

グリーンインフラとしての都市樹木の樹冠通過雨量評価

長野 龍平 杉本 英夫
十河 潔 司

Evaluation of Throughfall for Twenty Tree Species in Urban Area

Ryohei Nagano Hideo Sugimoto
Kiyoshi Sogo

Abstract

For a quantitative evaluation of the rainfall interception rate of urban trees, twenty tree species throughfall are measured at two sites in central (Shinagawa Central Garden) and suburban (Obayashi Corporation Technical Research Institute: TRI) Tokyo. The throughfall rates of measurement trees in Shinagawa CG and TRI are 0.46–0.81 and 0.17–1, respectively. The throughfall rates of *Photinia × fraseri*, *Rhododendron kaempferi*, and *Juniperus chinensis* are relatively low, whereas those of *Cerasus × yedoensis* and *Ligustrum japonicum* are relatively high. It is discovered that the throughfall exhibits a weak but positive correlation with openness, but not with the leaf area index. This suggests that the direct rainfall rate can significantly affect the throughfall rate.

概 要

降雨遮断効果を考慮した緑地設計を行うためには、都市樹木の降雨遮断率を把握する必要があるが、既往研究例は著しく少ない。そこで、品川セントラルガーデン及び大林組技術研究所において12種の樹冠通過雨量の測定を行った。総降雨量に対する総樹冠通過雨量から樹冠通過雨量率を求めたところ、品川セントラルガーデンの測定樹木の樹冠通過雨量率は0.46～0.81、大林組技術研究所の測定樹木の樹冠通過雨量率は0.17～1であった。樹種別では、レッドロビン、ヤマツツジ、カイヅカイブキの樹冠通過雨量率は小さく、ソメイヨシノ、ネズミモチの樹冠通過雨量率は大きかった。樹冠通過雨量と開空率との間には正の相関が認められ、直達雨量が樹冠通過雨量に影響を与えたと推測された。

1. はじめに

主に夏から秋にかけて集中豪雨が多発しており、その数は年々増加傾向にある¹⁾。2019年度の記録的短時間大雨情報(数年に一度しか発生しないような短時間降雨)発表数は96件であり、地域の偏りなく全国各地の气象台から発表されている。都市部や都市近郊では水田や畑地の宅地化、地表面の舗装化、地下街の開発、合流式下水道の整備等により、地面の雨水貯留・浸透・排水能力が低下しており、冠水や浸水等の内水氾濫が頻繁に起こっている²⁾。2014年には「水循環基本法」や「雨水の利用促進に関する法律」が施行され、2016年には「下水道法」の一部改正が行われ、平時の雨水浸透や雨水利用の積極的な推進により下水道への流入量を減らすことが求められている。内水氾濫が発生すると、例えばショッピングセンターでは集客力が低下し、データセンター等では事業存続に影響が及ぶリスクがある。そのため、建設業ではハード対策(例えば、大型の雨水貯留槽の建設、雨水浸透樹の設置、調整池の整備等)やソフト対策(例えば、シミュレーションによる浸水予測、設計時の想定降雨量の引き上げ等)への適用技術の開発を行ってきた。しかしながら、想定以上の豪雨に十分に対応できているとは言えない。

森林水文学や水循環の気候・気象学の研究から、樹木は一定の降雨遮断効果を有すとされている(Fig. 1)。つまり、降った雨の一部は樹冠で遮断され、地面に達することができないということである。その機構の詳細には未解明の部分があるものの、降雨中の樹冠からの蒸発、及び降雨中に枝葉や幹表面に保水された雨水の降水終了後の蒸発によるとされている³⁾。近藤ら⁴⁾によれば国内の森林の年間降水のうちのおよそ2割以上が降雨遮断により大気中に蒸発している。つまり、樹木の降雨遮断効果は実質的に地面に落下する雨量を減少させる。そのため、例えば建物の風上側等の雨量が多い箇所に降雨遮断効果が大きい樹種を配植することにより、下水道への雨水流入量を減少させ、冠水や溢水等のリスク低減につなげることが可能である。

樹木の降雨遮断量Iは式(1)から算出できる。

$$I = P_r - (T_f + S_f) \quad (1)$$

ここで、 P_r 、降雨量(林外雨量); T_f 、樹冠通過雨量; S_f 、樹幹流量である。樹冠通過雨量は、枝葉の間隙を通過して直接地面に到達する雨量(直達雨量)と、枝葉に一旦捕捉された後に地面に滴下する雨量(滴下雨量)との合計量である。樹幹流量は、幹の表面を伝って地面に流下する雨量である。

降雨遮断量の測定は、スギ(*Cryptomeria japonica*)やヒノキ(*Chamaecyparis obtuse*)を主体とした針葉樹において数多く行われている^{5), 6), 7)}。一方で、都市の建物外構で多用される広葉樹の降雨遮断量は数例^{8), 9)}しかない。本研究では、降雨遮断効果を考慮した緑地設計実現のための第1段階として、品川セントラルガーデン及び大林組技術研究所において、都市の外構植栽に多用される広葉樹10樹種および針葉樹2種を対象に樹冠通過雨量の測定を行った。本報では、その結果について報告する。

2. グリーンインフラとEco-DRR

台風・氾濫・土砂崩れ等の激甚化する自然災害、人口減少や高齢化、地方の過疎化、既存インフラの老朽化、緑地の減少、耕作放棄地の増加等、近年、地域・社会の持続性に関わる課題が顕在化している。これらの課題に対応する手段の一つとしてグリーンインフラ(Green Infrastructure, 以下、GI)の概念が注目されている¹⁰⁾。

