



Title	7. 高温な水面からの蒸発量
Author(s)	須川, 明; SUGAWA, Akira
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 7, 63-70
Issue Date	1960-03-07
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.7.63
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13823
Type	departmental bulletin paper
File Information	7_p63-70.pdf



7. 高温な水面からの蒸発量

須 川 明

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和 34 年 10 月受理 —

I. ま え が き

湯沼がある場合に、沢水又は温泉水が一端より流入し、湯沼を通つて他の端より流出するのが一般の型である。その場合に流入量と流出量とが同じ程度である時は、流入した水は湯沼を通過する間に底から熱の供給だけを受け、流入前より高温な水となつて湯沼の外に流れ出て行くと屢々考えられて来た。即ち湯沼の底からは熱だけが供給されていて、温泉は殆んど湧出していないとの考えである。然し流入量、流出量がほぼ等しい場合でも、表面からの蒸発量が多い時は底より温泉は湧出しないと考える事は間違いで、蒸発量が丁度底からの温泉の湧出量に相当しているのである。

そこで従来底からは温泉が湧出していないと考えられていた湯沼も、蒸発量を測ることにより、案外多量の温泉を底から湧出している結果を得るかもしれないのである。以上のことから筆者は高温な水面からの蒸発量を測ることを思いつた。

現在迄、常温の水面からの蒸発は種々研究され、色々の実験式¹⁾も求められているが、高温の水面からの蒸発は筆者の知るかぎりではあまり研究されていない状態である。そこで種々な温度の高温水が自然に存在する登別温泉の地獄谷中を流れている川、及び大湯沼で、種々な温度の水面よりの蒸発量を 1957 年より 1959 年にかけて求めてみた。

II. 水温と蒸発量との関係

登別温泉の地獄谷内の川又は大湯沼の水温は季節により多少異なるが短期間内では大体一定温度に保たれているので、直径 19.5 cm のブリキ製円筒形の容器を水面に浮べ、容器内にその地点の高温水を入れ、容器内外の水面を同一水位にして 1~2 時間放置し、その間に蒸発した量を測つた。同時に測定を開始直後と、終了直前に湿度、風速をも測つた。地獄谷内は三方が山に囲れているので、風もあまりなく、あつてもすぐ止んでしまうのが普通の状態であるので、第 1 表中に風速 3 m/s とあつてもこれはその風が連続して測定中吹いていたのではなく、多くの場合の測定中の平均風速は 0~1 m/s と考えてよいのではないかと思われる。

以上の測定の結果を第 1 表に示す。尚湿度、風速の値は前後 2 回の測定の平均値である。

1) 例えば Ray K. Linsley; Applied Hydrology (1949) の Evaporation の項。

第1表 蒸発量の測定値

測定年月日	水温 (°C)	気温 (°C)	蒸発量 (c.c./m ² .min)	湿度 (%)	風速 (m/s)
Jan. 1958	65.3	14.0	144.6	97	0.7
	44.8	1.9	46.7	93	—
1959	35.8	1.7	56.1	—	—
	43.0	0.1	31.9	95	1.4
	70.8	-1.0	136.0	83	1.5
	49.3	3.5	51.6	87	1.1
	29.3	2.3	9.3	87	2.4
	66.0	0.4	149.0	78	2.3
	61.4	-4.0	94.3	—	—
Apr. 1958	71.3	7.7	160.0	90	—
	45.2	6.1	35.8	85	—
1959	49.6	12.5	42.9	93	—
	65.2	14.3	92.8	84	—
	30.0	13.6	23.0	77	—
	37.0	14.8	30.8	90	3.5
	69.6	13.2	157.0	84	1.7
	44.8	11.9	30.8	79	0.9
	52.3	19.4	44.8	83	1.0
	69.8	19.3	158.0	69	2.3
	41.3	19.3	26.8	79	2.7
	Aug. 1959	73.3	26.3	146.0	94
44.6		23.6	33.4	90	3.5
53.6		24.8	84.0	90	—
1958	73.5	22.0	140.0	91	0.7
	47.1	21.6	44.3	94	0
	34.2	20.3	5.9	92	0
1959 ²⁾	37.2	21.9	16.5	92	0.8
	57.1	23.5	85.4	89	1.9
	33.8	18.9	14.2	90	1.6
	31.1	19.1	15.2	—	1.7

