

短報 (Note)

森林総合研究所東北支所実験林内のスギ林とブナ林における 樹冠通過雨量の比較

野口 正二^{1)*}・安田 幸生¹⁾・村上 亘¹⁾²⁾

Comparison of throughfall at *Cryptomeria japonica* and *Fagus crenata* stands in FFPRI Tohoku Research Center

NOGUCHI Shoji^{1)*}, YASUDA Yukio¹⁾ and MURAKAMI Wataru¹⁾²⁾

Abstract

Throughfall is an important element in the hydrologic cycle in forests. The distribution of throughfall at *Cryptomeria japonica* and *Fagus crenata* stands in Tohoku, Japan was observed using 50 bucket raingauges over 15 rain storms. The canopy openness above the raingauges was also calculated using hemisphere photographs. The ratio of throughfall to gross rainfall at the *Cryptomeria japonica* stand ranged from 0.539 to 1.219 (mean: 0.809; SD: 0.139; CV: 17.2%). The ratio depended on the amount of rainfall. Dripping points were observed under the canopy edge at the *Cryptomeria japonica* stand. No linear relationship was found between the ratio of throughfall to gross rainfall and canopy openness at the *Cryptomeria japonica* stand. The ratio of throughfall to gross rainfall at the *Fagus crenata* stand ranged from 0.534 to 0.913 (mean: 0.700; SD: 0.096; CV: 13.8%). The ratio didn't depend on amount of rainfall compared to that at the *Cryptomeria japonica* stand. A weak linear relationship was found between the ratio of throughfall to gross rainfall and canopy openness at the *Fagus crenata* stand. We could estimate amount of throughfall on large scale (e.g. forest stands scale) using the relationship. These results suggest that the mechanism of throughfall differs between *Cryptomeria japonica* and *Fagus crenata* stands. We proposed to examine what influence the shape of the trees, leaf shape, the roughness of the bark, and the tree crown structure, etc. have on throughfall in order to clarify the interception quantitatively.

Key words : throughfall, canopy openness, gap, dripping point, underground vegetation, *Cryptomeria japonica*, *Fagus crenata*

I. はじめに

森林流域にもたらされた雨水の一部は、樹冠を通過して直接地表に到達し、残りは一度樹冠に貯留される。貯留された雨水は、さらに滴下、樹幹流下、遮断蒸発と再配分される。地表に到達する雨水は林内で均一でないため、樹冠通過雨量の代表的な値を得るために樋(藤井, 1959; 服部ら, 1982)や、多数の雨量計(佐藤ら, 2002; Konishi *et al.*, 2006)や、またはそれらの併用(村井, 1970)によって測定が行われている

樹冠通過雨量の空間分布に関する研究として、眞山(1923)は、ブナ・カエデ林を対象に3個の雨量計を枝端と幹の中間、枝端および幹近傍に設置し、幹近傍の樹冠通過雨量が少ないことを示した。中北ら(1985)は、4樹種林内に30cm間隔に96個のデスカップ(φ12cm)を設置した。その結果、スギ林では幹側より樹冠外縁部付近で樹冠通過雨量が多いが、ヒノキ・サクラ林におい

て、そのような差が認められなかった。田中ら(2005)は、100個の牛乳パック(7.1x7.1cm)をヒノキ林内の4ヶ所(合計400個)に設置し、下層植生により雨水の集中滴下する場所が出現することを示した。Konishi *et al.* (2006)は熱帯雨林において、1m間隔に貯留式雨量計(φ=22.75cm)を100ヶ所と大型樹冠通過雨量計(3.55m x 2.7m; 3.59m x 1.97m)を2ヶ所に設置した。その結果、樹冠通過雨量の空間分布は、樹冠やギャップの大きさの影響を受けることを示した。

