

歪計による樹幹直径の日変化測定

二ノ方兼武・宮里 満

Measurement of Daily Variation of the Diameter of Trunks by the Electrical Strain Gauge

Kanetake NINOKATA and Mitsuru MIYAZATO
(Laboratory of Agricultural Electricity)

I ま え が き

種々の物理的量を電気量に変換して、これを電気計器を用いて指示又は記録することは極めて多い。基本的量である微小変位の測定の場合も、従来の micrometer では 10μ の精度しかないが、電気を応用すれば増巾が極めて容易であるからその感度を如何ほどでも大きくすることができるばかりでなく、いわゆる telemeasuring により遠方より測定できる利点があり、更に control system に、或は記録装置をつけるに便利である。長さの電氣的測定法にも種々あり、(1) 電気抵抗、インダクタンス、キャパシタンス等の電氣的定数の変化に変える方法、(2) 物理現象を利用する方法に大別できるが、これ等の中でも亦種々の方式が行はれている。電気抵抗を利用するものは古くからあり、感度がよくなかったが、近年米英国で長足の進歩を遂げ我が国でも歪計として市販されるようになった。

従来 Dendrometer として用いられたものは、微小変位を測定するには精度が低く、1日中の茎直径の微小変動を記録したものは見当らなかつた。

筆者等は“植物の茎直径の変化と水分生理”なる研究題目の一部として樹幹直径の微小変化をこの歪計を用いて 1956 年より翌年にわたり測定したが、たまたま時を同じくして光学的成長計を用いた測定結果が東京農工大学の黒岩氏によつて報告せられた。筆者等の測定値も略同様な結果を得ているのでここにこれを報告することにする。

II 使用測定器

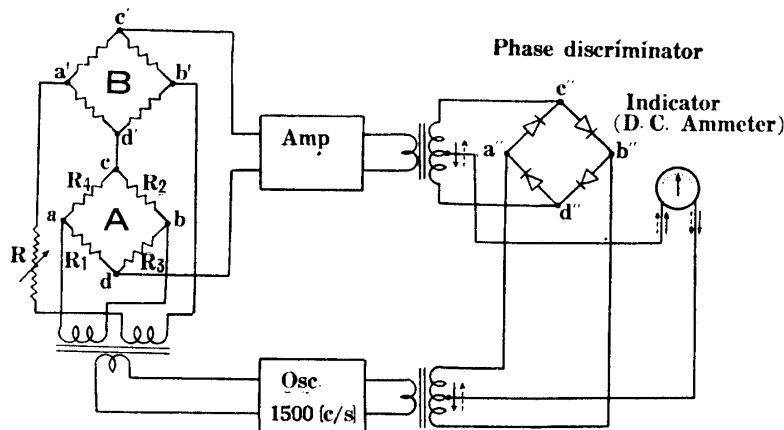


Fig. 1 Skeleton diagram of strain meter.

この測定は抵抗線型歪計を校正して変位計として使用したに過ぎないが、この block diagram を示せば第 1 図のようになる。図の A の bridge の a, b 端子に交番電圧を加えたとき $R_1R_2 = R_3R_4$ の条件を満たせば c, d 間に電位差は生じない。今 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ として R_1 が $\pm \Delta R_1$ だけ微小変化したとき ($R_1 \gg \Delta R_1$), c, b 間には $E = \pm \frac{E_0 \Delta R_1}{4R_1}$ (—は

+ に対して 180 度位相が異なること、すなわち逆位相を表わす) だけの電圧が生ずる。但し E_0 は a, b に加はる電圧である。今図のように A bridge の a, b 及び B bridge の a', b' 間に同一周波数, 同一位相の電圧を供給し, A bridge の c, d 間に上述のような ΔR_1 に比例する電圧 E を生じたとき, B bridge の抵抗を調整して c', d' 間に c, d 間の電圧と逆位相の大きさ等しい電圧 E' を生ぜしめれば c', d' 間の電圧は $E + E' = 0$ となり指示器はふれないことになる。この計器はこのときの B bridge の抵抗変化により R_1 の抵抗変化 ΔR_1 を知るができるようにしたものである。この場合図の R は R_1 なる gauge の抵抗の歪感度 (gauge factor) $\lambda = \frac{\Delta R_1/R_1}{\Delta l/l}$ (l は抵抗線の長さ) に応じてこれを調整して B bridge に加わる電圧を変え, R_1 の変化を B bridge の抵抗変化で正しく直読できるようにした補正用可変抵抗である。

増巾器は感度を増すためのものであり, 又位相弁別型整流器は c', d' 間に生ずる交番電圧が逆位相になれば指示器を流れる直流電流も反対になるようにして gauge の伸縮を弁別する。弁別回路の c'', d'' 及び a'', b'' に加わる同一周波数の交番電圧が, 例えば各半周期ごとに実線及び点線で示す矢印の方向を有つとすれば, 指示計に流れる電流方向は矢印の方向になるが, A, B 両 bridge の c', d' 端の電圧が位相が 180 度反対になつて, c'', d'' 端に加わる電圧だけが矢印と反対になれば, 指示計を流れる直流電流も図の矢印とは反対になるからである。

この変位測定には東洋測器製非接着型 gauge (以下 U-gauge と略称) を用いたが, その構造の原理図を示せば第 2 図のようになる。可動子 M の一端は固定端に植えられたバネによつて支持せられ, 可動子並びに固定部に, それぞれ上下 4 本ずつの支柱のピンがあり, その間に 4 組の $0.02 \text{ mm } \phi$ のアドバンス線 (Cu 55, Ni 45) が弾性限界値より幾分低い値の 1/2 の張力で張られている。そしてこの 4 つの抵抗線は第 3 図のように各辺同一抵抗値の bridge を形成してつなぐれ 1, 2, 3, 4 の端子が出ている。変位測定の際は第 1 図の歪計の A bridge を切り離して, この代りにこの U-gauge の bridge 回路を入れるが, 可動子の一端が第 2 図の矢印の何れかの方向に変位すれば R_1, R_2 及び R_3, R_4 の 2 組の抵抗線の中何れか 1 組が伸び他の 1 組は縮んで感度は R_1 だけが変化する場合の 4 倍となる。

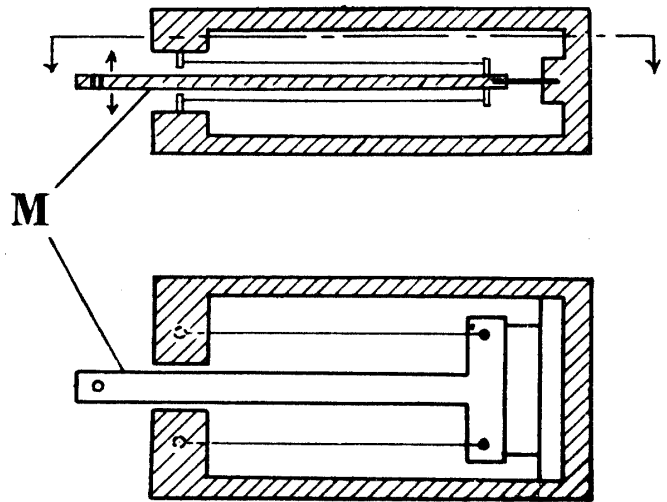


Fig. 2 Cross section of unbounded gauge.

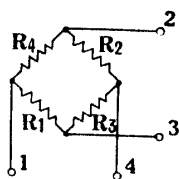


Fig. 3 Connection of wire resistance.

