

ウェイングライシメータによる植物の成長と水収支に関する研究

岡 太郎・石井将幸*・東 博紀**

*島根大学生物資源科学部

**京都大学大学院工学研究科

要 旨

植物の生育と水消費, 雨水浸透・流出, 蒸発散, 物質移動機構を解明するため, 1998年11月にウェイングライシメータが設置され, 自然気象条件下で観測研究が行われている。本報では, はじめにウェイングライシメータの構造・性能の概要を示す。次に, 1999年と2000年の観測結果を用いて植物の成長と水の消費量・土壌中の物質移動機構について若干考察を加えたのでその結果について述べる。

キーワード: ウェイングライシメータ, 植物の成長, 蒸発散, 土壌水流動, 物質移動

1. はじめに

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, 流域の水・化学物質循環機構を明らかにすることが必要である。

これまで土壌-植物-大気連続系を考慮した水・物質移動モデルが多数提案され, 実用化されている(端野ら, 1991; 田中ら, 1994)が, その基礎となるべき植物の成長を考慮した水・物質の吸収・排出機構について本質的な研究は少なく, ほとんど未解明であるといっても過言ではない。これらは問題が複雑であり, 現象に関与する要素がきわめて多く, かつそれらのいくつかについては調査・測定が困難であることが原因であると考えられる。

この種の問題にアプローチするために, 自然流域に比べて現象の観察測定が比較的容易であり, また対象領域の植生・土層・土質条件を研究目的に合わせて選ぶことが可能なウェイングライシメータ(Weighing Lysimeter)が当研究所宇治川水理実験所に設置されている。われわれは, このライシメータを用いて植物の成長と水消費, 雨水浸透・流出, 蒸発散, 土壌中の物質移動機構を明確にすることを目的として, 自然気象条件下で観測研究を行っ

ている。

本報では, はじめに, ウェイングライシメータの構造・性能を紹介する。次に, 1998年4月より2000年12月までに行った観測とその結果を示す。さらに, 植物の成長を考慮した蒸発散モデル・土壌中の物質移動について検討した結果について述べる。

2. ウェイングライシメータ

2.1 構造

ウェイングライシメータの全容と気象観測装置の配置を Photo 1・Fig. 1に示す。本ライシメータは幅・横がそれぞれ1m, 深さが1.5mの3連のステンレススチール製土壌槽よりなり, 各土壌槽の重量変化が電子天秤を用いて直接測定できる仕組みになっている。ここで, Fig. 1に示すように東側の土壌槽をE(East), 中央の土槽をC(Center), 西側をW(West)と呼称することにする。

土壌槽の構造図を Fig. 2に示す。ライシメータを設計する場合には, 土壌槽の土壌表面と周辺地盤との間に段差を無くし, できるだけ連続した面を造りだすように心がける必要がある。ここでは, 幅が8.8m, 奥行きが3.6m, 高さが2.0mの地下室(Photo 2)を造り, その中に3連の

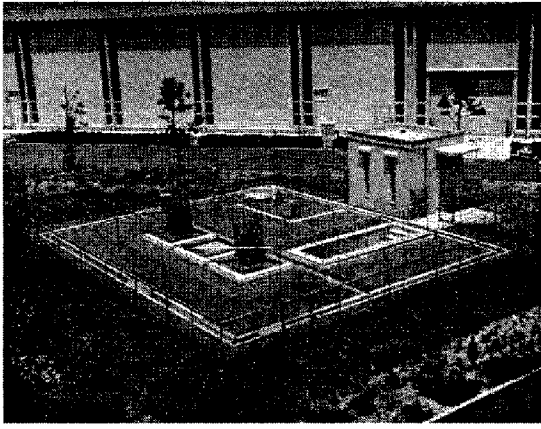


Photo 1 Weighing lysimeter

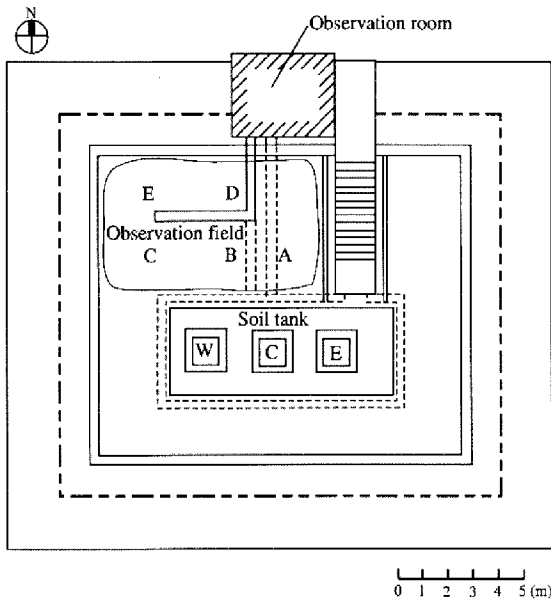


Fig. 1 Outline of weighing lysimeter

土壌槽を等間隔に並べることにした。ただし、電子天秤や土壌槽を一時的に固定するためのジャッキ等をクレーンを用いて設置するために1.5m角の挿入口を上辺(天井)に設ける必要があった。そのため地下室は分厚いコンクリートで造られるとともに、土壌槽の周りには25cmの隙間が生じた。この隙間を埋めるために、土壌槽側に幅が15cmの張り出し板、周辺のコンクリート枠に幅が18cmの承水溝が Fig. 2のように取り付けられた。なお、張り出し板と承水溝は接触しないようになっており、土壌槽の重量測定に影響を及ぼさなくなっている。このため、周辺部と土壌槽の土壌面との間に大きな段差はないものの、コンクリートとステンレス板が存在することになった。したがって、周辺部と同一の条件のもとで実験を行うことは困難であり、ここでの実験は、周辺とは

