

圃場の水収支と水分動態

目的

TERC ルーチンデータならびに散水実験データの解析により、圃場における水の動きを定量的に把握するとともに、ダイナミックな現象として理解する。

内容

- ・ 熱収支・水収支の観測方法 - TERC 観測圃場の見学 -
- ・ 圃場の水収支 - TERC ルーチンデータを用いた解析 -
- ・ 蒸発散量測定手法の比較 - TERC ルーチンデータを用いた解析 -
- ・ 土壌中の水移動 - 散水実験データを用いた解析 -

1. 圃場の水収支

地表面水収支

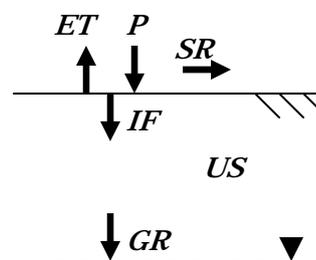
$$P = ET + IF + SR$$

(P : 降水量, ET : 蒸発散量, IF : 浸透量, SR : 表面流出量)

鉛直一次元不飽和帯水収支

$$IF = US + GR$$

(US : 不飽和帯水貯留変化量, GR : 地下水涵養量)



課題 1 TERC ルーチンデータの月平均値 (表 1) を用いて浸透量 (mm/day) を計算し、降水量・蒸発散量とあわせてそれらの季節変化を図示せよ。ただし、 $SR=0$ とする。

課題 2 地下水位の季節変化を図示し、浸透量との比較からどんなことが読み取れるか考察せよ。

課題 3 年間地下水涵養量 (mm/year) を概算し、年降水量・年蒸発散量と比較せよ。ここで、年間の水収支においては $US=0$ とみなす。

2. 蒸発散量推定手法の比較

ウェイングライシメータ法

$$ET = (W/t) / (\rho_w \times A) + P - DR$$

(W : 時間 t の間の重量減少量, A : ライシメータ上面の面積, ρ_w : 水の密度, DR : 排水量)

渦相関-熱収支法

$$LE = Rn - H - G$$

(LE : 潜熱フラックス (= 蒸発散), Rn : 正味放射量, H : 顕熱フラックス, G : 地中熱流量)

$$H = \rho_a c_p \overline{w'T'}$$

(ρ_a : 空気密度 (= 1.20 kg/m³), c_p : 空気の定圧比熱 (= 1005 J/kg/K), $\overline{w'T'}$: 鉛直風と温度の共分散)

課題 4 TERC ルーチンデータの 1 時間平均値 (表 2) を用いて渦相関-熱収支法により潜熱フラックスを計算し、ライシメータによる蒸発散量測定値と比較せよ。なお、単位は W/m² に統一すること。ここで、 LE (W/m²) = ET (mm/hr) $\times L / 3600$ であり、 $L = 2.453 \times 10^6$ (J/kg) とする。

課題 5 3 つの期間それぞれについて熱収支要素 (ライシメータによる測定値を含む) の日変化の図を作成し、それらの比較からどのようなことが読み取れるか考察せよ。

3. 土壌中の水移動

テンシオメータによる圧力水頭の測定

$$= - (x - x') + z + h'$$

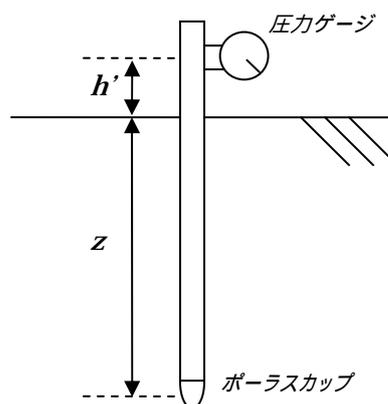
($$: 圧力水頭, x : テンシオメータ指示値,

x' : 圧力ゲージのゼロ点シフト,

z : 測定深度, h' : 圧力ゲージの高度)

水理水頭

$$= + (-z)$$



課題 6 散水実験の結果 (表 3) を用いて、圧力水頭の経時変化を図示せよ。

課題 7 複数の時期における水理水頭の深度分布図を作成し、土壌水の移動方向とその時間的変化を考察せよ。

表 1 2000 年の TERC ルーチンデータ (月積算)

Month	P (mm)	ET (mm)	IF (mm)	GWL (m)
1	61.0	42.3		-1.90
2	5.4	17.1		-1.93
3	65.2	43.5		-1.99
4	93.5	78.2		-1.74
5	223.5	111.3		-1.43
6	226.5	94.0		-1.49
7	168.9	142.1		-1.42
8	29.0	106.9		-2.00
9	187.0	48.6		-2.04
10	167.8	76.0		-1.67
11	88.0	90.3		-1.59
12	2.6	15.6		-1.84
Total				

