

アベマキ，ミズナラ混交林における遮断蒸発量の観測

篠原，慶規
九州大学大学院農学研究院

大崎，繁
九州大学農学部附属演習林福岡演習林

井上，一信
九州大学農学部附属演習林福岡演習林

壁村，勇二
九州大学農学部附属演習林福岡演習林

他

<https://doi.org/10.15017/1448868>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 95, pp.10-15, 2014-03-30. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

アベマキ、ミズナラ混交林における遮断蒸発量の観測*

篠原慶規¹⁾・大崎繁²⁾・井上一信²⁾・壁村勇二²⁾・山内康平³⁾・
古賀信也²⁾・大槻恭一²⁾

九州大学農学部附属福岡演習林内のアベマキとミズナラの混交林において、降水量、樹冠通過雨量、樹幹流量の観測を行い、遮断蒸発量を算出した。2012年4月から2013年3月における降水量、樹冠通過雨量、樹幹流量、遮断蒸発量は、それぞれ1661, 1226, 126, 309mmとなり、降水量に対する樹冠通過雨量、樹幹流量、遮断蒸発量（樹冠通過雨量率、樹幹流量率、遮断蒸発率）は、それぞれ74%、8%、19%となった。本試験地の遮断蒸発率は、これまでの日本の落葉広葉樹林における観測値と同程度であった。これまでに観測された落葉広葉樹林の遮断蒸発率の最大値は、針葉樹林の最大値と比較して小さいことから、遮断蒸発率の大きい針葉樹林を落葉広葉樹林に転換することで遮断蒸発量を減らせる可能性がある。今後は、落葉広葉樹林における遮断蒸発量の観測値をさらに蓄積することで、上述のことを一般化していくことが望まれる。

キーワード：樹冠遮断, 森林管理, 落葉広葉樹林, 管理放棄人工林

The objective of this study was to accumulate canopy interception loss (I_c) data for deciduous broadleaved forests. I_c is a major component of evapotranspiration. The number of I_c data for deciduous broadleaved forests was much less than that for coniferous plantations. We observed throughfall (T_f), stemflow (S_f), and I_c in an oak forest. The forest is covered with *Quercus variabilis* Blume and *Quercus crispula* Blume trees. Precipitation (P_r), T_f , and S_f during the period between April 2012 and March 2013 were 1611, 1226, 126, 309 mm, respectively. T_f/P_r , S_f/P_r , and I_c/P_r were 74%, 8%, and 19%, respectively. I_c/P_r observed in the study site was within the range of I_c/P_r previously observed in deciduous broadleaved forests. Since the maximum value of I_c/P_r observed in coniferous forests of Japan was larger than that in deciduous broadleaved forests, replacing coniferous plantations with deciduous broadleaved forests could decrease I_c . Further accumulation of I_c data for deciduous broadleaved forests is required to verify the above findings

Keywords : evaporation from wet canopy, forest practices, deciduous broadleaved forests, abandoned coniferous plantations

1. はじめに

水資源の最大値は、水資源賦存量と呼ばれ、降水量から蒸発散量を引くことで算出される。そのため、森林管理が水資源量に与える影響を予測するためには、水資源賦存量と密接に関係する蒸発散量について、様々な森林管理手法の適用に伴う変化を明らかにすることが必要不可欠である。森林における蒸発散は、蒸散、遮断蒸発、林床面蒸発に大別され、蒸散と遮断蒸発が大きな要素を占める (Vertessy et al. 2001; Wilson et al. 2001)。森林管理手法の適用に伴う蒸散や遮断蒸発の変化は、多くの場合、様々な森林における観測値を相互比較する事で予測される (例えば、Komatsu et al. 2007)。既往の遮断蒸発量の観測データ数は、蒸散量と比較すると多いものの (篠原ほか 2013)、森林タイプによってデータ数は大きく異なる。