(湿度、風速での—は欠測を表す)。

2) 藤木忠美, 須川明, 梶原昌弘, 大谷清隆; 湧駒別, 天人峽, ニセコ周辺の温泉調査 (1959) (未発表)。

蒸発量には湿度，風速ともに関係するのは明らかであるが，ここでは一応この両者は考えずに水温だけに注目して，蒸発量と水温との関係を求めてみることにする。

測定は季節別に冬，春，夏を代表するものとして1月，4月，8月をえらび，気温が $-4\sim 4^{\circ}\text{C}$ ， $12\sim 19^{\circ}\text{C}$ ， $20\sim 26^{\circ}\text{C}$ の範囲内にて行つた。そして他の月は大体この3例のいずれかにはいるものと考えられる。

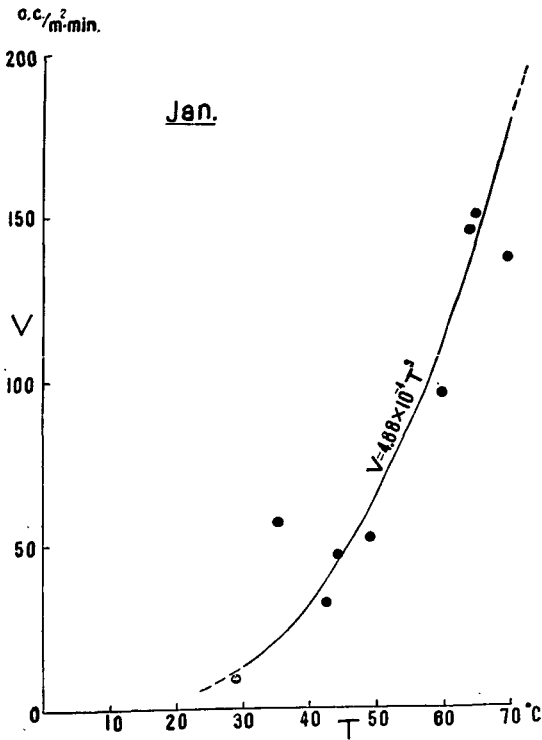
月別に蒸発量と水温との関係を図示すると第1，2，3図のようになる。これを更に両対数目盛のグラフ上に示すと第4，5，6図となる。これは両対数目盛のグラフ上では水温が $30\sim 75^{\circ}\text{C}$ の範囲内で蒸発量と水温とは湿度，風速の大きさいかにかわらず大体直線関係にあることを示すものであり，蒸発量を $V\text{c.c./m}^2\cdot\text{min}$ ，水温を $T^{\circ}\text{C}$ とすると，第4，5，6図より