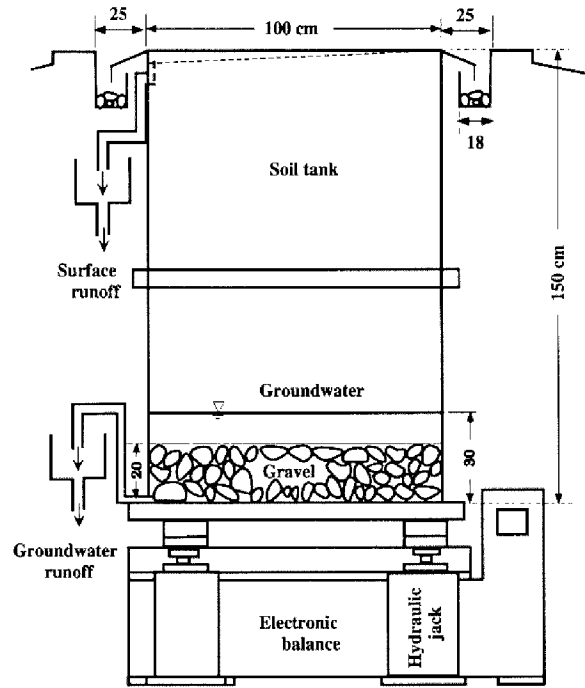


Fig. 2 Schematic illustration of soil tank

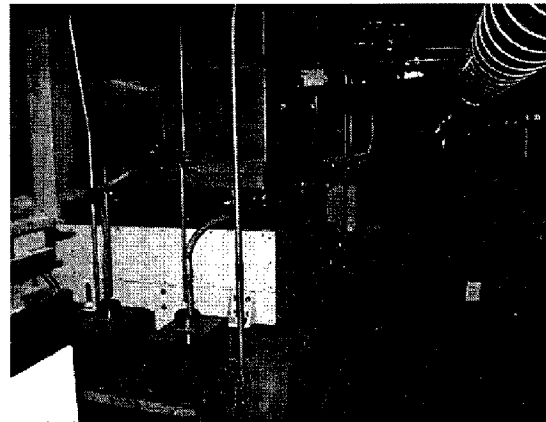


Photo 2 Basement inside of lysimeter

無関係の単独のものといわざるを得ない。なお、土壌槽周辺のステンレススチール板やコンクリートの影響が測定結果に強く現れる場合には、これらの上に人工芝等を貼り付けることも考えている。

各土壌層の南側上部の一辺には表面流を集水するために幅が3cmのステンレス製の板がV字状に取り付けられており、その最下部に内径1cmの穴があげられ、表面流を外部に導いている。なお、表面流集水用のV字板の勾配は0.08であり、もっとも深いところで土壌槽の外枠の頂部より4cm下がっている。外部に取り出された表面流は流量測定のため転倒桁型流量計に導かれるが、その途中に受け皿を設けてあり、土壌槽側と転倒桁側は切り離

されている。

各土壌槽の下部には地下水位制御と地下水排水のために排水口とホーススライドガイドが取り付けられている。排水口から取り出された地下水流出は転倒桁型流量計に導かれるが表面流の場合と同様に土壌槽側と転倒桁側とは切り離されている。このようにして、電子天秤上の土壌槽の重量変化のみが外部の影響を受けずに測定できるようになっている。

なお、本ライシメータの地下室には階段を用いて入出ができるようになっており、室内にたまった雨水はポンプで地上の排水路に排水されるようになっている。また、鳥などに植えたばかりの苗や果実をついばまれることを防ぐために気象観測装置を含むライシメータ全体を防鳥網で覆ってある。

2.2 測定項目

(1) 土壌槽の重量変化

各土壌槽の重量変化は分解能が0.1kg（雨量換算で0.1mm）の電子天秤（最大計測能力：5000kg）で測定される。また、各土壌槽の下部には土壌を充填する時に生じる衝撃過重や振動から電子天秤を守るために油圧ジャッキが取り付けられている。

(2) 表面流出量

降雨強度が浸透強度を上回ると表面流が発生するが、表面流を土槽外に導水し、1転倒が100cm³の転倒桁型流量計で測定する。測定開始当初は表面取水パイプにフィルターとしてステラシートを用いていたが目詰まりのため測定が旨く行えなかった。2000年9月13日にフィルターをステンレス製の網に交換した後は問題なく測定が行えている。

(3) 地下水流出量

このライシメータでは、地下水位を底部より30cmの位置に固定し、余剰の地下水もしくは土壌水を排水口より取り出し、1転倒50cm³の転倒桁形流量計を用いて計測している。なお、観測中に地下水位が設定位置よりも低下したため、2000年8月23日よりマノメータを設置して地下水位を監視している。

(4) 水質

表面及び地下水流出水を週に一度定期的に採取し、イオンクロマトグラフィを用いて分析を行っている。測定できるカチオンはNa⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、アニオンはH₂PO₄⁻、F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、Br⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻である。さらに、雨水・かんがい水についても水質分析を適宜実施している。

(5) 気象要素

ライシメータによる観測研究には気象要素の測定が欠かせない。ここでは、Fig. 1に示す位置に観測露場を設け、各種気象要素を観測している。観測項目・位置・機器の性能等をTable 1にまとめてある。

