

植栽密度のちがいが微気候におよぼす影響について

汰木, 達郎
九州大学農学部

<https://doi.org/10.15017/15857>

出版情報 : 演習林集報. 17, pp.39-50, 1962-12-05. Kyushu University Forests
バージョン :
権利関係 :

植栽密度のちがいが微気候におよぼす 影響について

汰 木 達 郎

Tatsuro YURUKI:
Influence of Planting Densities on the Micro Climate.

目 次

- | | |
|-----------|--------------|
| I. はじめに | III. 結果および考察 |
| II. 試験の方法 | IV. 摘 要 |

参考文献

Résumé

I. は じ め に

植栽密度、植栽方法のちがいが植物の成長に及ぼす影響については多くの植物で可成り調べられている。又植栽密度、方法がちがうと植物の成長に関する環境因子もかなり変わることが知られている。ここで云う環境とは植被内のいわゆる微気候を意味する。森林の微気候については GEIGER¹⁾ 始め多くの人々によって報告されているが、農耕地の場合に比較するとまだその知識は貧弱である。

植栽密度や植栽方法がちがうと微気候はどのように変わるかを知ることは林木の成長と気象環境との関係を明らかにする上からも極めて必要なことである。普通の林でこの関係を調べることは、適当な林分が少ないことやその測定の間からも可成り困難があるので、密度をちがえた模型林分をつくりこれで密度—微気候の関係を調べて見ることにした。

II. 試 験 の 方 法

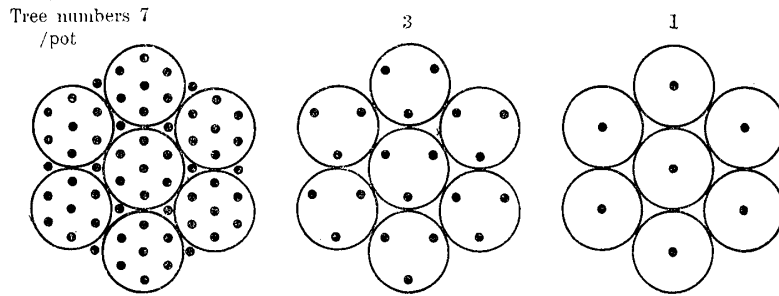
主に光と温度を調べるために 1 回床替 2 年生スギ挿木苗（アラカワ）を、1959 年 3 月九大造林学校教室苗畑に間隔 15, 30, 60 cm の正方形植で植栽した。各区とも周囲の影響を考慮して適当な広さをとり中心部の $5 \times 5 = 25$ 本を調査の対象とし 3 回繰り返した。

測定としては照度計（東芝 5 号型）を用いて林内の高さ別の明るさを測定し、棒状温度計を用いて気温、地温を測定した。気温測定には厚紙製傘状放射よけをつけた。この模型林分は植栽当年と翌年の夏季の乾燥のため特に植栽間隔 15 cm の高密度区が被害を受け、そのため以後 15 cm 区だけは測定不能となった。

照度は 1959 年以降毎夏測定している。一方温度は 1959 年と 1960 年の夏その日変化を測定した。又 1960 年 2 月より 1961 年 3 月迄最高最低温度計を用いて林内の最高最低温度の変化を測定した。植栽当年と翌年の乾燥のために 15 cm 区が可成りの被害を受けたが、植栽密度のちがいによって土壌水分の消費がどの程度影響を受けるものかを調べるために、1960 年 4 月、ワグナーポットに 1 年生スギ実生苗を 1, 3, 7 本ずつ植え、1 区の如く配置しポットの上面が地表と一致するように土中に埋めた。測定方法としては、最大容量になる様に灌水した水の余剰の分がポットの下部より流出する様にし、灌水量と余剰水量と

の差を土壌の水分消費量とした。この量はスギ苗木の蒸散による土壌水分の消費と土壌表面からの蒸発による消失との合計で、いわゆる蒸発散量²⁾³⁾⁴⁾とも云えるものである。なお図の様に配置したポットのうち、中央のポットを主測定用とし両端の2個を補助測定用として用いた。植栽木は互いに等間隔になるように配置し、特に7本区ではポット外にも植えてこの条件を満たすようにした。

Fig. 1. Arrange of Wagner pots.