遮断蒸発は、植生だけでなく気象条件の影響を強く受ける。そのため、森林管理手法の違いによって生じる植生変化に伴う遮断蒸発量の変化を予測する場合、その地域と類似した気象条件の森林で観測されたデータを用いることが望ましい。日本では、遮断蒸発量の観測は、針葉樹林において数多く行われてきた。このような観測結果に基づいて、立木密度と遮断蒸発率 (遮断蒸発量 / 降水量) の関係が小松 (2007) によって見出され、この関係を用いて、針葉樹林の間伐が遮断蒸発量ひいては水資源量に与える影響が評価されている (小松ほか 2009)。一方、日本の広葉樹林の遮断蒸発量の計測例は Park et al. (2000)、Deguchi et al. (2006)、Liang et al. (2009) などに限られ、針葉樹林と比較し、非常に少ない (Komatsu et al. 2010)。そのため、針葉樹人工林から広葉樹林へ転換した際の遮断蒸発量の変化は十分に予測されておらず、このことが、針葉樹林人工林か

* Shinohara, Y., Osaki, S., Inoue, K., Kabemura, Y., Yamauchi, K., Koga, S. and Otsuki, K., Observation of canopy interception loss in an oak forest.

1) 九州大学大学院農学研究科, 〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1

Faculty of Agriculture, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, Japan

2) 九州大学農学部附属演習林福岡演習林, 〒811-2415 福岡県糟屋郡篠栗町津波黒394

Kasuya Research Forest, Kyushu University, 394 Tsubakuro, Sasaguri, Fukuoka 811-2415, Japan

3) 九州大学農学部附属演習林宮崎演習林, 〒883-0402 宮崎県東臼杵郡椎葉村大河内949

Shiiba Research Forest, Kyushu University, 949 Okawauchi, Shiiba, Miyazaki 883-0402, Japan

ら広葉樹林への転換に伴う水資源量の変化を予測できない主要因の1つとなっている。

そこで本研究では、広葉樹林の遮断蒸発量の計測結果の蓄積を目指し、九州大学農学部附属福岡演習林内のアベマキとミズナラの混交林において、遮断蒸発量の観測を行った。

2. 方法

2.1. 試験地の概要

本研究は、福岡市から西方約15kmに位置する九州大学農学部附属福岡演習林内に設置された高田苗圃地(二)で行った(33°38'N, 130°32'E)。本試験地の標高は約40mであり、傾斜はほとんどない。試験地から南西へ約6kmの地点にあるアメダス(博多)における2003年から2012年までの年平均気温は17.0℃、年平均降水量は1758mmである。この地域の降水量は、6月から8月にかけて最も多くなり、冬季に少ないという季節変化を持つ。なお、降水の多くは降雨としてもたらされるが、12月から2月にかけては降雪としてもたらされることもある(篠原ほか2009)。

試験地の広さは約1800m²であり、その約半分は、落葉広葉樹林であるアベマキ(*Quercus variabilis* Blume)とミズナラ(*Quercus crispula* Blume)で覆われている。これらは、1982年6月に植栽されたものであり、それ以降、下刈り以外の施業は行われていない。本研究は、アベマキ・ミズナラ林のほぼ中央に設置した10m×10mの試験プロットを用いて行った。試験プロット内には16本の樹木があり(立木密度:1600本 ha⁻¹)、そのうちアベマキが13本、ミズナラが3本である。計測終了後(2013年3月)に行った毎木調査によると、胸高直径の平均値は22cm、最小値は10cm、最大値は36cm、樹高の平均値は14m、最大値は18m、最小値は7mであった。胸高断面積合計は、66m² ha⁻¹であった。

2.2. 観測方法

本研究では、遮断蒸発量を算出するために、樹冠通過雨量と樹幹流量、降水量の観測を行った。樹冠通過雨量は、試験プロット内に15個設置した貯留式コレクターを用いて観測した。貯留式コレクターは、13Lのプラスチックバケツに直径21cmのロートを取り付けたものを利用した。樹幹流量は、4本のサンプル木において観測を行った(アベマキ2本、ミズナラ2本)。対象としたアベマキの胸高直径は、30cmと28cm、ミズナラの胸高直径は2本とも12cmであった(図1)。サンプル木の樹幹に針金を通したホースを巻き付け、隙間にシリコンシーラントを充填し、その外側を塩化ビニル製のシートで覆ってさらにシリコンシーラントで密閉した。それを貯留式の90Lタンクに通水することで、樹幹流量を観測した。降水量は、試験地に隣接する開けた場所において、樹冠通過雨と同じ貯留式コレクターを用いて観測した。樹冠通過雨量、樹幹流量、降水量のサンプリングは、約1週間から1ヶ月間隔で、降水がない時間

