

II-325 広域場からの蒸発散量推定に関する基礎的研究

京都大学防災研究所 正員 葛葉泰久 京都大学防災研究所 正員 池淵周一
川崎製鉄 正員 島田潤一 京都大学大学院 学生員 田中賢治

1. はじめに: 蒸発散量の推定をする場合、従来より渦相関法、空気力学的方法等がよく用いられてきた。しかし、これらの方法で得られるデータは、往々にして観測点近傍の狭い範囲のみで有効なものである。そこで、これらの方法を用いて、複合的な土地利用形態を持った広域場からの平均的な蒸発散量を推定しようとするなら、場の中の複数の観測点で得られたデータを平均化する必要がある(空間的平均化)。また、データの時間的サンプリング間隔によっては、時間的平均化も行う必要がある。さらに、衛星・航空機等によるリモートセンシングは、広域場での平均的な蒸発散量観測に極めて有効ではあるが、surface truth のために、従来からの観測手法、また空間的平均化手法を用いる必要があり、その観測周期から、時間的平均化も行う必要がある。本研究では、数値シミュレーションによりそれらの検討を行っているが、今回は空間的平均化に焦点をあてた報告を行う。検討項目は以下の3点である。すなわち、①粗度、地下水位等の土地条件が風下方向に全く変化しない場(均一場)の領域平均蒸発散量を、場の中のある地点(代表点)での蒸発散量(代表値)で推定可能かどうか、②異った2つの均一場が連続している場合、上記の代表値を用いて平均蒸発散量を推定可能かどうか、③さらに多種類の均一場が複合場を構成している場合はどうか、である。

2. モデルの概要: 移流の効果を取り込むために2次元モデルを構築した¹⁾。大気部分に関しては Kimura²⁾を参考にしたが、工学的な見地から水蒸気の供給源である土中水の挙動を知ること重要と考え、著者らは大気だけでなく地中も詳細にモデル化した。おもな基礎式を図1に示す。大気中の諸量は式(1)~(4)を解くことで得られるが、これらの式中の拡散係数は Mellor³⁾の PBL Model(level 2)を用いて求めた。ただし地表面近傍は constant flux layer と考え各フラックスを式(5)~(7)のように表した。地中の水分移動に関しては、ダルシー則・フィック則に従い、熱移動は熱伝導と水蒸気輸送に伴う移動量の和と考えた(式(9)~(15))。また限定された条件下ではあるが、植生地についても葉面積指数等を用いてモデル化を行った。

3. 設定条件: 今回の数値シミュレーションでは、水平方向の領域長を比較的短くとした。また大気上端の境界条件は、高度50mの位置で与えた。境界条件・初期条件を図2に示す。また、各計算ケースの主な条件等を表1に示す。

4. 結果と考察: まず①について、Case 1~Case 4 による検討の結果、各ケースとも領域の中央点近傍が代表点となることがわかった。つぎに、図3は Case 5 について、領域内数点で

ATMOSPHERE

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1), \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} K_m \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} K_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (3), \quad \frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} K_q \frac{\partial q}{\partial x} \quad (4), \quad \tau = -\rho \frac{\kappa^2 u_*^2}{\log(z/z_0) - \psi_m(\zeta)} \quad (5)$$

$$H = -\rho C_p (\theta - \theta_0) \frac{\kappa u_*}{\log(z/z_0) - \psi_h(\zeta)} \quad (6)$$

$$E = -\rho (q - q_0) \frac{\kappa u_*}{\log(z/z_0) - \psi_q(\zeta)} \quad (7)$$

x, z : 風下(水平)方向, z_0 : 鉛直上方向, t : 時間, (u, v) : 風速ベクトル, θ : 温度, q : 比湿, K : 拡散係数, τ : 運動量フラックス, H : 熱フラックス, E : 水蒸気フラックス, ρ : 空気密度, C_p : 定圧比熱, κ : カルマン定数, u_* : 摩擦速度, $\sqrt{-\frac{\tau}{\rho}}$, z_0 : 粗度, ψ : 普遍関数, ζ : 安定度に関わるパラメータ

