

## 森林植生による降水のしゃ断についての研究

村 井 宏<sup>(1)</sup>

Hiroshi MURAI: Studies on Precipitation Interception by Forest Vegetations

要 旨: 森林植生による降水のしゃ断能は、流域における水収支の定量的解析のうえで、明確にされるべき因子の一つである。また、理水や侵食防止効果との関連において、水源地帯の樹種選択などにあたって、考慮に入れられる因子でもある。

本報告は、アカマツの天然生壮齡林分を対象に、下層低木類を含む状態と含まぬ状態について、また、カラマツ植栽林分を対象に、間伐した状態としない無処理状態について、雨雪両相のしゃ断量を観測した結果と、林内の地床植生や落葉地被物の保水実験の結果を、まとめたものである。

アカマツ高木層の年間降雨量のしゃ断率は、およそ19%であったが、下木を含む場合には、それはおよそ31%に達した。林下の発達状態の差異にもよるが、下層低木類のしゃ断能は、思ったより大きい。

カラマツ林はアカマツ林よりも、しゃ断能がやや小さいようで、また、落葉樹なので季節による葉の着脱によって若干の差が生ずる。幹断面積合計の1/2の強度間伐によって、年間降雨量のしゃ断率は、およそ20%から14%に低下した。

う閉した林内の地床植生の発達量は少なく、また、それ自体の保水量は大きく見積もっても1mmに達しない。落葉地被物の保水量は、樹種や保湿状態により差があるが、30年生の11樹種の平均野外保水容量は、およそ4mm程度であることがわかった。

## | ま え が き

植生は降水の一定量をしゃ断し、その全量を地上に到達させることがない。この分は結局蒸発してふたたび大気中に還元される。その量はそれほど大きくはないにしても、森林生態系の水循環に関連する一因子であり、山地流域からの水流出にも関与すると考えられている。この現象をやや詳しく述べると、森林に降った降水の一部は、まず、林冠層によって、つぎに下層低木類や地床草類によってしゃ断され、さらに地表の落葉や地被物によっても、しゃ断される。ただし、これらのいったんしゃ断された降水のいくらかの部分は、樹幹や草茎を伝わって地上に到達する。しかし、ほかの大部分は土壤水分に加わることがなく蒸発消失するので、流出分に加わらない。

森林による降水しゃ断作用に関連する研究の歴史は古く、かつ、その成果も少なくない。国外のものとしては、最初に HORTON, R. E. (1919) の研究<sup>7)</sup>があり、また、国内のものとしては大正初期に実施された森林測候所の研究<sup>8) 11) 19) 22)</sup>がある。以後現在まで、数多くの成果が報告<sup>6) 12) 23) 24) 25) 26)</sup>されている。最近においては、研究手法も従来のようなしゃ断量の実測法のほかに、しゃ断を蒸発散量の一部として、その土地の受ける日射エネルギーに関係するという考え方に立つ、Heat budget method にみられるような解析法<sup>21)</sup>も検討されている。従来までの成果をみるに、その多くは特定樹種の林内外の降雨量の比較、とくに高木林冠層を対象としたものであって、下層低木類以下の影響を含めた研究はきわめて少ない。また、観測はほとんど降雨期間に限られており、降雪期間を含むものがほとんどなく、その意味で森林植生のしゃ断に関する研究は不十分であると考ええる。

よって、著者は、既往実施されてきたようなしゃ断量実測方法により、アカマツの壮齡天然林を対象に、

高木層とそれに下層低木類を含む両状態につき、また、既往の供試例の見当たらないカラマツ人工林について、間伐などの伐採処理を加えた場合と無処理状態とを比較しながら、降雨、降雪の両相を含む全年について、継続して観測を行なった。このほか、これに付帯して地表草類や落葉地被物のシャ断保留量を明らかにするために、人工降雨などの装置を用いて室内実験を行なった。観測、実験に際して不備な点が少なくないが、これらの試験が一応完了したので取りまとめ報告する。

なお、試験の計画、実行にあたり種々ご教示いただいた岩手大学農学部教授武田進平、静岡大学農学部教授高橋敏男（元林業試験場東北支場）および佐藤 正（元林業試験場東北支場）、観測実験に全面的に協力された林試東北支場村上与助、関川慶一郎（現北海道支場）、岩崎勇作、北田健二、北田正恵および高橋四郎（退官）の各氏に深く感謝する。また、本稿のご校閲をお願いした北大農学部教授村井延雄博士、林試東北支場長松下規矩氏に厚くお礼申し上げる。

## II アカマツ天然林における試験

### II.1 試験地の自然概況

試験場所は、林業試験場東北支場好摩実験林（岩手県岩手郡玉山村大字好摩）の一部であって、標高およそ220mのほぼ平坦地に成立した壮齡のアカマツ天然林分である。当地の気候は、Table 1に示すとおりであるが、降水量は比較的少なく1,200mm前後で、冬季は少雪にして寒冷なことが特徴としてあげられる。

対象としたアカマツ林分は、林齢40~45年生(平均43年)、高木林冠層の疎密度は85%、胸高直径6cm以上のhaあたりの全本数は830本、同じく蓄積は203m<sup>3</sup>であり、胸高直径は10~32cm(平均20cm)、樹高は13~16m(平均15m)であって、これを岩手地方アカマツ林分収穫表<sup>1)</sup>に当てはめると、地位中に該当する。直径階別の本数分配など林分構造は Fig. 1に示すとおりである。林相はアカマツの単純林であり、低木層にはツノハシバミ・ヤマウルシ・コナラなどが多く、草本層としてはオクミヤコザサ・ヒカゲスゲ・クマヤナ

Table 1. 試験地の気候表(好摩)  
Climatic table in the experimental area (Kōma)

| 要素<br>Elements        | 月<br>Month | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May  | Jun.  | Jul.  | Aug.  | Sep.  | Oct.  | Nov. | Dec. | Mean<br>value |
|-----------------------|------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---------------|
|                       | 平均<br>Mean |      | -3.5 | -2.4 | 1.8  | 9.2  | 15.1  | 18.6  | 22.6  | 24.3  | 19.2  | 12.8 | 6.0  |               |
| 気温(°C)<br>Temperature | 最高<br>Max. | 0.8  | 1.5  | 5.4  | 13.6 | 19.6 | 22.6  | 26.2  | 27.9  | 23.0  | 17.4  | 10.3 | 3.4  | 14.3          |
|                       | 最低<br>Min. | -9.4 | -8.5 | -4.0 | 1.8  | 7.1  | 12.7  | 17.9  | 19.3  | 13.5  | 5.8   | 0.0  | -5.0 | 4.3           |
| 湿度<br>Humidity        | (%)        | 74.4 | 69.9 | 66.1 | 60.6 | 62.4 | 72.7  | 78.9  | 78.2  | 77.2  | 75.4  | 73.9 | 74.6 | 72.0          |
| 降水量<br>Precipitation  | (mm)       | 52.5 | 48.7 | 71.8 | 91.4 | 88.0 | 117.5 | 157.8 | 108.2 | 190.4 | 111.7 | 86.4 | 76.7 | 1201.1        |
| 積雪深<br>Snow depth     | (cm)       | 19.8 | 31.6 | 15.7 | 0.1  | —    | —     | —     | —     | —     | —     | —    | 0.7  | —             |
| 蒸発量<br>Evaporation    | (mm)       | 4.0  | 4.7  | 9.0  | 10.3 | 13.3 | 11.9  | 9.3   | 9.4   | 7.3   | 5.9   | 4.6  | 4.5  | 7.8           |
| 風速<br>Wind velocity   | (m/s)      | 2.2  | 2.3  | 2.7  | 3.6  | 3.2  | 2.8   | 2.5   | 2.1   | 1.9   | 1.8   | 2.1  | 2.2  | 2.4           |

(注) 観測期間：1938~1959年

(Comment) Observational duration : 1938~1959

ギなどが優占している。これらの群落組成は Table 2 のとおりである。地表には、全面にアカマツ落葉が平均 4 ~ 5 cm の厚さに堆積している。土壌は岩手山噴火による火山灰および火山放出物から成り、土性は微砂質ロームで土壌型 B<sub>1D</sub> で代表される。

II. 2 試験方法

試験区は 3 区取った、すなわち、アカマツ高木層のみの区 (A)、アカマツ高木層の下に低木類を含む区 (B) と無林区 (C) である。各区は接続しており、A 区は B 区の下層低木類を人為的に除去した状態、C 区は A 区の皆伐した状態である。各区の面積は A・C 両区がおよそ 0.1ha、B 区が 0.01ha となっている。A 区の樹冠投影図は Fig. 2, B 区のそれは Fig. 3 のとおりである。なお、A 区と B 区の高木層の成立状態はほとんど同一とみてさしつかえない。

降水のしゃ断現象に関連する各因子別の観測方法は、つぎのとおりである。4~11月の地上到達雨量は、A区とB区に分けて観測した、すなわち、A区では特製のポット型雨量計(受水面積100cm<sup>2</sup>) 27個と樋型雨量計(幅10cm, 長さ5m, 受水面積5,000cm<sup>2</sup>) 3個を、B区ではA区と同型の樋型雨量計のみを3個所定の位置に配置した。A区のポット型雨量計は毎年その位置を任意に変えたが、A, B両区の樋型雨量計は固定させた。樹幹流下量については、高木の場合は、

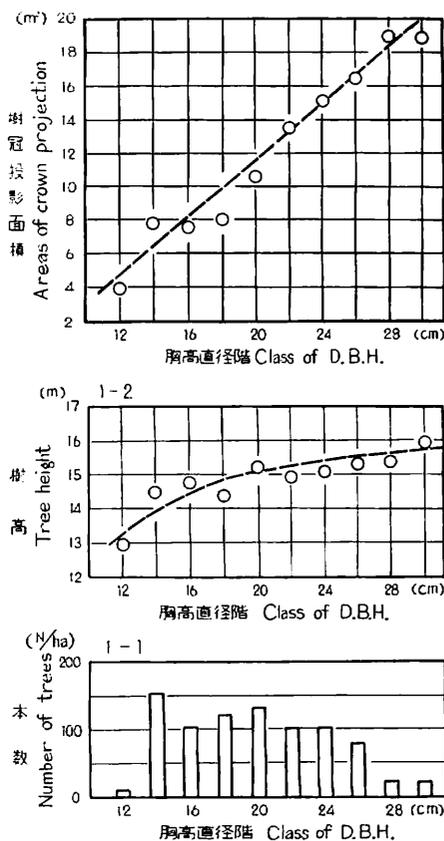


Fig. 1 供試アカマツ林分の構造  
The structure of the experimental Akamatsu (*Pinus densiflora* S. et Z.) stand.

Table 2. 供試アカマツ林分の群落組成表  
Vegetational composition of the experimental Akamatsu (*Pinus densiflora*) forest

| 階層<br>Layer     | 種名<br>Plant species                                   | 優占度<br>Dominance |
|-----------------|---|------------------|
| 高木<br>High tree | アカマツ <i>Pinus densiflora</i>                          | 5                |
|                 | ウワミズザクラ <i>Prunus Grayana</i>                         | +                |
| 低木<br>Shrub     | ツノハシバミ <i>Corylus Sieboldiana</i>                     | 4                |
|                 | ヤマウルシ <i>Rhus trichocarpa</i>                         | 3                |
|                 | コナラ <i>Quercus serrata</i>                            | 3                |
|                 | クマザリ <i>Castanea crenata</i>                          | 2                |
|                 | ウワミズザクラ <i>Prunus Grayana</i>                         | 2                |
|                 | ガマズミ <i>Viburnum dilatatum</i> form. <i>pilosulum</i> | 2                |
|                 | センノキ <i>Kalopanax pictum</i>                          | 1                |
|                 | ヤマウコギ <i>Acanthopanax divaricatum</i>                 | 1                |
|                 | ムラサキシキブ <i>Callicarpa japonica</i>                    | +                |
|                 | ケヤマザクラ <i>Prunus serrulata</i> var. <i>pubescens</i>  | +                |

Table 2. (つづき) (Continued)

| 階層<br>Layer                         | 種名<br>Plant species                                   | 優占度<br>Dominance |
|-------------------------------------|---|------------------|
| 草本<br>Herb                          | オクミヤコザサ <i>Sasa septemtrionalis</i>                   | 4                |
|                                     | ヒカゲスゲ <i>Carex lanceolata</i>                         | 3                |
|                                     | クマヤナギ <i>Berchemia racemosa</i>                       | 3                |
|                                     | チヂミザサ <i>Oplismenus undulatifolius</i>                | 2                |
|                                     | アケビ <i>Akebia quinata</i>                             | 1                |
|                                     | スルデ <i>Rhus ambigua</i>                               | 1                |
|                                     | オニドコロ <i>Dioscorea Tokoro</i>                         | 1                |
|                                     | ウグイスカグラ <i>Lonicera gracilipes</i> var. <i>glabra</i> | 1                |
|                                     | ガマズミ <i>Viburnum dilatatum</i> form. <i>pilosulum</i> | 1                |
|                                     | ニシキギ <i>Euonymus alatus</i>                           | 1                |
|                                     | ヤマガシユウ <i>Smilax Sieboldi</i>                         | +                |
|                                     | ヤマウルシ <i>Rhus trichocarpa</i>                         | +                |
|                                     | ウワミズザクラ <i>Prunus Grayana</i>                         | +                |
|                                     | コナラ <i>Quercus serrata</i>                            | +                |
|                                     | ツルウメモドキ <i>Celastrus orbiculatus</i>                  | +                |
|                                     | タラノキ <i>Aralia elata</i>                              | +                |
|                                     | タチツボスミレ <i>Viola grypoceras</i>                       | +                |
| ヒトリシズカ <i>Tricercandra japonica</i> | +   |                  |

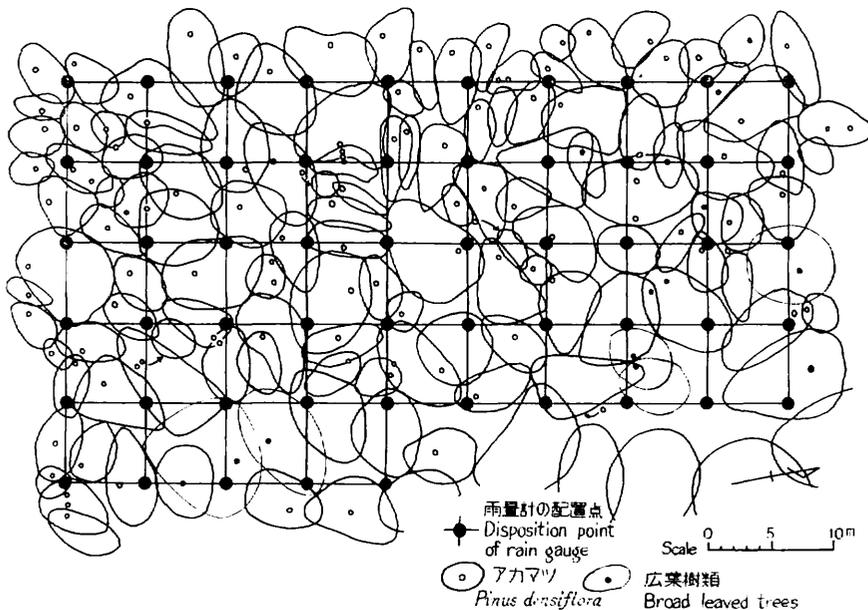
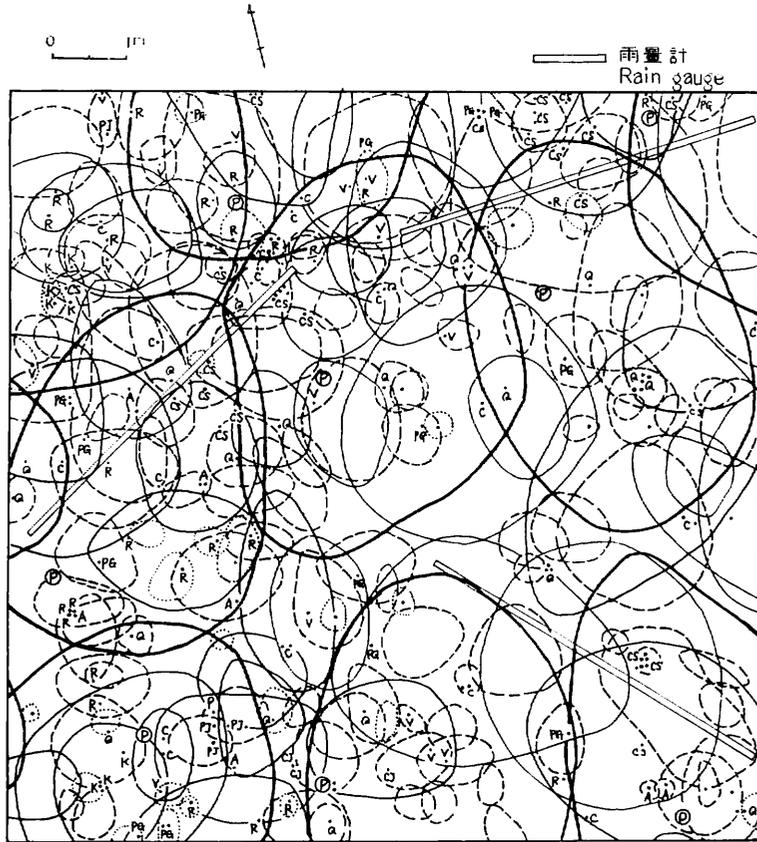


Fig. 2 A区(高木層のみ)の樹冠投影と雨量計の配置点

The crown projections and the desposition points of rain gauge at Plot A (only high tree layer).

供試全木の大中小の直径階別に各3本ずつ計9本の代表木を選び、樹幹にゴムホースの背割にしたものをカラー状に巻きつけ、集水容器に連結して捕そくした。低木については、平均的な株(3~5本成立)を5



| 階層<br>Layer        | 樹冠投影<br>Crown<br>projection | 樹高<br>Tree<br>height (m) | 被度<br>Cover<br>degree (%) | 凡例   |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|--|
| 高木<br>High<br>tree | ○                           | >5                       | 84.8                      | P : Akamatsu ( <i>Pinus densiflora</i> )<br>C : Kuri ( <i>Castanea crenata</i> )<br>P J : Keyamasakura ( <i>Prunus serrulata</i> var. <i>pubescens</i> )<br>P G : Uwamizusakura ( <i>Prunus grayana</i> )<br>Q : Konara ( <i>Quercus serrata</i> )<br>C S : Tsunohashibami ( <i>Corylus sieboldiana</i> )<br>V : Gamazumi ( <i>Viburnum dilatatum</i> form. <i>pilosulum</i> ) |
|                    |                             | 3~5                      | 76.8                      |  |
| 低木<br>Low<br>tree  | ○                           | 1~3                      | 63.2                      | A : Yamaukogi ( <i>Acanthopanax divaricatum</i> )<br>K : Sennoki ( <i>Kalopanax pictum</i> )<br>C J : Murasakishikibu ( <i>Callicarpa japonica</i> )<br>R : Yamaurushi ( <i>Rhus trichocarpa</i> )   |
|                    |                             | 1<                       | 3.2                       |  |

Fig. 3 B区 (高木層の下に低木類を含む) の樹冠投影と雨量計の配置点  
The crown projections and the desposition points of rain gauge at Plot B (containing shrubs under high trees).