に行った。観測期間は2011年4月から2013年3月までの2年間である。

2.3. 遮断蒸発量の算出

降水量から林分あたりの樹冠通過雨量と樹幹流量を差し引くことで林分あたりの遮断蒸発量を算出した。林分あたりの樹冠通過雨量は、15個のコレクターの平均値とした。樹冠通過雨量の空間的ばらつきは非常に大きいことが知られているため(Shinohara et al. 2010)、樹冠通過雨量の計測誤差をStudentの*t*値を用いて調べた。樹冠通過雨の計測誤差ε(%)は、Studentの*t*値を用いると、以下のように表現される(例えば、Kostelnik et al. 1989)。

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

ここで、*n*:コレクターの数、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。

林分あたりの樹幹流量は下記の手順で求めた。樹幹流量が降水量に占める割合は樹冠通過雨量と比較し小さいが、樹幹に集中して流れるため1本あたりの樹幹流量は非常に大きくなる。そのため、本研究でも、降水量が多い期間のサンプルでは、タンクからのオーバーフローが見られた。そこで、それぞれの観測木において、着葉期と落葉期のそれぞれで降水量と樹幹流量の関係を算出し、その関係式と降水量のデータを用いて、オーバーフローしたサンプルの樹幹流量を算出した。その際、本研究では、福岡演習林内のコナラ(*Quercus serrate* Murray)を対象として行われている着葉・落葉期の観測(長澤ほか未発表データ)に基づいて、着葉期は4月~11月、落葉期は12月~3月とした。観測木のデータを用いて、胸高直径と樹幹流量の関係式を着葉期と落葉期のそれぞれで算出し、この関係式と胸高直径のデータを用いて、非観測木の樹幹流量を推定した。そして、全16本の樹幹流量の総和をプロット面積(100m²)で除すことで、林分あたりの樹幹流量を算出した。なお、2011年4月から2012年3月までは、観測装置の水漏れなどに起因する欠測がしばしば見られた。そのため、樹幹流は、2012年4月から2013年3月までのデータのみを用いることとし、遮断蒸発もその期間のみ算出した。

