常緑樹林及び落葉樹林における 樹冠遮断現象の現地観測とそのモデル化

OBSERVATION AND MODELING OF RAINFALL INTERCEPTION IN EVERGREEN FOREST AND DECIDUOUS FOREST

渡邊信剛¹・児島利治²・篠田成朗³・
大橋慶介⁴・玉川一郎⁵・斎藤琢⁶

Nobutaka WATANABE, Toshiharu KOJIMA, Seirou SHINODA,
Keisuke OHASHI, Ichiro TAMAGAWA and Taku SAITOH

¹ 学生会員 岐阜大学大学院 工学研究科 (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

² 正会員 博(工) 岐阜大学准教授 流域圏科学研究センター (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

³ 正会員 博(工) 岐阜大学教授 総合情報メディアセンター (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

⁴ 正会員 博(工) 岐阜大学助教 工学部社会基盤工学科 (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

⁵ 正会員 博(理) 岐阜大学准教授 流域圏科学研究センター (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

⁶ 非会員 博(農) 岐阜大学研究員 流域圏科学研究センター (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

The objectives of this research are to establish the effective factors for rainfall interception in forest area, and to develop an interception model with micrometeorology and forest structural character such as LAI and crown density. Throughfall, stemflow and some micrometeorological factors are measured at the evergreen forest and the deciduous forest in Takayama City, Gifu, Japan, during 2009 to 2010. The tank-like interception model, which is considered the meteorological and forest stand structural parameter, is developed, and simulates some rainfall events to assess its performance and discuss the effective factors for interception. The results and findings are as follows. Interception rates varied widely in the case of small gross rainfall events. At the evergreen forest, throughfall is simulated precisely, however, underestimated in the case of high intensity rainfall events. It is necessary to modify the tank model parameters of leaf drip water. At the deciduous forest, the interception model considered phenology shows better performance than the model fixed crown density. Phenology is one of the most important parameters for interception modeling.

Key Words: *interception loss, interception model, throughfall, gross rainfall, LAI*

1. はじめに

国土の 65% が森林である我が国において、森林の持つ水源涵養機能の定量的評価は重要な要素とされ、その解明のために様々な降雨流出解析が行われている。降雨流出解析を行う際、森林域での有効雨量の把握が不可欠である。有効雨量の把握のためには、森林での樹冠による降雨遮断現象を考慮する必要がある。日本における年間遮断率(1 - 年林内雨量/年林外雨量)は様々な研究から 13 ~ 26% の間で、ほとんどが 20% 前後に集中することがわかっている¹⁾。また、小松²⁾は、針葉樹人工林における遮断率と林分構造に着目し、遮断率と立木密度との間に $R^2=0.43$ の相関関係があると報告している。しかし、遮断現象の気象条件(降雨強度・気温)や林分条件との関係性や細かい時間スケール(分~時間単位)での林内雨の挙動など詳細なメカニズムは未だに不明な部分が多い。

本研究では、気象条件や林分条件の相違が遮断現象に与える影響を明確にすることによって、樹冠遮断現

象の定量的評価を行うことを目的とする。そのため、常緑樹林および落葉樹林を対象とした林内雨や気象データの現地観測を実施した。また、観測結果に基づき、林内雨の挙動を詳細に表現できる樹冠遮断モデルを両林分に関して構築し、樹冠遮断シミュレーションを行う。観測結果とシミュレーション結果からモデルの妥当性を検討するとともに、樹冠遮断現象への影響因子を明確にする。また、落葉樹林ではフェノロジーと遮断現象の関係に着目し、モデルによるフェノロジー表現と遮断率の季節変化の評価を行う。

2. 研究の方法

常緑樹林および落葉樹林における現地観測と観測結果に基づく樹冠遮断シミュレーションを中心に研究を進める。また、本研究において、林内雨は以下の 4 種類から構成され则认为る。

