

II-2

裸地蒸発における風速変動による蒸発強度の影響に関する数値計算的検討

防衛庁技術研究本部 正員 葛葉泰久  
 京都大学防災研究所 正員 石原安雄・下島栄一

1. はじめに: 本文は、比較的大きな時間スケールで速度変化を示す風が、一定の深さに地下水面をもつ裸地上を吹いたとき、その変動によって裸地からの蒸発強度がどのように変化するのか、また変動する風速の時間平均値と蒸発強度の時間平均値とにはどのような関係があるかを、蒸発場を大気・土地系とみなした数値計算を通して検討したものである。

表-1 計算条件

	風速条件*	地下水位(m)
Exp.1	3, C	Z <sub>w</sub> = 0.3
Exp.2	4, C	0.3
Exp.3	5, C	0.3
Exp.4	6, C	0.3
Exp.5	7, C	0.3
Exp.6	5±2, S	0.3
Exp.7	6±2, S	0.3
Exp.8	5±2, R	0.3
Exp.9	6±2, R	0.3
Exp.10	5, C	1.0
Exp.11	6, C	1.0
Exp.12	7, C	1.0
Exp.13	5±2, S	1.0
Exp.14	6±2, S	1.0
Exp.15	7±2, S	1.0

\*単位: (m/s), C:一定速度, S:正弦関数, R:一様乱数。

2. 基礎式と計算条件: 数値計算で用いる基礎式は、① 土中の水分移動に関するもの、② 土中の熱移動に関するもの、③ 大気中の運動量、水分、熱移動に関するもので構成される。①は、水分の連続式、液水・水蒸気の移動の式と地中での相対湿度、マトリック・ポテンシャル、温度間の関係式などである。②は熱の連続式と移動の式など、③は大気安定度を考慮した風速、湿度及び温度に関する鉛直分布の式(対数則)、水蒸気と顕熱移動の式などである。これらの諸式とその解法の詳細は参考文献 1)、2)を参照されたい。計算は 15 通り行なったが(表-1)、それらの土壤条件は表-2に示す。ここで地表上空 3(m)を上方境界とし、温度 20℃、湿度 25%、表-1の風速条件を境界条件として与えた。また下方境界を表-1の地下水位とし、地下水面は常に一定の深さ(Z<sub>w</sub>)に存在するものとした。そこでは常に温度を 20℃とした。そして地中での初期水分分布は脱水平衡にあるとし、計算では土壌のヒステリシス効果を除外した。

表-2 土壤条件

飽和透水係数: $1.18 \times 10^{-4}$ (cm/sec)
Air entry value: -22.4 (cm)
空隙率: 0.468

3. 計算結果とその検討

上記の条件で風速を常に一定値とした計算によると、蒸発強度(E<sub>v</sub>)の時間変化はつぎに示す通り二通りのパターンに分類できる<sup>2)</sup>。すなわち、風速がある値より大きい場合には、時間とともに E<sub>v</sub>/E<sub>p</sub> (E<sub>p</sub>:蒸発能)が 1 より小さくなるが、風速がある値より小さい場合には、時間が十分たった定常時でも E<sub>v</sub>/E<sub>p</sub> = 1 を保持する。また E<sub>v</sub> = E<sub>p</sub> の時には、地表面の含水率(θ<sub>s</sub>)が約 0.07(=θ<sub>c</sub>)以上で、そこでの水蒸気はほぼ飽和状態にあり、一方 E<sub>v</sub> < E<sub>p</sub> では地表面は θ<sub>s</sub> < θ<sub>c</sub> で、その水蒸気はある程度不飽和となっている。ここでは、それぞれの地面状態を”湿潤”及び”乾燥”と呼ぶ。a. 地面が湿潤な場合: 図-1は、風速を正弦関数で与えた Exp.6, Exp.7 の場合で、計算がほぼ定常的な(12時間の)周期解を示した段階での蒸発強度(E<sub>v</sub>)の時間変化を示す。この場合、地下水面が 30(cm)と浅く、地面で常に湿潤条件(θ<sub>s</sub> > θ<sub>c</sub>)が満たされた。図中で例えば”5±2”とは、風速条件が 5(m/s)の平均値、2(m/s)の振幅をもつ場合を意味し、以下でも同様な意味でこの表示を用いる。また●印は定常的に一定の速度の風がある場合(Exp.1 ~ Exp.5)の定常時の蒸発強度(E<sub>v,s</sub>)を示す。さらに□印と▲印は、風速をそれぞれ上記の正弦関数及び一様乱数(Exp.8 ~ Exp.9)によって変化した場合で、定常段階での1周期の平均蒸発強度(<E<sub>v</sub>>)を示す。なお、●□△の側の数字は平均風速(m/s)を表わす。この図から以下のことがわかる。すなわち、風速を正弦関数で与えた場合の E<sub>v</sub> の

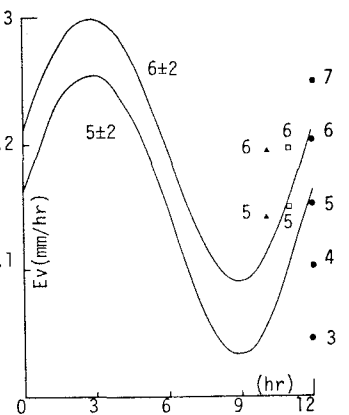


図-1 E<sub>v</sub> (Exp.6,7)