GIとは、自然の機能を賢く活用することで、上記に挙げたような課題の解決に向けての多面的な効果が期待できるインフラである。GIは特に欧米で推進され、欧州では生態系サービス(生物や生態系が人に与える恩恵)の維持・形成を目的として、あるいは、米国では雨水管理や洪水対策を目的として活用されている。一方国内では、生物の生息・生育の場の提供、良好な景観形成、気温上昇の抑制、災害発生時の被害の軽減等、社会や地域の課題を広く解決することを目的としている。2014年以降の社会資本整備や国土管理分野における行政計画(国土強靱化計画、国土形成計画、社会資本整備重点計画、国土強靱化アクションプラン2016等)にGIの利用推進が記載され、アカデミック分野や民間企業から注目が集まっている。

米国ポートランド市では、それまでの下水道管のサイズ拡張や修繕による豪雨マネジメント計画から、雨水流出量の抑制や時間遅れを目的とした雨水プランター、雨庭等の設置による、グリーンストリートを活用する計画に変更したところ、下水道への流出量が平均86%減に、費用も約40%減になったことが報告されている¹¹⁾。また、神田川上流域において、10年に一度の豪雨を想定した浸水シミュレーションを行ったところ、緑地を創出することにより、浸水割合は約2%減に、被害額は約50億減になることが報告されている¹²⁾。これらの例は、GIによる豪雨対策(Table 1)が有用であることを示す例である。

GIの類似概念の一つに、Eco-DRR(Ecosystem-based Disaster Risk Reduction)がある。Eco-DRRとは、生態系を活用した防災・減災技術(=生態系インフラ)であり、豊かな生態系の恵みと災害リスク低減の両立を目指した考え方である¹³⁾。従来の国土強靱化の手法は、計画段階で想定した範囲内であれば単一機能を確実に発揮する、コンクリート構造物のような人工物インフラが主流で

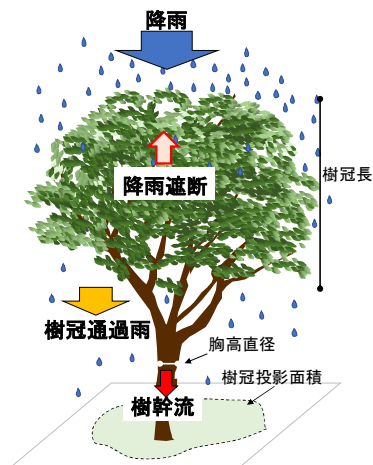


Fig. 1 樹冠内の水移動と測定した樹木情報
Water Dynamics in Tree

Table 1 GIやEco-DRRの概念に合致した豪雨対策例
Examples of GI and/or Eco-DRR in Urban City

要素	機能	具体例
樹木	蒸発	・降雨遮断効果を考慮した緑地設計
舗装	貯水	・貯水性舗装
	浸透	・透水性舗装
ランドスケープ	貯水	・雨水プランター
	浸透	・雨庭
	蒸発	・バイオスウェイル(低湿地)
		・屋上緑化

あった。しかし、想定以上の自然災害が増加している昨今においては、人工物インフラの代替やそれと相補的な関係を有するインフラが求められており、その中でも生態系インフラへの期待が高まっている。また、近年はパリ協定やESG投資に代表されるように企業活動における環境配慮が重要視されてきており、多機能性や低環境負荷等のメリット(Table 2)を有する点においても生態系インフラに期待する声は大きい。

GIやEco-DRRの概念は国内に急速に広まっており、利用促進が期待されている。しかし、各要素技術の効果が未だほとんど定量化されておらず、費用対効果が明確に分かっていないことから導入が進んでいないのが現状である。樹木の降雨遮断効果を活用し、集中豪雨の被害軽減を目指す本研究は、GIやEco-DRRの概念に合致しており、社会実装のための定量的な効果を提示するものである。

3. 方法

3.1 品川セントラルガーデンでの降雨量及び樹冠通過雨量測定

品川セントラルガーデン(以下、品川 CG)は東京都港区と品川区にまたがる、幅 45 m、長さ 400 m、東西を高さ約 150m のビル群に囲まれている都市公園である。

測定樹木はカツラ(*Cerc-idiphyllum japonicum*)、シラカシ(*Quercus myrsinaefolia*)、ソメイヨシノ(*Cerasus × yedoensis*)各 2 本である。各樹木の樹高、胸高直径(高さ 1.2m の幹の直径)、樹冠投影面積(樹冠を地表面から真上に投影した面積)、雨樋上の樹冠長を Table 3 に示す。測定は 2017 年 4 月 27 日～2017 年 12 月 10 日に行った。

降雨量(林外降雨量)測定のため、可能な限り開けた場所に雨量計を設置した。なお、本実験で使用した雨量計はすべて 1 転倒 0.5 mm の転倒マス式雨量計であった。

樹冠通過雨量測定のため、Photo 1 に示すように、幅 9.5cm、長さ 3.5m の雨樋 2 本を V 字型に設置した。雨樋の下流端に穴を開け、穴の下にホースが付いた漏斗を設置した。雨樋には 2～4°の勾配が付いており、雨樋に落下した雨は穴からホースを通り、雨量計に導水された。幹近くや樹縁部の樹冠通過雨も捕捉できるよう、雨樋の V 字角度を大きくし、また、雨樋の先端が樹縁部より 0.5～1m 内側に入るように設置することで、樹冠を通過せず樹冠下の脇から直接雨樋に降り込む雨の量を低減させた。転倒マス式雨量計で測定した量を雨樋面積で除し、雨量計の集水面積を乗じることで樹冠通過雨量を水高換算した。