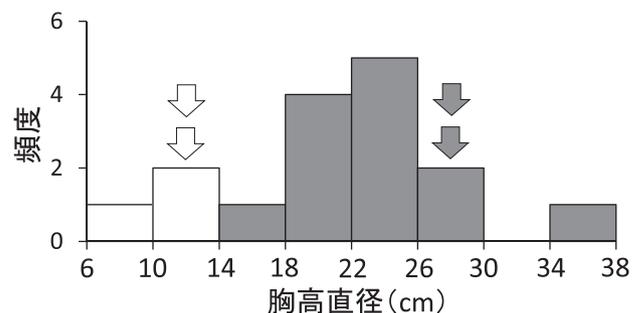


図1 プロット内の胸高直径の分布と4本の樹幹流観測木(矢印)。灰色はアベマキを示し、白色はミズナラを示している。

3. 結果と考察

3. 1. 観測期間の気象条件

図2には、本研究の観測期間の気象条件を調べるために、気象庁のウェブページ (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>) で公開されているアメダス（博多）における月平均気温と月降水量の変動を示した（図2）。なお、アメダス（博多）は本試験地と6km離れており、両者の気象条件は完全には一致する訳ではないが、この地域の平均的な気象条件に対する本研究の観測期間の特徴を知るために、10年以上の観測データが得られるアメダス（博多）のデータを用いた。年降水量は、2011-2012年は10年平均値よりも大きく、2012-2013年は小さくなった。着葉期と落葉期に分けて降水量を見ると、2011-2012年の着葉期は10年平均値よりも大きく、落葉期は10年平均値とほぼ同じであった。2012-2013年は着葉期、落葉期共に10年平均値よりも小さかった。また年平均気温は、10年平均値よりも2011-2012年で0.2℃、2012-2013年で0.3℃低くなった。月別に見ると、2011-2012年は、11月が10年平均値よりも約2℃高く、2月が10年平均値よりも約2℃低かった。その他の月の10年平均値との差は1℃以下であった。2012-2013年は、9月、11月、12月で10年平均値よりも1℃以上低くなり、その他の月は、10年平均値との差は1℃以下であった。

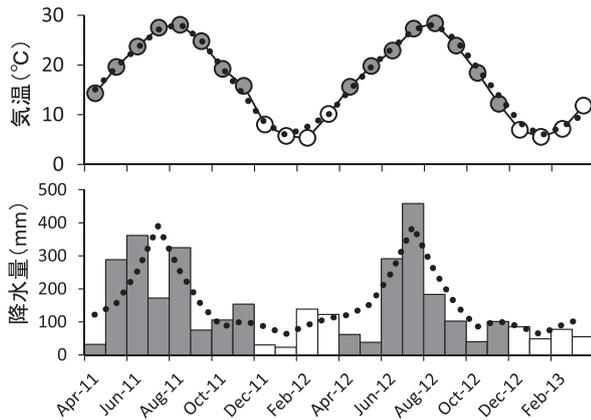


図2 本研究の観測期間（2011年4月～2013年3月）におけるアメダス（博多）の月平均気温と月降水量。灰色は着葉期、白色は落葉期を示す。
なお、点線は2003年～2012年までの平均値を示した。

3. 2. 観測誤差の検証

図3には、降水量と樹冠通過雨量の変動係数の関係を示した。全データの変動係数の平均値は14.8%となった。Deguchi et al. (2006)と同じように着葉期の方が落葉期よりも変動係数が大きくなる傾向が見られ、落葉期の変動係数は10.3%、着葉期の変動係数は16.3%であった。なお、降水量の増加に従って変動係数が小さくなる傾向がCarlyle-Moses et al. (2004)やShinohara et al. (2010)で報告

されているが、本試験地ではそのような傾向は見られなかった。Carlyle-Moses et al. (2004)が降水イベント毎、Shinohara et al. (2010)が1週間毎に観測したデータを用いているのに対し、本研究の観測間隔は、約1週間～1ヶ月である。そのため、降水量が20mm以下のサンプルは少ない。一方で、降水量の増加に従って変動係数が小さくなる傾向が見られるのは、Carlyle-Moses et al. (2004)は降水量が20mm以下の範囲、Shinohara et al. (2010)は降水量が10mm以下の範囲としている。以上のことから、観測間隔が比較的長く、降水量が小さいサンプルが少ないため、既往の研究と同様の傾向が見られなかったと考えられる。

信頼度を0.05として式(1)を用いて、観測期間全体の樹冠通過雨量の観測誤差を計測したところ、6.7%となった。これは、既往の研究（Shinohara et al. 2013）で報告されている誤差と同程度である。また、変動係数が極端に大きいサンプルは存在しなかったため、各サンプルで計算した観測誤差は、最大で13.2%であり、多くの場合10%以下であった。このように本研究の樹冠通過雨量の観測誤差は、既往の研究と同程度であると考えられる。

一方、樹幹流の観測は、4本のみを対象として行われ、その4本も試験プロット内の胸高直径の分布を十分に反映して選定されたものではなかった（図1）。そのため、樹幹流の観測精度は、既往の研究と比較し低い可能性がある。ただし後述するように、樹幹流量は、樹冠通過雨量の10分の1程度であるため、樹幹流量の観測誤差が遮断蒸発量の算出に与える影響は大きくないと推察される。

