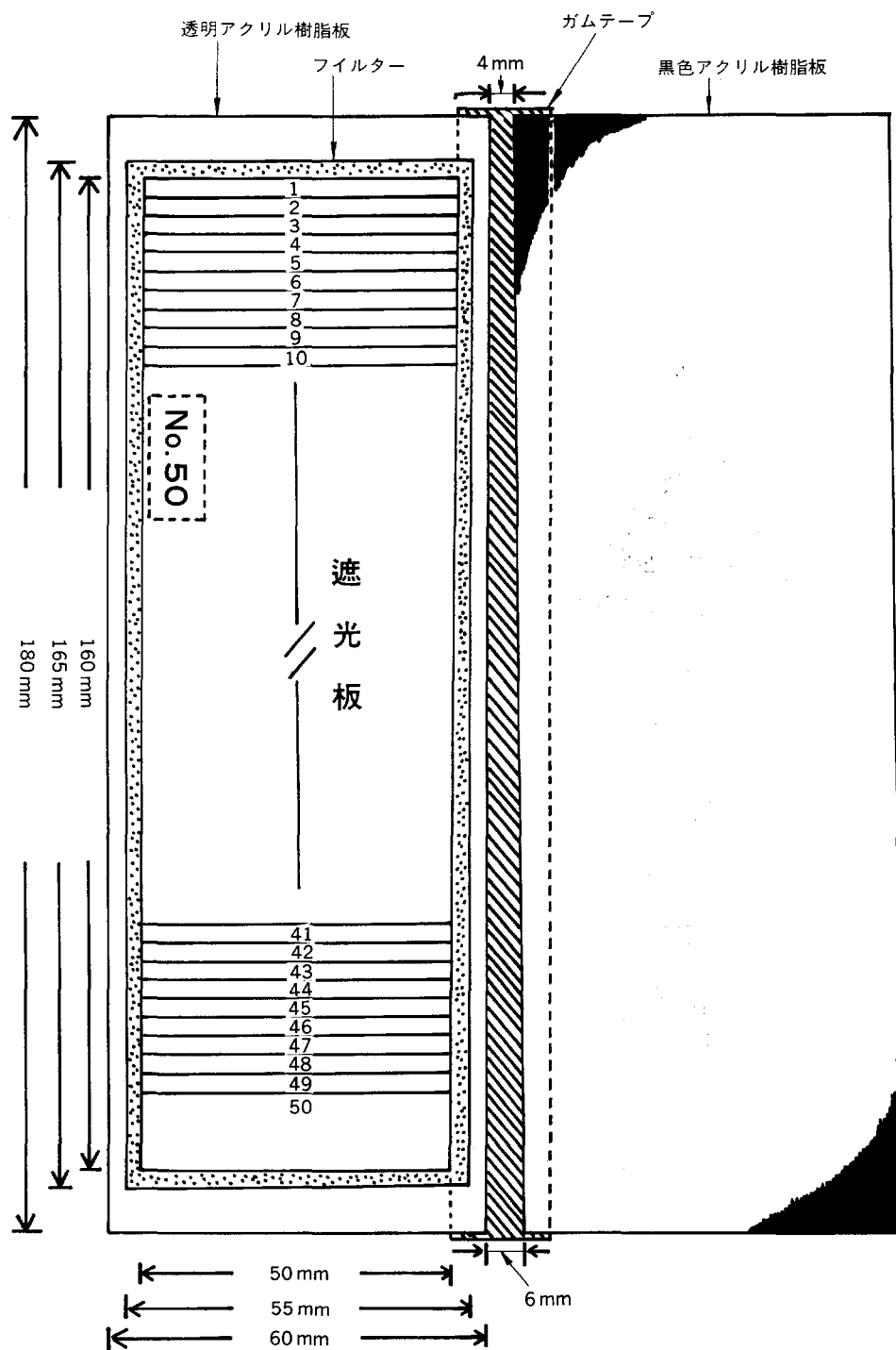


図1. 測定器の構造

ことができるから、100段階の読みとりが可能である。遮光板には図に示したように、トレシングペーパーの重なり枚数を3mmずらした部分に墨書しておく。また、測定器の番号（図中の No. 50）をセロテープにやや太目の文字で墨書し、トレシングペーパーの重なり枚数が10枚から20枚の間に張り付けておく。この位置に測定器の番号をつけるのは、日射量が低くて、漂白枚数が少ない場合に、重なり枚数の多いところに着いていると、測定器番号が現像後のジアゾ感光紙上に写字されないためであり、また、やや太目の文字で墨書するのは、日射量が高く、漂白枚数が多いときに、現像後に消失するのを防ぐためである。文字は油性のインクを用いて書く。

使用したトレシングペーパーの光の透過率が高いので、この遮光板のみでは短時間（盛夏の快晴日では1時間以下）で全枚数が漂白される。このためフィルターを用いて減光する。フィルターにはコクヨ厚口のタイプ用紙を用いた。日射量は光合成有効日射計によって水平面の値を求めたが、フィルター枚数は光合成有効日射量が400 cal/cm²/day 程度までの測定が可能となるように決める。400 cal/cm²/day の光合成有効日射量は、林業試験場四国支場構内で測定している全日射量の最大値が、約700 cal/cm²/day を示し、光合成有効日射は全日射の約50%とされていることから、これに安全率を見込んだ数値である。

