

壤土面及び砂面からの水の蒸発に 及ぼす風速の影響について

金光達太郎・久保田治夫・荒川 稔

The Influence upon the Evaporation from the Surface
of Loam and Sand, by the Velocity of the Wind
TATUTARŌ KONKŌ, HARUO KUBOTA and MINORU ARAKAWA

I. ま え が き

壤土面や砂面からの水分蒸発量がその表面の形状、含水量、空隙率、日射量、気温、湿度、気圧等、及び風速の函数であることは当然のことであるが、ここではこれらの factor の中の風速をとりあげて、風速と蒸発量との函数関係を調べることにした。

研究を行うにあたって、次の3点について特に注意をはらつた。

- (i) 土壤面上を流れる風をなるべく自然状態の静かな流れに近づけること。
- (ii) 土壤の空隙率と含水比を毎回一定に保つこと。
- (iii) 土壤の表面の状態を常に同程度のなめらかさに保つこと。

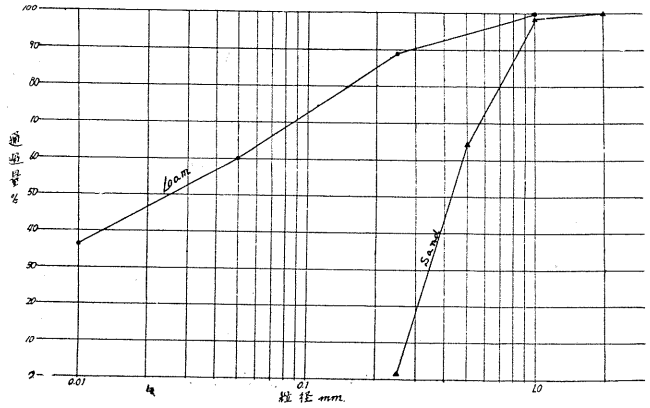
II. 実験材料

この実験には砂土1種、壤土1種を用いた。砂土は霞
第1表 供試土壤の物理的性質

	真比重	仮比重	空隙率
砂 土	2.66	1.40	48.1%
壤 土	2.36	0.75	68.2%

第 2 図

第1図 供試土壤の粒度曲線



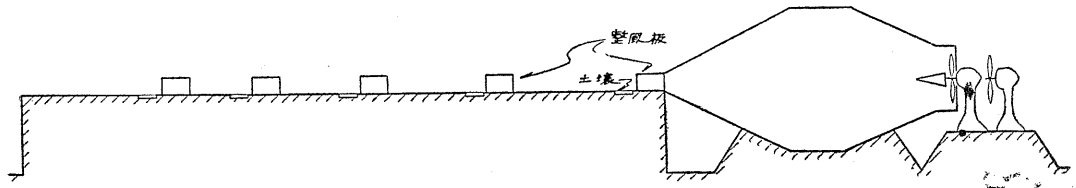
ヶ浦西岸土浦市大岩田町地内より採取したものをよく水洗して有機物及び微粒子を除いたものを使用した。

壤土は茨城大学農学部農場の表土を採取し、1 mm の篩にかけて石塊、枯草などを除いたものを使用した。

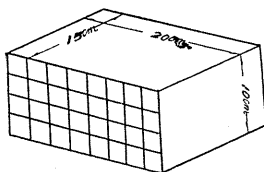
砂土及び壤土の物理的性質及び機械分析の結果は次の通りである。

III. 実験装置

〔送風装置〕 プロペラ型扇風機或いは渦巻型送風機より流出する風は羽根の回転の影響により甚しく乱れてお



第3図



り、自然状態の弱い風のなめらかな流れとは流体としての性質を異にしている。特に扇風機より吹出す風は回転軸を中心として螺旋状に進行するため、場所によつて土壤面

に正圧を与えたり負圧を与えたりする。

この実験ではこれらの影響を除くために、航空機実験用の風洞の理論を応用して第2図のような整流装置を作り、扇風機から流出する風を一度び大断面にひろげて風速を下げ、再びこれを小断面に収縮し更にこれを第3図のような整流板を通過させて水平板上に平行に流した。