U-gauge 選定に当つては被測定物の性質上感度は小さくなるが, 可動桿に加える力は小さくて変位範囲の大きなものを選んだ。

III 測定法

U-gauge の端子に絶縁良好で抵抗の少い同じ長さの lead 線をハンダ付けして各線の分布容量が同じようになるようにして前述のように歪計に接続し U-gauge の可動桿の可動方向に micrometer の

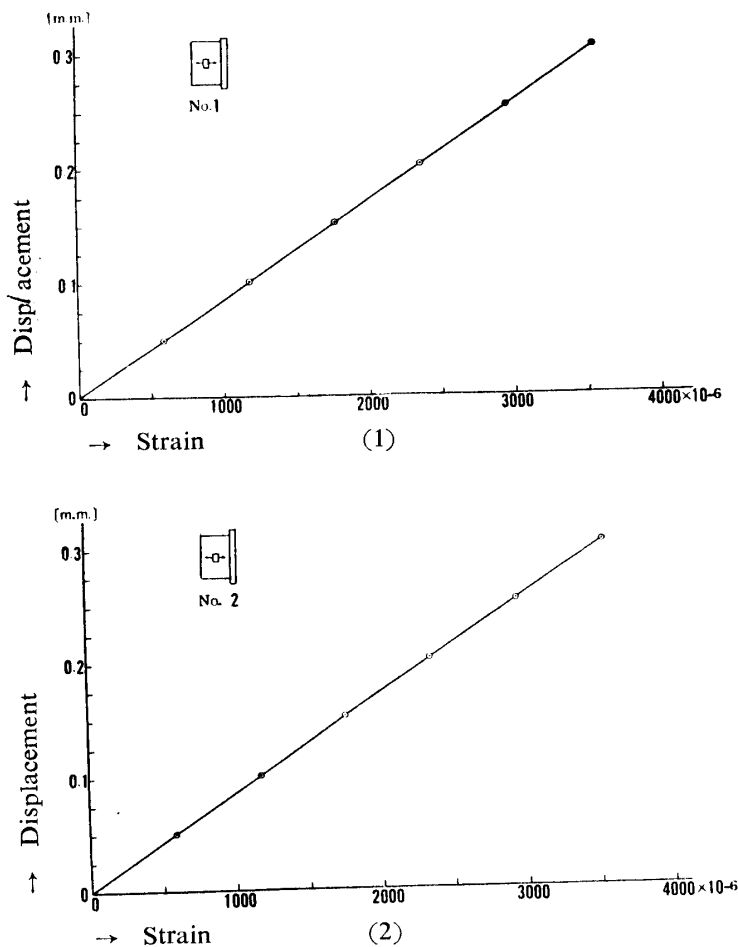


Fig. 4 Calibration curve of unbounded gauge.

径の小さな樹に対しては樹以外に固定部を設け、可及的に風や振動を避けて動揺しないように注意した。今鉢植の小樹に両側より gauge 2 個を set したときの例を第 5 図に示す。4 は edge を付けた鉄製 L 字形 angle で edge を基準にして熱膨脹をするとき、他端は自由に移動できるように熱膨脹係数の小さなガラス管の roller を置いた。尚、初め U-gauge を set するとき接触子は直接樹に接触させるが樹径は現在の位置より収縮することを見越して歪計が適当な歪値を示すように適当な微小圧力で押しつける必要がある。

IV 測定結果

本器による測定は測定の都合上鹿児島湾東岸垂水市田神の個人庭園と鉢植のものは同市市来の個人家屋椽側及び鹿児島大学農学部の当研究実験室で行った。最初のタブ

spindle の軸を置く。この場合可動桿と micrometer の spindle 軸は垂直にし、又可動桿の接触部には鈍角に尖つた部分を設け micrometer の spindle の端面の中心と一点で接するようにする。このようにして、gauge を測定のとおり同じような位置に置いて歪に対する変位を測つたものが第 4 図である。micrometer は前述のように精度が低い、 0.3 mm の変位に対する誤差は僅少であり、この変位に対する歪みは 2 つの U-gauge で、各 3583×10^{-6} 、 3578.5×10^{-6} で、これと原点を結ぶ直線を引けば他の点も殆どこの直線上にある。尚この変位が反対となるときも正確にこの直線と一致した。

次にこの場合の感度は 1.5×10^{-6} の歪に対して、meter の針が 1 目盛だけふれるから約 0.13μ となる。

U-gauge を固定するには野外の大きな樹に対しては風その他の影響によつて測定できないから幹の木質部にねじ込んだ固定子に取付けるが、

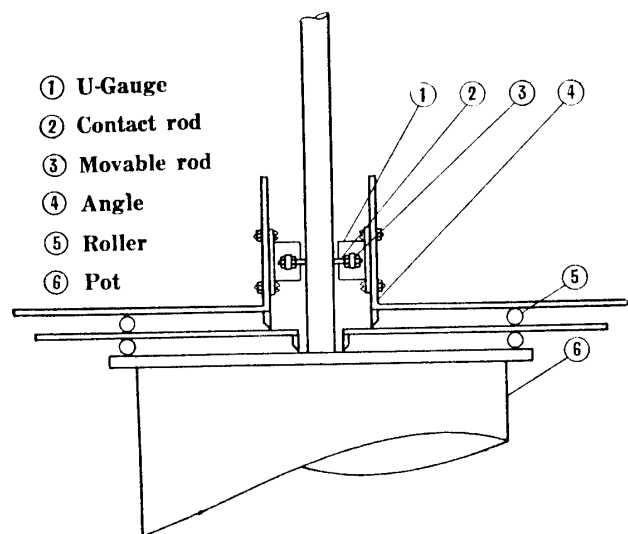


Fig. 5 View of U-gauge setting on a pot.

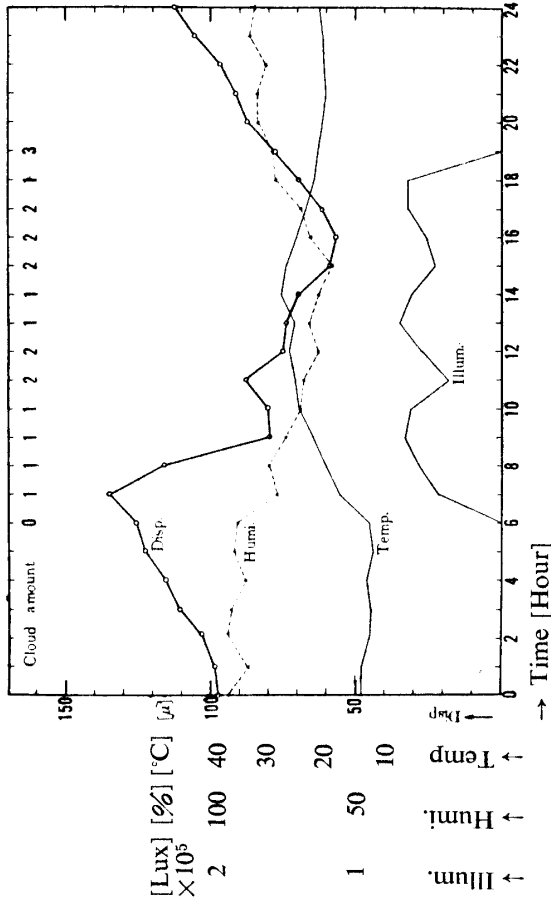


Fig. 7 (1). April 16, 1956.