個選らんで、根ぎわで亜鉛びき鉄板をもって環状に包み、油粘土で充てんし、これに集水容器を連結して捕そくした。冬季間の降雪量はA区のみで実施、標準型の雪量計12個を林内に任意配置し、あわせて同位置に積雪計も同数設置した。対象地を多数のブロックに分け、林内にほぼ均等に当たるよう留意し、その位置を毎年変えた。また、地表部からの蒸発量推定の目的で、A区にのみ紙面蒸発計を15個配置したが、その位置は雪量計などと同様とした。なお、無林地のC区には上記のすべての測器 (樹幹流下量の設備を除く) を1

個ずつ設置し、有林地のものと比較対照した。さらに、標準型の実測および自記雨量計を各1個別途に配置し、特製雨量計の検定に使用した。

本試験は1956～1960年の4年間継続したが、最初の1年は主として観測方法や標本抽出法の検討のための予備的なものにあて、本格的にはあとの3か年間に行なった。また、現地での観測は、降雨の関係については1連続降雨ごとに、降雪量、積雪深、蒸発量などについては、毎日定時（9時）に実施した。

### II.3 試験結果ならびに考察

#### (1) 降水量測定方法についての検討

林冠通過雨量の捕そくのために、樋とポット型の雨量計を用いた。前者ではその長さの範囲において、林冠の各種の状態の部分を総括した結果が得られる利点があるが、その反面設置した範囲に限られ、林分全体をもうらすことができない。後者の場合は、その受水面積が小さいけれども、ほぼ全域に散在させることができる。ただし、前者の総受水面積は3本で15,000cm<sup>2</sup>であるのに対し、後者は27個で2,700cm<sup>2</sup>で、その1/5に満たないことになる。この型式の雨量計と標準型雨量計（受水面積314cm<sup>2</sup>）を併用し、林内A区および林外C区において最初の1年間検定したところ、相互に多少の差異のあることがわかった。雨量の測定は、その降雨が終わった直後に行なったが、中断時間が2時間以内の場合は1連続量のなかに含めている。林外で測器の比較を行なった結果では、樋型のは標準型にくらべ、ほとんど差異が認められないが、ポット型のは、平均して5%程度少ない。しかし、これを林内で同様検討してみると、その値は若干低下し3%弱であった。これらの個別の測定値を検討してみると、雨量階級の低いほどその差がわずかながら大きくなることがわかった。この差を生ずる原因のおもなものとして、ポット式の場合は蒸発抑制装置がないので、降雨後測定までの間の蒸発消失によるものと推定された。このため、ポット底部にあらかじめ少量のタービン油を入れ、水面に蒸発防止のための油膜を造らせるなどの試みによってほとんど是正することができたが、毎回の観測に煩雑なので、結局は降雨階級ごとの補正値を求めることによって解決した。また、樋型のものについても、林内では落葉落枝を計器に入れれないよう、また、はねかえりを防ぐために内部に塩化ビニール製の防虫網を張ったので、これによる降雨初期の保留量も加算し補正する必要があった。

B区では、雨量計の位置は試験期間中固定したが、A区では試験区の面積が広いので雨量計・雪量計など各種測器の配置点を毎年変えるようにした。この理由は、対象林分内のできるだけ多くの条件下での測定値を集め、その代表値を決定しようと考えたからである。樋型の雨量計は、林縁部を避け、林内の中央線に沿い、ほぼ定距離をおいて配置したが、各年とも3本の測定値の間に有意な差異が認められなかった。ポット型のは Fig. 2 に示した定点の中から、ランダムにその配置点を選択したものであるが、各年における各降雨で、3～5点が棄却水準を越える極端な値を示した。これらの測定環境条件を詳細に観察してみると、極端に少ないのは樹冠の発達程度が稠密な場所や樹幹基部の位置などであり、また、極端に多いのは樹冠末端部の直下で、雨滴が集中滴下するような場所であった。観測上の明らかな誤差を付帯しない限り、これらの測定値は棄却しないで、平均値の計算の中に含めた。

樹幹流下量は、胸高直径階を3区分し、その中から代表的なものを3本選択して、装置を取り付け測定した。測定木は試験期間中固定したが、毎回の測定値の多少と直径の大きさはあまり対応せず、分散がかなり大きかった。これは測定木の直径と樹冠投影面積とが対応しても、樹型や枝張りに差異があり、また、降雨時の風などによってかなり変動し、一定傾向をつかみがたい。このため、測定値は径級を一括して9本の平均値を求め、これに全本数を乗ずることによって当該林分の樹幹流下総量を推定することにした。

冬季における降雪の捕そくに関しては、雪が止んだ後においても冠雪の形で残るので、ただちに測定しても林冠通過量のすべてを示すことにはならない。このため、毎日定時(9時)における捕そく量をもって、1降雪量とみなした。冠雪は風などの影響で地上に落下する場合は、特定個所に集中する傾向があり、各測点の捕そく量にかなりの変動があるのが普通であった。なお、冬季においても、樹体に付着した雪が融けて樹幹を流下する現象を観察しているが、量的にはごく微量とみなされたので、測定を省略した。

林内降水量の測定にあたっては、樹冠通過雨量や樹幹流下量などを求めるのに、最少幾点のサンプリングが必要かということは、試験を開始するに先だって検討すべき重要な問題である<sup>14)</sup>。いま、林分面積を $A$ 、1個の雨量計の受水面積を $a$ とすれば、標本抽出の対象となる母集団の大きさ $N$ は、 $A/a$ であらわされるであろう。抽出方式が単純無作為の場合には、必要なサンプリング数を $n$ とすると、 $n \geq N/(1 + N/n_0)$ という公式から求められる。ここで、 $n_0$ は精度と変化係数を与えることにより得られる<sup>10)</sup>。

本試験の場合において、観測と標本抽出を容易にするために、5 m間隔の格子の交点からランダムに取った位置に雨量計を置いた。これは単純無作為による抽出法とみなされるが、上式に $A=1,000\text{cm}^2$ 、 $a=100\text{cm}^2$ 、精度5%として、試験開始初年の予備観測のデータを用い、1降雨ごとに $n$ の値を求め、雨量に対応させプロットしたのが Fig. 4 である。この結果によると、このポット型雨量計を用いて、当該林分を対象に観測する場合には、単純無作為抽出法では、少なくとも25個以上のサンプリングの必要があることが明らかである。そして、本試験で実行した雨量計数の27個は、この抽出すべき最少数を多少上回らせて決定した数である。対象林分をなんらかの要素、たとえば、林冠の分布と密度などで区分し、層化無作為抽出法によれば抽出誤差が小さくなり、サンプリング数がかなり少なくてすむ。しかし、層化の要素を具体的に明確にしたい欠点がある。

林内の特定位置に定間隔において設置した桶型雨量計の測定値の間には、5%の水準で有意な差異が認められなかった。しかも、ポット型による全林を対象とした測定値とは一定の器差が認められたが、それを補正することによってほとんど一致することがわかった。桶型雨量計のサンプリングは系統的無作為抽出法によると考えられるが、この方式では推定値の抽出誤差を明確にし得ない欠点がある。しかし、観測誤差を少なくし、観測を能率的にできる利点があるので、この種の観測には活用すべきものと考えられる。ただし、本試験では桶型のものとは測器の比較のみに用い、取りまとめた測定値の中には含まれていない。

樹幹流下量の測定については、はじめ単純無作為抽出によって9本の標本木をとり、前式にしたがい同様に検討を試みたところ、 $n$ の値が32本以上という値が得られた。現実はこの数の標本木を取って、実測することは容易なことではないので、抽出方式を大・中・小の直径階を代表とするもの各3本を、有意的にサンプリングした。ま

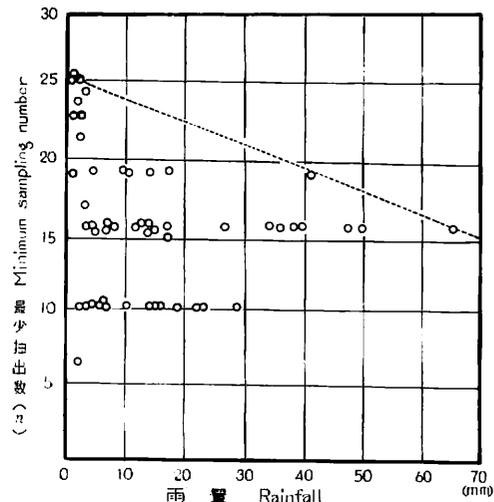


Fig. 4 林内降雨測定のための最少の雨量計類  
The least sampling number of the rain gauge for the measurement of throughfall.

Table 3. A区(アカマツ高木のみ)において林冠通過、樹幹流下およびしゃ断損失別に、mmを%で示した年別の降水量

Annual distribution of precipitation according to throughfall, stem-flow, and interception loss, in millimeters depth and per cent of precipitation at A plot

| 年<br>Year<br>(Oct.1~Sept.30) | 年降水量<br>Annual precipitation<br>(mm) | 降水量配分 (mm)<br>Millimeters depth of precipitation going to- |                   |                              | 降水量配分 (%)<br>Per cent of precipitation going to- |                   |                              |
|------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------|------------------------------|--|-------------------|------------------------------|
|                              |                                      | 林冠通過量<br>Through-fall                                      | 樹幹流下量<br>Stemflow | しゃ断損失量<br>Inter-ception loss | 林冠通過率<br>Through-fall                            | 樹幹流下率<br>Stemflow | しゃ断損失率<br>Inter-ception loss |
|                              |                                      | 1956~1957  | 1317.5            | 994.4                        | 7.2  | 315.9             | 75.6                         |
| 降雨 Rainfall                  | 1019.4                               | 792.4  | 7.2               | 219.8                        | 77.7   | 0.7               | 21.6                         |
| 降雪 Snowfall                  | 298.1                                | 202.0  | —                 | 96.1                         | 67.8   | —                 | 32.2                         |
| 1957~1958                    | 1106.6                               | 869.5  | 7.0               | 230.1                        | 78.6   | 0.6               | 20.8                         |
| 降雨 Rainfall                  | 889.5                                | 727.8  | 7.0               | 154.7                        | 81.8   | 0.8               | 17.4                         |
| 降雪 Snowfall                  | 217.1                                | 141.7  | —                 | 75.4                         | 65.3   | —                 | 34.7                         |
| 1958~1959                    | 1462.1                               | 1171.6   | 6.6               | 283.9                        | 80.1   | 0.4               | 19.5                         |
| 降雨 Rainfall                  | 1176.1                               | 957.9  | 6.6               | 211.6                        | 81.4   | 0.6               | 18.0                         |
| 降雪 Snowfall                  | 286.0                                | 213.7  | —                 | 72.3                         | 74.7   | —                 | 25.3                         |
| 1959~1960                    | 1403.3                               | 1071.5   | 6.9               | 324.9                        | 76.4   | 0.5               | 23.1                         |
| 降雨 Rainfall                  | 1012.4                               | 798.0  | 6.9               | 207.5                        | 78.8   | 0.7               | 20.5                         |
| 降雪 Snowfall                  | 390.9                                | 273.5  | —                 | 117.4                        | 70.0   | —                 | 30.0                         |
| 平均 Average                   | 1322.4                               | 1026.8   | 6.9               | 288.7                        | 77.6   | 0.5               | 21.9                         |
| 降雨 Rainfall                  | 1024.4                               | 819.0  | 6.9               | 198.5                        | 79.9   | 0.7               | 19.4                         |
| 降雪 Snowfall                  | 298.0                                | 207.8  | —                 | 90.2                         | 69.7   | —                 | 30.3                         |

Table 4. A区(アカマツ高木のみ)における、林冠通過、樹幹流下およびしゃ断損失別に、mmと%で示した月別の降水量

Monthly distribution of precipitation according to throughfall, stem-flow, and interception loss, in millimeters depth and per cent of precipitation at A plot

| 月<br>Month<br>(1956~1960) | 月降水量<br>Monthly precipitation<br>(mm) | 降水量配分 (mm)<br>Millimeters depth of precipitation going to- |                   |                              | 降水量配分 (%)<br>Per cent of precipitation going to- |                   |                              |
|---------------------------|---------------------------------------|--|-------------------|------------------------------|--|-------------------|------------------------------|
|                           |                                       | 林冠通過量<br>Through-fall                                      | 樹幹流下量<br>Stemflow | しゃ断損失量<br>Inter-ception loss | 林冠通過率<br>Through-fall                            | 樹幹流下率<br>Stemflow | しゃ断損失率<br>Inter-ception loss |
|                           |                                       | Oct.   | 151.3             | 125.0                        | 1.3  | 25.0              | 82.6                         |
| Nov.                      | 79.0                                  | 64.7   | 0.4               | 13.9                         | 81.9   | 0.5               | 17.6                         |
| Dec. *                    | 65.6                                  | 43.3   | —                 | 22.3                         | 66.0   | —                 | 34.0                         |
| Jan. *                    | 69.9                                  | 39.0   | —                 | 30.9                         | 55.8   | —                 | 44.2                         |
| Feb. *                    | 75.8                                  | 54.3   | —                 | 21.5                         | 71.6   | —                 | 28.4                         |
| Mar. *                    | 86.8                                  | 65.4   | —                 | 21.4                         | 75.3   | —                 | 24.7                         |
| Apr.                      | 75.9                                  | 58.9   | 0.4               | 16.6                         | 77.6   | 0.5               | 21.9                         |
| May                       | 80.0                                  | 61.2   | 0.5               | 18.3                         | 76.5   | 0.6               | 22.9                         |
| Jun.                      | 121.4                                 | 97.0   | 0.8               | 23.6                         | 79.9   | 0.7               | 19.4                         |
| Jul.                      | 190.4                                 | 141.1  | 1.6               | 47.7                         | 74.1   | 0.8               | 25.1                         |
| Aug.                      | 124.1                                 | 96.5   | 0.8               | 26.8                         | 77.8   | 0.6               | 21.6                         |
| Sept.                     | 202.2                                 | 167.9  | 1.2               | 33.1                         | 83.0   | 0.6               | 16.4                         |

\* 降雪期間 Snowfall duration

た、林内の降雪量や蒸発量の測定も、雨量の場合と同様に、前記の格子の交点を基準に配置点を定めた。標本抽出方式は前述の雨量の場合と同様な基準で抽出すべき最少数を求め、前者は12個、後者は15個と決定した。

(2) 年別、月別の林冠通過量、樹幹流下量およびしゃ断損失量

Table 3は、A区における観測した4か年間の全降水について、年別の林冠通過量、樹幹流下量ならびにしゃ断損失量を、降雨と降雪に区分して示した結果である。また、Table 4は各月別に同様にまとめた結果である。A区は下層低木類を含まないので、高木層を占めるアカマツの林冠層の影響に限定される。これによると、ほぼう閉したアカマツ壮齡林の林冠は、雨雪両期間を通じて、降水のおよそ22%をしゃ断する。4~11月の雨期間の場合にはおよそ19%、12~3月の雪期間の場合にはおよそ30%に達することを示している。雪の場合は、雨の場合よりしゃ断量がかなり多くなっている。このことは主として冠雪時の蒸発消失に起因するものと推察されるが、とくに当地方のような少雪地では、1回の降雪量が少ないため、しゃ断損失率がより大きくなるものであろう。なお、降雪の場合は、降雨の場合よりしゃ断量が大きくなるということは、野口<sup>2)</sup>によるとすでにアメリカの試験でも明らかにされているとのことである。

Table 5は、高木層に低木層を含むB区における3か年間(1956年は観測せず)の全降雨について、年別に林冠通過量、樹幹流下量ならびにしゃ断損失量を示したものである。また、Table 6は各月別に同様にまとめた結果である。低木を含まないA区の結果と比較して、しゃ断量がかなり大きくなっているが、この差はおおむね低木層の影響と考えられる。厳密には、A区とB区の高木層の発達状況は、全く同一とはいえないが、後者は前者の平均的林冠疎密度をもつ場所を有意的に選んでおり、ほとんど差異がないとみなしてよい。この結果をみると、低木層の発達がかなり密なことであって、その降雨のしゃ断率は予想外に多く、12%程度に達している。壮齡のアカマツ林では、上層林冠がほとんどう閉に近い状態でも、下枝が欠除し下層に空間を生じ、側方からの光線の射入もかなり多いので、下層低木類の発達がおう盛であって、こ

Table 5. B区(高木の下に低木類を含む)において林冠通過、樹幹流下およびしゃ断損失別に、mmと%で示した年別の降水量  
Annual distribution of precipitation according to throughfall, stemflow, and interception loss, in millimeters depth and per cent of precipitation at B plot

| 年<br>Year<br>(Apr.~Nov.)        | 降水量<br>Precipitation | 降水量配分(mm)<br>Millimeters depth of precipitation going to- |                   |              |                             | 降水量配分(%)<br>Per cent of precipitation going to- |                   |              |                             |
|---------------------------------|----------------------|---|-------------------|--------------|-----------------------------|---|-------------------|--------------|-----------------------------|
|                                 |                      | 林冠通過量<br>Throughfall                                      | 樹幹流下量<br>Stemflow |              | しゃ断損失量<br>Interception loss | 林冠通過率<br>Throughfall                            | 樹幹流下率<br>Stemflow |              | しゃ断損失量<br>Interception loss |
|                                 |                      |   | 高木層<br>High       | 低木層<br>Shrub |                             |   | 高木層<br>High       | 低木層<br>Shrub |                             |
| 1957 降雨<br>(Rainfall)           | 849.3                | 552.9   | 5.1               | 25.5         | 265.8                       | 65.1  | 0.6               | 3.0          | 31.3                        |
| 1958 降雨<br>(Rainfall)           | 1261.5               | 812.4   | 6.3               | 40.4         | 402.4                       | 64.4  | 0.5               | 3.2          | 31.9                        |
| 1959 降雨<br>(Rainfall)           | 969.9                | 635.3   | 4.8               | 30.1         | 299.7                       | 65.5  | 0.5               | 3.1          | 30.9                        |
| 平均(降雨)<br>Average<br>(Rainfall) | 1026.9               | 666.9   | 5.4               | 32.0         | 322.6                       | 64.9  | 0.5               | 3.1          | 31.4                        |

(注) 各年の降水量は起算した日が異なるので、Table 3とは一致しない。

(Comment) Precipitation of each year not coincide with the values of Table 3, because it is different that the day from which a period is reckoned.

Table 6. B区(高木の下に低木類を含む)において、林冠通過、樹幹流下およびしゃ断損失別に、mmと%で示した年別の降水量  
Monthly distribution of precipitation according to throughfall, stemflow and interception loss, in millimeters depth and per cent of precipitation at B plot

| 月*<br>Month<br>(1957~1959) | 月別降水量<br>Monthly precipitation | 降水配分(mm)<br>Millimeters of depth precipitation going to- |                   |              |                             | 降水配分(%)<br>Per cent of precipitation going to- |                   |              |                             |
|----------------------------|--------------------------------|--|-------------------|--------------|-----------------------------|--|-------------------|--------------|-----------------------------|
|                            |                                | 林冠通過量<br>Throughfall                                     | 樹幹流下量<br>Stemflow |              | しゃ断損失量<br>Interception loss | 林冠通過率<br>Throughfall                           | 樹幹流下率<br>Stemflow |              | しゃ断損失率<br>Interception loss |
|                            |                                |  | 高木層<br>High       | 低木層<br>Shrub |                             |  | 高木層<br>High       | 低木層<br>Shrub |                             |
| Apr.                       | 63.0                           | 43.3   | 0.3               | 2.0          | 17.4                        | 68.7   | 0.5               | 3.2          | 27.6                        |
| May                        | 70.9                           | 46.9   | 0.4               | 2.2          | 21.4                        | 66.1   | 0.6               | 3.1          | 30.2                        |
| Jun.                       | 101.0                          | 63.8   | 0.6               | 3.4          | 33.2                        | 63.2   | 0.6               | 3.3          | 32.9                        |
| Jul.                       | 202.7                          | 128.3  | 1.6               | 6.1          | 66.7                        | 63.3   | 0.8               | 3.0          | 32.9                        |
| Aug.                       | 132.4                          | 80.1   | 0.9               | 4.0          | 47.4                        | 60.5   | 0.7               | 3.0          | 35.8                        |
| Sept.                      | 250.3                          | 157.7  | 1.8               | 7.8          | 83.0                        | 63.0   | 0.7               | 3.1          | 33.2                        |
| Oct.                       | 119.9                          | 78.2   | 1.2               | 3.6          | 36.9                        | 65.2   | 1.0               | 3.0          | 30.8                        |
| Nov.                       | 86.7                           | 58.4   | 0.4               | 2.8          | 25.1                        | 67.4   | 0.5               | 3.2          | 29.0                        |

\* 降雨期間 Rainfall duration

の程度の数値は一般的なものかもしれない。なお、藤井による観測結果<sup>9)</sup>では、ヒノキ林の下木のしゃ断率は4%程度であったと報告されている。

しゃ断損失量は季節的に変化するものと考えられる。すなわち、蒸発強度が時期によって異なるし、しゃ断する植物の着葉状態によって関係してくる。たとえば、当該地に出現する低木類のすべては落葉広葉樹であって、完全着葉樹の夏季と、着葉前の早春や落葉後の晩秋では、しゃ断条件に明らかな差異がある。高木のアカマツは常緑樹であるが、およそ1/3の葉量は秋季に集中的に落下するので、多少ともしゃ断条件を変化させる。しかし、毎月の降水配分が異なるので、月ごとのしゃ断率の差異は上記の影響をそのまま示すことにならず別途検討されなければならない。

樹幹流下量は低木層の場合、アカマツよりかなり多く降雨総量の3%前後に達したが、この場合はすべて低樹高の樹皮の平滑な広葉樹類であって、流下集水しやすいことによる。なお、アメリカにおける HAMILTON と ROWE による測定結果<sup>9)</sup>によっても、低木類の樹幹流下率は5~12%に達することが明らかにされている。

(4) 降水量階級としゃ断損失量の関係

樹冠しゃ断によって枝葉に付着している水分をS、降水期間中の蒸発強度をE、降水継続時間をT、樹葉面積総計の樹冠投影面積に対する比をKとすれば、樹冠しゃ断総量Iは

$$I = S + K \cdot E \cdot T \dots\dots\dots(1)$$

また、樹冠しゃ断量を降水量に対する百分率で表わすときは、降雨強度を*i*とすれば、

$$I(\%) = 100 \cdot \frac{S + K \cdot E \cdot T}{i \cdot T} \dots\dots\dots(2)$$

となることが知られている<sup>13)</sup>。したがって、*i*が同じであるとき、しゃ断率は降雨期間Tの増加とともに低下することは明らかである。

直接林内の雨量をはかってもとめた結果から、しゃ断量Iと1回の降雨Psとの間には、

$$I = a + b P_s \dots\dots\dots (3)$$

の直線関係がみいだされている<sup>13)</sup>。これは、1回の降雨量  $P_s$  が、 $iT$  を代用するものと考え(1)式に代入し変換すると

$$I = S + \left( \frac{K \cdot E \cdot T}{P_s} \right) P_s \dots\dots\dots (4)$$

となるが、ここでしゃ断保留量  $S$  は定数  $a$  であり、また、降雨の一部は地上に到達する前に蒸発するから、 $K \cdot E \cdot T / P_s$  も定数とみなされ、(3)式の  $b$  を示すことになる。