この気流の状態を確かめるために、四塩化チタンの白

色煙を流して検してみたが、極めて整然たる平行流線を画くことがわかった。

動力としては 12 inch の扇風機 2 基をシリーズにらべ、整風装置の出口で 3.8~4.2 m/sec 程度の風速を出すことができた。

この流れを途中で適度に弱め、大は 4 m/sec、小は 0.5 m/sec 附近に至る 5, 6 段階の風速を、限られた距離内に作り出すために、途中 3~4 ケ所に整流板を置いたが、これは途中で気流が乱れるのを防ぐにも役立つ。

〔土壌の置き方〕 土壌は内径 70 mm、深さ約 17 mm のシャーレーに水平になるよう一ぱいに入れ、これを適当な風速間隔になるよう風の強い場所から流れに沿って順々に 5~6 箇配列した。この際シャーレーを水平板上にそのまま置くとこの部分が凸出し、シャーレー表面上に渦を生じ、負圧を発生するおそれがあるから水平板にシャーレーと同型の穴を穿つてこの中にシャーレーを埋めるようにした。

〔土壌の含水量〕 この実験ではシャーレー内の土壌水分が実験中に次第に蒸発して減少する。この含水量の変化は蒸発量に影響を及ぼすようになってくる。

しかし、含水量の変化が蒸発量に大きく影響するのは含水量の小さいときで、飽水率（水が土壌空隙を満たす率）が 70~90% の範囲ではこの影響は比較的小である報と告されている¹⁾。

この実験ではこの点を考慮して土壌にいつも 80% 附近の飽水率を与えて実験することにした。

IV. 実験方法

壤土は空隙率を 8.2%, 飽水率 80% 内外にして 100 分間風に当てる実験を

1953 年 10 月 8 日~10 月 16 日に 11 回

1954 年 11 月 4 日~11 月 5 日に 4 回

合計 15 回繰返し、

砂土は空隙率 47%, 飽水率と同じく 80% 内外として 60 分間風に当てる実験を

1954 年 1 月 8 日~2 月 11 日

に 11 回繰返した。

〔土壌のつめ方〕 土壌に所定の含水比を与えることはさして困難ではないが、常に同一の空隙率と表面状態を与えること、及びシャーレー内の土壌の各部分に水を均等に分布させることには非常に困難を感じた。

シャーレー内に土壌を入れた後に水を与えることは空隙率、表面状態に変化を与える結果を招き、又方法を変えて、定量の水を含んだ土壌をシャーレーに入れようとするれば、そのつめ方によって空隙率に変化を来し、表面のしめり具合の異つたものができやすい。

そこで本実験では、先ず前もつて各シャーレーの容積を正確に測定し、土壌がその容積を所定の空隙率と飽水率を以つて充たした場合を想定し、その状態に於ける土壌の含水比 α 、及び水を含めた重量 G を計算によつて求めておく。次に、同じ土壌をホローバットに多量にとり、水を加えて含水比を α とし、約 10 分間置いて水分を均等に行きわたらせた後、この土壌をさきに求めた重量 G だけを秤量してこれをシャーレー内にすれすれ一ぱいになるまで押し込み、ヘラで表面を撫でて平らにした。この秤量では上皿天秤を用いて 1 g の 1/2 程度までを測定するに止めた。

〔測定方法〕 土壌を入れたシャーレーは実験直前に化学天秤で 1 g の 1/1000 まで秤量し、秤量の終つたものから順次所定の位置にはめこんで風に当て、一定時間後それぞれ秤量してその差を計算してその時間中の蒸発量とし、実験を終えた土壌は 110°C で乾燥した後秤量し、後に正確な空隙率、飽水率を算出するための資料とした。

風速は 3 inch のピラム型風速計を用いて各シャーレーの位置で各実験毎に前後各 1 回測定した。その 2 回の測定値の間には最大 0.07 m/sec の差を生じたが、この二者の平均を採用することにした。