GWL : 地下水面深度

表 2a 2000 年 3 月 20 日の 1 時間平均データ

Hour	$W'T'$	R_n	G	H	LE_{ee}	ET_{lys}	LE_{lys}
1	-0.0153	-40.7	-0.6	-18.5	-21.6	-0.02	-13.6
2	-0.0150	-35.5	-2.3	-18.1	-15.1	0.03	20.4
3	-0.0188	-59.4	-3.5	-22.7	-33.2	-0.04	-27.3
4	-0.0370	-72.8	-7	-44.6	-21.2	-0.01	-6.8
5	-0.0233	-59.4	-9.9	-28.1	-21.4	0.00	0.0
6	-0.0205	-61.1	-12.8	-24.7	-23.6	0.00	0.0
7	-0.0195	-16.3	-12.8	-23.5	20.0	0.07	47.7
8	0.0288	112.3	-7.6			0.08	
9	0.0908	252.6	2.9			0.06	
10	0.1913	339.3	15.7			0.12	
11	0.3505	393.4	25			0.04	
12	0.3005	456.3	28.5			0.09	
13	0.2398	318.4	30.2			0.03	
14	0.2795	412.6	26.7			0.09	
15	0.2073	292.7	23.8			0.00	
16	0.1803	204.3	17.4			0.00	
17	0.0818	42.5	9.9			-0.02	
18	0.0078	-85.6	2.3			0.05	
19	-0.0255	-97.2	-5.2	-30.8	-61.2	0.00	0.0
20	-0.0345	-82.6	-10.5	-41.6	-30.5	-0.01	-6.8
21	-0.0178	-68.7	-15.1	-21.5	-32.1	0.00	0.0
22	-0.0255	-67.5	-18.6	-30.8	-18.1	-0.02	-13.6
23	-0.0128	-59.9	-20.4	-15.4	-24.1	-0.03	-20.4
24	-0.0025	-57	-22.1	-3.0	-31.9	0.00	0.0

添え字 ee は渦相関-熱収支法、lys はライシメーター法を示す

表 2b 2000 年 5 月 29 日の 1 時間平均データ

Hour	WT'	Rn	G	H	LE ee	ET lys	LE lys
1	-0.0223	-54.7	-3.5	-26.9	-24.3	-0.01	-6.8
2	-0.0115	-46	-5.2	-13.9	-26.9	0.01	6.8
3	-0.0025	-33.8	-8.1	-3.0	-22.7	-0.04	-27.3
4	0.0003	-32	-11	0.4	-21.4	0.00	0.0
5	-0.0083	-23.3	-12.2	-10.0	-1.1	0.00	0.0
6	-0.0093	25.6	-11.6	-11.2	48.4	0.22	149.9
7	-0.0038	91.4	-5.2	-4.6	101.2	0.06	40.9
8	0.0328	419	3.5			0.19	
9	0.0895	551.7	15.7			0.29	
10	0.1483	696.7	28.5			0.36	
11	0.1880	765.9	44.8			0.44	
12	0.2393	775.8	57			0.55	
13	0.1980	787.4	57			0.55	
14	0.1058	615.2	50			0.45	
15	0.1285	582	40.1			0.40	
16	0.1105	425.4	32			0.62	
17	0.0353	246.2	23.3			0.22	
18	0.0020	63.4	14.5			0.11	
19	-0.0083	-47.1	5.8	-10.0	-42.9	0.00	0.0
20	-0.0235	-83.8	-1.7	-28.3	-53.8	0.03	20.4
21	-0.0240	-72.2	-4.1	-28.9	-39.2	0.03	20.4
22	-0.0203	-58.8	-6.4	-24.5	-27.9	0.01	6.8
23	-0.0175	-44.8	-9.9	-21.1	-13.8	-0.04	-27.3
24	-0.0173	-43.7	-12.8	-20.9	-10.0	0.00	0.0