樹冠遮断量は、枝葉の着生角度、樹皮の粗度、樹冠構造に影響を受けることが指摘されている(柴田ら, 1998; Konishi *et al.*, 2006)が、その量を推定するための統一的な法則性が見出されていない。また、従来の樹冠遮断観測はプロットスケールで実施されており、そのような手法のみで林分スケールなど広域での樹冠遮断量を明らかにすることは困難である。本研究では樹

原稿受付：平成18年12月25日 Received Dec. 25, 2006 原稿受理：平成19年5月7日 Accepted May 7, 2007

* 森林総合研究所東北支所 〒020-0123 盛岡市下厨川鍋屋敷92-25 Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI) 92-25, Nabeyashiki, Shimo-Kuriyagawa, Morioka 020-0123, Japan; e-mail :noguchi@ffpri.affrc.go.jp

1) 森林総合研究所東北支所 Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) 森林総合研究所水土保全研究領域 Department of Soil and Water Conservation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

冠通過雨量に着目し、樹形や葉形が異なる針葉樹のスギ (*Cryptomeria japonica*) と落葉広葉樹のブナ (*Fagus crenata*) を対象として、2つの林内に合計 100 個の貯留式雨量計を設置し樹冠通過雨量を比較する。さらに、林分スケールでの樹冠通過雨量を把握する方法として、樹冠構造を反映していると考えられる樹冠の開空度を各貯留式雨量計の直上で測定し、その樹冠開空度と樹冠通過雨量との関係について検討する。

II. 研究方法

1. 試験地の概要

本研究は、森林総合研究所東北支所構内 (岩手県盛岡市, 39°46' N, 141°8' E, 標高: 190m) の実験林第 2 苗畑内のほぼ平坦な地形のスギ林 (593m²) とブナ林 (565m²) において実施した。スギ林の立木密度は 2277

本/ha、胸高直径は 1.9 ~ 36.5cm (平均値: 18.3cm, SD: 7.9cm) で、代表木 11 本の樹高は、11.4 ~ 19.5m (平均値: 15.9m, SD: 3.2m) であった。下層植生として、ヤマグワやオニグルミがあり、密度は粗であった。また、ブナ林の立木密度は 1257 本/ha、胸高直径は 3.9 ~ 40.1 cm (平均値: 15.9cm, SD: 7.5cm) で、代表木 10 本の樹高は、10.0 ~ 18.4m (平均値: 15.6m, SD: 2.5m) であった。下層植生として、サンショウ、ヤマグワ、ガマズミがあり、密度はスギ林と同様に粗である。

当観測地から西南西に約 8km 離れた盛岡気象観測所 (39°41.9' N, 141°9.9' E, 標高: 155m) では、年平均降水量は 1254mm (1971 ~ 2000 年) であり、年間を通じて、6月から9月に降水量が多い (6月: 114.9mm, 7月: 165.7mm, 8月: 177.8mm, 9月: 157.5mm)。また、年平均気温の平年値は 10.0°C (1971 ~ 2000 年) で、1月に最低値 (-2.1°C)、8月に最高値 (23.2°C) を示す (気象庁, 2007)。

2. 測定方法

本研究では、ブナの展葉後の 6 月末から 8 月までの期間の降雨イベントを解析の対象とした。降雨量は、転倒マス式雨量計 (#7852, Davis Ltd, USA: ϕ : 160mm, 一転倒 0.254mm) を用いて構内の気象露場で測定した。さらに、貯留式雨量計として、くず入れ (コクヨ, イレー 11NM: ϕ 242xH280mm) を気象露場 (A 地点) および樹冠通過雨量測定プロットから 44.5m 離れた開けた場所 (B 地点) の 2ヶ所で測定した。なお、A 地点と B 地点の距離は約 580m である。

スギ林とブナ林において樹冠通過雨量測定のため、林外と同様の貯留式雨量計を植栽木にほぼ沿って 5 列 (8ヶ; 2m 間隔) と北東方向に 1 列 (10ヶ; 2m 以下のランダムな間隔) にそれぞれ 50ヶ固定設置した (Fig.1)。降雨後、速やかに貯留式雨量計内の水量をメスシリンダーまたはデジタル式フォースゲージ (IMADA, ZP-500N) を用いて計測した。

