

# 甲府盆地における蒸発散量推定法の検討

小田切 幸次, 小林 浩, 輿水 達司\*

Deliberation to estimate the evapotranspiration in Kofu basin

Koji OTAGIRI, Hiroshi KOBAYASHI and Satoshi KOSIMIZU

キーワード: 可能蒸発散量, 降水量, 地下水涵養量, 甲府盆地

山梨県の中央に位置する甲府盆地は、周囲を森林豊かな山々に取り囲まれた、日本有数の地下水に恵まれた地域である。このことは山梨県の上水道・簡易水道における水源別取水量割合の 6 割弱を地下水が占めていることから伺える<sup>1)</sup>。一方で、地下水涵養量( $R$ )を求める水収支式は次式(1)で表すことができる。

$$R = P - (E + D) \quad (1)$$

ここで、 $P$ は降水量、 $E$ は蒸発散量、 $D$ は表面(中間)流出量である。(1)式より、地下水涵養量は表面(中間)流出量と蒸発散量の和と降水量との差として見積もることができる。これらの項目のうち降水量と表面(中間)流出量は、諸観測データに基づいて対象流域の全体量を概算することができるため、蒸発散量をどのように推定するかによって、地下水涵養量は大きく左右される。

したがって、蒸発散量の把握は本県の地下水資源を評価する上で重要な因子となる。そこで今回、甲府盆地での蒸発散量について、気象要素に基づいた推定法の検証を行ったので報告する。

## 方法

### 2.1 対象地点

対象地点は山梨県甲府盆地内において気象庁が展開する気象官署及びアメダス観測地点である甲府・韮崎・勝沼の 3 地点である(図 1)。

### 2.2 使用データ

使用データについては表 1 に示したものをを使用した<sup>2)</sup>。

### 2.3 方法

地表面からの蒸発散量の推定方法については、既往研究において様々な手法が考案されている。今回は流域水文学において広く用いられており、気象要素からの推定が可能である 3 つの手法を用いた。

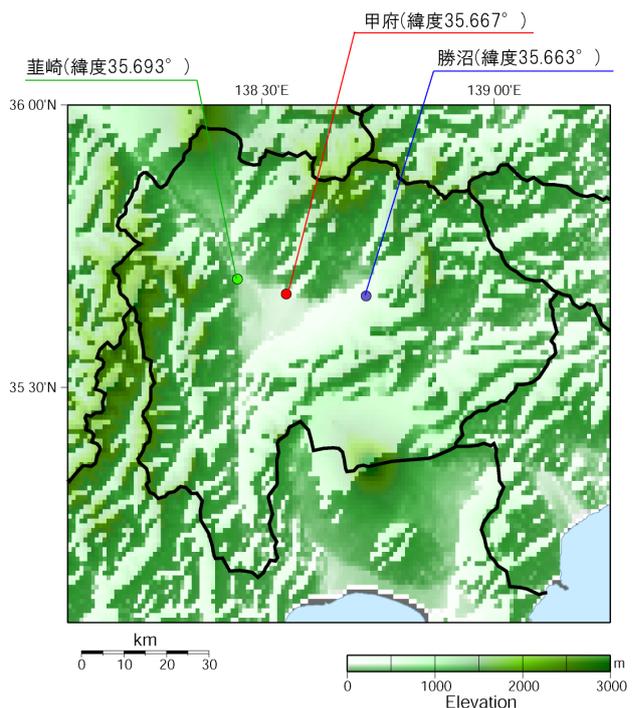


図 1 対象地点と緯度座標

表 1 使用した気象データ

気象官署 (甲府)※	月平均気温, 月平均全天日射量 月平均降水量, 月平均日照時間
アメダス観測地点 (韮崎・勝沼)※	月平均気温, 月平均降水量 月平均日照時間

※平年値は 1981-2010 年の 30 年間の平均値

### 2.3.1 ソーンズウェイト法

ソーンズウェイト法<sup>3)</sup>は月平均気温だけの関数として、可能蒸発散量を推定できる簡便な手法である。またこの手法は「密な緑草地において土壌水分が十分である条件下において失われる蒸発散量」と定義されており、その地点での最大可能蒸発散量( $E_{max}$ )を示す。この手法は次式(2)で表される。