気象条件としては参考のため室内の気温、湿度、気圧を観測した。

実験室はコンクリート壁に囲まれ、北向きのため室内の温度、湿度は急変せず、100 分の実験時間中に変化した最大の記録は気温 0.5°C、湿度 2% であつた。又、全実験時間中を通じての室内気温は 2.9~20.6°C、湿度は 59~89% であつた。

V. 実験結果

実験の結果は第 4 図及び第 3~28 表の実測値の欄に示した通りである。曲線に附した記号 S は砂土、L は壤土を表わし、番号は実験番号を表わす。

VI. 考察

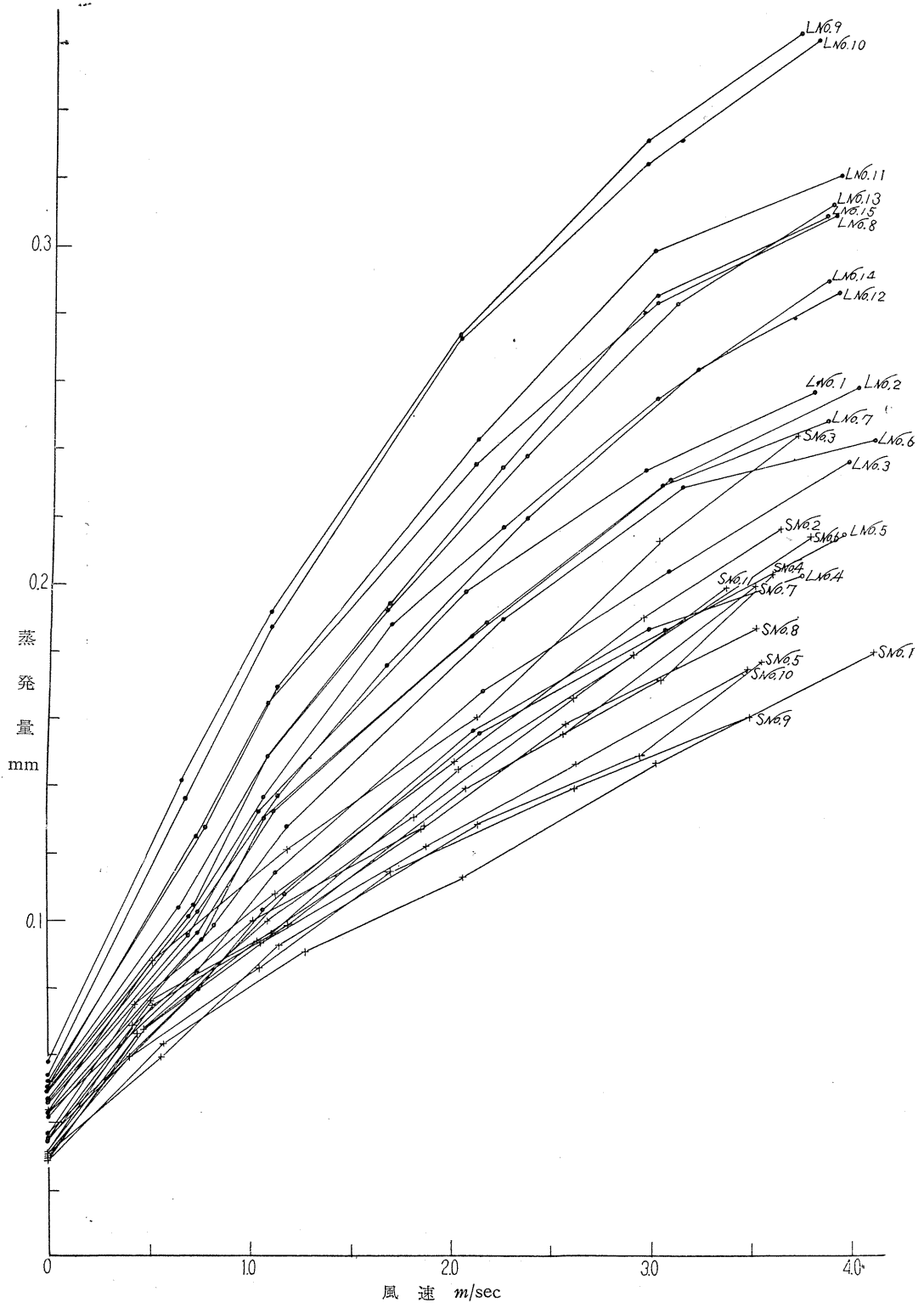
第 4 図を眺めてみると大部分の曲線が縦軸に関して相似の性質を有しており、それぞれの曲線を縦軸の方向に伸縮すれば何れもほぼ同じ形になるのではないかということが考えられる。