水質を除く全ての測定データは、5秒間隔で計測され、10分毎にその平均値がデータロガーに収録される。なお、データロガーは計器収容室に設置されている。

Table 1 気象要素の観測項目・位置・機器の性能

測定項目	位置	測定方法	性能(分解能)	備考
雨量	A	転倒桁型雨量計	0.5 mm/転倒	
放射収支	B	放射収支計	25 mV/kW・m ⁻²	
日射量	B	全天日射計	27 mV/kW・m ⁻²	
乾湿球温度	C	白金抵抗体・通風筒付乾湿球温度計	±0.5 °C	地表面より高さ180,90,45cm
風速	C	三杯型風速計	0 ~ 75 m/s	地表面より高さ185,95,50cm
地温	D	白金抵抗体型温度計	-10 ~ 70 °C	地表面より深さ5,15,25cm
地中熱流量	D	地中熱流計	20 mV/W・m ⁻²	地表面より深さ5,15,25cm
蒸発量	E	直径120 cm A - pan	± 1 mm以内	フロート式水位検出器

2.3 供試土とその充填

各土壌槽は底部より20cmは礫、その上部の130cmはFig. 3の土壌特性(岡・野口, 1980)を有する京都府城陽市の青谷砂質土が充填された。礫と土壌の間にはステラシートが敷かれている。なお、土壌槽の壁面と土壌をなじませるために、土壌槽のステンレススチールの表面にペンキを塗り、供試土を付着させてある。

供試土は次の要領で充填された。充填土を厚さ5~7cmに一様に敷き詰め、重量3.55および5.48kgのいわゆるタコを用いて突き固めた(Photo 3)。十分に締固めた後、次の土壌になじますため表面をレーキで掘り起こし、次の充填土を敷き詰めた。最後に、表面流が湛水することなく取水口に到達するように表面を整形した。作物を植栽する際に若干の差が生じるが、地表面の勾配は0~0.08である。

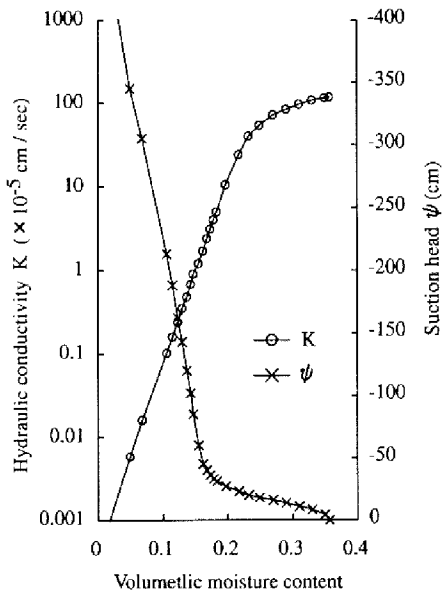


Fig. 3 Hydraulic conductivity and soil moisture characteristics curve

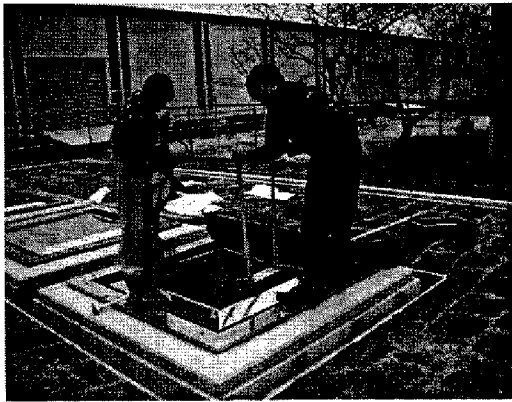


Photo 3 Situation of filling and compaction of soil

3. 蒸発散と雨水流出の観測結果

1999年4月より2000年12月まで、トウモロコシを3回、カリフラワーとブロッコリーをそれぞれ1回、土壌槽WとEに植栽し、観測を行った。土壌槽Cは比較研究のため裸地の状態を保っている。

Photo 4・5はトウモロコシの植付け及びほぼ成熟した時の状況である。これらの写真で見られるように、葉や茎が土壌槽の枠外に出ないように土壌槽の4角に支柱が立てられており、周辺には防鳥用ネットが張られている。これにより、土壌槽上に落下した雨水は外部に流出せず、内部に留めることが可能となる。

Fig. 4に1999年7月2日から2000年1月7日、および2000年5月8日から12月13日までの観測結果を示してある。Fig. 4の上段には気象要素の観測結果を用いて得られたPenmanの蒸発量と雨量、その下には施肥量を示し

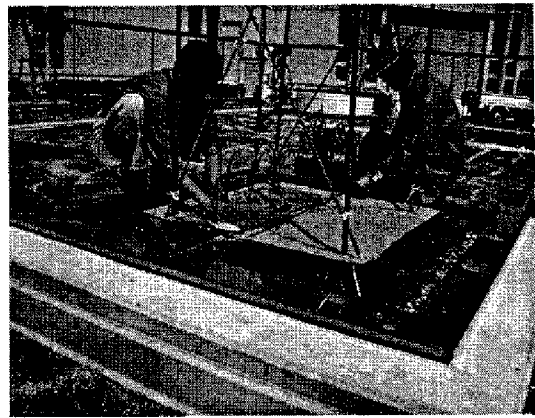


Photo 4 Planting corn



Photo 5 Situation of corn growth

である。さらに三段目には各土壌槽の重量変化、最下段には地下水流出量を示してある。

Fig. 4の裸地面の土壌槽Cと植栽しているEとWの槽重量変化を比較すると、土壌槽Cでは無降雨日が続く、蒸発が進むと低減率が小さくなり、限界値 (Fig. 4では280kg) より低下しないが、EとWでは低減が続き限界値などは見られない。これは裸地面の蒸発は表面が乾燥すると土壌水分が減少して透水係数が極端に小さくなり、セルフマルチ(自己覆い)が形成されるためである。一方、植栽された場合には地表面よりの蒸発は減少するが、深部より根によって水が吸収され葉より蒸散されるので、土壌槽の重量変化は長期間継続するためであると考えられる。また、土壌槽CとWまたはEの重量低減率についてみると、いずれの植物においてもCの低減率はWとEと比較して小さい。これは植物の成長により多くの水が消費されている根拠を示すものである。

