J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 144 p.17 ~ 23 (2020)

雨滴測定から見えてくる葉や枝での雨の振る舞い

南光一樹 [1]

Rainwater dynamics on leaves and branches based on raindrop measurements

Kazuki NANKO [1]

Abstract: Forest influences the dynamics of water, sediment, and materials both globally and locally since the forest canopy intercepts precipitation and changes water volume and quality reaching soil surface. The author has measured raindrops and throughfall drops to estimate erosivity in the forest, however, it is found that drop data is useful tool for physical clarification of precipitation partitioning process by trees. The method was developed to partition whole throughfall into free throughfall, splash throughfall, and canopy drip using raindrop data both open and throughfall. Foliage height to generate canopy drips can be estimated by their fall velocities. The theory on the interface between solid (a plant surface) and liquid (a water drop) could explain the difference of canopy drip generation processes among different canopy species and between leafy and woody surfaces, as well as throughfall generation process in different canopy layer structures. This paper illustrates not only the fun, but the usefulness, importance, and future prospects on the raindrop studies.
Key Words : raindrop, rainfall partitioning by canopy, throughfall, water repellency, laser disdrometer

1. はじめに

森林に雨が降ると，樹冠は雨で濡れて雨を再分配し，地面に降り注ぐ雨の量と水質を変化させる．筆者は森林内で起こる土壌侵食プロセスの解明を目的に，雨滴（特に林内雨滴）の研究に 2000 年から取り組み始めた．得られたデータを詳細に解析するうちに，降雨が樹冠をどのように濡らし，通過していくのかを雨滴データを用いて推定することができることに気づいた．固体（植物表面）／液体（雨）界面現象を踏まえながら，雨滴研究に基づく樹冠の濡れと林内雨の生成過程について解説する．

[1]Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan. Corresponding author: 南光一樹，国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所森林防災研究領域.
2020 年 1 月 24 日受稿　2020 年 2 月 18 日受理

2. 森林における雨滴研究のニーズ

森林は世界の陸地面積の約 3 割を占める土地利用である．陸地を覆う樹冠によって降水は遮断され，樹冠通過雨・樹幹流・遮断蒸発の 3 要素に分配される（Fig. 1a）．遮断蒸発により降水量の 10 ~ 50 % が土壌に到達することなく大気に戻される（Roth et al., 2007）．樹冠通過雨と樹幹流は地面に到達する水の量と物質の時間－空間的な分布を変化させ，土壌中の微生物群衆や水分動態をばらつかせる（Levia et al., 2011）．気象条件や森林構造により，樹冠による降水分配がどのように変化するのかを明らかにすることが，森林水文学の課題の一つである．

土壌は生物の生活・生産の基盤であり，水・炭素・養分を貯留する場でもあるため，土壌保全は重要である．土壌侵食の第一歩は地表面への雨滴の衝突である．雨滴の衝突により雨滴が地面を打突し，充填し，飛散させる．この繰り返しにより，土壌が跳ね飛ばされ（雨滴侵食と呼ばれる），水がしみ込みにくい土壌表面が作られて表面流が発生し，土壌を洗い流していく（面状侵食，表面流侵食と呼ばれる）．侵食が継続するといずれリル侵食，ガリ侵食へと拡大していく．林外では，大きな雨滴ほど一粒の重量が大きく落下速度が速いため，雨滴の持つ運動エネルギーが大きくなり，侵食能力は高くなる．

土壌侵食は地表が被覆されていれば起きにくいため，地表に植生等の被覆があれば抑制される．森林は，基本的には土壌侵食を抑制する土地利用である．通常の森林では，落葉や落枝によるリターや下層植生が地表を被覆し保護しているため，雨滴の地表面への衝突を防いでくれる．林床被覆が多いほど，土砂移動は少なく（Miura et al., 2015），高い浸透能が維持される（平岡ら，2010）．森林が有する多面的機能のうち，我が国では表面侵食防止機能が最大の評価額を得ており，年間 28 兆円以上の価値が見込まれている（三菱総合研究所, 2001）．

