

斜面ライシメータにおける実蒸発散量の推定

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	蔵治, 光一郎 芝野, 博文
巻/号	73巻6号
掲載ページ	p. 434-436
発行年月	1991年11月

短 報

斜面ライシメータにおける実蒸発散量の推定*

蔵治光一郎**・芝野博文**

I. はじめに

流域からの実蒸発散量を推定する方法として、流域水収支法と微気象手法がある。流域水収支法は詳細な水収支観測が必要であり、また日単位の蒸発散量や日変化を求めることはできない。微気象手法は気象観測により蒸発散量を推定できる点で有効であるが、その推定値と実蒸発散量との対応関係を調べ、精度を確認する研究は十分とはいえない。ライシメータは自然条件とは異なる条件で蒸発散量を測定することになる欠点はあるが、蒸発散量が直接求められるために、微気象手法による推定値の精度について検討することができる。そこで本研究ではライシメータの実蒸発散量を水収支計算によって求め、微気象手法であるバルク法、PENMAN-MONTEITH法、補完法を用いて推定した蒸発散量と比較し、微気象手法の特徴と適用限界について検討した。

II. 観測施設の概況・観測項目・観測方法

本研究では東京大学愛知演習林犬山地区に設置されている斜面ライシメータを用いた。設置点は流域の源頭部の南西向き斜面で、標高は180m、付近の地質は新第三紀層、植生はスギ・ヒノキの人工林である。斜面ライシメータの試料土体のスケールは、斜面長、幅および深さが617×280×290cmで、傾斜角は20°である。試料土体の平面図・断面図を図-1に示した。土層は、ライシメータ設置に際して掘り出した土を埋め戻したもので、設置後6年を経過しており、その間裸地であったが、今回の観測では斜面緑化に用いられる草本であるウィーピング・ラブリグラスを観測開始前に播種して成育させた。観測期間を通じて植被の高さは10cm程度であり、被度は80%程度であった。

観測項目は、水収支に関するものが雨量、浸出量、土層中の圧力水頭、微気象に関するものが気温、湿度、風速、純放射量、地表面温度、地中温度である。浸出量は、地表面流および5層位に分離した浸出流を観測室内に導き、それぞれの流出量に応じた転倒ます流量

計により測定した。圧力水頭は隔測自記テンシオメータにより、地表面・地中温度は測温抵抗体により10分ごとに測定した。テンシオメータと温度計の配置は図-1に示した。気温・湿度はライシメータ斜面上端の上の百葉箱の中に設置した自記温湿度計で測定した。風速は斜面下端に立てたポールの高さ1.5mに設置した風速計で、純放射量は斜面方向に傾けた放射収支計で、それぞれ10分ごとに測定した。

観測は1990年7月から約3カ月間実施した。今回の解析に用いたデータは7月19日より8月9日までの間に得られたものである。

III. 解析の方法

1. 試料土体の実蒸発散量の算出

試料土体の実蒸発散量 E_a は水収支式(1)により計算される。

$$E_a = P - Q - \Delta S \quad (1)$$

ここに、 E_a は実蒸発散量、 P は雨量、 Q は浸出量、 ΔS は貯留水量の変化量(増加を+とする)。

雨量、浸出量は観測値を用い、 ΔS を次の手順により求める。

① 圧力水頭 ψ -体積含水率 θ 関係(以下 ψ - θ 関係と略す)により、観測された ψ を θ に変換する。 ψ - θ 関係は排水試験によって得られたデータからべき関数として求めた関係式を使用した。その際、ヒステリシスは考慮していない。

② θ の変化を試料土体全体にわたり積算して ΔS を求める。積算は2次元的に行う予定であったが、テンシオメータの調子が芳しくなかった測点があったので、 θ の値は斜面方向に一定であるとして積算した。

テンシオメータの値の日周変化の影響を除くため、 ψ は午前0時の値のみを採用した。したがって、 ΔS としては日変化量を用いたことになる。

2. 微気象手法による蒸発散量の推定

微気象手法による蒸発散量の計算はすべて30分ごとに行い、その瞬時値を合計して日蒸発散量とした。

(1) バルク法による蒸発量 E_b は次式で示される。

* Koichiro KURAJI and Hirofumi SHIBANO: Estimation of actual evapotranspiration in a sloping lysimeter