$$\log_{10} V = k \log_{10} T + k' \quad (1)$$

が成り立ち， k ， k' は共に常数で，直線の延長と横軸との交点を $T_1^{\circ}\text{C}$ とすると，

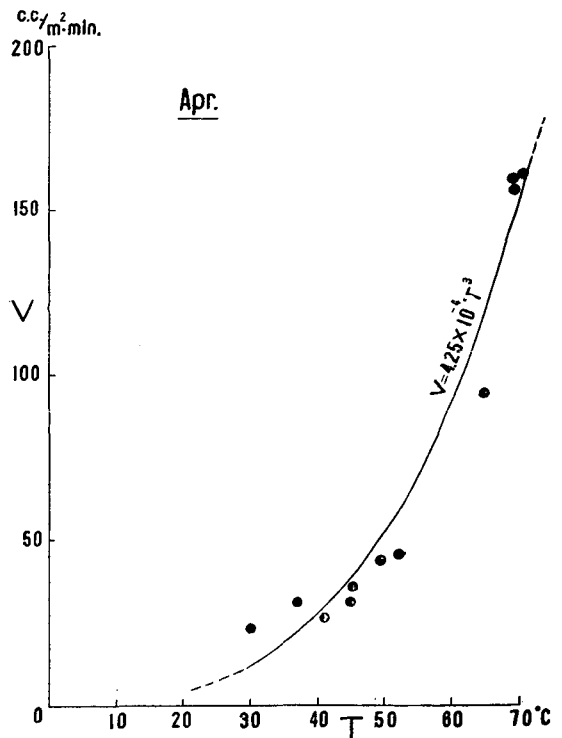
$$k' = -k \log_{10} T_1 \quad (2)$$

により k' が与えられる。(2)を(1)に代入すると，



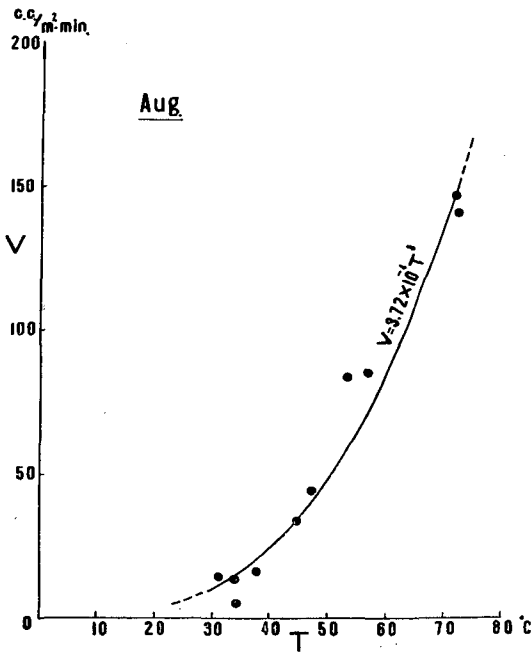
第1図 1月の蒸発量と水温との関係

Fig. 1. Relation between the volume of evaporation and the temperature of water in January.



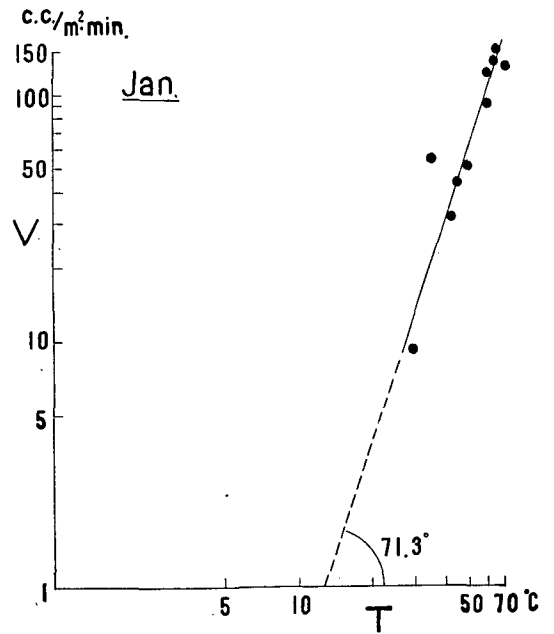
第2図 4月の蒸発量と水温との関係

Fig. 2. Relation between the volume of evaporation and the temperature of water in April.



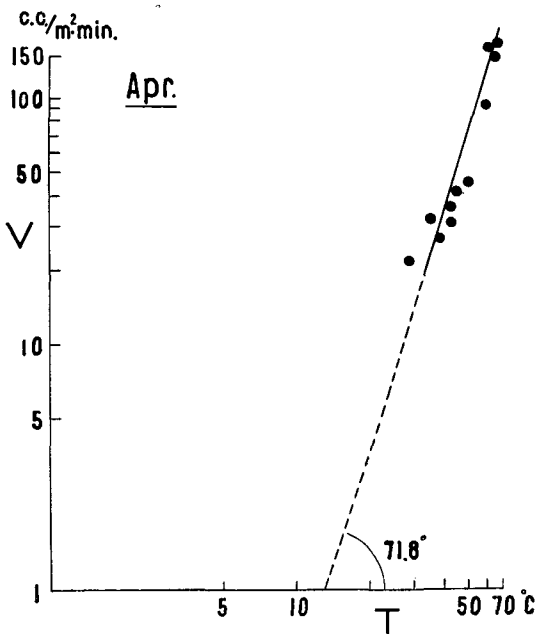
第3図 8月の蒸発量と水温との関係

Fig. 3. Relation between the volume of evaporation and the temperature of water in August.



