

自然教育園の水収支

(2) 蒸発量について

三寺 光雄* 菅原 十一** 当舎万寿夫***

Report on the Water Balance in the National Park for Nature Study

(2) Potential of the Evaporation

Mitsuo, Mitsudera.* Touichi, Sugawara** and Masuo, Tousha***

1. はじめに

われわれは、第1報(1977)で、園内における降水量と流出量の観測結果から、表面流出量の推定を試みた。更にその結果を小河内ダム上流におけるハビロ沢流域での表面流出量と比較し、自然教育園内の表面流出の特性について検討した。今回の調査では、園内の蒸発ポテンシャルを明らかにするため、蒸発計蒸発量によって、長期間の観測をおこなったので、その結果について報告する。

2. 蒸発観測の方法と問題点

潜熱輸送量は、水収支においては重要な成分の1つである。蒸発量の推定については、以前から多くの研究がある。陸上からの蒸発という場合、地面蒸発、水面蒸発があり、また、植物からの蒸散がある。したがって、総合的な蒸発量の推定はきわめて困難である。

調査対象である自然教育園内の蒸発面形態は、湿地、池、林地などが含まれており、地形的にも単純ではない。こうしたことを考慮すると、従来から提案されてきた気象要素の観測から間接的に推定する傾度法、また、直接法として知られている変動法などは、その特別な施設をしない限り、利用困難である。したがってここでは、園内の蒸発ポテンシャルを知ることにとどめ、測定には蒸発計(A—Pam)を使用し、水面蒸発量を直接測定することにした。蒸発計による蒸発量の測定は、一般には1日に1回、水深の変化を観測することによって、日蒸発量が計測される。今回、われわれが実施した蒸発量の観測では、蒸発量の時間的変化を明らかにし、気象要素との関連について明らかにしようとした。このような場合1日に1回の観測では適当ではなく、できれば10分、30分、1時間の単位で蒸発量を計測する必要があった。こうした目的のた

* 広島大学総合科学部
Hiroshima University, Faculty of Integrated Arts and Sciences

** 国立科学博物館付属自然教育園
National Park for Nature Study, National Science Museum

***気象研究所
Meteorological Research Institute

め、水深の変化を精度よく観測することが必要になってくる。

蒸発計による蒸発量の観測では、水深変化による方法、重量測定による方法などがある。これらの方法は、日単位の蒸発量を知る程度の精度しかない。今回使用した方法は、蒸発によって塩分濃度が変化することが知られており、逆に、塩分濃度の変化量を取りだすことによって、蒸発量を知ることができる。塩分濃度の観測には、誘導型塩分計を利用した。この方法によると、30分単位の観測が可能である。厳密には、塩水と淡水による蒸発のちがいを考えなければならないが、その問題については、事後において検討する予定である。ここでは、淡水蒸発との差が大きくならないように、計測器測定範囲での小さい濃度で観測した。

3. 日蒸発量の長期観測結果と考察

自然教育園における雨水の配分機構を図1で示した。このモデルについては、第1報で提案したものであるが、今回は、図中で示される雨水の配分機構のうちT（蒸発散量）について、大まかな見積りを得るために、水生池の中央付近に蒸発計を浮べ（図2）、長期間にわたって蒸発量の観測をおこなった。

観測結果は表1の通りである。

観測期間は、1978年の5月から11月までとし（観測は継続されている）、日蒸発量は毎日10時に観測をおこないmm単位で表した（したがって1日の蒸発量は10時から翌日の10時までの値である）。図3は、日蒸発量の変化と日射量、日最高気温の関係を同一図に示した。

図中では、日蒸発量のほか、1日のうちの日射量の最大値と日最高気温の値をプロットしてある。この図からもわかるように、日蒸発量の推移は、6月から7月の間に最大値がみられ、7月下旬から減少の傾向を示し、日蒸発量と日射量の相関はかなり高いことがわかる。冬期間の資料がとれていないので、年間の値について推定するのは無理であるがいまままでの資料から冬期の日蒸発量は、0.3 mm 程度が考えられる。こ