PALNA-B 150 とフィルターに用いたタイプ用紙の透過率は、購入するたびに異なった値を示す。これはおそらく製造番号によるものであろう。したがって、これらの用紙は一度に同じ製造番号のものを多量に購入するか、購入のたびに calibration curve を作製するかの、いずれかをとる必要がある。また、PALNA-B 150 は化学物質で、植物繊維でないためか、長期間用いても変色はみられないようだ。また、水に対する耐性も強い。フィルター用のタイプ用紙は長期間使用すると変色し、また、後述するように使用時には測定器をビニール袋に入れて用いるが、それでも雨水が侵入して交換を必要とする場合がある。

図1に示したように、厚さ2mmの6×12cmの透明アクリル樹脂板上に所定の枚数のフィルターを乗せ、その上に文字面を上にして遮光板を重ね、セロテープで固定する。これに黒色アクリル樹脂板を重ね、両者の端をガムテープで固定する。ガムテープにも測定器の番号を書いておく。このようにして作製した透明と黒色のアクリル樹脂板を開くと、図のように遮光板の重なり枚数の少ない側では、その間隔がアクリル樹脂板の厚さ2mmの倍の4mmとなるが、トレシングペーパーが50枚重なるとその厚さが約2mmとなるため、この側ではこれを加えた6mmの幅が必要となる。

II 測定方法

測定器は暗い室内で黒色アクリル樹脂板上にジアゾ感光紙を感光面を上に向けて乗せ、その上にフィルターと遮光板を固定した透明アクリル樹脂板を重ねる。感光紙には最も手近かにあるリコー、NDR、薄口を用いた。このとき、ジアゾ感光紙の感光面と遮光板のトレシングペーパーの重なり枚数を墨書した面が接するように重なっている必要がある。この両面が接していないと、露光後に現像しても、ジアゾ感光紙面に数字が写らない。感光紙をはさんだ測定器は防水のためビニールの小袋に入れ、両端を輪ゴムでとめる。輪ゴムは遮光板の文字の書かれた位置にかからないように、なるべく端に近いところにかける。これを遮光袋に入れて現地に持参し、L型の金具をとりつけた塩ビ管に、図2のようにバインダークリップで、透明アクリル樹脂板を上にして、なるべく水平に設置する。バインダークリップはガムテープでアクリル樹脂板を固定した側の反対側に用いる。輪ゴムやバインダークリップは、単にビニール袋を固定し、

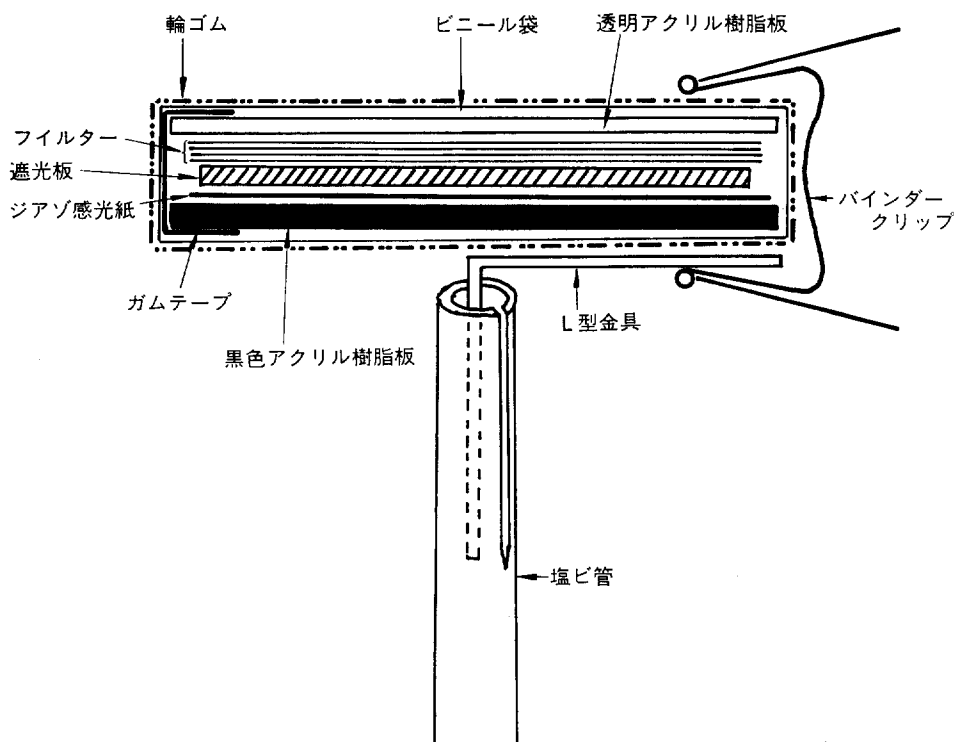


図2. 設置方法の模式図

また測定器をL型金具に固定するだけでなく、遮光板の文字面と感光紙の感光面を密着させる効果がある。設置が終わったら測定器番号を記録しておく。

設置は早朝に行い、夕方に回収してもよいが、任意の都合のよい時間に設置し、翌日の同時刻に回収してもよい。後述するように、1調査地に20個の測定器を設置するのを標準とするが、相対日射量として表示するためには、入射光の測定も必要である。裸地で入射光の測定を行うのは、照度計による瞬間照度と同様であるが、測定しようとする林分とはほぼ同一の陽光の照射条件の場所を選定する必要があり、この点については、照度計による測定以上に注意を要する。入射光を測定するために、林内に測定器の設置を開始すると同時に2個、林内の設置の終了と同時に2個を裸地に設置し、回収時には、林内の回収開始時に最初に設置した2個を回収し、回収終了時に残りの2個を回収し、これら4個の漂白枚数の平均を入射光による漂白枚数とする。