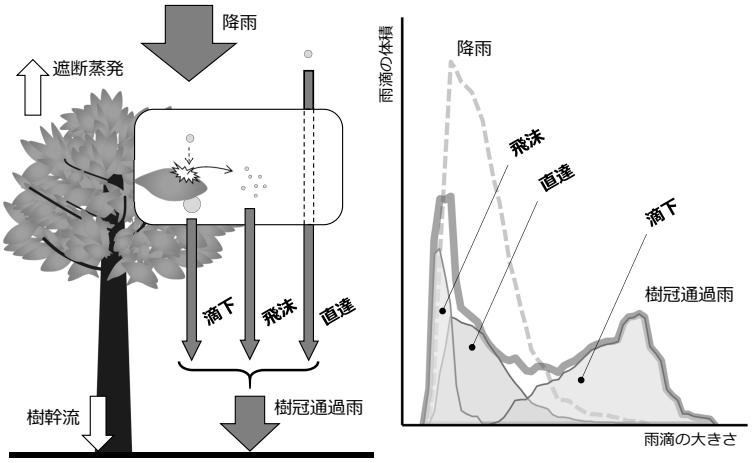


Fig. 1 （a）樹冠の降雨分配プロセスと樹冠通過雨を構成する 3 成分．（b）雨滴粒径分布を活用した樹冠通過雨の成分分離．図は Levia et al.（2017）の改変．
Rainfall partitioning and throughfall partitioning by tree canopy.

一方で，森林でありながらリターや下層植生による地表保護が薄く，土壌侵食が起きてしまう森林が問題となっている．国内では，間伐遅れのヒノキ人工林やシカ食害が激しい森林が顕著であり，海外では，ハワイやタヒチで外来種に侵略された熱帯林，タイやインドのチーク人工林，中国やポルトガルのユーカリ人工林，中国のゴム人工林での報告例がある．樹冠がうっ閉による林内の光環境の悪化で下層植生が生育できなくなることや，リターが分解しやすく地表保護効果が薄いことが要因である（Nanko et al., 2020）．このような森林内で起きる土壌侵食を定量化し予測するためには，林内雨滴を知る必要がある．なぜならば，森林の中と外とで降ってくる雨の様子が異なるためである．

3. 林内で雨滴を測定する

雨滴を知るためには雨滴を測定しなければならない．林外での雨滴測定は，Lowe（1892）が最古の報告であり，「RAIN DROPS」という極めてシンプルなタイトルの論文である．降ってくる雨滴をシート状の粘岩板で受け，雨滴の染み込んだ跡から雨滴粒径を推定した．その後，ろ紙法 · 小麦粉法 · ガラス板法などの手動観測手法，写真法 · 運動量法 · 光学法などの自動観測手法が生み出され今日に至る．林内での雨滴測定は，Chapman（1948）が最古の報告である．小麦粉法によりアカマツの林内外で雨滴粒径を測定し，林内で大きな雨滴が発生することを報告した．そして林内では林外よりも運動エネルギーが大きく，雨由来の侵食能が大きくなる証拠を示した．雨滴測定手法や林内の雨滴研究の歴史については Levia et al. (2017) に詳細をまとめたので，参照されたい．

さて，筆者らは林内外で雨滴を同時連続測定するために，光学法の一種であるレーザー雨滴計を自ら開発した（Nanko et al., 2004 ; 2006 ; 2008a）．レーザービームの遮断の様子からレーザービーム内を通過した雨滴の粒径と速度を測定する仕組みである（Fig. 2），市販のレーザー雨滴計である OTT Hydromet 社製の Parsivel，Thies CLIMA 社製の Laser Precipitation Monitor（LPM）の原理とほぼ一緒である．自作のレーザー雨滴計は市販品に比べて小型で可搬性が高いのが特徴である．これを用いて，国内外の様々な森林で雨滴を測定してきた．

林外と比較した林内雨滴の特徴は以下の通りである．（1）降り始めの雨は樹冠に遮断されるため，林内の雨滴発生は林外よりも遅れる．（2）林外で雨が降り終わっても，樹冠から滴下する雨滴の発生が続く．（3）樹冠上で雨滴同士が結合するため林外に比べて雨滴の個数が減少し，大粒径化する．林外雨では粒径 3 mm を超える雨滴は稀だが，林内では頻繁に滴下してくる．（4）その一方で，大きな雨滴が樹冠に衝突するときに雨滴が弾けて飛沫化するため，小粒径成分も多くなる．（5）樹冠が低い場合には，雨滴の落下速度が林外よりも遅くなる．（6）樹冠が高い場合には，地面への雨滴衝撃エネルギーが林外よりも大きくなる．