そこで計算を行つてこのことを詳しく検討してみたところ大体次のような関係が存する事がわかつた。

即ち、ある任意の曲線に於ける風速 $0, 1, \dots, n$ m/sec の時の蒸発量を E_0, E_1, \dots, E_n とし、他の任意の曲線に於ける同様の蒸発量を e_0, e_1, \dots, e_n とすれば

$$\frac{E_0}{e_0} = \frac{E_1}{e_1} = \dots = \frac{E_n}{e_n} = \frac{\sum E_n}{\sum e_n} \dots \dots \dots (1)$$

第4図 風速と蒸発量との関係



である。この関係は任意の壤土相互、砂土相互の間に存するばかりでなく、壤土と砂土の間にもほとんど変わらなく成立している。

従つて、蒸発量を E 、風速を W として、ある任意の曲線が $E=f(W)$ なる実験式で表わされるならば他の曲線の実験式 $e=g(W)$ は

$$e = \frac{\sum e_n}{\sum E_n} f(W) \dots \dots \dots (2)$$

で表わすことができる。更に、各曲線中の各風速点に於ける蒸発量 E_n の測定が十分に精密であれば (2) 式は

$$e = \frac{e_n}{E_n} f(W) \quad \therefore \quad e = \frac{e_0}{E_0} f(W) \dots \dots \dots (3)$$

に拡張することができる。

さて、 $E=f(W)$ を任意の曲線から求めず、ある一定の曲線から求めるならば

$$\frac{1}{E_0} = \text{Const}$$

となりこれを k とおけば次の式ができる。

$$e = e_0 k f(W) \dots \dots \dots (4)$$

即ち、ある一つの曲線 $E=f(W)$ の形を知れば、他の曲線の各風速部分の値はその時の無風区の蒸発量から推算できることになる。

計算式としては (2) 式の方が (4) 式より正確なことは云うまでもないが、実用上の立場から見れば、無風状態に於ける蒸発量から風の吹いた場合の蒸発量を大略推知することに大なる意義がある。

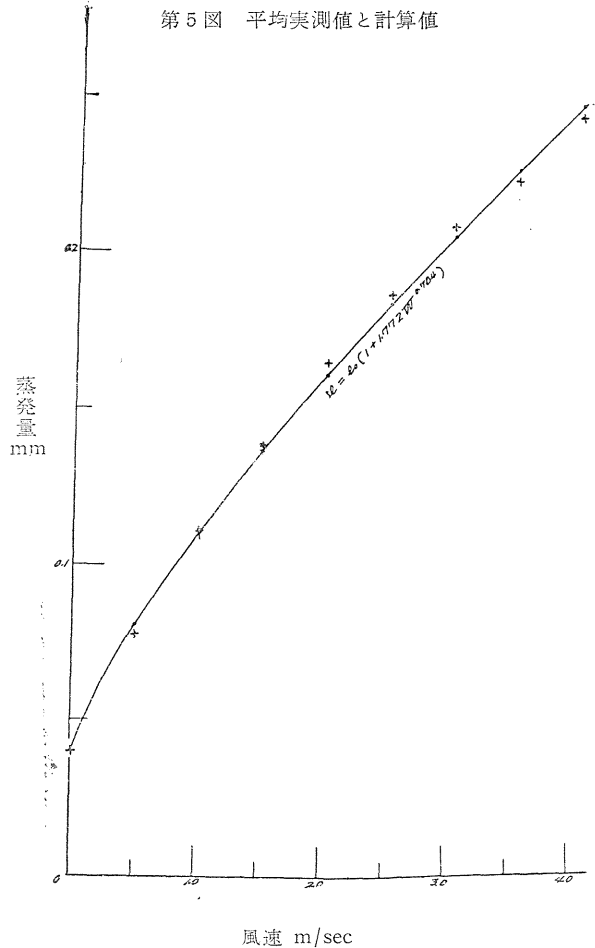
この観点から、われわれは (4) の形の実験式を導き出すべく、次のような計算を行つた。