3.2 大林組技術研究所での降雨量及び樹冠通過雨量測定

大林組技術研究所(以下、技研)は東京都清瀬市に位置している。測定樹種は、アセビ(*Pieris japonica*)、クスノキ(*Cinnamomum camphora*)、レッドロビン(*Photinia × fraseri*)、ネズミモチ(*Ligustrum japonicum*)、カイヅカイブキ(*Juniperus chinensis*)、シラカシ、ヤマザクラ(*Cerasus jamasakura*)、サンゴジュ(*Viburnum odoratissimum*)、アカマツ(*Pinus densiflora*)、ヤマツツジ(*Rhododendron kaempferi*)の 10 種であり、クスノキとサンゴジュは各 2 本、それ以外は各 1 本で測定を行った。各樹木の樹高、胸高直径、樹冠投影面積、ボトル数(後述)を Table 4 に示す。測定は 2017 年 5 月 8 日～2017 年 12 月 30 日に行った。

樹冠通過雨量測定のため、5L のボトルの蓋に直径 15cm の漏斗を挿し、接続部を止水した後、各樹木の下に複数個設置した(Fig. 2, Photo 2(a), (b))。また、周囲に建物や樹木がない複数の開けた場所に同じ形のボトルを設置し、降雨終了後にボトルの貯水量を測定し、林外雨量とした。なお、降雨量が少ない降雨イベントや休暇中の降雨イベントについては、複数回分をまとめて測定した。7 月 27 日に転倒マス式雨量計を設置し、時系列の降雨量データを取得した。ボトル内の貯水量を漏斗の受水面積で除し、水高換算した。

Table 2 生態系インフラの特徴¹³⁾
Characteristics of Ecosystem Infrastructure

機能	人工物 インフラ	生態系 インフラ
単一機能の確実な発揮 (目的とする機能とその水準の確実性)	◎	△
多機能性 (多くの生態系サービスの同時発揮)	△	◎
不確実性への順応的な対処 (計画時に予測できない事態への対処の容易さ)	×	○
環境負荷の回避 (材料供給地や周囲の生態系への負荷の少なさ)	×	◎
短期的雇用創出・地域への経済効果	◎	△
長期的な雇用創出・地域への経済効果	△	○

(注) 代表的な例として防潮堤築造と沿岸生態系の緩衝空間としての保全・再生を想定して対比
◎大きな利点, ○利点, △どちらかといえば欠点, ×欠点

Table 3 品川 CG の樹種の基本情報
Properties of the Measurement Trees in Shinagawa CG

樹種名	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	樹冠投影 面積(m ²)	樹冠長 (m)
カツラ 1	12.8	32.9	50.5	8.0
カツラ 2	9.1	26.6	35.3	6.1
シラカシ 1	10.5	27.5	35.3	6.7
シラカシ 2	10.1	27.3	26.8	6.7
ソメイヨシノ 1	8.8	38.1	83.8	5.5
ソメイヨシノ 2	10.5	35.5	89.2	5.1