III. 結果及び考察

模型林分内部の照度について

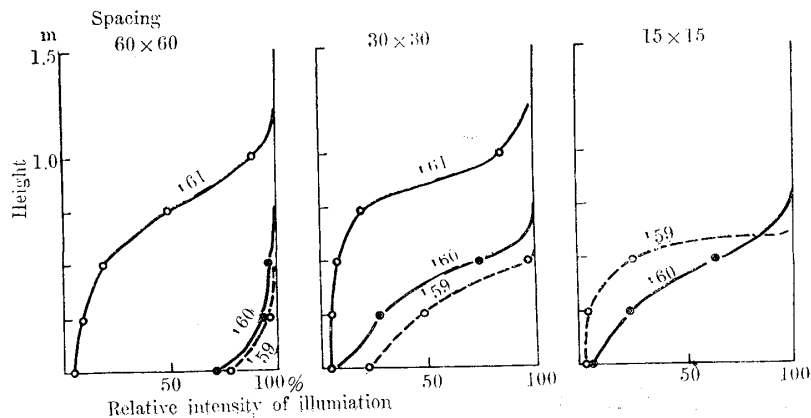
光は植物の光合成に關係する最も重要な環境因子であるとともに他の環境因子とも密接な關係にある。例えば光の強さが変わると気温や地温にその影響が現われてくる。この光の林内での減衰状態を相対照度で示したのが2図である。密度のちがいが明瞭に林内の明るさに現われていることがわかる。

樹冠によりうっ閉された群落の内部は、一般に散乱光のみが存在するが、うっ閉が不完全である場合、すなわち直達光が存在する場合の明るさの減衰状態は、散乱光の場合とはことなるものと考えられる。

植栽当年(1959年8月)の測定の際は60cm区はうっ閉が不完全でかなりの直達光が存在したため、その後の結果とは明らかにことなつた減衰状態を示している。この傾向は、翌年の測定でも見られたが、3年目の1961年9月になると樹冠もややうっ閉して来たため、減衰のかたちが他の30cm区、15cm区に似てきた。うっ閉の程度がますますしたが樹冠の表層より少し内部に入ると急激に明るさが減少することがよくわかる。

15cm区は、植栽当年は極めてよくうっ閉した状態にあり林内照度の減衰にもそれがよ

Fig. 2. Vertical gradient of relative intensity of illumination.



く現われているが、夏季乾燥のため枯損木が可成り生じたため翌年（1960年）の測定の際はうっ閉がやや破れそのため林内内部にまでよく光が通るようになり減衰曲線にもそれが現われてきた。

一般に群落内の明かるさは $I = I_0 e^{-KF}$ (I : 内部の光の強さ, I_0 : 入射光の強さ, K : 吸光係数, F : 葉面積指数) で表わされるといわれる⁵⁾。広葉樹では葉面積の測定は割合容易であるが、針葉樹では一般にその推定も困難である。そこで播種後満4年経過したスギ群落で葉面積のかわりに、層別刈取法⁵⁾により測定した葉重と照度との関係を見たのが3図である。

この図から測定群落ごとに直線の勾配、すなわち吸光係数 K がことなることがわかる。吸光係数 K は葉の透過度と葉のつく角度によって変る定数であって、葉の透過度が大きいと小さくなる。角度による変化は、葉の角度が垂直に近い禾本型では $0.3 \sim 0.5$ 、水平型に近い広葉型では $0.7 \sim 1.0$ といわれている。ここでは葉面積のかわりに生葉重を便宜的に用いているのでこれらの値と直接比較は出来ないが、密度が高くなると K の値は小さくなっている。ただし、 $50 \times 50 \text{ cm}^2$ 当り本数は $A=57$, $B=41$, $C=12$ である。すなわち高密度の場合は枝葉の射出角が大になり、低い場合には小になるために禾本型と広葉型の関係に似た現象が起ったのではないかと考えられる。とすると光条件からいくと密度の高い方が単位面積当りにより多くの葉をつけ得る状態にあると云える。図の場合も群落内の最低の明るさは三者共ほぼ等しく $1 \sim 2\%$ で葉量も A, B, C の順序で大きかった。

成林した壮令の林ではこの関係はどうなっているであろうか。4図は九大宮崎演習林のほぼ地位の等しい同年令、同品種の完全にうっ閉したスギ林分について密度と単位面積当り生葉重との関係を見たものである。この図は密度の高い方が葉量が多いという傾向を示し上述の推定を裏書きしているようでもある。

Fig. 3. Relationship between relative intensity of illumination and weight of leaves.

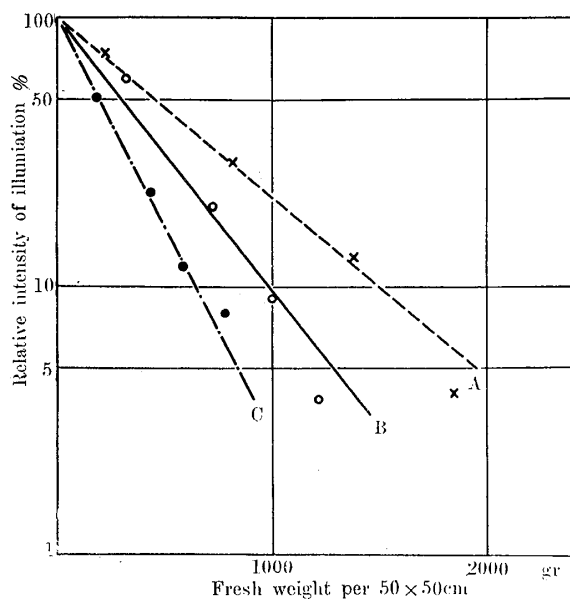
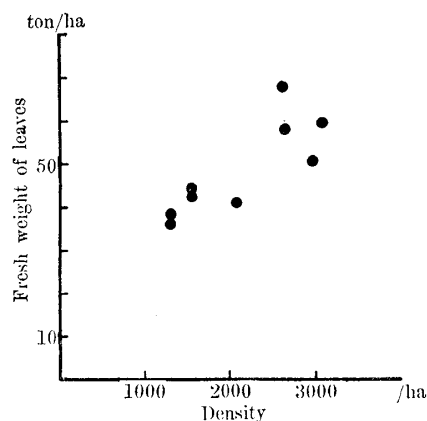