サフィックス m : 運動量, θ : 熱, q : 水蒸気, 0 : 地表面

SOIL

$$\frac{\partial(\rho_s \theta_L)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_s (\theta_s - \theta_L))}{\partial t} = -\frac{\partial(J_{LX} + J_{VX})}{\partial x} - \frac{\partial(J_{LZ} + J_{VZ})}{\partial z} \quad (8)$$

$$J_{LX} = -\rho_L K \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (9), \quad J_{LZ} = -\rho_L K \left(-1 + \frac{\partial \phi}{\partial z}\right) \quad (10)$$

$$J_{VX} = -E_n D_{ve} h \Delta \frac{\partial T}{\partial x} - D_{ve} c_s \frac{\partial h}{\partial x} \quad (11), \quad J_{VZ} = -E_n D_{ve} h \Delta \frac{\partial T}{\partial z} - D_{ve} c_s \frac{\partial h}{\partial z} \quad (12), \quad C \frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{\partial J_{hX}}{\partial x} - \frac{\partial J_{hZ}}{\partial z} \quad (13)$$

$$J_{hX} = -(K_T + \lambda E_n D_{ve} h \Delta) \frac{\partial T}{\partial x} - \lambda D_{ve} c_s \frac{\partial h}{\partial x} \quad (14)$$

$$J_{hZ} = -(K_T + \lambda E_n D_{ve} h \Delta) \frac{\partial T}{\partial z} - \lambda D_{ve} c_s \frac{\partial h}{\partial z} \quad (15)$$

z : 鉛直下方向, ρ : 密度, θ : 体積含水率, J : フラックス, K : 透水係数, K_T : 土の熱伝導率, ϕ : マトリックポテンシャル, E_n : enhancement, D_{ve} : 水蒸気の有効拡散係数, h : 相対湿度, Δ : 飽和水蒸気曲線の勾配, c_s : 飽和水蒸気圧, C : 土の体積比熱, λ : 蒸発潜熱, T : 温度, サフィックス L : 液水, V : 水蒸気, X : 水平方向, Z : 鉛直方向, S : 飽和, h : 熱

図1 主な基礎式

初期条件	境界条件
大気	大気
$u = 0.12 \log\left(\frac{z}{z_{0m}}\right)$	上流端: 初期条件と同じ
$w = 0$	下流端: 各変量の2階微分が0
$\theta = \theta_0 - 0.20 \log\left(\frac{z}{z_{0\theta}}\right)$	上端: 初期条件と同じ
地中	地表面: $u, v = 0$
$T = 288(K)$	地中
地中含水率: 一定地下水位の	x 方向: 両端でフラックスが0
脱水平衡状態	下端: 初期条件と同じ
	大気からの放射量(短波放射+長波放射): 400 (W/m^2)

図2 初期・境界条件

表1 各ケースの主な土地条件

Case	場の条件	roughness	初期表面水分
Case 1	単一場	rough	湿潤
Case 2	"	rough	乾燥
Case 3	"	smooth	湿潤
Case 4	"	smooth	乾燥
Case 5	単一場×2	smooth→rough	湿潤
Case 6	"	rough→smooth	湿潤
Case 7	"	smooth	湿潤→乾燥
Case 8	"	smooth	乾燥→湿潤
Case 9	"	裸地→植生地	
Case 10	複合場		
Case 11	複合場		

の蒸発強度の時間変化を示したものであるが、それぞれの均一場内では風上ほど初期の蒸発強度が大きく、途中蒸発強度が急減する時期が早く現れることがわかる。ただし、土地の水分供給能力が大気蒸発要求量より十分大きい場合にはこのような急減は生じしない。図4は、このケースについて、領域内各格子点の蒸発強度を全て用いて求めた領域平均値と、それぞれの均一場の中央点近傍での蒸発散強度を代表値とし、面積で加重平均した値とを比較したものである。Case 6～8についても同様の結果が得られ、これらから②に関し、このような方法による領域平均値の評価が可能であることがわかる。なお、植生を対象としたCase 9についても、同様の結果が得られている。つぎに図5は、Case 10の土地条件を示したものである。Case 11も同様に複合

