筑波大学水理実験センター報告 No. 6. 75～82 (1982)

アカマツ林内の降雨量の空間的分布について

Spatial Variation of Rainfall in a Red Pine Forest

間 島 政 紀*・田 瀬 則 雄**

Masaki MAJIMA and Norio TASE

I まえがき

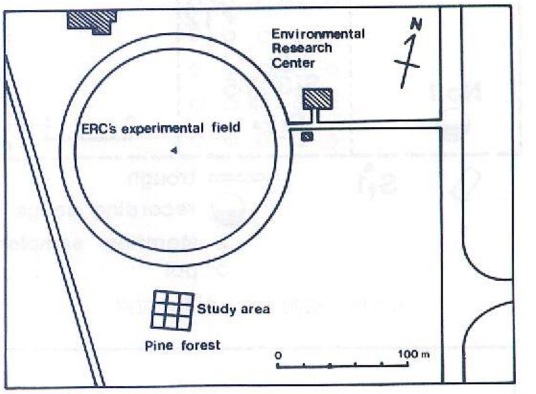
森林は水文気象現象に対しすぐれた緩和機能を持ち，水資源，防災，環境浄化など多方面からその存在価値，そして保全の必要性が認められている。森林生態系内における水の循環を明らかにすることは森林管理の上で不可欠であり，特に植生による降水のしゃ断能は，流域における水収支の定量解析において第一に明確にすべきものである。

植生による降雨のしゃ断作用を明らかにするには，林内降雨の時間的な特性と林内における空間的な分布特性を把握しなければならない。このような観点から筑波大学構内のアカマツ林において，1981年4月から12月まで雨量観測を行ない，平地アカマツ林の林内降雨特性について調査した。本報告はそのうち林内降雨の空間分布特性について検討したのもである。

II 観測地の概要と観測方法

観測の対象とした林分は，筑波大学水理実験センターの観測圃場の南側に隣接するアカマツ林である（第1図）。この林分の立木密度は約26.5本/100m^2，平均胸高直径は12.14cm，樹高は約10mである。葉面積は約423～664m^2/100m^{2}であり，葉面積指数（LAI）に換算すると4.2～6.6となる。また，アカマツの他に，ナラ，ウルシ，ササなどの低木類も混生している。