- 直達降雨：樹冠を通過し、直接林床へ到達する雨。

- ・ 滴下雨：樹冠の一部に蓄積された後に、林床へ到達する雨．
- ・ 飛沫水滴：樹冠との衝突によって、飛散した雨．
- ・ 樹幹流：樹冠から枝へと集水された後に、幹を伝わり林床へ到達する雨．

また、林内雨観測において、直達降雨・滴下雨・飛沫水滴の区別は困難であるため、その合計量を「樹冠通過雨」として計測する．

本研究における樹冠遮断率 I_c は以下の式を用いて算出される．

$$I_c = \left(1 - \frac{P_t + P_s}{P_g} \right) \quad (1)$$

P_t ：樹冠通過雨量， P_s ：樹幹流下量， P_g ：林外雨量

(1) 現地観測概要

岐阜県高山市大八賀川流域（約 64km²）の中流域に位置する常緑針葉樹林サイト（約 40～50 年生スギ人工林、標高 800m、以下 TKC）および落葉広葉樹林サイト（約 50 年生ミズナラ・ダケカンバが優先する混交林、標高 1,420m、以下 TKY）を観測対象領域とする．両サイトともに、冬季（12 月～4 月）は降雪があるため、この期間は雨量の観測を行わず、解析対象外とした．

両サイトで得られた 2009 年 4 月～12 月、2010 年 4 月～12 月の観測データを解析対象とする．以下に観測手法の詳細を示す．

a) 林外雨量

TKC における林外雨量は、高さ 30m のフラックスタワー頂点の転倒マス雨量計（池田計器製、精度 0.5mm）、TKY における林外雨量は、観測サイト側方に建設された高さ 20m 生態観測櫓の最上部に転倒マス雨量計（Davis 製、精度 0.2mm）にて、計測された．

b) 樹冠通過雨量

樹冠通過雨量は空間的ばらつきが大きい³⁾ため、林床に高密度で設置された転倒マス雨量計（Davis 製、精度 0.2mm）によって、計測された．樹冠通過雨量は各雨量計による計測値の平均値を用いる．TKC では約 3m 間隔で 24 台（4 × 6）、TKY では約 3m 間隔で 25 台（5 × 5）の雨量計を設置した．雨量計は、林床から高さ約 1.2m に設置された 35cm 四方の木製天板上に据え付けられた．

c) 樹幹流下量

樹幹流下量は、サイト内の平均的な樹冠を持つ樹木を選定し、TKC で 6 台、TKY で 2 台の転倒マス雨量計（Davis 製、精度 0.2mm）にて、計測された．樹幹流は樹幹にビニールチューブを巻きつけ、シリコンで樹幹とのすき間を充填して、上端を切り開いたビニールチューブを伝わり集水される．計測された樹幹流下量実測値は樹冠投影面積を用いて、単位面積当たりの樹幹流下量に換算した．樹幹流下量 P_s mm への換算には

図-1 樹冠遮断モデル概要⁴⁾

以下の式を用いた．

$$P_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_{si} A_g}{A_{crowni}} r_{crwn} \right) \quad (2)$$

n ：樹幹流下量計台数， p_{si} ：樹幹流下量実測値，
 A_g ：雨量計受水面積，
 A_{crowni} ：雨量計設置樹木の樹冠投影面積，
 r_{crwn} ：観測エリア内樹冠投影面積比

d) 微気象条件

TKC では、林外雨量を計測するフラックス観測タワーにおいて高度 30.2m、30.2m、31m、1.5m で気温、相対湿度、風速、気圧がそれぞれ計測された．

TKY では、TKY から約 300m の距離にある岐阜大学流域圏科学研究センター高山庁舎前（標高 1,342m）の自動気象観測装置によって気温、相対湿度、風速、気圧がそれぞれ計測された．

(2) 樹冠遮断モデル概要

TKC と TKY に関して、それぞれの樹冠遮断モデル（TKC モデル、TKY モデル）を構築する．両モデルは同構造とし、パラメータの相違によって林分条件を表現する．図-1 に本研究で用いる樹冠遮断モデルの概要を示す．樹冠の構造を表す「樹冠タンク」と幹の構造を表す「幹タンク」の多層タンクモデルで構成される．樹冠における直達降雨・滴下雨・飛沫水滴・蒸発のそれぞれの挙動が樹冠タンクで、幹における樹幹流発生・蒸発が幹タンクで表現される．