先づ基準とする一定の曲線として、26本の曲線の平均曲線を算出した。次にこの平均曲線を実験式に表わすと次のようになった。

$$E = 0.0399 + 0.0707 W^{0.784} \dots \dots \dots (5)$$

これを (4) 式の形に直すと、 $E_0 = 0.0399$ であるから $k = 1/0.0399$ となり

第5図 平均実測値と計算値



$$e = e_0(1 + 1.772 W^{0.784}) \dots \dots \dots (6)$$

なる形の一般式になる。

算出した平均曲線(実測値の平均値)と上式による計算値を対比して示すと第2表及び第5図のようになる。

次に、この実験式が各回の測定値とどれほどの差があるかを検してみると第3~28表の通りであつた。

第2表 (6)式の曲線と平均実測値

風速 m/sec	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
蒸発量 mm/hour									
実 測 値	0.040	0.078	0.111	0.139	0.166	0.188	0.210	0.225	0.246
計 算 値	0.040	0.081	0.111	0.137	0.162	0.185	0.207	0.229	0.250
Δ	0.000	-0.003	0.000	+0.002	+0.004	+0.003	+0.003	-0.004	-0.004

第3表 L-1 1953. 10. 8. (曇)

風速 m/sec	0.00	0.70	1.06	2.09	2.97	3.83	備 考
蒸発量 mm/hour							
実 測 値	0.046	0.095	0.132	0.197	0.233	0.256	11時50分~13時30分
計 算 値	0.046	0.108	0.132	0.192	0.238	0.280	気温 19.0°C~18.9°C
Δ	0.000	-0.007	0.000	+0.005	-0.005	-0.024	湿度 69%

第4表 L-2 1953. 10. 8. (曇)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.75	0.13	2.20	3.11	4.05	備 考
実 測 値	0.046	0.096	0.132	0.188	0.230	0.258	15時0分~16時30分
計 算 値	0.046	0.110	0.135	0.196	0.243	0.288	気温 18.9°C~18.8°C
Δ	0.000	-0.014	-0.003	-0.008	-0.013	-0.030	湿度 69%

第5表 L-3 1953. 10. 9. (曇)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.75	1.13	2.17	3.10	4.00	備 考
実 測 値	0.043	0.085	0.114	0.168	0.203	0.235	11時10分~12時50分
計 算 値	0.043	0.102	0.125	0.181	0.225	0.266	気温 19.8°C~19.6°C
Δ	0.000	-0.017	-0.011	-0.013	-0.022	-0.031	湿度 76%

第6表 L-4 1953. 10. 9. (曇)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.75	1.07	2.12	3.00	3.77	備 考
実 測 値	0.037	0.079	0.103	0.156	0.186	0.202	14時0分~15時40分
計 算 値	0.037	0.089	0.106	0.155	0.190	0.221	気温 19.6°C~19.5°C
Δ	0.000	-0.010	-0.003	+0.001	-0.004	-0.019	湿度 76%

第7表 L-5 1953. 10. 10. (曇)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.70	1.18	2.15	3.08	3.97	備 考
実 測 値	0.035	0.077	0.107	0.155	0.186	0.214	11時30分~13時10分
計 算 値	0.036	0.083	0.107	0.151	0.188	0.221	気温 20.5°C~20.6°C
Δ	0.000	-0.006	0.000	+0.004	-0.002	-0.007	湿度 77%