\* 山梨県環境科学研究所

$$E_{max} = 16M \left( \frac{10T}{I_t} \right)^a \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{1}{30} \right) \quad (2)$$

ここで、

$$I_t = \sum_1^{12} \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = (0.671I_t^2 - 77.1I_t + 17920I_t + 492390) \times 10^{-6}$$

$$\delta = 0.4093 \cos\{0.01689(D - 173)\}$$

$$\omega_0 = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta)$$

$$N = 24 \left( \frac{\omega_0}{\pi} \right)$$

$E_{max}$  : 月最大蒸発散量(mm/month)

$T$  : 月平均気温(°C)

$N$  : 月平均日照時間(h)

$D$  : 1月1日からの通算日数(d)

$\phi$  : 対象地点の緯度(rad)

$M$  : 対象月の日数(d)

### 2.3.2 ハモン法

ハモン法<sup>4)</sup>はソーンスウェイト法と同様に対象地点での可能蒸発散量を推定する手法であり、月平均気温と飽和絶対湿度に依る。この手法は次式(3)で表される。

$$E_p = \left( \frac{0.14}{12} \right) MD_0 P_t \quad (3)$$

ここで、

$$E_t = 6.11 \times 10^{7.37 / (T + 237.3)}$$

$$P_t = (217 E_t) / (T + 273.15)$$

$E_p$  : 月最大蒸発散量(mm/month)

$E_t$  : 飽和水蒸気圧(hPa)

$T$  : 月平均気温(°C)

$D_0$  : 月平均日照時間(h)

$P_t$  : 気温(°C)に対する飽和絶対湿度(g/m<sup>3</sup>)

$M$  : 対象月の日数(d)

### 2.3.3 マッキンク法

マッキンク法<sup>5)</sup>は放射温度法と呼ばれ、気温と全天日射量に基づいて蒸発量を推定する手法である。なお、この手法には観測地点に応じた地域定数が必要のため、地域定数については永井(1993)の値を参照した<sup>6)</sup>。この手法は次式(4)で表される。

$$E_{MAX} = M \left\{ a \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \frac{R_s}{L} + b \right\} \quad (4)$$

ここで、

$$R_s = R_A \left\{ 0.18 + 0.55 \left( \frac{N}{N_0} \right) \right\}$$

$$L = 2.5 - 0.0025T$$

$$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} = 1 / [1.05 + 1.4 \exp(-0.0604T)]$$

$E_{MAX}$  : 月蒸発量(mm/month)

$R_s$  : 全天日射量(MJ・m<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>)

$R_A$  : 大気圏外日射量(MJ・m<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>)

$n/N$  : 日照率

$L$  : 蒸発潜熱(MJ/kg)

$T$  : 月平均気温(°C)

$\gamma$  : 乾湿計定数(hPa/°C)

$\Delta$  : 飽和水蒸気圧曲線勾配(hPa/°C)

$M$  : 対象月の日数(d)

$a, b$  : 地域定数

(甲府:a=0.801, b=0.37 韮崎・勝沼:a=0.8, b=0.3)

また、全天日射量を観測していないアメダス観測地点(韮崎, 勝沼)については、桑形(2005)による緯度と日照時間から全天日射量を推定する手法を用いた<sup>7)</sup>。

まず日平均大気圏外日射量( $S_{d0}$ )を次式(5)より求める。

$$S_{d0} = \frac{I_{00}}{\pi} \left( \frac{d_0}{d} \right)^2 (h \sin\phi \sin\delta + \sin h \cos\phi \cos\delta) \quad (5)$$

ここで、

$$h = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta)$$

$$\left( \frac{d_0}{d} \right)^2 = 1.00011 + 0.034221 \cos\eta + 0.00123 \sin\eta + 0.000719 \cos 2\eta + 0.000077 \sin 2\eta$$

$$\delta = \sin^{-1}(0.398 \sin a_2)$$

$$a_2 = 4.871 + \eta + 0.033 \sin\eta$$

$$\eta = D(2\pi/365)$$

$S_{d0}$  : 大気圏外日射量(MJ・m<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>)

$I_{00}$  : 太陽定数(=118.1MJ・m<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>)

$d$  : 太陽と地球との間の距離(m)

$d_0$  : 太陽と地球との間の平均距離(m)

$D$  : 1月1日からの通算日数(d)

$\delta$  : 太陽の赤緯(rad)

