

II-405

重回帰モデルによる降雨遮断量の推定

徳島大学工学部 正員 吉田 弘

徳島大学工学部 正員 端野 道夫

（株）ウェスコ

梶田 英樹

1. はじめに 水文気象観測網の充実した地域においては、これまでに様々な蒸発散量の推定手法が提案されてきている。しかし、こうした手法は観測データの入手が困難な地域においてはほとんど無力といってもよい。ここでは簡便かつ高精度な遮断蒸発量の推定を目指して、Horton¹⁾の遮断蒸発量推定モデルに改良を加えて開発した一降雨遮断量推定モデルについて報告する。

2. モデルの定式化 一降雨遮断量の推定モデルについては、例えば樹冠通過雨量(throughfall)および樹幹流下量(stemflow)と林外雨量(rainfall)との相関解析に基づく鈴木ら²⁾の手法や解析的手法であるGash³⁾のモデルがある。しかしながら、これらのモデルでは蒸発係数や蒸発強度が定数として扱われているため、降雨強度が大きくなると蒸発強度も大きくなるという経験的事実（例えば塚本ら⁴⁾）を十分に反映できていない面がある。本モデルでは降雨強度の大きな雨でも適用が可能となるように、Hortonが提案した(1)式を基礎に、降雨中蒸発量の項（第2項）について改良を加えた。ここに、 I ：降雨遮断量、 a ：定数（降雨終了後蒸発量）、 K ：蒸発係数、 e ：降雨中蒸発強度、 T_R ：降雨継続時間である。

$$I = a + K \cdot e \cdot T_R \quad (1)$$

図-1のように降雨遮断過程をタンクモデルで表現すれば、タンクの水収支式、滴下強度 d 、樹幹流下強度 f および降雨中蒸発強度 E が、それぞれ(2)、(3)、(4)および(5)式で表現できる。

$$dS/dt = r - d - f - E \quad (2)$$

$$d = \alpha \cdot S \quad (3) \quad f = \beta \cdot S \quad (4) \quad E = \lambda \cdot e_p \cdot S \quad (5)$$

ここに、 S ：付着水高、 r ：降雨強度、 e_p ：可能蒸発散強度、 α 、 β 、 λ ：係数である。降雨中の定常状態（ $dS/dt = 0$ ）を仮定すれば、 $S = r / (\alpha + \beta + \lambda \cdot e_p)$ となる。最終的に(5)式の関係から $R = r \cdot T_R$ とおくと降雨中蒸発量 I_D は(6)式で表現できる。

$$I_D = E \cdot T_R = k \cdot e_p \cdot R \quad (6) \quad k \equiv 1 / (\alpha + \beta + \lambda \cdot e_p) \quad (7)$$

(1)式の第2項と比較すれば、 $K \sim k \cdot r$ となっており、陰的に降雨強度 r が蒸発係数 K に考慮されていることが分かる。別途に降雨強度と蒸発量とには相関が見られたことから、本モデルでは陽的にも降雨強度の影響を考慮に入れるため、最終的に降雨遮断量 I に関する重回帰式を(8)式のように定式化した。 R ：降雨量（林外雨量）、 a 、 b 、 c ：定数であり、 a が降雨終了後の蒸発量である。

$$I = a + b(R \cdot e_p) + c \cdot r \quad (8)$$

3. 実森林流域データへの適用と最適モデルの選択 本モデルを徳島県白川谷森林試験流域での雨量観測データ（1991年～1994年）へ適用した。可能蒸発散量 e_p には、Hamon式を用いた場合（Hamonモデル）とPenman式を用いた場合（Penmanモデル）の2通りについて検討した。また、(8)式の各項の有意性については、stepwise回帰法⁵⁾を採用することでチェックした。また降雨量の小さい場合には、ほとんどの雨水が遮断されることから、樹冠通過雨量および樹幹流下量と林外雨量との相関解析結果から、全ての雨水が遮断される林外雨量の閾値を1.5mmとした。

モデルパラメータの同定結果を表-1に示す。推定精度の劣る1994年に若干の差異が見られるが、概ねパラメータに経年変動はないと判断する。3年間のデータについて代表パラメータを同定した結果を表-1に併記する。決定係数 r^2 が0.82と、ほぼ満足のいく結果が得られている。1992年の月遮断蒸発量についてHamonモ