本試験における観測期間中の全降雨について、雨量階級別に分類し集計したのが、Table 7 (A区) と Table 8 (B区) である。これらの結果によると、いずれも、雨量階級が大きくなれば、通過雨量および樹幹流下量は直線的に上昇し、比例してしゃ断量も増大する。しゃ断率で示すと、急激に減少し  $P_s$  が20mm 前後ではほぼ一定値に近づく。すなわち、(3)式は

$$\frac{I}{P_s} (\%) = \left( \frac{a}{P_s} + b \right) \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

という形に変換されることになり、Fig. 5 に示すような双曲線を描く。

雨量階級としゃ断量の関係を示す回帰式を求めると、

高木のみA区  $I_A = 0.081 P_s + 1.581$

高木に下木を含むB区  $I_B = 0.145 P_s + 2.946$

であらわされる。

なお、冬季の降雪期間のA区における結果を Table 9 に示した。この場合も、降雨の場合とほぼ同様な

Table 7. A区(アカマツ高木のみ)における雨量階級と林冠通過、樹幹流下およびしゃ断損失の関係  
Relation of throughfall, stemflow, and interception loss to class of rainfall size at A plot

(1956~1959)

| 雨量階級<br>Class of rainfall size<br>(mm) | 降雨の数<br>Number of rainfall | 平均降水量<br>Average precipitation<br>(mm) | 降水配分(mm)<br>Millimeters depth of precipitation going to- |                   |                             | 降水配分(%)<br>Per cent of precipitation going to- |                   |                             |
|--|----------------------------|--|--|-------------------|-----------------------------|--|-------------------|-----------------------------|
|  |                            |  | 林冠通過量<br>Throughfall                                     | 樹冠流下量<br>Stemflow | しゃ断損失量<br>Interception loss | 林冠通過率<br>Throughfall                           | 樹幹流下率<br>Stemflow | しゃ断損失率<br>Interception loss |
| 0~ 1                                   | 64                         | 0.6                                    | 0.1  | —                 | 0.5                         | 16.7   | —                 | 83.3                        |
| 1~ 3                                   | 77                         | 1.7                                    | 0.6  | 0.0               | 1.1                         | 35.3   | 0.0               | 64.7                        |
| 3~ 6                                   | 41                         | 4.2                                    | 2.5  | 0.0               | 1.7                         | 59.5   | 0.0               | 40.4                        |
| 6~ 10                                  | 43                         | 7.3                                    | 4.8  | 0.0               | 2.5                         | 65.8   | 0.0               | 34.2                        |
| 10~ 15                                 | 40                         | 12.2                                   | 9.4  | 0.1               | 2.7                         | 77.0   | 0.8               | 22.1                        |
| 15~ 20                                 | 34                         | 17.2                                   | 14.1   | 0.1               | 3.0                         | 82.0   | 0.6               | 17.4                        |
| 20~ 30                                 | 30                         | 24.5                                   | 20.7   | 0.2               | 3.6                         | 84.5   | 0.8               | 14.7                        |
| 30~ 40                                 | 20                         | 35.8                                   | 30.9   | 0.3               | 4.6                         | 86.4   | 0.8               | 12.8                        |
| 40~ 60                                 | 13                         | 46.7                                   | 40.5   | 0.4               | 5.8                         | 86.7   | 0.9               | 12.4                        |
| 60~ 80                                 | 3                          | 63.3                                   | 55.8   | 0.7               | 6.8                         | 88.2   | 1.1               | 10.7                        |
| 80~100                                 | 4                          | 90.4                                   | 77.7   | 1.3               | 11.4                        | 86.0   | 1.4               | 12.6                        |
| 100~150                                | 2                          | 107.1                                  | 95.6   | 1.6               | 9.9                         | 89.3   | 1.5               | 9.2                         |
| 150~                                   | 1                          | 163.9                                  | 147.8  | 2.6               | 13.5                        | 90.2   | 1.6               | 8.2                         |

Table 8. B区(高木の下に低木類を含む)における雨量階級と林冠通過, 樹幹流下およびしゃ断損失の関係

Relation of throughfall, stemflow and interception loss to class of rainfall size at B plot

(1957~1959)

| 雨量階級<br>Class of rainfall size<br>(mm) | 降雨の数<br>Number of rainfall | 平均降水量<br>Average precipitation<br>(mm) | 降水配分(mm)<br>Millimeters depth of precipitation going to- |                   |             |                             | 降水配分(%)<br>Per cent precipitation going to- |                   |             |                             |
|--|----------------------------|--|--|-------------------|-------------|-----------------------------|---|-------------------|-------------|-----------------------------|
|  |                            |  | 林冠通過量<br>Throughfall                                     | 樹幹流下量<br>Stemflow |             | しゃ断損失量<br>Interception loss | 林冠通過率<br>Throughfall                        | 樹幹流下率<br>Stemflow |             | しゃ断損失率<br>Interception loss |
|  |                            |  |  | 高木<br>High        | 低木<br>Shrub |                             |   | 高木<br>High        | 低木<br>Shrub |                             |
| 0~1                                    | 44                         | 0.6                                    | 0.1  | —                 | —           | 0.5                         | 16.7  | —                 | —           | 83.3                        |
| 1~3                                    | 51                         | 1.8                                    | 0.5  | 0.0               | 0.0         | 1.3                         | 27.8  | 0.0               | 0.0         | 72.2                        |
| 3~6                                    | 26                         | 4.5                                    | 2.1  | 0.0               | 0.0         | 2.4                         | 46.7  | 0.0               | 0.0         | 53.3                        |
| 6~10                                   | 28                         | 7.3                                    | 3.9  | 0.0               | 0.0         | 3.4                         | 53.4  | 0.0               | 0.0         | 46.6                        |
| 10~15                                  | 23                         | 12.0                                   | 7.7  | 0.1               | 0.1         | 4.1                         | 64.3  | 0.8               | 0.8         | 34.1                        |
| 15~20                                  | 17                         | 16.8                                   | 11.6   | 0.1               | 0.3         | 4.8                         | 68.9  | 0.7               | 1.8         | 28.6                        |
| 20~30                                  | 17                         | 24.7                                   | 17.9   | 0.2               | 0.7         | 5.9                         | 72.5  | 0.8               | 2.8         | 23.9                        |
| 30~40                                  | 13                         | 35.6                                   | 25.0   | 0.3               | 1.1         | 9.2                         | 70.3  | 0.8               | 3.1         | 25.8                        |
| 40~60                                  | 9                          | 47.0                                   | 31.4   | 0.4               | 1.9         | 13.3                        | 66.8  | 0.9               | 4.0         | 28.3                        |
| 60~80                                  | 2                          | 62.9                                   | 43.9   | 0.7               | 2.9         | 15.4                        | 69.8  | 1.1               | 4.6         | 24.5                        |
| 80~100                                 | 3                          | 90.6                                   | 66.4   | 1.3               | 4.9         | 18.0                        | 73.3  | 1.4               | 5.4         | 19.7                        |
| 100~150                                | 2                          | 107.1                                  | 76.5   | 1.6               | 6.0         | 23.0                        | 71.4  | 1.5               | 5.6         | 21.5                        |
| 150~                                   | 1                          | 163.9                                  | 130.2  | 2.6               | 10.5        | 20.6                        | 79.4  | 1.6               | 6.4         | 12.6                        |

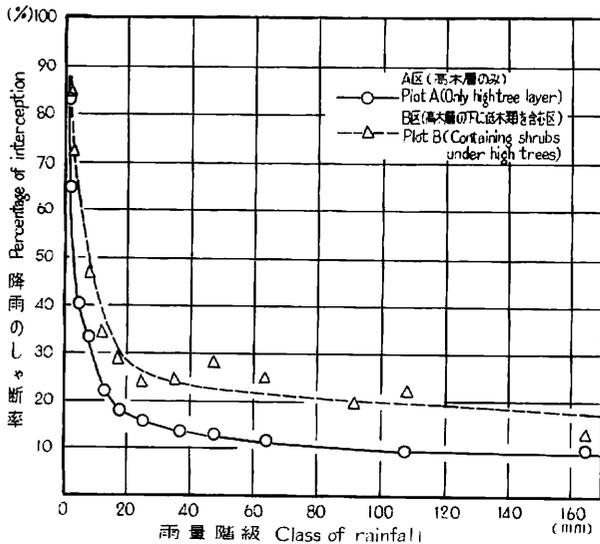


Fig. 5 A区(高木層のみの区)とB区(高木層の下に低木類を含む区)の降雨階級としゃ断率の関係

Relation of interception percentage to class of rainfall size at Plot A (only high tree layer) and Plot B (containing shrubs under high trees).

傾向を示しているが、降雪量の大きい階級での観測値が乏しく、明確な回帰線を描くまでに至らない。

樹幹流下量は、降水量とともに増加することが明らかにされている<sup>13)</sup>。すなわち、樹幹流下量  $S_f$  は

$$S_f = bP_s - a \dots\dots\dots (6)$$

の形であらわされる直線的な関係である。Fig. 6に、本試験の結果をしめしたが、アカマツのみでは、その量が僅少であり、雨量階級が大きくなっても、それほど増加しない。アカマツはブナなどのような平滑な樹皮ではなく、粗であって、枝はほぼ水平に分岐し、樹幹は屈曲し、全体的にみて流下集水しにくい樹性といえよう。前述のように、落葉広葉樹を主体とする下木類の樹幹流下量

Table 9. A区(アカマツ高木のみ)における降雪量階級と林冠通過, しゃ断損失の関係

Relation of throughfall and interception loss to class of snowfall size at A plot

(1956~1959)

| 降雪量階級<br>Class of snowfall size<br>(mm) | 降雪の数<br>Number of snowfall | 平均降水量<br>Average precipitation<br>(mm) | 降水配分 (mm)<br>Millimeter depth of precipitation going to- |                             | 降水配分 (%)<br>Per cent of precipitation going to- |                             |
|---|----------------------------|--|--|-----------------------------|---|-----------------------------|
|   |                            |  | 林冠通過量<br>Throughfall                                     | しゃ断損失量<br>Interception loss | 林冠通過率<br>Throughfall                            | しゃ断損失率<br>Interception loss |
| 0 ~ 2                                   | 125                        | 0.6                                    | 0.2  | 0.4                         | 33.3  | 66.7                        |
| 2 ~ 5                                   | 58                         | 3.5                                    | 1.7  | 1.8                         | 48.6  | 51.4                        |
| 5 ~ 10                                  | 32                         | 7.3                                    | 4.5  | 2.8                         | 61.6  | 38.4                        |
| 10 ~ 15                                 | 20                         | 12.4                                   | 8.3  | 4.1                         | 66.9  | 33.0                        |
| 15 ~ 20                                 | 10                         | 18.3                                   | 14.1   | 4.2                         | 77.0  | 23.0                        |
| 20 ~ 25                                 | 3                          | 23.1                                   | 16.9   | 6.2                         | 73.2  | 26.8                        |
| 25 ~ 30                                 | 3                          | 27.5                                   | 21.9   | 5.6                         | 79.6  | 20.4                        |
| 30 ~ 35                                 | 2                          | 32.1                                   | 24.7   | 7.4                         | 76.9  | 23.1                        |
| 35 ~ 40                                 | 1                          | 37.7                                   | 28.9   | 8.8                         | 76.7  | 23.3                        |

(注) 降雪期間の樹幹流下量は微量なので測定しなかった。

(Comment) Stemflow in snowfall duration did not measured, because it was little or no.

は多い。これらの回帰式は、アカマツのみのA区で

$$S_{fA} = 0.016P_s - 0.144$$

下木を含むB区では

$$S_{fB} = 0.080P_s - 0.770$$

であらわされる。なお、アカマツでは降雨が2~5mmに達しないかぎり、樹幹流下の発生はほとんどなかった。この流下開始点は、(6)式の $S_f$ を0とおくことにより、理論的には算出できるが、風の有無や降雨の状態によってかなり変動する。

#### II.4 要約

(1) アカマツ天然林において、高木層の下に低木類を含む状態と高木層のみの状態について、降水の林冠通過、樹幹流下やしゃ断損失などの配分を、1956年から1960年までの4年間観測した。

(2) アカマツ林の林冠疎密度は、およそ85%に達し、ほとんどうっ閉状態に近かった。そして、樹高5m以下のツノハシバミやヤマウルツなどの落葉広葉低木類は、その下層へ密に発達していた。

(3) 高木層のみの区の年降水量に対する全しゃ断損失率はおよそ22%に達した。これを4月から11月ま

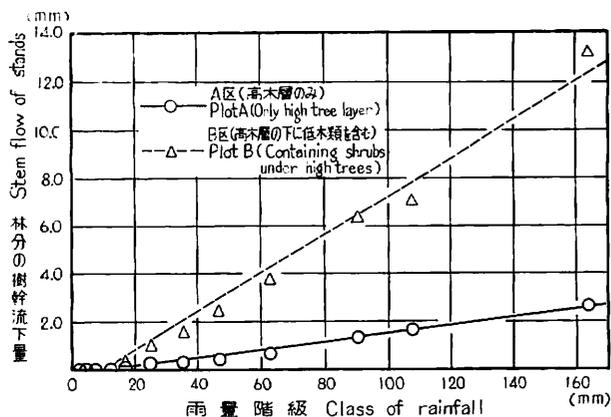


Fig. 6 A区(高木層のみの区)とB区(高木層の下に低木類を含む区)の降雨階級と樹幹流下量の関係

Relation of stem flow to class of rainfall size at Plot A (only high tree layer) and Plot B (containing shrubs under high trees).

での降雨期間に限ると、その値はおよそ19%であった。しかし、下層低木類を含む場合には、同期間でその値はおよそ31%になった。それゆえに、下層低木類のみによるシャ断率はおよそ12%になるわけで、思ったより大きい値であった。

(4) 降雪期間のシャ断損失は、高木層のみの区で観測したが、その値は降雨の場合よりも大きく、およそ29%であった。そのおもな理由として、当地方における1降雪量が一般に少ないということが考えられた。

(5) シャ断量は降雨と降雪の強度の増加とともに直線的に増加した。降雨の場合におけるその関係は、つぎのような一次の回帰式であらわされた、すなわち、高木層のみの区では  $I_A=0.081P_S+1.581$ 、高木層の下に低木類を含む区では  $I_B=0.145P_S+2.946$ 、ここで、 $I_A$ と $I_B$ はシャ断損失量、 $P_S$ は開地の降水量である。

(6) アカマツ林分に対する樹幹流量は、年降雨量の1%以下であり、また、降雨が2~5mmを越すとき、はじめてそれが発生した。降雨強度の増加とともに、樹幹流量は増加する傾向にあり、その関係はつぎのような一次の回帰式であらわされた。すなわち、高木層のみの区では  $S_A=0.016P_S-0.144$ 、また高木層の下に低木類を含む区では  $S_B=0.080P_S-0.770$ 、ここで、 $S_A$ と $S_B$ は林分の樹幹流量、 $P_S$ は開地の降雨量である。

### Ⅲ カラマツ人工林における試験

#### Ⅲ.1 試験地の自然概況

試験場所はⅡの試験と同じ好摩実験林の一部であって、標高およそ230m、東南に面する傾斜20~30°の整一な山腹斜面に成立したカラマツ植栽林である。植栽は昭和13年(1938)春で、観測を開始した当年で28年生であった。林相は単純一斉林で、既往の伐採歴はなく、当初の植栽本数(haあたり3,000本)がほとんど欠けていない。このため一見して過密な状態を示している。対象林分の林分構造の概要は、Fig. 7に示したとおりであるが、岩手地方カラマツ林分収獲表<sup>2)</sup>を参照すると、地位2等に相当する。斜面上部の風衝部に成立したものに、カラマツ先枯病が発生し、このため生育にかなりの障害を与えていることが観察された。下層植生は、過密林分のために比較的少なく、低木層としてミズキ・コゴメウツギなどが点生し、また、地表草本層としてはオクミヤコザサがほぼ全面に疎生している程度であった。土壌は、Ⅰの試験と同様に、岩手山噴火に伴う火山灰および火山放出物を母材とし、その断面形態もほとんど差異がないが、全体的にみてやや乾燥している。土壌型は  $B/d$ (d) で代表されるが、峯部には  $B/B$  も出現する。なお、気候は前掲の Table 1 を参照されたい。

#### Ⅲ.2 試験方法

試験区として、このカラマツ林およそ0.3haを3分し、無処理区(Q)、間伐区(R)、皆伐区(S)を設定した。この試験の主たるねらいは、既往の観測例のないカラマツ林の降水のシャ断機能を明確にし、加えて、間伐による密度減少の影響をはあくすることにある。比較対照のために、隣接するほぼ同齢のアカマツ広葉樹混交林区(T)を加えた。各区の大きさは、斜面長40m、幅員25mの長方形であって、T、Q、R、Sの順に並列している。伐採処理は、観測開始当年の1966年の7月下旬に実施した。間伐は樹型級別の単木の選抜方式によったが、残存木の配置はできるだけ均等に分散するよう留意した。間伐の度合は、幹断面積のおよそ1/2減を基準としたが、この結果本数でおよそ65%、蓄積でおよそ50%伐採された。各區別の林分

構造を、伐採処理前後と試験終了後の各時点で調査し、対照して示したのが Table 10のとおりである。また、各区の代表的な部分の樹冠投影図は、Fig. 8に示した。

降水のしゃ断に関連する各因子の観測方法は、試験Ⅰと大差ないが、その変更したことをおもに説明する。まず、雨量関係(林冠通過量、樹幹流量)は転倒マス式雨量計に電接回数自記器を連結し、自動記録させた。雨量計は幅11cm、長さ20cmの種型のものに統一した。この種は、ビニール製の既製雨種を利用し、種の中に防虫網を全面に張り、落葉などが入り込むのを阻止した。雨量計は、各区につき2本ずつ定間隔をおいて、斜面にそい定置した。受水面積は各区およそ4 m<sup>2</sup>となる。樹幹流量の捕そく装置は、試験Ⅱと全く同様であったが、各区9本の供試木からの分を一括し集水捕そくした。冬季間の雪は、実測式雪量計を採用し、T区を除く各区9個ずつ設置し、毎日定時(9時)に測定した。また、同数の積雪計を雪量計の配置近接点に立て、同時に積雪深を測定した。なお、冬季間の樹幹流量は試験Ⅱと同様に測定しなかった。

しゃ断損失に関連する林内外の蒸発量をはあくするため、紙面蒸発計を各区の地表部に15個ずつ配置し、毎日定時(9時)に測定した。また、落葉状態をはあくするためには、1 m<sup>2</sup>の方形わくをS区を除く各区5個ずつ設置し、毎週1回収集し、絶乾にした後秤量した。さらに、樹葉の着脱や樹冠の拡張などの状態を推測する一助として、積算日射計<sup>16)</sup>を各区1台ずつ設置し、1週間おきにその積算値を測定した。

本試験は1966年9月から1969年8月までの3年間継続したもので、4~11月は降雨期間とし、12~3月は降雪期間として、観測方法を区分して実施した。

### Ⅲ. 3 試験結果ならびに考察

#### (1) 降雨のしゃ断過程およびそれと降雨性格との関係

樹下を利用して雨やどりしたときに経験するように、弱い雨ではほとんどぬれずにすむし、また、ある程度強い雨でもその初期においては同様で、いずれも林冠通過量が少ない。また、樹幹流量も降雨の初期においては多くの場合認められず、ある一定の降雨強度以上で発生し、若干の時間的ずれがみられるのが普通である。もちろん、これらのことは林相とか、降雨時の風などで異なることはいうまでもない。降水のしゃ断能とその過程には、林冠層の持つ貯留容量が主要な役割を果たす。まず、これらのしゃ断過程やそれと降雨の性格との関係を知るために、観測期間中の2つの典型的な荒天期間を取りあげ、検討してみることにする。これらの降雨は、いずれも1968年の8月に発生したもので、荒天期間中の総降雨量はいずれも75mm程

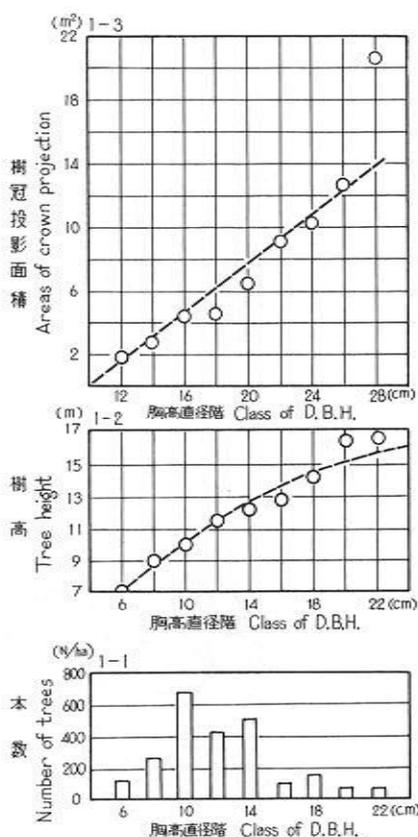


Fig. 7 供試カラマツ林分の構造  
Structure of the experimental Karamatsu (*Larix leptolepis* GORDON) stand.