遮断損失を樹冠タンクおよび幹タンクからの蒸発と飛沫水滴発生時の蒸発によって表現した．例えば、村上⁵⁾は雨滴が樹冠に衝突した際の飛沫水滴の蒸発が遮断現象の大きな支配要因になると報告している．

滴下雨は、樹冠タンク側面孔からの流出とタンク上端からの越流により発生する．樹幹流は、まず、樹冠タンク各層から幹タンクに集水される．その後、幹タンク底面孔からの流出とタンク上端からの越流によって、

樹幹流は林床に到達する。

モデルのパラメータはタンクの形状、蒸発効率、飛沫確率など 13 種類である。これらのパラメータの同定には遺伝的アルゴリズムが用いられた。この方法によって、樹冠通過雨および樹幹流のそれぞれの観測値に対して、シミュレーション結果との誤差が最小になるよう最適なパラメータが決定される。TKC モデルは 2009 年および 2010 年のそれぞれ 10 回の降雨イベントによって 2 種類、TKY モデルは 2009 年の 10 回の降雨イベントによって 1 種類のパラメータが同定された。10 回の降雨イベントは、気象条件の偏りを避けるため、各月の平均的な気象条件のものが抽出された。

TKY モデルでは落葉樹のフェノロジーを表現する必要がある。フェノロジーとは、植生の季節変化のことである。例えば、単位面積当たりの葉の枚数を表す LAI(Leaf Area Index) の季節変化はフェノロジーを表すパラメータの 1 つである。本研究では、森林内の繁茂状況を表す指標である樹冠疎密度をフェノロジーを表現するパラメータとして用いる。樹冠疎密度は全天画像の解析により算出される。全天画像は 2006 年に 5 回(5/28, 6/2, 6/27, 7/26, 12/12)撮影されたものを用いた。撮影は林内雨量計を据え付けた全ての木製台の四隅から、魚眼レンズを取り付けたデジタルカメラ(NikonCoolPix 700)を用いて行われた。全天画像の天頂から 30 度の範囲を「空」とそれ以外の「植生」にピクセルごとに判別し、その比率から各雨量計直上の樹冠疎密度が決定される。しかし、年間データ数が不十分であるため、樹冠疎密度と同様に樹冠被覆率の指標となる LAI の TKY における観測結果⁶⁾に基づき樹冠疎密度の季節変化を推定した。

図-2 に樹冠疎密度および LAI の季節変化と樹冠疎密度季節変化の推定結果を示す。樹冠疎密度は、撮影日の平均値とし、エラーバーは標準偏差である。樹冠疎密度の季節変化は全天画像による樹冠疎密度観測結果の最大値と最小値を用いて LAI 値を正規化することによって、推定された。LAI は展葉期となる 5 月後半から急増し、落葉期となる 10 月頃から減少している。樹冠疎密度観測結果も LAI とおおむね同様の傾向である。よって、樹冠疎密度を LAI によって推定することは妥当であると考えられる。この結果をもとに、降雨イベント時の樹冠疎密度を決定し、TKY モデルのフェノロジーを表現するパラメータとして用いる。一方、TKC では、樹冠疎密度把握のために、2006 年 11 月 8 日に TKY と同様の方法で全天画像を撮影した。全天画像の解析から TKC の平均樹冠疎密度は 0.59 であることがわかった。TKC モデルでは常にこの値を用いる。

以上の TKC モデルと TKY モデルを用いて、降雨イベントごとにシミュレーションを行う。また、降雨イベントは林外雨が観測された時刻をイベントの開始とし、12 時間以上の無降雨期間によって分離した。これは、降雨イベントの独立性を考慮し、降雨終了後 12 時間以上経過することで樹冠は乾燥し、次の降雨イベン