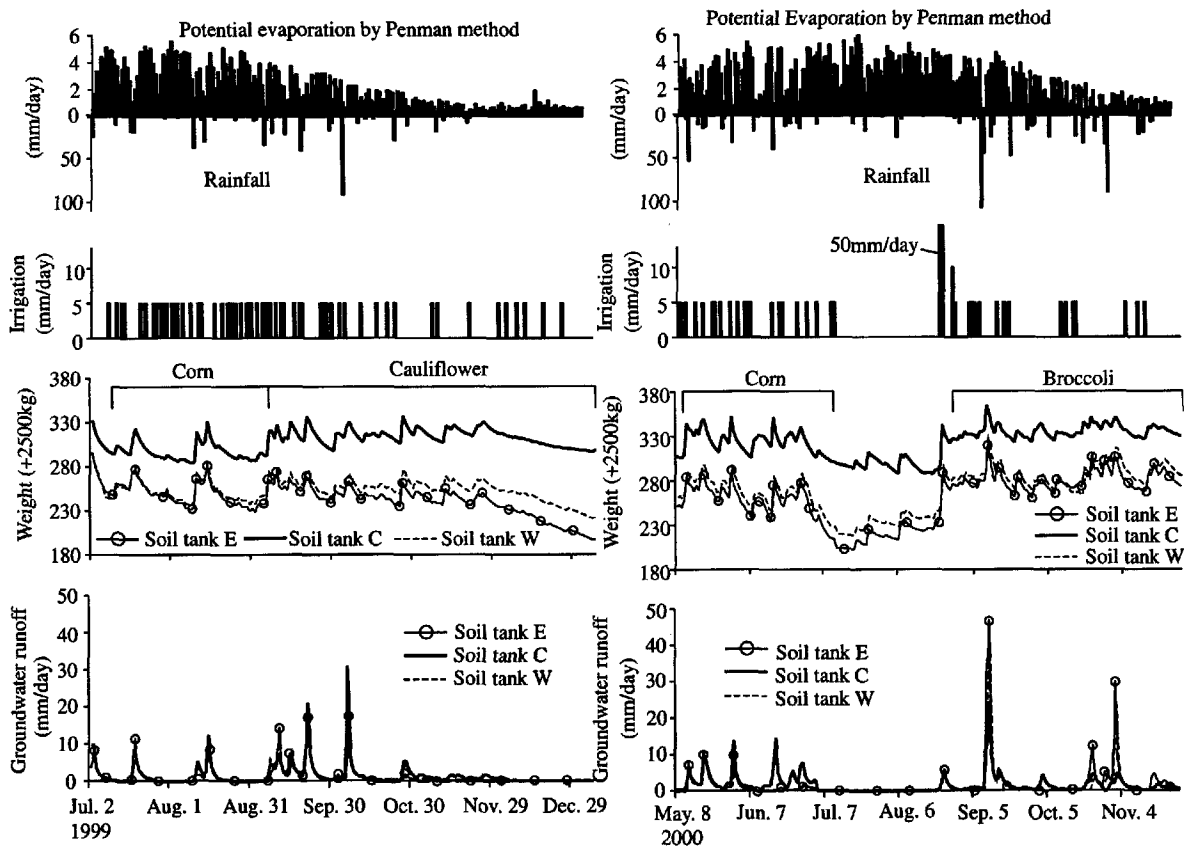


Fig. 4 Observed potential evaporation, rainfall, changes in weight of soil tank and groundwater runoff

Table 2に観測期間中に得られた水収支を示してある。観測開始より2000年8月28日までは表面流は発生したがうまく分離取水できなかったため、ほとんどが土壌中にしみ込んだ。したがって、地下水流出と土壌貯留量がその分だけ多くなっていることに注意を要するが、次の事項が明らかになる。

裸地(C)と植栽された土壌槽(E, W)の蒸発散量を比較すると、トウモロコシの場合はCの3.3~2.5倍、カリフラワー・ブロッコリーの場合には2.2倍と2.0倍の蒸発散量が認められている。植物による蒸散量が裸地面の蒸発量に比較していかに多いかが分かる。

Table 2には、植物の収穫時の根を含む総重量とそれを空気乾燥させた重量を併示してある。なお、根群部の採取については、微細な根まで取り出すことは困難であったので、若干土壌中に残ったが、これはやむをえないものと考えている。これによると、トウモロコシの場合乾燥重量の270~150倍、カリフラワーでは550~500倍、ブロッコリーでは658~600倍の水が消費されたことが明らかになる。