** 東京大学農学部 Fac. of Agric., Univ. of Tokyo, Tokyo 113

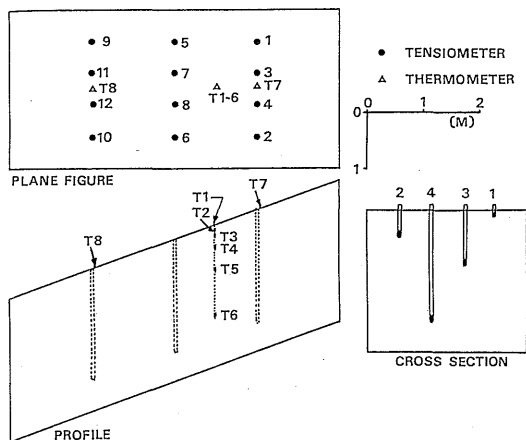


図-1. ライシメータ試料土体の平面図・断面図および
テンシオメータ・温度計の配置
Instrumentation in the lysimeter

$$E_b = Bu(e_s - e_a) / L \quad (2)$$

ここに、 B はバルク係数、 u は風速、 e_s 、 e_a はそれぞれ地表面と観測高さにおける水蒸気圧、 L は蒸発潜熱。 e_s は地表面温度 T_s における飽和水蒸気圧を用いた。バルク係数は植被抵抗を含めて定数と仮定し、CAMILLOら (1) の求めた値 0.0628 を用いた。

(2) PENMAN-MONTEITH法による蒸発散量 E_p は次式で示される。

$$E_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho C_p (e_{sat}(T_a) - e_a) / r_a}{L(\Delta + \gamma(r_c + r_a) / r_a)} \quad (3)$$

ここに、 Δ は温度飽和水蒸気圧曲線の傾き、 γ は乾湿計定数、 R_n は純放射量、 G は地中熱フラックス、 ρ は空気の密度、 C_p は空気の定圧比熱、 $e_{sat}(T_a)$ は気温 T_a の飽和水蒸気圧、 r_a は空気力学抵抗、 r_c は植被抵抗。

G は地中温度プロファイル積分法により求めた。 r_a は風速分布に対数則を仮定すると次式で示される。

$$r_a = \{ \ln((z-d)/z_0) \}^2 / (\kappa^2 u) \quad (4)$$

ここに、 z は観測高さ、 z_0 は粗度長、 d は零面修正量、 κ は KARMAN 定数。 z_0 、 d は植被高 h (10 cm) との関係 (3)、

$$z_0 = 0.07h \quad d = 0.78h$$

により与えた。 r_c は気孔開度、葉面積指数などの影響を受け日変化、季節変化があると考えられるが、本論で考察するスケールでこれらを r_c に組み込むのは現実的でないため、ここでは r_c は日中は、文献(3)を参考にして一定値 100 s/m とし、夜間は十分大きくとって蒸散は生じないとした。

(3) 補完法による蒸発散量 E_c は、可能蒸発散量

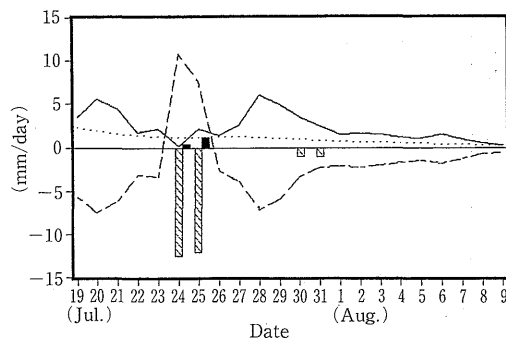


図-2. ライシメータ試料土体の日単位水収支

Daily water budget in the lysimeter

凡例：—, 蒸発散量; ▨, 雨量; ·····, 基底浸出量; ■, 表面・中間流出量; - - - - -, 貯留水変化量。

Legend: —, Evapotranspiration; ▨, Rainfall; ·····, Base flow; ■, Surface flow and interflow; - - - - -, Change of storage.

として PENMAN の蒸発散位を用いることにより (5)、次式で表される。

$$E_c = \frac{\Delta(R_n - G) - \gamma f(u)(e_{sat}(T_a) - e_a)}{L(\Delta + \gamma)} \quad (5)$$

ここに、 $f(u)$ は風速関数。 $f(u)$ として PENMAN の式、

$$f(u) = 0.26(1 + 0.54u) \quad (6)$$

を用いた ($f(u)$ の単位は (m/s/hPa))。

IV. 解析結果と考察

1. 試料土体の日蒸発散量の算出

(1) 式により算出された試料土体の日蒸発散量を雨量、浸出量、貯留水量変化とともに図-2 に示す。ただし、最下段の浸出量を基底浸出量、その他の浸出と地表面流出をあわせて表面・中間流出量として表示した。

図-2 から考察されることは次のとおりである。

① 7月24・25日の降雨のうち表面・中間流として流出した量はわずかであり、そのほとんどが土体に貯留された。蒸発散量は降雨日の値として妥当な値を示しており、蒸発散量の計算の妥当性を示唆している。

② 貯留水量の減少量は、降雨3日後にピークとなり、その後は乾燥が進むにつれて減少した。一方、基底浸出量には対応するピークがないため、蒸発散量は貯留水量の変化傾向に対応して、3日後にピークを形成している。こういった結果が自然現象として妥当であるかについては、さらに検討する必要がある。