林内雨滴は発生プロセスの違いから，3 つの成分に分けられる（Fig. 1）．枝葉に触れずにそのまま落下する「直達雨」，枝葉で遮断された雨滴同士が結合し大粒径化する「滴下雨」（主に直径 3 mm 以上），枝葉での衝突時に破砕されて小粒径化する「飛沫雨」（主に直径 2 mm 以下）である．飛沫雨は蒸発しやすく遮断蒸発に貢献しているという仮説があり（Murakami, 2006），滴下雨は土壌侵食や落葉分解を促進する（Nanko et al., 2008a; Tashiro-Uchimura and Mizunaga, 2017）．

通常の雨量観測ではその成分分離は不可能である．そこで筆者らは，林外雨と樹冠通過雨とで雨滴粒径分布が異なることを活用し，樹冠通過雨の 3 成分を分離

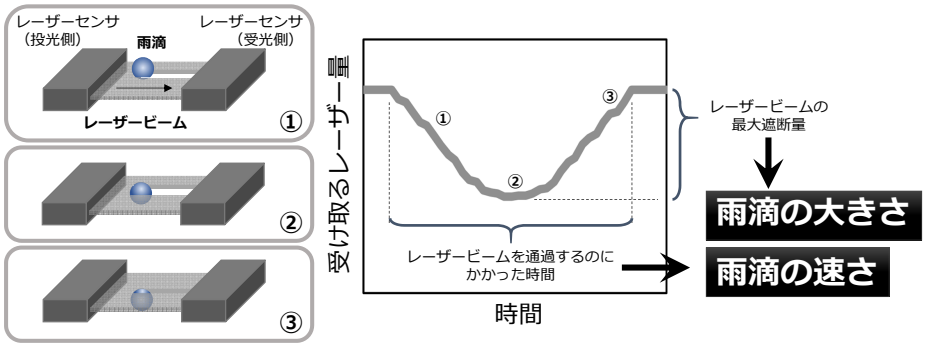


Fig. 2 レーザー雨滴計による雨滴測定の仕組み．雨滴がレーザービームを通過すると（図の左），センサーで受け取るレーザー量が減少する（図の右）．この遮断の様子から，通過した雨滴の大きさと速さを測定する．図は南光ら（2017）より抜粋．
Schematic diagram of drop measurements by a laser disdrometer.

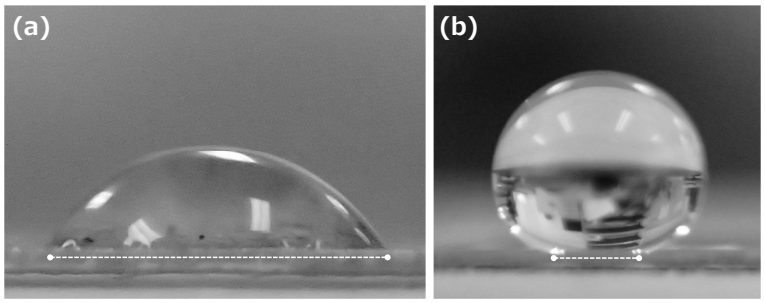


Fig. 3 葉の表面に載った水滴．（a）撥水性の低いスダジイ，（b）撥水性の高いモウソウチク．破線は葉と水滴の界面の直径を示す．同じ体積の水滴が載っているが，スダジイの方が接触直径が長く，固体／液体界面が広い．
Water drop on a leaf with (a) lower water repellency (*Castanopsis sieboldii*) and (b) higher water repellency (*Phyllostachys heterocycla*). Dashed line indicates contact diameter between a leaf and a water drop.