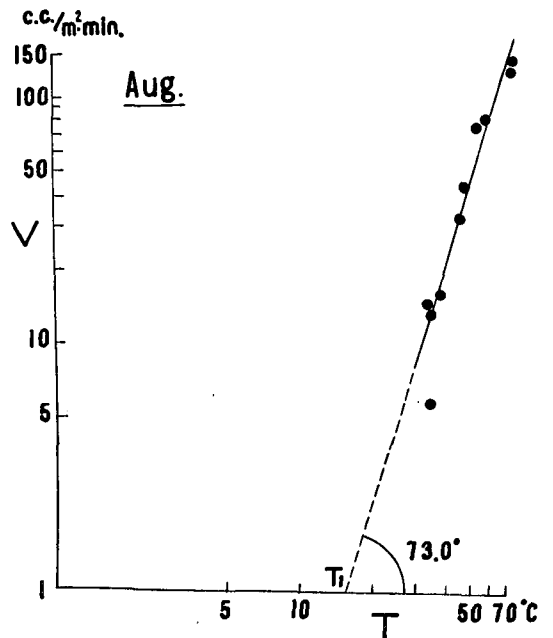
第4図 1月の蒸発量と水温との関係

Fig. 4. Relation between the volume of evaporation and the temperature of water in January.



第5図 4月の蒸発量と水温との関係

Fig. 5. Relation between the volume of evaporation and the temperature of water in April.



第6図 8月の蒸発量と水温との関係

Fig. 6. Relation between the volume of evaporation and the temperature of water in August.

$$\log_{10} V = k \log_{10} T - k \log_{10} T_1 \tag{3}$$

$$V = 10^{-k \log_{10} T_1} \cdot T^k \tag{4}$$

$10^{-k \log_{10} T_1} = C$ とおくと、

$$V = CT^k \tag{5}$$

第 4, 5, 6 図より k, C の値を求めると第 2 表のようになる。

第 2 表 季節別による k, C の値

		k	C
1	月	2.958	4.88×10^{-4}
4	月	3.043	4.25 "
8	月	3.271	3.72 "
平均値		3.091	4.28 "

第 2 表 から k, C 共に季節により変化するが、 k の変化する範囲は小さいので式を簡単にするために $k=3$ とおくと (5) は

$$V = CT^3 \tag{6}$$

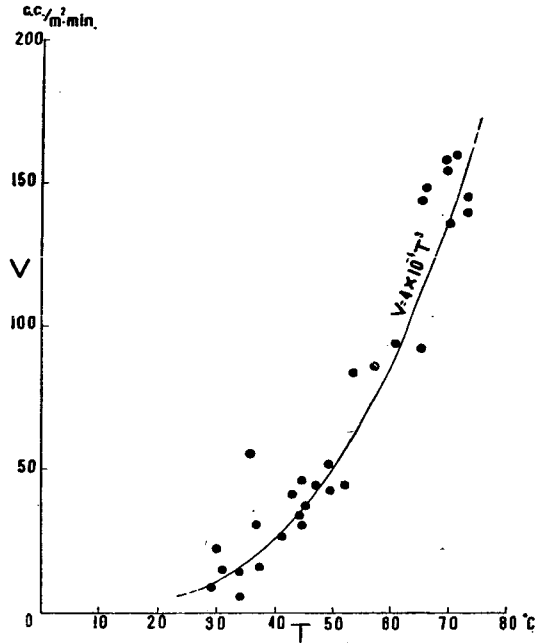
となり、蒸発量は水温の 3 乗に比例することになる。但し比例常数の C は季節により第 2 表のように多少変化する常数である。第 1, 2, 3 図上の実線は (6) を表すものである。

又蒸発量の概値を求めたい時は、季節によらずに C の値としてその平均値をとつて $C=4 \times 10^{-4}$ とおき (6) を更に簡単にして

$$V = 4 \times 10^{-4} T^3 \tag{7}$$

として一年間を通じての V と T との関係式とする。第 1 表の全測定値を一つのグラフ上に示すと第 7 図のようになり、実線は (7) を表すものである。

(1)~(7) が成立するのは水温が 30~75°C の範囲内で、それ以外の水温ではこれ等の式が成立するかどうかは分らな



第 7 図 1 年を通じての蒸発量と水温との関係

Fig. 7. Relation between the volume of evaporation and the temperature of water for a year.