図-2 樹冠疎密度および LAI の観測結果と樹冠疎密度推定値

図-3 林外雨量と樹冠遮断率との関係

図-4 TKC および TKY における遮断率観測結果

トに影響を及ぼさないと判断したことによる。

3. 結果と考察

(1) 遮断現象の現地観測

図-3 に TKC および TKY における降雨イベントごとの林外雨量と遮断率の関係を示す。TKC では遮断率は、小降雨時に高い値でばらつきが大きく、林外雨量の増加に伴い、ばらつきがなくなり安定した値となった。これは、佐藤ら⁷⁾が指摘しているように、小降雨時、遮断現象は風速などの微気象要因の影響を受けやすくなることを示唆している。また、少雨の場合、樹冠に蓄積された雨滴が滴下することなく、その多くが樹冠上で蒸発することによって、遮断率が上昇しやすくなることも考えられる。TKY でも同様の傾向を確認できるが、TKC と比べ、さらにばらつきが大きくなった。TKY では、遮断率の支配要因が林外雨量だけでなく、フェノ

表-1 TKC モデルによる遮断率，樹冠通過雨量および樹幹流下量のシミュレーション結果

Event No.		1	2	3
Date		2009/11/10	2010/6/18	2010/9/7
Gross rainfall (mm)		72.0	55.0	79.5
Interception loss (mm)	Obs.	23.64	23.52	18.22
	Sim.	24.13	26.84	27.40
Throughfall (mm)	Obs.	53.50	41.42	64.39
	Sim.	54.62	40.24	57.72
	Abs.Err	-1.12	1.18	6.67
	RMSE	1.59	2.06	6.14
Stemflow (mm)	Obs.	1.48	0.65	0.62
	Sim.	0.66	0	0
	Abs.Err	0.83	0.65	0.62
	RMSE	0.54	0.45	0.47

ロジーにも起因するため，その影響が遮断率のばらつきに表れたと推察される．

図-4 に各降雨イベントの樹冠遮断率の観測結果を示す．図中のプロットは，各降雨イベントの林外雨量に比例するようサイズを変化させた．遮断率の安定する多降雨時の大きいプロットに着目すると，TKC では，季節によらず，遮断率は 20～40% となった．TKY では，遮断率はおおむね 0～35% に分布し，季節変化が見られた．ばらつきはあるものの，7～9 月にかけて遮断率は高い値を示した．LAI の季節変化と対応して，遮断率が変化している．つまり，LAI が樹冠遮断現象の支配要因の一つであると判断できる．

また，4～6 月にかけて TKY のいくつかの降雨イベントで遮断率が負の値となった．林外雨量の計測は，TKC では気象庁型式証明を取得したもの，TKY では簡易型雨量計が用いられた．また，両雨量計ともにタワー上に設置されており，林床と比較して，風速の影響が大きい．簡易型雨量計では，雨滴が受水口表面に衝突した際に，雨滴が飛沫することがあり，風の影響で損失しやすい．よって，TKY では林外雨の捕捉率が低下し，林外雨量が過小評価されたと考えられる．

(2) 常緑樹林モデルによるシミュレーション

観測された降雨イベントの中から，パラメータの同定に用いておらず，かつ林外雨量 15mm 以上の降雨イベントを用いて TKC モデルによる樹冠遮断シミュレーションをした．小降雨時，遮断率はばらつきが大きく，シミュレーションによる再現が困難であるため，林外雨量 15mm 以上の降雨イベントを用いた．

表-1 に各降雨イベントの遮断率，総樹冠通過雨量および総樹幹流下量の観測値とシミュレーション結果，絶対誤差，二乗平均平方根誤差 (RMSE) を示す．図-5 に樹冠通過雨の観測値とシミュレーション結果の時間ステップごとの発生状況を示す．

降雨イベント 1，2 では樹冠通過雨が時間ステップごとに高精度で計算されている．一方，イベント 3 では，比較的誤差が大きくなった．樹幹流下量は，過小評価されているものの，樹幹流下量が全林内雨量に占める割合は 3% 未満であるため，樹幹流の表現は問題ない精