する手法を開発した（Levia and Nanko et al., 2019）．直達雨が林外雨と同じ粒径分布を持つと仮定し，それを差し引いた残りのうち，大粒径成分を滴下雨，小粒径成分を飛沫雨とする，というのがこの手法の大まかな流れである（Fig. 1b）．

この手法を用いて，林内外で同時に雨滴測定を実施した 3 ヶ国，5 ヶ所，12 樹種における合計 1.2 億粒以上の雨滴測定データを総合的に解析した．明らかになったことを以下に簡潔にまとめる．（1）樹木に葉がついている場合，滴下雨が樹冠通過雨の主成分である．（2）樹木に葉がついている場合，広葉樹の方が針葉樹よりも滴下雨が樹冠通過雨量に占める割合が高く，滴下雨滴の粒径も大きい．（3）樹木に葉がない場合，直達雨が樹冠通過雨の主成分であるが，枝からの滴下雨が集中滴下する場所では滴下雨が主成分となり，滴下雨の粒径は大きくなる．（4）葉と枝とで滴下雨の生成過程が異なる．以上を踏まえた上で，樹冠通過雨の生成過程について解説を進める．

4. 滴下雨滴の生成プロセス

4.1 葉からの滴下

樹冠通過雨において，滴下雨が基本的に主成分であり重要度が高い．そこで滴下雨の粒径分布に，樹種による違いが生まれる要因を調べた（Nanko et al., 2013）．長さ 20 cm 程度の枝葉を 9 樹種から採取し，自動霧吹きで水を与えて滴下雨滴を再現し，その雨滴粒径をレーザー雨滴計で測定した．その結果，広葉樹では葉表面がつるつるして疎水的な樹種（アラカシ，シラカシなど）よりも，葉表面がザラザラして親水的な樹種（ブナ，クヌギ）の方が，滴下雨滴が大きかった．針葉樹では，アカマツ＜ヒノキ＜スギの順に滴下雨滴が大きかった．

これらの結果は「葉と水との固体／液体界面」で説明されうる．葉表面の撥水性が低いと接触角が小さく，水滴はのっぺりした形で葉に付着する（Fig. 3a）．それに対し，葉表面の撥水性が高いと接触角が大きく，

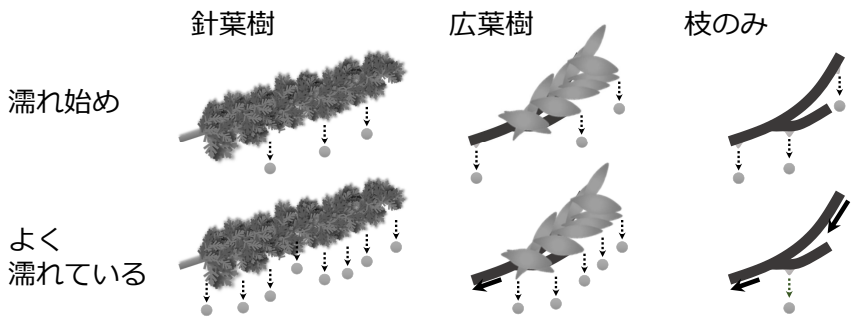


Fig. 4 濡れ始めとよく濡れている条件での針葉樹・広葉樹・枝のみの滴下雨生成の違い.
Difference of canopy drip generation processes among conifer, leafed broadleaved, and leafless branch between wetting and saturated situation.

水滴はコロコロした形で葉に付着する（Fig. 3b）．これにより，葉の撥水性が低いほど「葉と水との固体／液体界面」が広くなり（正確に言うならば，界面の円周である接触長が大きくなり），葉表面が水を付着する力が大きくなる．またスギのように短い針葉が 3 次元的に配置される場合には物理構造的に「葉と水との固体／液体界面」の総接触長が大きくなるため，葉表面が水を付着する力が大きくなる．この大きな付着力により，より大きな水を葉先や葉表面にぶら下げることができるため，滴下雨滴の粒径も大きくなる．

水の撥水理論に基づくと，葉の撥水性が小さく，葉表面の粗度が大きく，針葉の場合は短い針葉が 3 次元的に配置され，葉の傾きが平坦であるほど，水の付着力が大きくなり，滴下雨滴の粒径が大きくなると言える．

一方で，葉の表側で雨滴が結合し滑り落ちるように滴下する雨滴も存在する．この場合は一枚ごとの葉の面積が大きく，葉の傾きが小さいほど滴下雨滴は大きくなる．これまでに，葉が大きく長さ 70 cm を超えるチーク（*Tectona grandis* Linn. f.）とオオバノボタン（*Miconia calvescens* DC.（Melastomataceae））で大きな滴下雨滴を観測した（Nanko et al., 2015; 2020)．これらの樹種は滴下雨滴が最大で 7 mm を超え，中央粒径は 4.3 mm を超えてくる（Levia and Nanko et al., 2019)．この 2 樹種は，森林内での土壌侵食が激しい樹種でもある．