最大値と最小値は、その風速の最大値と最小値を一定風速として与えた場合のそれぞれの  $Ev,s$  にほぼ一致し、また風速を一様乱数で与えた場合の  $\langle Ev \rangle$  と正弦関数による  $\langle Ev \rangle$  は、これらの変動風速の平均値を風速条件として与えた場合の  $Ev,s$  とほぼ一致する。次に図-2は Exp.13 の場合で、図-1と同様に定常段階の蒸発強度及び地表面含水率の時間変化を示す。地下水水面は図-1の場合に比し 1(m) と深い、低風速条件 ( $5 \pm 2$ ) のために地面では  $\theta_s > \theta_c$  の関係を満たす。蒸発強度が最大値をとる時刻は風速が最大となる時刻に一致するが、最小値の方は風速が最小となる時刻より約 20 分程遅れている。Ev の最大・最小値の生起時は  $\theta_s$  の最大・最小値の時刻に対応しないことが図よりわかる。図中の口印はここでの風速に対する  $\langle Ev \rangle$  を、また●印は平均風速 5(m/s) を定常的に与えた Exp.10 の  $Ev,s$  を示すが、両者は十分な精度で一致するので、 $Ev,s$  は  $\langle Ev \rangle$  の代替となる。

**b. 地面が湿潤-乾燥の状態を繰り返す場合:** 図-3は図-2と同様であるが、ただ風速が  $6 \pm 2$ (m/s) の場合(Exp.14)であり、また  $Ev/Ep$  の時間変化も示してある。図より、風速の周期的変化によって、地面は湿潤と乾燥の状態を交互に示していることがわかる。Ev の最小値は風速が最低値を示す時刻に現れたが、最大値は風速の最高値の時刻より 3 時間 40 分も早く現われ、また地表面含水率(最大と最小)との関係は、Ev より  $Ev/Ep$  によく位相が対応している。この場合についても、 $\langle Ev \rangle$  (図中口印)は、平均風速を定常的に与えた場合(Exp.11)の  $Ev,s$  (図中●印)で十分評価できることがわかる。

**c. 地面が乾燥する場合:** 図-4は風速が  $7 \pm 2$ (m) の Exp.15 の場合で、図-2、3と同様の結果を示す。図より、地表面含水率は非常に小さく ( $\theta_s < \theta_c$ )、またほとんど変化がないことがわかる。この場合、Ev の最大値最小値ともに風速のそれぞれより 30 ~ 60 分程早く現われたが、この場合についても、 $\langle Ev \rangle$  (図中口印)は平均風速を定常的に与えた場合(Exp.12)の  $Ev,s$  (図中●印)で十分評価できる。

なお、Exp.1 ~ Exp.15 に関し、初期状態から計算終了時までの  $Ev$ 、 $Ep$ 、 $\theta$  について、縦軸に  $\theta$  横軸に  $Ev/Ep$  をプロットすると、ほぼ同一曲線を描くことが確認された(図-5)。

**4. おわりに:** 比較的長期の速度変動する風によって、ほぼ定常的な周期変化を示すようになった蒸発強度の1周期間の平均値は、地表面の湿潤の程度に関係なく、変動風速の平均値をもつ定常風による(定常)蒸発強度で十分評価できることがわかった。

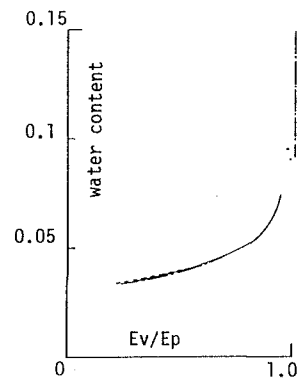


図-5  $\theta$  と  $Ev/Ep$  の関係

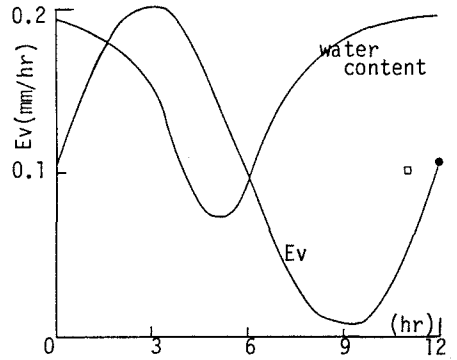


図-2  $Ev, \theta$  (Exp.13)

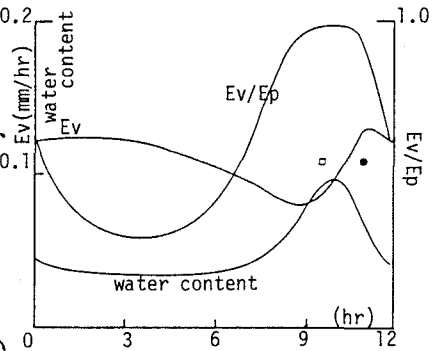


図-3  $Ev, \theta, Ev/Ep$  (Exp.14)

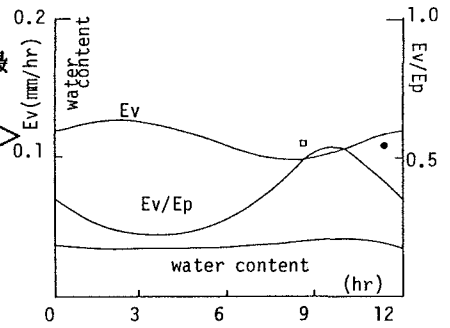


図-4  $Ev, \theta, Ev/Ep$  (Exp.15)

<参考文献>1) 葛葉・石原・下島(1988):水講論文集、2) 葛葉・石原・下島(1988):京大防災研年報