Fig. 4. Fresh weight of leaves per unit area. (ha)



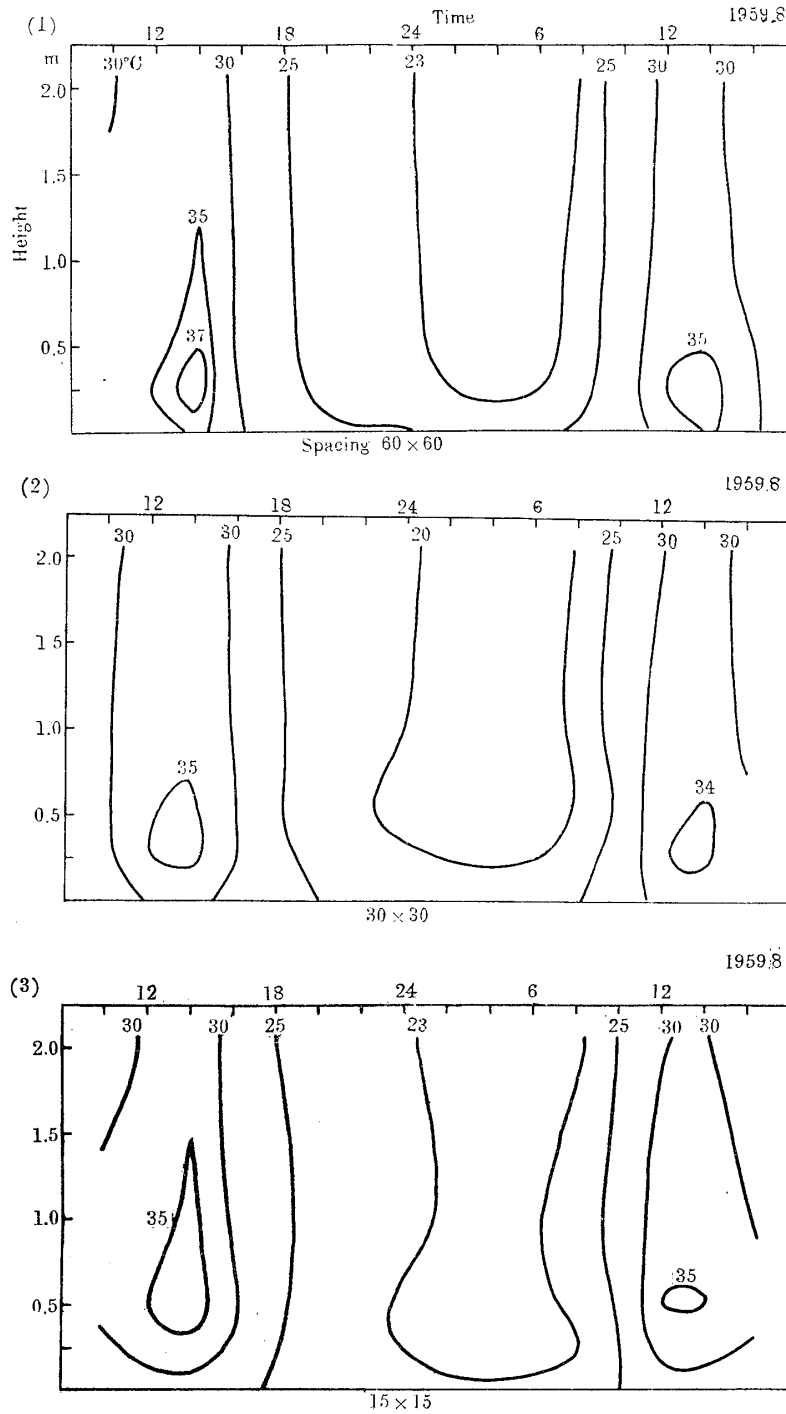
一般には葉量（葉面積）は個体密度によって左右され同種・同令の個体群で、比較的密度のひくいときは、密度に比例して大きくなり、さらに高密度では、葉量はほとんどふえず密度に関係なく一定になる傾向があり、とくに森林では壮令の範囲で密度、樹令に無関係に一定になる傾向があるといわれる⁶⁾⁷⁾。この場合の低密度はうっ閉の不完全な段階と同義と見做され前述のスギの場合とは同一レベルで論ずること