表 2c 2000 年 8 月 23 日の 1 時間平均データ

Hour	WT'	Rn	G	H	LE ee	ET lys	LE lys
1	-0.0085	-15.1	0.0	-10.3	-4.8	0.00	0.0
2	-0.0093	-18.0	0.0	-11.2	-6.8	0.00	0.0
3	-0.0080	-25.0	-0.6	-9.6	-14.8	0.00	0.0
4	-0.0088	-22.1	-0.6	-10.6	-10.9	0.00	0.0
5	-0.0058	-8.7	-0.6	-7.0	-1.1	0.00	0.0
6	-0.0045	5.2	-0.6	-5.4	11.2	0.00	0.0
7	-0.0018	50.6	0.0	-2.2	52.8	0.03	20.4
8	0.0055	88.5	1.2			0.06	
9	0.0118	165.9	2.3			0.10	
10	0.0573	313.1	4.7			0.21	
11	0.0858	465.0	7.0			0.30	
12	0.1115	650.7	11.6			0.49	
13	0.0680	495.3	14.0			0.47	
14	0.0715	437.1	13.4			0.42	
15	0.0650	499.9	12.8			0.45	
16	0.0378	289.3	11.6			0.35	
17	0.0148	108.8	9.3			0.17	
18	-0.0053	9.3	6.4			0.07	
19	-0.0103	-30.8	4.1	-12.4	-22.5	0.04	27.3
20	-0.0100	-34.3	2.3	-12.1	-24.5	-0.01	-6.8
21	-0.0115	-22.1	1.2	-13.9	-9.4	0.00	0.0
22	-0.0085	-15.1	0.6	-10.3	-5.4	0.00	0.0
23	-0.0078	-13.4	0.0	-9.4	-4.0	0.01	6.8
24	-0.0065	-16.9	0.0	-7.8	-9.1	-0.02	-13.6

表 3 散水実験における圧力水頭・水理水頭の変化

z (cm)	h' (cm)	x' (cmH ₂ O)	x (cmH ₂ O)					(cmH ₂ O)					(cmH ₂ O)				
			t = 0 min	5 min	20 min	40 min	100 min	t = 0 min	5 min	20 min	40 min	100 min	t = 0 min	5 min	20 min	40 min	100 min
5	8	-10	65	20	10	5	10										
10	3	-15	60	5	0	0	0										
20	15	0	80	80	50	40	40										
30	15	-15	80	80	45	40	40										
50	15	0	100	100	100	80	80										
80	15	0	120	120	120	120	110										

付録 筑波大学陸域環境研究センター熱収支・水収支観測圃場の概要

高さ 30m の気象観測鉄塔



鉄塔の3高度(1.6, 12.3, 29.5m)に、気温計・露点温度計が、2高度(1.6, 29.5m)に超音波風速温度計が取り付けられています。

(A)超音波風速温度計



超音波を利用して三次元的な空気の動きと温度を捉えることができ、運動量と顕熱フラックスも観測しています。

(B)ウエイングライシメーター



地表面蒸発散量を測定するために、容器に土を詰め、それを地下室にセットした後、その表面を自然状態に復元して、蒸発散による水分減少量を直接重量測定します(高さ2m)。

熱・水収支観測システムの目的は、地表面における水と熱のエネルギーの交換の諸過程を長期連続観測によって明らかにしようとするところにあります。観測圃場は、北緯 36° 06' 35", 東経 140° 06' 00", 標高 27.0m に位置し、直径 160 m (面積約 20,000 m²) の円形で、その外周は圃場からの表層流出水を観測するためのコンクリート製の側溝に取り囲まれています。1975 年の観測開始時には、中心部が外周側溝の天端高度より約 0.5m 高くなるように盛土をし、1/160 の平均勾配で表層水が側溝に集まるように整地されていました。その後、1988 年に圃場土壌の転地換えを行い、現在ではほぼ平坦になっています。観測当初、地表面は牧草でしたが、現在は多種の雑草が混在する草原となっています。また、圃場内の植生を均一に保つための草刈りを毎年冬に行っています。圃場内は、蒸発散測定のためのライシメーターや高さ 30m の気象観測塔及び地下水水位観測井等の施設の他、本観測システムのための各種諸測器が配置され、測定値は研究棟のデータ収録室で記録・収録されています。

熱収支観測システムでは、超音波風速温度計で運動量と顕熱のフラックスを直接観測しているところが特色です。一方、水収支観測システムでは、秤量式(ウエイング型)ライシメーターによって高精度の蒸発散量を連続測定しているところに特色があります。以上のようにして、圃場内に入りする熱・水収支の各要素を、できるだけ独立した測器で計測し、得られたデータを資料集として刊行しています。

観測圃場で取得されたデータの一部は、「現在の気象・水文測定値」(1分ごとに更新)として、ホームページ上で公開しています。また、過去 20 年以上のデータもダウンロードして使用することができます。

リアルタイムデータ：http://hojyo.suiri.tsukuba.ac.jp/hojyo/terc_current_j.html

データベース：<http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/hojyo/database.html>