

1. 研究目的

近年、畜産廃棄物や肥料などによる河川・地下水の汚染、湖沼の富栄養化などが全国的に問題となり、水資源が危機的状況へと追い込まれつつある。これらを防止・改善するためには、水・化学物質循環を定量的に評価することが重要である。本研究ではウェイングライシメータ (Weighing Lysimeter) を用いて植物の生育と水消費、雨水浸透・流出、蒸発散機構を明らかにし、水文素過程に関する数値モデルの構築を目指す。次に土壤中の物質移動について検討する。

2. ウェイングライシメータによる水文観測

写真1はウェイングライシメータ (重量測定式浸漏計) の全容である。ウェイングライシメータは3個の土壌槽 (写真右側の土壌槽からE, C, Wと名付ける) よりなり、土壌槽 (幅・横: 1m, 深さ: 1.5m) の総重量等を測定し、水収支を求めようとするものである。土壌槽重量は、分解能 0.1kg (雨量換算 0.1mm) の電子天秤 (最大計測能力 5000kg) を用いて測定している。充填土壌は青谷砂質土¹⁾ (京都府城陽市) であり、比重は 2.63, 充填時の間隙率は 0.357 である。

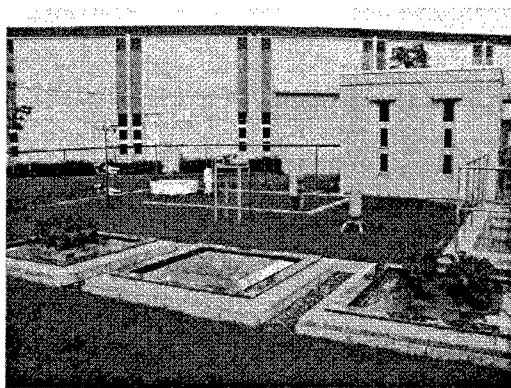


写真1 ウェイングライシメータの全容

1999年と2000年にトウモロコシ・カリフラワー・ブロッコリーをそれぞれ3・1・1回土壌槽EとWに植栽し、水収支を測定した (Cは裸地)。表1に水収支観測結果と収量を示す。トウモロコシについては1kgの乾燥物体を得るために約300~150kg, ブロッコリーについては約650kgの水が消費された。水資源を考えるうえで植物の水消費量が無視できないことが分かる。

表1 水収支と収量

トウモロコシ(1999/7/8~9/7)				ブロッコリー(2000/8/28~11/28)			
	E	W	C		E	W	C
降水量 (mm)	164	164	164	降水量 (mm)	634	634	634
施水量 (mm)	155	155	0	施水量 (mm)	90	95	90
表面流出量 (mm)	2.5	7.1	9.6	表面流出量 (mm)	4.0	115.0	328.0
地下水流出量 (mm)	58.2	57.0	60.9	地下水流出量 (mm)	252.9	184.7	186.7
土壌槽貯留量 (mm)	13.5	27.8	20.8	土壌槽貯留量 (mm)	6.3	10.4	9.3
蒸発散量・その他 (mm)	245	227	73	蒸発散量・その他 (mm)	461	419	220
作物湿潤重量 (kg)	2.86	2.57	-	作物湿潤重量 (kg)	2.18	2.95	-
作物乾燥重量 (kg)	0.93	0.90	-	作物乾燥重量 (kg)	0.69	0.68	-

3. 植物の成長と蒸発散

図1はKimballのトウモロコシの成長曲線²⁾である。これを用いて植物の成長と蒸発散量の関係を整理したところ、図2及び(1)式の関係を得た。ここに、 E_{tp} : 可能蒸発散量, E_{pen} : Penmanの可能蒸発量, w_d : 乾燥重量, c : 定数である。今回の観測では E_{tp} は E_{pen} の約3倍, c は0.0008であった。

さらに、根群域の土壌水分量 (θ) と E_t/E_{tp} との関係をトウモロコシ、ブロッコリーについて求めたところ、図3及び(2)式の関係を得た。根群域の土壌水分量が多いほど蒸発散量は可能蒸発散量に近づくことが分かる。

$$E_{tp} = (cw_d + 1) E_{pen} \quad (1) \quad E_t = \phi_t(\theta) E_{tp} \quad (2)$$

いま θ を(3)式で表し、根からの吸水量を実蒸発散量に等しいと仮定すると、根群域における単位長さあたりの吸引強度 S は(4)式で算出される。

$$\theta = \frac{1}{l_r} \int_{l_r} \theta dz \quad (3) \quad S = \frac{\theta}{\theta_{lr}} E_t \quad (4)$$

なお、 l_r は根群域の長さであり、ここでは図1を用いて推定した。

4. 蒸発散量を考慮した土壌水流動解析

図4にはトウモロコシ植栽時 (2000年) の観測結果とRichards式(5)による計算結果との比較を示してある。地下水流出量・蒸発散量ともに計算結果は観測結果をうまく再現している。

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\} - S \quad (5)$$

5. 物質移動

定期的に地下水流出を採水し、イオンクロマトグラフを用いてイオン濃度を測定した。表2に1999年4月から2000年3月までの土壌槽Wにおける物質収支を示す。 K^+ , Mg^{2+} については施肥のほとんど全量