以上は，葉が静的であることを想定しているが，実際の葉は雨滴衝撃や風により動的に振動する．強風条件下では弱風時よりも滴下雨滴が小粒径化することが確認されている（Nanko et al., 2006）．枝葉の揺れにより水滴形成過程が不十分な状態で強制的に水滴が剥離されて滴下するためである．

4.2 枝からの滴下

樹冠というと葉が主に想像されるが，実際は枝も樹冠の構成要素である．特に落葉後の落葉樹では枝のみが樹冠を構成する．枝と葉とでは表面特性が異なる．枝は葉よりも概ね撥水性が低く，また樹皮の中に水が染み込みやすいのが特徴的である．したがって表面の濡れやすさや滴下雨滴の形成は枝と葉で異なってくる．

枝からの滴下雨は，枝先からの生成，枝の細かな出っ張りや枝が下方向に湾曲した部分からの生成，枝の半ばからの生成等がある．最初の 2 つは一度生成点となれば，雨が降るに従って滴下雨を生成するため，地面に対し集中滴下点となる．そのような場所では，軒先での雨だれのように局所的に粒径の大きな滴下雨が絶え間なく衝突し地面を穿つ．山田（2017）は，名勝清風荘庭園において，この集中滴下雨が樹冠下の地表の苔を破壊することを確認した．そこで枝の出っ張りの除去（具体的には，かっくいやコブを切除し，樹皮を磨いた）と枝の剪定を行い，滴下雨の集中的な生成点と全体量を減らすことで，樹冠通過雨の雨滴衝撃エネルギーを小さくすることに成功し，苔の保全のための庭園管理技術を示した．

落葉広葉樹であるユリノキ（*Liriodendron tulipifera* L.）の樹冠下で，林内の雨滴の季節変化を調べた（Nanko et al., 2016）．その結果，展葉中に比べて落葉後の方が樹冠通過雨の量が増し，より大きな雨滴が滴下するようになった．樹冠通過雨量の増加は，葉の有無で樹冠内の水の流れ方が変わり，滴下雨の生成点であった葉が失われたことで，枝からの滴下雨の生成点に水が集中したことが要因である．滴下雨滴の大粒径化は，枝表面の方が葉表面よりも撥水性が小さいこと，凹凸が細かくて複雑で表面の水付着力が大きいこと，落葉後は展葉中より気温が低く水の粘性が高いことが理由であると結論づけている．

また葉と枝では，滴下雨の生成点のでき方が異なる（Fig. 4）．葉（特に針葉樹）では重力方向に最も下部の場所が滴下雨の生成点となる．樹冠が濡れるほど滴下雨の生成点に水が集まり，生成点の数も増えていき，