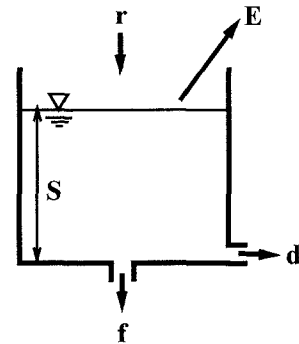


図-1 降雨遮断タンクモデル

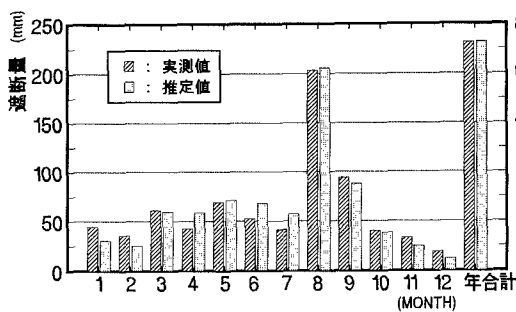


図-2 Hamonモデルによる推定結果(1992年)

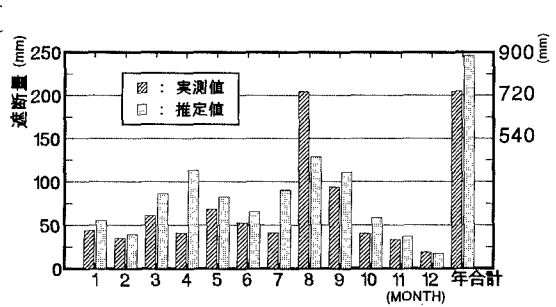


図-3 Penmanモデルによる推定結果(1992年)

表-1 モデルパラメータの同定結果

	a	b	c	r^2
1991年	2.22	1.63	----	0.842
1992年	2.01	1.73	0.77	0.839
1994年	2.10	1.41	1.04	0.631
全年	2.65	1.81	0.27	0.823

デルおよびPenmanモデルによる推定値と実測値とを比較した例を図-2および図-3にそれぞれ示す。図よりHamonモデルの方が推定精度は高い。これは、Penman式において純放射量が e_p の算定で重要となるために、中休みのある降雨イベントでは、純放射量の評価が大きく影響を与えるためのようである。結果として気温データのみから e_p を算定するHamonモデルの方が有利であるのは、水文気象観測網が不十分な地域にとっては好都合である。

4. 既往の手法との比較検討 代表パラメータ

を用いた本モデルと鈴木ら²⁾の手法（方法Aおよび方法B）との比較検討を試みる。鈴木らの手法の詳細については参考文献を参照願いたい。この手法で必要となる降雨中蒸発強度 $K \cdot e$ の値を白川谷における3年間の降雨イベントから求めたところ、 $K \cdot e = 0.3694 \text{ mm/hr}$ であった。これは彼らが桐生試験地で求めた値 0.1614 mm/hr の2倍強に相当する。年降雨量、降雨強度とも白川谷の方が桐生よりも大きいことを考慮すれば、ほぼ妥当な値であろう。

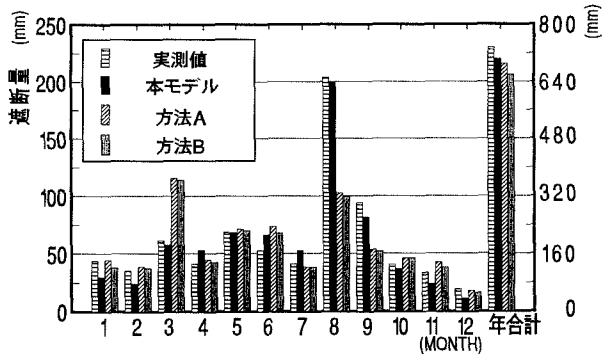


図-4 各手法の比較検討例（1992年）

3つの方法による推定値と実測値との比較を1992年を例にして図-4に示す。年間遮断蒸発量で見れば実測値の約736mmに対して、本モデル、方法Aおよび方法Bによる推定値はそれぞれ、704mm、689mmおよび660mmであり、わずかながらも本モデルの推定精度が最も高い。月別で見れば、3月、8月および9月で本モデルと鈴木らの方法との間に大きな差異が認められる。特に雨量の多い8月と9月で鈴木らの手法では過小評価となっている。これは本モデルで蒸発係数に降雨強度の影響を考慮したのに対して、鈴木らの手法は降雨強度の余り強くない地域を対象として開発されているために、白川谷のような多雨・高降雨強度地域での適用に限界があるためと考えられる。

5. おわりに Hortonのモデルに改良を加えて、一降雨遮断蒸発量の重回帰推定モデルを構築した。徳島県白川谷試験流域での雨量観測データに適用したところ、良好な推定結果を得た。今後は本モデルを利用した蒸発・蒸散量の分離手法について検討していきたい。

参考文献 1)Horton: Mon. Wea. Rev., Vol. 47, pp.603-623, 1919, 2)鈴木ら: 日林誌, 61(11), pp.391-398, 1979., 3)Gash: Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 105, pp.43-55, 1979., 4)塚本ら: 水文学会要旨集, pp.40-41, 1988., 5)Draper et al.: Applied Regression Analysis, Wiley, New York, 1966.