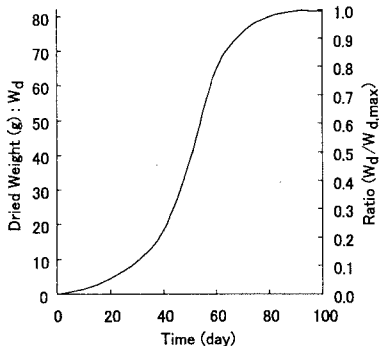


図 1 トウモロコシの成長曲線
(Kimball, 1965)

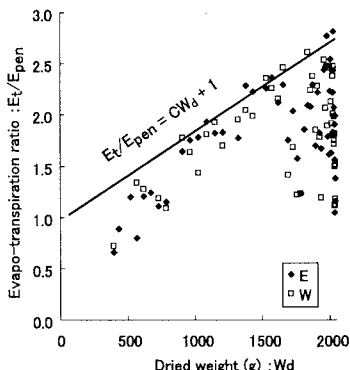


図 2 トウモロコシの成長と蒸発散

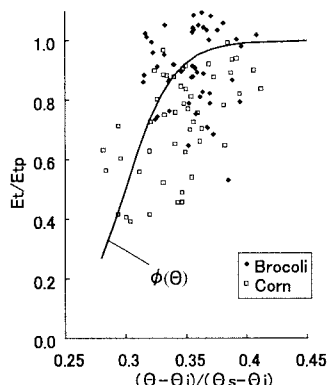


図 3 根群域の土壌水分(計算値)と蒸発散

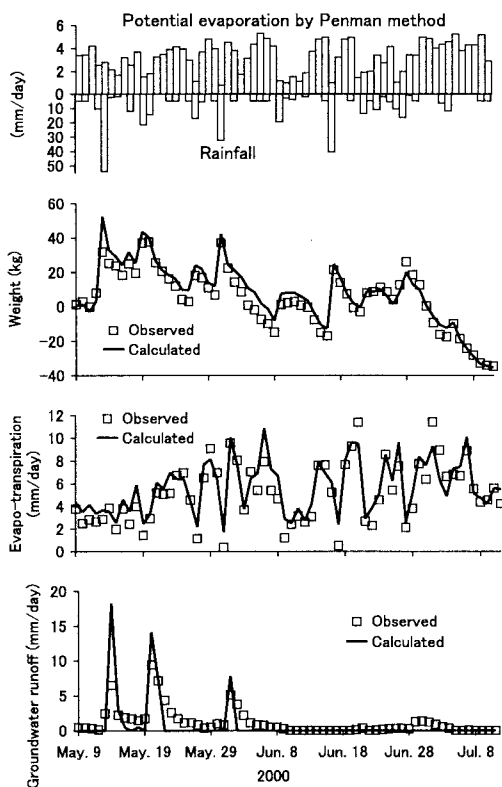


図 4 トウモロコシの計算結果

が植物に吸収もしくは土壌に貯留され、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} については現段階では顕著な傾向は見られない。

表 2 土壌槽 W の物質収支
(1999 年 4 月～2000 年 3 月)

	投入量 (g)					流出量 (g)
	元肥	水肥	施肥	雨水	合計	
K^+	108	11	0.53	0.17	120	1.63
Mg^{2+}	270	1.1	2.0	0.30	273	8.33
Ca^{2+}	0.0	0.0	4.8	1.0	5.83	39.4
Cl^-	0.0	0.0	4.0	1.1	5.14	4.30
SO_4^{2-}	0.0	0.0	7.1	3.0	10.1	26.9

土壌槽に投入した元肥に含まれる Mg^{2+} の移流分散解析を (6) 式を用いて行った。ここに、 C :化学物質の濃度、 v : (5) 式の計算で得られる土壌水の実流速、 D :分散係数、 S_e :植物

による物質吸収強度である。計算の安定化のため、(6) 式の解析には BTD 法による有限要素法を採用した。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial z} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - S_e \quad (6)$$

2000 年 5 月～7 月の計算結果を図 5 に示す。 Mg^{2+} は地表面より深さ 1m の範囲で変化しているが底面には到達していない。このことは観測結果と一致している。

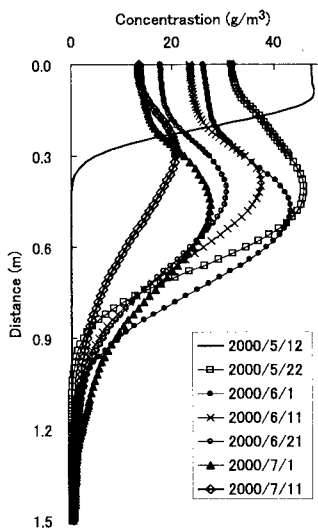


図 5 物質濃度の鉛直分布

6. 結論

1. 植物の生育には乾燥重量の数百倍の水が必要である。水資源を考えるうえで無視できない。
2. トウモロコシが十分成長した時の蒸発散量は蒸発量 (Penman 法) の約 3 倍である。
3. 植物の成長過程を考慮した蒸発散量の推定法を提案した。
4. 物質移動については風上法の 1 つである BTD 法を用いた FEM モデルの適用性が確認された。

参考文献

- 1) 岡 太郎, 野口 美具: 不飽和浸透流の拡散係数と透水係数の測定, 第 24 回水理講演会論文集, pp.363-368, 1980
- 2) H.Mohr, P.Schopfer: 植物生理学, シュプリンガーフェアラーク東京株式会社, 1999
- 3) 棚橋 隆彦: 流れの有限要素法解析 I, II, 朝倉書店, 1997