回収した測定器は直ちに遮光袋に入れ、持ち帰る。暗い室内で感光紙を測定器からとり出し、指定の現像液を刷毛で塗布して現像し、余分の現像液を新聞紙などで吸いとらせ、乾燥後に漂白枚数を読みとる。

現像・乾燥後のジアゾ感光紙上には青色の縞と、トレンシングペーパーの重なり枚数を示す数字と測定器番号が青色で残る。青色の縞は、トレンシングペーパーの重なり枚数が少なくなるほど淡くなり、あるところから縞が消える。この青色の縞の消失したところのトレンシングペーパーの重なり枚数を読みとり、これを漂白枚数とする。数字は左右が逆になっているので、読みとりのときに読み違わないよう注意を要する。青色の縞が完全に消失したか、少し残っているのか判断に迷う場合には、0.5枚を加えて読む。例え

ば、15枚までは完全に縞が認められないが、16枚の判断が困難な場合には15.5枚とする。

なお、この読みとりは、アクリル樹脂板をガムテープでつないだ側は、ガムテープの幅だけ漂白されずに青色に発色し、逆にガムテープの反対側は、側方からの光によって発色が淡くなる傾向がある。このため、読みとり誤差を少なくするため、トレンシングペーパーの重なり枚数を記した文字を中心に2cmくらいの幅の範囲で行う。このため、なれるまでは、6×18cmの厚紙の中央を2×16cmの大きさに細長くきりとり、これを現像後のジアゾ感光紙に乗せて読みとりを行うとよい。

III Calibration Curve

漂白枚数と積算光合成有効日射量の関係は、片対数方眼紙上で直線関係を示す。この関係は、比較的接近した日に集めた資料は、ほぼ同一直線上にのるが、著しく離れた日の資料は分離する。夏から冬までのさまざまな日に測定された資料を、繁雑さをさけるために、測定日の最高気温でくくってプロットしてみると、図3に示すように、同じ漂白枚数に対する日射量は夏（最高気温の高い値）に少なく、冬（最高気温の低い値）で多い。

ジアゾ感光紙はジアゾ化合物がカプラーと反応してアゾ染料を形成するが、感光すると分解して染料を形成しなくなることを利用したものである。このような化学反応を利用しているために、図3のように温度の影響を強くうけるのは当然の事と考えられる。温度してとは、図に示したように、測定日の最高気温との相関が最も高く認められた。また、最高気温がほぼ等しい日では晴天でも、曇りでもこれらの関係はほぼ同一の直線関係を示した。飯盛・竹下⁶⁾は積算照度と漂白枚数の関係を10, 20, 30, 40°Cの恒温器中で求めたが、40°Cと他の温度との間で統計的に有意な差が認められたが、漂白枚数には小さな差しかでなかったとしている。筆者は自然条件下で積算日射量を用い、飯盛・竹下は恒温器内の5,000~6,000 luxという低照度下で積算照度を用いているが、結果が異なった理由ははっきりしない。

漂白枚数を N 、積算光合成有効日射量を R 、測定日の最高気温を $T_{\max}$ とすると、これらの関係は

$$\log R = K_1 N + K_2 T_{\max} + K_3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

K_1, K_2, K_3 : 定数

で示される。

水平面光合成有効日射量を前述のとおり 400 cal/cm²/day 程度まで測定するには、フィルターを4枚用いる必要がある。この場合を以下 F 4 として示す。また、暗い林内では測定器を1日設置しても F 4 では全く漂白されない場合があるので、フィルターを2枚とした測定器も作製した。この場合を F 2 として示す。

(1) 式の定数は、F 4 の場合

$$\log R = 0.03454 N - 0.01532 T_{\max} + 1.36974 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R = 0.9862$$

F 2 の場合は

$$\log R = 0.03948 N - 0.01906 T_{\max} + 1.070987 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R = 0.9914$$