樹冠の開空度を測定するために、魚眼レンズ (FC-E8) を装着したデジタルカメラ (Nikon Cool Pix4500) を用いて、各貯留式雨量計の直上で 2006 年 7 月 5 日に全天写真を撮影した。得られた写真から解析ソフト (Hemiview; Delta-T Devices Ltd, UK) を用いて開空度を求めた。なお、写真には半球全体が撮影されるが、この領域全体が樹冠通過雨量のばらつきに影響を及ぼしているとは考えにくい。そこで本研究では、その領域を絞るため天頂角 7.5° (高度 15m で直径 4m の円に相当) の範囲の開空度を算出し解析に用いた (Fig. 2)。

3. 林外雨量

気象露場における 2006 年 6 月、7 月、および 8 月の降雨量は、20.1mm、194.8mm および 65.6mm であった。平年値と比較して、7 月はやや多い降雨量であったが、

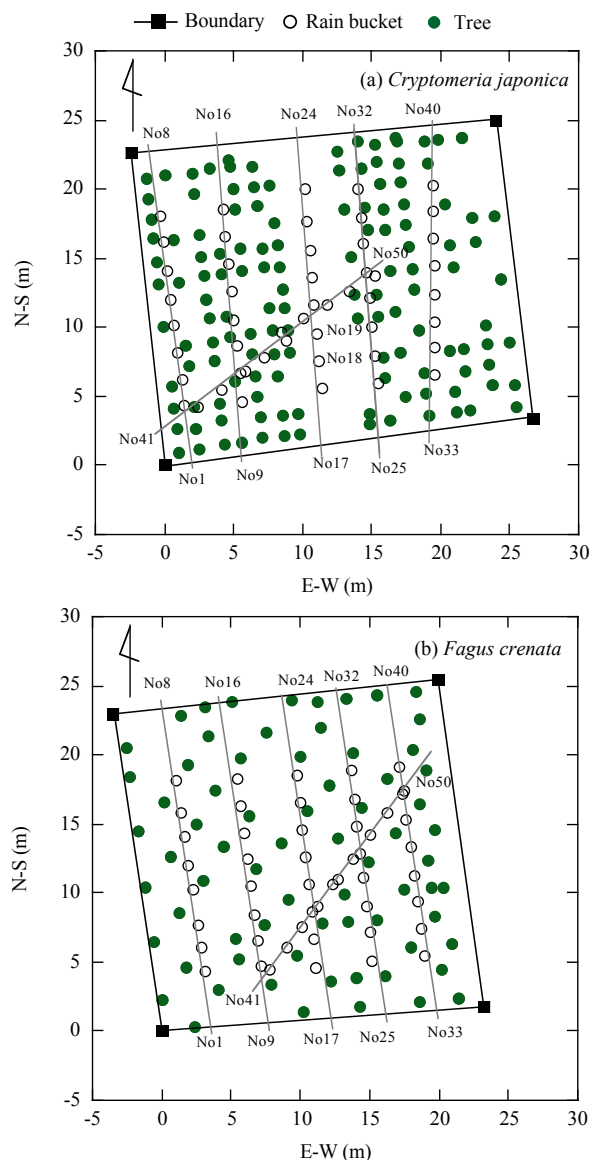


Fig. 1. 貯留式雨量計の配置と樹木位置

Location of bucket raingauges and trees.

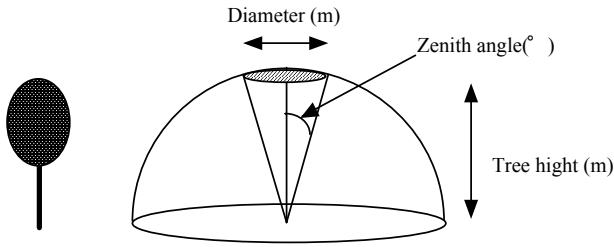


Fig. 2. 樹冠開空度算出に用いた範囲

Area used to calculate canopy openness.

