

# 森林の全通発量測定の研究(その7)

## スギ (*Cryptomeria japonica*) の

## 一林分の全通発量の算定\*

山 岡 義 人<sup>(1)</sup>

### 1. 緒 言

“その6”において、ヤマモモ (*Myrica rubra*) およびスギの通発率と輻射強度、気温、湿度ならびに風速との量的関係が求められたので、筆者が以前<sup>(2)</sup>に胸高直径の分布の測定をしたことのある山口県滑国有林 27 林班のスギの一林分からの全通発量を算定してみることにした。

そのためにはまずスギの全葉面積と胸高直径との関係を求めねばならない。しかしこの方面の研究としては、従来広葉樹ならびに松の葉面積の測定に関しては BAKER<sup>1)</sup>, BUCHANAN<sup>2)</sup>, BURGER<sup>3)</sup>, DENGLE<sup>4)</sup>, KADOTA<sup>5)</sup>, KITTREDGE<sup>7)</sup>, KOZLOWSKI<sup>8)</sup>, YAMAOKA<sup>12)</sup> らの研究があるが、スギのように一枚一枚の葉の限界が不明瞭で、しかも非常に小さい葉が無数に折り重なつて葉部を形成しているような樹種についてはまだその葉面積測定の報告を見ない。そこで筆者はスギの全葉量の測定を試みるに至つたのであるが、その葉面積を直接測定することがはなはだ困難であつたので、やむを得ずその生葉重量を測定することにしたのである。しかし他の樹種においてはその葉面積は葉重量に正比例することが知られているので、この樹種の場合にも同様の結果になることが予想される。

### 2. 葉 部 の 境 界

スギの針葉は、その一本一本をもぎ取つてみると広葉樹ならびにクロマツ、アカマツのようなはつきりした葉部と枝皮質部との境界がなく、皮質部が一緒に剥がされてゆく。しかもその際に、剥がされた皮質部の量は、針葉のもぎ取り方によつて一定していない。その上針葉の数がばく大な数に上るのでとうてい短時日でそれらをもぎ取つたり、数えたりすることは不可能である。

そこで枝をよく観察すると、生葉のついている部分の枝皮質は緑色で、そうでない部分の枝皮質は褐色である。しかもその緑色の部分と褐色の部分との区劃が歴然とした境界をなしており、一見して識別ができる。また、この緑色の皮質は一本一本の針葉をもぎ取つてゆくと、その大部分が針葉と共に剥がされてゆくのであるから、筆者はこの緑色の皮質を含めたものをこの樹種の葉量と考えて測定を進めることにした。

しかし、この方法ではいちいち緑色皮質を剥ぎ取る必要がおこるので、その手数がたいへんでこれもほとんど実行不可能である。そこでさらに緑色部の枝総重量と、その木質の総重量との間に一定の関係があ

---

\* 本論文は当場の委託研究によるものである

(1) 山口大学助教授・理学博士

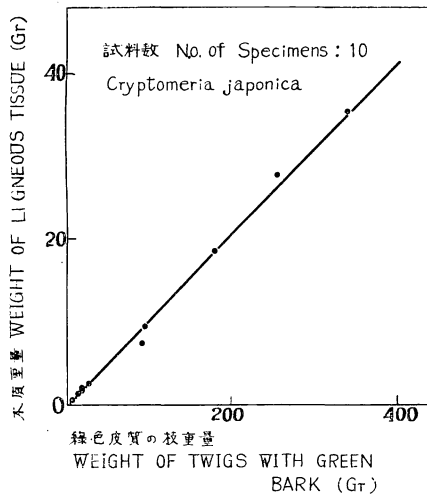


Fig. 1 緑色皮質の枝の生重量とその木質の生重量との関係, 1952 年 11 月測定

Relation between fresh weight of twig with green bark and fresh weight of their ligneous tissue. Nov., 1952, surveyed.

密接な関係を保たないことを報告した<sup>12)</sup>。そこで、スギにおいても同様な関係がありはしないかと考えて、その全葉重量と樹冠直下の幹断面積ならびに樹齢との間の関係を調べてみた。

実測した立木はその大部分が以前何回か幹の先を切斷したことのある一列に密生したスギ垣の木であつ

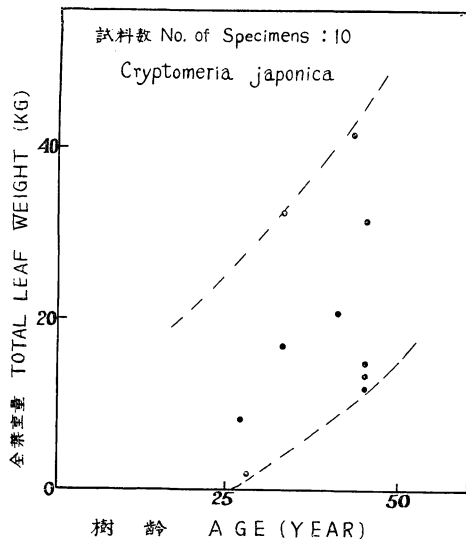


Fig. 2 スギの全葉重量と樹齢との関係, 1952 年 11 月 26 日～12 月 4 日測定

Relation between total leaf weight and age. Nov. 26 to Dec. 4, 1952, surveyed.