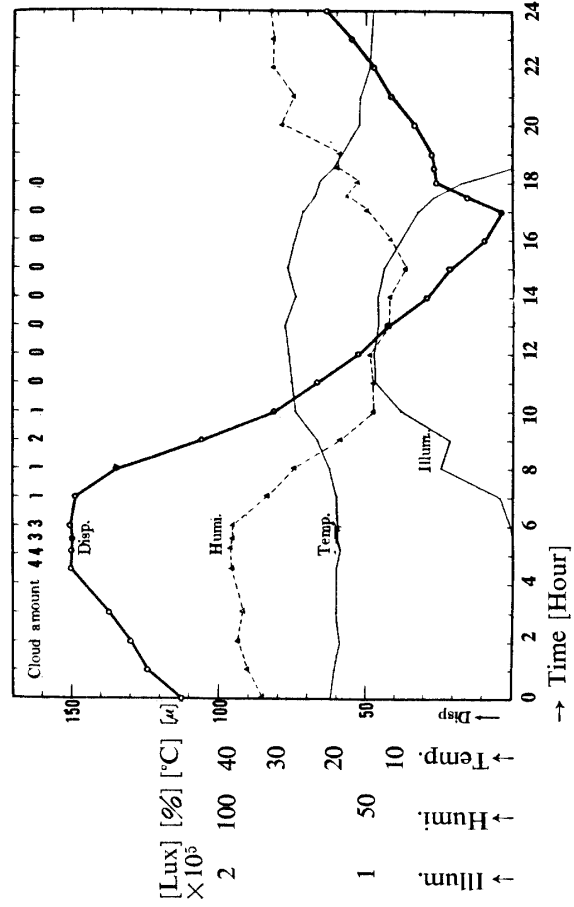


Fig. 7 (2). April 17

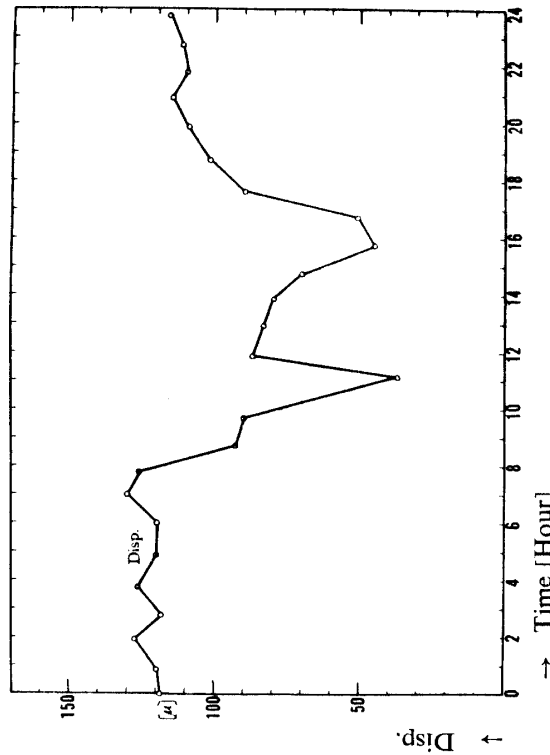


Fig. 6. March 14, 1956.

(*Machilus Thunbergii*) (第6図)は樹令 100年以上, 高さ 10 数 *m*, 胸高直径平均 35 *cm*, U-gauge は高さ地上 35 *cm* の樹の北側に取付けた. 観測は約 1 時間間隔で変位だけを測つた. これによつて 1 日中約 93 μ の半径方向の変化があることが分つた. 以下の図で縦軸の変位目盛は樹幹半径の相対的変動量を表わすために原点は一連の測定ごとに任意にとつたもので, 決して半径の絶対量を表わしたのではなく, ただその差が変位になるものである.

第7図(1), (2)は同じく屋外の梨(晩三吉)(*Pirus Pashia*)で, 樹令 15年位, 高さ 1.9 *m*, U-gauge を取付けた位置の地上 19 *cm* に於ける幹の直径が南北方向 53 *mm*, 東西方向 60 *mm*, gauge は樹幹の北側に取付けた. この時以後の湿度は Assmann の通風乾湿球湿度計で, 照度は光電池式 Luxmeter で測定したものである.

第8図(1)~(10)は家屋内南側椽側の直射日光を遮蔽した場所で鉢植の八重椿(*Camellia japonica*) (樹令 40年位, 高さ 76 *cm*, gauge 取付位置鉢の土の上 15 *cm* に於ける樹径 1.6 *cm*) についての 7月23日~27日, 29日の連続測定と 9月18日~21日の連続測定結果をあげたものである. 天候は, (1)図 7月23日曇, 遅くなつて晴, (2)図 24日雨後曇, (3)図 25日曇, (4)図 26日曇一時雨, (5)図 27日曇時々俄雨, (6)図 29日曇一時小雨, (7)図 9月18日曇, (8)図 19日曇時々晴, (9)図 20日曇, (10)図 21日曇であるが, 屋内で観測した関係上天候の影響は減ずることになる. 照度も目盛の単位をすべて揃えたため(2), (3), (4), (5), (6)図は記入できなかつた. 灌水の影響を見るため, 7月26日 22時 45分に鉢の下方の水盤に注水し, 以後定水分状態にしたときの変化が(4), (5), (6)図に示されている.

第9図は第5図及び写真第10図(a), (b)のように2個の U-gauge の接触部を同じ鉢植の八重椿の幹の直径の両端において径変化を測つたもので, 太い実線と点線とで表わされている. 2つの曲線は時間的変化の割合は異なるが, ほとんど時を同じくして増減が行われているのが見られる.

第11図は当実験室において主として学生長野玄一郎君によつて, pot 植の八重クチナシ(*Gardenia jasminoides*) (高さ 70 *cm*, 2個の U-gauge を置いた位置の pot の土の面から 15 *cm* の高さでの樹径が 1.6 *cm*) について実測されたものである. pot は 2 万分の 1 で, これを 35 *cm* \times 35 *cm* \times 2.8 *cm* の水盤の中に入れた. 温度をできるだけ一定にするため室の中に 1.8 *m* 立方のビニールを張つた木枠を設けて電熱器を入れ bimetal による自動温度制御を行つた. 測定装置はこの中に入れ更にこの中に 0.6 *m* \times 0.6 *m* \times 1.5 *m* のビニールの小室を設けて pot の部分を収めた(第12図)が温度は約 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の偏差があつた.

V 考 察

本測定は零位法によつて測定せられたもので, 歪計の仕様による測定精度は $\pm (0.5 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6})$ の歪であるから, 例えば 30 μ の変位測定値に対する精度は 0.14%~0.84% となる. 一方, 熱膨脹による固定端の移動は抵抗素線の歪を来して誤差を生ずることになるが, U-gauge の材質(ジュラルミンと真鍮)と寸法を考え可動子にナットで固定する接触子の rod と gauge を固定する支持物を適当にとれば両者は互に相反する作用を有つから温度による誤差は殆どなくすることができる. かように精度は良いがただ長期の測定の場合一度 gauge 固定部分に変位するときは最初の基準位置に直すことができないから振動等与えないように細心の注意が必要となる. 鉢植に用いた固定法はずれる恐れがあるので, edge の位置をナットでしめつけ, roller の位置は 2 重ナットで幾分緩くしめる方が良いと思はれる. 長い期間の連続測定のばあい, 固定部の微小変位が同じ方向に

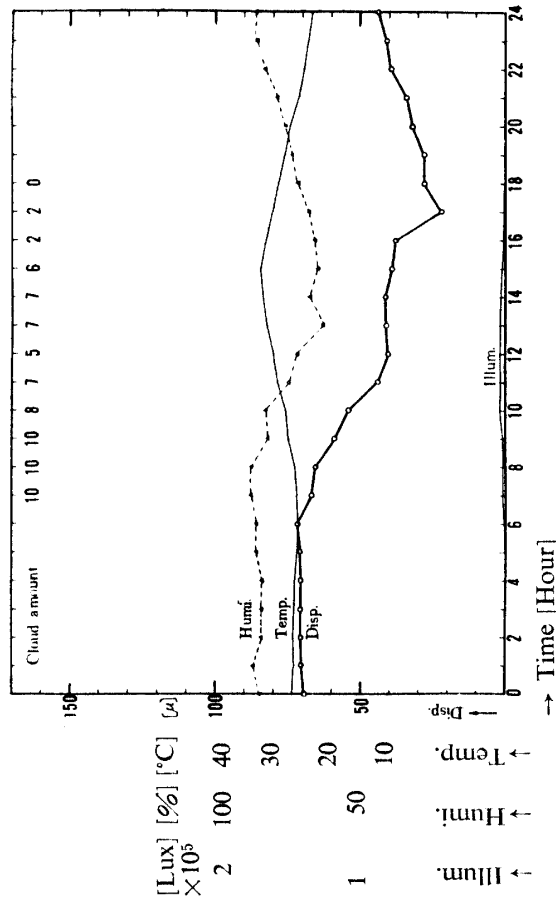


Fig. 8 (1). July 23, 1956.