第8表 L-6 1953. 10. 13. (晴)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.83	1.20	2.28	3.17	4.13	備 考
実 測 値	0.041	0.098	0.127	0.188	0.227	0.242	10時30分~12時10分
計 算 値	0.041	0.093	0.125	0.181	0.223	0.264	気温 19.4°C~19.5°C
Δ	0.000	+0.005	+0.002	+0.007	+0.004	-0.022	湿度 75%

第9表 L-7 1953. 10. 13. (晴)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.77	0.13	2.12	3.07	3.90	備 考
実 測 値	0.042	0.094	0.130	0.183	0.228	0.247	14時40分~16時20分
計 算 値	0.042	0.103	0.125	0.178	0.223	0.260	気温 19.5°C~19.6°C
Δ	0.000	-0.009	+0.005	+0.005	+0.005	-0.013	湿度 76%

第10表 L-8 1953. 10. 14. (晴)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.74	1.10	2.14	3.05	3.95	備 考
実 測 値	0.051	0.124	0.163	0.234	0.282	0.309	14時20分~16時0分
計 算 値	0.051	0.123	0.148	0.216	0.269	0.317	気温 18.8°C~18.7°C
Δ	0.000	+0.001	+0.015	+0.018	+0.013	-0.008	湿度 74%

第11表 L-9 1953. 10. 15. (晴)

風速m/sec 蒸發量mm/hour	0.00	0.67	1.12	2.07	2.97	3.77	備考
實測值	0.059	0.141	0.188	0.273	0.329	0.362	11時50分~13時30分
計算值	0.059	0.140	0.174	0.245	0.306	0.356	氣溫 18.0°C~18.1°C
Δ	0.000	+0.001	+0.006	+0.028	+0.023	+0.006	濕度 70%

第12表 L-10 1953. 10. 15. (晴)

風速m/sec 蒸發量mmh/our	0.00	0.69	1.12	2.08	2.98	3.86	備考
實測值	0.058	0.135	0.186	0.261	0.323	0.360	14時20分~16時0分
計算值	0.058	0.135	0.170	0.241	0.300	0.354	氣溫 18.4°C~18.2°C
Δ	0.000	0.000	+0.004	+0.020	+0.023	+0.006	濕度 70%

第13表 L-11 1953. 10. 16. (曇)

風速m/sec 蒸發量mm/hour	0.00	0.96	1.15	2.16	3.04	3.96	備考
實測值	0.052	0.127	0.168	0.241	0.297	0.320	14時0分~15時20分
計算值	0.052	0.129	0.155	0.221	0.274	0.324	氣溫 17.6°C
Δ	0.000	-0.002	+0.013	+0.020	+0.023	-0.004	濕度 73%

第14第 L-12 1954. 11. 4. (晴)

風速m/sec 蒸發量mm/hour	0.00	0.75	1.15	1.70	2.40	3.25	3.96	備考
實測值	0.047	0.104	0.137	0.175	0.218	0.262	0.286	12時50分~14時30分
計算值	0.047	0.114	0.144	0.174	0.213	0.248	0.293	氣溫13.5°C~13.7°C
Δ	0.000	-0.010	-0.007	+0.001	+0.005	+0.014	-0.007	濕度 73%

第15表 L-13 1954. 11. 4. (晴)

風速m/sec 蒸發量mm/hour	0.00	0.65	1.10	1.70	2.40	3.15	3.93	備考
實測值	0.051	0.104	0.147	0.191	0.236	0.281	0.312	15時30分~17時10分
計算值	0.051	0.115	0.147	0.186	0.228	0.272	0.312	氣溫13.7°C~13.5°C
Δ	0.000	-0.011	0.000	+0.005	+0.008	+0.009	0.000	濕度 75%

第16表 L-14 1954. 11. 5. (晴)

風速m/sec 蒸發量mm/hour	0.00	0.70	1.08	1.72	2.28	3.05	3.90	備考
實測值	0.049	0.101	0.136	0.187	0.215	0.254	0.289	9時10分~10時50分
計算值	0.049	0.114	0.141	0.182	0.215	0.257	0.301	氣溫13.3°C~13.5°C
Δ	0.000	-0.013	-0.005	+0.005	0.000	-0.003	-0.012	濕度 60%