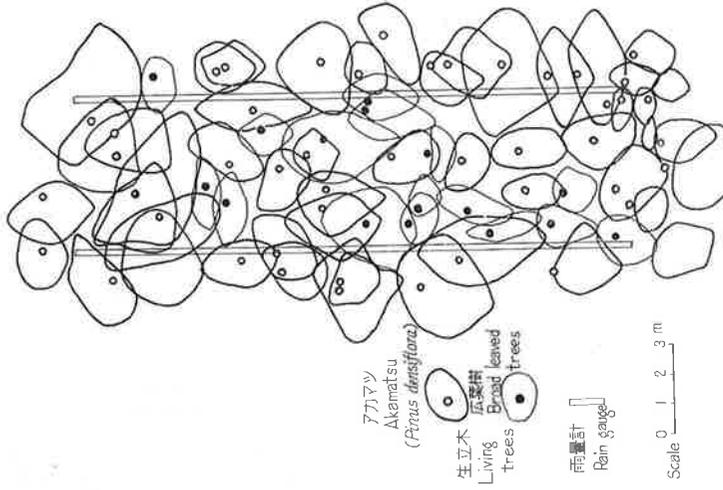


Fig. 8-1 Q区 (カラマツ林無処理区) の樹冠投影と雨量計の配置図

Figure of crown projections and desposition of rain gauge at Plot Q (Karamatsu non-treatment forest).

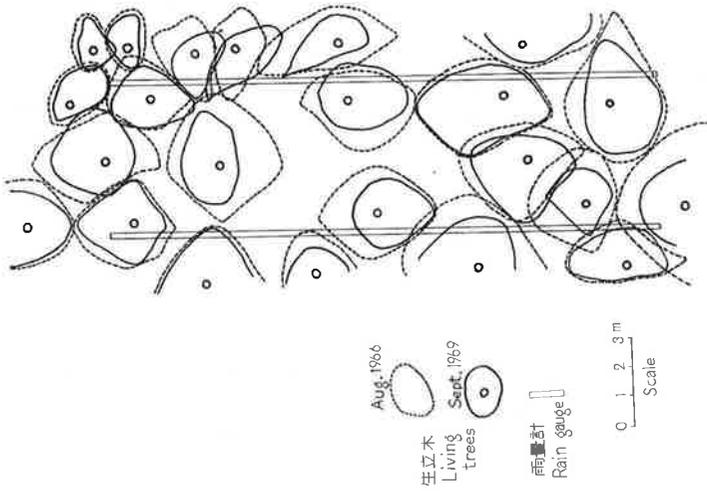


Fig. 8-2 R区 (カラマツ林間伐区) の樹冠投影と雨量計の配置図

Figure of crown projections and desposition of rain gauge at Plot R (Karamatsu thinning forest).

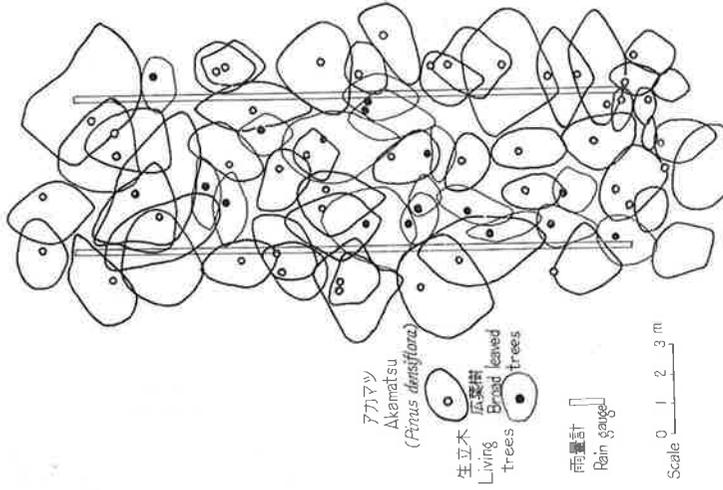


Fig. 8-3 T区 (アカマツ・広葉樹混交林無処理区) の樹冠投影と雨量計の配置図

Figure of crown projections and desposition of rain gauge at Plot T (mixed forest of Akamatsu and broad leaved trees).

Table 10. 試験対象林分の処理前後の林分構造の変化  
Variation of the stand composition at before and after treatment of the experimental stands

| 調査時期<br>Investigated times                            | 樹種<br>Tree species                             | 試験処理<br>Experimental treatments  | ha あたり<br>Per hectare          |   |   | 胸高直径<br>Diameter<br>breast<br>height<br>(cm) | 樹高<br>Tree<br>height<br>(m) | 樹冠疎密度<br>Crown<br>density<br>(%) |
|---|--|----------------------------------|--------------------------------|---|---|--|-----------------------------|----------------------------------|
|   |  |                                  | 本数密度<br>Tree<br>density<br>(N) | 蓄積<br>Growing<br>stock<br>(m <sup>3</sup> ) | 幹断面積<br>Basal area<br>(m <sup>2</sup> ) |  |                             |                                  |
| 処理直前<br>Before treatment<br>(1966, Jul.)              | カラマツ<br>Karamatsu                              | 無処理<br>Non-treatment<br>(Plot Q) | 2,373                          | 172.7                                       | 26.6                                    | $\frac{11.2}{4 \sim 8}$                      | $\frac{10.4}{4 \sim 17}$    | 94.6                             |
|   | カラマツ<br>Karamatsu                              | 間伐<br>Thinning<br>(Plot R)       | 2,218                          | 199.5                                       | 30.1                                    | $\frac{13.3}{4 \sim 24}$                     | $\frac{11.9}{6 \sim 18}$    | 92.2                             |
|   | カラマツ<br>Karamatsu                              | 皆伐<br>Clear cutting<br>(Plot S)  | 2,009                          | 163.6                                       | 23.8                                    | $\frac{12.3}{4 \sim 22}$                     | $\frac{11.2}{5 \sim 17}$    | 92.2                             |
|   | アカマツ・広混交<br>Akamatsu and<br>broad leaved trees | 無処理<br>Non-treatment<br>(Plot T) | 3,335                          | 169.0                                       | 26.6                                    | $\frac{9.6}{4 \sim 22}$                      | $\frac{11.2}{6 \sim 14}$    | 92.3                             |
| 処理直後<br>After treatment<br>(1966, Aug.)               | カラマツ<br>Karamatsu                              | 無処理<br>Non-treatment<br>(Plot Q) | 2,373                          | 172.7                                       | 26.6                                    | $\frac{11.2}{4 \sim 18}$                     | $\frac{10.4}{4 \sim 17}$    | 94.6                             |
|   | カラマツ<br>Karamatsu                              | 間伐<br>Thinning<br>(Plot R)       | 793                            | 98.6  | 15.3                                    | $\frac{15.0}{4 \sim 24}$                     | $\frac{12.8}{6 \sim 18}$    | 53.1                             |
|   | —  | 皆伐<br>Clear cutting<br>(Plot S)  | —                              | —   | —                                       | —  | —                           | —                                |
|   | アカマツ・広混交<br>Akamatsu and<br>broad leaved trees | 無処理<br>Non-treatment             | 3,335                          | 169.0                                       | 26.6                                    | $\frac{9.6}{4 \sim 22}$                      | $\frac{11.2}{6 \sim 14}$    | 92.3                             |
| 試験終了時<br>Completion<br>of experiment<br>(1969, Sept.) | カラマツ<br>Karamatsu                              | 無処理<br>Non-treatment<br>(Plot Q) | 2,274                          | 189.8                                       | 29.7                                    | $\frac{12.4}{4 \sim 20}$                     | $\frac{10.8}{5 \sim 17}$    | 96.2                             |
|   | カラマツ<br>Karamatsu                              | 間伐<br>Thinning<br>(Plot R)       | 759                            | 134.6                                       | 19.7                                    | $\frac{13.4}{10 \sim 28}$                    | $\frac{13.5}{7 \sim 18}$    | 77.5                             |

森林植生による降水のシヤ断についての研究(村井)

度であるが、11～12日の降雨はおよそ36時間にわたって間断的なものであるのに対し、20～21日の降雨はその2/3以下の22時間で連続的に降ったものである。両者とも前48時間には降雨がなく、林冠層や樹幹の表面は乾いた状態にあり、平均風速は前者で1.2～1.5m/s、後者で1.2～2.6m/sであった。

Fig. 9 と Fig. 10は、この両者の降雨、林冠通過、樹幹流下の積算総量としゃ断貯留量などを示したものである。ここで、しゃ断貯留量は、積算降雨量から林冠通過と樹幹流下の積算量の和を差し引くことによって求められる。この量は、一定時間中に植生による貯留量と蒸発によって失われる量の和と考えられる。そして、この曲線の最終値は、各区における地上に到達しない降雨量、すなわち、しゃ断損失量をあらわしている。両図において、林冠通過量と樹幹流下量は、降雨の開始から若干おくれて発生しており、また、当然のことながら降雨曲線の上界に対応して、それらも上昇している。そして、しゃ断貯留曲線もこれに対応して漸増しているが、おおむね一定値に近づく傾向がある。この値は、降雨強度によっても、ある程度変動するようであるが、当該林分のしゃ断能をあらわすものと考えられる。植生による貯留量の最大量は、季節によっても異なるが、枝葉の全表面積の付着水量と一致するはずであるから、ほぼ同時期で差異があるのは蒸発量の差異と風による動揺落下などが原因と考えられる。間断する比較的長期の降雨（11～12日）による積算しゃ断貯留量は、連続する比較的短期の降雨（20～21日）による場合よりも、カラマツ林無処理区およびアカマツ・広葉樹混交林区ともに、いくらか大きくなっている。このおもな原因としては、前述のように前者の場合には、降雨期間の長期なことや降雨の間断によって、蒸発損失量が増加したことによると考えられる。このように、しゃ断の過程やその量は、1降雨期間における強弱の配分や間断、連続などの状態によって変化することがわかった。

## (2) 年別、月別の林冠通過量、樹幹流下量およびしゃ断損失量

Table 11 は、各区における観測した3か年間の全降水について、年別に林冠通過量、樹幹流下量およびしゃ断損失量などの降水配分を示したものである。これらの観測値は、高木林冠層のみによる影響を示すものであって、低木層をはじめ下層植生の影響は含んでいない。前述のように、当該各林分ともに、完全にうっ閉しており、下層植生の発達には少ないうえ、試験のねらいを高木類の樹種の特長や間伐による影響の解明においたので、ここでは下層植生の分は無視することにした。上記の結果によると、うっ閉したカラマツの壮齡林では、年間を通じて全降水のおよそ23%をしゃ断損失する。これを幹断面積1/2減という強度の間伐を行なえば、その値はおよそ15%まで低下する。これに対し、アカマツを主とする混交林では、降雪期間を含まなくても、かなり大きく27%という値を示した。冬季の降雪の場合のしゃ断損失は、降雨のそれよりもかなり大きくなっている。このことは、試験IIの結果においても同様であったが、冠雪の形で長時間空中に滞留される間の蒸発消失による分が多いことと、当該地における1降雪量が少ないことが根本的な原因となっているものと考えられる。

Table 12 は、同様な区分にしたがって月別の降水配分の3か年間の平均値を示したものである。これによると、カラマツ林両区ともに冬季の12～3月の期間のしゃ断率は、他の各月よりかなり多く、Q区では29～44%、R区では15～27%となっているが、これは前述のごとく降雪の分である。また、降雨量の多い夏季7～8月のしゃ断率が比較的小さいし、逆に降雨量の少ない春、秋季において大きくなっている。これは、前者において1降雨量が大きく、かつ、降雨強度が高い雨が多く含まれていることに基づくと考えられる。

## (2) 降水量階級としゃ断損失の関係

試験期間3か年間の全降雨について、雨量階級別に、林冠通過量、樹幹流下量およびしゃ断損失量を示し

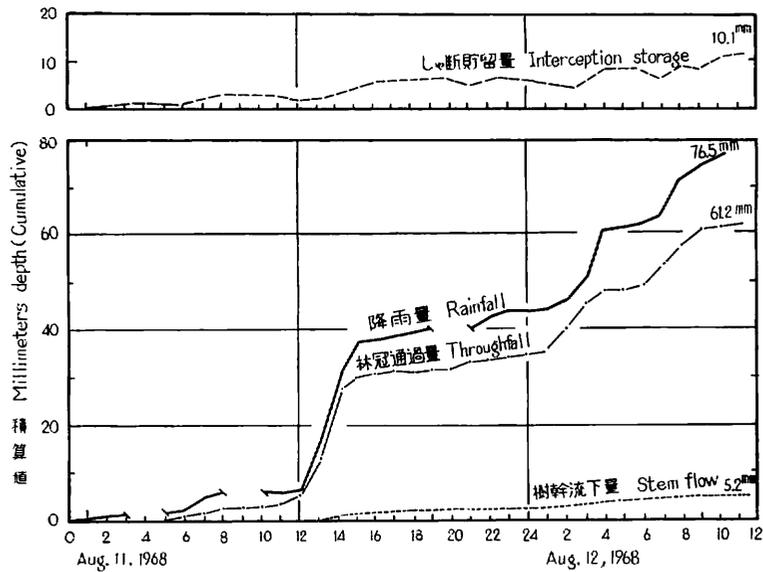


Fig. 9-1 Q区(カラマツ林無処理区)における1968年8月11~12日の降雨, 林冠通過, 樹幹流下の積算量としゃ断貯留量  
Cumulative gross rainfall, throughfall stemflow, and interception storage of August 11 to 12, 1968, Plot Q (Karamatsu non-treatment forest).

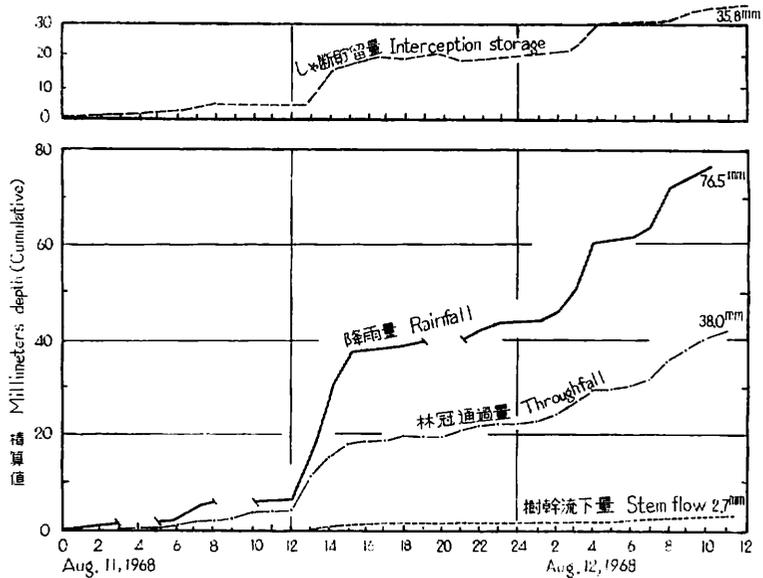


Fig. 9-2 T区(アカマツ, 広葉樹混交林区)における1968年8月11~12日の降雨, 林冠通過, 樹幹流下の積算量としゃ断貯留量  
Cumulative gross rainfall, throughfall, stemflow and interception storage of August 11 to 12, 1968, Plot T (mixed forest of Akamatsu and broad leaved trees).

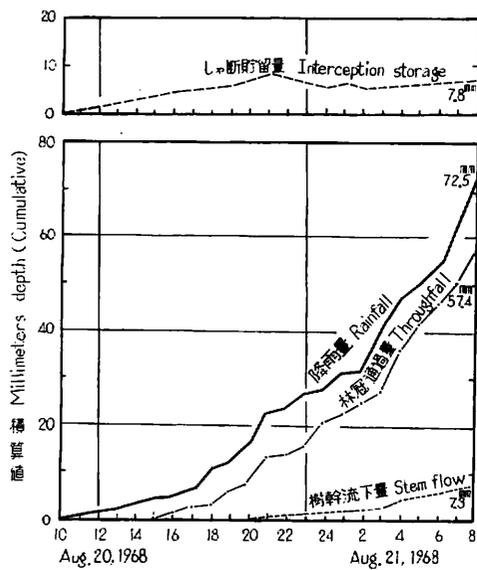


Fig. 10-1 Q区(カラマツ林無処理区)における1968年8月20～21日の降雨, 林冠通過, 樹幹流下の積算量としゃ断貯留量

Cumulative gross rainfall, throughfall, stem-flow and interception storage of August 20 to 21, 1968, Plot Q (Karamatsu non-treatment forest).

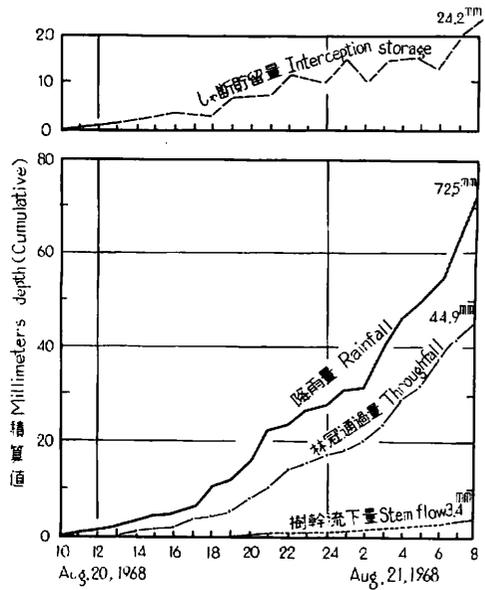


Fig. 10-2 T区(アカマツ, 広葉樹混交林区)における1968年8月20～21日の降雨, 林冠通過, 樹幹流下の積算量としゃ断貯留量

Cumulative gross rainfall, throughfall, stem-flow and interception storage of August 20 to 21, 1968, Plot T (mixed forest of Akamatsu and broad leaved trees).

Table 11. Q区(カラマツ林無処理), R区(カラマツ林間伐) およびT区(アカマツ・広葉樹) Annual distribution of precipitation according to throughfall, stemflow and inter-

| 年<br>Year(Oct.1~<br>Sept. 30) | 年降水量<br>Annual precipitation<br>(mm) | カラマツ林無処理区<br>Karamatsu non-treatment plot (Q) |      |                  |     |                            |      | カラマツ<br>Karamatsu   |      |
|-------------------------------|--------------------------------------|---|------|------------------|-----|----------------------------|------|---------------------|------|
|                               |                                      | 林冠通過<br>Throughfall                           |      | 樹幹流下<br>Stemflow |     | しゃ断損失<br>Interception loss |      | 林冠通過<br>Throughfall |      |
|                               |                                      | (mm)  | (%)  | (mm)             | (%) | (mm)                       | (%)  | (mm)                | (%)  |
| 1966~1967                     | 1089.5                               | 746.9   | 68.5 | 56.0             | 5.1 | 286.6                      | 26.3 | 880.9               | 80.8 |
| Rainfall                      | 840.5                                | 586.3   | 69.7 | 56.0             | 6.6 | 198.2                      | 23.5 | 692.6               | 82.4 |
| Snowfall                      | 249.0                                | 160.0   | 64.4 | —                | —   | 88.4                       | 35.5 | 188.3               | 75.6 |
| 1967~1968                     | 1279.0                               | 925.8   | 72.3 | 62.2             | 4.8 | 291.0                      | 22.7 | 1061.3              | 82.9 |
| Rainfall                      | 1031.0                               | 772.4   | 74.9 | 62.2             | 6.0 | 196.4                      | 19.0 | 879.0               | 85.2 |
| Snowfall                      | 248.0                                | 153.4   | 61.8 | —                | —   | 94.6                       | 38.1 | 182.3               | 73.5 |
| 1968~1969                     | 1123.5                               | 815.8   | 72.6 | 48.9             | 4.3 | 258.8                      | 23.0 | 918.9               | 81.7 |
| Rainfall                      | 750.5                                | 560.1   | 74.6 | 48.9             | 6.5 | 141.5                      | 18.8 | 627.9               | 83.6 |
| Snowfall                      | 373.0                                | 255.7   | 68.5 | —                | —   | 117.3                      | 31.4 | 291.0               | 78.0 |
| Average                       | 1164.0                               | 829.5   | 71.2 | 55.7             | 4.7 | 278.8                      | 23.9 | 953.7               | 81.9 |
| Rainfall                      | 874.0                                | 639.6   | 73.1 | 55.7             | 6.3 | 178.7                      | 20.4 | 733.2               | 83.8 |
| Snowfall                      | 290.0                                | 189.9   | 65.4 | —                | —   | 100.1                      | 34.5 | 220.5               | 76.0 |

(注) T区においては降雪は測定しなかった。

(Comment) Snowfall did not measure in Plot T.