$\phi$  : 対象地点の緯度(rad)

つづいて、日照時間( $N_0$ )及び日平均全天日射量( $S_d$ )を次式(6)、(7)より求める。

$$N_0 = 2H / 0.2618 \quad (6)$$

$$\sin(2/H) = \sqrt{A / \cos\phi \cos\delta}$$

$$A = \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi - \delta + \gamma}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi - \delta - \gamma}{2}\right)$$

$$S_d / S_{d0} = 0.244 + 0.511(N/N_0) \quad (7)$$

$H$  : 日の出から南中までの時角(rad)

$\gamma$  : 水平屈折度(=0.01rad)

$N$  : 日照時間(h)

## 結果

甲府、韮崎、勝沼の 3 地点における月別降水量と手法毎の月別蒸発散量の年内変動を図 2 に示す。降水量については 3 地点ともに、秋雨や台風の影響を受ける 9 月に降水量が最も多く、冬型の気圧配置が強まる 12 月から 2 月にかけては降水量が少なく、月降水量は 50mm を下回る。一方、蒸発散量は 3 地点いずれにおいてもソーンスウェイト法では 8 月、ハモン法とマッキング法では 7、8 月に最も多くなり、最小月はどの手法においても 1 月となっている。つづいて、表 2 では甲府、韮崎、勝沼の 3 地点における年間降水量と手法毎の年間蒸発散量の推定値を示す。年間降水量は多い順から韮崎(1210mm)・甲府(1135mm)・勝沼(1081mm)となっている。年間蒸発散量については、ソーンスウェイト法とハモン法では甲府が他の 2 地点よりも 40mm 程度蒸発散量が多く、マッキング法では 3 地点間内での明瞭な差は認められない。また手法間での値を比較すると、ソーンスウェイト法とハモン法とではほぼ同程度の値を示しているが、マッキング法では前者の 2 方法に比べて 2 倍近く高い推定値を算出している。

次に甲府、韮崎、勝沼における月別降水量と手法毎の月別蒸発散量の差を図 3 に示す。月別降水量と月別蒸発散量の差の傾向は 3 地点とも似ている。手法別に見ていくと、ソーンスウェイト法では 1-4 月にかけて降水量が蒸発散量を上回り、余剰な降水の地下への涵養が期待できるが、5-8 月には両者が逆転し、9-12 月には再び降水量が蒸発散量を上回っている。ただし韮崎では両者が逆転しているのは 7-8 月と短い。ハモン法では年内変動はあるものの、年間を通じて降水量が蒸発散量を上回っている。

マッキング法では前者の 2 手法とは異なり、9-10 月に降水量が蒸発散量を上回っているものの、その他の月において蒸発散量が降水量を上回っており、蒸発散量が過大に推定されている傾向が見て取れる。

甲府、韮崎、勝沼の 3 地点における地下水涵養量を蒸発散量の推定法別に示したものが表 3 になる。なお(1)式の表面(中間)流出量については近藤(1985)より、降水量の 20%にあたる量を降雨流出量と見なし<sup>8)</sup>、降水量から除したあと、蒸発散量を差し引いて仮の地下水涵養量とした。また降水量に占める地下水涵養量を涵養率(%)とした。

表 3 より、ソーンスウェイト法では甲府・勝沼で年間 80mm 程度、韮崎では年間 190mm 程度が地下へと涵養し、ハモン法においてはさらに 2 倍前後大きい値を示している。一方、マッキング法では 3 地点ともに涵養量が 0 を大きく下回る結果となっている。

## 考察

これまでの結果より、ソーンスウェイト法及びハモン法による蒸発散量の推定値は値そのものの季節推移や月別降水量との差分などから、ある程度の評価ができるものと考えられる。一方、マッキング法については 9-10 月を除いた月において蒸発散量が降水量を上回っている点や涵養率がマイナスを示していることから、推定そのものが正しいとは考え難い。これはマッキング式に周辺状況に左右される地域定数が 2 定数含まれている点や、日射に対するアルベド(反射率)を考慮していないことが原因の 1 つとして考えられる。

また今回は観測地点での蒸発散量を推定することを試みたが、ある地域や水系内における蒸発散量を推定するには今回の手法に加え、衛星画像の波長データに基づいた推定を空間内挿で補って議論することが必要である。