的な土地利用形態を持った場である。Case 10について図4と同様の関係を示したのが図6である。Case 11についても同様の結果が得られており、③に関しても②と同様、上記の方法が十分な精度で領域平均値を推定できるものであるといえる。

5. おわりに：以上、おもに裸地を対象とし、複数の均一場から構成される複合場での蒸発散量の空間的平均化について検討した。今回は、領域長が300m以下のかかなり小さな場を対象としたが、今後は対象領域を広げ、さらに時間的平均化についても検討を加え、広域場からの蒸発散量推定を精度良く行うための手法開発に向けた研究を進めるつもりである。

□参考文献□1)葛葉・池淵ら：大気中の移流と地下水移動を考慮した裸地蒸発のモデル化について、水工学論文集、1992 2)Kimura:Heat Flux on Mixtures of Different Land-use Surface, Journal of the Meteo. Soc. of Japan, 1989 3)Mellor & Yamada:A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers, Journal of the Atm. Sci., 1974

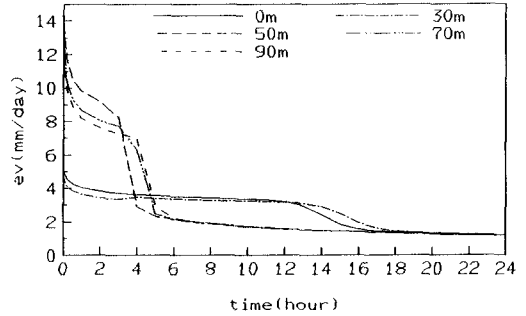


図3 蒸発強度の推移 (Case 5)

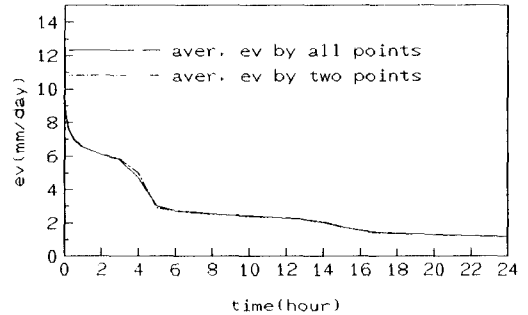


図4 領域平均蒸発強度の推移

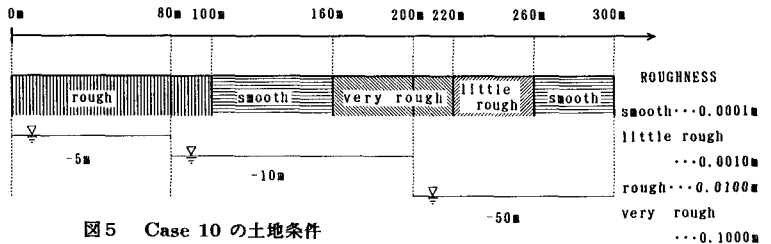


図5 Case 10の土地条件

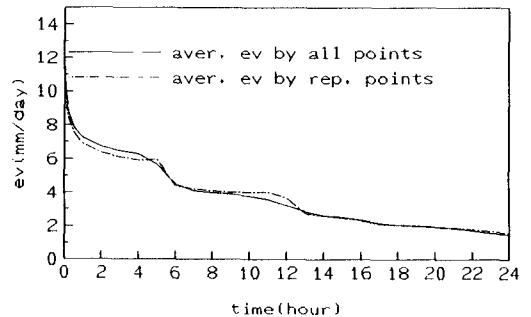


図6 領域平均蒸発強度の推移