6月と8月は寡雨であった。15回の測定では、A地点とB地点における降雨量の差の割合 ($\frac{A-B}{A} \times 100$) は、-100.0 ~ 22.2% (平均値: -10.3%, SD: 28.5%) であった。A地点とB地点との差が10%以上あった測定が6回あり、両地点間の降雨イベントに関して系統的な関係は見られなかった。一般に、ある地点の降雨量は、対象とする時間が短くなるほど、より近傍の測定地点の値を反映する。両地点間の距離は約580mであるが、樹冠通過雨量と比較する場合は、B地点の降雨量を解析に用いた。一方、降雨イベントの特性については、気象露場における転倒マス式雨量計の値を解析に用いた。測定した降雨イベントの特性をTable1に示す。なお、データは1時間インターバルで集計し、12時間以上経てもたらされた降雨は異なるイベントとした。

III. 結果

1. 樹冠開空度の分布

各林内の貯留式雨量計直上における樹冠開空度の測定結果をFig.3に示す。スギ林において、測定値の最小値、最大値、平均値、標準偏差および変動係数は、それぞれ11.4%、65.1%、32.6%、11.0%および33.8%であった。測定地点No.17~24では、樹木間隔が他と比較して広

Table 1. 測定降雨イベントの特性

Characteristics of rainfall

番号 No.	年月日 date	総雨量 total rainfall (mm)	1時間最大 降雨強度 rainfall intensity (mm h ⁻¹)	継続時間 duration of rainfall (hour)
1*	06/6/30-7/4	96.0	14.5	56
2	06/7/5-7/6	20.1	2.8	23
3*	06/7/9-7/10	2.0	0.25	12
4	06/7/11-7/12	5.1	1.8	8
5	06/7/13-7/14	10.2	2.3	20
6	06/7/17-7/18	8.9	7.4	15
7	06/7/21-7/22	19.8	3.8	24
8	06/7/22-7/23	4.8	2.0	12
9	06/7/28-7/29	25.1	3.6	23
10	06/8/11	27.9	22.1	2
11	06/8/13	18.5	13.7	5
12	06/8/19	8.6	5.1	9
13	06/8/22-8/23	8.1	3.3	5
14	06/8/28-8/29	8.4	2.5	14
15	06/8/30	1.3	0.25	11

* 複数の降雨イベントを含む

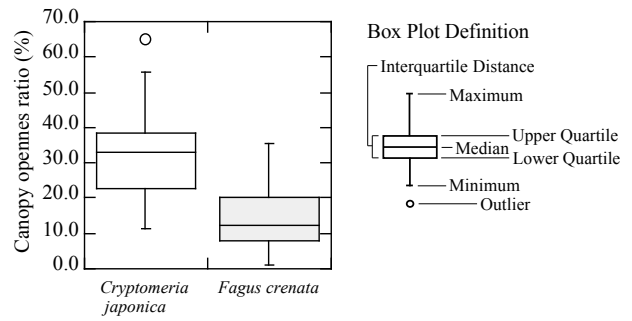


Fig. 3. 樹冠開空度の分布

各ボックスのデータの50%を囲み、変数の中央値はラインで示す。ボックスの上下ラインは上四分位値(UQ)と下四分位値(LQ)を示し、各ボックスの上下間のラインは許容範囲内にある最大値と最小値を示す。外れ値(: $UQ+1.5*(UQ-LQ)$ より大きい値もしくは $LQ-1.5*(UQ-LQ)$ より小さい値)は○で示す。

Box-plot of canopy openness at each throughfall observation plot.