Photo 1 樹冠通過雨測定(品川 CG)
Measurement of Throughfall in Shinagawa CG

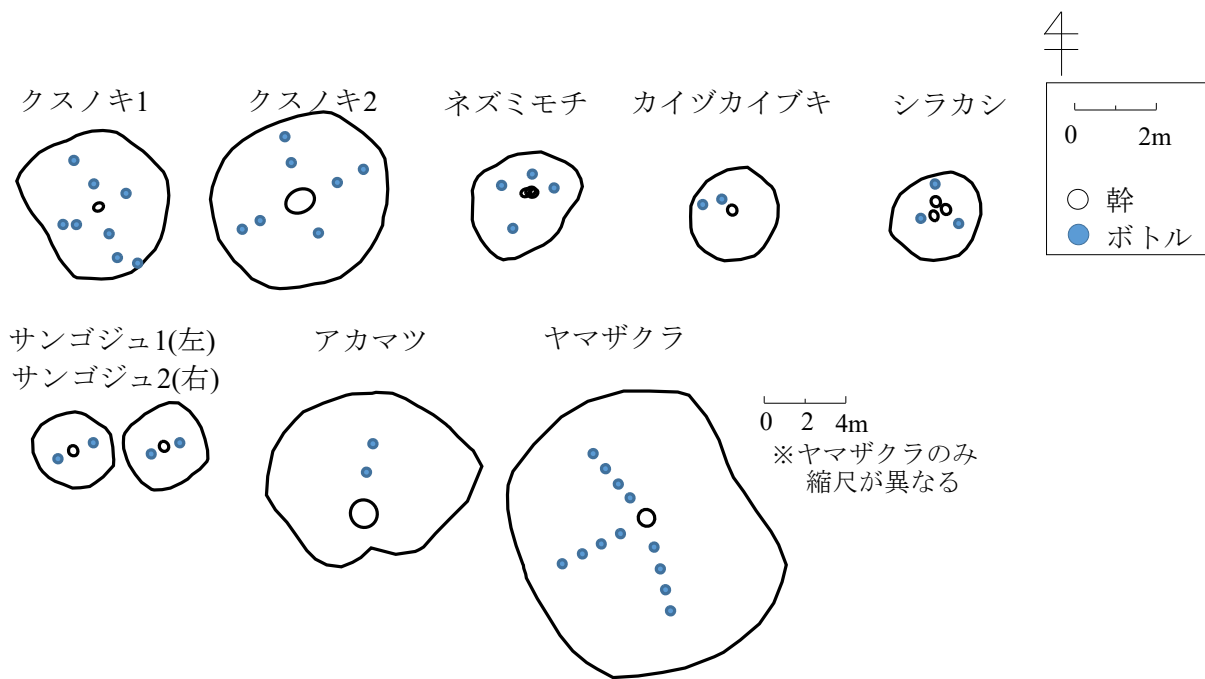


Fig. 2 樹冠投影図とボトルの設置位置
Canopy Projections and Locations of Throughfall Collectors



Photo 2(a) 樹冠通過雨測定(技研)
Measurement of Throughfall in TRI

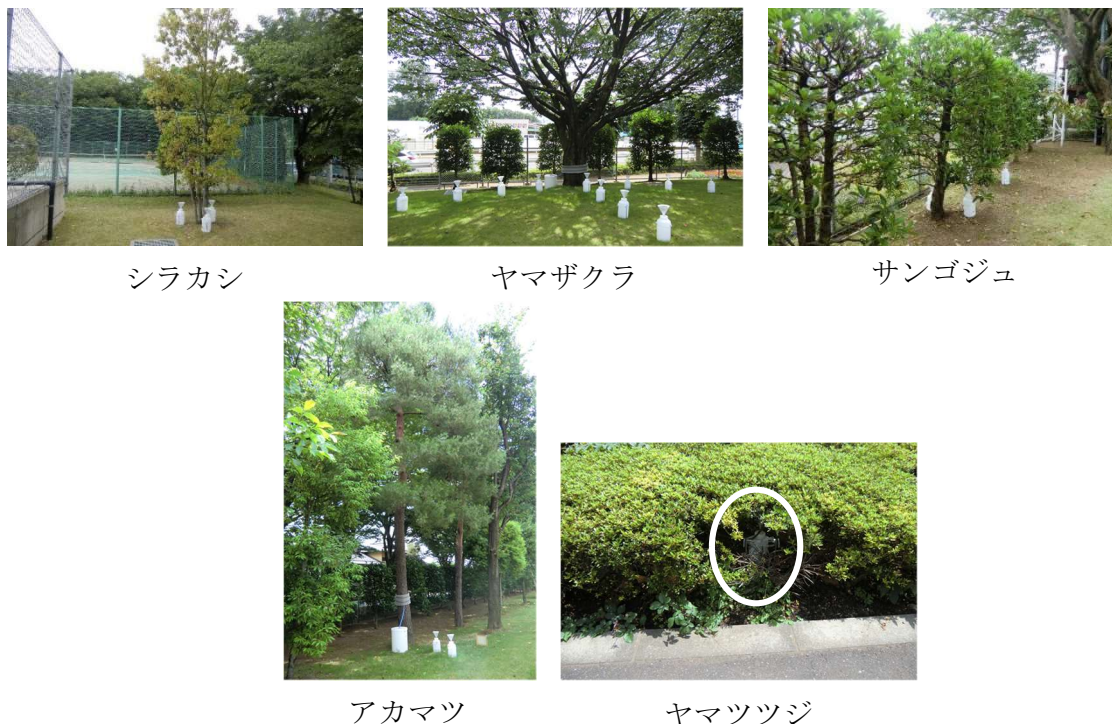


Photo 2(b) 樹冠通過雨測定(技研)
Measurement of Throughfall in TRI

3.3 樹冠通過雨測定

樹冠通過雨は空間的な不均一性が高いため^{8), 14)}, 受水面積が大きい雨樋を用いる方法とボトルを多数配置する方法が多く用いられる。どちらの方法を用いても樹冠通過雨量が変わることはないが、目的や設置場所に応じて測定方法を選択する必要がある。

雨樋を用いる方法はボトルほど多数配置する必要はないため、作業性が高い利点を持つ。一方で、樹冠通過雨の空間的なばらつきは測定できない。ボトルを用いる方法は、安価に樹冠通過雨量の空間的なばらつきを測定できる利点がある。欠点は、多数配置したボトル一つの貯水量を測定する必要があるため、作業性に劣る点である。また、雨樋より数が多い点で強風時に飛散リスクが大きい。品川セントラルガーデンでは、測定地付近を多くの歩行者が通行しており、また付近に建物のガラスもあるため、ボトルの飛散による接触や破損リスクを考慮し、雨樋を用いる方法を採用した。技研ではボトルを用いた測定を行った。

ボトルを用いた測定では、できるだけボトルを多点に配置することが望ましいとされている。しかし、ボトルの集水面積、形状、配置方法、個数に関しては決められた手法がないのが現状である¹⁵⁾。広葉樹は滴下点となる葉先の数が針葉樹より少ないため、樹冠通過雨量のばらつきが大きくなりやすい。そのため、ボトル設置位置や設置数の重要性は針葉樹より高い。

3.4 開空率及び葉面積指数測定

Table 4 技研の樹種の基本情報
Properties of the Measurement Trees in TRI

樹種名	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	樹冠投影 面積(m ²)	ボトル数 (本)
アセビ	0.6	—	—	1
クスノキ1	5.4	12.5	10.2	7
クスノキ2	9.3	43	14.4	8
レッドロビン	2.3	4.1	—	1
ネズミモチ	2.3	9.1	5.1	4
カイヅカイブキ	4.4	23	3.7	2
シラカシ	4.9	9.7	3.6	3
ヤマザクラ	11.3	69.1	139.2	12
サンゴジュ1	2.7	10.6	2.8	2
サンゴジュ2	3.2	14.8	3.2	2
アカマツ	10	34.6	16.4	2
ヤマツツジ	0.5	—	—	2

開空率および葉面積指数 (Leaf Area Index, 以下, LAI) の測定のため、デジタルカメラに魚眼レンズを装着し、品川 CG では各雨樋の中央において、技研では各ボトルの中央において樹冠を撮影した。撮影は、入射光線の散乱による影響を防ぐため、曇天時もしくは夕方に行った。品川 CG の撮影は 2017 年 9 月 13 日及び 11 月 10 日に行い、技研の撮影は 2017 年 10 月 27 日及び

11月28日に行った。撮影した全天写真を用いて開空率とLAIを算出した。ここで開空率とは、全天写真に写った枝、幹、葉以外の空の割合であり、LAIとは、単位面積の上方にある全ての葉の片側の総面積を単位面積に対する比率として表した無次元量である。開空率及びLAIは、撮影した樹冠写真をそれぞれ全天写真解析プログラム^{16),17)}に取り込み算出した。