りはしないかと考えて、緑色皮質の部分と褐色皮質の部分との境界で枝を切斷し、その枝の総重量と緑色皮質を剥ぎ取った残りの木質のみの総重量との関係を調べてみた。すると Fig. 1 のように、木質の生総重量は、緑色部の枝の生総重量に直線的に比例し、木質重量は枝総重量のほぼ 10 % であることがわかった。したがって、いちいち緑色皮質を剥ぎ取らないでも緑色部の枝総重量を測定するだけで、その値から 10 % 減ずることにより、この樹種の生葉重量を知ることが可能になった。

### 3. 全葉重量と樹齢ならびに樹冠直下の幹断面積との関係

筆者は以前に二、三の広葉樹ならびにクロマツおよびアカマツについて、それらの全葉面積が樹冠直下の幹断面積と密接な関係を保ち、樹齢とはさほど

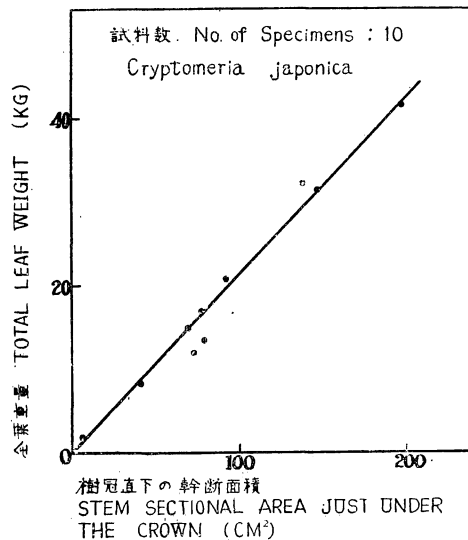
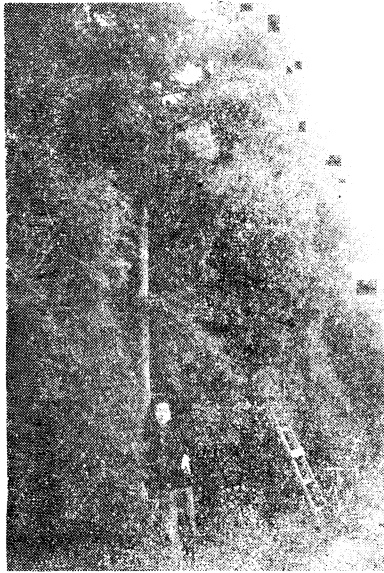


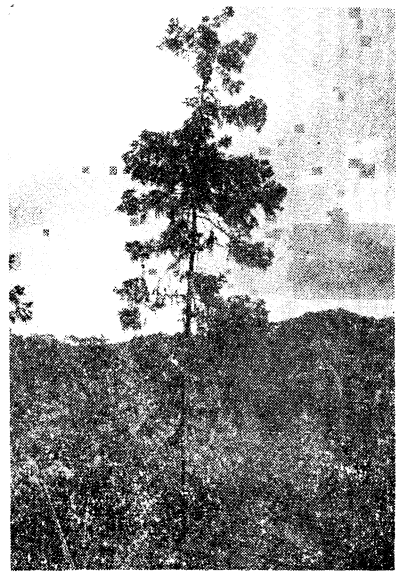
Fig. 3 スギの全葉重量と樹冠直下の幹断面積との関係, 1952 年 11 月 26 日～12 月 4 日測定

Relation between total leaf weight and stem sectional area just under the crown. Nov. 26 to Dec. 4, 1952, surveyed.



Phot. 1 実測されたスギ垣の立木, 1952 年 11 月 27 日測定, 樹齢 41 年, 樹高 6.8 m (幹の上部切断), 全葉重量 20.7 kg, 胸高直径 12.4 cm, ×印は高さ 3 m の点を示す

One of *Cryptomeria japonica* actually surveyed. Nov. 27, 1952, surveyed. Age, 41. Height, 6.8 m (upper part of the stem had been severed in the past). Total leaf weight, 20.7 kg. Breast-height diameter, 12.4 cm. × mark shows the height of 3 m from the ground.



Phot. 2 実測された独立木, 1952 年 12 月 1 日測定, 樹齢 33 年, 樹高 9.7 m, 全葉重量 16.8 kg, 胸高直径 11.6 cm

One of *Cryptomeria japonica* actually surveyed. Dec. 1, 1952, surveyed. Age, 33. Height, 9.7 m. Total leaf weight, 16.8 kg. Breast-height diameter, 11.6 cm.