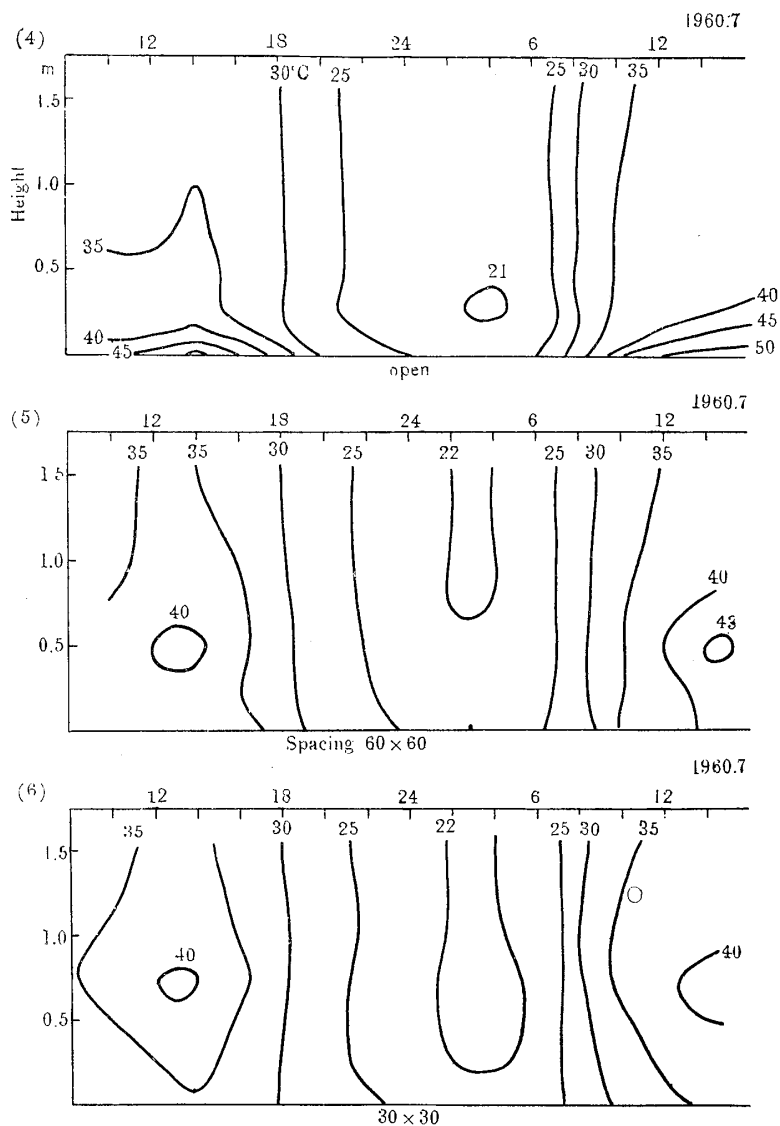
は出来ないと考えられる。うっ閉が完全な場合でも、密度のちがいで吸光係数が変動するが高密度になるとほぼ一定しそのため単位面積当りの葉量も一定してくるのであると推測される。この点については今後さらに検討を加える必要があると考えられる。

模型林分内部の温度について

植被層（樹冠）内の温度分布は純放射の吸収および空気の流れにいちじるしい影響を与える植被層の密度によって特徴的に変化する。

Fig. 5. Distribution of temperature.





これは裸地では地表面が受け持っている受熱・放熱の役割を植被層も受け持っているためである。

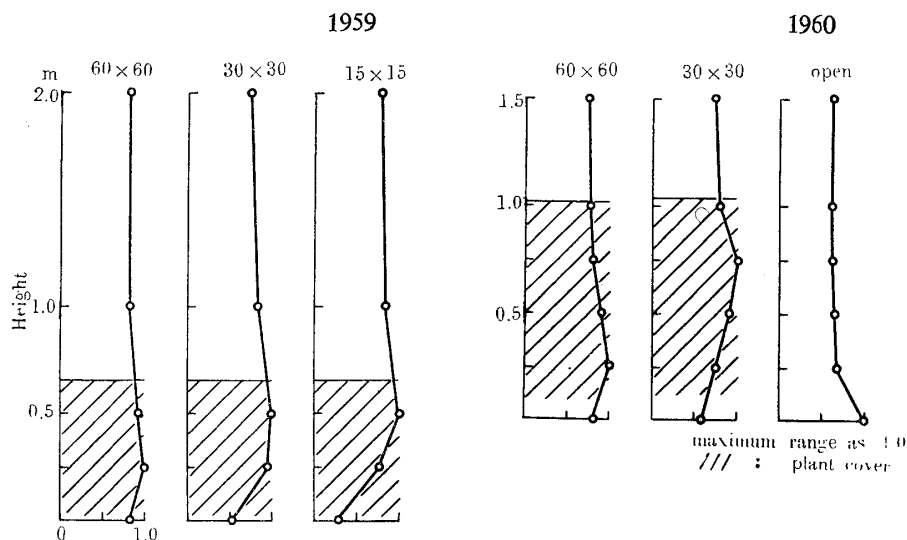
この模型林分の場合にもこの現象は明瞭にあらわれており、密度がますますしたが、又成育が進むに従い地表近くにある能動面 (Active Surface) は次第にその高さを増している。(5図参照)