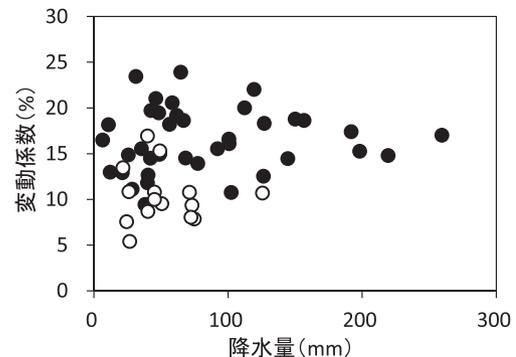


図3 降水量と樹冠通過雨の変動係数の関係。
黒丸は着葉期、白丸は落葉期のデータを示す。

3. 3. 樹冠通過雨量、樹幹流量、遮断蒸発量

図4には、降水量と樹冠通過雨量、樹幹流量、遮断蒸発量の関係を示した。樹冠通過雨量、樹幹流量、遮断蒸発量共に降水量と正の相関が見られた。表1には、各年の樹冠通過雨量、樹幹流量、遮断蒸発量と降水量に占める樹冠通過雨量率、樹幹流量率、遮断蒸発率を示した。すべての観測が行われた2012-2013年における樹冠通過雨量率、樹幹流量率、遮断蒸発率

表1 樹冠通過雨量(T_f)、樹幹流量(S_f)、遮断蒸発量(I_c)の観測値と、それぞれが降水量(P_r)に占める割合。

	P_r (mm)	T_f (mm)	T_f/P_r (%)	S_f (mm)	S_f/P_r (%)	I_c (mm)	I_c/P_r (%)
2011-2012							
着葉期	1908	1395	73				
落葉期	429	331	77				
期間全体	2338	1726	74				
2012-2013							
着葉期	1307	969	74	94	7	244	19
落葉期	354	257	73	32	9	65	18
期間全体	1661	1226	74	126	8	309	19
期間全体	3998	2952	74				

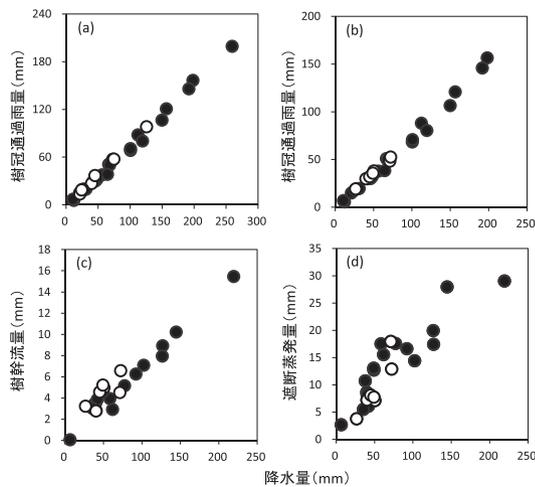


図4 降水量と樹冠通過雨量(a: 2011-2012年、b: 2012-2013)、樹幹流量(c: 2012-2013年)、遮断蒸発量(d: 2012-2013年)の関係。黒丸は着葉期、白丸は落葉期のデータを示す。

はそれぞれ74%、8%、19%となった。これらの値は、着葉期と落葉期で分けて算出しても、両者で大きくは異ならなかった。また、2011-2012年と2012-2013年で年降水量や降水の季節性は異なっていたが(図2)、樹冠通過雨量は2011-2012年と2012-2013年で大きく異ならなかった。このことは、本試験地の年樹冠通過雨量は、気象条件の年々変動の影響を強くは受けないということを示唆している。降水量に占める樹冠通過雨量の割合は、樹幹流量と比較し非常に大きいことから、2012-2013年のデータを使って算出された年遮断蒸発率は、この時点の林分構造における年遮断蒸発率の平均的な値を示していると推察される。

表2には、日本の他の落葉広葉樹林の試験地で観測された樹冠通過雨量、樹幹流量、遮断蒸発率を示した。既往の研究の遮断蒸発率の幅は、着葉期で14~25%、落葉期で11~21%となり、本研究の遮断蒸発率は、着葉期、落葉期共にこの範囲内であった。Park et al. (2000)は、山城と白坂のデータを比較することで、葉面積と遮断蒸発率や胸高断