たが, 少なくとも最近数年間は幹の先を切つたり手入れをしたりしたことのないものであつた。このようなスギの樹齢 27 年から 45 年にわたる 10 本の立

木について実測した結果を Figs. 2 および 3 に示す。Fig. 2 は全葉重量と樹齢との関係を, Fig. 3 は全葉重量と樹冠直下の幹断面積との関係を示している。また Photos. 1 および 2 は実測された 10 本の立木のうちの 2 本の写真で, それぞれ樹冠直下の幹断面積は  $91.6 \text{ cm}^2$  および  $77.0 \text{ cm}^2$ , 全生葉重量は 20.7 kg および 16.8 kg であつた。測定の時期は 1952 年 11 月 26 日から同年 12 月 4 日までの 9 日間であつた。また生葉重量の測定値は, 前述したように, 枝の緑色皮質の部分を全部切り落とし, その生総重量を秤量して 10 % を減じた値である。この場合に, 毬果ならびに雄花は秤量前に全部取り除いて生葉重量には含めなかつた。図からわかるようにスギの場合にも, 広葉樹ならびに松の場合と同様に, その全葉重量は樹冠直下の幹断面積に密接に比例するが, 樹齢に対しては密接な相関関係を示さない。そこで Fig. 3 に示した生葉重量と樹冠直下の幹断面積との関係を, 原点を通る直線と考えて, 最小自乗法によつてその傾斜  $k$  の値<sup>13)</sup>を計算し, 生葉重量  $W$  (kg) と樹冠直下の幹直径  $d_0$  (cm) との関係を求めると次のようになる。

$$W = k \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 = 0.2134 \times \frac{\pi}{4} d_0^2 \dots \dots \dots (1)$$

$W$  の平均誤差 = 1.306 kg

また胸高直径を  $d$  (cm) とすると, これと樹冠直下の幹直径  $d_0$  (cm) との間には, 樹種に無関係に,

$d = md_0$  の関係が成立することは前に述べた<sup>12)</sup>。今この  $m$  の値を 10 本のスギの実測値を含めて 31 の実測値から最小自乗法によつて計算すると次のようになる。

$$d = md_0 = 1.110 d_0 \dots\dots\dots (2)$$

$d$  の平均誤差 = 0.80 cm

#### 4. 葉重量測定法の吟味

スギの葉重量は上述のような簡便法によつて測定されたので、これがはたして通発量測定の目的に支障なく役だつかどうかを吟味してみる必要がある。そのために筆者は 1953 年 2 月 5 日（晴曇）に葉量の異なる 4 本の切枝をポトメーターに装置し、同一の周辺条件下において、それらの通発率を比較してみた。Figs. 4 および 5 はその実験結果である。

図中の曲線 I, II, III および IV の切枝の葉重量は、それぞれ 85.11 g, 42.30 g, 31.88 g および 24.68 g であつた。Fig. 4 はこれらの切枝単位の通発量を g/hr で示したもので、曲線の高さはほぼ葉重量に比例して上下に開いている。しかるに Fig. 5 はこれらの切枝の通発率、すなわち上述の切枝単位の通発量をそれぞれの葉重量で割り、葉重量 100 g ごとの通発量を g/hr/100g 単位で表わしたものである。このように 4 本の切枝の通発率曲線はこの場合にはほぼ一致してきている。したがつて、上に述べた葉重量の測定法には、はなはだしい欠陥はなく、少なくとも通発率の測定には満足に役だつものと考えられる。

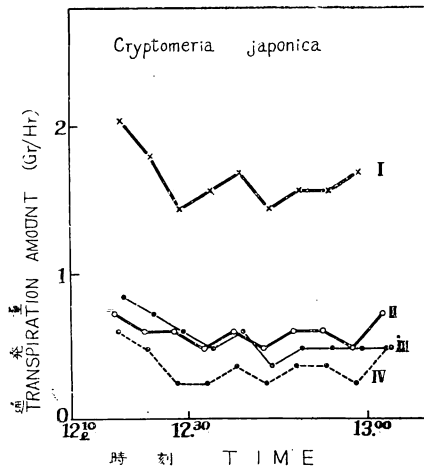


Fig. 4 枝単位の通発率の比較, 1953 年 2 月 5 日(晴曇)測定, 戸外実験, 葉重量: I = 85.11 g, II = 42.30 g, III = 31.88 g, IV = 24.68 g  
Amount of transpiration per cut shoot per hour. Feb. 5, 1953 (clear or cloudy), field experiment. Total leaf weight; I: 85.11 g, II: 42.30 g, III: 31.88 g, IV: 24.68 g.

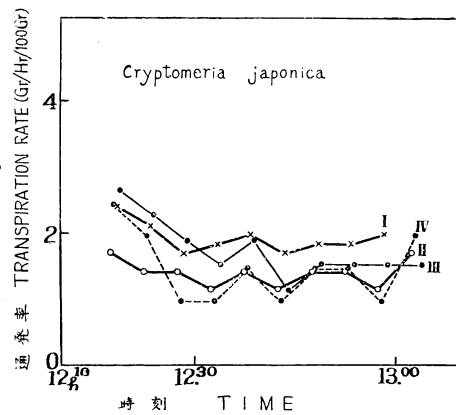


Fig. 5 生葉重量 100 g 毎の通発率, Fig. 4 から換算されたもの  
Amount of transpiration per 100 g of green leaf weight per hour, converted from figure 4.