これと同様の現象を **GEIGER**¹⁾ はキンギョソウ群落で、**BAUMGARTNER**²⁾ は若いトウヒ林で見ている。

図は模型林分内における温度日変化振幅の変化を示したものであるが、密度のちがいや成育の進行に伴う能動面の移行がこれからもはっきりすると思う。6図にみられるように 15 cm 区は植被層内へ進むにしたがい、振幅は急激に減少し植被表面より若干低い高さにある能動面の振幅の約 1/3 になっている。30 cm 区ではこれが約 1/2 になっているが、60 cm 区ではあまり減衰しない。これは植被層の発達が不十分であるためと考えられる。以上は 1959 年の場合であるが、1960 年の場合でもこの傾向は同じである。

1 表は 1960 年 2 月より 1961 年 3 月迄の約 1 カ年間の日変化の振幅を最高・最低温度計

Fig. 6. Daily range of temperature.



によって求めたものをまとめたものである。この場合、日変化の振幅は裸地では地表面が最大であるが、植栽区では地表面が最も小さくなっている（ただし 15 cm 区は 1960 年 2 月～8 月の 7 カ月間の結果）。高さをますに従いこの振幅は大きくなり、植被層内に最大の部分があるものと考えられる。この高さは 5, 6 図より見て 60 cm 区で 50 cm 前後、30 cm 区で 75 cm 附近、であろう。

15 cm 区は途中で測定を中止したためはっきりしたことは云えないが、30 cm 区の 75 cm よりは上方にあるだろうと云うことは容易に推定出来る。

ところで日変化の振幅の変動係数は各区とも振幅の大きい方が小さい。すなわち能動面で日変化振幅から云えば大であるが、振幅の大きさそのものの変動は少なく、日変化振幅の平均値の小さい位置の振幅変動が大きいことを意味している。日変化振幅から云えば能動面が一日の天候状態の影響を受けることが最も少ないと云えるのではないか。

Table 1. Annual mean daily range and coefficient of variance.

Height	Spacing							
	open		60		30		15	
	\bar{x}	cv	\bar{x}	cv	\bar{x}	cv	\bar{x}	cv
0	20.20	26.6	16.69	38.3	12.91	36.8	11.26	36.3
25	17.59	32.5	16.64	34.1	16.00	31.7	16.76	29.9
50	14.12	36.2	18.07	29.6	16.54	29.8	17.91	30.7

密度のちがいが土壤の水分収支におよぼす影響について

林地からの蒸発散は林木の根系を通しての土壤水分の吸収、葉面からの水蒸気拡散、地面からの蒸発によって組み立てられている。

この蒸発散を測定する方法は古くから多く考案研究されてきているが、ここではきわめて原則的な水収支法によって蒸発散量の測定を試みた。

地面、耕地面、林地面からの蒸発・蒸発散を研究する場合には、蒸発能・蒸発散能という概念が用いられる。蒸発能は十分に湿った広い地面からの蒸発量で与えられた気象条件下での最大蒸発量を意味している。蒸発散能は給水の十分な、耕地上、林地上に完全被覆状態に植物の生育している土地からの蒸発散量として定義される⁹⁾。

一般に樹冠の密度のちがいは地表面からの蒸発に大きな影響を与えている。梅谷は雑木林の内外の蒸発量をしらべ、林内の蒸発量は林外の約 1/3.5 に減少し特に日中に両者の差が大きくなることを明きらかにしているが、この模型林分で円筒濾紙蒸発計で測定した結果を示すと 2 表のごとくなり、林内外の差が大であり、また密度によってもちがっており、被陰度の高いほど蒸発量が少ないことを示している。

Table 2. Evaporation in model stands of different densities relative to that in the open as 100 from paper evaporimeter data.

Spacing cm	Average evaporation %
60 × 60	85.42
30 × 30	78.14
Open	100.00

このことは、KITREDGE¹⁰⁾ が Atomometer を用いて種々の密度のジェフリーマツ (*P. Jeffereyi* Balt.) の林で調べた結果ともよく類似している。この KITREDGE の結果を示すと第 3 表の通りである。

Table 3. Evaporation in different forests relative to that in the open as 100 from atomometer and evaporimeter data.

