

ウェイングライシメータにおける作物の成長と水・物質移動

京都大学大学院工学研究科 学生会員 東 博 紀
京都大学防災研究所 フェロー 岡 太 郎

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っている. これらを防止・改善するためには, 水・化学物質循環機構を明らかにすることが必要である. 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, 土壌中の物質移動機構を明確にし, それら数理モデルの構築を目的とする.

2. ウェイングライシメータによる水収支観測 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.

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 1kg の乾燥物体を得るために約 300~150kg の水が消費された. 水資源を考えるうえで作物の水消費量が無視できないことが分かる.

3. 植物の成長と蒸発散 Kimball のトウモロコシの成長曲線²⁾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 1 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.

$$E_{tp} = (cw_d + 1) E_{pen} \quad \dots (1)$$

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 2 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.

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) 式で計算される. なお, l_r は根群域の長さであり, ここでは乾燥重量の成長と同一であると仮定した.

$$E_t = \phi_t(\theta) E_{tp} \quad \dots (2) \quad \theta = \frac{1}{l_r} \int_{l_r} \theta dz \quad \dots (3) \quad S = \frac{\theta}{\theta l_r} E_t \quad \dots (4)$$



写真1 ウェイングライシメータの全容

表 1 水収支と収量 (2000 年トウモロコシ)

	E	W	C
降水量 (mm)	307	307	307
施水量 (mm)	95	95	0
表面流出量 (mm)	2.3	4.3	2.1
地下水流出量 (mm)	83.8	72.1	171.7
土壌槽貯留量 (mm)	-45.2	-39.3	-9.2
蒸発散量・その他 (mm)	361	365	142
作物湿潤重量 (kg)	8.43	8.06	-
作物乾燥重量 (kg)	2.42	2.05	-

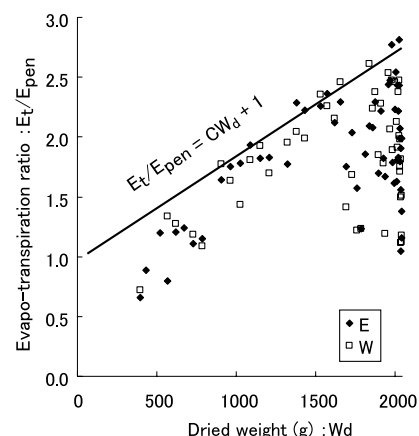


図 1 トウモロコシの成長と蒸発散

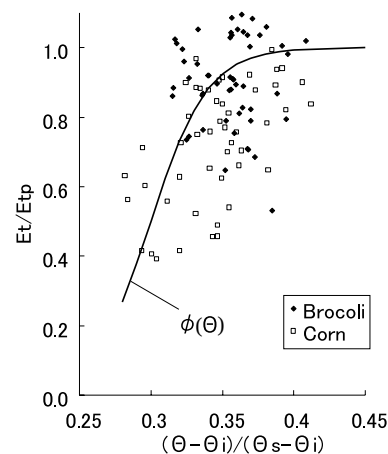


図 2 根群域の土壌水分量と蒸発散

Key words: ウェイングライシメータ, 作物の成長, 蒸発散, 土壌水流動, 物質移動

〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄京都大学防災研究所水資源センター TEL: 0774-38-4262 FAX: 0774-38-4262

4. 蒸発散量を考慮した土壌水流動解析 図3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。

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

5. 物質移動 窒素, リン酸, カリウム, マグネシウムがそれぞれ6.0, 40.0, 6.0, 15.0%の元肥を土壌槽E, Wにそれぞれ1999年4月20日に1.0, 1.8kg, 2000年5月1日に1.0, 1.0kg, 追肥として1999年4月~2000年7月に1.4g(N), 0.95g(P), 14.0g(K), 1.4g(Mg)を投入した。なお, 元肥はク溶性成分と水溶性成分で構成されており, ク溶性成分は根酸によりPh3以下で溶解する。水質イオン濃度は地下水流出を定期的に採取してイオンクロマトグラフィで測定した。表2に1999年4月~2000年7月の土壌槽Wにおける物質収支を示す。肥料主成分K, Mg, P, Nの流出量はそれぞれ投入量の1.0, 4.5, 1.1, 15.3%であり, 作物による吸収, 土壌の吸着・分解等による水質浄化作用が伺える。