## 5. 一林分の全生葉重量の算定

スギの一本の立木の生葉重量を $W$ 、一林分全体の全生葉重量を $\Sigma W$ で表わせば Part 4<sup>12)</sup>の(14)式から次の関係式が得られる。

$$\Sigma W = \frac{k}{m^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot N \cdot (d_m^2 + \sigma^2) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $N$ は立木本数、 $d_m$ は平均胸高直径、 $\sigma$ は胸高直径の標準偏差、 $k$ および $m$ の値は先にそれぞれ(1)および(2)式に計算された樹種特有の常数ならびに各樹種に共通な常数である。

Phot. 3 および 4は山口県滑国国有林 27 林班のスギの造林の一部の望遠写真およびその内部の写真である。Phot. 3 に示された一つの山の斜面内にはほぼ 740 本の樹齢 45 年(明治 43 年 3 月植林)のスギの立木が含まれている。この造林地は筆者が 1951 年にその胸高直径の分布を測定し、 $d_m$  および  $\sigma$  の値を求めたことのある場所である。そこで(3)式の計算に必要な数値を下に列挙すると

$$k=0.2134, \quad m=1.110, \quad N=740,$$

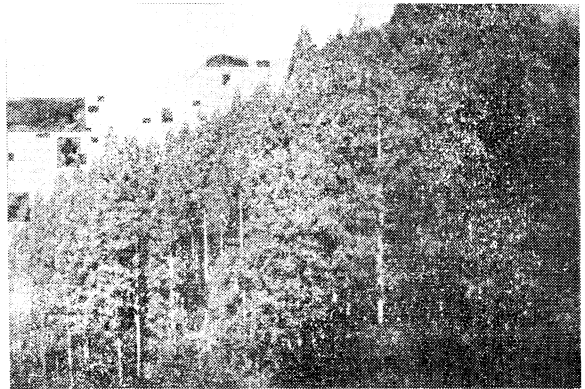
$$d_m=24.45 \text{ cm}, \quad \sigma^2=86.80$$

となる。このうち  $d_m$  および  $\sigma$  の値は 1951 年に測定した値であるから、これらの数値によつて算定される次の  $\Sigma W$  の値は 1951 年における値となる。

いまこれらの数値を(3)式に代入して  $\Sigma W$ を計算すると、

$$\Sigma W=68,914 \text{ kg} \dots\dots\dots (4)$$

が得られる。すなわち、約 69 トンの生葉がこの一林分内に存在する勘定になる。



Phot. 3 山口県滑国国有林 27 林班のスギの造林の一部の外観, 明治 43 年 3 月植林

External appearance of a part of plantation of *Cryptomeria japonica* in Namera national forest, compartment 27, in Yamaguchi district, Japan. Mar., 1910, reforestation.



Phot. 4 Phot. 3 に示した造林の内部の状態  
Internal appearance of plantation of *Cryptomeria japonica* shown in Phot. 3

## 6. 一林分の全通発量の算定

下関における 8 月の最近 30 年間の統計による平均気温は  $26.6^{\circ}\text{C}$ 、平均関係湿度は 80 %, 平均風速は  $3.5 \text{ m/sec}$  である<sup>11)</sup>。滑国国有林では下関のそれらの値とは異なるはずであるが、現地におけるそれらの測定値がないので、かりにこれらの値を用い、太陽輻射強度  $1 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$  のもとにおける 8 月の平均全通発量を算定してみることにする。

スギの通発率の計算式は、"その 6" (12) および (13) 式により、下記のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} T_0 &= (0.14 R + 0.35) H_d + 3.08 R \\ \text{ここで、} H_d &= e_s (1 - H_r) \end{aligned} \right\}$$

および、

$$\left. \begin{aligned} T &= T_0 + v/(av + b) \\ \text{ここで、} a &= 2.77 \times 10^{-0.90 R} \\ b &= 2.16 \times 10^{-1.45 R} \end{aligned} \right\}$$

ここで気温 26.6°C における大気中の水蒸気の飽和圧力  $e_s$  の値は 26.14 mmHg であるから、

$$\left. \begin{aligned} R &= 1 \text{ cal/cm}^2/\text{min} \\ e_s &= 26.14 \text{ mmHg} \\ H_r &= 0.80 \\ v &= 3.5 \text{ m/sec} \end{aligned} \right\}$$

を上式に代入して、

$$T_0 = 5.64 \text{ g/hr/100g}$$

$$\text{ゆえに、} T_{3.5} = 2.61 \text{ g/hr/100g} \dots\dots\dots (5)$$

が得られる。したがってこの林分からの毎時の全通発量は、(4) および (5) 式により、

$$2.61 \times 10^{-5} \times 68914 = 1.80 \text{ ton/hr}$$

と算定される。すなわち、毎時 1.80 ton の水がこの一林分から通発される勘定になる。

つぎにこの林分の占める総面積 4376.2 m<sup>2</sup> が、水田、湖水、草原、湿土および湿砂であつた場合の水損失量と、上に得られた杉林の通発量とを比較してみると次の Table 1 のごとくなる。