## 参考文献

- 1)山梨県:平成 21 年度水道統計(2010)
- 2)気象庁:電子閲覧室。  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 3)Thorntwaite,C.W:An approach toward a rational classification of climate.Geographical Review,38, 55-94(1948)
- 4)Horton, R.H:Rainfall Interception, Mon.Wea.Rev,47, 603-623(1919)
- 5)Makkink,G.F:Ekzameno de la formulode Penman, Netherl.J.Agric.Sci,5,290-305(1957)
- 6)永井明博:Makkink 式による計器蒸発量の推定と考察. 水文・水資源学会誌,6 (3), 238-243(1993)
- 7)桑形恒男:アメダス地点における全天日射量(日平均)の推定法. 農業環境技術研究所資料,1-2(2005)
- 8)近藤昭彦:千葉県、市原市における地下水流動系の水収支について. 日本地下水学会誌,27 (3), 73-87(1985)

表 2 各地点における年間降水量及び手法別年間蒸発散量(mm/year)

	年間降水量(P)	ソーンスウェイト法(E1)	ハモン法(E2)	マッキング法(E3)
甲府	1135	822	762	1314
韮崎	1210	779	719	1316
勝沼	1081	775	725	1329

表 3 最大地下水涵養量(mm/year)及び涵養率(%)

	ソーンズウェイト法(E1)		ハモン法(E2)		マッキング法(E3)	
	(P) - (E1)	涵養率(%)	(P) - (E2)	涵養率(%)	(P) - (E3)	涵養率(%)
甲府	86	7.6	147	12.9	-406	-35.8
韮崎	189	15.6	249	20.6	-347	-28.7
勝沼	80	7.4	140	13.0	-464	-42.9