この林分に30m×30mの大区画を設け，これを

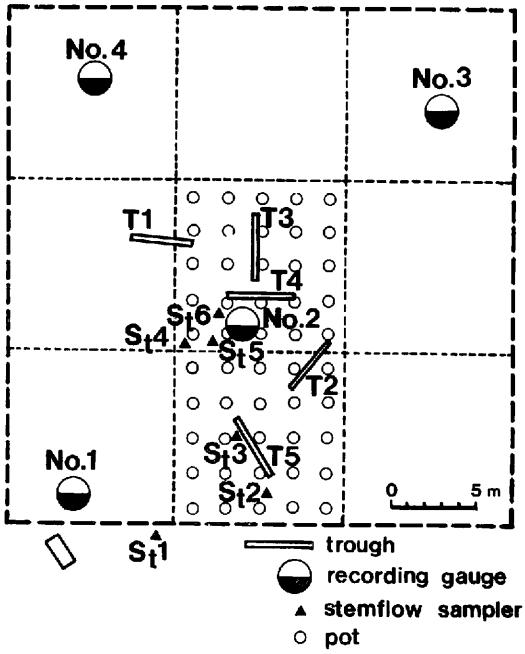


第1図 観測地の概略

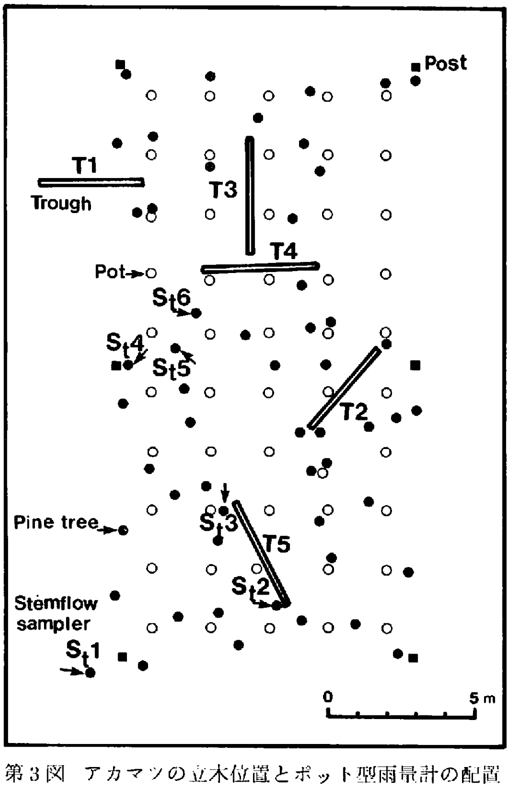
10m×10mの小区画に分割し，比較的立木が平均して生育している中心の2区画を対象として，林内降雨の観測を行なった。観測機器として，0.5mm転倒マス型自記雨量計を林内に4器，林分から約100m離れた水理センターの観測圃場内に林外雨量観測用として1器設置した。また樋型雨量計（T1，T2は長さ380cm，幅10.0cm，T3，T4，T5は長さ400cm，幅12.0cm）を5器設置した（第2図）。さらに林内の平均的な降水量を計測するため，ポット型雨量計（直径15.4cm）を観測の中心とした2区画に2m間隔で50個配置した（第3図）。これらの雨量計については，林外にも同型のものを設置し，自記計のデータと比較して受水量をチェックした。

樹幹流（Stemflow）の測定には，ビニールホースを背割にし，アカマツの幹にカラー状に巻きつけた採集器を任意の6本の木に取り付けて計測を

* 筑波大・院・環境科学研究科（現日本科学技術研修所）　** 筑波大学地球科学系　（1982年5月8日受理）



第２図　観測区画と測器の位置



第３図　アカマツの立木位置とポット型雨量計の配置

行なった。

Ⅲ　林内降雨と林外降雨の関係

一般に，林内の水の循環は第４図のように表わされる。このうち林内降雨 P_i は，林外降雨 P_g と次のような直線的な関係をもつことが知られている（Gash, 1979)。

$$P_i = a \cdot P_g - b \quad (P_g > b/a) \tag{1}$$

$$a = 1 - (\overline{E}/\overline{P_g}) \tag{2}$$

$$b = \left(S + \int_{t_0}^{t_1} E(t)dt\right) \cdot \left\{1 - \frac{(\overline{E}/\overline{P_g})}{(1-p_f-p_t)}\right\} \tag{3}$$