と得られた。重相関係数はいずれの場合も 0.99 と著しく高い。日射量の推定値の大部分は実測値の ±20 % の誤差率の範囲内におさまった (図4)。

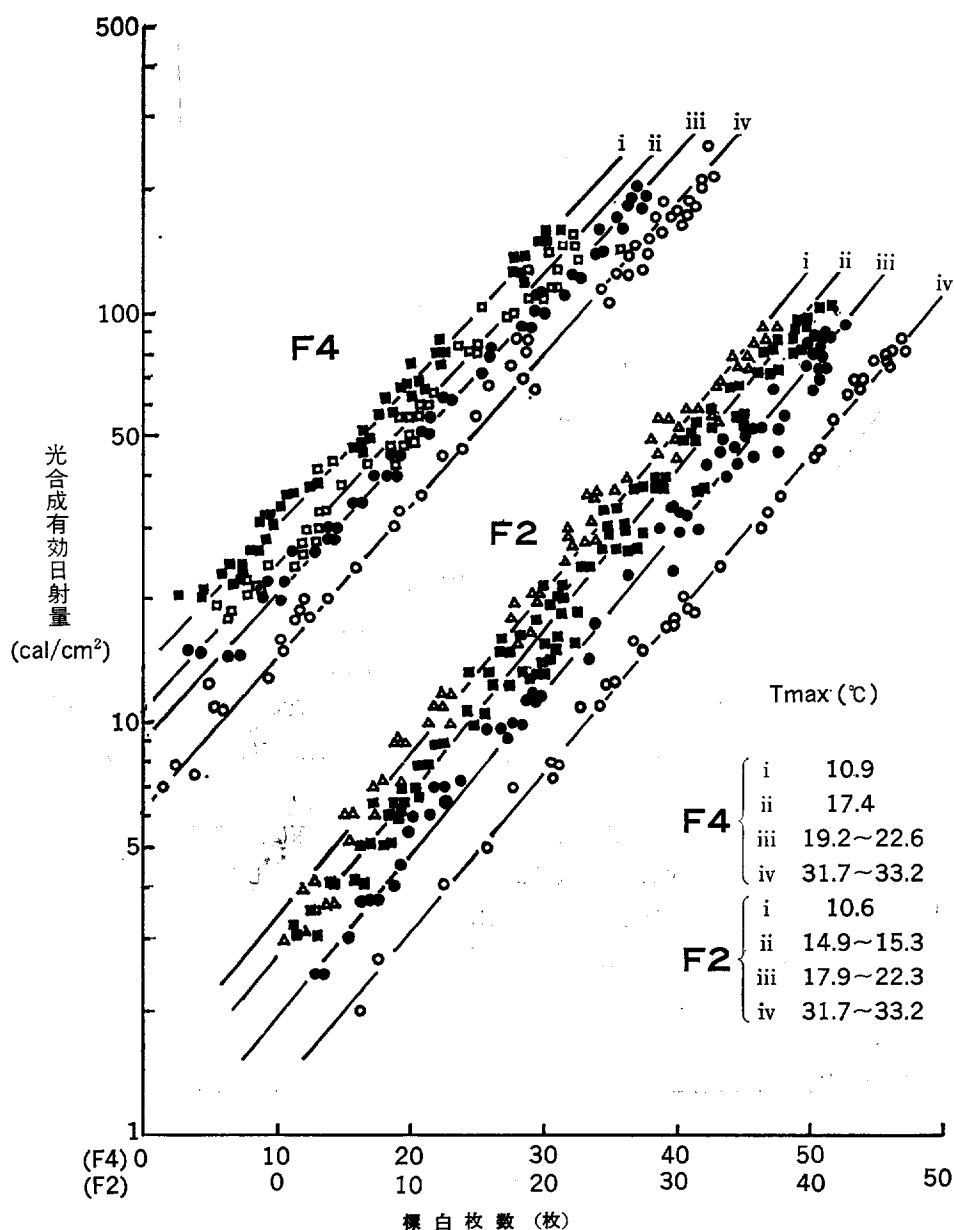


図3. 漂白枚数と光合成有効日射量の関係

F2の測定器は、間伐前などの極度に暗い林内の測定に用い、この場合でも入射光は当然のことながらF4の測定器を用いる。また、測定時には最高最低寒暖計などで、測定中の $T_{\max}$ を、林内と入射光の測定地で測定しておき、(2)(3)式でそれぞれ日射量を求めて相対日射量を計算する。

明るい林内(相対日射量が約10%以上)では林内もF4の測定器を用いる。ただし厚い雲で覆われた曇り日の場合には、相対日射量が10%に近いような林内ではF4では漂白されないことがあるが、うすい曇りの日であれば、F4で普通は感光される。入射光と林内光を同じF4の測定器で測定する場合に

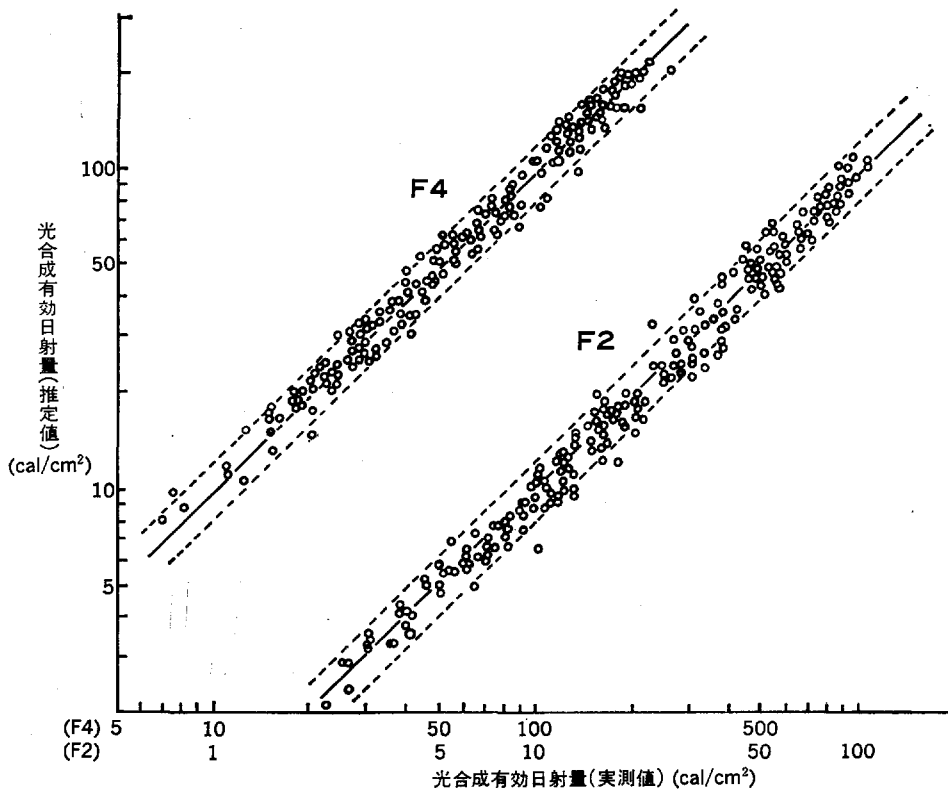


図 4. 光合成有効日射量 (実測値) (cal/cm²)