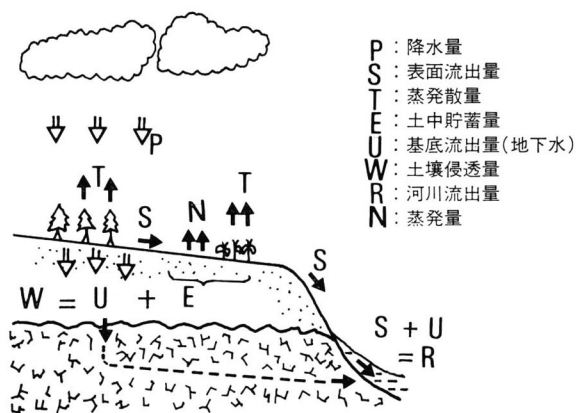


図 1. 雨水の配分機構

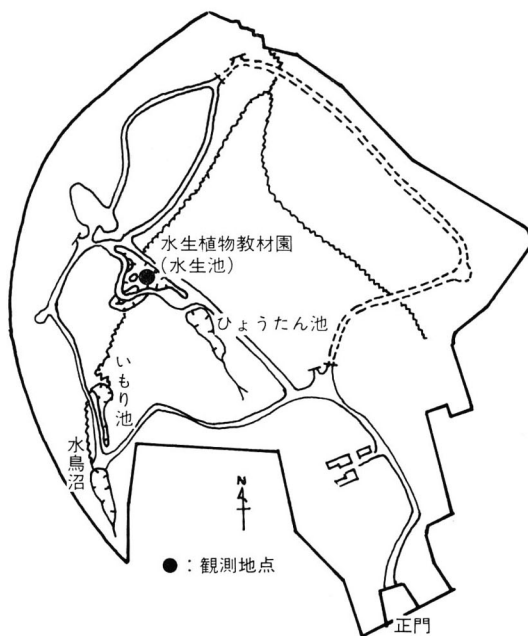


図 2. 水面蒸発観測地点

表 1. 水面日蒸発量観測結果 (1978.5月~11月)