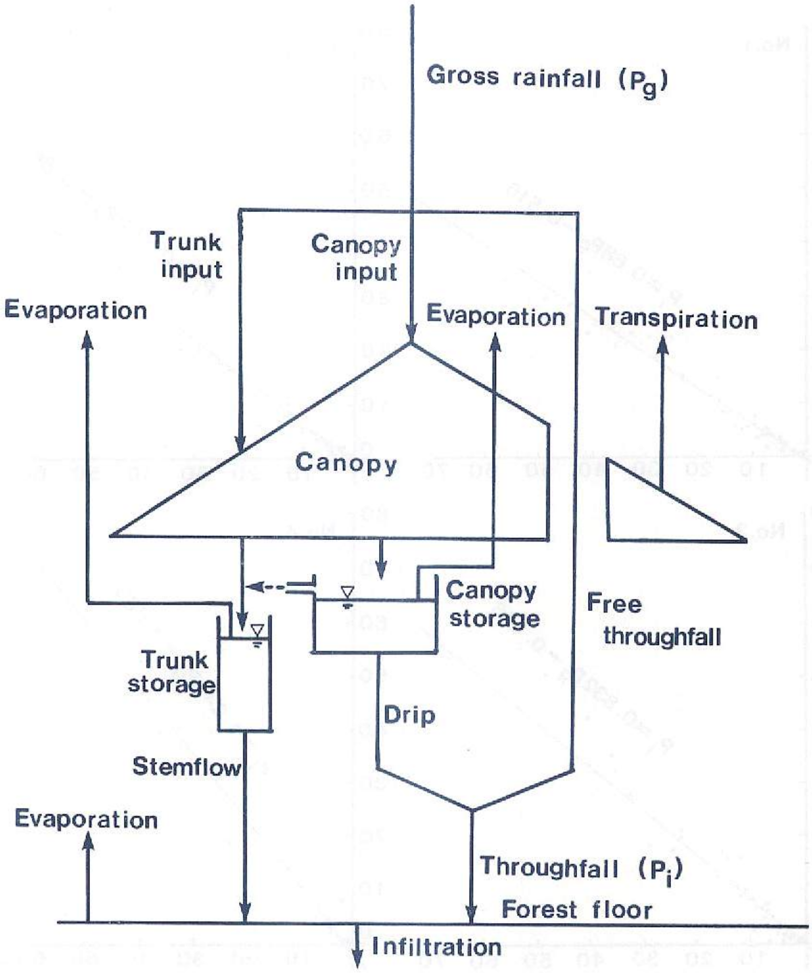
ここで S (mm) は Canopy capacity と呼ばれ，樹冠から滴下（Drip）が始まるときの樹冠貯留量である。$\overline{E}$ と $\overline{P_g}$ は，樹冠貯留量が S に達した後の樹冠からの平均蒸発強度と平均降雨強度である。t_0 と t_1 は降雨開始時刻と樹冠貯留が S に達した時刻を表わし，(3)式の右辺の積分項は，樹冠貯留が始まってから S に達するまでの樹冠からの蒸発量である。p_f と p_t はそれぞれ樹冠に触れずに林床へ達する降水（Free throughfall）と樹幹貯留（Trunk storage）への入力となる降水の林外降雨 P_g に対する配分比である。したがって，(3)式の右辺の $(1-p_f-p_t)$ は，樹冠貯留への入力成分の配分比を表わすことになる。また林内降雨 P_i を林外降雨 P_g に対する百分率で表わすと次のようになる。

$$P_i = \{a - (b/P_g)\} \cdot 100 \ (\%) \tag{4}$$

上式は双曲線であるため，雨量の大きさにより百分率は変化する性質をもつ。しかし，P_g が極端に小さくなければ，a が林内降雨 P_i と林外降雨 P_g の割合を表わしていることになる。

Ⅳ　結　　果

自記計と樋型雨量計について，林内降雨 P_i を林外降雨 P_g に対して回帰したものが第５図である。それぞれ良い直線性を示すが，傾き a と切片 b はそれぞれ異なっており，雨量計を設置した地点の特性を反映している（鈴木ら，1978)。この