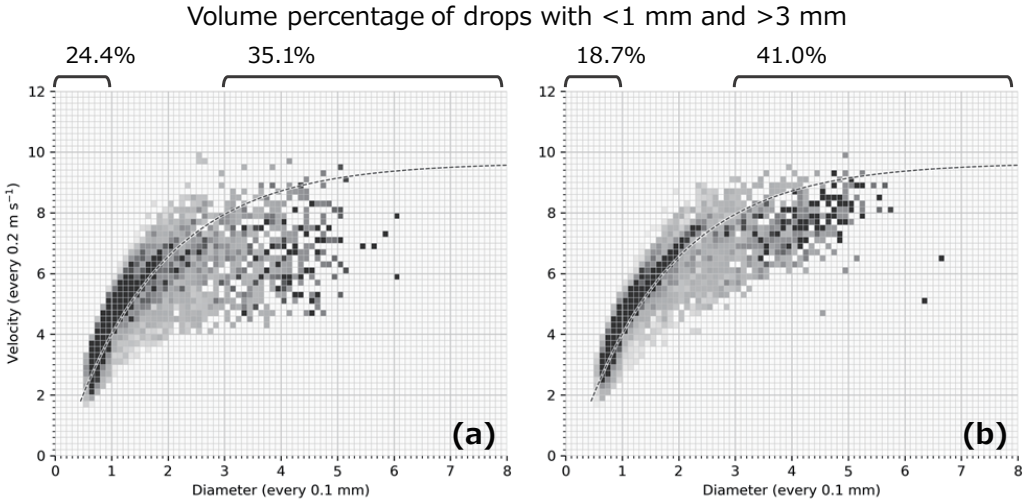


Fig. 5 樹高 9.8m のスギ単木で測定した樹冠通過雨の雨滴の粒径と落下速度の関係．各セルの色の濃さは雨量への貢献度の高さを示す．（a）枝下高 2 m（b）枝下高 5 m．破線は雨滴の終端速度を示す．上の数字は粒径 1 mm 未満と粒径 3 mm 以上の雨滴が，樹冠通過雨量に占める割合を示す．
Relationship between drop diameter and velocity of throughfall under an isolated Japanese cedar canopy with 9.8 m height. Crown base height is 2 m (a) and 5 m (b), respectively.

濡れきった後の方が滴下雨滴の量も大きさも増大する（Nanko et al., 2008b）（Fig. 4）．それに対し枝（樹皮）では，濡れきった後の方が濡れきる前よりも滴下雨滴が減る現象が確認された（Levia and Nanko et al., 2019）．タイムラプスカメラで枝が濡れていく様子を撮影したところ，雨の降り始めでは枝の途中部分でも滴下雨の生成点となっていたが，濡れに従いその生成点が消えていく様子が確認された．雨により樹皮が濡れ始め，濡れる前に高かった撥水性が徐々に失われていき，水滴にとって樹皮から剥離するよりも枝に沿って下方に滑落する方がエネルギーを使わずにすむために，滴下雨生成点が消失するメカニズム（Fig. 4）であることがわかった．

5. 樹冠の層構造を踏まえた雨滴の振る舞い

レーザー雨滴計は雨滴の大きさだけでなく雨滴の速度も測定できる．林外の雨滴は落下中に空気抵抗と釣り合い，理論的には雨滴の大きさに応じた決まった速度（これを終端速度と呼ぶ）で落下してくる．しかし滴下雨は，樹冠が低い場合には終端速度を得る前に地面に到達してしまう．これを利用し，滴下雨の落下速度から，地面に到達する滴下雨が，どの高さの樹冠で生成されたのかを推定することができる．

樹冠の層構造が樹冠通過雨の生成に与える影響を調べる実験を行った（Nanko et al. 2008b，2011）．防災科学技術研究所（茨城県つくば市）の大型降雨実験施設内に樹高 9.8 m のスギ（*Cryptomeria japonica*（Thunb. ex L.f.）D.Don）を植栽し，高さ 16 m のノズルから人工降雨を与えて樹冠通過雨を再現し，樹冠通過雨の雨滴を多点観測した．途中で枝を切り上げて樹冠の長さを変えた．枝下高が 2 m から 5 m に上がると，特に粒径 3 mm 以上の大きな雨滴について，落下速度の遅い雨滴がなくなっていることが見て取れる（Fig. 5）．これは滴下雨の落下高が増大したためである．

また，粒径 3 mm 以上で落下速度 8 m s^{-1} 前後の雨滴に着目すると，枝下高 5 m（Fig. 5b）に比べて，枝下高 2 m でそれらの雨滴の量が減った（Fig. 5a）．そして直径 1 mm 未満の雨滴が樹冠通過雨全体に占める割合が，枝下高 5 m よりも枝下高 2 m の方が大きかった（18.7 % と 24.4 %）．これらは，樹冠内の雨滴の滴下過程で説明されうる．樹冠上層で生成された滴下雨が，樹冠下層で再遮断されるために速い落下速度の雨滴が減少し，大きな滴下雨は衝突時に破砕されて飛沫雨を生み出す．樹冠構造が複雑なほど，雨滴の生成過程が複雑になり，樹冠通過雨は樹冠の様々な部分を通って生成されることとなる．

6. まとめ

降雨の樹冠通過プロセスは，雨量の測定で経験的に理解されうるが，実際には気象要素による枝葉の揺れや変形，樹木ごとの樹形，枝葉の密度の空間的な分布，葉や樹皮の形質，枝葉の傾き，そして濡れの進行に伴う枝葉表面の撥水性の変化などが複雑に絡み合う細かい物理現象の積み重ねによって成り立っている．気候変動による降雨様式の変化や植生変化，森林管理による森林構造の変化が樹冠に依る降水分配に与える影響