第17表 L-15 1954. 11. 5. (晴)

風速m/sec 蒸發量mm/hour	0.00	0.73	1.09	1.72	2.28	3.05	3.91	備考
實測值	0.050	0.105	0.148	0.192	0.230	0.284	0.308	12時0分~13時40分
值算值	0.050	0.118	0.144	0.185	0.219	0.262	0.308	氣溫13.6°C~13.7°C
Δ	0.000	-0.013	+0.004	+0.007	+0.011	+0.022	0.000	濕度 59%

第 18 表 S-1 1954. 1. 8. (晴)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.58	1.28	2.24	3.04	4.13	備 考
実 測 値	0.029	0.063	0.090	0.121	0.146	0.179	11時10分~12時10分
計 算 値	0.029	0.061	0.090	0.124	0.149	0.182	気温 5.7°C
Δ	0.000	+0.002	0.000	-0.003	-0.003	-0.003	湿度 75%

第 19 表 S-2 1954. 1. 11. (曇)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.44	1.14	2.04	2.98	3.66	備 考
実 測 値	0.037	0.074	0.108	0.146	0.189	0.215	11時30分~12時30分
計 算 値	0.037	0.071	0.108	0.150	0.189	0.215	気温 8.6°C
Δ	0.000	+0.003	0.000	-0.004	0.000	0.000	湿度 89%

第 20 表 S-3 1954. 1. 11. (曇)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.53	1.20	2.15	3.06	3.75	備 考
実 測 値	0.043	0.088	0.121	0.160	0.220	0.243	15時00分~16時00分
計 算 値	0.043	0.089	0.130	0.181	0.226	0.257	気温 8.5°C
Δ	0.000	-0.001	-0.009	-0.021	-0.006	-0.014	湿度 87%

第 21 表 S-4 1954. 1. 25. (曇)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.53	1.20	2.09	3.06	3.63	備 考
実 測 値	0.035	0.074	0.098	0.139	0.171	0.020	11時20分~12時20分
計 算 値	0.035	0.074	0.105	0.144	0.182	0.203	気温 4.3°C
Δ	0.000	+0.002	-0.007	-0.005	-0.011	-0.001	湿度 85%

第 22 表 S-5 1954. 1. 25. (曇)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.57	1.15	2.15	2.96	3.57	備 考
実 測 値	0.030	0.060	0.092	0.127	0.148	0.176	13時40分~14時40分
計 算 値	0.030	0.064	0.089	0.126	0.153	0.173	気温 4.3°C
Δ	0.000	-0.004	+0.003	+0.001	-0.005	+0.003	湿度 85%

第 23 表 S-6 1954. 1. 26. (晴)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.52	1.12	2.06	2.93	3.81	備 考
実 測 値	0.035	0.075	0.096	0.144	0.178	0.213	15時10分~16時10分
計 算 値	0.035	0.072	0.103	0.144	0.179	0.212	気温 4.0°C
Δ	0.000	+0.003	-0.007	0.000	-0.001	+0.001	湿度 83%

第 24 表 S-7 1954. 1. 29. (晴)

風速m/sec 蒸発量mm/hour	0.00	0.45	1.06	1.87	2.68	3.54	備 考
実 測 値	0.032	0.065	0.093	0.126	0.155	0.198	15時15分~16時15分
計 算 値	0.032	0.062	0.091	0.125	0.155	0.185	気温 2.9°C
Δ	0.000	+0.003	+0.002	+0.001	0.000	+0.013	湿度 71%

第25表 S-8 1954. 2. 5. (晴)

蒸発量mm/hour \ 風速m/sec	0.00	0.43	1.03	1.80	2.59	3.54	備考
実測値	0.031	0.068	0.099	0.127	0.157	0.186	14時50分~15時50分
計算値	0.031	0.059	0.087	0.117	0.145	0.177	気温 3.6°C
Δ	0.000	+0.009	+0.012	+0.010	+0.012	+0.009	湿度 89%