Forest type	Density and age	Location	Relative evaporation
Jefferey pine	Open	6000 ft, S. Calif.	91
"	Group	"	86
"	Heavy shade	"	79
"	Reproduction	"	72

Abstract from Kittredge ; Forest Influences.

4 表はワグナーポットにスギ苗木を植え、スギによる蒸散と土壌表面よりの蒸発によるポット土壌の水分減少を調べた試験結果の一部である。この結果は 1960 年 7 月の晴天の数日についてのもので、24 時間の水分の消費を比較したものである。表の蒸散の項はワグナーポットの中においたスギ切葉の蒸散を乾重当りで表わしたのを比較した数値である。この場合、そのスギ切葉はそれぞれの密度のスギ苗木の枝葉で上方は被陰されている状態に

Table 4. Evapotranspiration of Sugi planting pot and transpiration of cut leaf of Sugi under plant cover.

Tree numbers per a pot		Replication			
		1	2	3	4
7	Evapotranspiration (E)#	276	220	193	235
	Transpiration (T)##	56	67	72	65
3	"	215	145	140	161
	"	77	92	109	87
1	"	188	144	138	159
	"	104	89	101	83
Open	"	100	100	100	100
	"	100	100	100	100

; Evapotranspiration relative to open evaporation as 100.

; Transpiration (gr.) per dry weight relative to open that as 100.

あった。

スギ苗木を植えないポットに比較して、植栽ポットの土壌水分の減少（蒸発散能）で大きいことがわかる。植栽本数のちがいもあきらかであり、7本区は無植区に比較して2倍以上の量を示している。

土壌表面からの蒸発はスギ切葉の蒸散量でもって一応比較出来ると仮定してみると、植栽本数が多くなれば可成り地表面からの蒸発が抑制されることが、この表からも推察出来る。この蒸発と関係のある植被下の温度がどのようになっているかを調べた結果が5表である。

Table 5. Temperature at ground level relative to that at 25 cm high and that at open ground level as 100.

Time		10	12	14	16	18	20	22	24	2	4	6	8	10	12
7	1	67	72	82	91	105	110	109	110	109	106	88	74	69	71
	2	76	78	87	92	95	99	102	103	102	103	97	80	72	72
3	1	81	86	88	96	109	111	110	112	112	108	90	76	81	78
	2	82	86	92	98	100	103	106	106	106	106	102	82	79	78
1	1	87	91	89	95	107	110	110	113	110	106	89	76	76	82
	2	88	92	96	98	99	102	105	105	104	104	100	87	78	83

Note ; 7,3,1 : tree numbers per a pot

1 : temperature at ground level relative to temperature at 25 cm high as 100 in the same density.

2 : temperature at ground level relative to temperature at open ground level as 100.

日中の温度についてみると、高さ 25 cm（植被層内の温度）に比較して地表面の温度は可成り低められ、植栽本数の多い方がその程度が大である。また裸地と植栽地の地表面温度を比較してみると、植栽ポットの方が可成り低く、これにも密度のちがいがよくあらわれている。しかし夜間になると、このような関係はうすれ、地表面の温度は 25cm のそれに比して大となり、また裸地と比較しても植栽ポットの地表面温度がいくらか大となった。

前述の蒸発量の比較に使用したスギ切葉の蒸散にはこのような地表面附近の温度が日中かなり低められることも大きく関係しているものと考えられる。このことは梅谷が云うように植被層の有無が日中時に於て両者の蒸発の差を大ならしめるであろうことを容易に推測させるだろう。