の予測のためには，「雨滴」の観点から，ボトムアップ的にそのプロセスを明らかにしていく研究も必要である．水文学に生体力学の視点を組み込んだ，植物バイオメカニクス的なアプローチがその手助けとなるであろう．例えば，Konrad et al.（2012）では，葉裏面に付着した水滴が，雨の供給で体積が増えていく際に，その場にとどまるのか，滑落するのか，剥離（滴下）するのかを葉の傾きによってどう変わるかを物理モデルで説明している．Holder（2013）等では，撥水性の高い葉ほど雨水の樹冠貯留量が大きいことを確認している．これらの視点も入れ込みながら，樹木の濡れの科学が進展していくものと考えており，筆者もここに貢献していきたい．

謝辞

本解説に関する筆者の研究業績に関わっていただいた全ての共同研究者に謝意を称します．本解説で紹介した筆者の研究成果の一部は，JSPS 科研費（JP17780119, JP05J11212, JP15H05626, JP17KK0159），JSPS 外国人招へい研究者（S16088），日本林業技術協会学術研究奨励事業，JST/CREST「森林荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響の解明とモデル化」及び「荒廃人工林の管理により流量増加と河川環境の改善を図る革新的な技術の開発」，US Fish and Wildlife Service Agreement（122004J001）の助成を受けたものである．本解説の執筆に当たり，第 61 回土壌物理学会シンポジウムでの発表を招待していただいた小林政広博士に感謝いたします．

引用文献

Chapman, G. (1948): Size of raindrops and their striking force at the soil surface in a red pine plantation. Trans. Am. Geophys. Union, 29: 664–670.

平岡真合乃, 恩田裕一, 加藤弘亮, 水垣 滋, 五味高志, 南光一樹 (2010): ヒノキ人工林における浸透能に対する下層植生の影響. 日本森林学会誌, 92: 145—150.

Holder, C.D. (2013): Effects of leaf hydrophobicity and water droplet retention on canopy storage capacity. Ecohydrol., 6: 483–490. doi:10.1002/eco.1278.

Konrad, W., Ebner, M., Traiser, C., and Roth-Nebelsick, A. (2012): Leaf surface wettability and implications for drop shedding and evaporation from forest canopies. Pure Appl. Geophys., 169: 835-–845, doi:10.1007/s00024-011-0330-2.

Levia, D.F., Hudson, S.A., Llorens, P. and Nanko, K. (2017): Throughfall drop size distributions: a review and prospectus for future research. WIREs. Wat. 4: e1225, doi:10.1002/wat2.1225.

Levia, D.F., Keim, R.F., Carlyle-Moses, D.E. and Frost, E.E. (2011): Throughfall and stemflow in wooded ecosystems. In Levia D.F., Carlyle-Moses D.E. and Tanaka T. (eds.) Forest hydrology and biogeochemistry: Synthesis of past research and future directions, pp. 425–443. Ecological Studies Series No. 216, Springer-Verlag, Heidelberg, doi:10.1007/978-94-007-1363-5_21.

Levia, D.F.*, Nanko, K.*, Amasaki, H., Giambelluca, T.W., Hotta, N., Iida, S., Mudd, R.G., Nullet, M.A., Sakai, N., Shinohara, Y., Sun, X., Suzuki, M., Tanaka, N., Tantasirin, C. and Yamada, K. (2019): Throughfall partitioning by trees. Hydrol. Process. 33: 1698–1708, doi:10.1002/hyp.13432. (* Co-first authors)

Lowe, E.J. (1982): Rain drops. Q.J.R. Meteorol. Soc., 18: 242–245, doi:10.1002/qj.4970188404.

三菱総合研究所 (2001): 地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価に関する調査研究報告書.

Miura S., Ugawa S., Yoshinaga S., Yamada T., and Hirai K. (2015): Floor cover percentage determines splash erosion in *Chamaecyparis obtusa* forests. Soil Sci. Soc. Am. J., 79: 1782-–1791, doi:10.2136/sssaj2015.05.0171.

Murakami, S. (2006): A proposal for a new forest canopy interception mechanism: splash droplet evaporation. J. Hydrol., 319: 72-–82, doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.07.002.