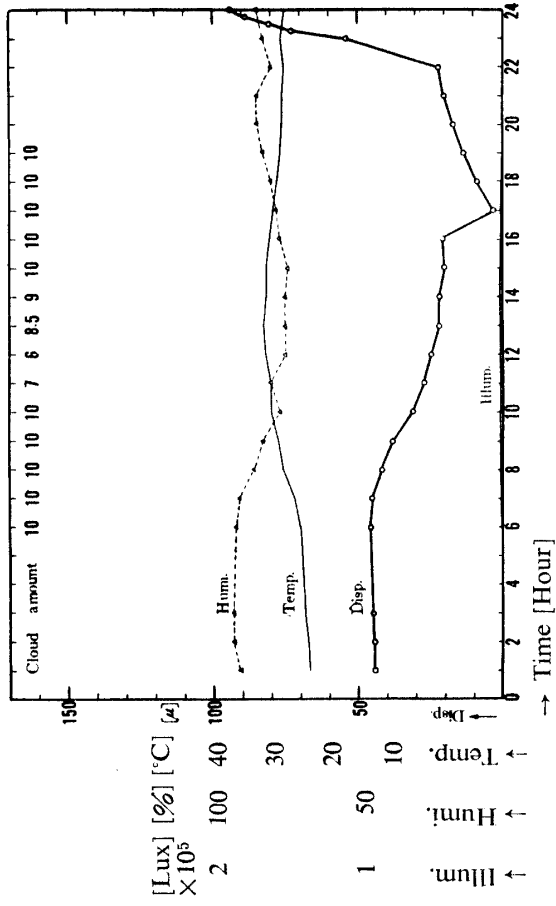


Fig. 8 (3). July 25

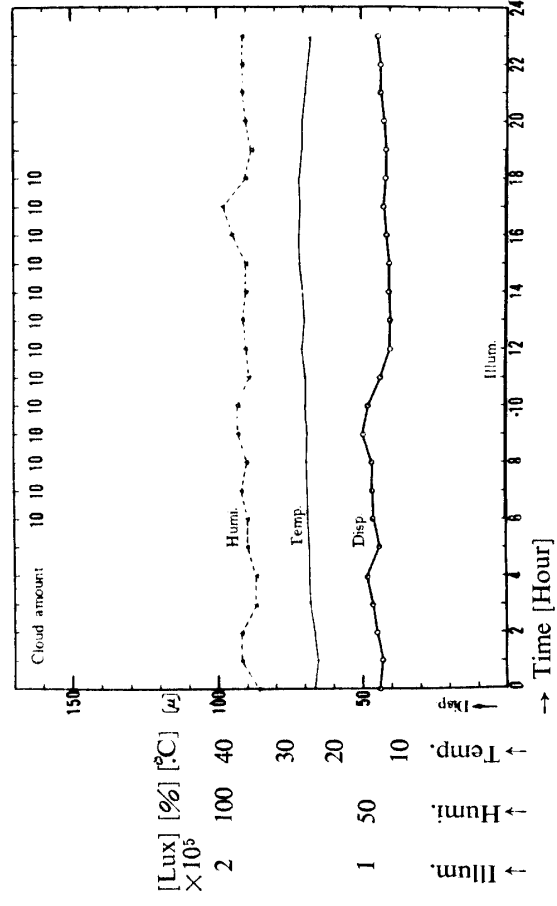


Fig. 8 (2). July 24

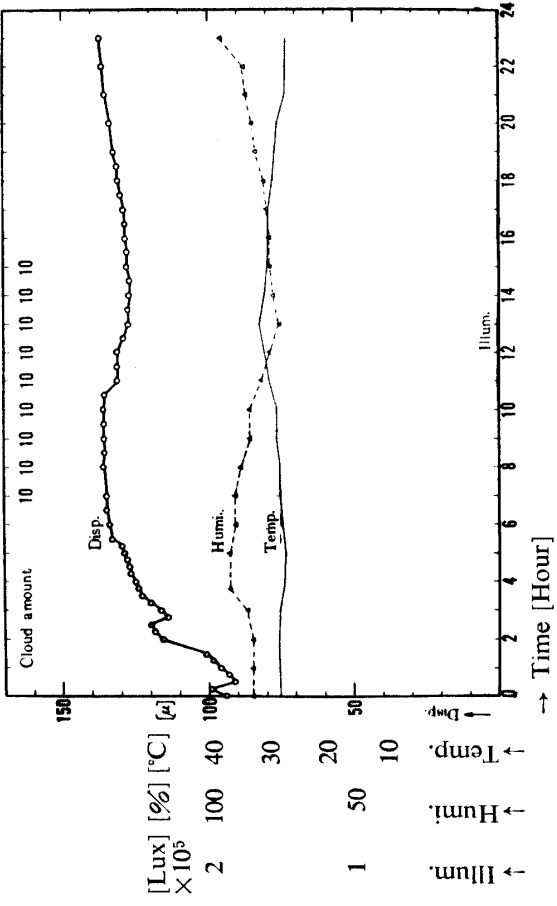


Fig. 8 (4). July 26

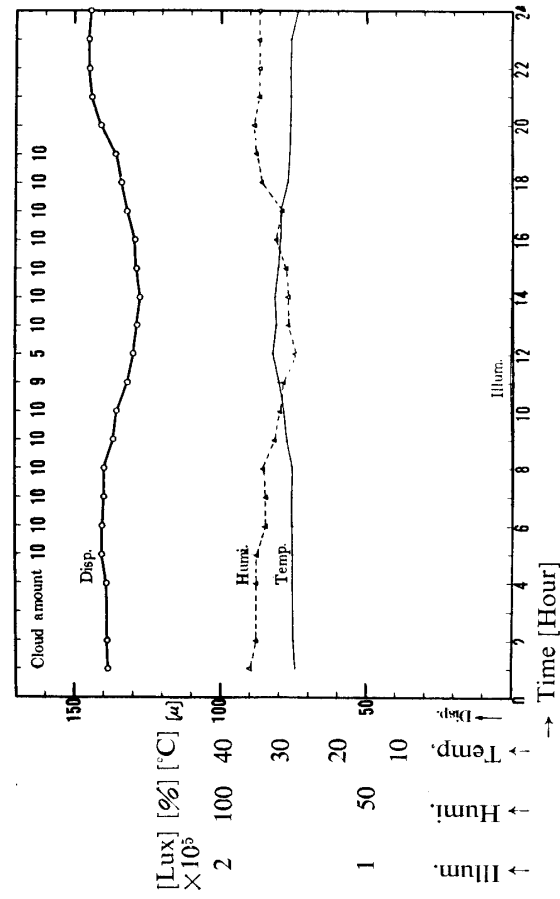


Fig. 8 (5). July 27