土壌槽Wに投入したMgの移流分散解析を(6)式およびLangmuir式(7)を用いて行った。ここに, C : Mgの濃度, q : (5)式の計算で得られる土壌水のDarcy流速, D : 分散係数, a : 吸着平衡定数, b : 飽和吸着量である。なお, Mgの植物吸収量は乾燥重量のおよそ0.2%²⁾であり, 投入量に対して無視できる。

$$\frac{\partial(\theta C)}{\partial t} + q \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \frac{\partial S_c}{\partial t} \quad \cdots (6) \quad S_c = \frac{abC}{1+aC} \quad \cdots (7)$$

投入した元肥のうち, 水溶性成分は瞬時に, ク溶性成分は投入後120日で全量溶出すると仮定した。地下水流出の水質分析結果と D, a, b を変化させて計算を行った結果との比較を図4に示す。いずれの計算結果も濃度は増加傾向を示したが, 大きく減少する傾向は示さなかった。より詳細に濃度変動を把握するためには, 土壌の吸着特性を再検討する必要がある。

6. まとめ

1. 作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. 作物の成長を考慮した蒸発散・土壌水流動解析を行った。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た。
3. 1999年4月から2000年7月までの肥料主成分K, Mg, P, Nの流出量はそれぞれ投入量の1.0, 4.5, 1.1, 15.3%であった。土壌の水質浄化作用は大きい。
4. 吸着を考慮してMgの移流分散解析を行った。モデル定数の変更のみで観測結果を再現することは困難であり, 土壌の吸着特性を再検討する必要がある。

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.

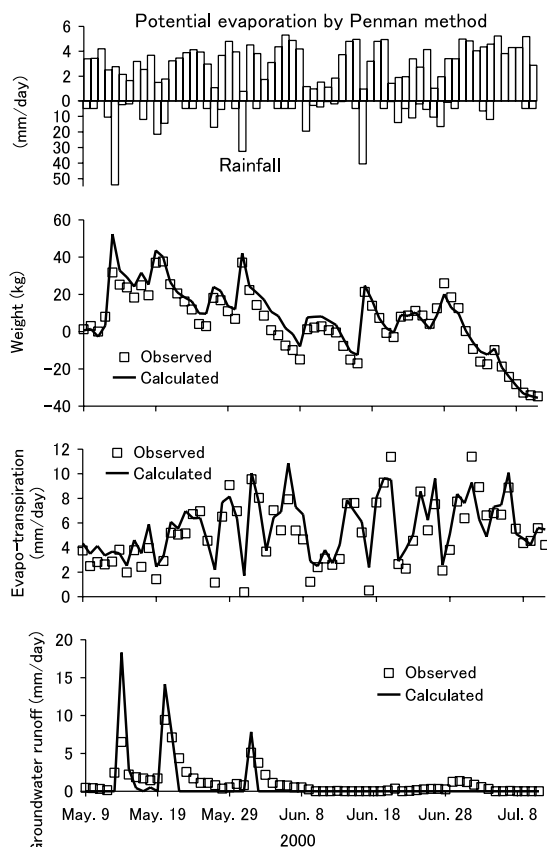


図3 トウモロコシの計算結果

表2 土壌槽Wの物質収支

	投入量 (g)					流出量 (g)
	元肥	追肥	施水	雨水	合計	
Na	0.0	0.00	5.47	1.01	6.5	6.9
K	168	14.00	0.73	0.20	182.9	1.9
Mg	420	1.40	2.71	0.34	424.5	19.0
Ca	0.0	0.00	6.56	1.13	7.7	90.4
P	358	8.95	0.95	0.00	367.8	4.0
Cl	0.0	0.00	5.50	1.23	6.7	5.2
N	168	1.40	0.14	0.50	170.0	26.1
S	0.0	0.00	3.24	1.12	4.4	20.7

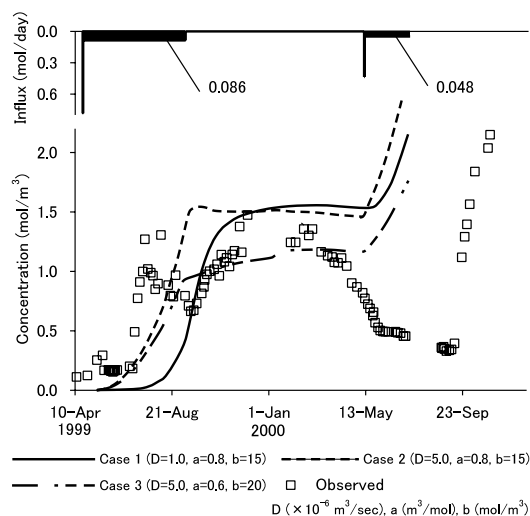


図4 Mgの計算結果