地下水流出量についてみるとE, Wの地下水流出量はCに比較していずれの植栽においても少なく、地下水流出量にも植物の成長が大きく関与していることが明らか

になる。2000年8月28日~11月28日に植栽したブロッコリーについてはCについてもE・Wと同じように施水した。また、この期間には634mmの雨量があり、WとCでは表面流出量がほぼ完全に測定できた。Eについては測定できていない。したがって、Eの地下水流出量は他に比較して多く、Wについても表面流出量はCに比較して少なく、地下水流出量は多くなっている。これだけの測定結果ではWの表面流出量がCに比較して小さいのが植物の影響であると言い切れないが、茎や根が表面流の生起に関与していることを想像させられる。

4. 植物の成長を考慮した蒸発散モデル

4.1 植物の成長と蒸発散の関係

蒸発散量は植物の成長とともに増加することがこれまでの観測結果より十分に予想される。このような、植物の成長と蒸発散量との関係を表わすためには、まず植物の成長を表示することが必要である。ただし、これまでの観測では植物の成長過程を明らかにするものは測定されていない。そこで、ここでは1965年にKimballが提案したトウモロコシの成長曲線 (Fig. 5)(Mohr and Schopfer, 1999)を用いることにした。Kimballによると、トウモロ

Table 2 Water balance

Soil tank		Corn (Jul. 8~Sep. 7, 1999)			Cauliflower (Sep.7, 1999~Jan.7, 2000)			Corn (May 9~Jul. 12, 2000)			Broccoli (Aug. 28~Nov. 28, 2000)		
		E	W	C	E	W	C	E	W	C	E	W	C
Rainfall	(mm)	164.0	164.0	164.0	357.0	357.0	357.0	307.0	307.0	307.0	634.0	634.0	634.0
Irrigation	(mm)	155.0	155.0	0.0	130.0	130.0	0.0	95.0	95.0	0.0	90.0	95.0	90.0
Surface runoff	(mm)	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	115.0	328.0
Groundwater runoff	(mm)	58.2	57.0	60.9	145.3	136.3	198.0	83.8	72.1	171.7	252.9	184.7	166.7
Soil Storage	(mm)	13.5	27.8	20.8	-68.0	-52.1	-22.1	-45.2	-39.3	-9.2	6.3	10.4	9.3
Evapo-transpiration, etc.	(mm)	244.9	227.1	72.8	403.2	387.6	177.9	361.1	364.9	142.4	460.8	419.0	220.0
Weight of crops	(kg)	2.86	2.57	-	4.86	3.85	-	8.43	8.06	-	2.18	2.95	-
Dry weight of crops	(kg)	0.93	0.90	-	0.82	0.71	-	2.42	2.05	-	0.69	0.68	-

コシの成長期間は100日、乾燥重量80gとなっているが、われわれの観測では成長期間は64日、乾燥重量は2.1kgであった。両者の間にはかなり差があるので、Kimballによる曲線と我々の観測値を無次元化し、植付け後の日数に対応する乾燥重量 w_d を求めた。

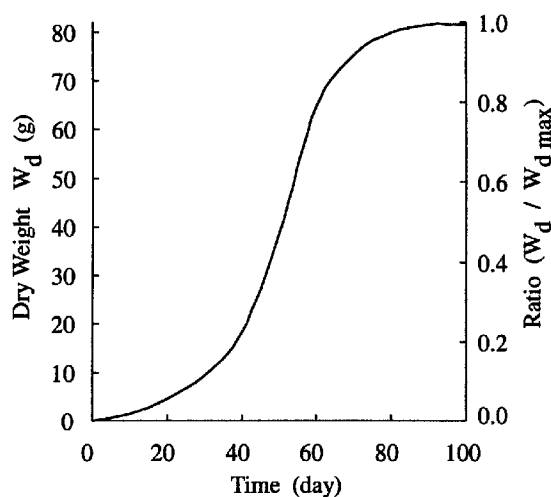
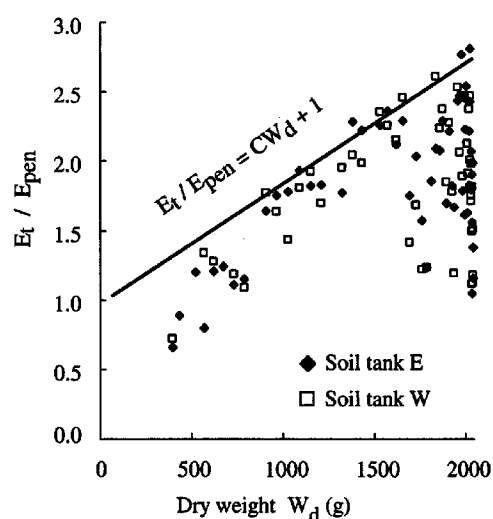
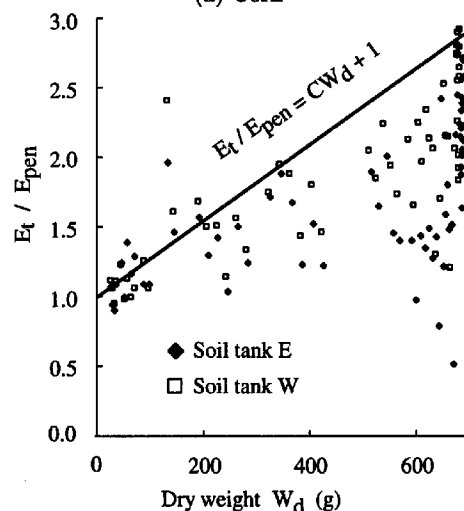