は、両地点の $T_{\max}$ の差を無視すれば

$$\log \{R/R_0 \times 100\} = 2 - K_1(N_0 - N) \quad \dots\dots\dots (4)$$

R_0 : 入射光による日射量

R : 林内の日射量

$(R/R_0) \times 100$: 相対日射量

N_0 : 入射光による漂白枚数

N : 林内光による漂白枚数

で相対日射量が求められる。これまでの経験によると、入射光の測定地と林内の $T_{\max}$ の差は夏期で 2°C 程度である。この差を無視すると林内の $T_{\max}$ が低いため、理論的には相対日射量が過少に得られる一方的な誤差をとまうことになる。しかし、このための誤差は、林内と入射光測定地の $T_{\max}$ の差が 2°C 程度であれば、漂白枚数の読みとりによって生ずる誤差の範囲に入りそうである。したがって、(4) 式によって相対日射量を求めても、大きな問題になるとは考えられない。F 4 の場合の $(N_0 - N)$ と相対日射量の関係を表 1 に示す。

IV 測定例と 1 調査地あたりの測定数

測定例として、3 段階に上木のスギとヒノキを間伐した複層林の下木上部で相対日射量を求めた値を表

表1. $(N_0 - N)$ と相対日射量 $\left(\frac{R}{R_0} \times 100\right)$ の関係 (F = 4 の場合)

$(N_0 - N) \left(\frac{R}{R_0} \times 100\right)$	$(N_0 - N) \left(\frac{R}{R_0} \times 100\right)$	$(N_0 - N) \left(\frac{R}{R_0} \times 100\right)$	$(N_0 - N) \left(\frac{R}{R_0} \times 100\right)$	$(N_0 - N) \left(\frac{R}{R_0} \times 100\right)$
0 100	10 45.1	20 20.4	30 9.2	40 4.2
0.5 96.1	10.5 43.3	20.5 19.6	30.5 8.8	40.5 4.0
1 92.4	11 41.7	21 18.8	31 8.5	41 3.8
1.5 88.8	11.5 40.1	21.5 18.1	31.5 8.2	41.5 3.7
2 85.3	12 38.5	22 17.4	32 7.8	42 3.5
2.5 82.0	12.5 37.0	22.5 16.7	32.5 7.5	42.5 3.4
3 78.8	13 35.6	23 16.1	33 7.2	43 3.3
3.5 75.7	13.5 34.2	23.5 15.4	33.5 7.0	43.5 3.1
4 72.8	14 32.8	24 14.8	34 6.7	44 3.0
4.5 69.9	14.5 31.6	24.5 14.2	34.5 6.4	44.5 2.9
5 67.2	15 30.3	25 13.7	35 6.1	45 2.8
5.5 64.4	15.5 29.2	25.5 13.2	35.5 5.9	45.5 2.7
6 62.1	16 28.0	26 12.6	36 5.7	46 2.6
6.5 59.6	16.5 26.9	26.5 12.2	36.5 5.5	46.5 2.5
7 57.3	17 25.9	27 11.7	37 5.3	47 2.4
7.5 55.1	17.5 24.9	27.5 11.2	37.5 5.1	47.5 2.3
8 52.9	18 23.9	28 10.8	38 4.9	48 2.2
8.5 50.9	18.5 23.0	28.5 10.4	38.5 4.7	48.5 2.1
9 48.9	19 22.1	29 10.0	39 4.5	49 2.0
9.5 47.0	19.5 21.2	29.5 9.6	39.5 4.3	49.5 2.0

表2. 測定例とその変動係数

上木の樹種	調 査 区	1977年 月 日	測 定 時 間	相対日射量 (%)	変動係数 (%)	天 候
ス ギ	強 度 間 伐 区	8 月 9 日	9 : 30~15 : 50	46.2	23.7	曇り後晴れ
		8 月10日	9 : 50~15 : 15	44.2	12.4	晴
	中 庸 度 間 伐 区	8 月 9 日	10 : 05~15 : 00	26.3	33.1	曇り後晴れ
		8 月10日	9 : 20~13 : 50	22.8	29.3	晴
ヒ ノ キ	強 度 間 伐 区	8 月 9 日	10 : 55~15 : 25	15.4	33.1	曇り後晴れ
		8 月10日	8 : 50~14 : 35	13.0	32.2	晴
	中 庸 度 間 伐 区	8 月11日	10 : 44~16 : 00	43.4	10.2	曇り 後 雨
		8 月12日	7 : 55~12 : 27	44.5	14.2	晴れ後曇り
キ	中 庸 度 間 伐 区	8 月11日	9 : 10~15 : 30	28.3	22.3	曇り 後 雨
		8 月12日	9 : 05~12 : 55	28.0	26.6	晴れ後曇り
	弱 度 間 伐 区	8 月11日	9 : 40~15 : 05	14.5	19.6	曇り 後 雨