面積合計と樹冠通過雨量・樹幹流量率の関係性を指摘している。本試験地の胸高断面積合計は、データの得られる山城、白坂、豊田と比較し大きくなったが、本試験地の遮断蒸発率は、山城、豊田と比較すると大きくなり、白坂と比較して小さくなった。このことは、胸高断面積や関連する項目のみでは、試験地間の遮断蒸発率の違いを十分には説明できないことを示唆している。なお、試験地間の降水量が異なっており、その影響を受けている可能性もあるので注意が必要である。

本試験地では、着葉期と落葉期で遮断蒸発率が大きく変わらなかったが、他の試験地では、着葉期の方が落葉期と比較して遮断蒸発率が3~4%大きくなった。これは、①気象条件や②樹種毎の樹冠構造(枝や葉の付き方など)、③着葉期と落葉期の決定方法、④枯れた葉が落葉せずに幹に留まっている期間などが影響していると思われる。アベマキでは、冬季の間でも樹冠に枯葉が留まっていることがあり、本試験地で2013年1月に撮影された写真(図5)でもその様子が見て取れる。そのため、本研究では④の影響を強く受け、着葉期と落葉期で遮断蒸発率が大きく変わらなかったのではないかと考えられる。ただし、2011-2012年の樹冠通過雨量は、2012-2013年と傾向が異なり、着葉



図5 2013年1月16日に撮影された落葉期の試験地の様子。枯葉が枝に残っている様子がわかる箇所に矢印をつけた。

表2 日本の落葉広葉樹林における樹冠通過雨量(T_f)、樹幹流量(S_f)、遮断蒸発量(I_c)の観測値

試験地名	緯度	経度	主な樹種	計測期間 (月)		P_r (mm)	T_f (mm)	T_f/P_r (%)	S_f (mm)	S_f/P_r (%)	I_c (mm)	I_c/P_r (%)	引用文献
山城*	35°02'N	137°11'E	Quercus serrata (コナラ), Pinus densiflora (アカマツ)	22	着葉期	1961	1600	82	94	5	266	14	Park et al. (2000)
					落葉期	995	837	84	54	5	104	11	
白坂*	35°12'N	137°10'E	Quercus serrata (コナラ), Ilex pedunculosa (ソヨゴ)	32	着葉期	2858	876	66	273	10	709	25	Park et al. (2000)
					落葉期	1330	912	69	140	11	279	21	
豊田*	34°47'N	135°51'E	Quercus serrata (コナラ), Clethra barbinervis (リョウブ)	33	着葉期	2990	2282	76	184	6	525	18	Deguchi et al. (2006)
					落葉期	867	693	80	50	6	124	14	
上賀茂	35°04'N	135°46'E	Stewartia monadelpha (ヒメシヤラ)	24	着葉期			50		28		22	Liang et al. (2009)
					落葉期			63		19		18	