たのが Table 13 である。降水量 ( $P_S$ ) としゃ断損失量 ( $I$ ) との間には、前述のように  $I = aP_S + b$  ( $a$  と  $b$  は定数) が成立する。各区におけるこの関係を求めてみると、つぎの回帰式が得られる。すなわち、

カラマツ無処理区では  $I_Q = 0.106P_S + 1.018$

カラマツ間伐区では  $I_R = 0.065P_S + 0.760$

アカマツ混交林区では  $I_T = 0.251P_S + 0.417$

となり、この関係を雨量に対する%で示すと、Fig. 17 のような双曲線が描かれる。この図が示すように、各区とも雨量20mmを越すまで、しゃ断率は急激に下降し、以後ほぼ一定値に近づいている。

上式における定数  $b$  は、乾いた葉や枝が取り得る水の量であり、また、 $aP_S$  は降雨期間の蒸発や樹皮による吸収量をあらわすので、 $a$  および  $b$  はしゃ断損失を表現する特性値と考えられる。

なお、冬季間の降雪の場合の階級別降水配分を示したのが Table 14 であるが、全体的に資料数が少なく、かつ、高い階級の降雪がないので、降雨の場合と同様な関係式は求めがたい。

(3) 間伐後のしゃ断損失の変化

植栽後30年に達しようとする放置状態の林分を、本数で65%、蓄積で50%の強度の間伐を一度に実施することは、風雪などの被害を考慮した場合、好ましい施業技術とはいいがたいかもしれない。ここでは、試験処理の立場から強行したものであったが、伐採後3か年の試験期間中被害が発生しなかった。樹冠疎密度は、間伐によって92%から52%に一挙に低下したが、試験の終了した1969年の秋季には、それは78%まで回復した。毎年の落葉量の調査結果は、Table 15 のとおりであるが、思ったよりも間伐区と無処理区の間に大きな差が認められない。また、R区において、間伐後年数の経過とともに落葉量は漸増する傾向が認められるが、それは顕著なものではない。これらの事実は強度の間伐をしたといっても、伐採木は被圧された劣勢木が主であったためと判断される。間伐後3か年経過した段階で、疎密度が25%程度回復しており、この変化は林分のしゃ断能に多少とも影響を与えたのではないかと推察される。この事実を究明するために、3

混交林無処理)における林冠通過、樹幹流下およびしゃ断損失別に、mmと%で示した年別の降水量  
ception loss, in millimeters depth and percent of precipitation at plots of Q, R and T

| 林間伐区<br>thinning plot (R) |     |                            |      | アカマツ・広葉樹混交林無処理区<br>Akamatsu and broad leaved trees non-treatment<br>plot (T) |      |                  |     |                               |      |
|---------------------------|-----|----------------------------|------|--|------|------------------|-----|-------------------------------|------|
| 樹幹流下<br>Stemflow          |     | しゃ断損失<br>Interception loss |      | 林冠通過<br>Throughfall  |      | 樹幹流下<br>Stemflow |     | しゃ断損失<br>Interception<br>loss |      |
| (mm)                      | (%) | (mm)                       | (%)  | (mm)   | (%)  | (mm)             | (%) | (mm)                          | (%)  |
| 25.4                      | 2.3 | 183.2                      | 16.8 | —  | —    | —                | —   | —                             | —    |
| 25.4                      | 3.0 | 122.5                      | 14.5 | 594.9  | 70.7 | 16.9             | 2.0 | 228.7                         | 27.2 |
| —                         | —   | 60.7                       | 24.4 | —  | —    | —                | —   | —                             | —    |
| 21.5                      | 1.6 | 196.2                      | 15.3 | —  | —    | —                | —   | —                             | —    |
| 21.5                      | 2.0 | 130.5                      | 12.6 | 742.4  | 72.0 | 17.6             | 1.7 | 271.0                         | 26.2 |
| —                         | —   | 65.7                       | 26.4 | —  | —    | —                | —   | —                             | —    |
| 20.1                      | 1.7 | 184.5                      | 16.4 | —  | —    | —                | —   | —                             | —    |
| 20.1                      | 2.6 | 102.5                      | 13.6 | 525.6  | 70.0 | 12.7             | 1.6 | 212.2                         | 28.2 |
| —                         | —   | 82.0                       | 21.9 | —  | —    | —                | —   | —                             | —    |
| 22.3                      | 1.9 | 189.0                      | 16.2 | —  | —    | —                | —   | —                             | —    |
| 22.3                      | 2.5 | 118.5                      | 13.5 | 620.9  | 71.0 | 15.7             | 1.7 | 237.4                         | 27.1 |
| —                         | —   | 69.5                       | 23.9 | —  | —    | —                | —   | —                             | —    |

Table 12. Q区 (カラマツ林無処理), R区 (カラマツ林間伐) およびT区 (アカマツ・広葉樹)  
Monthly distribution of precipitation according to throughfall, stem flow and inter-

| 月<br>Month<br>(1966~1969) | 月降水量<br>Monthly precipitation<br>(mm) | カラマツ林無処理区<br>Karamatsu non-treatment plot (Q) |      |                  |     |                            |      | カラマツ<br>Karamatsu   |      |
|---------------------------|---------------------------------------|---|------|------------------|-----|----------------------------|------|---------------------|------|
|                           |                                       | 林冠通過<br>Throughfall                           |      | 樹幹流下<br>Stemflow |     | しゃ断損失<br>Interception loss |      | 林冠通過<br>Throughfall |      |
|                           |                                       | (mm)  | (%)  | (mm)             | (%) | (mm)                       | (%)  | (mm)                | (%)  |
| Jan.*                     | 64.3                                  | 40.9  | 63.6 | —                | —   | 23.4                       | 36.4 | 48.1                | 74.8 |
| Feb.*                     | 36.6                                  | 21.7  | 59.2 | —                | —   | 14.9                       | 40.7 | 26.4                | 72.1 |
| Mar.*                     | 79.6                                  | 53.1  | 66.7 | —                | —   | 26.5                       | 33.2 | 61.2                | 76.8 |
| Apr.                      | 74.0                                  | 52.6  | 71.0 | 7.2              | 9.7 | 14.2                       | 19.1 | 60.5                | 81.7 |
| May                       | 88.0                                  | 61.3  | 69.6 | 7.8              | 8.8 | 18.9                       | 21.4 | 69.8                | 79.3 |
| Jun.                      | 60.7                                  | 37.1  | 61.1 | 3.3              | 5.4 | 20.3                       | 33.4 | 44.3                | 72.9 |
| Jul.                      | 140.5                                 | 109.2   | 77.7 | 8.6              | 6.1 | 22.7                       | 16.1 | 123.8               | 88.1 |
| Aug.                      | 215.0                                 | 167.7   | 78.0 | 11.0             | 5.1 | 36.3                       | 16.8 | 192.5               | 89.5 |
| Sept.                     | 138.3                                 | 106.3   | 76.8 | 7.9              | 5.7 | 24.1                       | 17.4 | 123.2               | 89.0 |
| Oct.                      | 95.3                                  | 64.4  | 67.5 | 5.8              | 6.0 | 25.1                       | 26.3 | 72.2                | 75.7 |
| Nov.                      | 62.2                                  | 39.9  | 64.1 | 4.1              | 6.5 | 18.2                       | 29.2 | 46.9                | 75.4 |
| Dec.*                     | 109.3                                 | 74.1  | 67.7 | —                | —   | 35.2                       | 32.2 | 84.7                | 77.4 |

\* 降雪期間 Snowfall duration.

Table 13. Q区 (カラマツ林無処理), R (カラマツ林間伐) およびT区 (アカマツ・広)  
Relation of throughfall, stemflow and interception loss to class of rainfall

| 雨量階級<br>Class of<br>rainfall size<br>(mm) | 降雨の数<br>Number<br>of<br>rainfall | 平均降水量<br>Average<br>precipitation<br>(mm) | カラマツ無処理区(Q)<br>Karamatsu non-treatment plot (Q) |      |                  |     |                            |       |
|---|----------------------------------|---|---|------|------------------|-----|----------------------------|-------|
|   |                                  |   | 林冠通過<br>Throughfall                             |      | 樹幹流下<br>Stemflow |     | しゃ断損失<br>Interception loss |       |
|   |                                  |   | (mm)  | (%)  | (mm)             | (%) | (mm)                       | (%)   |
| 0~ 1                                      | 52                               | 0.5                                       | 0.0   | 0.0  | 0.0              | 0.0 | 0.5                        | 100.0 |
| 1~ 3                                      | 71                               | 1.7                                       | 0.4   | 23.5 | 0.0              | 0.0 | 1.3                        | 76.5  |
| 3~ 6                                      | 41                               | 4.0                                       | 2.3   | 57.5 | 0.2              | 5.0 | 1.5                        | 37.5  |
| 6~ 10                                     | 32                               | 7.4                                       | 5.1   | 68.9 | 0.4              | 5.4 | 1.9                        | 25.7  |
| 10~ 15                                    | 34                               | 11.8                                      | 8.7   | 73.7 | 0.7              | 5.9 | 2.4                        | 20.3  |
| 15~ 20                                    | 20                               | 17.5                                      | 13.4  | 76.6 | 1.1              | 6.3 | 3.0                        | 17.1  |
| 20~ 30                                    | 8                                | 22.5                                      | 17.5  | 77.8 | 1.5              | 6.7 | 3.5                        | 15.6  |
| 30~ 40                                    | 5                                | 33.5                                      | 26.6  | 79.4 | 2.3              | 6.9 | 4.6                        | 13.7  |
| 40~ 60                                    | 5                                | 48.4                                      | 38.9  | 80.4 | 3.3              | 6.8 | 6.2                        | 12.8  |
| 60~ 80                                    | 6                                | 66.3                                      | 53.7  | 81.0 | 4.6              | 6.9 | 8.0                        | 12.1  |
| 80~100                                    | 1                                | 91.0                                      | 74.0  | 81.3 | 6.3              | 6.9 | 10.7                       | 11.8  |
| 100~150                                   | 2                                | 123.8                                     | 101.0   | 81.7 | 8.6              | 6.9 | 14.1                       | 11.4  |

混交林無処理)における林冠通過, 樹幹流下およびしゃ断損失別に, mmと%で示した月別の降水量  
ception loss, in millimeters depth and percent of precipitation at plots of Q, R and T

| 林間伐区<br>thinning plot (R) |     |                            |      | アカマツ・広葉樹混交林無処理区<br>Akamatsu and broad leaved trees non-treatment plot (T) |      |                  |     |                            |      |
|---------------------------|-----|----------------------------|------|---|------|------------------|-----|----------------------------|------|
| 樹幹流下<br>Stemflow          |     | しゃ断損失<br>Interception loss |      | 林冠通過<br>Throughfall   |      | 樹幹流下<br>Stemflow |     | しゃ断損失<br>Interception loss |      |
| (mm)                      | (%) | (mm)                       | (%)  | (mm)  | (%)  | (mm)             | (%) | (mm)                       | (%)  |
| —                         | —   | 16.2                       | 25.2 | —   | —    | —                | —   | —                          | —    |
| —                         | —   | 10.2                       | 27.8 | —   | —    | —                | —   | —                          | —    |
| —                         | —   | 18.4                       | 23.1 | —   | —    | —                | —   | —                          | —    |
| 3.3                       | 4.4 | 10.2                       | 13.7 | 50.3  | 67.9 | 0.9              | 1.2 | 22.8                       | 30.8 |
| 3.2                       | 3.6 | 15.0                       | 17.0 | 61.5  | 69.8 | 0.9              | 1.0 | 25.6                       | 29.0 |
| 1.7                       | 2.8 | 14.7                       | 24.2 | 42.4  | 69.8 | 0.8              | 1.3 | 17.5                       | 28.8 |
| 3.7                       | 2.6 | 13.0                       | 9.2  | 105.8   | 75.3 | 3.5              | 2.4 | 31.2                       | 22.2 |
| 4.3                       | 2.0 | 18.2                       | 8.4  | 159.7   | 74.2 | 5.0              | 2.3 | 50.3                       | 23.3 |
| 2.2                       | 1.6 | 12.9                       | 9.3  | 102.5   | 74.1 | 3.0              | 2.1 | 32.8                       | 23.7 |
| 2.0                       | 2.0 | 21.1                       | 22.1 | 59.4  | 62.3 | 1.1              | 1.1 | 34.8                       | 36.5 |
| 1.9                       | 3.0 | 13.4                       | 21.5 | 39.3  | 63.1 | 0.6              | 0.9 | 22.3                       | 35.8 |
| —                         | —   | 24.6                       | 22.5 | —   | —    | —                | —   | —                          | —    |

葉樹混交林無処理)における雨量階級と林冠通過, 樹幹流下およびしゃ断損失との関係  
size at plots of Q, R and T

| カラマツ間伐区 (R)<br>Karamatsu thinning plot (R) |      |                  |     | アカマツ・広葉樹混交林無処理区 (T)<br>Akamatsu and broad leaved trees non-treatment plot (T) |       |                     |      |                  |     |                            |       |
|--|------|------------------|-----|---|-------|---------------------|------|------------------|-----|----------------------------|-------|
| 林冠通過<br>Throughfall                        |      | 樹幹流下<br>Stemflow |     | しゃ断損失<br>Interception loss  |       | 林冠通過<br>Throughfall |      | 樹幹流下<br>Stemflow |     | しゃ断損失<br>Interception loss |       |
| (mm)                                       | (%)  | (mm)             | (%) | (mm)  | (%)   | (mm)                | (%)  | (mm)             | (%) | (mm)                       | (%)   |
| 0.0  | 0.0  | 0.0              | 0.0 | 0.5   | 100.0 | 0.0                 | 0.0  | 0.0              | 0.0 | 0.5                        | 100.0 |
| 0.7  | 41.7 | 0.1              | 5.9 | 0.9   | 52.9  | 0.9                 | 52.9 | 0.0              | 0.0 | 0.8                        | 47.1  |
| 2.8  | 70.0 | 0.1              | 2.5 | 1.1   | 27.5  | 2.6                 | 65.0 | 0.0              | 0.0 | 1.4                        | 35.0  |
| 5.9  | 79.1 | 0.2              | 2.7 | 1.3   | 17.6  | 5.0                 | 67.6 | 0.1              | 1.4 | 2.3                        | 31.1  |
| 9.9  | 83.9 | 0.3              | 2.5 | 1.6   | 13.6  | 8.2                 | 69.5 | 0.2              | 1.7 | 3.4                        | 28.8  |
| 15.1                                       | 86.3 | 0.5              | 2.9 | 1.9   | 10.9  | 12.3                | 70.3 | 0.4              | 2.3 | 4.8                        | 27.4  |
| 19.6                                       | 87.1 | 0.6              | 2.7 | 2.3   | 10.2  | 15.9                | 70.7 | 0.5              | 2.2 | 6.1                        | 27.1  |
| 29.7                                       | 88.6 | 0.9              | 2.7 | 2.9   | 8.7   | 23.8                | 71.0 | 0.8              | 2.4 | 8.9                        | 26.6  |
| 43.2                                       | 89.5 | 1.2              | 2.5 | 4.0   | 8.3   | 34.5                | 71.3 | 1.3              | 2.7 | 12.6                       | 26.0  |
| 59.5                                       | 89.7 | 1.7              | 2.6 | 5.1   | 7.7   | 47.4                | 71.5 | 1.8              | 2.7 | 17.1                       | 25.8  |
| 82.0                                       | 90.1 | 2.3              | 2.5 | 6.7   | 7.4   | 65.2                | 71.6 | 2.5              | 2.7 | 23.3                       | 25.6  |
| 111.9                                      | 90.7 | 3.1              | 2.5 | 8.8   | 7.1   | 88.8                | 71.7 | 3.5              | 2.8 | 31.5                       | 25.4  |

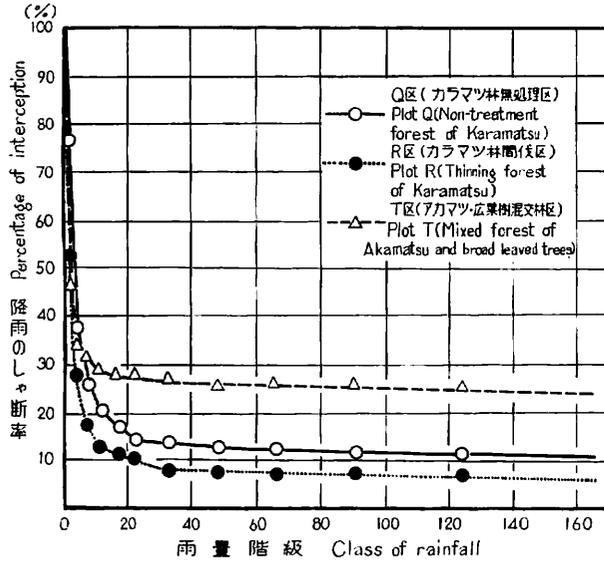


Fig. 11 Q区 (カラマツ林無処理区), R区 (間伐区) および T区 (アカマツ・広葉樹混交林無処理区) の降雨階級としゃ断率の関係

Relation of interception percentage to class of rain fall size at Plot Q (Karamatsu non-treatment forest), Plot R (Karamatsu thinning forest) and T (mixed forest of Akamatsu and broad leaved trees).

Table 14. Q区 (カラマツ林無処理) および R区 (カラマツ林間伐) における降雪階級と林冠通過, しゃ断損失の関係  
Relation of throughfall and interception loss to class of snowfall size at Plots Q and R

| 降雪階級<br>Class of snowfall size<br>(mm) | 降雪の数<br>Number of snowfall | 平均降水量<br>Average precipitation<br>(mm) | カラマツ林無処理区<br>Karamatsu non-treatment plot (Q) |      |                            |      | カラマツ林間伐区<br>Karamatsu thinning plot (R) |      |                            |      |
|--|----------------------------|--|---|------|----------------------------|------|---|------|----------------------------|------|
|  |                            |  | 林冠通過<br>Throughfall                           |      | しゃ断損失<br>Interception loss |      | 林冠通過<br>Throughfall                     |      | しゃ断損失<br>Interception loss |      |
|  |                            |  | (mm)  | (%)  | (mm)                       | (%)  | (mm)                                    | (%)  | (mm)                       | (%)  |
| 0 ~ 2                                  | 50                         | 1.0                                    | 0.1   | 10.0 | 0.9                        | 90.0 | 0.4                                     | 40.0 | 0.6                        | 60.0 |
| 2 ~ 5                                  | 60                         | 2.9                                    | 1.6   | 55.1 | 1.3                        | 44.9 | 2.0                                     | 68.8 | 0.9                        | 31.0 |
| 5 ~ 10                                 | 29                         | 7.0                                    | 4.8   | 68.5 | 2.2                        | 31.4 | 5.5                                     | 78.5 | 1.5                        | 21.4 |
| 10 ~ 15                                | 12                         | 11.9                                   | 8.6   | 72.2 | 3.3                        | 27.7 | 9.6                                     | 80.6 | 2.3                        | 19.3 |
| 15 ~ 20                                | 6                          | 16.8                                   | 12.4  | 73.8 | 4.4                        | 26.1 | 13.7                                    | 81.5 | 3.1                        | 18.4 |
| 20 ~ 25                                | 3                          | 22.0                                   | 16.5  | 75.0 | 5.5                        | 25.0 | 18.1                                    | 82.2 | 3.9                        | 17.7 |
| 25 ~ 30                                | 3                          | 26.0                                   | 19.6  | 75.3 | 6.4                        | 24.6 | 21.4                                    | 82.3 | 4.6                        | 17.6 |
| 30 ~ 35                                | 2                          | 31.0                                   | 23.5  | 75.8 | 7.5                        | 24.1 | 25.6                                    | 82.5 | 5.4                        | 17.4 |

(注) 降雪期間の樹幹流下量は、微量なので測定しなかった。  
(Comment) Stemflow in snowfall duration did not measured, because it was little or no.

か年間の全降雨量について、各年別に整理して、雨量階級としゃ断量の関係と比較検討してみた。これによると、無処理区においては年間の差異は全く認められなかったが、間伐区では Fig. 12 のように、年ごとにしゃ断量が漸増の傾向がある。これはおもに樹枝葉量の増加による影響と考えられるが、その増加量は顕著なものではなく、統計的処理の結果、5%の有意水準で差異が認められない。結局、間伐後において、若干の樹冠拡張があったが、しゃ断損失量に明らかな差異を与えるまでには至らず、3年間有意な変化がなかったといえよう。参考までに皆伐区 (開地) に対する間伐区の地表部蒸発量を、各年別に示したのが

Table 15. Q区 (カラマツ林無処理) およびR区 (カラマツ林間伐) における毎年の落葉量  
Annual defoliation weight at plots of Q, R and T

| 年<br>Year | カラマツ林無処理区<br>Karamatsu non-treatment plot (Q) |                              | カラマツ林間伐区<br>Karamatsu thinning plot (R) |                              | アカマツ・広葉樹<br>混交林無処理区<br>Akamatsu and<br>broad leaved<br>trees plot (T) |
|-----------|---|------------------------------|---|------------------------------|---|
|           | 絶乾重<br>Oven-dry<br>weight (ton/ha)            | 相対値<br>Relative<br>value (%) | 絶乾重<br>Oven-dry<br>weight (ton/ha)      | 相対値<br>Relative<br>value (%) | 絶乾重<br>Oven-dry<br>weight (ton/ha)                                    |
| 1966      | 2.70  | 100                          | 2.37                                    | 87.7                         | 1.96  |
| 1967      | 2.88  | 100                          | 2.58                                    | 89.5                         | 2.00  |
| 1968      | 3.03  | 100                          | 2.76                                    | 91.0                         | 2.09  |
| Average   | 2.87  | 100                          | 2.57                                    | 89.5                         | 2.03  |

\* アカマツ落葉のみ Only Akamatsu (*Pinus densiflora*) defoliation.

