

# 信楽森林流域を対象とした微気象・水文観測に基づく 蒸発散量の推定と土壌水分動態の把握

(株)建設技術研究所 前野彰仁

## 1. 序論

森林は日本の国土面積の約66%を占めており、森林の洪水緩和機能を定量化することは流域管理の観点から必要不可欠である。森林流域内の詳細な水循環過程を明らかにするため、信楽森林流域ではこれまで、広葉樹林を対象として微気象・水文観測を実施してきた。そこで本研究では、信楽森林流域を対象として複数の手法を用いて蒸発散量を算出することと流域内部の土壌水分動態を把握することを目的とする。

## 2. 信楽森林流域における観測の概要

滋賀県甲賀市信楽町の国有林野内において微気象・水文観測を実施している。主な植生は落葉広葉樹林である<sup>1)</sup>。流域の標高は約255~420 mに分布しており、流域面積は約24.6 haである<sup>1)</sup>。流域の最下流において量水観測と降雨観測を2010年より開始している<sup>2)</sup>。流域の最下流から約180 m上流の右岸側斜面では2012年よりフラックス観測を開始している<sup>3)</sup>。図-1は北側から順に量水観測、フラックス観測、土壌水分観測地点を示している。土壌水分の観測は3斜面で実施しており、上流に位置するものから斜面A、B、Cと呼ぶ。斜面A、Bは斜面の上端側から下端側にかけて約20 m間隔で2地点に土壌水分計を設置している<sup>1)</sup>。斜面Cは上端側から下端側にかけて約20 m間隔と約30 m間隔で3地点に土壌水分計を設置している<sup>1)</sup>。斜面Aは地下5 cm、15 cmで斜面B、Cは地下10 cm、20 cm、30 cm、40 cmで土壌水分を観測している。

## 3. 蒸発散量の算定

### 1) 蒸発散量の算出手法と熱収支式

蒸発散量は次式に示す渦相関法<sup>4)</sup>とボーエン比法<sup>5)</sup>で算出した。

$$E = \rho q'w' \quad (1)$$

$$E = \frac{R_n - G}{\lambda(1 + B_0)} \quad (2)$$

ここで、 $E$ は蒸発散量、 $\rho$ は空気の密度、 $\rho w'$ は定常性を満たす長さの時間の平均、 $q'w'$ は鉛直方向の風速の時間平均からの変動成分と比湿の時間平均からの変動成分の共分散である。 $R_n$ は純放射量、 $G$ は地中への熱流量、 $\lambda$ は水の気化の潜熱、 $B_0$ はボーエン比を示す。また、地表面では以下の熱収支式<sup>6)</sup>が成り立つ。

$$R_n = H + \lambda E + G \quad (3)$$

ここで、 $H$ は顕熱、 $\lambda E$ は潜熱である。

### 2) 蒸発散量の補間方法

観測値の欠測により算出できない蒸発散量は以下の手順で補間を行った。

1. 30分あたりの蒸発散量を渦相関法とボーエン比法で計算する。
2. 月単位の蒸発散量を積算して求める。
3. 以下の式より $\alpha$ を計算して、月単位の蒸発散量の積算値に乘じることによって補間したとみなし月蒸発散量を得る。

$$\alpha = \frac{d_{all}}{d_{part}} \quad (4)$$

ここで、 $d_{all}$ は月蒸発散量の算出に必要な30分あたりの蒸発散量のデータの数、 $d_{part}$ は月単位の蒸発散量の積算に用いたデータの数を示す。

### 3) 渦相関法による月単位の蒸発散量の積算対象

フラックス観測は観測機器内のトラブルや雨が生じた場合に蒸発散量が異常値を示す場合がある。渦相関法についてのみ以下の2通りに分けて蒸発散量を補間した。

1. 全ての30分あたりの蒸発散量を月単位の積算に含めた場合
2. 30分あたりの蒸発散量の算定値が、-0.5 mmから0.5 mmの範囲外の蒸発散量を除き、雨が降った時間帯も除いた場合

### 4) 渦相関法による蒸発散量の算定値の補正

熱収支が閉じない場合は純放射量 $R_n$ と地中への熱流量 $G$ の観測値は正しいと仮定して渦相関法による補間後の月蒸発散量が熱収支式(3)を満たすように補正する。式(5)より $\beta$ を求めて、 $\beta$ で補間後の月蒸発散量を除することで補正した月蒸発散量を得る。

$$\beta = \frac{H + \lambda E}{R_n - G} \quad (5)$$

なお、純放射量 $R_n$ と地中への熱流量 $G$ と顕熱 $H$ と潜熱 $\lambda E$ は単位あたりの数値を用いた。単位当たりとは、月単位の積算値を求め、その積算値を積算に用いたデータの数で除することである。

### 5) 複数の手法による2013年の月蒸発散量の比較

図-2は、渦相関法とボーエン比法で算出した2013年の月蒸発散量を示している。白色が渦相関法で算出した全ての30分あたりの蒸発散量を積算して補間と補正を行った後の月蒸発散量を示す。緑色が渦相関法による30分あたりの蒸発散量に範囲を設けて雨の時間帯を含めず積算して補間と補正を行った後の月蒸