2に示す。表2には天候のかかなり違う日に続けて2日測定を繰り返した値が示されているが、天候による相対日射量の差はそれほど大きくない。表2には変動係数もあわせて示してある。

測定点数 n_0 は、ある確率に対応する t の値と変動係数 C と期待精度 P から

$$n_0 = (t \cdot C / P)^2 \dots\dots\dots (5)$$

で求められる。表2の変動係数から n_0 を求めてみると、1林分で20点の測定を行えば、求められた相対日射量は、5%の確率で誤差率15%以下の精度で求められるものと期待される。

お わ り に

ジアゾ感光紙の感光波長域は、感光紙によって異なるが、400 mm 付近に最大域があり、紫外～青の波長域に片よっていて、可視光線の全域にわたるものではない。この点は光合成との関連を考えると不満足な点が残る。しかし、非皆伐施業との関連でみれば、林内光環境の日積算量を求められる点で、従来の照度計による瞬間値の測定値に比べれば、測定時刻に拘束されることがなく、はるかに安定した値が得られるものとする。また、林内に設置してしまえば、回収までの時間を他の調査にあてることができるなど、都合のよい点のあることも指摘しておこう。

引 用 文 献

- 1) 安藤 貴：ジアゾ感光紙による林内光環境の測定。日林関西支講，30，98～100，(1979)
- 2) FRIEND, D. T. C. : A simple method of measuring integrated light values in the field. Ecology, 42, 577～580, (1961)
- 3) 畠山末吉・沖野 考：北見地方における天然林施業（2）—ジアゾ感光紙による 林内照度の測定方法について—。日林北海支講，20，65～67，(1971)
- 4) 飯盛 功・上中作次郎：林内日射の推定方法 について（第1報）—ジアゾ感光紙による測定の検討—。日林九州支講，28，115～116，(1975)
- 5) ———・竹下慶子：林内人工更新法に関する研究（第5報）—，ジアゾ感光紙の感光枚数と気温との関係。同上，30，155～156，(1977)
- 6) 森谷睦夫：ジアゾ感光紙による作物群落内照度の測定。農業および園芸，43，1290～1294，(1968)

ジアゾ感光紙による林内日射量の測定法の検討

飯 盛 功⁽¹⁾・竹下 慶子⁽²⁾・上中 作次郎⁽³⁾

Isao IMORI, Keiko TAKESHITA and Sakujirou KAMINAKA : A Method of Measuring Solar Radiation in the Stand by Diazotype Paper

は じ め に

ジアゾ感光紙による測定法の検討を次に述べる項目について行った。1. 野外での季節別の日射量と感光枚数の関係, 2. 恒温器をもちいたジアゾ感光枚数の温度による変化, 3. 林内と林外で温度差がある場合の感光の進みかた, 4. 平均相対日射量を求める最小限必要な点数の検討。

なお、これらの一部についてはすでに報告した⁽¹⁾⁽²⁾。

I 試 験 方 法

ジアゾ感光紙による日射量の測定方法は、森谷⁽³⁾の方法によった。ジアゾ感光紙は普通の事務複写用紙のリコー 80R および NDR (リコー社製) を用いた。

1. ジアゾ感光紙の小冊子を林業試験場九州支場屋上で露光させ、一定時間ごとに2冊ずつ取り去り、同時にゴルチンスキー日射計 (横河電気製) と光合成有効日射計 Psz-1 型 (東芝製) を用いて記録させた。

測定時間および天候は表1のとおりである。露光させた感光紙を現像し、漂白枚数を数え、日射量と漂白枚数の関係を求めた。

2. 恒温器として、いすずカタリーナ定温孵卵器を改造したものをを用い、温度を10°C、20°C、30°C、40°Cの4段階を設定した。この恒温器内には水銀灯が設置されていて、5,000~6,000 lux の感光に点灯できる。

この恒温器内に、感光紙を各温度ごとに、17冊ならべて、一定時間ごとに取り去り、同時に、各感光紙の上で、照度計 (東芝製・SPI-5 型) を用いて、照度を測定した。4組 (10°C、20°C、30°C、40°C) の露

表1. 測定時間および天候

年 月	開始日	時	終了日	時	天 候
'73. 12	7 日	9 : 30	9 日	16 : 00	晴れたりくもったり
	9 日	12 : 00	9 日	16 : 00	晴 れ
'74. 6	15 日	10 : 00	16 日	17 : 00	晴 れ
	16 日	8 : 40	16 日	17 : 00	晴 れ
'74. 8	28 日	10 : 30	29 日	12 : 00	晴れたりくもったり

(測定場所：林試九州支場屋上)

1982年11月9日受理

造 林—66 Silviculture—66

(1) 造 林 部 (元九州支場)