③ 日蒸発散量は22日間の平均で 2.30 mm/day を示し、わが国のライシメータにおける夏季の観測値の平均 (2) と比べて妥当な値であると考えられる。

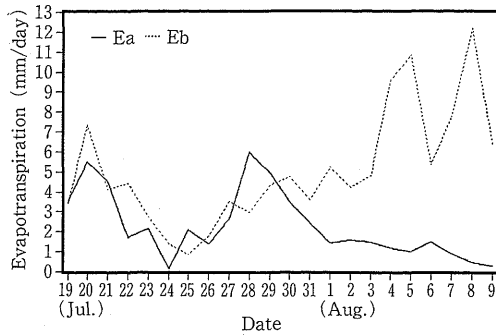


図-3. 実蒸発散量 E_a とバルク法による蒸発散量推定値 E_b との比較

Comparison between daily actual evapotranspiration E_a calculated by the water budget method, and E_b estimated by the bulk method

以下、(1)式で得られた日蒸発散量をもって実蒸発散量として論を進める。

2. 微気象手法による日蒸発散量の推定

バルク法により得られた日蒸発散量の推定値と実蒸発散量を図-3に示す。これより、降雨後1週間程度の範囲で E_b の変化は E_a をよく再現しているが、乾燥が続くと E_b と E_a の差はきわめて大きくなる。すなわち、強く乾燥していない条件ではバルク係数を定数として日蒸発散量が推定できるが、蒸発抑制が生じる条件下では、KONDOら(4)が指摘するように、土壌水分のパラメータである蒸発効率 β や地表面湿潤度 α を導入した修正バルク式を用いる必要があることが確認された。

PENMAN-MONTEITH法、補完法により得られた推定値と実蒸発散量を図-4に示す。一定の r_c を与えた(3)式と(5)式は物理的に同じ手法で導かれるため、 E_p と E_c の変化は同じ傾向を示すが、その値は E_c が小さく、乾燥が進むにつれその差は大きくなってゆることがわかる。すなわち、一定の r_c を与えたPENMAN-MONTEITH法は、著しく乾燥が続くと実蒸発散量との差が大きくなり、土壌水分の減少による蒸発散量の減少を、たとえば r_c の土壌水分依存性という形で表現する必要があることが指摘できる。補完法は乾燥に伴う実蒸発散量の低下を表現しうることが示され、今後さらに検討を要する方法であると考えられる。

V. おわりに

本研究によって、斜面ライシメータを用いて観測することにより、試料土体の実蒸発散量が計算でき、微

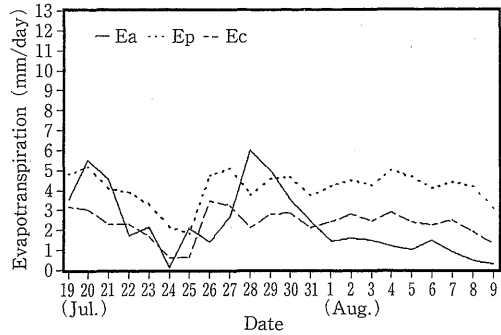


図-4. 実蒸発散量 E_a とPENMAN-MONTEITH法、補完法による蒸発散量推定値 E_p , E_c との比較

Comparison between daily actual evapotranspiration E_a , E_p estimated by the PENMAN-MONTEITH method, and E_c estimated by the complementary method

気象手法のパラメタリゼーションの可能性が示された。今後、試料土体の表面に周囲と連続した森林を形成させ、森林からの実蒸発散量について検討していく予定である。

本研究を行うにあたり、東京大学農学部林学科太田猛彦教授から終始適切なお指導を賜った。またライシメータにおける観測にあたり、東京大学愛知演習林技官渡部賢、技能補佐員小島宏の両氏にご援助をいただいた。心から感謝の意を表す。

引用文献

- (1) CAMILLO, P. J., GURNEY, R. J., and SCHMUGGE, T. J.: A soil and atmosphere boundary layer model for evapotranspiration and soil moisture studies. *Water Resour. Res.* **19**: 371~380, 1983.
- (2) 近嵐弘栄・服部重昭・竹内信治・坪山良夫: 斜面ライシメータにおける傾斜別・土層条件別水収支の研究. *林試研報* **348**: 1~46, 1987
- (3) 服部重昭: 蒸発散量推定式の誘導過程の解説と林分への適用における問題点. *林試研報* **332**: 139~165, 1985
- (4) KONDO, J., SAIGUSA, N., and SATO, T.: A parameterization of evaporation from bare soil surfaces. *J. Appl. Meteorol.* **29**: 385~389, 1990
- (5) 大槻恭一・三野透・丸山利輔: 計器蒸発量、蒸発散位と実蒸発散量の関係—実蒸発散量推定に関する研究(I). *農土論集* **111**: 91~103, 1984

(1991年4月15日受理)