Fig. 5 Growth curve of corn

2000年5月9日~7月12日のトウモロコシの乾燥重量 w_d と蒸発散量との関係を Fig. 6(a) に示してある。なお、蒸発散量については、土壌槽の重量変化より得られる蒸発散量を Penman 法で求めた蒸発散量を用いて無次元化してある。また、Fig. 6(b)には同様にして求めた2000年8月28日~11月28日のブロッコリーの乾燥重量と蒸発散量との関係を参考までに示してある。Fig. 6(a)についてみると、乾燥重量ごとに蒸発散量は大きくばらついてい



(a) Corn



(b) Broccoli

Fig. 6 Relationship between E_t/E_{pen} and dry weight

るが、それらの最大値はほぼ1本の直線(1)式で表わされることに気付く。

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

ここに、 E_{tp} :可能蒸発散量、 E_{pen} :Penmanの可能蒸発量、 c :定数である。すなわち、成長段階に応じて、蒸発散量は、最大値でPenmanの可能蒸発量の2.6倍に達するが、根群域の土壌水分量などの影響を受けてそれ以下の蒸発散量を示す期間もかなり多い。Fig. 6(b)についても同様のことがいえる。成長曲線が異なるのでブロッコリー、カリフラワーについては問題があるが、(1)式の c を求めたところ、トウモロコシ、カリフラワー、ブロッコリーについてそれぞれ0.781, 2.20, 2.60 kg^{-1} という値を得た。

4.2 蒸発散量と根群域の土壌水分量との関係

これまでの検討結果より、蒸発散量は蒸散抑制がない時は(1)式で表わされる可能蒸発散量に近づき、蒸散抑制が大きくなるほど減少すると考えられる。蒸散抑制因子については現段階では明確ではないが、ここでは根群域の土壌水分量に着目する。

いま、植物の蒸散抑制を0から1の値をとる関数 ϕ で表わし、それは根群域の土壌水分量の関数で表わされるものと仮定すると、時々刻々変化する蒸発散量 E_t は(2)式で表わされる。

$$E_t = \phi(\Theta) E_{tp} \quad (2)$$

ここに、 Θ は根群域の平均土壌水分量であり、(3)式で表わされる。

$$\Theta = \frac{1}{l_r} \int_{l_r} \theta(z) dz \quad (3)$$

ここに、 $\theta(z)$:土壌水分量、 l_r :根群域の長さ、 z :鉛直座標である。 l_r は収穫時に実測したところ30cmという値を得ている。

$\phi(\Theta)$ を求めるためには、蒸発散量の他に土壌水分量を既知とする必要がある。土壌水分量についてはこれまでのところ測定していないので、(3)式と後述する(4)、(5)式を用いて試算により決定した。このようにして得られた $\phi(\Theta)$ 曲線をFig. 7に示してある。

5. 植物の成長を考慮した蒸発散・土壌水流动解析

(1)~(3)式で根群域よりの蒸発散量を求めたのち、Richards式(4)を用いて蒸発散・土壌水流动解析を行う。

$$C \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\} - S \quad (4)$$

ここに、 K :不飽和透水係数、 ψ :圧力水頭、 C :比水分容量である。 S は根群域単位深さあたりの吸水強度である。こ

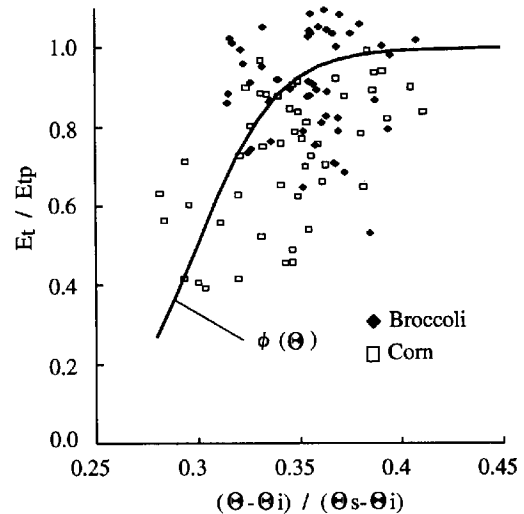


Fig. 7 Relationship between E_t / E_{tp} and soil moisture content in root zone ($\Theta_i = 0.010$, $\Theta_s = 0.357$)

こでは根からの吸水量は蒸発散量に等しいと仮定している。なお、 S は(1)~(3)式を用いて算出した蒸発散量を根群域中の土壌水分量を考慮して(5)式により再配分して決められる。

$$S = \frac{\theta}{\Theta l_r} E_t \quad (5)$$

本解析ではこれらの他にFig. 3の土壌特性、降雨量、施水量、Penmanの可能蒸発量が用いられる。ただし、地表面には難透水性被膜が形成されたので、表層1cmの透水係数をFig. 3のものを0.01倍して計算を進めた(岡・角屋, 1974)。

Fig. 8に2000年5月9日~7月12日のトウモロコシと2000年8月28日~11月28日のブロッコリーの解析結果を観測結果と比較して示してある。なお、図中の土壌槽重量は計算開始時を0として示してある。蒸発散量・地下水流出力ともに計算結果は観測結果をうまく再現しており、ここで示した手法および仮定の妥当性が認められる。

6. 物質移動

6.1 観測内容

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%含まれる元肥を土壌槽E, Wにそれぞれ1999年4月20日に1.0kg, 1.8kg, 2000年5月1日に1.0kg, 1.0kg, 2000年8月21日に1.0kg, 1.0kg投入した。さらに、追肥として1999年4月~2000年7月に窒素、リン酸、カリウム、マグネシウムをそれぞれ1.4g, 28.0g, 14.0g, 1.4g投入した。