Each box encloses 50% of the data within the median value of the variable showed as a line. The top and bottom of the box mark upper quartile (UQ) and lower quartile (LQ). The lines extending from the top and bottom of each box mark the maximum and minimum values within the data set that within an acceptable range. Outlier whose value is either: greater than $UQ+1.5*(UQ-LQ)$ or less than $LQ-1.5*(UQ-LQ)$ shows as a blank circle.

く (Fig.1)、その部分の樹冠開空度は、33.6 ~ 65.1% (平均値:46.5%)と他の場所よりも大きな値を示した。一方、樹幹近傍の地点の樹冠開空度は小さかった。ブナ林において、測定値の最小値、最大値、平均値、標準偏差および変動係数、それぞれ0.9%、35.5%、14.1%、8.2%および58.2%であった。スギ林と比較して、ブナ林の方が樹冠開空度の値の範囲が狭く平均値が小さいが、変動係数は大きな値を示した。

2. 樹冠通過雨量の分布

Fig.4に各降雨イベント (No.1 ~ No.15) と全15回の測定値の合計 (All) の林外雨量に対する樹冠通過雨量の割合を示す。スギ林では降雨量が少ないとき、その割合は小さい傾向を示した (Fig.4a, イベントNo3とNo15; Table1)。降雨量が増加するにつれてその割合は増加するが、各イベントにおいて平均値が0.9を超えることはなかった。各イベントでの分布の型は、高い値側に外れ値がある場合が多く、正の歪度を示した。また、全測定における林外雨に対する樹冠通過雨量の割合は、外れ値を除くと左右対称型を示した (Fig.4aのAll)。この最小値、最大値、平均値、標準偏差および変動係数を求めると、0.539、1.219、0.809、0.139および17.2%であった。

ブナ林においても、全測定値の林外雨量に対する樹冠通過雨量の割合は、左右対称型を示した (Fig.4bのAll)。その最小値、最大値、平均値、標準偏差および変

動係数を求めると、0.534、0.913、0.700、0.096 および 13.8% であった。

ブナ林とスギ林における各降雨イベントにおけるその割合の平均値を比較すると、ブナ林では、0.508～0.741（平均値：0.672、標準偏差：0.0613）の値を示し、スギ林では、0.286～0.878（平均値：0.693、標準偏差：0.178）で、ブナ林の方がスギ林より各イベント間での差が小さかった。

Fig.5 に各測定地点の樹冠開空度と林外雨量に対する樹冠通過雨量の割合の関係を示す。なお、林外雨量に対する樹冠通過雨量の割合は、全測定値の合計から求めた。スギ林において、各地点の林外雨量に対する樹冠通過雨量の割合 ($T_{f,C}$) とその地点における樹冠開空度 ($O_{p,C}$) の関係について、式(1)のように両者に明瞭な直線関係が認められなかった；

$$T_{f,C}=0.00231O_{p,C}+0.734,r=0.183 \quad (1)$$

$O_{p,C}$ が 10%～45% の範囲かつ $T_{f,C}$ が 0.5～1.0% の範囲 (Fig.5a：線枠内) に、測定値の 86% を占めた。枠外の値は、測定地点 No.17～No.24 に集中していた。一方、ブナ林では、各地点における林外雨量に対する樹冠

通過雨量の割合 ($T_{f,F}$) とその地点における樹冠開空度 ($O_{p,F}$) の間に、式(2)のような弱い直線関係が認められた；

$$T_{f,F}=0.00496O_{p,F}+0.620,r=0.403 \quad (2)$$

式(2)に対して分散分析をした結果、有意な主効果が認められた ($F(1, 48)=9.272, p=0.004$)。

IV. 考察

本研究ではブナ林において、広葉樹である熱帯林で実施された Konishi *et al.* (2006) の研究結果と同様に、樹冠開空度と樹冠通過雨量との間に弱い直線関係が認められた。この結果から、ブナ林の樹冠開空度の空間分布を把握することによって、林分スケールで樹冠通過雨量を推定できる可能性が示唆された。しかし、樹冠開空度は、樹冠構造を 2 次元でとらえた情報であり、実際の樹冠構造は 3 次元である。今後、樹冠通過雨量の空間分布を広域で精度高く推定するために、樹冠構造を 3 次元で把握し、樹冠通過雨量との関係を解析することが課題となる。