Table 1. 各種の地表条件のもとにおける水損失量の比較

種 類	水 損 失 量 (tons/hr)	備 考
スギ林の通発量	1.80	算定値、土壌表面よりの蒸発水量を含まず
水 田 の 葉 水 面 蒸 発 量	1.06	狩野および松尾 <sup>(110)</sup> による (ただし、1933 年 8 月中の平均値)
水 面	0.16	平均水温; 15.2°C
水 面	2.20	平均水温; 23.8°C
草 原	0.37	平均土壌温; 12.5°C
草 原	0.72	平均土壌温; 18.8°C
湿 土	1.38	上層まで完全に湿潤した場合、平均土壌温; 18.6°C
湿 土	0.76	上層のみがわずかに乾燥した場合、平均土壌温; 14.5°C
湿 砂	0.66	上層のみがわずかに乾燥した場合、平均砂温; 23.6°C

Table 1 のうち、杉林および水田の葉水面蒸発量以外はすべて縦約 36 cm, 横約 23 cm, 深さ約 4.6 cm の矩形の写真現像用バット内に水, 草原, 湿土および湿砂を充たし, その中央にあらかじめ少量の水を入れた直径約 11.7 cm のガラス製シャーレにそれぞれの資料を満たして埋め込み, それによつてできるだけ周辺の影響を防ぎ, 小型風洞内に入れて一定の気温 26.6°C, 関係湿度 80 %, 風速 3.5 m/sec および輻射強度 1 cal/cm<sup>2</sup>/min のもとに 30 分ごとにシャーレを秤量して得た値である。

## 7. 結 言

この報告において筆者はまずスギの針葉量の測定方法ならびにその測定結果について述べた。そしてその結果を用いて, 1951 年にその胸高直径の標準偏差  $\sigma$  ならびに平均胸高直径  $d_m$  を実測したことのあつた山口県滑国国有林 27 林班における一林分のスギ 740 本の全葉重量を計算し, 約 69 ton の葉量を算定した。

さらにまた "その6" において求めたスギの通発率の計算式を用いて, 気温 26.6°C, 関係湿度 80 %, 風速 3.5 m/sec および輻射強度 1 cal/cm<sup>2</sup>/min のもとでは毎時 1.80 ton の水がこの一林分から通発によつて失われることをも示した。

そして最後に, 地面からの蒸発水量を含まないこの値が同面積の水田, 湖水, 草原, 湿土ならびに湿砂の表面からの蒸発水量と比較しても, なお相当あるいはそれ以上に大なる値を有していることを示した。

このようにして, 一定の樹種から成り立つ一林分または森林から, ある気象条件下で通発されつつある水量は, その林分または森林を構成している樹種の胸高直径の標準偏差  $\sigma$  ならびに平均胸高直径  $d_m$  および立木本数  $N$ , その樹種に特有な常数  $k$  およびその樹種の通発率と輻射強度ならびに風速との関係を測定することによつて容易に算定することができることをこの報告では明らかにした。

終りにのぞんで, 終始御懇切なる御指導を賜つた北海道大学教授中谷吉郎博士ならびに東晃博士および故東京大学教授秋葉満寿次博士, 前農林省林業試験場長大政正隆博士に深甚の感謝の意を表する次第である。なお, スギの葉量測定に際して心よく測定試料を提供された滝原国蔵氏ならびに葉量測定を手伝われた徳重博之君, および全報告にわたつての図面の清書をされた田村虎雄氏に深く感謝の意を表する次第である。

## 文 献

- 1) BAKER, F. S.: A short method of determining leaf area and volume growth in pine trees. *Hilgardia*, 18(8), (1948) p. 335~356
- 2) BUCHANAN, T. S.: An alignment chart for estimating number of needles on western white pine reproduction. *Journ. Forestry*, 34, (1936) p. 538~593
- 3) BURGER, H.: Blattmenge und Zuwachs an Fichten im Plenterwald. *Schweiz. Zeitschr. f. Forstws.*, 89, (1933) p. 275~278
- 4) DENGLE, A.: Kronengröße, Nadelmenge und Zuwachsleistung von Altkiefern. *Zeitschr. f. Forst- und Jagdw.*, 69, (1937) p. 321~336
- 5) KADOTA, M.: An Ecological Study of the Pine Wind-break Area near the Seaside (II)—The Estimation of the Needle-amount of Japanese Black Pine. *Bull. Physiographical Sci. Res. Instit.*, 5, (1950) p. 6~10 (in Japanese with English summary)
- 6) 狩野徳次郎・松尾欣二: 水田の葉水面蒸発量と滲透量, *農業土木研究*, 6, 2, (昭. 9, 1934)

- 7) KITTREDGE, J.: Estimation of the Amount of Foliage of Trees and Stands. Journ. Forestry, 42, (1944) p. 905~912
- 8) KOZLOWSKI, T. T., & SCHUMACHER, F. X.: Estimation of stomated foliar surface of pines. Plant Physiol., 18, (1943) p. 122~127
- 9) FOWLE, F. E.: Smithsonian Physical Tables. Smithsonian Instit., Wash., (1934).
- 10) 高田雄之: 灌溉学序説, 九大農業工学研究会, 福岡, (1954).
- 11) 東京天文台編纂: 理科年表, 丸善, 東京, (1953).
- 12) YAMAOKA, Y.: Measurement of the Total Transpiration from a Forest. Part 1~4, Bull. Government Forest Expt. Sta., 54, (1952) p. 187~206



## Research materials

## Measurement of the Total Transpiration from a Forest. (Part 7)

## Estimation of the total transpiration from a stand of

*Cryptomeria japonica*.