また植被の密度がたかまれば、それだけ空気との交換は少なくなり、その結果地表面からの蒸発（この場合はスギ切葉の蒸散）も少なくなるものと考えられる。

蒸発能推定の経験的方法のなかで、蒸発量と飽差との間にはつぎのような関係が出されている。

$$E_0 = a \cdot d^n$$

ただし E_0 : 蒸発能 mm/month, d : 飽差の月平均値, a, n : 常数

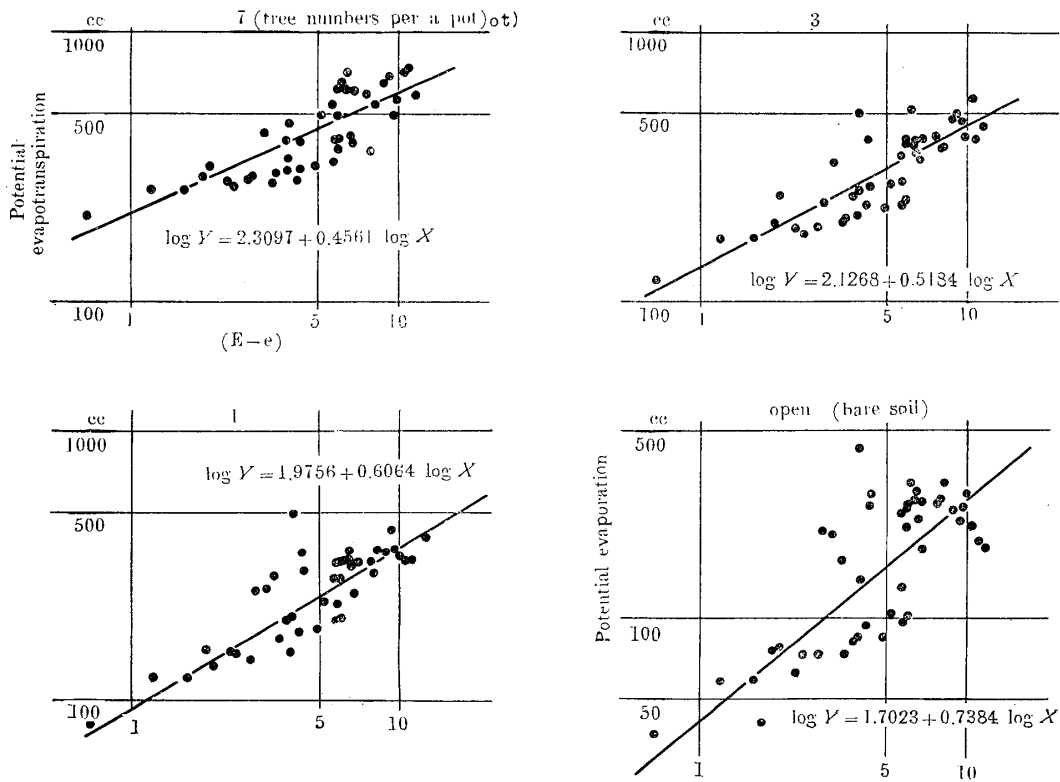
そこで蒸発散能と飽差の間にもこのような関係が一応成立するのではないかと考え、それを図示したのが、7図である。

これは成長初期より成長終期（6月～10月）迄の蒸発散能と飽差との関係をみたものであるが、ほぼ対数で直線的な関係が見られ、その回帰式は次のようになった。

$$7 \text{ 本植の場合 } \log Y = 2.3097 + 0.4561 \log X$$

$$3 \text{ 本植の場合 } \log Y = 2.1268 + 0.5184 \log X$$

Fig. 7. Relationship between potential evapotranspiration and saturation deficit. (E-e)



1 本植の場合 $\log Y = 1.9756 + 0.6064 \log X$

裸地の場合 $\log Y = 1.7023 + 0.7384 \log X$

ただし Y: 消費水量 cc/pot/day. 蒸発散能は水位 mm で表わされるのが普通であるが、ここでは便宜的にポット当りの消費水量 cc で示した。X: 飽差、午前9時の飽差を1日の平均と見做して用いた。

8 図は前図の各回帰直線と、7本、3本植の場合の1本当りの回帰直線を1つの図にまとめたものである。

これらの図よりみてはつきりすることは飽差が大になるにしたがい、蒸発散能は増加するが、無植栽区の裸地の蒸発能に比しその増加の割合が小さい。このことは表で見るとよくわかる。この表は植栽区の蒸発散能を無植栽区の蒸発能に対する比で示したもので、飽差が大きくなるに従い無植栽区に対する比は減少している。また、この減少の割合は植栽本数の多い方が大である。

蒸発散能はまた蒸発能とある比例係数との積であらわされると云う⁹⁾。この比例係数が1より小さいという報告もあれば1以上にもなりうるという例もある。水稻、陸

Fig. 8. Relationship between potential evapotranspiration and saturation deficit.

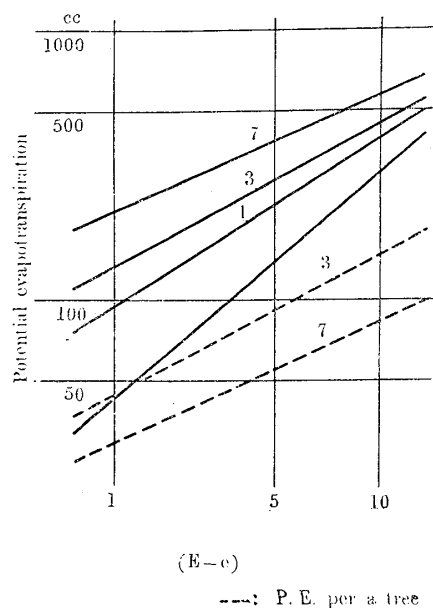


Table 6. Relative potential evapotranspiration to open evaporation as 1.

tree numbers	E-e			
	1	2	5	10
O	1	1	1	1
1	2.2	1.9	1.6	1.3
3	3.1	2.5	1.9	1.5
7	4.8	3.6	2.5	2.0

E-e ; saturation deficit.