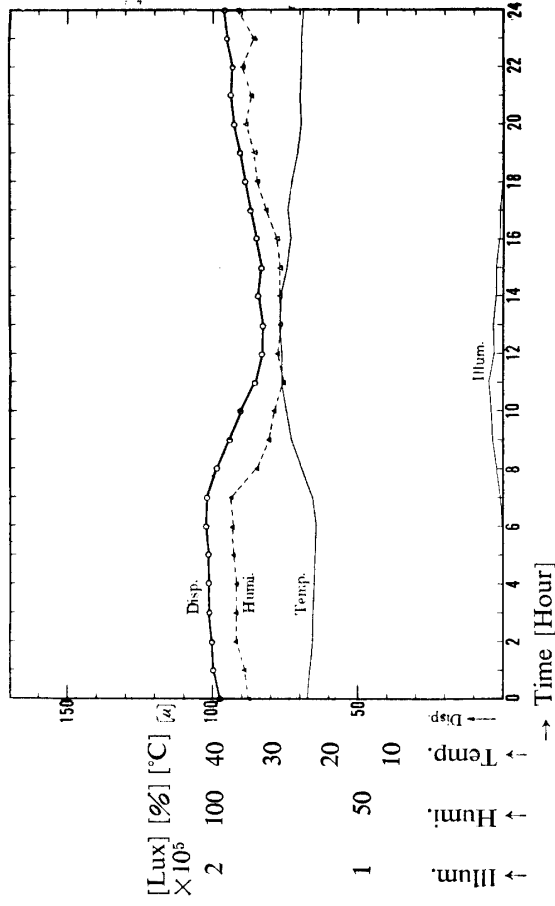


Fig. 8 (7). Sept. 18

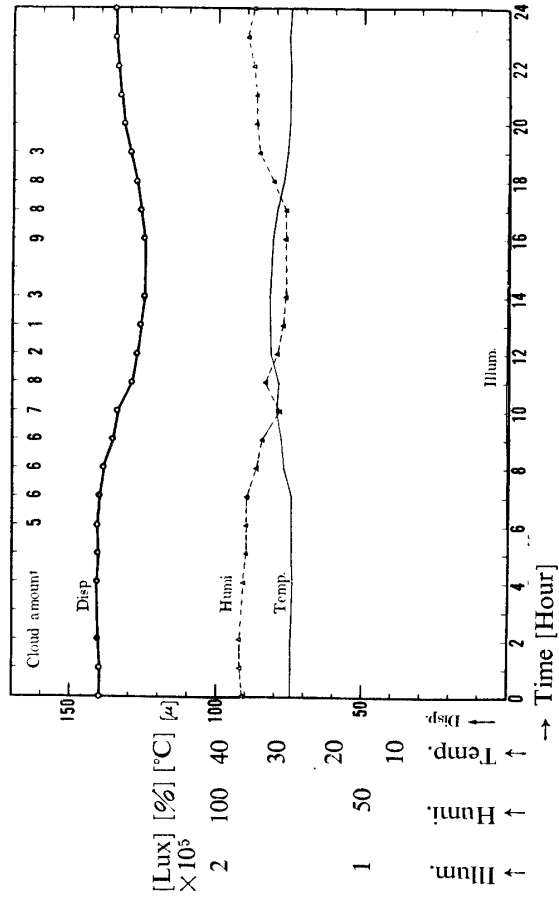


Fig. 8 (6). July 29

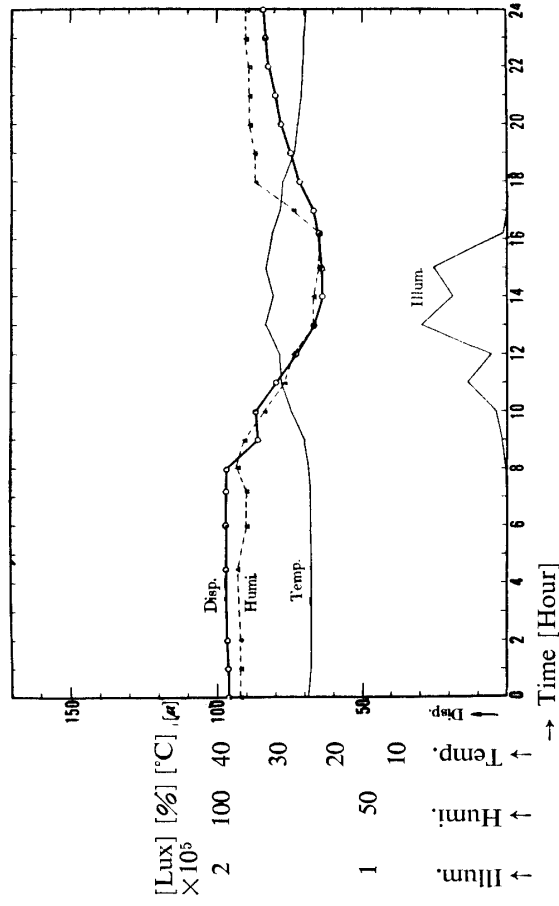


Fig. 8 (8). Sept. 19

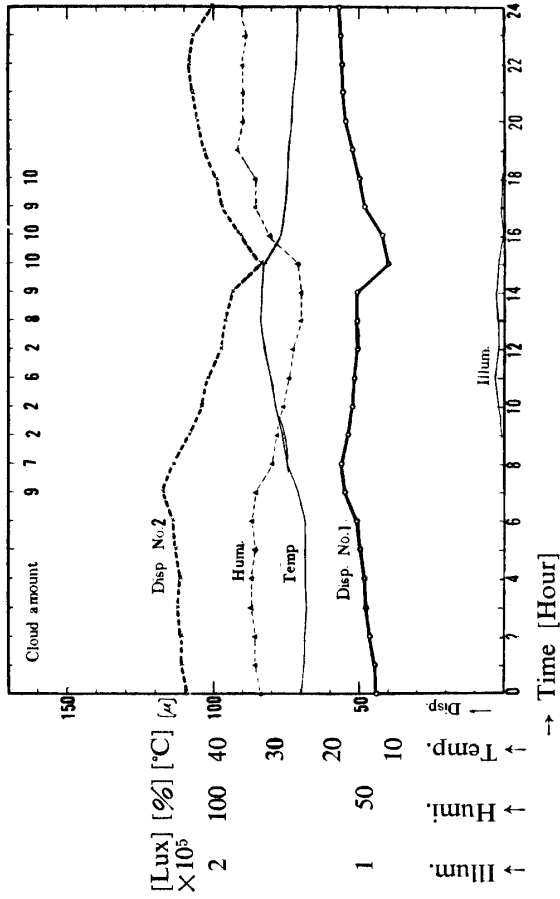


Fig. 9 (1). Aug. 26, 1957.