スギ林において樹冠開空度と樹冠通過雨量との間に直線的な関係は認められなかった。中北ら (1985) はスギ

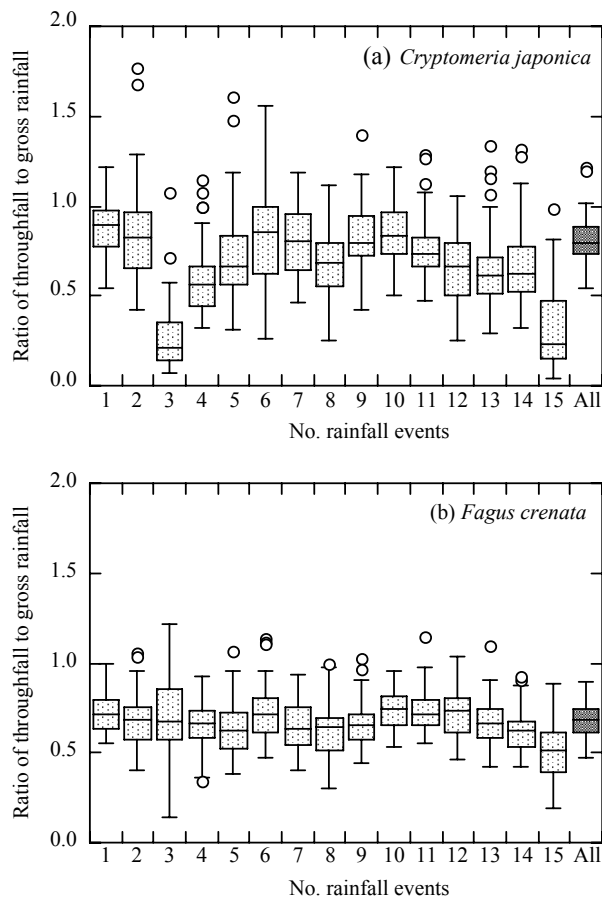


Fig. 4. 林外雨量に対する樹冠通過雨量の割合 (a) スギ, (b) ブナボックスプロットの定義は Fig3 を参照。

Box-plot of ratio of throughfall to gross rainfall. (a) *Cryptomeria japonica*, (b) *Fagus Crenata*. Refer to Fig 3 for definition of box-plot.

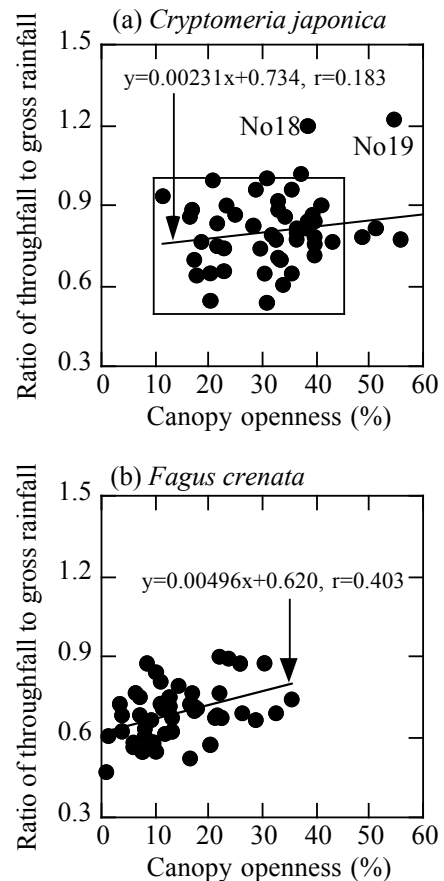


Fig. 5. 樹冠開空度林外雨量に対する樹冠通過雨量の割合との関係 (a) スギ, (b) ブナ

Relationship between the canopy openness and the ratio of throughfall to gross rainfall. (a) *Cryptomeria japonica*, (b) *Fagus Crenata*.