稲での研究では係数は1よりも大で従って蒸発散能は蒸発能より大きくなっている。またこの係数は植被の繁茂状況によっても変化し葉面積最大の時期に最大になるとも云われる。そこで6表の数値をこの比例係数と同じものだと考えれば、植栽密度すなわち植被層の密度によってこの係数は大きな影響を受けることがわかる。またこの係数は気象条件によってもかなりの変動を示すと云える。

従って植被の有無あるいはその程度によって土地の水分収支は大きな影響を受けると考えることが出来る。しかし THORNTHWAITE らはこの蒸発散能というものは、植被の有無、その程度、土壌の性質とは無関係の気候常数であって気象因子によってのみ決定される値であると云っている。この考えにたてば蒸発散能が蒸発能よりも大きくなることも、あるいは小さくなることも考えられず、比例係数はほぼ1に等しくなければならない。

この実験では比例係数は水稻などの場合と同様に、1以上で、しかも変動しているから、さらに精密な実験で種々の条件下での蒸発散能と蒸発能との関係をあきらかにする必要がある。

本研究を行なうに当り始終懇切な御指導 および御校閲を頂いた 佐藤敬二教授に厚く御礼申し上げます。

IV. 摘 要

1. スギ模型林分内の光の減衰状態は、直射光の有無によって大きく影響される。
2. 植栽密度のちがひ、あるいは植被層の発達程度によって光の減衰の程度はことなる。
3. 密度がことなれば照度—葉重量関係にちがひが現われてくる。
4. 林分内の温度分布は、植栽密度、植被層の発達程度によって影響され、能動面の移行は特にこれらの因子と関係が深い。
5. 植被層が充分に発達している場合は、地表面温度の日変化振幅は最大振幅の 1/3 程度にまで縮小される。
6. 日変化振幅は能動面が最も安定しているようである。
7. 林内の蒸発量は被陰度によってかなり影響される。
8. 蒸発散能と飽差との間には直線的な関係が見られた。
9. 蒸発散能は蒸発能よりも常に大であり、植栽密度や気象条件によってその値はことなっている。

参 考 文 献

- 1) GEIGER, R. Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4 1961.
 - 2) THORNTHWAITTE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. The Geographical Review, Vol. 38, 1948.
 - 3) MATHER, J. R. The measurement of potential evapotranspiration, *Publications in Climatology*, The Johns Hopkins University Laboratory of Climatology, Searbrook, New Jersey, Vol. VII, No. 1, 1954.
 - 4) THORNTHWAITTE, C. W. and F. K. Hare. Climatic Classification in Forestry. Unasylva. F.A.O. Vol. 9. No. 2 1955.
 - 5) MONSI, M. und T. SAEKI Über die Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jap. Jour. Bot. 14.
 - 6) OVERTON, J. D. Dry matter production by *Pinus sylvestris* L. Ann. Bot. N.S. 21 1957.
 - 7) OSHIMA, Y., M. KIMURA, H. IWAKI and S. KUROIWA Ecological and physiological studies on the vegetation of Mt. Shimagare. I. Preliminary survey of the vegetation of Mt. Shimagare. Bot. Mag. Tokyo Vol. 71 : 289-301 p 1958.
 - 8) BAUMARTNER, A. Untersuchungen über den Wärme-und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. Ber. D.W.D. 5Nr. 28 1956.
 - 9) 農林省振興局研究部監修, 農業気象ハンドブック 1961.
 - 10) KITTREDGE, J. Forest Influence 1948.
-

R é s u m é

This paper deals with the study of the influence of planting densities on the micro-climate of model stands of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don).

In the model stands, several climatic factors (intensity of illumination, temperature, evaporation, and potential evapotranspiration) were measured.

The model stand of Sugi plantlets was established in March 1959, and intensity of illumination, temperature and evaporation were measured in this stand. The relationship between the intensity of illumination and the weight of leaves was measured in a model stand of Sugi seedlings. The Wagner pots planted with Sugi seedlings were used as evapotranspirometers and these were arranged as shown in Fig. 1.

The results obtained are summarized as follows.

1. The reduction of light in the model stand of Sugi was influenced largely by the presence of direct light.
 2. The reduction in intensity of illumination varied with differences in the planting density and the degree of plant cover.
 3. The difference of density showed its effect in the relationship between the relative intensity of illumination and the weight of leaves.
 4. The distribution of temperature in the model stand was affected by the planting density and the degree of plant cover. And especially, the transposition of active surface was closely connected with these factors.
 5. Under the dense plant cover, the daily range of temperature at the ground level was reduced to 1/3 of the maximum range.
 6. The daily range of temperature on an active surface was stabler than at the other levels.
 7. The evaporation in the model stand was distinctly affected by the degree of shade.
 8. A linear logarithmic relationship existed between the potential evapotranspiration and the water deficit.
 9. The potential evapotranspiration was always larger than the potential evaporation, and was modified by the planting density and climatic conditions.
-