図-5 TKC モデルによる時間ステップごとの樹冠通過雨量

度であると考えられる．

図-5 に示したすべての降雨イベントで，10 分間林外雨量 3mm 以上の場合，樹冠通過雨量の観測値とシミュレーション結果に差が生じた．集中降雨時，樹冠表面は雨滴で常に満水状態となり，新たに樹冠表面に到達した雨滴は樹冠に蓄積されずに，すぐに林床へと到達する．つまり，滴下雨が頻出して，一次的に遮断率が低下する．実際，イベント 3 では，6mm 以上の 10 分間林外雨量が観測されており，遮断率も他の降雨イベントと比べて低い値となった．モデル内で，滴下雨発生は側面孔からの流出とタンク上端からの越流とにより表現される．しかし，タンク上端の高さが比較的高く設計されたため，シミュレーションでは，側面孔からの流出だけが発生した．よって，集中降雨時の滴下雨の頻出が再現できず，イベント 3 では，特に誤差が大きくなったと考えられる．精度向上を目的とした誤差評価方法やモデル構造の再検討が今後の課題となる．

シミュレーションによる遮断損失の割合は，いずれの降雨イベントでも飛沫損失が約 1%，樹冠タンクからの蒸発が 30～40%，幹タンクからの蒸発が 60～70% であった．

(3) 落葉樹林モデルによるシミュレーション

TKC モデルと同様に，パラメータの同定に用いておらず，かつ林外雨量 15mm 以上の降雨イベントをシミュレーションに使用した．表-2 に各降雨イベントの遮断

表-2 TKY モデルによる遮断率，樹冠通過雨量および樹幹流下量のシミュレーション結果

Event No.		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Date		2009/5/5	6/22	7/6	7/20	7/28	8/9	8/21	9/28	11/1	11/10
Crown density		0.19	0.63	0.68	0.69	0.70	0.71	0.70	0.66	0.32	0.25
Gross rainfall(mm)		30.8	64.2	90.2	37.8	80.2	15.0	21.8	23.8	23.2	65.6
Interception loss (%)	Obs.	2.07	4.60	16.25	15.24	20.14	21.64	15.16	10.31	1.64	4.10
	Sim.	5.41	16.50	14.60	12.07	17.12	14.62	11.93	3.62	4.27	2.97
	Sim. Cd=0.2	17.25	16.55	16.67	16.98	16.43	18.31	17.91	16.52	17.31	16.28
	Sim. Cd=0.5	13.97	16.96	17.27	15.41	15.74	15.02	16.03	5.19	15.95	14.92
	Sim. Cd=0.7	1.88	12.48	8.39	7.29	11.97	8.64	5.60	1.78	12.33	11.58
Throughfall(mm)	Obs.	30.15	61.16	75.52	32.03	64.04	11.75	18.49	21.34	22.79	62.88
	Sim.	29.13	52.58	75.82	33.24	66.45	12.81	19.20	22.94	22.21	63.65
	Abs.Err	1.01	8.57	-0.30	-1.20	-2.41	-1.05	-0.71	-1.60	0.58	-0.77
	RMSE	0.58	7.62	2.32	1.21	1.73	1.10	1.29	0.88	1.29	0.96
Stemflow(mm)	Obs.	0.01	0.10	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04
	Sim.	0	1.03	1.22	0	0.02	0	0	0	0	0
	Abs.Err	0.01	-0.93	-1.19	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04
	RMSE	0.01	0.68	0.79	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03

Cd:crown density

図-6 樹冠疎密度を固定したときの遮断率と樹冠疎密度季節変化の関係。実線は樹冠疎密度，各プロットは遮断率（●：観測値，○：フェノロジーを考慮した計算値，△：樹冠疎密度を 0.2 に固定，△：樹冠疎密度を 0.5 に固定，□：樹冠疎密度を 0.7 に固定）