4. 結果及び考察

4.1 降雨量(林外降雨量)

6時間以上の無降水期間に挟まれた期間に発生した降雨を1降雨イベントとして抽出した。品川CGの降雨イベント数は59回であり、イベント平均降雨量は18.3mm、イベント最大降雨量は189mmであった。測定期間中の1時間降雨量の最大は19.5mmであり、気象庁が定義する「やや強い雨」までの観測であった。

技研では、雨量計を設置した7月27日以降の降雨イベント数は34回であり、イベント平均降雨量は28.6mm、イベント最大降雨量は333mmであった。1時間降雨量の最大は64.5mmであり、「非常に激しい雨」が観測された。また、1時間降雨量20~30mmの「強い雨」も2回観測された。測定期間中のボトル回収回数は29回であった。

4.2 品川セントラルガーデンの樹冠通過雨量

測定期間中の10月6日にシラカシの剪定が行われた。剪定後にシラカシの開空率が増加し、LAIが減少したため(Table 5)、剪定前後を分けて評価した。カツラとソメイヨシノは11月頃から落葉を開始したため、11月以降のデータは除外した。また、雨量計の目詰まり等による欠測データも除外した。

Fig. 3に、1降雨イベントにおける降雨量と各樹種の樹冠通過雨量との関係を示す。3樹種とも降雨量と樹冠通過雨量に強い正の相関が認められ、降雨量が多いほど樹冠通過雨量が多くなった。各樹種の樹冠通過雨率(測定期間中の総降雨量に対する総樹冠通過雨量)は0.46~0.81であり(Table 6)、剪定後のシラカシとソメイヨシノが最大で、剪定前のシラカシが最小だった。ソメイヨシノはLAIや樹冠の厚さが他種より小さいため樹冠で保水できる雨量が少なく、樹冠通過雨量が多くなったと考えられた。シラカシはLAIが大きいいため樹冠での保水量や蒸発量が多く、樹冠通過雨量が少なくなったと推測された。

4.3 技研の樹冠通過雨量

8月2~5日にかけて、レッドロビン、ネズミモチ、シラカシの剪定が行われたため、剪定前後を分けて評価した。なお、剪定前に開空率とLAIの測定を行っておらず、剪定量を評価することはできなかった。

ボトルを用いた雨量計測による樹冠通過雨量の計測

Table 5 9月と11月の開空率とLAI(品川CG)
Canopy Openness and LAI of Each Trees in September and November in Shinagawa CG

樹種名	開空率		LAI	
	2017/9/13	2017/11/10	2017/9/13	2017/11/10
	撮影	撮影	撮影	撮影
カツラ1	22.5	36.2	2.3	1.1
カツラ2	31.5	57.2	1.8	0.6
シラカシ1	20.1	32.4	2.1	1.4
シラカシ2	28.3	34.2	2.1	1.3
ソメイヨシノ1	23.3	46.9	1.5	0.9
ソメイヨシノ2	24	45.7	1.4	0.7

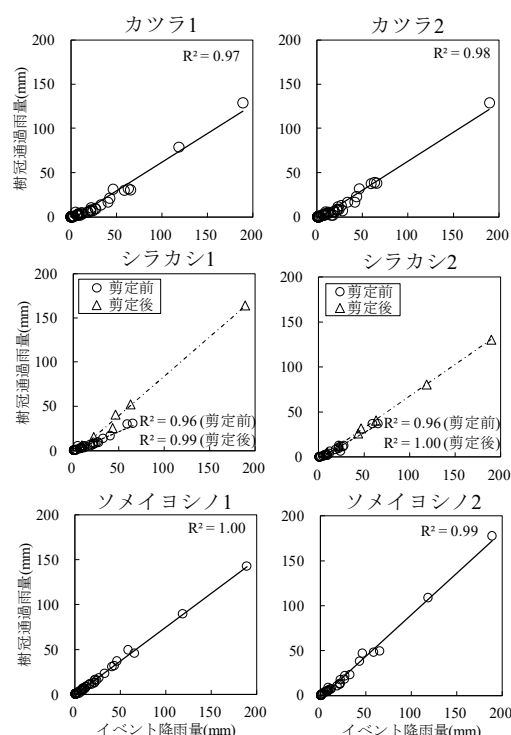


Fig. 3 降雨量と樹冠通過雨量の関係(品川CG)
(実線は各樹木の、破線は剪定前の、一点鎖線は剪定後の回帰線を示す)

Relationships Between Gross Precipitation and Throughfall in Each Event in Shinagawa CG

Table 6 樹冠通過雨率(品川CG)
Throughfall ratio in Shinagawa CG

樹種		樹冠通過雨率
カツラ1	—	0.49
カツラ2	—	0.50
シラカシ1	剪定前	0.51
〃	剪定後	0.81
シラカシ2	剪定前	0.46
〃	剪定後	0.67
ソメイヨシノ1	—	0.71
ソメイヨシノ2	—	0.81

誤差 ε は Student の t 値を用いると、式(2)で表される¹⁸⁾。

$$\varepsilon = \frac{t_{(\alpha, n-1)}CV}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

ここで、n、ボトル数；CV、変動係数； $t_{(\alpha, n-1)}$ 、信頼度 α 、自由度 n-1 における Student の t 値である。信頼度を 0.05 とし、樹冠通過雨量の計測誤差を算出したところ、クスノキ、シラカン、ヤマザクラは 1~3%、サンゴジュ、アカマツ、ヤマツツジは 10~19%であった。この

ことは、測定した樹冠通過雨量にそれぞれ 1~3%、10~19%程度の誤差を含んでいる可能性があることを示唆している。後者の値は、本研究と同様の方法で樹冠通過雨量を測定した研究で報告された誤差⁶⁾と同程度の値であった。