日付	5月				6月				7月				8月				9月				10月				11月							
	蒸発量 (mm)	降水量 (mm)	日中 天気	最日射 大量	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	蒸発量 (mm)	降水量 (mm)	日中 天気	最日射 大量	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	蒸発量 (mm)	降水量 (mm)	日中 天気	最日射 大量	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	蒸発量 (mm)	降水量 (mm)	日中 天気	最日射 大量	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	蒸発量 (mm)	降水量 (mm)	日中 天気	最日射 大量	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)		
1	2.0	●	0.60	22.6			0	○	25.6	0	22.0	●	23.8			29.6	29.6	2.9	0	○	1.20	24.0	0	○	0.96	22.0	0	○	0.96	22.0		
2	3.0	○	1.40	27.4			0	○	26.0	2.0	0	○	29.4			34.0	34.0	2.4	0	○	1.12	21.4	1.0	○	1.00	20.2	0	○	1.00	20.2		
3	2.7	○	1.44	22.6	0.6	11.5	○	○	28.0	2.2	0	○	30.8			31.6	31.6	1.4	0	○	1.04	26.6	0	○	0.92	18.0	0	○	0.92	18.0		
4	3.1	○	1.20	24.0	0	26.0	●	○	28.0	3.5	0	○	33.0			31.8	31.8		3.4	○	0.92	25.6	0	○	0.92	17.0	0	○	0.92	17.0		
5	3.1	○	1.20	25.4	2.6	0	○	○	27.4	3.2	0	○	32.0	3.8	0	○	33.6			0.5	●	0.18	20.0	0	○	1.00	20.0	0	○	1.00	20.0	
6	7.0	○	0.46	17.8	2.5	0	○	○	26.0	4.7	0	○	34.0	3.8	0	○	34.4	2.0	0	○	1.56	26.6	0	○	0.84	20.8	0	○	0.84	20.8		
7	8.5	●	13.2	3.4			3.4	○	1.44	25.0	4.4	○	33.2	3.8	0	○	34.0	2.6	0	○	1.44	25.8	0	○	1.20	19.0	0	○	0.84	19.2		
8	4.5	○	20.0	4.0	0	0	○	○	1.44	27.0	0.8	3.0	1.29	33.0	3.2	0	○	3.0	0	○	1.34	25.8	0	○	1.40	18.0	0	○	0.80	21.0		
9	4.0	●							1.28	28.0	1.2	0	1.72	31.8	3.6	0	○	1.16	33.6		1.20	28.8	11.0	○	1.24	20.0	0	○	0.76	22.0		
10	2.5	●	0.48	21.0	4.1	0	○	○	1.55	28.8	1.2	13.0	1.68	31.2	3.6	0	○	32.0	9.0	○	1.12	32.6	0	○	1.52	20.0	0	○	1.48	16.4		
11	18.0	○	0.22	19.2	2.2	0	○	○	1.76	26.8	2.9	0	1.44	30.2	3.6	0	○	1.80	33.2	32.0	0.44	25.0	0.4	0	1.06	22.0	0	○	0.92	16.8		
12	2.7	○	1.33				4.5	○	1.20	26.0	3.0	0	1.52	31.0	2.8	0	○	1.40	34.2	18.5	0.28	19.2	2.1	0	1.12	22.8	0	○	0.46	16.2		
13	3.3	○	1.44				3.4	○	1.77	26.4	4.4	0	1.50	30.6	3.2	0	○	1.20	34.6	5.5	0.36	18.4	2.7	0	0.92	18.8	0	○	12.5	●	0.12	13.4
14	3.2	○	1.36				3.0	○	1.32	28.0	2.9	0	1.60	30.0	3.2	0	○	1.32	34.4	0.5	0.48	20.0	1.6	0	0.98	18.2	0	○	0.88	17.6		