Table 3に水質イオン濃度および地下水流出力を用いて

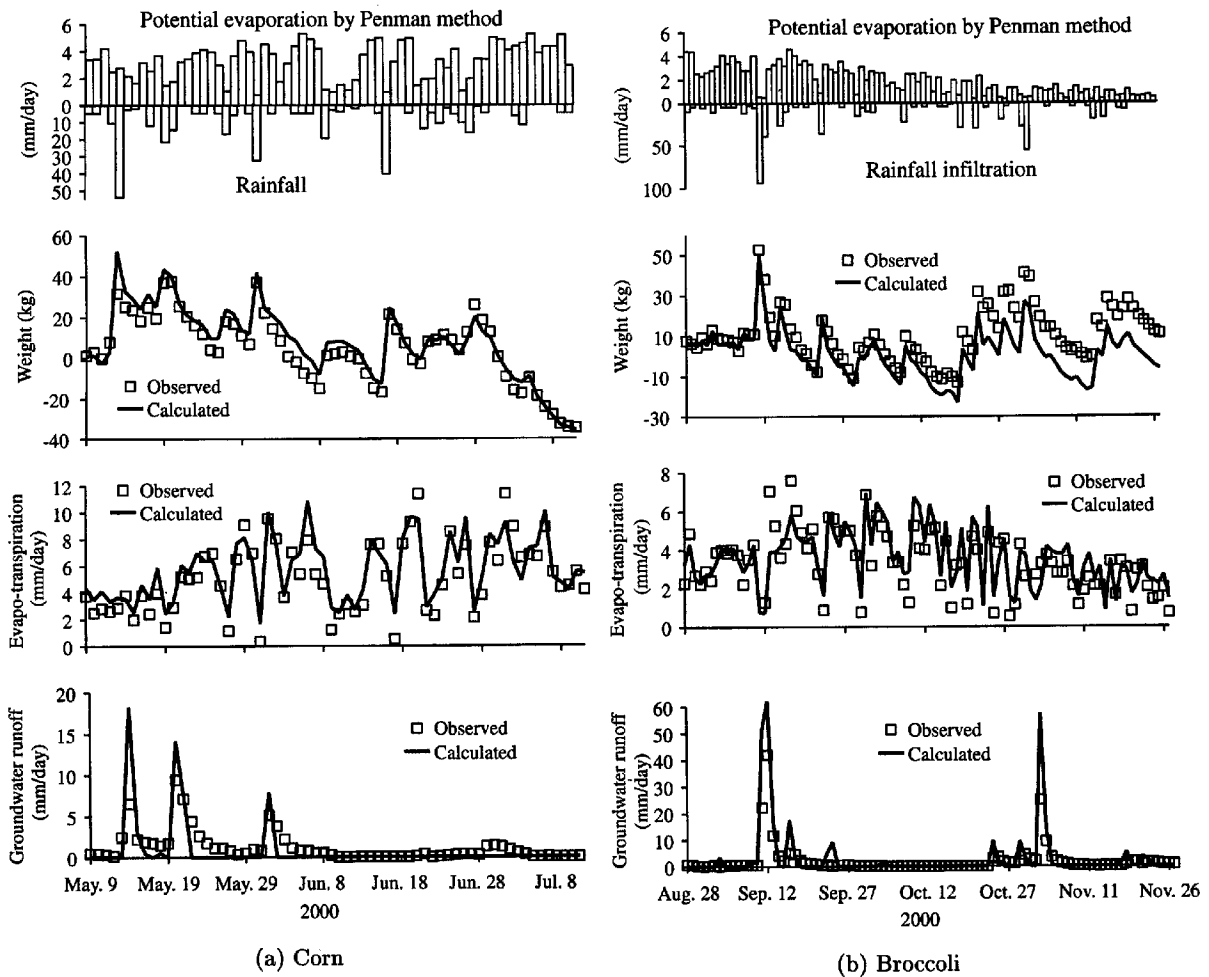


Fig. 8 Calculated results of evapo-transpiration and groundwater runoff

算出した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N, P, K, Mgの流出量はそれぞれ投入量の15.3, 1.1, 1.0, 4.5%であり、植物による吸収、土壌の吸着・分解量がいかに多いか分かる。

Table 3 Solute balance at soil tank W (Apr.1,1999～Jul.31,2000)

	Input (g)					Output (g)
	Basal fertilizer	Additional fertilizer	Irrigation	Rainfall	Total	
Na	0.0	0.0	5.5	1.0	6.5	6.9
K	168.0	14.0	0.7	0.2	182.9	1.9
Mg	420.0	1.4	2.7	0.3	424.5	19.0
Ca	0.0	0.0	6.6	1.1	7.7	90.4
P	358.0	8.9	0.9	0.0	367.9	4.0
Cl	0.0	0.0	5.5	1.2	6.7	5.2
N	168.0	1.4	0.1	0.5	170.0	26.1
S	0.0	0.0	3.2	1.1	4.4	20.7

6.2 移流分散解析

土壌槽Wに投入したMgについて移流分散解析を(6)式を用いて行った。

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

ここに、 C : Mgの濃度、 q : (4)式の計算で得られる土壌水のDarcy流速、 D : 分散係数である。 S_c は単位体積あたりの吸着量であり、ここでは複雑な吸着機構にふれず、土中水の濃度だけで吸着量が決定されるLangmuir式(7)を用いて推定した(中野, 1991)。

$$S_c = \frac{abC}{1+aC} \quad (7)$$

ここに、 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%(Mohr and Schopfer, 1999)であり、投入量に対して無視できる。

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。Table 4に示してある D , a , b を用いて行った計算結果と水質分析