Fig. 4 に、1 降雨イベントにおける各降雨量と各樹種の樹冠通過雨量の関係を示す。全ての樹種において降雨量と樹冠通過雨量の強い正の相関が認められ、降雨量が多いほど樹冠通過雨量が多くなった。また、降雨量が増

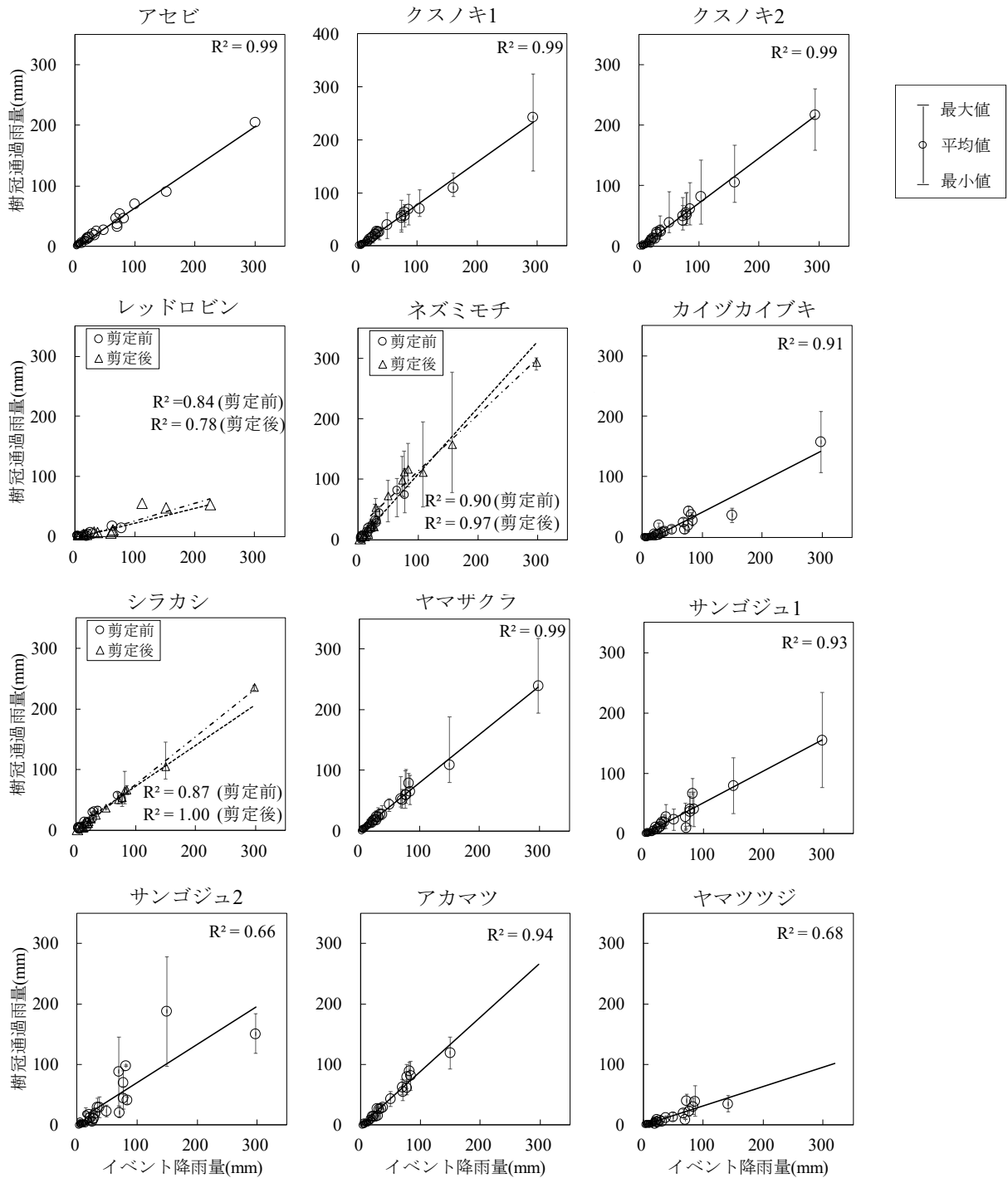


Fig. 4 降雨量と樹冠通過雨量の関係(技研)

(実線は各樹木の、破線は剪定前の、一点鎖線は剪定後の回帰線を示す)

Relationships Between Gross Precipitation and Throughfall in Each Event in TRI

加するとボトル間の貯留量のばらつきが大きくなり、特定のボトルの貯留量が増加した。

各樹種の樹冠通過雨率は0.17~1であり(Table 7)、樹種により大きく異なった。測定樹木のうち、レッドロビン、ヤマツツジ、カイヅカイブキの樹冠通過雨率は0.17~0.34と小さく、ヤマザクラ、アカマツの樹冠通過雨率は約0.80と大きかった。

ヤマツツジやカイヅカイブキは開空率が低く(データ未掲載)、樹冠内で枝葉が密になっているため、飛沫蒸発量(雨滴が枝葉にぶつかった衝撃で蒸発する量)が多かったことが考えられた。また、地面に設置したボトルより低い位置まで樹冠が広がっており、雨滴が枝葉を伝わって樹冠内移動したためボトルに流入した雨量が少なくなったことも要因として考えられた。シラカシの樹冠通過雨率は品川CGの個体よりも大きかったが、技研のシラカシは若齢で開空率及びLAIが小さいため、品川CGの個体より直達雨率(枝葉で捕捉されずに直接地面に到達した雨の割合)が高かったためなのではないかと推測された。なお、直達雨率は1mm以下等の微小降雨時の降雨量と樹冠通過雨量の帰直線から求められるが^{14), 19)}、技研においては、微小降雨イベントを複数回まとめて測定したため、直達雨率を求めることはできなかった。ネズミモチの樹冠通過雨率は剪定前後に因らず1を超えていた。2つのボトルの上部に枝の節や折れ曲がりがあり、これが雨滴の集中滴下雨点となって樹冠通過雨量が多くなったと考えられた。