Yoshito YAMAOKA

(Résumé)

## 1. Introduction.

As the quantitative relations between transpiration rate and radiation intensity, air temperature, relative humidity, and wind velocity had already been obtained in Part 6 with respect to *Myrica rubra* and *Cryptomeria japonica*, the author decided to estimate the total amount of transpiration from a stand of *Cryptomeria japonica* in Namera National Forest, Compartment 27, Yamaguchi district, Japan, where the author had once surveyed the distribution of breast-height diameters of *Cryptomeria japonica* as reported in the previous report<sup>12)</sup>.

In order to carry out the work, it was necessary to obtain the relation between total leaf area and breast-height diameter of this species. There are several investigations with regard to the measurement of total leaf area of broad-leaved trees and conifers performed by investigators such as, Baker<sup>1)</sup>, Buchanan<sup>2)</sup>, Burger<sup>3)</sup>, Dengler<sup>4)</sup>, Kadota<sup>5)</sup>, Kittredge<sup>7)</sup>, Kozłowski<sup>8)</sup>, Yamaoka<sup>12)</sup>, and others, but there are no investigations useful for our purpose with regard to *Cryptomeria japonica*. Consequently, this prompted the author to carry out the measurement of total amount of leaves of this species. But as it is difficult to measure the total leaf area of this species on account of its countless short needles lying one upon another and having no distinct boundary around each needle, the author was compelled to measure the total leaf weight instead of the total leaf area. But as it has already been learned in several other species that the linear relation holds between leaf area and its weight, it can also be expected that the same relation will be held in the case of this species.

## 2. Boundary of leaves.

There is no distinct boundary between leaves and green bark of the stem of a twig in the case of *Cryptomeria japonica* unlike the case of the broad-leaved trees and pine trees. And the green bark strips off in irregular shape when the needles are torn off from the stem of a twig. In addition to that, it is almost impossible to count not only the number of needles but also to tear off these innumerable needles in a short period of time.

Observing the branch in detail, it is found that the colour of bark with needles is green, and the colour of bark without needles is brown. And in addition to that, the boundary of these barks is so distinct that it can be identified at a glance. As the most part of the green bark will strip off with the needles, the author decided to measure the total leaf weight together with these green barks.

But practically it is almost impossible to strip off all of the green bark together with the needles. Therefore, the author searched further for some convenient relation between total leaf area and other factor which makes possible the measuring of the total leaf weight. And it was found that the total weight of branch cut off at the boundary of green bark and

brown bark was in direct proportional relation with its ligneous structure, as shown in Fig. 1.

The total weight of the ligneous structure is always approximately 10 % of the total weight of branch with green bark, as can be understood from the figure. Accordingly, it became possible to determine the total leaf weight with green bark by subtracting 10 % of the whole weight of branch having green bark.

### 3. Relations of the total leaf weight to age and sectional area of stem just under the crown.

It has already been described in the previous report<sup>(12)</sup> that the total leaf areas of some broad-leaved trees and pine trees were in direct proportional relation to the sectional area of stem just under the crown, but there was no remarkable correlation between the total leaf area and age. The same relations in the case of *Cryptomeria japonica* were investigated as follows.

A large part of *Cryptomeria japonica* actually surveyed were the trees growing thick in a row which had been severed off a few times at their tips of the stem, but which had been uncared for for five or six years at least. The results obtained from 10 of these *Cryptomeria japonica* whose ages spread over from 27 to 45 years are shown in Figs. 2 and 3. Fig. 2 shows the relation between total leaf weight and age, and Fig. 3 the relation between total leaf weight and sectional area of stem just under the crown. Photos. 1 and 2 show two of those *Cryptomeria japonica* actually surveyed, 91.6 cm<sup>2</sup> and 77.0 cm<sup>2</sup> in their sectional area of stem just under the crown and 20.7 kg and 16.8 kg in their total leaf weight, respectively. The experiment was performed in 9 days from Nov. 26 to Dec. 4, 1952.

The values of total green leaf weight in Figs. 2 and 3 are the values obtained by subtracting 10 % from the total weight of branches with green bark. Cones and flowers were all removed before weighing. The trend is quite linear in Fig. 3, but no remarkable correlation can be seen in Fig. 2, quite similarly to that of the relation in broad-leaved trees and pine trees. Now let us consider the trend in Fig. 3 as a straight line passing through the origin and calculate its gradient  $k$  by means of the method of least squares. Then, the relation between total green leaf weight  $W$  (kg) and diameter of stem just under the crown  $d_0$  (cm) can be expressed by the equation,

$$W = k \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 = 0.2134 \times \frac{\pi}{4} d_0^2 \dots\dots\dots (1)$$

mean error of  $W = 1.306$  kg.