結果との比較を Fig. 9 に示す。

いずれの計算結果も濃度は増加傾向を示したが、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。

Table 4 Values of parameters used in Eqs. 6 and 7

	D (m ² /sec)	a (m ³ /mol)	b (mol/m ³)
Case 1	1.0 × 10 ⁻⁶	0.8	15
Case 2	5.0 × 10 ⁻⁶	0.8	15
Case 3	5.0 × 10 ⁻⁶	0.6	20

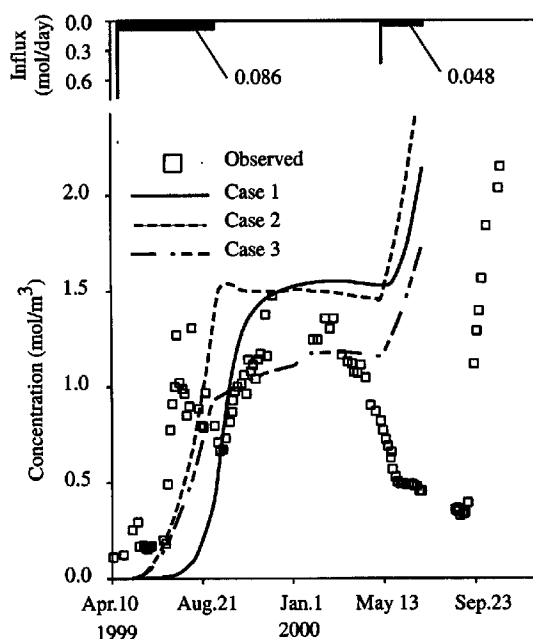


Fig. 9 Comparisons between observed and calculated concentration of Mg

7. まとめ

本報では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などの解明を目的として設置されたウェイングライシメータによる観測研究をまとめてある。

はじめに、ウェイングライシメータの構造、充填土壌などについて紹介した。次に観測結果、蒸発散モデル、土壌中の物質移動について検討した結果について述べた。得られた結論を要約すると次のとおりである。

1. 植栽を施した場合の蒸発散量は裸地の場合の3.3~2.0倍であり、植物による蒸散がいかに多いかが分かる。
2. 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。

3. 植物の成長を考慮した蒸発散モデルの作成を試みた。植物の成長曲線、根群域の土壌水分量と蒸発散量との関係が分かれば土壌水分分布及び蒸発散量の計算は一応可能である。しかし、植物の蒸発散は多くの因子が複雑に関係しているので今後再検討すべきところが多く残されていると言わざるをえない。
4. 1999年4月から2000年7月までの肥料主成分N, P, K, Mgの流出量はそれぞれ投入量の15.3, 1.1, 1.0, 4.5%であった。植物による消費と土壌の吸着・分解を考えるうえで基礎資料になる。
5. 土壌の吸着を考慮してMgの移流分散解析を試みた。吸着に関する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。

8. あとがき

本研究は、植物の成長と水循環、物質流動・収支の解明を目的として始められたが、緒についたばかりであり、必ずしも十分な結果が得られたとはいえない。今後、観測を継続して資料を集積するとともに、各種実験を併行して行い、流域の水循環・収支及び物質移動に関する基礎的なメカニズムを明らかにしていく予定である。

最後に、本ライシメータの建造には旧建設省近畿地方建設局京都国道工事事務所の方々に御尽力いただいた。ここに深甚より謝意を表す。また、研究を進めるにあたり、本学農学研究科間藤徹助教授、矢内純太助手より植物の栄養塩の吸収、土壌の肥料成分の移動について貴重な御意見をいただいた。今後の研究に参考とさせていただき予定である。さらに、角田吉弘研究支援推進員には作物の育苗・土壌の充填・観測に協力していただいた。これらの方々に謝意を表す。

参考文献

- 岡 太郎・角屋 睦 (1974): 裸地面斜面域における雨水の浸入と地下水流出(2)-流出モデルへのアプローチ-, 京都大学防災研究所年報, pp. 523 - 533.
- 岡 太郎・野口美具 (1980): 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.
- 田中賢治・池淵周一 (1994): 都市域・水体をも考慮した蒸発散モデルの構築とその琵琶湖流域への適用, 京都大学防災研究所年報, 第37号 B-2, pp. 299 - 313.

中野政詩 (1991): 土の物質移動学, 東京大学出版会, pp.1-189.
端野道夫・吉田 弘・加藤 徳・村岡浩爾 (1991): 数理モデルによる蒸散量抑制現象の評価, 水文水資源学会

要旨集, pp. 256 - 259.
Mohr, H., Schopfer, P. 著, 網野真一・駒嶺 穆 監訳 (1999): 植物生理学, シュプリンガーフェアラーク東京株式会社, pp. 1 - 598

The study of water balance during plants growth using weighing lysimeter

Taro OKA, Masayuki ISHII* and Hironori HIGASHI**

*Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

**Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

In order to investigate the water balance, rainfall infiltration, runoff, evapo - transpiration and solute transport during plants growth, a weighing lysimeter was constructed in 1998 in Ujigawa Hydraulics Laboratory. Hydrological observations have been carried on under the conditions of planted crops; corn, cauliflower and broccoli. This paper describes the detail of the lysimeter equipments, the water balance and the solute transport based on the observed results. Moreover, the simulation models of the evapo-transpiration and soil moisture movement are discussed using the growth curve of corn by Kimball and the relationships between the evapo-transpiration ratio and soil moisture content in root zone.

Keywords : Weighing lysimeter, Plant growth, Evapo-transpiration, Soil moisture movement, Solute transport