4.4 森林樹木の樹冠通過雨率との比較

森林水文学の分野では、山全体の水収支を正確に把握するため、様々な樹種の樹冠通過雨量を測定した研究例が多くある。世界各地の森林で測定された樹冠通過雨量をレビューしたIkawa et al.²⁰⁾の結果を整理すると、樹冠通過雨率はおよそ0.7~0.8であった。本測定結果をそれらと比較すると、品川CGのカツラ及びシラカシの樹冠通過雨率は山の樹種より約0.2~0.3、技研のアセビ、サンゴジュは約0.1~0.2、レッドロビン、ヤマツツジ、カイヅカイブキは約0.4~0.5小さかった。複層林(樹高が異なる樹木で構成され、樹冠が何層もあるもの)の樹冠通過雨率が0.5以下だったことを報告している研究^{9), 15)}はあるが、本研究のような単層林における樹冠通過雨率の計測例では最小でも約0.6であり、本結果で得られた樹冠通過雨率はかなり小さい。樹冠通過雨率が既往研究より非常に小さい理由として、次のようなことが考えられる。

本研究で測定した樹木の多くは単木で植栽されている。そのため、隣接木と樹冠が連続している森林の樹木より、樹冠の表面を滑り樹縁部に落下した雨量が多かったことが予想される。既往研究でも、単木の樹冠通過雨量は樹縁部で多くなることが報告されており^{21), 22)}、その場合、樹冠下のボトルで測定した樹冠通過雨量は過小評価されることになる。シラカシとレッドロビン

Table 7 樹冠通過雨率 (技研)
Throughfall ratio in TRI

樹種		樹冠通過雨率
アセビ	—	0.62
クスノキ1	—	0.73
クスノキ2	—	0.67
レッドロビン	剪定前	0.17
〃	剪定後	0.24
ネズミモチ	剪定前	1.02
〃	剪定後	1.14
カイヅカイブキ	—	0.34
シラカシ	剪定前	0.74
〃	剪定後	0.74
ヤマザクラ	—	0.82
サンゴジュ1	—	0.50
サンゴジュ2	—	0.70
アカマツ	—	0.81
ヤマツツジ	—	0.30

の葉面は他種より硬く、葉の撥水性が高いことが降雨中に観察された。葉の撥水性が高いほど雨滴が樹冠表面を滑り落ちやすく、樹縁部を通過して地面に落下する雨が多くなり、結果的に樹冠通過雨量が小さくなったと推測された。多くの都市樹木のように樹冠が連続していない場合、樹縁部の雨量を考慮する必要があるだろう。

4.5 樹冠通過雨率に影響を与える要素

任意の樹種における降雨遮断率(降雨に対する降雨遮断量の割合)を観測せずに推定できるようになれば、降雨遮断効果を考慮した緑地設計が可能になる。既往研究では、降雨量の他、LAI^{23), 24)}、風速¹⁸⁾、樹冠構造²⁵⁾、立木密度²³⁾等が降雨遮断率に影響を与えることが報告されている。式(1)のうち、一般的に樹冠通過雨率は樹幹流率よりはるかに大きいため、樹冠通過雨率も上記の要素に影響を受けることが予想される。

Fig. 5に12樹種の樹冠通過雨率と平均開空率、平均LAIの関係を示す。Fig. 5から、樹冠通過雨率と開空率との間には弱い相関が認められたが($R^2=0.27$)、LAIとの間に相関は認められなかった($R^2=0.02$)。

樹冠通過雨は、滴下・直達・飛沫の3成分から構成される²⁶⁾。本研究では各成分の配分比を測定できていないが、開空率と樹冠通過雨率に相関が認められたこと、直達雨率は開空率の影響を受ける⁸⁾ことから、直達成分の割合が高かったことが推測される。都市部の樹木は見栄えの良さや維持管理のしやすさが重視されるため、樹高が低く、樹冠の厚さが小さく、枝葉が密になっていない場合が多い。そのため、森林に多い樹冠が厚く枝葉が多い樹木と比較し、樹冠内の水移動が少なかったと予想される。品川CGと技研の樹木も適宜剪定され、樹冠が

すっきりとしている状態を保っているため、直達雨率が樹冠通過雨率に影響を与えたと考えられた。

5. まとめ

グリーンインフラや Eco-DRR の概念に合致した新たな集中豪雨対策への適用を目指し、品川セントラルガーデンと大林組技術研究所で広葉樹 10 種および針葉樹 2 種の樹冠通過雨率を測定した。得られた結果を以下に示す。

- 1) 品川セントラルガーデンで測定したカツラ、シラカシ、ソメイヨシノの 3 樹種の樹冠通過雨率は 0.46~0.81 であり、剪定前のシラカシが最小で、ソメイヨシノが最大であった。
- 2) 品川セントラルガーデンで測定したシラカシは、剪定により樹冠通過雨率が 20-30%増加した。
- 3) 大林組技術研究所で測定した 10 樹種の樹冠通過雨率は 0.17~1 であった。樹冠通過雨率が小さい樹種はレッドロビン、ヤマツツジ、カイツカイブキであった。
- 4) すべての樹種でイベント降雨量と樹冠通過雨率に強い正の相関があった。
- 5) 樹冠通過雨率と LAI に相関は認められなかったが、開空率との間に弱い相関が認められた。直達雨率が樹冠通過雨率に影響を与えたと推測された。