率，総樹冠通過雨量および総樹幹流下量の観測値とシミュレーション結果，絶対誤差，RMSE を示す。また，樹冠疎密度を用いたフェノロジー表現の妥当性を検討するため，樹冠疎密度を一定値（0.2，0.5，0.7）としてパラメータの同定，シミュレーションを行い，遮断率を計算した。図-6 にその結果である樹冠疎密度ごとの遮断率の計算結果と樹冠疎密度季節変化の関係を示す。加えて，表-2 に示した降雨イベントの中でイベント 5，8 について樹冠通過雨の観測値とシミュレーション結果の時間ステップごとの発生状況を図-7 に示す。

表-2 の樹幹流下量に着目すると，TKC モデルによる解析結果と比べて精度が低下している。TKY における樹幹流下量は 2 台の雨量計により計測される。TKC と比較し，少数であり，また，どちらかの雨量計が欠測している期間があった。良好な観測状況でなかったことが，シミュレーションによる樹幹流の再現を困難にしたと考えられる。また，本研究で用いた樹冠投影面積は樹枝形状の測量によって，展葉期の最大面積を推定したものである。この値はフェノロジーを考慮せず，樹木ごとに一定値としている。樹冠投影面積は季節により増減し，樹幹流下量に影響を与えているはずであ

図-7 TKY モデルによる時間ステップごとの樹冠通過雨量

る。フェノロジーを考慮しない樹幹流下量の換算が精度に影響を与えたと推察される。しかし，誤差は全体の 1% 程度であり，大きな影響はないものと考えられる。

表-2 および図-6 の遮断率に関して，観測値とフェノロジーを考慮したシミュレーション値との関係に着目すると，双方は樹冠疎密度と対応して，同傾向の挙動を示した。また，図-7 のイベント 8 から時間ステップごとに樹冠通過雨の発生が高精度で計算できたことがわかる。しかし，イベント 5 では精度が低下した。イベント 5 では 8mm 以上の 10 分間林外雨量が観測されたとき，観測値との差が大きくなった。これは，TKC モデルと同様に集中降雨時の滴下雨の頻出が表現できていないことが原因である。

図-6 の樹冠疎密度を固定した場合のシミュレーション結果に着目すると，樹冠疎密度を 0.2，0.5，0.7 に固定したいずれの場合も，樹冠疎密度の季節変化とは無関係な値を示した。フェノロジーを考慮した TKY モデルのパラメータの同定には 2009 年の 10 回の降雨イベントが用いられ，降雨イベント時の樹冠疎密度は降雨

日から図-2に基づき決定された。一方、樹冠疎密度を0.7で固定した場合は、同定に用いられる10回の降雨イベント時の樹冠疎密度はフェノロジーとは無関係にすべて0.7とし、パラメータが同定された。したがって、フェノロジーを考慮したTKYモデルと樹冠疎密度を0.7で固定したTKYモデルでは異なるパラメータを持つ。樹冠疎密度を0.7で固定したTKYモデルでは、実際の樹冠疎密度が0.3程度になる5月、11月の降雨に対しても樹冠疎密度0.7を用いることで誤差が小さくなるよう設計されている。したがって、実際に樹冠疎密度が0.7程度になる7~9月においても、樹冠疎密度を0.7で固定したTKYモデルでは、遮断現象が適切に表現できなかったと考えられる。このことは、樹冠疎密度を0.2, 0.5としたときも同様である。

シミュレーションによる遮断損失の割合は、多くの降雨イベントで飛沫損失が1~3%、樹冠タンクからの蒸発が10~30%、幹タンクからの蒸発が65~90%であった。

以上の結果から、TKYモデルは樹冠通過雨の発生を妥当な精度で表現できることがわかった。また、遮断現象の季節変化を再現できたことから、樹冠疎密度によるフェノロジー表現は妥当であることが明らかとなった。

4. おわりに

本研究では、樹冠遮断現象の定量的評価を目的とし、常緑樹林および落葉樹林における遮断現象の現地観測とそのモデル化を行った。また、落葉樹林でのフェノロジーと遮断現象の関係に着目し、遮断率の季節変動評価と樹冠疎密度をパラメータとした落葉樹林モデルの妥当性を検討した。現地観測とシミュレーション結果から得られた知見は以下の通りである。