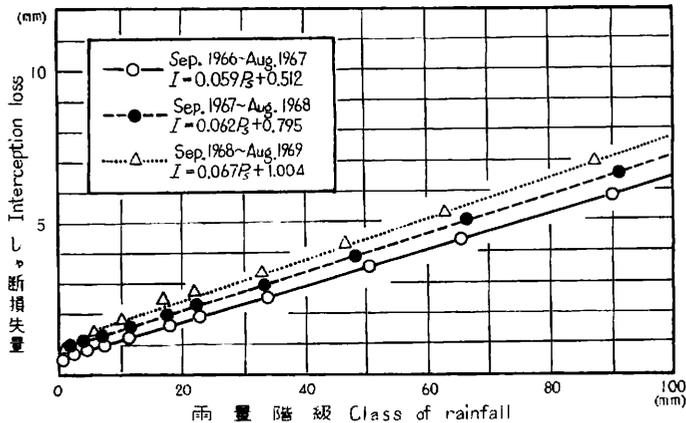


Fig. 12 各年別のR区 (カラマツ間伐区) の雨量階級としゃ断損失量の関係  
Relation of interception loss to class of rainfall size at Plot R (Karamatsu thinning forest) for each year.

Fig. 13 である。これによってわかるように、3か年間の蒸発量においてもほとんど差異が認められない。

(4) 季節によるしゃ断損失の差異

カラマツは落葉針葉樹であり、着葉時と落葉後の無葉時では、降水のしゃ断条件にある程度の変化を与えるのではないかと考えられる。常緑樹のアカマツにしても、秋季には着葉量のかなりの部分を集中的に落下させる。当該林分において、落葉量を毎週定期的に測定した結果を示したのが、Fig. 14 と Fig. 15 である。これによると、カラマツは年によって多少の変動がみられるとしても、10月の下旬から11月下旬までの1か月間に集中的に落葉する。一方、アカマツについてみると、各時期ともわずかながら落葉はあるが、9月下旬から11月上旬にかけて集中することが明らかである。丸山ら<sup>17)</sup>が当地方で調査した資料では、ほぼ同齡のアカマツ林分の着葉総量はおよそ5 t/ha (絶乾量) と推定されており、したがって年間本試験における測定結果のおよそ2 t/haという数値は、着葉総量のおよそ1/3量が年間を通し落葉するというを示している。

カラマツが春季開葉し始め、夏季完全に着葉し、秋季に落葉する過程を、林内照度の測定結果と対応させ

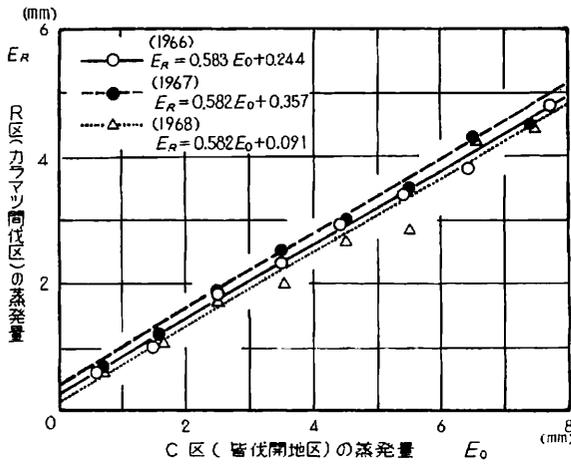


Fig. 13 各年別の皆伐開地に対するR区(カラマツ間伐区)の地表部蒸発量

Evaporation from ground surface at Karamatsu thinning plot for open land by clear cutting for each year.

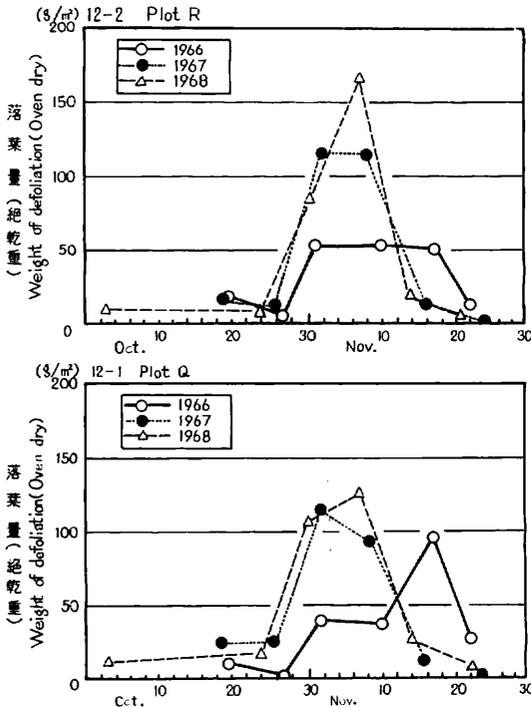


Fig. 14 Q区(カラマツ林無処理区)およびR区(間伐区)における落葉の時期別捕そく量

Seasonal catching amount of the defoliation at non-treatment plot and thinning plot of Karamatsu.

て示したのが、Fig. 16 である。この照度は皆伐区(開地)を100とする相対値で示している。これによると、カラマツ両区においては、葉の着脱と相対照度との間には、かなり密接な関係が認められる。すなわち、開葉の始まる5月上旬から、急激に照度が減少し、完全に着葉する6月上旬から10月上旬まで、おおむね一定値を示しており、その後の落葉が始まるとともに、急激に増大している。このように、カラマツに関する限り、その葉の着脱状態からみて、一応6~9月の着葉期間と4, 5, 10, 11月の無葉期間(厳密には5月と10月は一部着葉している)に大別することができる。観測した3か年間の降雨を、上記の2期間に整理して、雨量階級別のシャ断量の関係を示すと Fig. 17 のとおりとなる。これによると、着葉期間のシャ断損失が無葉期間のそれよりも明らかに大きな傾向を示しており、統計的処理の結果でも5%の水準で有意な差異が認められている。ここで、回帰式の常数  $b$  の変化は、葉の有無による樹冠の保持水量の差異と考えられ、また、 $a$  は葉の有無はもちろんのこと蒸発強度などの気象条件に左右されるものと考えられる。しかし、前掲の Table 1 の気候表から考察すると、シャ断損失に直接関連をもつ蒸発レートは、春季4~5月が高いため秋季10~11月が低くとも、無葉期間が4か月平均では、着葉期間4か月平均よりもやや高くなっている。また、蒸発に関連する気温は着葉期間の方が高いけれども、湿度が高くしかも風速が小さい傾向がある。このように、着葉期間の方が蒸発強度が必ずしも高いとはいいがたく、気象条件の関連よりも葉そのものによる直接的なシャ断作用に基づく方が大きいと考えられ

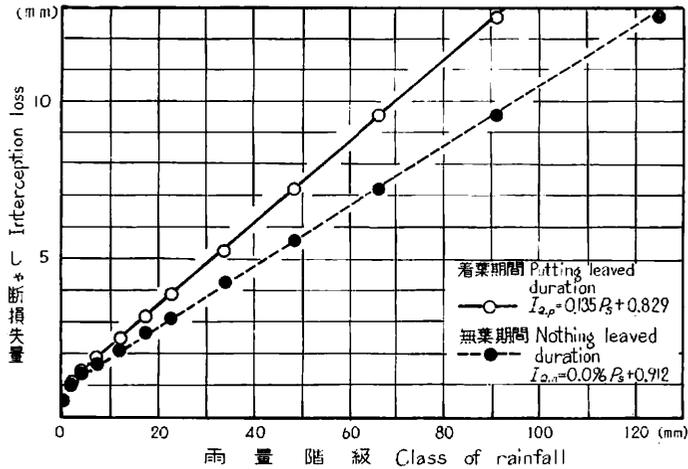


Fig. 17 Q区 (カラマツ林無処理区) における着葉, 無葉の両期間別のしゃ断損失量と雨量階級の関係  
Relation of interception loss to class of rainfall size for two duration storm of putting leave and nothing leave at Plot Q (non-treatment forest of Karamatsu).

(5) カラマツとアカマツの単木および林分の樹幹流下量

前掲の Table 11 でも明らかのように, カラマツの樹幹流下量はアカマツにくらべてかなり大きく, 降雨総量の 6.3% に達することが認められた。これらの値は, 供試本数各 9 本を総括した水量を, 林分の本数倍し, その面積あたりに示したものである。Q, R, T の各區別に, 林分の樹幹流下量 ( $S_f$ ) と降雨階級 ( $P_s$ ) との関係を求めたところ, つぎに示す一次回帰式に適合することがわかった。すなわち,

カラマツ林無処理区 (Q)  $S_{f,q} = 0.070P_s - 0.083$

カラマツ林間伐区 (R)  $S_{f,r} = 0.024P_s - 0.060$

アカマツ・広葉樹混交林区 (T)  $S_{f,t} = 0.028P_s - 0.074$

さらに, これら樹種間の差をより明確にするために, それぞれの供試木の樹幹投影面積あたりの樹幹流下量を, 降雨階級別に示したのが Fig. 18 である。両者の関係はつぎの一次回帰式で示される。すなわち,

カラマツ  $S_{f,a} = 0.049P_s - 0.070$

アカマツ  $S_{f,k} = 0.039P_s - 0.219$

観測結果によると, カラマツの場合 1~3 mm というアカマツよりもやや弱い降雨で, 樹幹流下が発生することが認められている。カラマツの樹皮は, アカマツにくらべてそれほど平滑ではないが樹幹流下が発生しやすく, かつ, その量も多いのは, 主として通直な樹幹と集水しやすい枝付きによるものと考えられる。また, 間伐した結果, 本数密度が減少したため, 単位面積あたりの樹幹流下量は当然少なくなるが, 単木の樹冠投影面積あたりについて同様に計算した結果では, 無処理のそれとほとんど差異がなかった。ただ, 風による横なぐりの雨が樹幹に衝突するような場合には, 弱い雨でも発生することを観察している。

試験Ⅱのアカマツ林分よりも, 当該試験のアカマツ・広葉樹混交林分の方が, 樹幹流下量が多かった。前者より後者の方が林齢が低く, かつ, 直径樹高がやや小さい。既往の判定結果からみると樹幹基部面積と樹幹投影面積の大きいほど, 樹幹流下量が多くなることが明らかにされているが, ここではそれと反対の結果

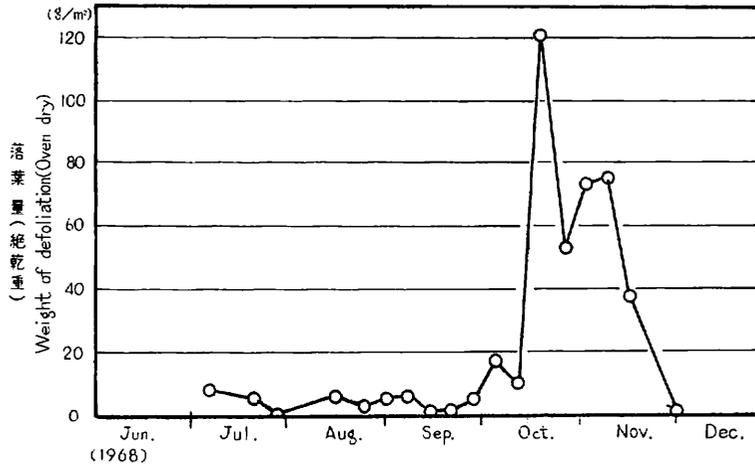


Fig. 15 T区 (アカマツ・広葉樹混交林区) におけるアカマツ落葉の時期別捕そく量  
Seasonal catching amount of Akamatsu defoliation at non-treatment plot of mixed forest by Akamatsu and broad leaved trees.

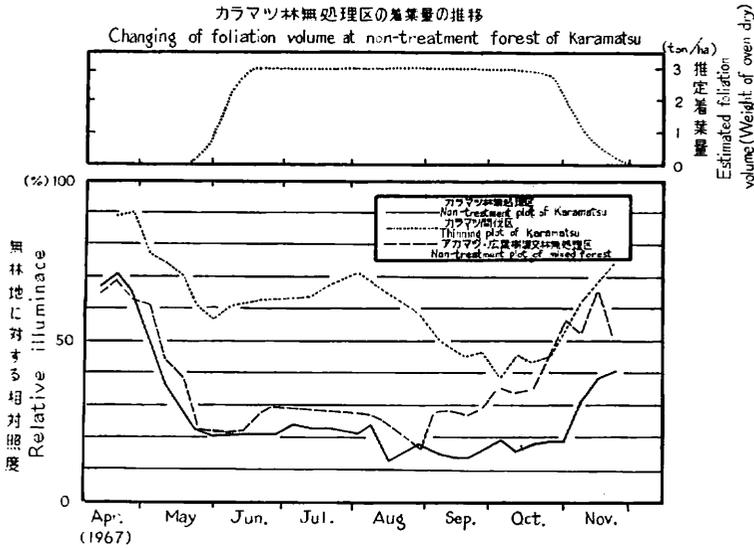


Fig. 16 各区の着葉量の推移と林内の相対照度  
Changing amount of foliage and relative illuminance at each plot.

る。アカマツについては、カラマツほどに明確ではなかったが、上記の2期間においてしゃ断損失量に若干の差が認められた。これは常緑樹であっても、夏季は秋季や春季にくらべて着葉量に差があることが関与したのかもしれない。なお、KITTRIDGE<sup>13)</sup>によると北ウイソコンシン州の Sugar maple-hemlock の森林では、MICHELLは落葉後の秋季において15.6%しゃ断率であったのに比較して、着葉していた春季において24.6%という数値を記録したと述べている。

た。そのおもな理由は両者の樹木の形態の差異、すなわち前者は後者に比較して樹幹が通直で、幹の表面のあらさや枝付き状態に差異があることなどが考えられた。降雨階級 ( $P_S$ ) と樹幹流下量 ( $S_f$ ) の関係は、つぎのような一次回帰式に適合することがわかった。すなわち、各区の林分を対象としては、カラマツ林無処理区(Q)  $S_{f,q}=0.070P_S-0.083$ , カラマツ林間伐区(R)  $S_{f,r}=0.024P_S-0.060$ , アカマツ・広葉樹混交林区(T)  $S_{f,t}=0.028P_S-0.074$ であり、両樹種の単木を対象としては、カラマツ  $S_{f,a}=0.049P_S-0.070$ , アカマツ  $S_{f,k}=0.039P_S-0.219$ である。

#### Ⅳ 地床植生および落葉地被物の保水試験

##### Ⅳ. 1 試験の方法

高木および低木層を通り抜けた降水は、さらに地床植生によってその一部がしゃ断される。そして、地上に到達した分も、土壌にしみこむ前に、その一部が地表に集積した落葉地被物によってしゃ断される。A<sub>0</sub>層によるしゃ断量の多くは、その構成成分である未分解の落葉や分解腐植化のすすんだ有機物によって吸水、保留される。これら地床植生および落葉地被物のしゃ断量は、現実の降雨を対象にして、観測することが容易でない。このために、供試物をできるだけ自然状態のまま室内に持ち帰り、実験的にはあくすることにした。

まず、地床植生については Table 16 のように、直立型のクマイザサ・ヨモギ、そう生型のヒカゲスゲ、ほ伏型のチヂミザサ・オニドコロの計5種を選んで実験を行なった。すなわち、実験直前に地ぎわ部から切断した試料から数本または1株を取り、油粘土板上に自然形態を再現するようにセットし、板の表面と植物の接着部にパラフィンをシールし、噴霧器によって散水を行なった。噴霧の持続期間は1分間程度とし、十分植物全表面が湿めるようにした。そして噴霧前後の重量は自動ばかりで連続的に測定した。なお、この期間中の植物体からの蒸散量は、別途噴霧しないものについて、同期間の蒸散量を測定した結果、微量なので無視することにした。一方、落葉地被物は、針葉樹6樹種、広葉樹5樹種、あわせて11樹種について、散水法および浸水法で実験を行なった。すなわち、30cmの方形で、現実の平均的厚さに、A<sub>0</sub>層を自然状態に採取し、5mm目の金網でつくった同じ大きさの容器に入れた。散水実験の場合は、これを自動ばかりに連結し、降雨強度50mm/hrのシャワー式人為降雨を約1時間降らせ、その重量の変化を測定した。一方、浸水実験の場合は、前記の金網の中に入れた供試物をそのまま水中に浸漬し、12時間経過したのち重力水を十分滴下させたあと秤量し、採取時重量を差し引き保水量を求めた。そして、このあとふたたび散水実験を行ない、自然状態で測定した場合と比較した。また、このいずれの場合も、容器の金網に付着する水分は別途秤量し、測定値から差し引いて真の供試物の保水量を求めた。なお、供試材料はほぼ同一立地条件に成立したほぼ同齢の人工植栽林分(林試東北支場好摩実験林)から採取したものである。

##### Ⅳ. 2 結果ならびに考察

###### 1. 地表植生の保持水量

噴霧実験によって得られた値は、草本類の植物体の表面に付着する水量であって、しゃ断によって蒸発消失する分は含まれていない。この植物体の保持水量は、種類による表面のあらさや形態などというその特性とともに、大きくは表面積の多少により左右されるものと考えられる。Table 17 は、噴霧実験の結果による保持水量を全表面積、冠部被覆面積、気乾重量あたりで示したものである。これによると、冠部被覆面積に対してそう生するヒカゲスゲが最大で0.5mm程度、以下ヨモギ・チヂミザサ・オニドコロ・オクミヤコ

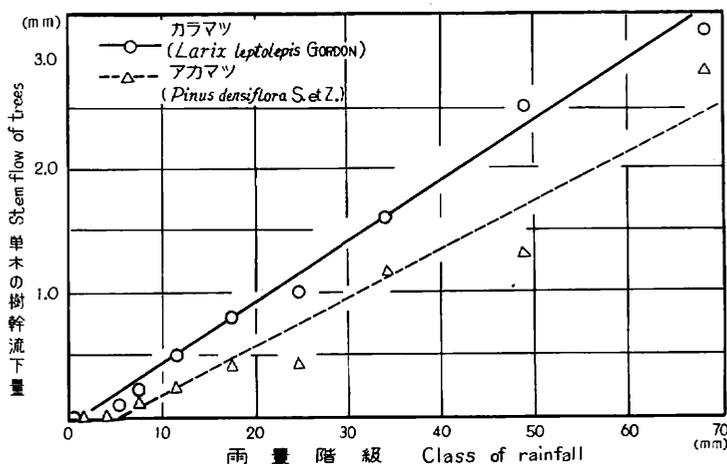


Fig. 18 カラマツとアカマツの降雨階級と樹幹流下量の関係  
Relation of stemflow to class of rainfall size for a tree of Karamatsu (*Larix leptolepis* Gordon) and Akamatsu (*Pinus densiflora* S. et Z.).

が得られた。これは混交する広葉樹の影響も無視できないが、後者の本数密度が前者にくらべ圧倒的に大きいことによるものと考えられる。

#### III. 4 要 約

(1) カラマツの壮齡人工林分の無処理区と間伐区について、1966年から1969年の3か年間、林冠通過量、樹幹流下量やしゃ断損失量などの降水配分を観測した。また、カラマツ林分に隣り合うアカマツと広葉樹の混交天然林分においても、比較のために同様な観測を行なった。

(2) カラマツ林分の間伐強度は、胸高幹断面積合計のおよそ1/2減とした。その結果、伐採前にくらべて、立木密度は、およそ65%に、蓄積はおよそ50%に減少した。間伐木の選択は樹型級区分に基づいて行なったが、残存木の分布はかたよらないように配慮した。

(3) カラマツ林無処理区の全しゃ断率はおよそ23%、その間伐区はおよそ15%であった。4月から11月までの降雨期間に限ると、その値は前者の試験区でおよそ20%、後者の試験区でおよそ14%であり、また、アカマツと広葉樹混交林区ではおよそ27%であった。

(4) 降雨階級としゃ断損失量との関係は、つぎのような一次の回帰式に適合することがわかった。すなわち、カラマツ林無処理区： $I_R = 0.106 P_S + 1.018$ 、カラマツ林間伐区： $I_R = 0.065 P_S + 0.760$ 、アカマツ・広葉樹林区： $I_T = 0.251 P_S + 0.417$ 、ここで、 $I$ は各区のしゃ断損失量、 $P_S$ は開地の降雨量。

(5) 間伐の直後、その林冠疎密度は92%から52%に減少し、試験の終了した4年目の秋にその値は78%まで回復した。しかしながら、各年のしゃ断損失量に顕著な差異が見い出されなかった。

(6) カラマツ林の無処理区においては、着葉期間と無葉期間との間に、有意な差異が認められた。すなわち、観測した3か年間における両期間の降雨階級と、しゃ断損失量との関係を示す回帰式はつぎのとおりである。着葉期間： $I_{Q.p} = 0.135 P_S + 0.829$ 、無葉期間： $I_{Q.n} = 0.096 P_S + 0.912$ 、ここで、 $I_{Q.p}$ はカラマツ無処理区のしゃ断量、 $P_S$ は開地の降雨量。

(7) カラマツの樹幹流下量はアカマツに比較して、より少ない降雨量でも発生することが明らかになっ

Table 16. 保水試験にもちいた草本類の諸因子  
Some factors of herbs which used to water-holding test

| 草種<br>Herb species                          | 供試数<br>Sampling number | 供試重量<br>Sampling weight (g) |               | 草丈<br>Height (cm) | 冠部面積<br>Crown area (cm <sup>2</sup> ) | 基部面積<br>Basal area (cm <sup>2</sup> ) | 全表面積<br>Total surface area (cm <sup>2</sup> ) |
|---|------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
|   |                        | 生重<br>Natural               | 乾重<br>Air dry |                   |                                       |                                       |   |
| クマイザサ<br><i>Sasa palmata</i>                | 30                     | 31.0                        | 6.0           | 40~50             | 342                                   | —                                     | 514   |
| ヒカゲスゲ<br><i>Carex lanceolata</i>            | (5)<br>940             | (83.7)                      | (22.5)        | (24~30)           | (1140)                                | (46.5)                                | (1265)  |
| ヨモギ<br><i>Artemisia princeps</i>            | 30                     | 5.7                         | 1.5           | 25~30             | 106                                   | —                                     | 376   |
| チヂミザサ<br><i>Oplismenus underlati folius</i> | 30                     | 1.7                         | 0.5           | 15~20             | 56                                    | —                                     | 114   |
| オニドコロ<br><i>Dioscorea Tokoro</i>            | 30                     | 1.4                         | 0.3           | 15~20             | 32                                    | —                                     | 92  |

(注) 括弧内の数値は株単位で、他は個体単位に示したものである。

(Comment) Values in parenthesis showed the unite per stump and the others showed the per piece of the herbs.