It has already been reported in the previous paper<sup>(12)</sup> that the breast-height diameter  $d$  (cm) can be expressed by equation  $d = m \cdot d_0$  where  $d_0$  (cm) is the diameter of stem just under the crown and  $m$  the constant common to all species. The value of  $m$  was calculated from 31 experimental data including 10 *Cryptomeria japonica* by means of the method of least squares and was found to be 1.110.

Accordingly, we have

$$d = m \cdot d_0 = 1.110 d_0 \dots\dots\dots (2)$$

mean error of  $d = 0.80$  cm.

### 4. Examination of the method of measuring total leaf weight.

It is necessary to examine whether the total leaf weight determined by means of a convenient method as described above will serve satisfactorily our measurement of the transpiration rate of *Cryptomeria japonica* or not. In order to carry out the examination,

we mounted 4 cut shoots of *Cryptomeria japonica* in 4 potometers of the same type, and compared their transpiration rates under the same environmental conditions in the open on Feb. 5, 1953 (clear or cloudy). Figs. 4 and 5 show the results.

The total leaf weights of these 4 cut shoots, corresponding to the curves I, II, III, and IV in the figures, were 85.11, 42.30, 31.88, and 24.68 gr, respectively. Fig. 4 shows the amount of transpiration per shoot in grams per hour. In this figure the heights of transpiration curves differ with the amount of leaf weight. But in Fig. 5 the transpiration curves show the transpiration rates in grams per hour per 100 grams of green leaf weight calculated by means of dividing the amount of transpiration in Fig. 4 by the corresponding leaf weight. In this case fairly good agreement of 4 transpiration curves can be seen as in Fig. 5. Accordingly, there are no vital defects in this method of measuring the total leaf weight of *Cryptomeria japonica*, and the value of total leaf weight determined by this mean will serve satisfactorily our investigation.

#### 5. Estimation of the total green leaf weight of a stand.

Now, let us denote the total green leaf weight of one tree by  $W$  and the total green leaf weight of a stand by  $\Sigma W$ , then the following equation can be derived from the equation (14) in the previous report, Part 4<sup>12)</sup>.

$$\Sigma W = \frac{k}{m^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot N (d_m^2 + \sigma^2) \dots \dots \dots (3)$$

where  $N$  is the number of trees in a stand,  $d_m$  the mean breast-height diameter,  $\sigma$  the standard deviation of the breast-height diameters,  $k$  the constant proper to the species, and  $m$  the constant common to all species.

Photos. 3 and 4 show the external and the internal appearances of part of a plantation of *Cryptomeria japonica* in Namera National Forest, Compartment 27, where the author had once surveyed the distribution of breast-height diameters and the values of  $d_m$  and  $\sigma$  had been obtained. There are 740 *Cryptomeria japonica* 45 years old (Mar., 1910, reforestation) in the slope of the mountain shown in Phot. 3.

Numerical values necessary to calculate the total green leaf weight  $\Sigma W$  by equation (3) are as follows.

$$k=0.2134, m=1.110, N=740, d_m=24.45 \text{ cm}, \sigma^2=86.80.$$

Substituting these values into equation (3), we have

$$\Sigma W=68,914 \text{ kg} \dots \dots \dots (4)$$

as the total green leaf weight of this stand. In other words, about 69 ton of green leaves are held on this small stand.

It should be noted that the value obtained here indicates the total leaf weight in 1951, for the values of  $d_m$  and  $\sigma$  used in the calculation were the values measured in 1951.

#### 6. Estimation of the total transpiration from a stand.

According to the statistics during a recent 30-year period in Shimonoseki, Yamaguchi district, Japan, the mean meteorological conditions in August are as follows<sup>11)</sup>.

$$\text{mean air temperature}=26.6^\circ\text{C}$$

$$\text{mean relative humidity}=80\%$$

$$\text{mean wind velocity}=3.5 \text{ m/sec}$$

Although conditions will not be equal to those in Namera National Forest, we have employed these values for the present in order to show how to estimate the total transpiration from a stand of *Cryptomeria japonica*, as there are no meteorological data in Namera

National Forest at hand. And assuming the intensity of radiation as  $1 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ , the estimation of the total transpiration was carried out as follows.