第26表 S-9 1954. 2. 10. (晴)

蒸発量mm/hour \ 風速m/sec	0.00	0.41	0.106	0.185	2.68	3.50	備考
実測値	0.031	0.059	0.085	0.114	0.139	0.159	11時10分~12時10分
計算値	0.031	0.058	0.088	0.119	0.147	0.177	気温 4.0°C
Δ	0.000	+0.001	-0.003	-0.005	-0.008	-0.018	湿度 76%

第27表 S-10 1954. 2. 10. (晴)

蒸発量mm/hour \ 風速m/sec	0.00	0.48	1.06	1.89	2.64	3.51	備考
実測値	0.029	0.067	0.093	0.121	0.145	0.173	13時40分~14時40分
計算値	0.029	0.058	0.083	0.114	0.140	0.167	気温 4.5°C
Δ	0.000	+0.009	+0.010	+0.007	+0.005	+0.006	湿度 70%

第28表 S-11 1954. 2. 11. (晴)

蒸発量mm/hour \ 風速m/sec	0.00	0.45	1.10	1.83	2.63	3.40	備考
実測値	0.032	0.066	0.099	0.129	0.163	0.198	12時25分~13時25分
計算値	0.032	0.063	0.094	0.124	0.154	0.181	気温 6.1°C
Δ	0.000	+0.003	+0.005	+0.005	+0.009	+0.017	湿度 87%

この結果から(6)式は砂土にも壤土にも最大約10%程度の誤差で適用できることがわかった。

VII. むすび

無風の場合に土壤面蒸発に影響を与える factor をすべて一括して変数 Y で表わし、風速を W で表わすと、今までの研究者が風速に関する種々の factor を考慮して表わした蒸発量の式は皆、次の形で表わされたものと見ることができる。

$$E = \phi(Y, W) \dots\dots\dots (7)$$

その中、水面蒸発についての Trabelt⁽³⁾, W. Leather⁽⁴⁾ 又土壤面蒸発についての平田徳太郎⁽⁵⁾, Meyer⁽⁶⁾, 秋葉満寿次⁽⁷⁾, 桂山幸典⁽¹⁾⁽²⁾ そのほかほとんどすべての研究者の式は

$$E = f(W) \cdot g(Y) \dots\dots\dots (8)$$

なる形をとつている。

この実験でも既に記した考察から(8)をとる事にし、更に、 $E_0 = g(Y)$ として、風速以外の factor をすべて無風区の蒸発量 E_0 に代表せしめて(4)式の型の

(6)式を算出したのである。

この式をもつと高い風速、広い飽水率、温度、湿度範囲に拡張し得るかどうかは未知であり、特に、直射日光を受けた場合には(8)式の形式を取る事自体に変更を要するかも知れないが、その点は更に追求して行きたいと考えている。

未筆ながらこの研究に当り種々御教示を賜つた田中教授、秋葉教授、山崎教授及び伊藤文人氏に対して心からお礼を申上げる。

引用文献

- (1) 桂山：農業土木研究 18, (1) (1949).
- (2) 桂山：農業土木研究 19, (1) (1950).
- (3) 岡田：気象学 225 頁 (1943).
- (4) 牧：農業土木学 14 頁 (1942).
- (5) 平田：森林治水気象 5, (1923).
- (6) Meyer: Elements of Hydrology, 2nd, Ed., p. 238 (1928)
- (7) 秋葉：農業土木研究 5, (3) (1933).

Summary

We had an experiment by which we tried to find an influence upon an amount of water evaporated from the surface of loam or of sand, by flowing the wind (0~4m/sec) over the surface of loam or of sand.

As the consequence of this experiment, we observed the following fact: an evaporation amount from the surface of loam as well as an evaporation amount from the surface of sand are increased by the increment of the velocity of the wind.

An apperance of this incremeet can be expressed by the following formula.

$$e=e_0(1+1.772 W^{0.784})$$

abbreviation e : evaporation amount. (mm/hour)

e_0 : evaporation amount in $W=0$. (mm/hour)

W : velocity of the wind. (m/sec)