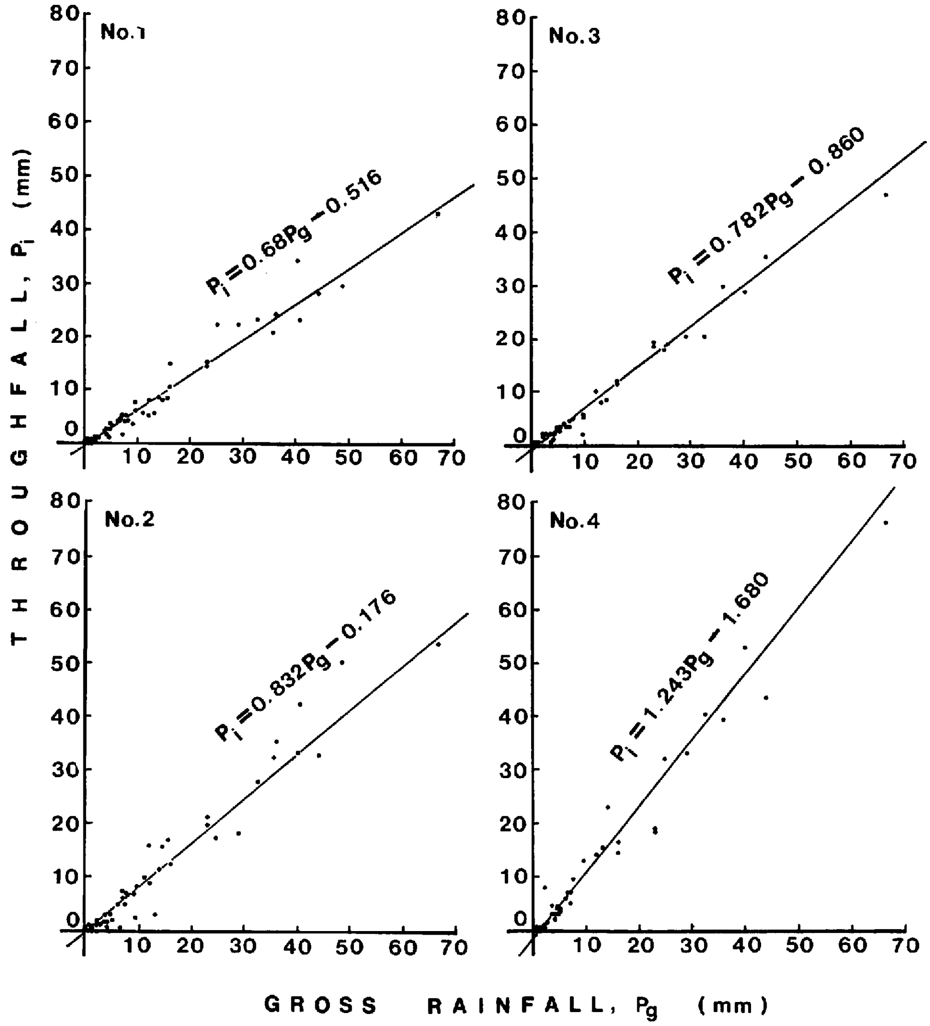


第4図 林内の水循環の概略

ように，森林内では植生のもつ特性が，その地点の林内降雨量に大きな影響を与えている。これらの直線の傾きは，前章で述べたように，その地点の林内降雨量のおおよその目安となる。

樹幹流についても林外降雨と直線的な関係を持つことが知られており，6地点の樹幹流を林外降雨に対して回帰したものが第6図である。データ数は少ないが，直線関係が認められる。測定されたアカマツに関するデータを第1表に示す。第6図では，縦軸に採集量（ml）をとって回帰してあるが，これを第1表の樹冠投影面積で除し，水高（mm）に直すと，S_t1 の場合，$S_t1=0.023P_g-0.115$ となり，その傾きは非常に小さくなる。このように樹幹流は，水高にするとその値が非常に小さくなり，林外降雨の1～2％程度と考えられる。また第6図から，樹幹流は降雨が約5mm以上なければ，流下しないことが認められる。

次に，ポット型50個の一降雨ごとの算術平均値を林内の平均降雨量として，これと林外雨量との関係を調べてみた。使用したデータを第2表，これから回帰直線を計算した結果を第7図に示す。ただし，10月21日の総降雨量176.0mmのデータは，一部のポットがオーバーフローを起こし正確な値が得られなかったため，回帰計算の際には除