Nanko, K., Giambelluca, T.W., Sutherland, R.A., Mudd, R.G., Nullet, M.A. and Ziegler, A.D. (2015): Erosion potential under Miconia calvescens stands on the Island of Hawai'i. Land Deg. Dev. 26: 218–226, doi:10.1002/ldr.2200

Nanko, K., Hotta, N. and Suzuki, M. (2004): Assessing raindrop impact energy at the forest floor in a mature Japanese cypress plantation using continuous raindrop-sizing instruments. J. For. Res. 9: 157-–164, doi:10.1007/s10310-003-0067-6.

Nanko, K., Hotta, N. and Suzuki, M. (2006): Evaluating the influence of canopy species and meteorological factors on throughfall drop size distribution. J. Hydrol. 329: 422–431, doi:10.1016/j.jhydrol.2006.02.036.

Nanko, K., Hudson, S.A. and Levia, D.F. (2016): Differences in throughfall drop size distributions in the presence and absence of foliage. Hydrol. Sci. J. 61: 620-–627, doi:10.1080/02626667.2015.1052454

Nanko, K., Mizugaki, S. and Onda, Y. (2008a): Estimation of soil splash detachment rates on the forest floor of an unmanaged Japanese cypress plantation based on field measurements of throughfall drop sizes and velocities. Catena 72: 348-–361, doi:10.1016/j.catena.2007.07.002.

南光一樹, Moskalski, S.M., Torres, R. (2017): レーザーセンサーで熱帯低気圧による豪雨の雨滴径の特性を解明. 森林総合研究所平成 29 年版研究成果選集: 4–5.

Nanko, K., Onda, Y., Ito A. and Moriwaki, H. (2008b): Effect of canopy thickness and canopy saturation on the amount and kinetic energy of throughfall: An experimental approach. Geophys. Res. Lett. 35: L05401, doi:10.1029/2007GL033010.

Nanko, K., Onda, Y., Ito, A. and Moriwaki, H. (2011): Spatial variability of throughfall under a single tree: Experimental study of rainfall amount, raindrops, and kinetic energy. Agric. For. Meteorol., 151: 1173-–1182. doi: 10.1016/j.agrformet.2011.04.006.

Nanko, K., Tanaka, N., Leuchner, M. and Levia, D.F. (2020): Throughfall erosivity in relation to drop size and crown position: a case study from a teak plantation in Thailand. In Levia, D.F., Carlyle-Moses, D.E., Iida, S., Michalzik, B., Nanko, K. and Tischer, A. (eds.) Forest-Water Interactions, Ecological Studies Series No.240, Springer Nature, Switzerland AG.

Nanko, K., Watanabe, A., Hotta, N. and Suzuki, M. (2013) : Physical interpretation of the difference in drop size distributions of leaf drips among tree species. Agric. For. Meteorol., 169: 74-–84, doi:10.1016/j.agrformet.2012.09.018.

Roth, B.E., Slatton, K.C. and Cohen, M.J. (2007): On the potential for high-resolution lidar to improve rainfall interception estimates in forest ecosystems. Front. Ecol. Environ., 5: 421-–428, doi:10.1890/060119.1.

Tashiro-Uchimura, Y. and Mizunaga, H. (2017): Dynamics of remaining amount and vertical distribution of a *Cryptomeria japonica* needle litter created by non-commercial thinning. Jpn. J. For. Environ. 59: 13–25.

山田耕三 (2017): 庭園の表土侵食メカニズムに関する研究 — 修復後の名勝清風荘庭園におけるき損要因の観測結果から —. 京都造形芸術大学修士論文.

要　　旨

森林は，樹冠で雨を遮断し，地面に降り注ぐ雨の量と水質を変化させることで，地球規模及び地域スケールの水 · 土砂 · 物質の動態を変化させる．そのプロセスの物理的解明に雨滴データが活用できることに気づいた．林内外での雨滴の大きさと速さの違いを利用して，樹冠通過雨を直達 · 滴下 · 飛沫の 3 成分に分離する手法を開発し，滴下雨の生成高さの違いを検出できるようにした．固体（葉や枝）／液体（雨）界面現象から，樹種ごとや葉 · 枝の滴下雨の生成過程の違い，樹冠の層構造による各 3 成分の生成過程の違いが説明されうることを示した．雨滴研究の面白さを紹介しつつ，その有用性と将来について解説する．

キーワード：雨滴，樹冠遮断，樹冠通過雨，撥水性，レーザー雨滴計