*これらの試験地は、落葉広葉樹が優占しているが常緑樹も混交している。

期と比較し落葉期の方が大きくなっている。このように、落葉期と着葉期の遮断蒸発率の差は、(樹冠に枯葉が留まるか否かの影響を受け、)年によって異なる可能性がある。

小松(2007)は、日本の針葉樹林の年遮断蒸発率を取りまとめた結果11~30%であったと報告しており、この値は、上述した落葉広葉樹林の観測値のばらつきと重複している。そのため、針葉樹林から落葉広葉樹林への転換が必ずしも遮断蒸発量を減少させるとは限らないと考えられる。一方で、年遮断蒸発率の最大値は落葉広葉樹林よりも針葉樹林の方が大きいことから、遮断蒸発率の大きな針葉樹林では落葉広葉樹林へ転換することで、遮断蒸発量を減少させることができる可能性がある。先に述べたように小松(2007)は、日本の針葉樹林では、立木密度が大きくなるに従って、年遮断蒸発率が大きくなる傾向が見られると報告している。そのため、立木密度の高い針葉樹林では、落葉広葉樹への樹種転換によって遮断蒸発量を減少させられる可能性が高いと考えられる。現時点において、落葉広葉樹林の観測データは、針葉樹林と比較して非常に少ないため、今後は、落葉広葉樹林において遮断蒸発量の観測値をさらに蓄積し、上記のことを検証することが望まれる。その際、様々な樹種や林分構造の林で計測されることが望ましい。また、遮断蒸発と共に森林の蒸発散の大きな要素である蒸散も、針葉樹林では観測値の蓄積が進みつつあるものの、落葉広葉樹林での観測値はほとんどない(篠原ら2013)。そのため、蒸散においても観測データを蓄積し、遮断蒸発と同様の解析が行われることが望まれる。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金No. 25850109(代表:篠原慶規)を用いて行いました。内海泰弘准教授(九州大学福岡演習林)には、本原稿を読んでいただき、有意義なコメントをいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- Carlyle-Moses DE, Laureano JSF, Price AG (2004) Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. *J Hydrol* 297: 124-135.
- Deguchi A, Hattori S, Park HT (2006) The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model. *J Hydrol* 318: 80-102.
- 小松光 (2007) 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* 89: 217-220
- Komatsu H, Tanaka N, Kume T (2007) Do coniferous forests evaporate more water than broad-leaved forests in Japan? *J Hydrol* 336: 361-375.
- Komatsu H, Onozawa Y, Kume T, Tsuruta K, Kumagai T, Shinohara Y, Otsuki K (2010) Stand-scale transpiration estimates in a Moso bamboo forest: (II) Comparison with coniferous forests. *For Ecol Manage* 260: 1295-1302.
- 小松光・久米朋宣・大槻恭一 (2009) 針葉樹人工林の間伐が年遮断蒸発散量に与える影響—予測モデルの検証—. *日林誌* 91: 94-103.
- Kostelnik KM, Lynch JA, Crimm JW, Corbett ES (1989) Sample-size requirements for estimation of throughfall chemistry beneath a mixed hardwood forest. *J Environ Qual* 18: 274-280.
- Liang WL, Kosugi K, Mizuyama T (2009) Characteristics of stemflow for tall stewartia (*Stewartia monadelpha*) growing on a hillslope. *J Hydrol* 378: 168-178.
- Park HT, Hattori S, Kang HM (2000) Seasonal and inter-plot variations of stemflow, throughfall and interception loss in two deciduous broad-leaved forests. *J Jpn Soc Hydrol Water Resour* 13: 17-30.

篠原慶規・井手淳一郎・藏本康平・小松光・大槻恭一
(2009) 御手洗水試験流域の流量・気象観測報告.
九大演報 90 : 51-88.

Shinohara Y, Onozawa Y, Chiwa M, Kume T, Komatsu H,
Otsuki K (2010) Spatial variations of throughfall in a
Moso bamboo forest: sampling design for the estimates
of stand-scale throughfall. *Hydrol Process* 24: 253-259.

Shinohara Y, Komatsu H, Kuramoto K, Otsuki K (2013)
Characteristics of canopy interception loss in Moso
bamboo forests of Japan. *Hydrol Process* 27: 2041-2047.

篠原慶規・鶴田健二・久米朋宣・大槻恭一 (2013) 樹液流
計測法を用いた林分蒸散量の計測—森林管理による蒸
散量の変化を評価するために—. *日林誌* 95: 321-331.

Vertessy RA, Watson FGR, O'Sullivan SK (2001) Factors
determining relations between stand age and catchment
water balance in mountain ash forests. *For Ecol Manage*
143: 13-26.

Wilson KB, Hanson PJ, Mulholland PJ, Baldocchi DD,
Wullschlegel SD (2001) A comparison of methods for
determining forest evapotranspiration and its components:
sap-flow, soil water budget, eddy covariance and
catchment water balance. *Agric For Meteorol* 106:767
153-168.

(2013年10月28日受付 : 2013年12月27日受理)