The empirical formulas necessary to calculate the transpiration rate of *Cryptomeria japonica* under the above meteorological conditions are as follows: (from the equations (12) and (13) in Part 6)

$$\begin{aligned} T &= T_0 + v/(av + b) \\ T_0 &= (0.14 R + 0.35) H_d + 3.08 R \\ H_d &= e_s(1 - H_r) \dots\dots\dots (5) \\ a &= 2.77 \times 10^{-0.56 R} \\ b &= 2.16 \times 10^{-1.45 R} \end{aligned}$$

where,

$$\begin{aligned} R &= 1 \text{ cal/cm}^2/\text{min} \\ H_r &= 0.80 \\ v &= 3.5 \text{ m/sec} \\ e_s &= 26.14 \text{ mmHg (at } 26.6^\circ\text{C)}^{9)} \end{aligned}$$

$$\text{therefore, } T_{3.5} = 2.61 \text{ gr/hr}/100 \text{ gr} \dots\dots\dots (6)$$

Accordingly, the total amount of transpiration per hour from this stand is calculated by equations (4) and (6) as follows:

$$2.61 \times 10^{-5} \times 68914 = 1.80 \text{ ton/hr}$$

Thus, the mean water loss by transpiration in August from this stand of *Cryptomeria japonica*, total area of 4376.2 square meters, is estimated at 1.80 tons per hour.

In order to compare this amount of water loss by transpiration with that of evaporation and transpiration from the surface of a paddy-field, water, grassland, wet soil, and wet sand, of the same area, that is, 4376.2 square meters, these materials except the paddy-field were filled into a culture dish, 11.7 cm in inner diameter and 2.7 cm in its depth, one by one, having previously poured in it an adequate quantity of water. This dish was buried at the center of a china vat, 36 cm × 28 cm × 4.6 cm in its dimensions, also filled with the same material in order to minimize the edge effect. Such china vat with culture dish in its center was then placed in the wind tunnel, and only the weight of this culture dish was weighed at an interval of 30 minutes under constant radiation intensity, air temperature, relative humidity, and wind velocity, of  $1 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ ,  $26.6^\circ\text{C}$ , 80 %, and 3.5 m/sec, respectively. And the results were calculated in tons per hour per 4376.2 square meters.

These results are shown in Table 1. Only the amount of water loss from the paddy-field in the table was calculated from the mean value of the experimental data during August, 1933, by T. Kano and K. Matsuo<sup>(10)</sup>.

## 7. Conclusion.

In this report, the author has described the method of measuring the total leaf amount of *Cryptomeria japonica* and the results. And applying this result, the total leaf weight of a stand of 740 *Cryptomeria japonica* 45 years old in Namera National Forest, Compartment 27, Yamaguchi district, Japan, was estimated at about 69 tons in 1951.

And furthermore, the water loss from this stand under such meteorological conditions as;

$$\begin{aligned} \text{radiation intensity} &= 1 \text{ cal/cm}^2/\text{min} \\ \text{air temperature} &= 26.6^\circ\text{C} \\ \text{relative humidity} &= 80 \% \\ \text{wind velocity} &= 3.5 \text{ m/sec,} \end{aligned}$$

Table 1. Comparison of the amount of water loss from earth's surface of various types.

Type	Amount of water loss in tons per hour	Remarks
Stand of <i>Cryptomeria japonica</i>	1.80	Transpiration excluding evaporation from earth's surface
Paddy-field	1.06	Transpiration with evaporation from water-surface Mean value during Aug. 1933 (by T. Kano and K. Matsuo) <sup>6)10)</sup>
Water	0.16	Mean water temperature : 15.2°C
Water	2.20	Mean water temperature : 23.8°C
Grassland	0.37	Transpiration and evaporation Mean soil temperature : 12.5°C
Grassland	0.72	Transpiration and evaporation Mean soil temperature : 18.8°C
Wet soil	1.38	Perfectly wet soil Mean soil temperature : 18.6°C
Wet soil	0.76	When only thin surface layer was dried Mean soil temperature : 14.5°C
Wet sand	0.66	When only thin surface layer was dried Mean sand temperature : 23.6°C

was calculated by equations (12) and (13) in Part 6, and was estimated at 1.80 tons per hour.

This amount was compared with the water loss from the surface of a paddy-field, water, grassland, wet soil, and wet sand, of the same area. And it was shown that the amount of water loss by transpiration from this stand (excluding direct evaporation from the earth's surface) was larger than that of other types of earth's surface, except in the case of water of 23.8°C.

It was thus shown that the amount of total transpiration from a stand or a forest under certain meteorological conditions can easily be estimated if the standard deviation of the breast-height diameters, the mean breast-height diameter, the number of trees in a stand or a forest, the constant proper to the species, and the relations of the transpiration rate to the intensity of radiation and the wind velocity be known. The discrepancy between the meteorological conditions in the open and that of the interior of a stand was not taken into account in this report. But it should not be neglected if a more accurate estimation be desired.

In conclusion, the author wishes to express his gratitude to Dr. U. Nakaya of Hokkaido University who kindly took a great deal of pains to help the author throughout the research, and to Dr. A. Higashi of the same University and to Dr. M. Akiba of Tokyo University. The author is grateful also to Dr. M. Ohmasa, the Director of the Government Forest Experiment Station in Tokyo, who kindly led the author in preparing the report, and he also wishes to express his gratitude to Mr. D. Takihara who readily offered the *Cryptomeria japonica* to the author. His thanks are given also to Mr. H. Tokushige who assisted the author in surveying the *Cryptomeria japonica* and to Mr. T. Tamura who made clear copies of figures throughout these reports.