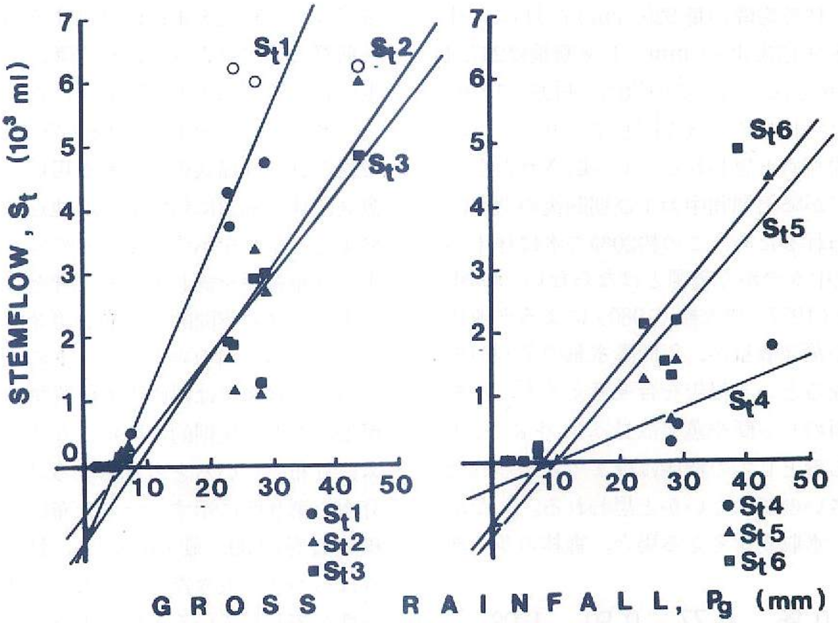


第5図 自記雨量計による林内降雨（P_i）と林外降雨（P_g）の関係

第1表 樹幹流の回帰式および被測定木の樹冠投影面積

S_t*	a	b	Correlation coefficient	Number of samples (cm)	D B H (cm)	Projected area of canopy (cm^2)
S_t1	227.98	-1130.25	0.9718	6	17.1	98570.7
S_t2	144.44	-1179.90	0.9303	8	15.9	69022.5
S_t3	127.33	- 804.23	0.9896	8	16.4	83403.2
S_t4	40.08	- 380.60	0.8365	4	12.2	48118.6
S_t5	115.51	-1177.22	0.9511	4	14.7	66185.2
S_t6	120.91	- 956.65	0.9455	5	17.7	95857.2

*$S_t = aP_g - b$, S_t ($\times 10^3$ml), P_g (mm)

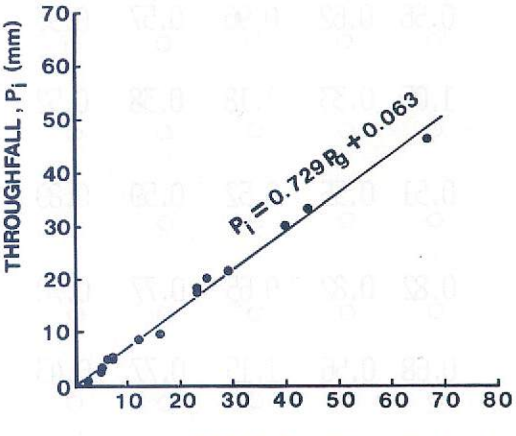


第6図　樹 幹 流 (S_t) と 林 外 降 雨 の 関 係

第2表　ポット型雨量計50個の平均値

DATE		P_g(mm)	P_i(mm)	%	S. D.	C. V.
AUG.	21–23	66.5	46.3	69.6	14.8	0.32
	25	5.0	3.2	64.0	1.2	0.38
	28	40.0	30.0	75.0	11.2	0.37
SEP.	4	7.0	5.2	74.3	1.6	0.31
	8– 9	24.9	20.1	80.7	7.5	0.37
	10–11	4.8	2.5	52.1	1.2	0.48
	11–13	23.0	17.6	76.5	4.8	0.27
	13	6.0	4.8	80.0	1.0	0.21
	19–20	23.0	18.1	78.7	4.7	0.26
	25–26	29.0	21.5	74.1	6.9	0.32
OCT.	1– 2	44.0	33.3	75.7	10.0	0.30
	21–22	176.0	124.0	70.5	19.5	0.16
	29	7.0	5.3	75.7	1.5	0.28
NOV.	2	12.0	8.6	71.7	3.3	0.39
	5– 7	16.0	9.7	60.6	4.0	0.42
	26	10.9	—	—	—	—
	27	13.1	—	—	—	—
DEC.	1	2.1	0.8	38.1	0.4	0.52