- 現地観測の結果から、小降雨時、遮断率はばらつきが多くなり、降雨量の増加に伴い、遮断率が安定する傾向にあることが確認できた。
- 現地観測の結果から、常緑樹林では季節によらず、遮断率は20~40%となり、落葉樹林では、遮断率はおおむね0~35%に分布し、LAIの挙動と対応して季節変化していることがわかった。
- シミュレーション結果から、常緑樹林、落葉樹林ともに多くの降水イベントで高精度で樹冠通過雨の発生が計算できたことがわかり、モデルの妥当性を確認できた。
- 落葉樹林モデルによるシミュレーションから樹冠遮断現象評価の際に、樹冠疎密度によるフェノロジー表現が妥当であることが明らかとなった。
- 現地観測の結果から、集中降雨時の遮断率低下が確認できたが、モデル化の際、滴下雨の頻出の計算が不十分であったため、遮断率低下が再現できなかった。
- シミュレーション結果では、常緑樹林、落葉樹林

ともに遮断損失のうち飛沫損失が占める割合は約1~3%となった。しかし、現在のモデルは集中降雨時の滴下雨の発生再現などに問題があるため、この結果が実際の損失現象を表しているかは不確かである。

今後、リモートセンシング画像による植生分布解析と組み合わせることで、広域的な有効雨量の算定を行い、森林流域からの洪水流出解析への適用を目指す。その際、本研究では考慮していないリターによる遮断損失量を考慮する必要がある。リター遮断損失量はスギ林で5.1~11.5%とされ⁸⁾、その影響は無視できるものではない。この点は今後の課題とする。

謝辞：本研究の一部は、平成17~19年度科研費補助金（若手研究(B), 17760403, 研究代表者：児島利治）、平成18~21年度科学研究費補助金（基盤研究(B), 18310021, 研究代表者：篠田成郎）、平成22~23年度科学研究費補助金（挑戦的萌芽, 22651012, 研究代表者：篠田成郎）、平成22~23年科学研究費補助金（基盤研究(A), 研究代表者：栗屋善雄）、日本学術振興会の岐阜大学21世紀COEプログラム「衛星生態学創生拠点」及び地球環境再生プログラム「中部山岳地域の環境変動の解明から環境資源再生をめざす大学間関連事業」の補助を受けて実施されました。またデータ取得において岐阜大学高山試験地の車戸憲二氏、宮本保則氏および高山コミュニティの皆様にも多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 塚本良則：森林水文学，文永出版，pp.78-83，1992。
- 2) 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，日林誌，Vol.89 No.4，pp.217-220，2007。
- 3) 柴田英昭，中尾登志雄，蔵治光一郎：林内雨・樹幹流の測定法と問題点，ぶんせき，1998年10月号，pp758-761，1998。
- 4) 児島利治：林内雨の構成を考慮した樹冠遮断モデルの検討，水文・水資源学会2009年度研究発表会，2009。
- 5) 村上茂樹：樹冠遮断蒸発の降雨強度依存性とそのメカニズム - 雨滴飛沫の蒸発 -，森林科学，No.48，pp.41-42，2006。
- 6) Hiroyuki Muraoka, Nobuko Saigusa, Kenlo N.Nasahara, Hibiki Noda, Jun Yushino, Taku M.Saitoh, Shin Nagai, Shohei Murayama, Hiroshi Koizumi：Effects of seasonal and inter-annual variations in leaf photosynthesis and canopy leaf area index on gross primary production of a cool-temperate deciduous broadleaf forest in Takayama, Japan, *Journal of Plant Research*, Vol.123 No.4, pp.563-576, 2010。
- 7) 佐藤嘉展，久米篤，大槻恭一，小川滋：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・水資源学会誌第16巻6号，pp605-617，2003。
- 8) 佐藤嘉展，大槻恭一，小川滋：常緑樹林地におけるリター遮断損失量の推定，水文・水資源学会誌第16巻6号，pp605-617，2003。

(2011.9.30 受付)