15	3.2	○	1.52				0.6	○	1.35	29.6	3.8	0	1.48	31.0	3.1	0	○	1.56	34.6	0	0.98	23.2	0	○	0.28	14.4	0	○	0.84	21.2		
16	0	○	1.36	25.4			0	○	1.98	30.0	3.6	0	1.44	31.6		○	1.42	35.2	0	19.0	●	0.24	22.0	2.4	0	1.80	21.6	0	0.5	○	0.84	18.0
17	2.0	○	1.56	26.0			2.0	○	1.58	30.8	3.6	0	30.0		○	1.60	31.2	2.0	0	1.32	28.4	2.4	0	1.40	20.8	0	6.5	●	0.44	13.0		
18	76.0	○	1.52	23.0	3.6	0	○	1.40	32.0	4.0	0	○	31.4		○	1.32	28.8	2.0	0	1.80	29.0	2.7	6.0	1.00	21.6	0.6	3.0	○	0.80	17.6		
19	1.5	●	0.88	22.6	3.6	1.0	○	1.84	30.6	3.4	0	32.4		○	1.40	31.8	1.1	0	1.36	27.6	29.0	0.37	17.2	0.6	0	0.84	17.8	0	○	0.92	17.8	
20	0	○	1.00	21.6	5.1	0	○	1.68	32.4	3.4	0	31.8		○	1.40	32.6	1.1	0	1.16	27.8	0	1.20	19.2	0.6	0	0.84	17.8	0	○	0.80	17.0	
21	2.8	○	1.40	26.8	3.5	2.5	○	1.78	31.8	4.1	0	29.8		○	1.24	34.8	1.0	0	0.36	23.2	0	1.28	19.0	0.6	0	0.80	17.0	0	○	0.96	15.0	
22	2.7	○	1.45	24.6	2.7	11.0	○	1.88	30.2	3.3	0	33.8		○	1.30	36.0		0	1.44	25.2	0	1.04	19.2	0.6	0	0.96	15.0	0	○	1.08	16.4	
23	1.7	○	1.32	25.2	0	28.0	●	0.44	24.4	3.3	0	34.0	4.0	○	1.28	36.0	1.4	1.5	1.20	22.0	0	1.00	21.2	0.3	0	0.92	14.6	0	○	0.92	14.6	
24	3.7	○	1.56	25.0	0	1.0	○	1.00	25.0	7.7	0	34.0	2.8	○	1.32	31.0	1.4	0	1.16	26.2	0	1.05	21.0	0.7	0	0.78	14.8	0	○	0.92	14.8	
25	2.3	○	1.28	25.0	0	5.5	○	1.46	27.0	2.3	0	34.0	2.8	○	1.32	31.8	1.4	0	1.12	25.8	0	0.74	20.0	0.7	9.5	○	0.96	15.0	0	○	0.96	15.0
26	3.4	○	1.32	26.2	0	1.0	○		26.2	2.3	0	34.6	2.8	○	1.20	32.4	1.1	0	0.60	22.6	0	0.88	22.6	0	8.5	●	0.28	14.0	0	○	0.96	14.0
27	0	○	1.28	27.4	0	6.0	●		24.2		0	34.6	2.8	○	1.00	31.6		4.5	0.60	20.0	30.5	0.66	17.0	0.7	0	0.62	18.0	0	○	0.80	16.4	
28	0	○	1.29	27.2	0.8	1.0	●	22.0			0	35.0	3.1	○	33.4	0	33.6	0	16.5	0.25	17.4	0.5	1.04	15.4	0.7	0	0.80	16.4	0	○	0.80	16.4
29	10.5	○	1.16	25.0	2.2	0	○	27.0			0	34.2	1.4	○	33.6	0	33.4	0	0	0.65	21.0	0	1.30	16.8	0.7	0	0.80	16.2	0	○	0.80	16.2
30	2.0	○	17.8	0.8	4.5	○	29.4				0	○	33.8	1.4	○	32.2						0	0.92	16.4								
31	0	○	22.8								2.5	●	33.8	1.4	○	22.0						0	0.92	16.4								
合計	136.5						105.5				41.0						22.0															