P_g : Gross rainfall
P_i : Average throughfall
S. D. : Standard deviation
C. V. : Coefficient of variation



第7図　ポット型雨量計による平均林内降雨と林外降雨の関係

外した。結果は，良い直線性を示し，これにより林外降雨から林内の平均雨量を推定することがある程度可能である。

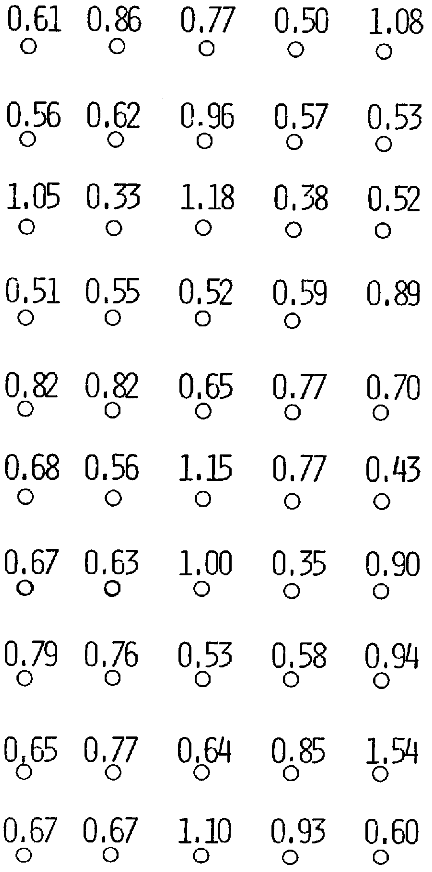
V 考　　察

第7図に示した回帰直線を用いて，1981年4月から12月までの57回の降雨について林内降雨を推

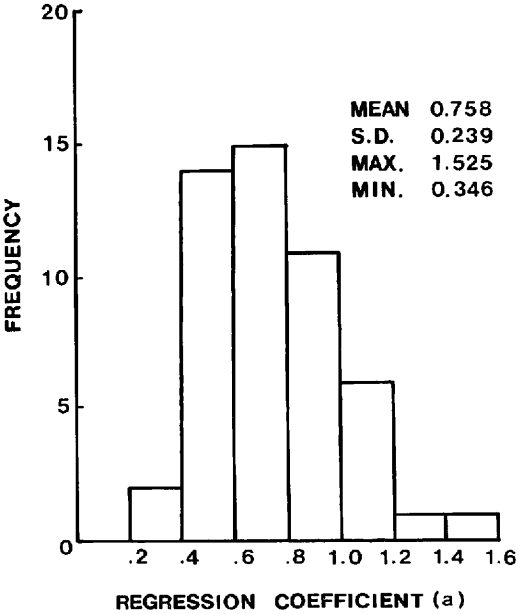
定した結果，林外総降雨量926.3mmに対し，林内降雨は678.9（73.3%）mm，しゃ断量は247.4（26.7%）mmとなった。この値は，村井（1970）によるアカマツ林の値とほぼ同じであり，アカマツ林の平均的な値と思われる。しゃ断された水分は，ほとんどが降雨期間中および期間後の蒸発によって失なわれるため，この約20%の水は林床へは達せず，土中水のかん養源とはならない。Gash and Stewart（1977）や大槲（1980）による平地林からの年間の蒸発散量が，年間降水量の7割から9割の値となるという報告を合せ考えると，平地林による降雨のしゃ断や蒸発散量は以外に大きく，水源かん養としての機能は今まで考えられたものより小さいのではないかと思われる。したがって，今後，水収支を考える場合，森林の多い地域ではしゃ断量を正確に評価する必要があろう。

前章で述べたように，林内降雨はその地点の植生の持つ特性により空間的にばらついていると考えられる。これをポット型50個のそれぞれの地点で得られた回帰式の係数aを用いて考察する。係数aは林外降雨に対するその地点の林内降雨のおおよその割合を示すため，aの分布特性は林内降雨の分布特性を表わすものと考えられる。