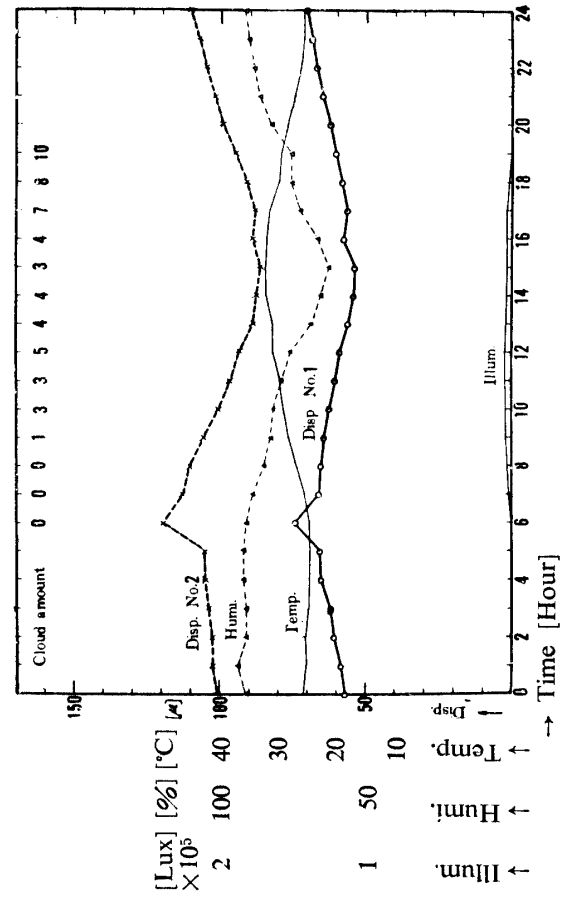


Fig. 9 (2). Aug. 27

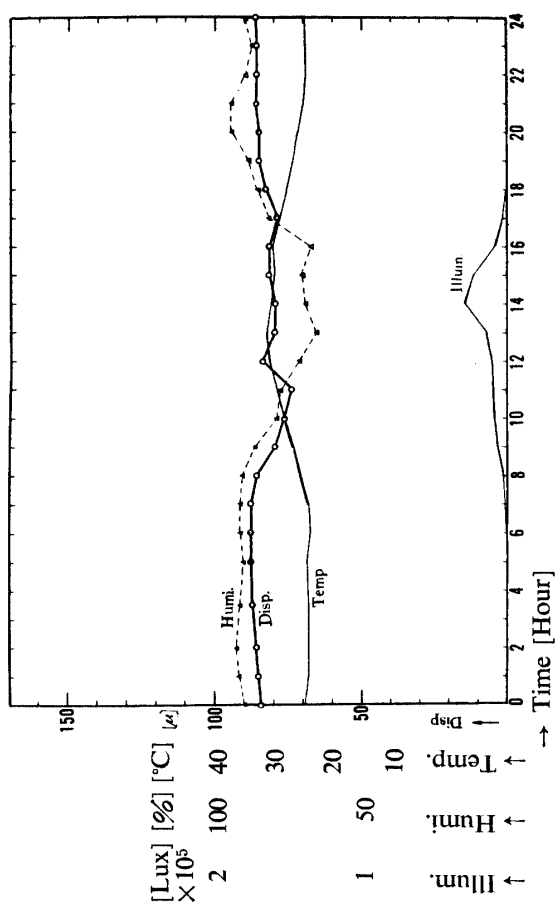


Fig. 8 (9). Sept. 20

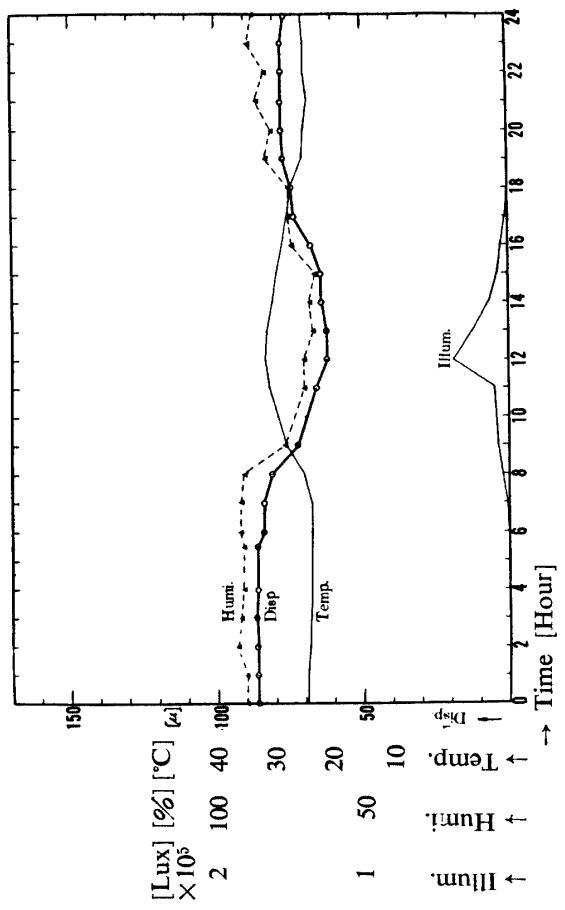


Fig. 8 (10). Sept. 21

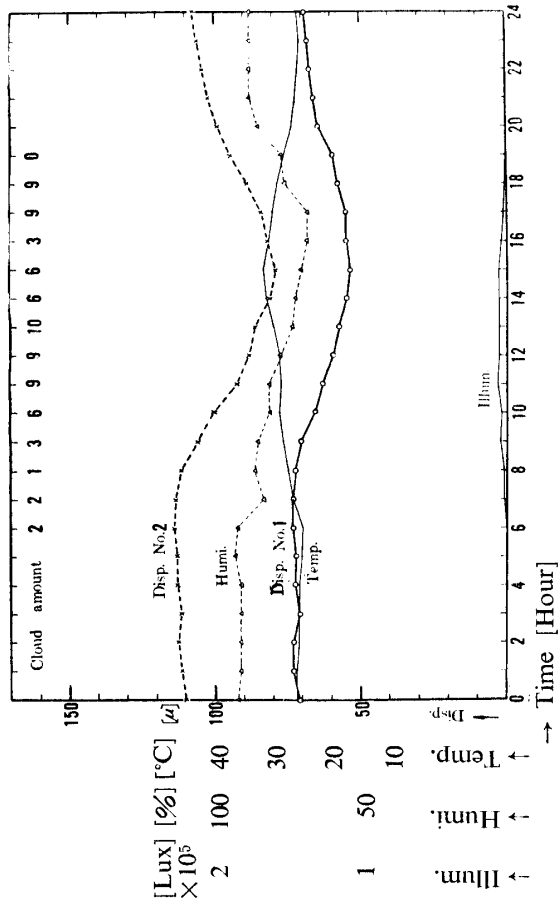


Fig. 9 (3). Aug. 28

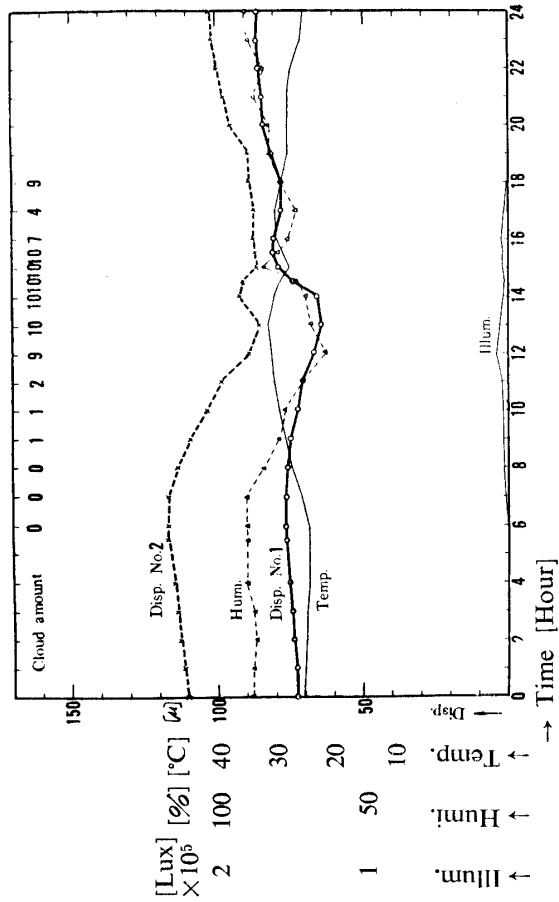


Fig. 9 (5). Aug. 30

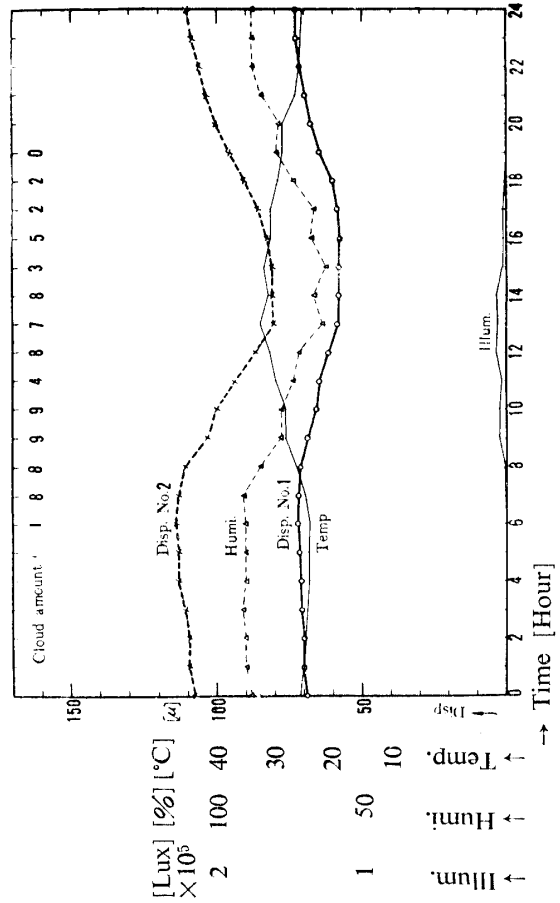


Fig. 9 (4). Aug. 29

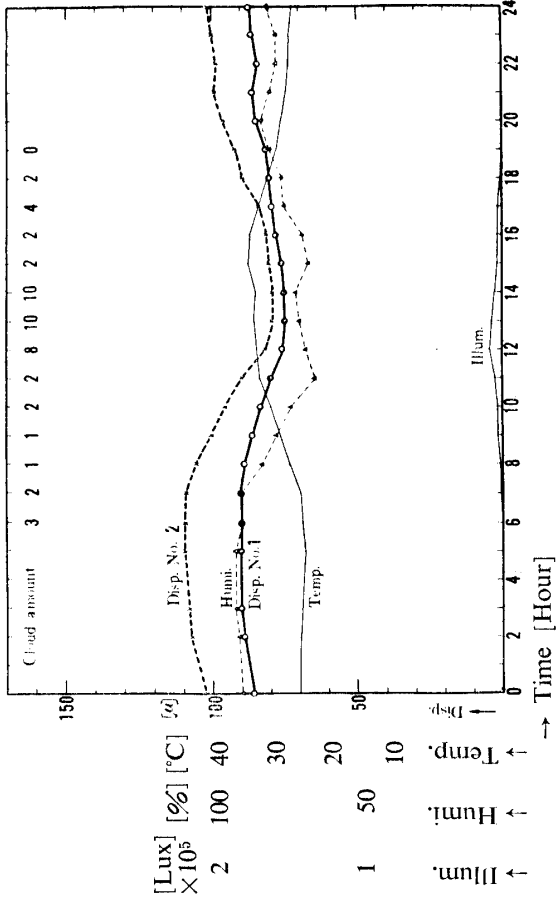


Fig. 9 (6). Aug. 31

だけ多く積算されるものとすれば初めの日と後の日の値との差はある程度ずれがあるものと見なければならぬ。これを防ぐためには固定部を安定に固定する外はないようである。

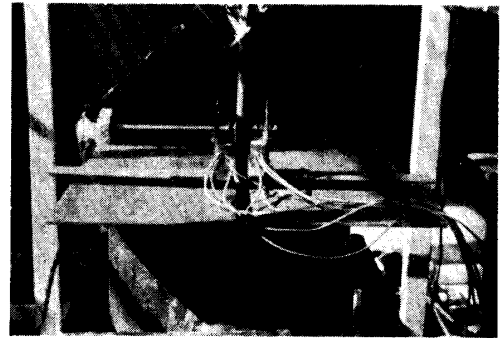
第9図の変位曲線 No. 1. (南側) No. 2. (北側) の変化を見るに No. 2. の方が変位変化は大きい。すなわち幹の半径方向により変位変化の大小があるが、これだけの測定では他の要素との関連は全然見出すことはできない。