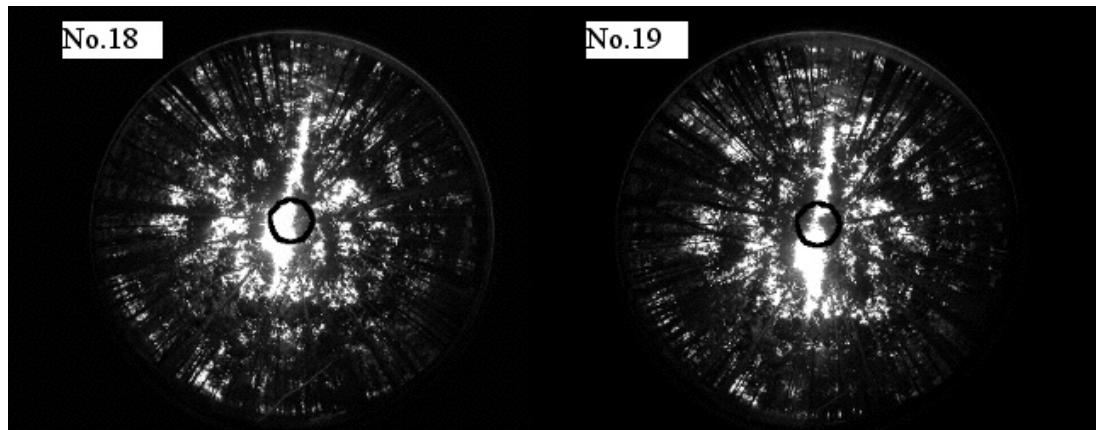


Photo 1. 地点 18 と 19 における全天写真
Hemisphere photographs at No.18 and 19.

林において、林冠外縁部付近で樹冠通過雨量が多く、ヒノキ林やサクラ林ではそのような差がないこと示した。その理由として、樹冠の重なりや葉の形状が原因だと考察している。本研究において、スギ林では樹冠通過雨量が多い地点があり、ブナ林ではスギ林ほど大きな差がないという中北ら (1985) と同様な結果となった。本研究のスギ林では、樹木間の距離が空いている地点 No.17 から No.24 のラインにおいて樹冠通過雨量が多い場所が存在した。中でも樹冠通過雨量が極端に多い地点 No.18 と No.19 の全天写真を Photo1 に示す。地点 No.18 と No.19 の樹冠開空度は、それぞれ 54.6% と 38.5% であった (Fig.5a; Photo1 : 円の内部)。地点 No.19 の樹冠開空度は極端に大きな値でないが、明らかに樹冠の縁に位置している (Photo1)。このことから、地点 No.19 で樹冠による雨水の集中滴下が生じていることが推測できる。以上の結果から、スギ林においては、全天写真による樹冠開空度の割合のみで、樹冠通過雨量を評価することは注意が必要であろう。実際の森林流域において、このような集中滴下が生じる場として、河道沿い、森林伐採による攪乱跡地 (土場・林道・集材路等)、ギャップの林縁部などが考えられる。一方、この雨水の集中滴下について、熱帯林の林道跡地では、ラタンやシダなどの下層植生の縁で集中滴下が生じていること (Negishi *et al.*, 2004; Noguchi *et al.*, 2005)、日本のヒノキ林では、アオキやユズリハといった葉の大きい下層植生によって集中滴下が生じていることが観測されている (田中ら, 2005)。本研究では、スギ林においてヤマグワが一部の貯留式雨量計近傍に成立し、その下層植生の影響を受けている可能性が考えられた。今後、降雨時に詳細に観察する必要がある。