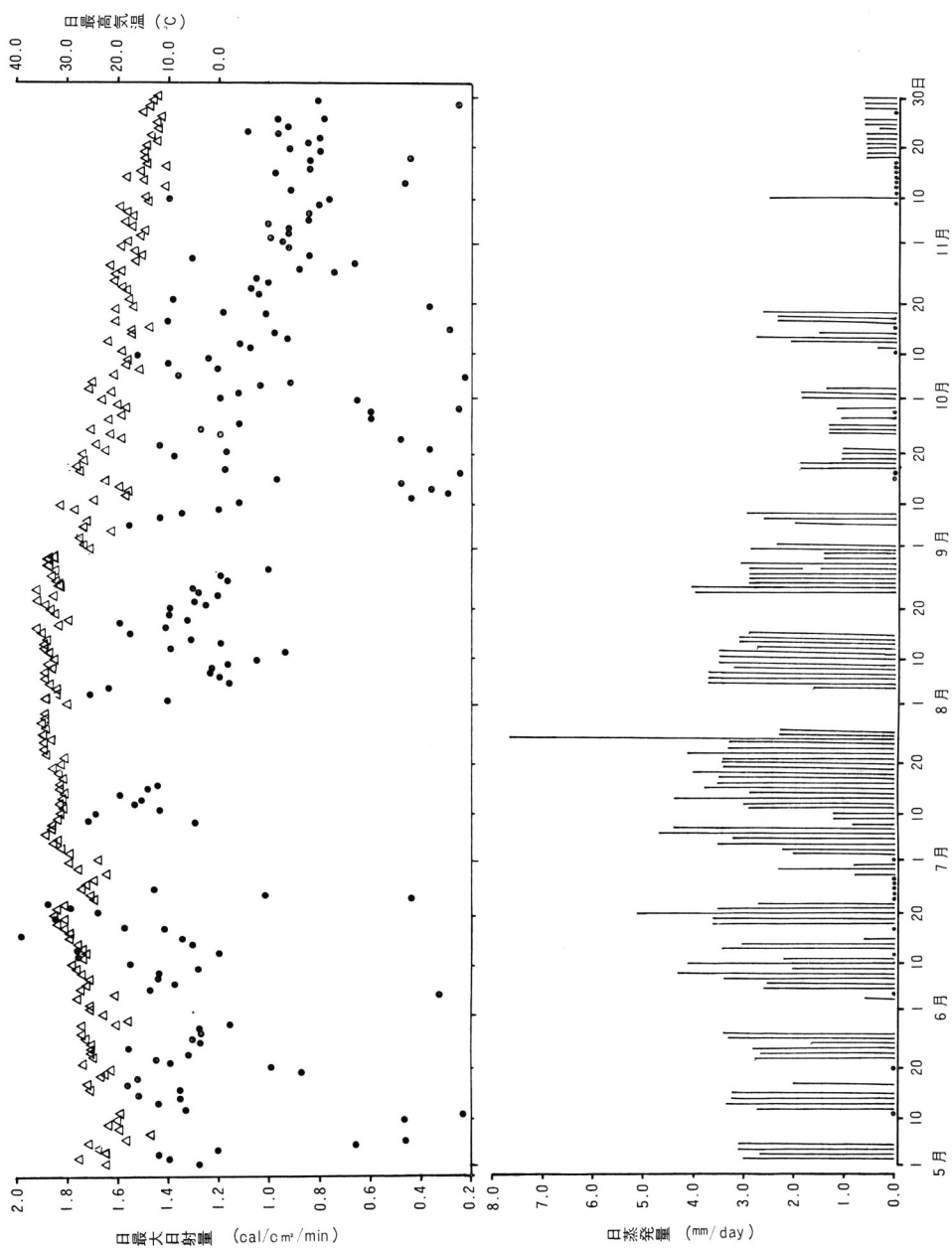


図 3. 水面日蒸発量の月変化 (1978.5月~11月)

Δ : 日最高気温
●: 日最大日射量

の値については、観測を継続しているので、その結果をまちたい。

表2は、5月から11月までの日蒸発量を天気別に整理し、その値をもとに、月蒸発量を算出したものである。天気は快晴(○)と晴(①)を一括し、曇(◎)と雨(●)を一括した。この場合、曇天と雨天は蒸発現象に対しては本質的に異なる。整理の仕方としては、蒸発に関与する気象要素別(例えば日射、気温、風速、湿度、天気別)に統計することが望ましいが、今回はとりあえず表1のように整理をおこなった。この

表 2. 水面月蒸発量 (1978.5月～11月)

月 別	日中の天気	日 数 (日)	日平均蒸発量 (mm)	天気別蒸発量 (mm)	月合計蒸発量 (mm)	月降水量 (mm)	蒸 発 率 (%)
5 月	○ ① ◎ ●	7 } 14 7 } 11 } 17 6 }	2.88 1.90	45.78 44.20	72.62	136.5	53
6 月	○ ① ◎ ●	9 } 21 12 } 3 } 9 6 }	2.97 0.40	62.37 3.60	65.97	105.5	63
7 月	○ ① ◎ ●	15 } 29 14 } 3 } 4 1 }	3.55 1.10	102.95 4.40	107.35	41.0	262
8 月	○ ① ◎ ●	23 } 28 5 } 2 } 3 1 }	3.15 1.54	88.20 4.62	92.82	22.0	424
9 月	○ ① ◎ ●	2 } 9 7 } 16 } 22 6 }	2.05 1.08	18.45 23.76	42.21	126.5	33
10月	○ ① ◎ ●	4 } 16 12 } 14 } 15 1 }	2.05 1.00	32.80 15.00	47.80	132.5	37
11月	○ ① ◎ ●	13 } 18 5 } 9 } 12 3 }	0.46 0.28	8.28 3.36	11.64	60.5	17

表 3. 気象概況 (1978.5月～11月)

平年値：1968～1977年平均値

月		5	6	7	8	9	10	11	平 均	合 計
最高気温	本年	22.2	27.7	31.4	32.6	24.4	17.9	17.4	24.8	
	平年	23.2	25.6	29.8	30.9	26.0	20.3	17.3	24.7	
最低気温	本年	13.9	20.2	24.8	24.8	18.4	12.8	10.0	17.8	
	平年	13.7	17.5	22.3	24.1	18.1	12.6	6.6	16.4	
降雨日数	本年	10.0	10.0	5.0	2.0	13.0	9.0	7.0		56.0日
	平年	7.0	12.0	8.7	8.4	10.2	8.0	6.6		61.6日
降 雨 量	本年	138.5	101.5	43.0	24.5	126.5	130.0	60.5		624.5mm
	平年	119.9	131.9	140.9	161.3	194.2	125.4	69.3		942.9mm