第9図(5), 8月30日14時灌水以後飽和状態に置いて初め2つの変位曲線は肥大, 収縮の反対経過を辿った。これは鉢が小さいため注水で土壌の緊密度が変り樹幹が一方に少し変位したものと考えられるが、これと湿度等を考慮に入れて2曲線の平均をとれば僅かながら全般的に肥大していると言える。

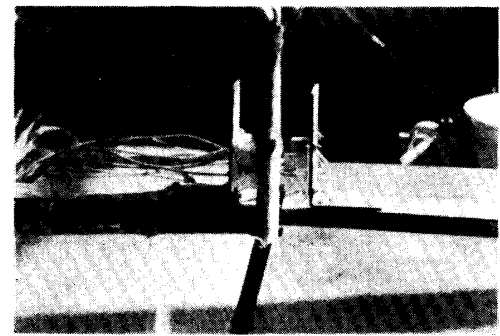
第8図(4)の場合は灌水による shock を少なくするため下の水盤に注水したが全般的に肥大しているのが見られる。第11図(1)は12時水盤に注水直後両者共肥大しているが同時に湿度もふえているので効果は分らない。

何れの樹種のものでも共通して言われることは昼間温度高く湿度低いときは縮少して変動も大きく、夜間湿度が大きく外気の条件に変化が少ないときは肥大して割に変動が少ないことである。

変位の最大最小になる時刻は、最大は6時が圧倒的に多く(14例)次に7時(7例)で、他は1時, 4時, 8時, 9時に1例づつ見られ、又、最小は13時~17時に4, 5, 6, 4, 5例と大体一樣にあり、他は12時, 19時に1例づつ見られる。



(a)



(b)

Fig. 10 View of unbounded gauge setting on a pot.

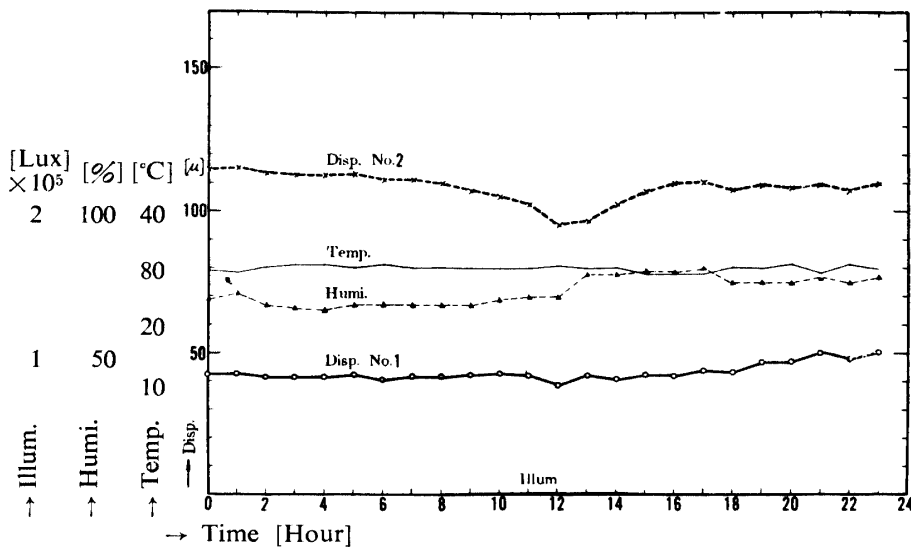


Fig. 11 (1). Dec. 13, 1957.

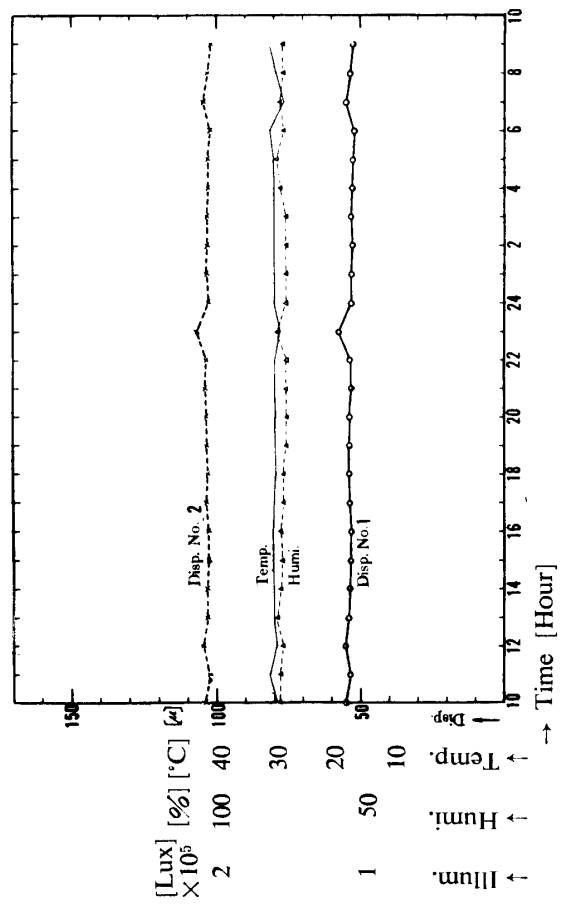


Fig. 11 (2). Jan. 11-Jan. 12, 1958.

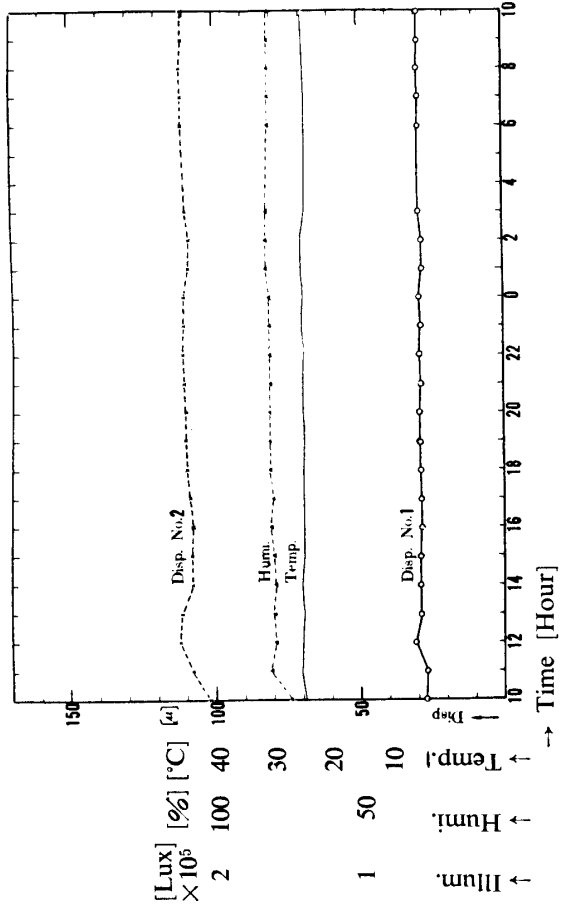


Fig. 11 (4). Jan. 18-Jan. 19.