まず，aの空間的な分布を第8図に示す。これに対し，第3図の立木とポットの位置を参照してみると，aの値は区画内の位置やポットと立木の距離などとの規則的な関係はなく，林内にランダムに分布していると考えられる。次に，aの頻度分布を第9図に示す。その分布は，平均値0.758，標準偏差0.239，最小値0.346，最大値1.525というばらつきの大きな分布となり，林内降雨の不均一性を表わしているといえよう。最大値と最小値の比は約4.4倍と極めて大きい。分布型としては，正規分布型に近いものとなっている。ここで係数が1.0以上，すなわち林内降雨が林外降雨を上回る地点が8地点（全体の16%）存在し，注目される。このような地点では，その地点外からの



第8図　ポット型雨量計の回帰係数(a)の空間分布



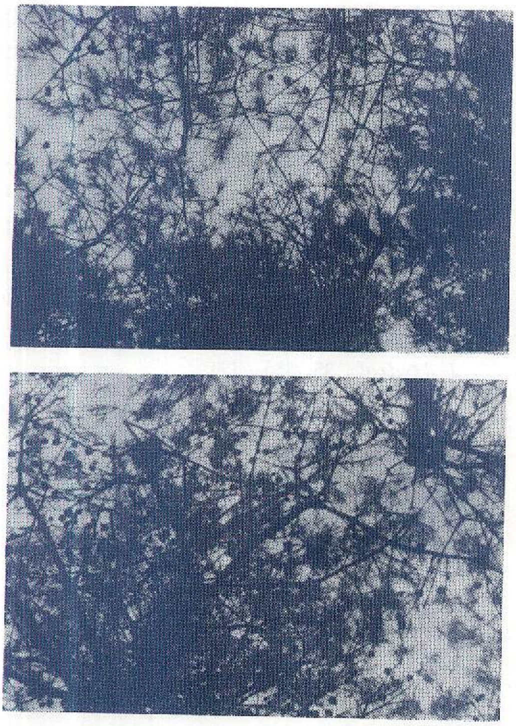
第9図　ポット型雨量計の回帰係数(a)の頻度分布

水分が枝をつたわり，その地点に集中的に滴下するという現象があると考えられる。

以上述べてきたような林内降雨のばらつきは，林内の植生のもつ種々の特性と結びつけて考えられなければならない。たとえば，濡れた植被面上からの蒸発強度 e を一定とし，樹冠貯留量が S に達し，樹冠が一様に濡れていると仮定した場合，(2)式中の $\overline{E}$ は次のように表わされる。

$$E = LAI \cdot e \qquad (5)$$

したがって，LAI の空間的な分布が，林内降雨の分布に大きく影響すると考えられる。また，葉面からの蒸発強度 e も正確には，林内で一定とは考えられず，このことも林内降雨の分布を論ずるうえで十分考慮されなければならない。さらに，林内降雨のばらつきを考えるときに，注意しなければならないものとして滴下成分がある。特に係数 a が 1.0 以上の地点では非常に重要である。その例として，自記計 No. 3 と No. 4 について述べる。No. 3 の a は0. 782，No. 4 の a は1. 234とNo. 4 の方が大きい。しかし両地点のうっ閉度（第10図）を比較した場合 No. 4 が大きく，LAI がうっ閉度に単純に比例するとしたとき，No. 4 の係数 a は前述したことから No. 3 より小さいはずである。したがって No. 4 の係数 a が，No. 3 より大きいという事実は，先にも述べたように，地点外からの水分の滴下の結果と考えられる。この例からも，林内降雨のばらつきを単に LAI などのパラメーターと単純に結びつけて考えることはできず，林内の種々の複雑な特性を組合せて考えなければならないことがわかる。