結果によると、1978年の5月から11月までの間、総蒸発量（蒸発計蒸発量）は約 440.41 mm に達しており、この期間における降水量との比では71%となっている。もっとも、1978年の7月12日から30日の19日間及び8月4日から9月3日までの31日間が無降水で、例年ではこの期間の無降水期間は約2週間程度であり、1978年の夏期は例年と若干異なっている。表3は、1978年5月から11月までの自然教育園における最高気温、最低気温、降雨日数、降雨量と平年値との値を示した。図4は、1978年の降雨量及び降水日数について図化し、平年値と比較したものである。図5は、気温について図化したものである。

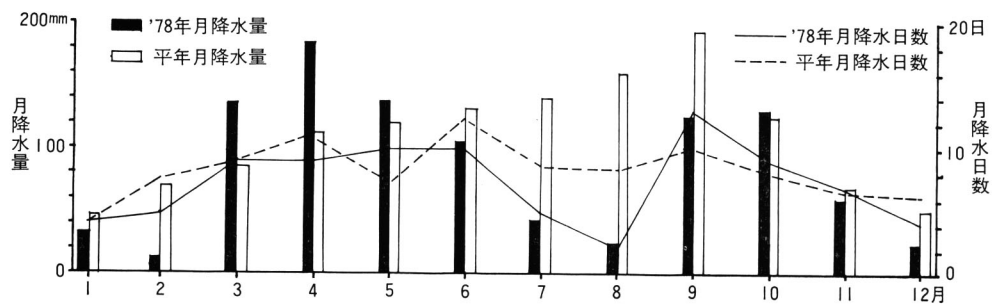


図 4. 降水量の状況（平均値：1968～1977年平均値）

4. 日中の蒸発量観測結果と考察

蒸発量の推定は、時間単位のとり方で、推定方法を異にするのが現状である。蒸発現象は物理過程であるし、本質的には統一した推定方法が可能であると思われるが、今の段階では、もっぱら実用的な面から推定方法が提案されている。

われわれは、蒸発量と気象要素との関係を明らかにするため、30分単位で蒸発量を計測し、気象要素について同時観測をおこなった。表4は、1978年8月23日の日中における蒸発観測の結果である。蒸発観測は、

表 4. 日中の蒸発量観測結果（1978年8月23日）

時 刻	蒸 発 量 (mm/30分)	純放射量 (cal/cm ² .min)	水面温度 (°C)	水 面 上 5 cm				
				乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	湿 度 (%)	飽 差 (mb)	風 速 (m/sec)
11：30	0.232	0.840	36.0	34.2	22.8	37	35.2	1.2
12：00	0.242	0.865	37.5	33.6	23.1	40	32.2	0.9
12：30	0.281	0.658	37.5	33.9	25.8	53	26.5	2.4
13：00	0.246	0.702	36.0	33.2	24.4	48	27.4	3.1
13：30	0.201	0.689	34.5	33.2	24.6	50	26.9	2.8
14：00	0.208	0.665	—	32.8	24.8	52	24.9	2.6
14：30	0.177	0.563	32.5	33.0	24.5	50	26.4	2.4
15：00	0.184	0.483	32.5	32.0	24.2	52	23.7	3.2
15：30	0.169	0.360	32.0	31.9	23.4	48	25.3	2.4
16：00	0.150	0.268	30.5	30.8	22.7	50	23.4	3.7
16：30	0.123	0.215	29.5	—	—	—	—	—

誘導型塩分計を使用し、蒸発量の塩分濃度変化による換算法によった。また各気象要素については、示差輻射計で測定した純放射量、赤外線放射温度計で測定した蒸発計における水面温度、微風計（アネモスター）で測定した風速などの同時観測値である。また、このほかに、エバポリメーターを使用して、A—Pamの水面から5 cm 層での観測もおこなった。

蒸発量と各気象要素の同時観測値からそれぞれについて相関を求めた。気象要素のうち、相関の最も高いのは、赤外線放射温度計による水面温度と蒸発量 (mm/30 min) の相関 ($r : 0.90$) であった (図6)。次に相関の高いのは、純放射量 ($r : 0.84$) であった (図7)。この他、水面周辺の飽差、水面周囲の水蒸気圧と水面から鉛直方向に 100 cm の高さでの水蒸気圧との差および風速との相関は小さかった。