(2) (3) 九 州 支 場

光開始日は1975年8月18日、終了日は8月23日で連続して行った。ただし、0時から8時30分までの間には照度の測定を行わなかった。

露光させた感光紙は指定の現像液で現像して、漂白した枚数を数え、ジアゾ感光紙の漂白枚数と積算照度の関係を求めた。

3. 2.とは別に1975年10月6日～9日に、林業試験場九州支場構内のスギ林内と林外で、同時に感光紙を露光させて、感光枚数と日射量の関係を調べた。

4. 平均相対日射量を求めるための必要最小測定数に検討を加えるため、試験地として、熊本営林署管内87ろ林小班のヒノキ林（択伐の施業指標林、昭和48年度間伐、本数間伐率32%、残存木の本数は441本/ha、幹材積229 m³/ha）を選んだ。そのヒノキ林の1ha内に100本の杭（高さ50～60 cm）をほぼ等間隔に立て、その上にジアゾ感光紙をおいて、1日間、露光させた。

II 結果と考察

1. 日射量と漂白枚数の関係

森谷³⁾はジアゾ感光紙と積算照度または積算日射量の間の季節的な関係については何も述べていない。このため筆者らは季節別にジアゾ感光紙と積算日射量（林外）の関係を求めた。

積算日射量（ R ）と漂白枚数（ N ）の間に（1）式が成り立つ。

$$\log R = KN + C \quad \dots\dots\dots(1)$$

（ただし、 K と C は季節別の定数）

K と C および相関係数を表2に示す。なお、12月7日～9日の測定では、林内日射を考慮に入れて、クレモナ寒冷紗の枠組の中にジアゾ感光紙を入れて露光させた。結果として無覆との間に違いは認められなかった。また、晴れている時と晴れたりくもったりのときでは、違いが認められなかった。

12月と6月と8月の間に、光合成有効日射量とジアゾ感光紙の感光枚数との関係式についてみると、 K と C の間について、一定の傾向がみられる。12月から6月、8月になるにつれて、高さ（ C ）および傾斜（ K ）は小さくなっている。つまり、同じ日射量をうけた場合に、その感光紙の漂白枚数は12月から8月へかけて増加していく。

林内日射を表示する場合に、普通、林外に対する林内の割合いで表す。この場合（1）式から（2）式が導かれる。

$$\log \frac{R}{R_0} = K(N - N_0) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし、 R_0 、 N_0 は林外の日射量と感光枚数で、 R 、 N は林内の日射量と感光枚数

表2. 回帰式の高さ（ C ）と傾き（ K ）と相関係数

測定月日	日 射 計	K	C	相関係数
'73. 12	光合成有効日射計	0.3521	-0.7649	0.992
'74. 6	"	0.3484	-0.8391	0.992
'74. 8	"	0.3114	-0.8440	0.997
'74. 6	ゴルチンスキー日射計	0.3501	-0.3383	0.992
'74. 8	"	0.3110	-0.3716	0.992

表3. 感光枚数と積算照度の回帰式の定数と相関係数

	傾き (a)	高さ (b)	相関係数
10°C	0.6048	0.5800	0.9942
20°C	0.6072	0.5902	0.9970
30°C	0.5897	0.6317	0.9950
40°C	0.5776	0.6055	0.9955

$$\log Y = aX + b$$

(Y: 積算照度, X: 感光枚数)

表4. 感光枚数と積算照度の回帰式間の比較

	10°C	20°C	30°C	40°C
	a b	a b	a b	a b
10°C	/	○ ○	○ ○	○ *
20°C	— —	/	○ ○	○ *
30°C	— —	— —	/	○ *
40°C	— —	— —	— —	/

○: 有意でない。*: 5%有意, #: 1%有意

このため相対日射量を R/R_0 で表示する場合には、 K の値が問題になる。 K について、其分散分析を行った結果、表2の光合成有効日射量と日射量（ゴルチンスキー）の両方ともに、12月と8月、6月と8月については有意差が認められた。

このため、積算日射量とジアゾ感光紙の関係については、季節別にキャリブレーションが必要と考えられる。この場合、温度の違いが影響を与えているのではないかと考えられる。

2. ジアゾ感光紙の温度による変化

さきに述べたとおり、ジアゾ感光紙の感光枚数と日射量の関係は、年間を通じて一定でなく、季節的な変動があることがわかった。

この変動要因の一つとして気温をとりあげ、気温を四つの段階に変えて感光枚数と積算照度の関係を求め検討した。

感光枚数と積算照度〔今回は (lux) × (hour) で表示した。〕の関係を表3に示す。

感光枚数と積算照度の対数は一次回帰式で示されるが、いずれの温度でも、表3のとおり、0.99以上の高い相関がある。

次に回帰式の枚数で回帰直線の比較を行った（表4参照）。

40°Cの回帰式と他の10°C、20°C、30°Cの間では、高さ (b) に5%ないし1%で有意差が認められた。

また、得られた回帰直線から、積算照度を与えて、感光枚数を求めた場合に、同一の積算照度では、40°Cの方が、他の温度にくらべて、感光枚数はふえることになる。例えば積算照度100 (klux・時) のとき、40°Cでは4.15枚、それ以外の温度では3.95~4.05枚で、その差はわずかであり、図示しなかったが、グラフ上では殆んど区別がつかないほどである。

ジアゾ化合物はカプラーと反応して、アゾ染料を形成するが、感光すると分解して、染料を形成しなくなる。この化学反応を利用して、光の測定を行う。一般に温度の上昇とともに、化学反応は促進される。したがって、今回の結果では、40°Cで化学反応が促進され、感光枚数がふえたものと考えられる。