第10図　自記計 №3（上）と自記計 №4（下）のうっ閉状態

樹幹流については，水高にすると林外降雨の1～2％程度であり，また約5mm 以上の降雨がないと流下しないため，水収支の上では一般に無視されがちである。しかし，樹幹流が流下し林床に達して浸透する範囲は立木の周囲のごく狭まい部分と考えられる。そこで試算として，その浸透の範囲を立木の中心から半径 50cm の円と仮定し，S_t1 における流下量を考えてみる。S_t1 の立木の断面積は約 919cm^2 であるため，浸透の範囲と考えられるドーナツ状の面積は約6935cm^2 となる。ここに 1000ml および 10000ml の2通りの水が流下した場合，それぞれ1. 4mm，14. 4mm となる。1000ml および 10000ml の水が流下したときの林外降雨量を S_t1 の回帰直線から逆算すると，それぞれ9. 4mm，52. 9mm となる。したがって，ドーナツ状の部分に浸透した樹幹流は，それぞれ林外降雨に対し，15％および27％に相当し，かなり大きな値となってくる。また，樹幹流の流下の激しさを示す例として，10月21日から22日にかけての総降雨量 176. 0mm の台風時のデータがあげられる。たとえば，10月21日の21時15分における流下量は約872. 5ml/minであった。この値は上述の浸透範囲で 75. 5mm/hr となり，その時の林外降雨強度 21mm/hr の約3. 5倍である。このように樹幹流を局所的な現象としてみた場合，その量はかなり大きな値となり，林内での水分の特殊な移動形態として注目されよう。

Ⅵ まとめ

水理実験センターに隣接するアカマツ林において，林内雨量と樹幹流の観測を行ない，林外雨量との関係およびその分布特性について調査した結果，つぎのようなことが明らかになった。

林内雨量は林外雨量と非常に良い直線関係を示した。このうち，ポット型50個の一降雨平均値と林外降雨の回帰直線より，林内の平均雨量を求めた結果，林内雨量は林外雨量の約73%となり，約27%がしゃ断損失したことになった。このことより，アカマツ林分のしゃ断能は，かなり大きいことがわかった。

また，地点ごとの林内雨量と林外雨量の回帰直線は，その地点の植生の影響により，大きく異なった。これをポット型50個の地点より得られた回帰式の係数 a の分布をもとにして調べると，空間的には規則性はなく，また頻度分布は，平均0.758，標準偏差0.239のばらつきの大きい分布となった。したがって，林内降雨は，空間的に非常に不均一でランダムなものであるといえる。さらに，係数 a が1.0以上の地点が全体の16%におよび，林外より多量の降雨が生ずる地点が予想以上に多いことが明らかになった。

樹幹流は，林外降雨と比較すると1～2％とその値は小さく，約5mm以上の降雨がないと流下しないため，森林全体の中では非常に小さな成分である。しかし，局所的な現象とした場合，量的にも，また流下速度の面からもかなり大きな値をもつことになり，特殊な水分移動として取り扱う必要がある。

以上のことから今後の問題として次のことが挙げられる。まず，林内降雨の不均一でランダムな特性をどのように林分の構造と結びつけて明らかにして行くか，さらに樹幹流も含めて林内の降水の空間的な不均一性が，林床での水移動，すなわち浸透や流出現象にどのように影響するかという問題である。

謝　辞

本研究には，昭和55・56年度文部省科学研究費一般研究(B)(課題番号：546205；代表者：高山茂美）の補助を受けた。記して感謝いたします。

文　献

大槲政行（1980）：平地アカマツ林の熱収支特性について．筑波大学環境科学研究科修士論文，60p.

鈴木雅一・加藤博之・谷　誠・福島義宏（1979）：桐生試験地における樹冠通過雨量，樹幹流下量，遮断量の研究　(Ⅰ)，樹冠通過雨量と樹幹流下量について．日本林学会誌，61，202—210.

村井　宏（1970）：森林植生による降水のしゃ断についての研究．林業試験場研究報告，232，25—64.

Gash, J.H.C. (1979) : An analytical model of rainfall interception by forests. *Quart. J. R. Met.* **105**, 43-55.

Gash, J. H. C. and Stewart, J. B. (1977) : The evaporation from Thetford forest during 1975. *J. Hydrol.*, **35**, 385-396.