スギ林では、降雨量が少なくなるときの林外雨に対する樹冠通過雨量の割合が小さく、ブナ林では降雨イベントとの大小に関係がない傾向を示した。ブナは、樹冠が補足した雨水を樹幹に導く形状を持ち樹皮が滑らかなことから、スギよりも大量な樹幹流を生じさせる (例えば、村井・

片岡, 1978)。このことは、ブナ林とスギ林で樹冠に達した雨水を林内へ分配するシステムが異なること示唆する。ブナ林では、このような樹冠に到達した雨水を速やかに樹幹流として林地に分配するシステムによって、降雨イベントの大小で林外雨量に対する樹冠通過雨量の割合の変化がスギ林のように大きく変動しないと考えられた。今後、樹冠通過雨量を定量的に評価するために、樹形、葉形、樹皮の粗度、樹冠構造などが樹冠通過雨量に与える影響について明らかにする必要がある。

V. 謝辞

本研究をまとめるにあたり、北田正憲氏に調査のご協力を頂いた。また、二名の査読者の方々から建設的かつ有益なコメントを頂いた。ここに記して厚くお礼申し上げる。本研究は、交付金プロ「水流出に及ぼす間伐の影響と長期変動の評価手法の開発」から補助を一部得て、森林総合研究所東北支所構内実験林を利用し実施しました。

引用文献

- 藤井真一 (1959) ヒノキ林の遮断雨量に関する試験, 日林誌, **41**, 262-269.
- 服部重昭・近嵐弘栄・竹内信治 (1982) ヒノキ林における樹冠遮断量測定とその微気象学的解析, 林試験場研究報告, **318**, 79-102.
- 気象庁 (2007) 気象統計情報 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- Konishi, S., Tani, M., Kosugi, Y., Takanashi, S., Mohd Md Sahat, Abdul Rahim, N., Niiyama, K., and Okuda, T. (2006) Characteristics of spatial distribution of throughfall in a lowland tropical rainforest, Peninsular Malaysia. *Forest Ecological Management*, **244**, 19-25.
- 眞山利雄 (1923) 大台ヶ原山上の樹雨に就て, 森林治水気象彙報, 農商務省林業試験場, **2**, 9-19.
- 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.
- 村井 宏・片岡健次郎 (1978) ブナ天然林の水保全機能について, 水利科学, **123**, 24-34.
- 中北 理・静 孝明・丸谷知己・竹下敬司 (1985) 林内における降雨パターンについて (III) - 4 樹種 7 地点 19 降雨による比較 -, 96 回日林論, 537-538.
- Negishi, J. N., Noguchi, S., Sidle, R.C., and Abdul Rahim, N. (2004) Observations on logging road recovery after 3 years of selective harvesting: Implications of road rehabilitations. Proceedings of the International workshop on the landscape level rehabilitation of degraded tropical forests, 2004. 37-42.
- Noguchi, S., Abdul Rahim, N., Siti Aisah, S., and Ahmad, S. (2005) Spatial variability of throughfall along old logging road in Bukit Tarek Experimental Watershed. Proceedings of the International workshop on the landscape level rehabilitation of degraded tropical forests, 2005. 27-32.
- 佐藤嘉展・大槻恭一・小川滋 (2002) マテバシイ林における年間樹冠遮断量の推定, 九州大学演習林報告, **83**, 15-29.
- 柴田英昭・中尾登志雄・蔵治光一郎 (1998) 林内雨・樹幹流の測定法と問題点, ぶんせき, **286**, 758-761.
- 田中延亮・蔵治光一郎・鈴木雅一・太田猛彦 (2005) ヒノキ壮齡林の下層樹木の樹冠下における樹冠通過雨量の空間分布特性, 東京大学演習林報告, **113**, 133-154.