3. 林内と林外での感光紙漂白の進み方

前述の温度以外に、光の波長組成の違いにより、感光枚数と日射量の関係が違ってくるのが考えられる。ジアゾ感光紙は短波長（紫外～青）の方へ最大感度の部分があるので、照度計または全天日射計とでは、季節別・場所別の変化があると考えなければならない。

そのため、スギ林内と林外において感光紙を露光させ、感光枚数と日射量の関係を調べた。

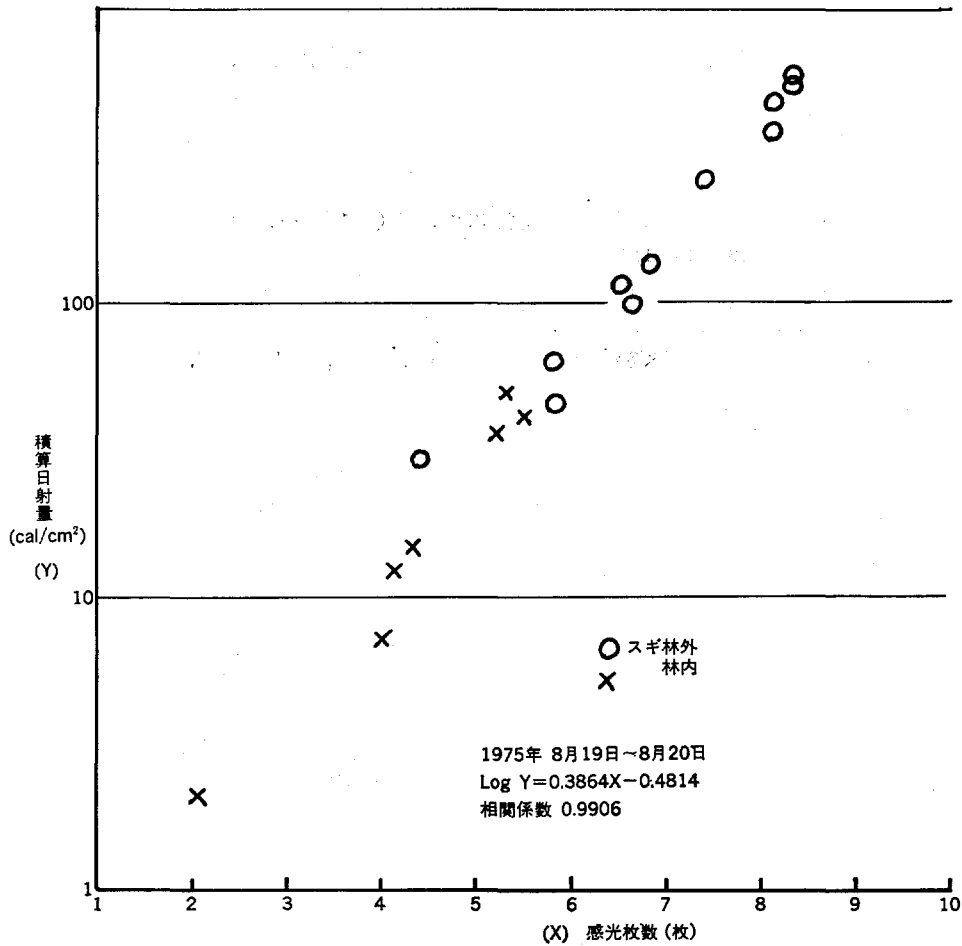


図1. 林内と林外での感光枚数と日射量の関係

測定の結果は図1のとおりで、林内でも林外でも、ほぼ同一の直線上にのることがわかった（相関係数0.9906）。

この結果から、林内と林外での温度と光の波長組成の違いは、感光枚数と日射量の関係にそれほど大きい影響を与えないと考えられる。

4. 林内相対日射量の測定に必要な最小測定点数

ヒノキ林で測定した期間は1974年5月24日～25日の24時間で、天候は快晴であった。

ジアゾ感光紙の漂白枚数を日射量へ変換する場合、林業試験場九州支場で求めた6月のキャリブレーション（ゴルチンスキー日射計による日射量）をあてはめた。その結果、このヒノキ林の R/R_0 の平均値は23.2%と得られた。

また、標本抽出個数の算定式（非重複抽出法によった。）から、最小限必要な測定点数を求めた結果、目標精度20%で12個となった。目標精度を20%とした理由は時間と費用の関係を考慮したためである。そのあと乱数表より、林内の100点から無作為に12個ずつ選び、母平均の仮説の検定を行ったところ、5%の危険率で10回のうち8回は有意差がなかった。そのため、快晴日に、約12個のジアゾ感光紙を林

内に無作為に設置すると、林内の日射（林外に対する林内の日射量の割合）を表示することが可能であると考えられる。これらの結果から、ジアゾ感光紙で林内の日射を測定する場合、安全性を見込んで、約 2 倍に相当する感光紙の冊数の数を 30 個設置することにした。

引用文献

- 1) 飯盛 功・上中作次郎：林内日射の推定方法について（第 1 報）—ジアゾ感光紙による測定の検討—。日林九州支講，28，115～116，（1975）
- 2) ———・竹下慶子：林内人工更新法に関する研究（第 5 報）—ジアゾ感光紙の感光枚数と気温との関係—。日林九州支講，30，155～156，（1977）
- 3) 森谷睦夫：ジアゾ感光紙による作物群落内照度の測定。農業および園芸，43，1290～1294，（1968）