ザサの順となる。スゲまたはイネ科の場合、単位面積あたりの葉面積は比較的大で、また、そう生する基部で直接保留する量も無視できない。ササやタケ類では、葉の形状や表面状態から、水はなじみにくく保持できる水量は少ない。冠部面積あたりの表現は、単位面積にこれらの植生が全面にしかも平面的に発達した姿と同じであるが、もしこれが2倍の量で複層して発達したとしても、その保水量は1mmを越えないことになる。上層が密に発達した林下の地表植生は、非常に少ないのが普通であるが、これによる保持水量もまた微量なことは、容易に推測されうることである。現存の植物群落に対しては、各草種別に表面積合計を求め、単位量の保水量から全量を推算するのがより正しいと考えられるが、実用的には精度が低くなるけれども、供試体の風乾重量を基準とする方法で適当であろう。

後者の方法により、前表の数値を参考に、Iの試験のアカマツ林およびIIの試験のカラマツ林下に発達する地床植生の最大保持水量を推算したところ、Table 18 に示すように前者でおよそ0.05mm、後者でおよそ0.04mmとなり、きわめて微量であることが確認された。

しかし、密生草生地での降水のしゃ断量は決して少ないものではないといわれ、CLARK<sup>29)</sup>の報告によると、種々なイネ科の草本類による草生地では、雨の強弱によって雨水の50~90%を阻止するとのことである。ただし、これは草茎流下量を差し引いておらず、実質的にはもっと低い値となる。草本類のしゃ断量をより精密にはあくする方法としては BURCY<sup>30)</sup>が行なったように、茎流下、通過および滴下を一括し、しかも蒸発散を総合して測定する水耕方式が合理的ではないかと考えられる。この方法によって、草本種 Soft chess の正味のしゃ断損失量は、およそ15%に達することを明らかにしている。

## 2. 落葉地被物の保持水量

試験に供した落葉地被物(A<sub>0</sub>層)の厚さと重量は Table 19 のとおりである。採取地は土砂かん止のための適樹試験地<sup>18)</sup>として、同一立地条件の場所に並列して、同時植栽した30年生の11樹種の人工林分である。各樹種の林分ともほぼうっ閉しているが、土壌型は B<sub>10</sub>(d) ~ B<sub>16</sub>で全体的に乾燥気味である。この場所から、試料を採取し、乾湿両条件下で、散水実験を実施した結果が Fig. 19 および Fig. 20 である。各樹種とも、水分状態のいかんにかかわらず最初の5~10分で大半保水し、以後ほとんど一定値に近づく傾向

Table 17. 草本類の最大保持水量  
Maximum volume of water holding for tested some herbs

| 草種<br>Herb species                         | 冠部面積に対する保持水深<br>Depth of water holding for crown area<br>(mm) | 乾重に対する保持水量<br>Volume of water holding for weight of air dry<br>(cc/g) | 全表面積に対する水深<br>Depth of water holding for total surface area<br>(mm) |
|--|---|---|---|
| クマイザサ<br><i>Sasa palmata</i>               | 0.02  | 0.10  | 0.01  |
| ヒカゲスゲ<br><i>Carex lanceolata</i>           | 0.56  | 2.82  | 0.50  |
| ヨモギ<br><i>Artemisia princeps</i>           | 0.40  | 2.80  | 0.11  |
| チヂミザサ<br><i>Oplismenus underlatifolius</i> | 0.21  | 2.40  | 0.10  |
| オニドコロ<br><i>Dioscorea Tokoro</i>           | 0.15  | 1.65  | 0.05  |
| 平均<br>Average                              | 0.27  | 1.95  | 0.15  |

Table 18. 現実林分における草本類による最大保持水量  
Maximum water-holding volume of herbs in the actual forests

| 林種<br>Species of forest  | 出現草本種<br>Appeared herbs species            | 冠部面積<br>Crown area<br>(cm <sup>2</sup> ) | 個体密度<br>Density<br>(N/m <sup>2</sup> ) | 立毛生産量<br>Standing crop<br>(air dry)<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 最大保水量の推定値<br>Estimated value of maximum water-holding volume<br>(cc/m <sup>2</sup> ) (mm) |
|--|--|--|--|--|---|
| アカマツ天然林<br>Akamatsu<br>( <i>Pinus densiflora</i> )<br>natural forest   | オクミヤコザサ<br><i>Sasa septemtrionalis</i>     | 2060                                     | 37.2                                   | 19.3   | 1.9   |
|  | ヒカゲスゲ<br><i>Carex lanceolata</i>           | 460                                      | 24.6                                   | 3.6  | 10.2  |
|  | チヂミザサ<br><i>Oplismenus underlatifolius</i> | 760                                      | 11.0                                   | 2.5  | 6.0   |
|  | オニドコロ<br><i>Dioscorea Tokoro</i>           | 260                                      | 2.6                                    | 1.1  | 1.8   |
|  | その他<br>The others                          | 3320                                     | 40.2                                   | 17.3   | 33.7  |
|  | 計<br>Total                                 | 6860                                     | 115.6                                  | 43.8   | 53.6  |
| カラマツ人工林<br>Karamatsu<br>( <i>Larix leptolepis</i> )<br>planting forest | オクミヤコザサ<br><i>Sasa septemtrionalis</i>     | 2130                                     | 49.5                                   | 18.7   | 1.9   |
|  | ヒカゲスゲ<br><i>Carex lanceolata</i>           | 150                                      | 14.0                                   | 1.0  | 2.8   |
|  | チゴユリ<br><i>Disporum smilacinum</i>         | 1800                                     | 56.3                                   | 7.0  | 11.6  |
|  | その他<br>The others                          | 2300                                     | 21.3                                   | 11.5   | 22.4  |
|  | 計<br>Total                                 | 6380                                     | 141.1                                  | 38.2   | 38.7  |

がある。散水によって付加された保持水量を樹種別にみると、乾燥状態ではヤマハンノキが2.8mmで最大、ミズナラ・チョウセンマツが1.6mmで最小であり、また、湿润状態ではモミが4.0mmで最大、クリが1.2mmで最小であった。この図の中には含まれていないが、カラマツやモミで、乾燥したB<sub>B</sub>型土壌に発達したA<sub>0</sub>層には菌糸網が含まれ、このために長時間の散水でも水分がほとんど付加されなかった。供試A<sub>0</sub>層は、同齡林分から採取したといっても厚さが異なり、かつ、採取が同時点でもそれぞれ含水量に多少の差

Table 19. 保水試験にもちいた落葉層の厚さと重量  
Thickness and weight of litter (A<sub>0</sub> layer) which used to water-holding test

| 区 介<br>Classification          | 樹 種<br>Tree species                | 厚 さ<br>Thickness (cm) |     |     |       | 重 量 (風乾)<br>Weight (air dry)         |                                 |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-------|--------------------------------------|---------------------------------|
|                                |                                    | L                     | F   | H   | Total | 供試面積<br>あたり<br>Per test<br>areas (g) | ヘクタール<br>あたり<br>Per ha<br>(ton) |
| 針葉樹類<br>Needle leaved<br>trees | チャウセンマツ <i>Pinus Koraiensis</i>    | 5.3                   | 3.2 | 0.1 | 8.6   | 184                                  | 20.2                            |
|                                | モミ <i>Abies firma</i>              | 3.2                   | 2.8 | 0.1 | 6.1   | 182                                  | 20.0                            |
|                                | リギダマツ <i>Pinus rigida</i>          | 5.2                   | 4.8 | 0.2 | 10.2  | 120                                  | 13.2                            |
|                                | カラマツ <i>Larix leptolepis</i>       | 3.3                   | 3.0 | 0.1 | 6.4   | 210                                  | 23.1                            |
|                                | スギ <i>Cryptomeria japonica</i>     | 4.0                   | 3.1 | 1.4 | 8.5   | 198                                  | 21.9                            |
| 広葉樹類<br>Broad leaved<br>trees  | アカマツ <i>Pinus densiflora</i>       | 5.0                   | 4.2 | 0.2 | 9.4   | 216                                  | 23.8                            |
|                                | クヌギ <i>Quercus acutissima</i>      | 3.1                   | 1.4 | 0.3 | 4.8   | 156                                  | 17.2                            |
|                                | クワリ <i>Castanea crenata</i>        | 2.7                   | 1.9 | 0.2 | 4.8   | 180                                  | 19.8                            |
|                                | ミズナラ <i>Quercus crispula</i>       | 2.4                   | 1.1 | 0.2 | 3.7   | 186                                  | 20.5                            |
|                                | ニセアカシア <i>Robinia pseudoacacia</i> | 2.9                   | 1.4 | 0.3 | 4.6   | 206                                  | 22.7                            |
| ヤマハシノキ <i>Alnus tinctoria</i>  | 4.6                                | 3.2                   | 0.4 | 8.2 | 212   | 23.3                                 |                                 |

(注) 30年生の植栽林分

(Comment) Planting forest of 30 years old.

異なる。なお、上図においても保持水の総量の大きいのは、乾湿状態ともリギダマツといえる。

つぎに、これらのA<sub>0</sub>層が保持できる最大量をはあくするために、金網に入れたままの状態に12時間浸水し、十分飽水させた後、重力水をよく切って重量を測定した。その結果は Table 20 のとおりである。この表中には、乾湿両状態でのA<sub>0</sub>層の含水率も示しておいたが、通常自然状態での保持水量の最小なときが、この乾湿状態の含水率に近いと考えられるので「野外保水容量」＝「浸水による最大保水量」－「乾燥状態の保水量」と考えてよいであろう。これによると、リギダマツは最大で6.4mm、ミズナラ・スギが2.3mmで最小であった。また、針葉樹および広葉樹の平均は4mm程度でほとんど差異が認められない。なお、落葉地被物の降雨によるシャ断保水量は、個々の落葉や枯枝の間げきやその表面に付着保持される分が主たるものと考えら

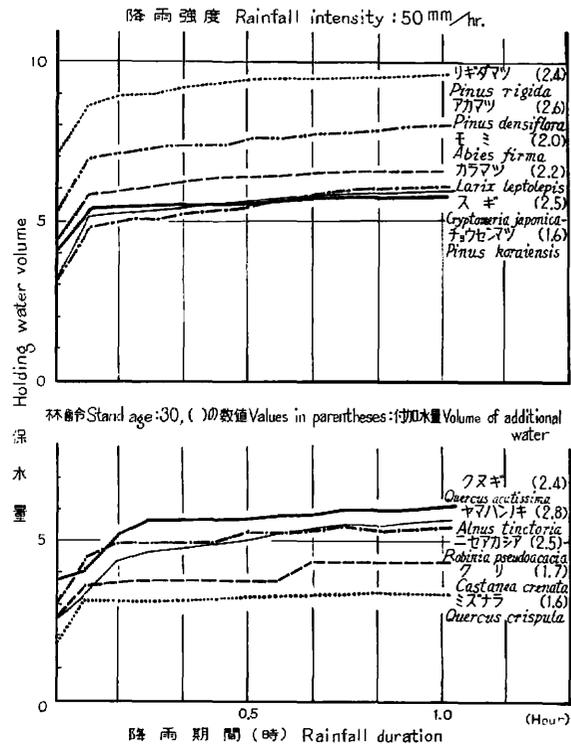


Fig. 19 散水試験による樹種別A<sub>0</sub>層の保水量 (その1 乾燥状態)

Water holding volume of A<sub>0</sub> layer for each tree species by sprinkle method (Part 1, dry condition).

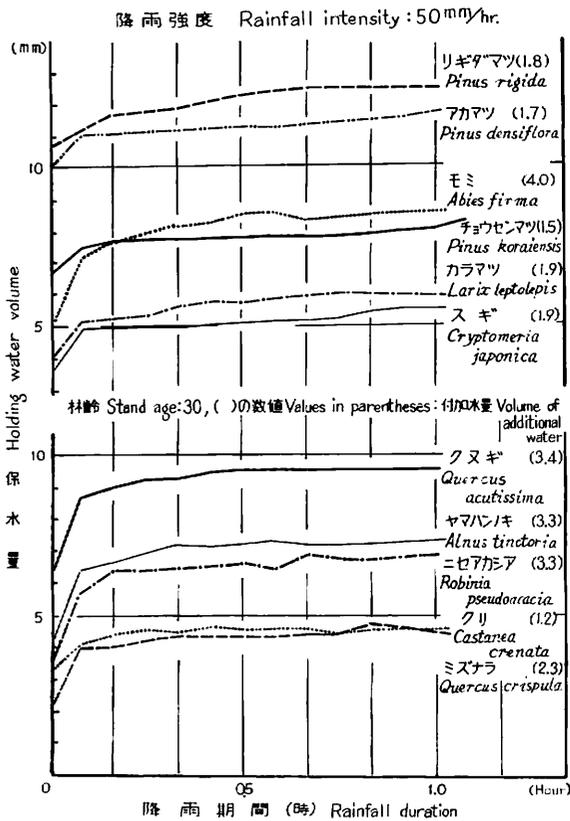


Fig. 20 散水試験による樹種別 A<sub>0</sub> 層の保水量 (その 2 湿润状態)

Water holding volume of A<sub>0</sub> layer for each tree species by sprinkle method (Part 2, wet condition).

量的に差異を生じ、しかも、土壌条件や気象条件によって分解過程など質的な面で変化する。したがって、上記の諸結果も一定の立地条件下で得られた数値にすぎないが、A<sub>0</sub> 層の保持水量を示す目安となるであろう。

### IV. 3 要 約

- (1) 地床植生や落葉地被物による保水量を推定するため、実験室で保水試験を行なった。給水方法は、噴霧、散水および浸水の 3 方法で行なった。試験材料は 5 草種と 11 樹種から採取した。
- (2) 地床植生による最大保水量は、供試草種について冠部面積あたり 0.3 mm 以下であった。しかし、草種の特徴によって若干差異があった。植物群落についてのその値は、その密度が非常に高くとも、1 mm 以下と推定された。
- (3) これらの資料を基礎として、試験Ⅱの対象となったアカマツ天然林と、試験Ⅲの対象となったカラマツ人工林の地床植物による保水量の推定を行なった。その推定の結果、前者でおよそ 0.05 mm、後者でおよそ 0.04 mm にすぎないということがわかった。
- (4) 落葉地被物による最大保水量は、浸水法による試験の結果として、4.1 ~ 13.5 mm の値が得られ

れるが、組織内部までの含水量をあわせるときには、浸水による最大保持水量そのものということになる。

KITTREDGE は重力にさからって A<sub>0</sub> 層が保持できる水の量は、その乾燥重に対し、100~500% の範囲であることを明らかにしているが、これをもとに吉良<sup>19)</sup> は各種の森林の A<sub>0</sub> 層の量を 15 ton/ha とし、15~75 mm の吸水量を得られることを推算し、また、自然状態の含水量を考慮した場合、せいぜい 5 mm 程度が限度であると述べている。前掲の Table 19 にも示したとおり、針葉樹の A<sub>0</sub> 層の量は平均 20 ton/ha、広葉樹では同じく 21 ton/ha (いずれも風乾重) であり、これによる吸水量 (野外保水容量) も Table 20 のように、2.3~6.4 mm、針・広平均で 4.1 mm となっている。上記の報告の数値にくらべて大差はないが、A<sub>0</sub> 層の量の多いわりに保水量がやや少ない結果となっている。いうまでもなく、落葉地被物の発達状態は、同林齢であっても樹種により差があり、同樹種であってもその成立密度や成長状態によっ

Table 20. 各樹種・落葉層の自然状態の含水量と最大保持水量  
Water contents for natural condition and maximum water-holding volume  
of the litter at each tree species

| 区 介<br>Classification          | 樹 種<br>Tree species                   | 台 水 量<br>Water contents |     |                 |      | 保 持 水 量<br>Water-holding volume       |      |     |  |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----|-----------------|------|---------------------------------------|------|-----|--|
|                                |                                       | 乾燥状態<br>Dry (A)         |     | 湿润状態<br>Wet (B) |      | 浸水による最大量<br>Max. by<br>inundation (C) |      |     | 野外保<br>水容量<br>(C)-(A)<br>Field<br>capacity |
|                                |                                       | %                       | mm  | %               | mm   | %                                     | mm   | %   | mm   |
| 針 葉 樹<br>Needle leaved<br>tree | チョウセンマツ<br><i>Pinus Koraiensis</i>    | 202                     | 4.1 | 319             | 6.6  | 395                                   | 8.1  | 193 | 4.0  |
|                                | モミ<br><i>Abies firma</i>              | 216                     | 4.4 | 241             | 4.9  | 422                                   | 8.5  | 206 | 4.1  |
|                                | リギダマツ<br><i>Pinus rigida</i>          | 291                     | 7.1 | 801             | 10.6 | 1258                                  | 13.5 | 967 | 6.4  |
|                                | カラマツ<br><i>Larix leptolepis</i>       | 139                     | 3.3 | 177             | 4.0  | 258                                   | 6.0  | 119 | 2.7  |
|                                | スギ<br><i>Cryptomeria japonica</i>     | 145                     | 3.2 | 168             | 3.6  | 248                                   | 5.5  | 103 | 2.3  |
|                                | アカマツ<br><i>Pinus densiflora</i>       | 229                     | 5.4 | 423             | 10.0 | 493                                   | 11.7 | 264 | 6.1  |
|                                | 平均<br>Average                         | 204                     | 4.6 | 313             | 7.1  | 512                                   | 8.8  | 308 | 4.2  |
| 広 葉 樹<br>Broad leaved<br>trees | クヌギ<br><i>Quercus acutissima</i>      | 222                     | 3.8 | 362             | 6.1  | 567                                   | 9.8  | 345 | 6.0  |
|                                | クリ<br><i>Castanea crenata</i>         | 136                     | 2.7 | 167             | 3.3  | 283                                   | 5.7  | 147 | 3.0  |
|                                | ミズナラ<br><i>Quercus crispula</i>       | 88                      | 1.8 | 102             | 2.1  | 202                                   | 4.1  | 114 | 2.3  |
|                                | ニセアカシア<br><i>Robinia pseudoacacia</i> | 133                     | 3.0 | 157             | 3.5  | 303                                   | 6.9  | 170 | 3.9  |
|                                | ヤマハンノキ<br><i>Alnus tinctoria</i>      | 115                     | 2.7 | 175             | 4.0  | 316                                   | 7.4  | 201 | 4.7  |
|                                | 平均<br>Average                         | 139                     | 2.8 | 193             | 4.8  | 334                                   | 6.8  | 195 | 4.0  |
| 全 平 均<br>Total average         |                                       | 172                     | 3.7 | 253             | 6.0  | 423                                   | 7.8  | 251 | 4.1  |

(注) 落葉層の含水量は、その風乾状態に対する重量比で示したものである。

(Comment) Water contents of litter showed percentage for the air dry weight.