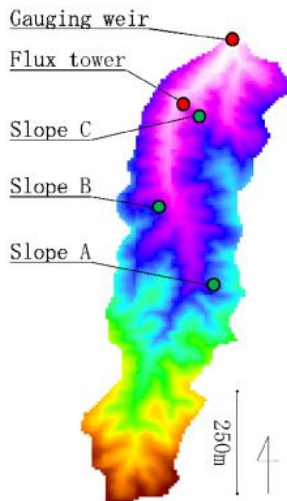


図-1 信楽森林流域図

発散量を示す。桃色がボーエン比法による補間後の月蒸発散量を示す。これらの月蒸発散量より年蒸発散量を計算した。渦相関法の全ての算定値を積算した場合の年蒸発散量は636 mmと計算された。渦相関法の算定値に範囲を設けて雨の時間帯を除いて積算した場合の年蒸発散量は723 mmと計算された。ボーエン比法による年蒸発散量は982 mmと計算された。

#### 4. 土壌水分観測

##### 1) 鉛直浸透と側方流の観測

図-3は斜面Cの最下端側で2015年6月3日と6月21日に観測された土壌水分の時系列変化を示す。図-3(a)に示すように、浸透した雨水に反応して赤色(10 cm)、青色(20 cm)、緑色(30 cm)、紫色(40 cm)の順に土壌水分が上昇していることから鉛直浸透が観測されたことが分かった。また、図-3(b)に示すように降雨終了後に鉛直浸透した赤色(10 cm)、青色(20 cm)の体積含水率が急上昇していることから側方流が観測されたことが分かった。

##### 2) 8月の乾燥過程における土壌水分動態

図-4は斜面Aの上端側で観測された地下5 cm(赤色)と15 cm(青色)の土壌水分の時系列変化を2015年5月1日から示している。7月の終わりから8月の中旬までの無降雨期間に鉛直浸透低減後、大きく土壌水分が減少する事例が見られた。土壌水分減少量を見積もると確かに鉛直浸透低減後に土壌水分がさらに減少していた。蒸発散によって土壌水分が減少したと考えられる。

#### 5. 結論

本研究の結論を以下にまとめる。

1. 土壌水分計の時系列変化から鉛直浸透と側方流を観測することができた。
2. 土壌水分計より7月の終わりから8月の中旬までの乾燥過程

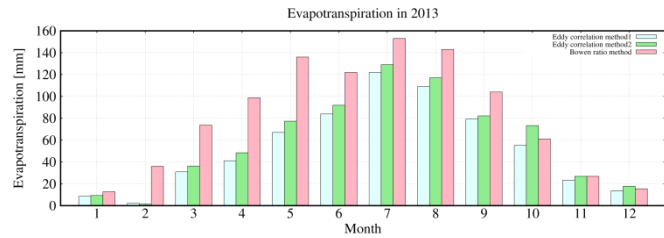
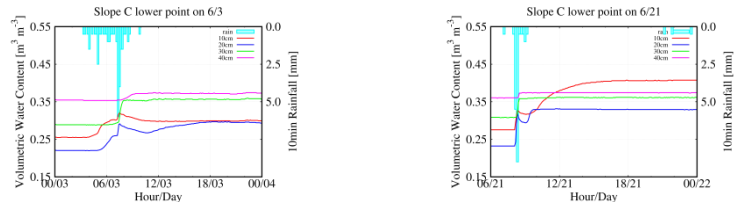


図-2 複数の手法による月蒸発散量の比較



(a) 鉛直浸透(2015年6月3日観測)

(b) 側方流(2015年6月21日観測)

図-3 斜面Cの下端側における土壌水分動態

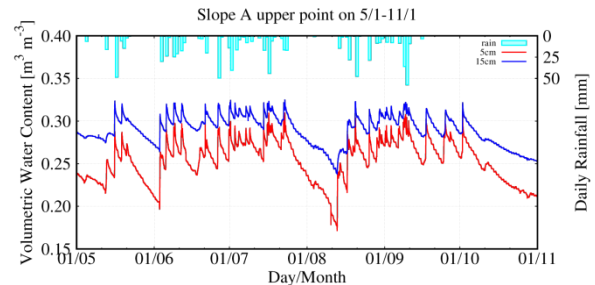


図-4 斜面Aの上端側で観測された乾燥過程の土壌水分動態(2015年観測): 赤色が5 cm、青色が15 cm

において鉛直浸透低減後、土壌水分が大きく減少する現象が観測された。蒸発散の影響により土壌水分量が減少したのではないかと推測される。

3. 渦相関法とボーエン比法による2013年における信楽森林流域の年蒸発散量は600 mmから1000 mmと計算された。

#### 参考文献

- 1) 萬和明, 前野彰仁, 立川康人, 市川温, 今井伸太郎, 戎信宏, 高瀬恵次, 佐藤嘉展, 山口弘誠, 中北英一: 信楽森林流域における多地点土壌水分観測, 2015 土壌水分ワークショップ論文集, 20-26, 2016.
- 2) 高瀬恵次: 広葉樹林流域における水文観測の開始と予備的解析, 水文・水資源学会 2011 年度研究発表会要旨集, 5-6, 2011.
- 3) 戎信宏, 萬和明, 中北英一, 山口弘誠, 田中賢治, 高瀬恵次, 石田祐宣, 福池考記: 落葉広葉樹林における水蒸気・CO<sub>2</sub>フラックス観測, 水文・水資源学会 2014 年度研究発表会要旨集, 284-285, 2014.
- 4) 大槻恭一: 地域環境水文学(田中丸治哉, 大槻恭一, 近森秀高, 諸泉利嗣著), 第3章, 朝倉書店, p. 47, 2016.
- 5) 立川康人: エース水文学(池淵周一, 椎葉充晴, 宝馨, 立川康人著), 第4章, 朝倉書店, pp. 58-59, 2006.