樹縁部の樹冠通過雨量評価や、ボトルの位置や数が樹冠通過雨量に与える影響評価等を今後検討する必要があるが、本報の結果を基礎データとして、集中豪雨被害を軽減する緑地設計の実現を目指していきたい。

謝辞

本測定にあたり、品川インターシティマネジメント株式会社および品川インターシティ防災センターにご協力を頂きました。また、測定や解析にあたり、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所の南光一樹主任研究員にご指導頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁，“大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化”，https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html，（参照 2020-04-23）
- 2) 国土交通省，“水害統計調査”，https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/suigai_toukei/，（参照 2020-04-23）
- 3) 村上茂樹：降雨遮断のメカニズムと森林の増雨効果，水利科学，No. 124，pp. 82-98，2012
- 4) 近藤純正，他：森林における遮断蒸発のモデル計算，

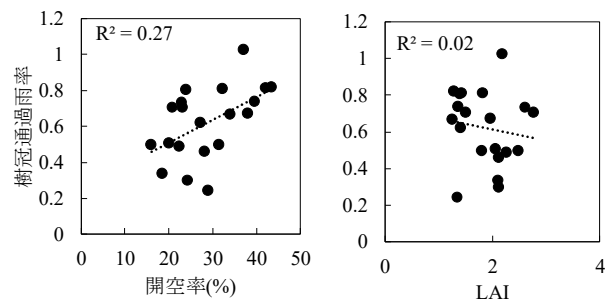


Fig. 5 樹冠通過雨率と開空率，LAI の関係 Relationships between throughfall and openness(left), LAI(right)

天気， vol.39， No. 3， pp. 51-59， 1992.3

- 5) Saito et al. : Forest canopy interception loss exceed wet canopy evaporation in Japanese cypress(Hinoki)and Japanese cedar(Sugi)plantation, Journal of Hydrology, Vol. 507, pp. 287-299, 2013
- 6) 篠原慶規，他：管理放棄されたヒノキ人工林における降雨遮断量の計測，日本林学会誌，Vol. 92， pp. 54-59， 2010
- 7) 田中延亮，他：袋山沢試験流域のスギ・ヒノキ壮齢林における樹冠通過雨量，樹幹流下量，降雨遮断量，東京大学農学部演習林報告，Vol. 113， No. 197-240， 2005
- 8) 佐藤嘉展，他：樹冠構造の違いが樹冠通過雨の分布特性に及ぼす影響—スギ林とマテバシイ林における樹冠通過雨特性の比較—，水文・水資源学会誌，Vol. 16， No. 6， pp. 605-617， 2013
- 9) 吉田葵，他：都市緑地における種組成の差異が雨水涵養機能に与える影響に関する研究—新宿区立おとめ山公園を対象として—，日本都市計画学会都市計画論文集，Vol. 48， No. 3， pp. 1011-1016， 2013
- 10) 国交省，“【導入編】なぜ，今グリーンインフラなのか”，https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_fr_000143.html，（参照 2020-04-23）
- 11) Uchiyama et al. : From Dreams to Reality : The Evolution of Portland’s Green Infrastructure Strategy, 日本緑化工学会都市緑化技術研究部会シンポジウム「グリーンインフラを活用した豪雨対策の潮流」資料， 2014
- 12) 日本政策投資銀行：都市の骨格を創りかえるグリーンインフラ—緑地への投資効果を探る—， 2017
- 13) 日本学術会議 統合生物学委員会・環境学委員会合同 自然環境保全再生分科会：提言 復興・国土強靱化における生態系インフラストラクチャー活用のすすめ， 2014
- 14) 服部重昭，他：ヒノキ林における降雨遮断測定とその微気象学的解析，林業試験場研究報告，No. 318， pp. 79-102， 1982

- 15) 田中延亮, 他: 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, 東京大学農学部演習林報告, Vol. 113, pp. 133-154, 2005
- 16) 竹中明夫, “全天写真 CanopOn 2”, <http://takenakakio.org/etc/canopon2/>, (参照 2020-04-23)
- 17) 山本一清, “LAI for Win32”, <https://www.agr.nagoya.ac.jp/~shinkan/LIA32/>, (参照 2020-04-23)
- 18) K. M. Kostelnik et al. : Sample size requirements for estimation of throughfall chemistry beneath a mixed hardwood forest, *Journal of Environmental Quality*, Vol. 3, No. 3, pp. 274-280, 1989
- 19) Ruter et al. : A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of model from observations in a plantation of Corsican pine, *Agricultural Meteorology*, Vol. 9, pp. 367-384, 1971
- 20) Ikawa et al. : Literature review of streamflow generation and chemical characteristics in Japanese forests, *Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences*, Vol. 37, No. 4, pp. 187-200, 2007
- 21) Baptista, M et al. : Terrestrial Laser Scanning to Predict Canopy Area Metrics, Water Storage Capacity, and Throughfall Redistribution in Small Trees, *Remote Sensing*, Vol. 10, No. 12, 2018
- 22) 伊藤茜, 他: ヒノキ樹冠通過雨の空間分布に関する実験的研究, *水文・水資源学会誌*, Vol. 21, No. 4, pp. 273-284, 2008
- 23) 小松光: 日本の針葉樹人工林における立木密度と遮断率の関係, *日本森林学会誌*, Vol. 89, 3, pp. 217-220, 2007
- 24) 延廣竜彦, 他: 茨城県北部のヒノキ林における間伐に伴う林分構造と樹冠通過雨量の変化, *水利科学*, Vol. 60, No. 2, pp. 1-11, 2016
- 25) 佐藤嘉展: 森林水文学, 森林水文学編集委員会編, 森北出版 pp. 14-39, 2007
- 26) Nanko et al. : Evaluating the influence of canopy species and meteorological factors on throughfall drop size distribution, *Journal of Hydrology*, Vol. 329, pp. 422-431, 2006