た。落葉地被物の野外保湿度量は、最大容量から自然状態での含水量を差し引くことによって得られ、その値は2.3~6.4mmであった。また、散水法により測定した付加保水量は、乾燥状態で1.6~2.8mm、湿润状態で1.2~4.0mmであった。

(5) 落葉地被物による保水量はその質的狀態によって、かなり变化した。たとえば、菌糸網層を含むカラマツとモミの落葉地被物は、ほとんど水を付着しなかった。

## V む す び

アカマツの天然林とカラマツの人工林をおもな対象に、森林植生による降水のしゃ断について試験を行なった。

この結果、アカマツ林下に発達した落葉広葉樹類の下木のしゃ断能は、思ったより大きく降雨総量のおよ

を12%に達した。アカマツ林そのもののしゃ断能は、既往の研究成果でみる限り、スギ・ヒノキや落葉広葉樹などにくらべて比較的安く評価されているが、本研究の結果ではそれほど小さいものではなく、降雨総量の22%ないし27%に達することがわかった。

一方、従来全く未知であったカラマツのしゃ断能は、アカマツよりやや低く、無間伐の閉鎖林でも20%程度にとどまることが明らかになった。とくにカラマツの場合には、夏の着葉期と春・秋の無葉期では、しゃ断能に若干の差異が認められ、さらに、アカマツにくらべ樹幹流量が明らかに多いことがわかった。カラマツ林を強度に間伐した結果、伐採率(幹断面積)にほぼ比例して、しゃ断能も低下した。しかし、伐採処理後3か年を経過した段階で樹冠疎密度がおよそ25%回復したけれども、しゃ断能に顕著な差異が認められなかった。すなわち、樹冠疎密度の増加の割に落葉量が顕著に増加しなかったが、降水のしゃ断作用には、単に樹冠投影面積だけではなく立木の配置や本数、さらに樹冠層の厚みなどが関係するものと考えられる。

冬季の降雪では、降雨にくらべて一般にしゃ断損失量が著しく多かったが、これは当地における1回の降雪量が少ないこと、冠雪の形による長い滞空時間などが損失を大きくするおまな原因と考えられた。

うっ閉した林下では、地味植生が少なく、その保持水量は1mm以下であった。しかし、落葉地被物のそれはかなり大きく、2~6mmに達することがわかった。しかも、それは樹種間にかかなりの差異があり、同一樹種でもその状態によって変化する。このように森林生態系における降水のしゃ断損失分は、総体量としては無視しがたい量であることは明らかである。ただ、それは植生の種類や発達状態によって明らかな差異を生ずるし、また、より根本的にはその土地における年間の降水の配分状態によって全く変わったものとなる。

本試験を行なった場所(好摩)は、年間降水量1,200mm前後で、やや少雨の地帯に属する。同じ植生を対象にしても、雨量が多く、かつ、強い場所であれば、しゃ断損失率は小さくなるし、それが逆の場合は大きくなるであろう。したがって、単にその場所における降水総量に対するしゃ断総量の比率をもって、その植生のしゃ断機能をあらわすだけでは、十分な比較ができがたい。これを補うものとして、この研究によって導き出されたような降水量階級と、しゃ断損失量の関係を示す一次回帰式の係数および常数は、適切な指標となるであろう。

いうまでもなく、しゃ断とは植物の葉および空中に出ている部分によって捕えられた降水の一部であり、これは地面に達することがなく蒸発して大気中に帰っていく。その値が降水総量の20~30%に達するならば、林分の収支の関連因子として無視できない量といえよう。林分における水収支を検討する場合において、植生によるしゃ断損失分は直接的に定量化可能な因子の一つである。この機能が大きいということは、土壌中への水供給量を少なくすることになる。また1降雨期間を取りあげて考える場合には、侵蝕防止や出水緩和などに対しても、いくらかの影響を与えることも考えられる。

いずれにしても、しゃ断損失量は流域における蒸発量の一部であるが、流域水分収支のうえで、どの程度の重みとして評価されるものなのか、また、明らかにされた数値をもとに、水源地帯の樹種の選択や森林施業面に具体的にどのように取り入れていくべきなのか、などについては、さらに検討を必要とする。

## 文 献

- 1) 青森営林局：岩手地方赤松林分収穫表，青森営林局，30 pp. (1957)
- 2) 青森営林局：岩手地方カラマツ林分収穫表，青森営林局，9 pp. (1961)
- 3) BURG, R. H. and C. R. POMEROY: Interception loss in grassy vegetation. Trans. Amer. Geophys. Union, 39, 6, 1095~1100, (1959)

- 4) CLARK, O. R. : Interception of rainfall by herbaceous vegetation. *Science*, 86, 561~592, (1937)
- 5) ——— : Interception of rainfall by prairie grasses, weeds and certain crop plants. *Ecol. Monogr.*, 10, (1940)
- 6) 藤井真一 : ヒノキ林の遮断雨量, *日本林学会誌*, 41, 7, 262~269, (1959)
- 7) HORTON, R. E. : Rainfall interception. *Monthly Weather Rev.*, 47, 603~623, (1919)
- 8) 平田徳太郎 : 樹冠保留雨量に就いて, *森林測候所特別報告*, 6, 1~38, (1921)
- 9) HAMILTON, E. L. and P. B. ROWE : Rainfall interception by chaparral in California. *California Forest and Range Experimental Sta.*, 43pp., (1949)
- 10) 石川栄助 : 実用近代統計学, 槇書店, 231~233, (1955)
- 11) 熊谷鉄之助 : クロガネモチ林の樹冠保留雨量, *森林測候所特別報告*, 8, 231~233, (1922)
- 12) 金 東燮 : 朝鮮に於ける林内外雨量の観測, *昭和14年日本林学会大会講演集*, 247~252, (1939)
- 13) KITTREDGE, J. : *Forest influences*. McGraw-Hill Book Company, 99~114, (1948)
- 14) 熊谷戈藏 : 樹冠降雨量の標本調査に就いて, *九州大学農学部附属演習林報告*, 21
- 15) 吉良竜夫 : *植物生態学*(2), 古今書院, 153~160, (1960)
- 16) 小島忠三郎・北田健二 : 簡単な日射積算計とこれを用いた林内日射量(照度)の連続測定, *日本林学会誌*, 49, 2, 69~72, (1967)
- 17) 丸山岩三・佐藤 正 : 林木および林分の葉量に関する研究(第1報), *林業試験場研究報告*, 65, 1~10, (1952)
- 18) 村井 宏・北田健二 : 土砂流出防備林の機能についての研究(第1報), *昭和38年日本林学会大会講演集*, 368~373, (1963)
- 19) 農林省山林局 : 林木の雨水保持量に関する試験, *森林測候所特別報告*, 4, 205~220, (1917)
- 20) 野口陽一 : *森林の影響*, 地球出版, p. 21, (1963)
- 21) PENMAN, H. C. : *Vegetation and Hydrology*. C.A.B. England, p. 35, (1963)
- 22) 神保幸雄 : 林内外観測位置の相違に基く降水量の差について, *森林治水 気象彙報*, 1, 52~58, (1923)
- 23) 田崎忠良 : 降雨下に於ける林木の水分付着量について, *日本林学会誌*, 32, 2, 56~61, (1950)
- 24) 田崎忠良 : 森林の雨水遮断作用について(II), *植物群落の水分経済に関する研究*, 東大立地自然科学研究所報告, 4, 49~56, (1950)
- 25) 武田京一 : 林地雨量について, *気象集誌*, 29, 6, 19~32, (1951)
- 26) 豊田広三・小田日出夫・加甲艶照 : 昭和44年度試験成績概要, *農事試験場山地支場研究資料*, No. 8, (1970)

### Studies on Precipitation Interception by Forest Vegetations

Hiroshi MURAI (1)

#### Summary

A certain amount of precipitation is intercepted by forest vegetation i.e. forest canopies, under shrubs, ground floor plants and soil covering litter. Intercepted precipitation by these covers evaporates eventually. The amounts of interception loss differ with tree

Received May 28, 1970

(1) Tôhoku Branch Station, Government Forest Experiment Station, Morioka, Japan.

species, stand density and other vegetative conditions even under the same meteorological conditions. The purpose of these studies is to determine the main effects to interception loss of difference on tree species, forest cover types, and stand density. The studies were divided into three experiments, which were interception loss of Akamatsu (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) natural forest with under shrubs, of Karamatsu (*Larix leptolepis* GORDON) planting forest with thinning treatment, and water holding function of ground floor plants and soil covering litter. The field experiments were performed at Kôma experimental forest of Tôhoku branch of national forest experimental station in Iwate prefecture.

The outline of experiments and the result are summarized briefly as follows:

### I Experiment on Akamatsu (*Pinus densiflora* S. et Z.) natural forest

(1) The distribution of precipitation was observed for four years from 1956 to 1960, comprising throughfall from canopies, stemflow and interception loss influenced by two conditions, namely, under shrubs to high trees, and only high trees on Akamatsu natural stands.

(2) The crown density of the Akamatsu forest produced an almost closed condition amounting to about 85 per cent and deciduous broad leaved trees of less than five meters height, Tsunohashibami (*Corylus sieboldiana*), Yamaurushi (*Rhus trichocarpa*) and other shrubs densely grew as the under layer.

(3) The total interceptional percentage for annual precipitation by only high tree layer was about 22 per cent, and it was about 19 per cent in the case of limiting rainfall duration from April to November. In the case of stands having under shrubs, the value was about 31 per cent at the same duration. Therefore, percentage of interception by only under shrubs was about 12 per cent which was unexpectedly great.

(4) The interception loss of snowfall duration was observed at only the plot of high tree layer, and its value was a little greater than in the case of rainfall, about 29 per cent. As the main reason, it was considered that the amount of a snowfall was generally light in this locality.

(5) Interception loss was lineally increased with increasing intensity of rainfall and snowfall. The relations in the case of rainfall was as in the following regression equation of first degree :  $I_A = 0.081P_S + 1.581$ ,  $I_B = 0.145P_S + 2.946$ , where,  $I_A$  : interception loss at the plot of only high tree layer,  $I_B$  : interception loss at plot having under shrubs to high tree layer and  $P_S$  : rainfall of open land.

(6) The stemflow of Akamatsu was less than 1 per cent of the amount of annual rainfall, and in rainfall over 2 to 5 millimeters it occurred for the first time. However, the value of under shrubs consisting of deciduous broad leaved trees reached about 3 per cent. The more rainfall intensity increased, the more stemflow showed an increasing tendency, and the relations at plot of only Akamatsu high trees was as in the following regression equation of first degree :  $S_A = 0.016P_S - 0.144$ , and for stand containing under shrubs to Akamatsu high trees as follow :  $S_B = 0.080P_S - 0.770$ , where,  $S_A$  and  $S_B$  : stemflow,  $P_S$  : rainfall at the open land.

## II Experiment on Karamatsu (*Larix leptolepis* GORDON) planting forest

(1) The distribution of precipitation—throughfall from canopies, stemflow and interception loss—were observed for three years from 1966 to 1969 for the two conditions of non-treatment and thinning of Karamatsu planting thrifty stands. In addition, the same observations for comparison were performed in the mixed stand of Akamatsu and broad leaved trees which were near the Karamatsu stands.

(2) The thinning intensity of the Karamatsu stand was decreased about half of total basal areas. As a result of the thinning, tree density decreased about 65 per cent and growing stock decreased about 50 per cent in comparison with before the cutting. The selection of thinning trees was conducted on the basis of classification of tree form, and the distribution of remaining trees was regard as not impartial.

(3) The percentage of total interception loss was about 23 per cent at the non-treatment plot, and about 15 per cent at the thinning plot of Karamatsu stand. In the case of limiting rainfall duration from April to November, the values were about 20 per cent at the former plot, and about 14 per cent at the latter plot; at the plot of mixed forest of Akamatsu and broad leaved trees the value was about 27 per cent.

(4) It was determined that the relations between rainfall class and interception loss adapted to the following regression equation of first degree:  $I_Q=0.065P_S+0.760$ ,  $I_R=0.251P_S+0.417$ , where,  $I_Q$ : interception loss at the Karamatsu non-treatment forest,  $I_R$ : the interception loss for the Karamatsu thinning forest and  $P_Q$ : rainfall of open land.

(5) Immediately after the thinning, the crown density was decreased from 92 to 52 per cent and at the fourth autumn when experiment was completed; the value was restored to 78 per cent. The interception loss in each year, however, did not reveal any remarkable difference.

(6) At the plot of Karamatsu non-treatment forest, a significant difference was recognized between two durations of the foliate and the defoliate. Namely, regression equations which showed the relations between rainfall class and interception loss of the two durations on the observed three years were as in the following regression equation of first degree:  $I_{Q.p}=0.096P_S+0.829$ ,  $I_{Q.n}=0.135P_S+0.829$ , where,  $I_{Q.p}$ : the interception loss at the Karamatsu non-treatment forest on the foliate duration,  $I_{Q.n}$ : the interception loss at the Karamatsu non-treatment forest on the defoliate duration and  $P_S$ : rainfall at the open land.

(7) It was noted that the stemflow of the Karamatsu trees started by light rainfall compared with the Akamatsu trees and the amount was pretty much. The main reasons were considered to be the difference in tree characters of the former, the straight stem, the coarseness of stem surface and the having condition of branches.

The relations between rainfall class and stemflow had a linear tendency. The regression equations for three experimental stands are as follows:  $S_{f.a}=0.070P_S-0.083$ ,  $S_{f.R}=0.024P_S-0.060$  and  $S_{f.T}=0.028P_S-0.074$ , where,  $S_{f.a}$ : the stemflow at the Karamatsu non-treatment forest,  $S_{f.R}$ : the stemflow at the Karamatsu thinning forest,  $S_{f.T}$ : the stemflow at the mixed forest of Akamatsu and broad leaved trees and  $P_S$ : rainfall at the open land. The regression equations for two tree species are as follows:  $S_{f.L}=0.049P_S-0.070$  and  $S_{f.P}=0.039P_S-0.219$ , where,  $S_{f.L}$ : the stemflow of the Karamatsu tree and  $S_{f.P}$ : the stemflow of the Akamatsu tree.

### III Experiment of water holding function ground floor plants and soil covering litter

(1) The water holding tests were performed in the laboratory to estimate the water volume held by the ground floor plants and soil covering litter. The water supply methods used were spray, sprinkle and inundation. The experimental materials were sampled from five species of herb and eleven species of tree.

(2) Maximum water holding volume by ground floor plants were less than 0.3 millimeters depth per crown area of a unit plant, but it differed a little by characters of the herb species. The values per plant community were estimated to be less than 1 millimeter in depth even if the density was very high.

(3) The estimated water holding volume by ground floor plants based on these data at the Akamatsu natural forest (Experiment I) and the Karamatsu planting forest (Experiment II). By the results of the estimation, it was determined that the former was no more than about 0.05 millimeters depth, and the latter was about 0.04 millimeters depth.

(4) The maximum water holding volume by soil covering litter gave values of from 4.1 to 13.5 millimeters depth as results of experiment by inundation method. These variations of measurement values related to the characters of each trees. The field capacity of litter was obtained to take water content under natural condition from maximum water holding volume, and the value was from 2.3 to 6.4 millimeter depth. Also, the additional water holding volume which was measured by the sprinkle method was from 1.6 to 2.8 millimeters depth under wet condition.

(5) The water holding volume by soil covering litter varied somewhat in quality condition. For example, the litters of Karamatsu and Momi (*Abies firma* S. et Z.) forests which contained layer of the micelium net could add little water.



Photo. 1 アカマツ天然林A区 (高木層のみ) の林況  
Forest condition of Plot A, Akamatsu natural forest (only high trees layer).



Photo. 2 アカマツ天然林B区 (高木層の下に低木類を含む) の林況  
Forest condition of Plot B, Akamatsu natural forest (contains under shrubs).

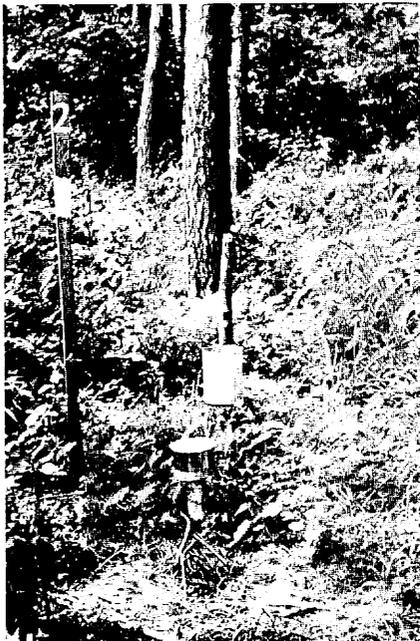


Photo. 3 A区の林内に配置したポット型雨量計と紙面蒸発計  
Rain gauge and evaporimeter.



Photo. 4 アカマツにとりつけた樹幹流下量測定装置  
Measuring equipment for stem flow.

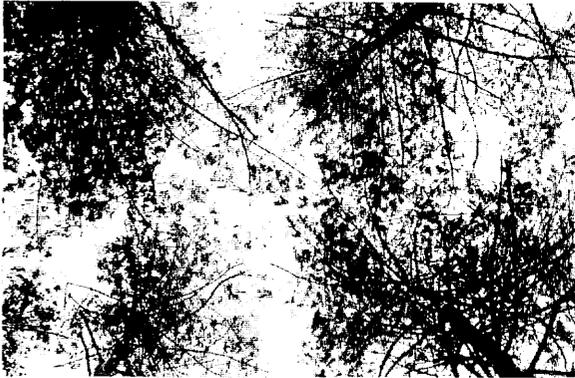


Photo. 5 A区の林冠発達状態  
Development condition of forest  
crown at Plot A.

Photo. 6 B区の林冠発達状態  
Development condition of forest  
crown at Plot B.

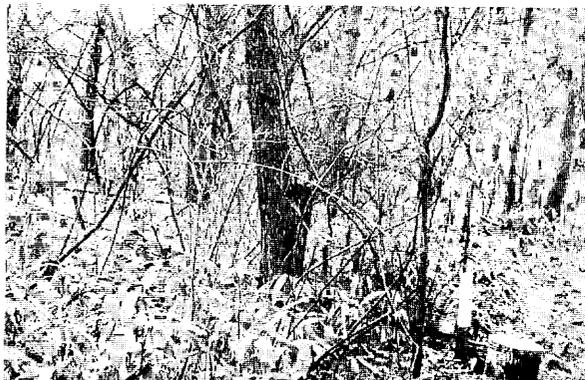
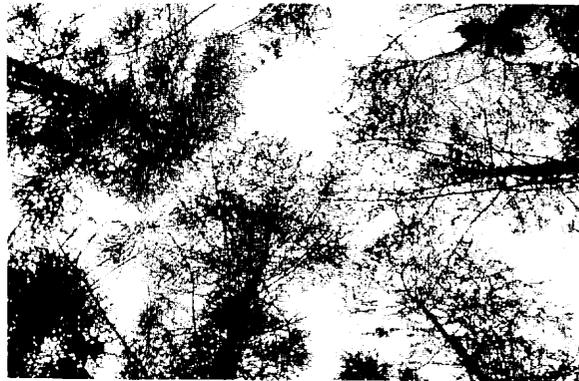


Photo. 7 B区における低木類の発達状態  
ならびに林内に配置した樋型雨  
量計  
Development condition of under  
shrubs and rain gauge of conduit  
type at Plot B.

Photo. 8 A区における地床植生の発達状  
態  
Development condition of ground  
floor plants at Plot A.





Photo. 9 カラマツ人工林Q区(無処理)の林況  
Forest condition of Plot Q, Karamatsu planting forest (non-treatment).



Photo. 10 カラマツ人工林R区(間伐)の林況  
Forest condition of Plot R, Karamatsu planting forest (thinning treatment).



Photo. 11 アカマツ広葉樹天然林T区(無処理)の林況  
Forest condition of Plot T, natural forest of Akamatsu and broad leaved trees.



Photo. 12 カラマツ林内の降水量, 蒸発量の測定装置  
Measuring equipment for precipitation and evaporation.



Photo. 13 Q区(カラマツ林無  
処理)の林冠発達状  
態

Development condition of  
forest crown at Plot Q.

Photo. 14 R区(カラマツ林間  
伐)の林冠発達状態  
Development condition of  
forest crown at Plot R  
after thinning.

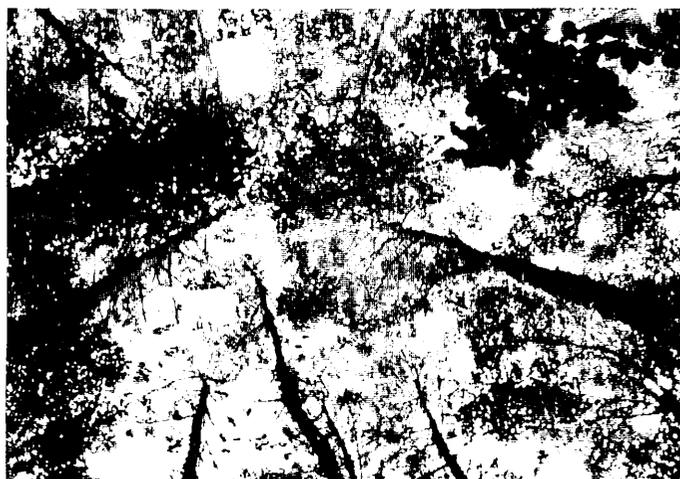
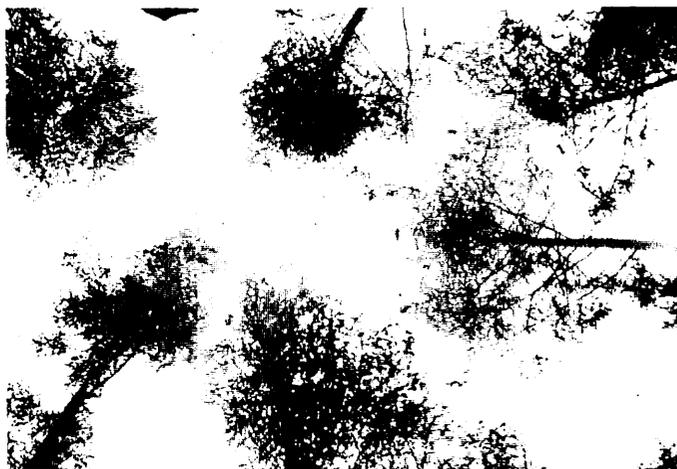


Photo. 15 T区(アカマツ・広葉樹混交林無処理)の林冠発達状態  
Development condition of forest crown at Plot T.



Photo. 16 Q区(カラマツ林無  
処理)の地床植生の  
発達状態

Development condition of  
ground floor plants at Plot  
Q.

Photo. 17 R区(カラマツ林間  
伐)の地床植生の発  
達状態

Development condition of  
ground floor plants at Plot  
R.



Photo. 18 T区(アカマツ・広葉樹混交林無処理)の地床植生の発達状態  
Development condition of ground floor plants at Plot T.