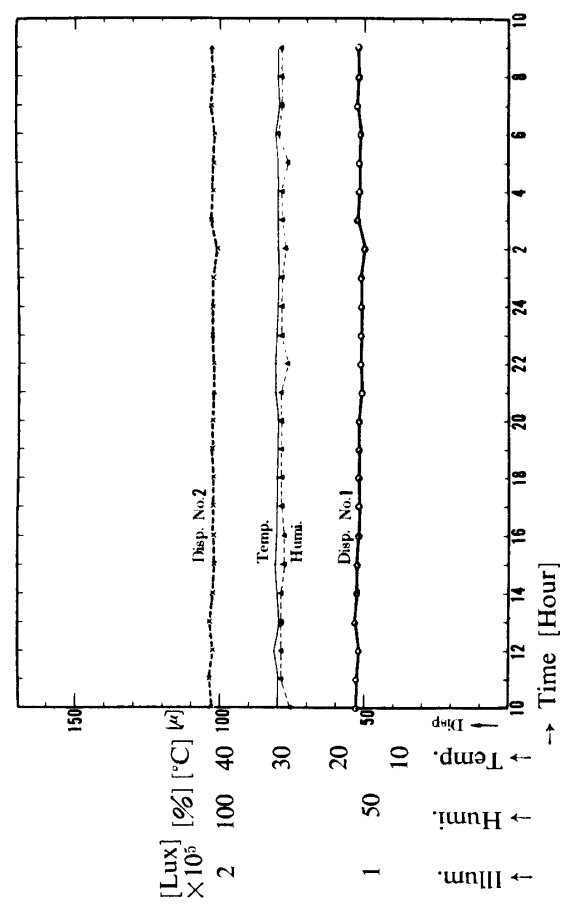


Fig. 11 (3). Jan. 12-Jan. 13.

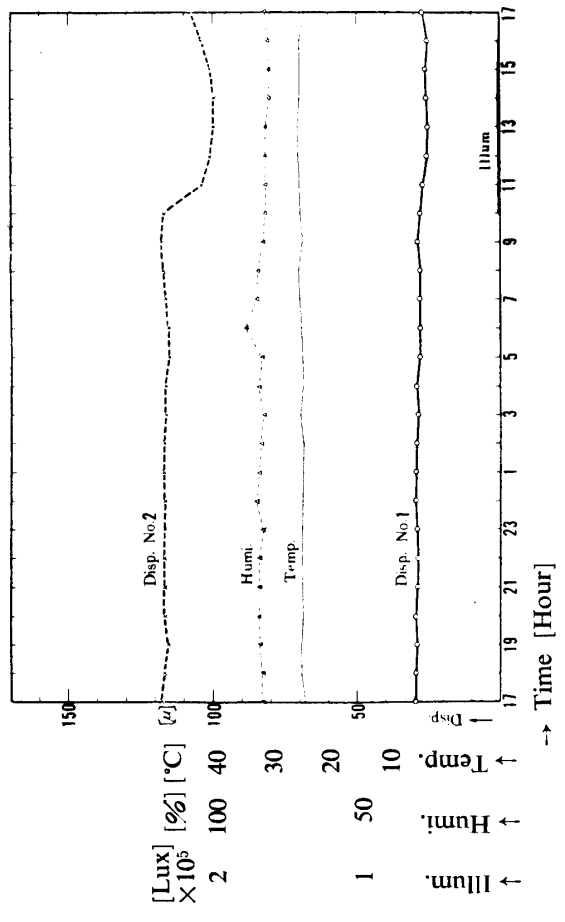


Fig. 11 (5). Jan. 19-Jan. 20.

1日中の変位変化の最大量は幹の直径の大小には無関係である。例えばタブ(径 35 cm)で 93 μ 、梨(径 5.7 cm)では最大 148 μ 、八重樫(径 1.6 cm)では最大 50 μ である。又樹皮を除き木質部に接触子をあてた場合も殆ど同じ変位が見られた。これは径方向の変位は外面に近い部分だけに大きく表われるためと考えられ、変位変化量の大小は成長の大小に関係しているものと推定せられる。

同じ湿度にするには温度が上るほど水蒸気密度を増して行かねばならぬが、水蒸気密度が大きくふえない限り温度上昇に供つて湿度は減少する。温度が低く湿度が大きいときは蒸散はおさえられ樹幹は肥大するが測定間隔が長いためと定温定湿が得られなかつたためその時間的遅れを見出すことはできなかつた。

照度との関係も短期間の変化は無視されており、又定温定湿が得られなかつたので見ることはできなかつたが、第 11 図(2)、(3)の暗闇にした場合に変位が極めて小さく表われたものが(5)に見るように急に明るくしたとき収縮することは、変位に対して照度が大きな要素であることが伺われる。

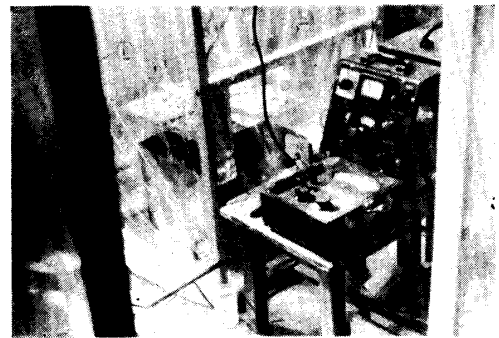


Fig. 12. Measurement apparatus in double vinyl small chamber.

VI 摘 要

樹幹の直径の日変化を測るのに抵抗線型歪計を較正して変位計として測定し、次の結果が得られた。

変位計

- (1) 0.5 mm の変位範囲を有つ非接着型 gauge を用いて感度 0.13 μ が得られた。
- (2) 30 μ の変位測定値に対する精度は 0.14%~0.84% となつた。
- (3) gauge の取付に当り適当な金具を選べば、殆んど温度の変化による誤差は無くすることができる。
- (4) 長期観測の際は gauge を充分固定しなければ、一方向の微小移動が積算されて誤差を生じ、又測定可能範囲から外れる恐れがある。

測定結果

- (1) 幹の同一直径上の両端に取付けた 2 個の gauge によつて得られる変位変化は殆ど相似な曲線を示した。
- (2) 同一水平面上の点でもその半径方向によつて変位変化の度合に差異がある。
- (3) 変位の最大になる時刻は 6 時~7 時で 6 時が多く、最小になる時刻は 13 時より 17 時までの間に大体一様に分布されている。
- (4) 1 日中の変位変化の最大量は幹の直径の大小には無関係である。変位変化量は成長の大小に関係しているものと推定される。
- (5) 湿度に対する変位の時間的遅れは測定できなかつた。
- (6) 照度は変位に影響を与えるがその量的関係及び時間の遅れは測定できなかつた。

附記 この実験に協力された二石規雄技官，学生長野玄一郎その他の諸君に謝意を表す。

文 献

- 1) 三宅康友・加藤 渉：電気抵抗歪計(1949).
W. B. DOBIE, P. C. G. ISAAC: Electric Resistance Strain Gauge 訳.
- 2) M. HETENYI: Handbook of Exp. Stress Analysis (1950).
- 3) 高木 昇・尾上守夫・増田 聖：電学誌. 72, 457~460 (1952).
- 4) 東洋測器株式会社：プリント Unbounded Gauge.
- 5) 黒岩菊郎：日林誌, 39, 89~91 (1957).
- 6) 黒岩菊郎・吉野連一・高橋五良：日林誌, 40, 139~145 (1958).

R é s u m é

We measured the daily variation of the diameter of trunks by use of a wire resistance strain gauge as a dendrometer, and obtained the following results.

Dendrometer

(1) We used an unbounded gauge with 0.5mm displacement range, and obtained the sensibility of 0.13 μ .

(2) Accuracy to 30 μ displacement measurement was 0.14%~0.84%.

(3) By use of adequate metal fittings in setting the gauge, the error due to temperature change can be reduced to almost naught.

(4) In long period observation, thorough fixation of the gauge is essential in order to avoid the integrated error of minute movements to one direction of the gauge and also to keep it within measurable range.

Results.

(1) The displacement curves obtainable by the two gauges set at the opposite ends of the same diameter of trunks showed almost similar ones.

(2) The degree of displacement variation was different at the points on the same horizontal plane according to the direction of the radius.

(3) The hours of maximum displacement were distributed between 0600 and 0700, but the former was more prominent. The hours of minimum displacement were evenly distributed between 1300 and 1700.

(4) Maximum daily displacement variation had no relation with the size of the diameter of trunks. Amount of displacement was supposedly related to the plant growth.

(5) Time lag of variation for humidity could not be measured.

(6) Illumination influenced on displacement, but its quantitative relation and time lag could not be measured.