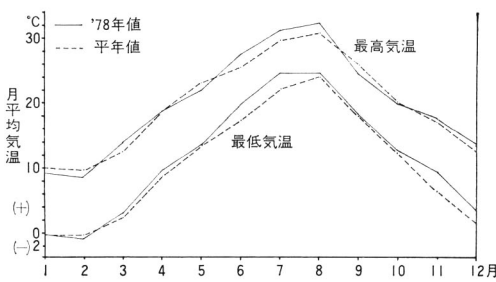


図 5. 気温の状況 (1978.1月～12月)

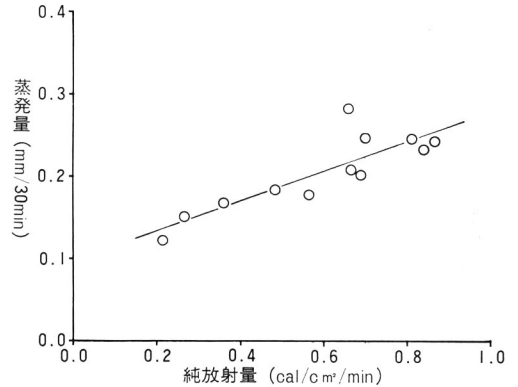


図 7. 蒸発量と純放射量の相関

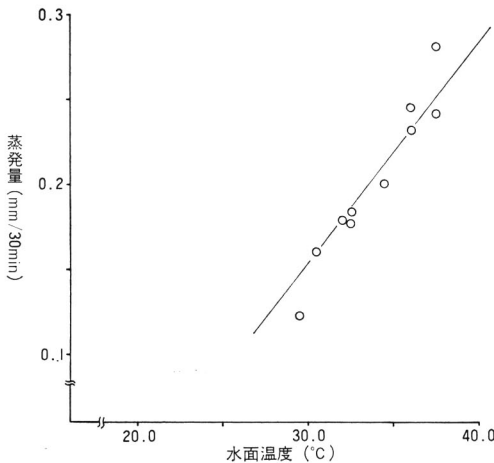


図 6. 蒸発量と水面温度の相関

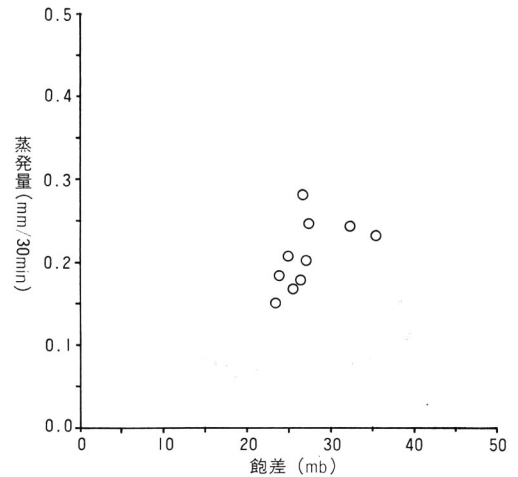


図 8. 蒸発量と飽差の相関

ま と め

われわれは、自然教育園内の水収支について調査を試みているが、前回は、降水量と流出量の観測から、基底流量(U)を推定し平均的にみると2～3トン/10分の値であり、この値は年間降水量(1,200 mm)の約30%であるとして。今回の調査では、第1図における雨水の配分機構のうち、蒸発散量(T)の推定を試みようとした。Tの値は、蒸発と蒸散を含んでおり、その推定は困難であるが、水面蒸発が一応の目安と

考えられるので、蒸発量の観測を年間を通じておこなった。その結果、水面蒸発量は、この期間における総降水量の71%に達し、かなりの雨水が消費されていることがわかった。但し、観測年(1978年)の夏(7, 8月)は無降水期間が長く、降水量が少ないなど、例年と若干異なった気象状況であった。参考までに、水面蒸発量(1978年5月~11月)は、平年降水量942.9mm(1968~1977年の5~11月平均)の約47%である。

水収支に関しては、今後も継続して、流出量の観測、蒸発量の観測、土壌水分(E)などについて観測を実施する必要がある。

なお、今回の塩分濃度測定については、気象研究所、葛城幸雄研究官の多大なご協力をいただいた。ここに記し感謝する次第である。