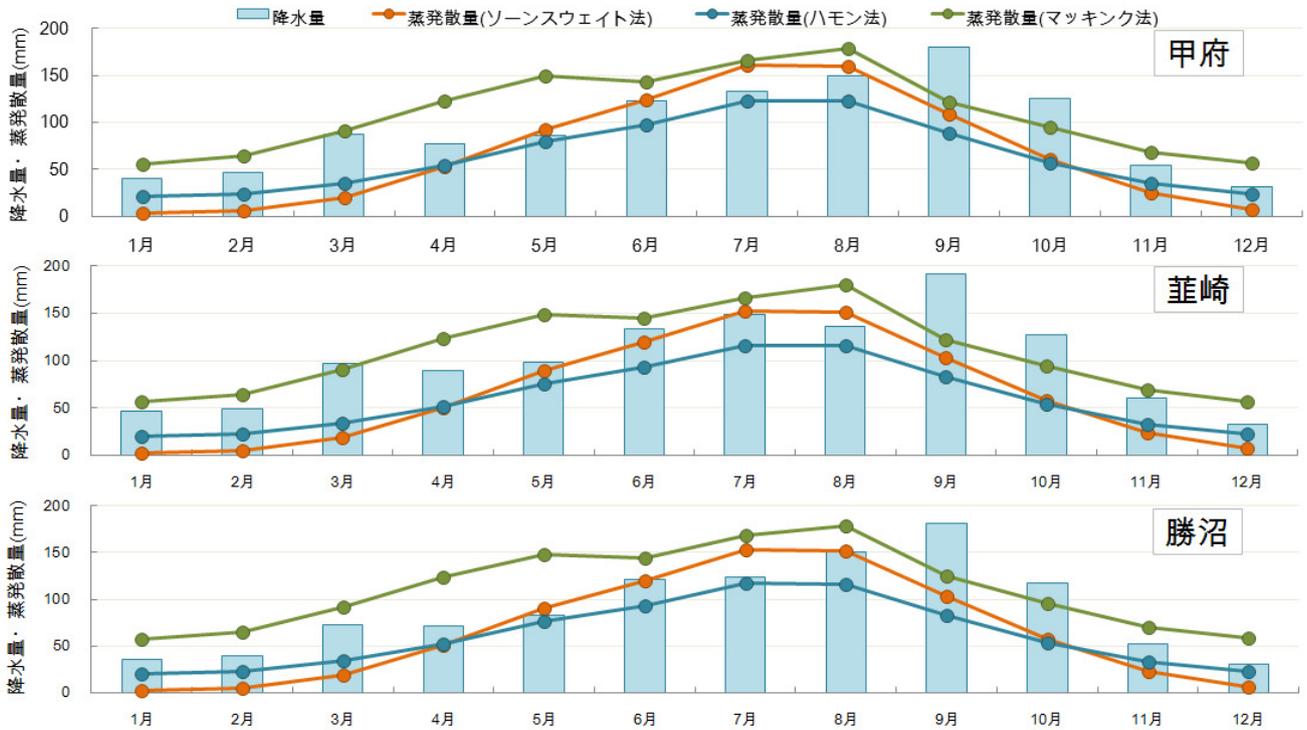


図 2 月別降水量と手法毎の月別蒸発散量の年内変動 (上段：甲府、中段：韮崎、下段：勝沼)

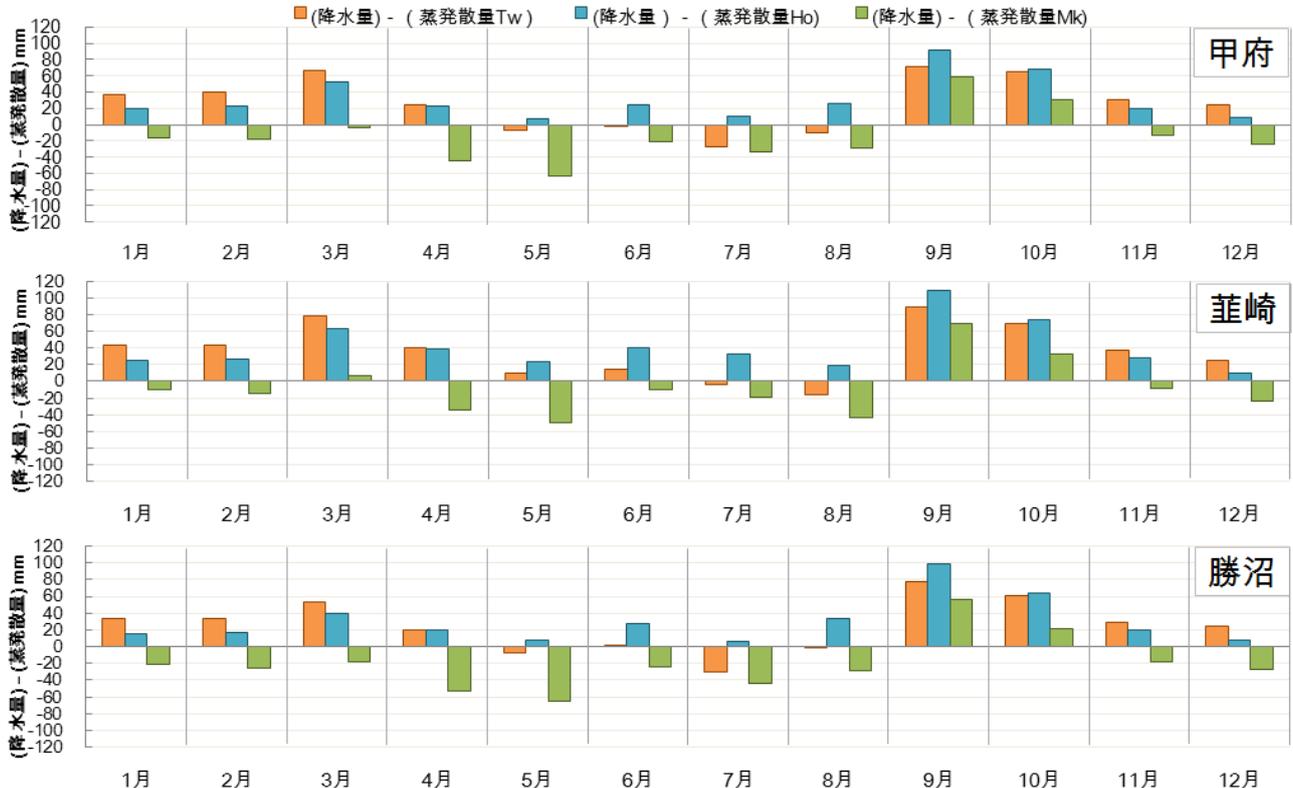


図 3 月別降水量と手法毎の月別蒸発散量の差 (上段：甲府、中段：韮崎、下段：勝沼)