い。しかし湯沼の底からの湧出量について議論する限りでは、普通の湯沼の水温は大体 30~75 °C の範囲内にあるから、上の式を知っておれば充分である。

III. 蒸発量と湿度との関係

常温での水面からの蒸発量 V と、
相対湿度 h との関係は Dalton の法則から、

$$V = c(1-h) \quad (8)$$

で表される。但し c は常数である。

今同一水温の水面で相対湿度が異なる二つの測定値を第 1 表からえらび、その蒸発量、相対湿度をそれぞれ V_1 , V_2 , h_1 , h_2 とし $h_1 < h_2$ とすれば (8) より

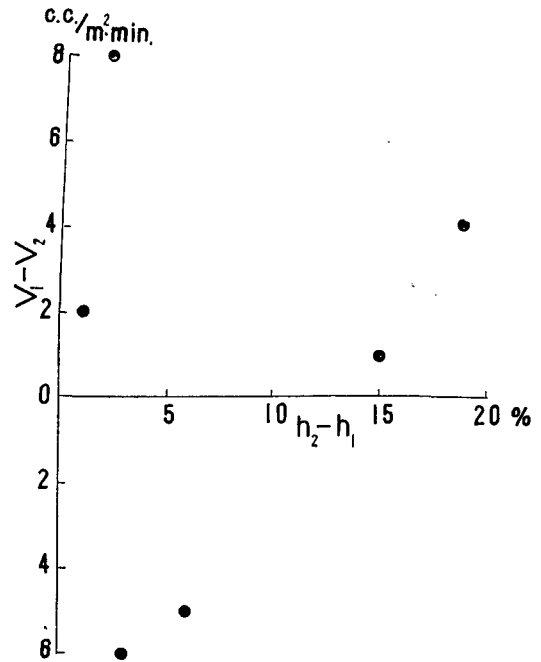
$$V_1 - V_2 = c(h_2 - h_1) \quad (9)$$

となる。横軸に $h_2 - h_1$, 縦軸に $V_1 - V_2$ をとれば第 8 図のようになる。第 8 図より明らかなようにこの場合は (9) が成立しないことがわかる。これは高温水では (8) の Dalton の法則が成立しないのか、成立していても測定誤差が大きいので (8)

の関係が誤差の範囲内に入ってしまったのか、或いは水温が等しくても風速が多少異なっているため、風速の影響で (8) の関係が現われないのかのいずれかであると思われる。しかし今迄の測定ではそのいずれとも断定することが出来ないので、今後測定の精度をよくして、高温でも Dalton の法則が成立するものか否かを明らかにしたいと思っている。

IV. 大湯沼の水面からの蒸発量

湯沼の水面から実際蒸発がどのくらい行われているかの一例として、夏の登別温泉大湯沼について計算してみる。大湯沼内の 10 地点での表面水温の平均値³⁾は 52.4°C であり、 $C=3.72 \times 10^{-4}$ を用いると (6) より $V=55.0 \text{ c.c./m}^2\cdot\text{min}$ が得られる。又大湯沼の面積は 16600 m² であるからその全蒸発量は $55.0 \times 16600 = 913 \times 10^3 \text{ c.c./min} = 913 \text{ L/min}$ という大きな値になる。



第 8 図 $(V_1 - V_2)$ と $(h_2 - h_1)$ との関係

Fig. 8. Relation between $V_1 - V_2$ and $h_2 - h_1$.

3) 福富孝治, 藤木忠美, 須川明; 登別温泉調査報告, 北海道温泉調査報告, 第 15 号 (昭和 33 年).

V. 結 語

(1) 高温な水面からの蒸発量は湿度，風速に関係することは勿論であるが，この兩者よりも水温と密接な関係があり，水温が $30\sim 75^{\circ}\text{C}$ の範囲においては，水温を $T^{\circ}\text{C}$ ，蒸発量を V c.c./ $\text{m}^2\cdot\text{min}$ とすると

$$V = CT^3$$

なる式が成立する。但し C は季節によりきまる常数で $3.72 \times 10^{-4} \sim 4.88 \times 10^{-4}$ の範囲にある。尚蒸発量の概値を求める時は一年を通じて $C = 4 \times 10^{-4}$ とおいても差支えない。

(2) 湯沼の底からの温泉の湧出量については，表面からの蒸発量を無視して，流出量と流入量との差だけからは求められない。それは表面からの蒸発量が案外多いからで，例えば 1957 年 8 月の登別温泉大湯沼の水面からの蒸発量は 913 L/min である。従つて今迄蒸発量を測定しないで，流入，流出の関係より底からは温泉が湧出していないと考えられていた湯沼でも，蒸発量を求めてみれば温泉が湧出していると考えられる湯沼も出てくるであろう。

終りに御指導いただいた福富教授，野外調査に種々便宜をはかつていただいた医学部登別分院の斎藤教授，実測にあたり援助していただいた梶原昌弘，和田昭夫，伊藤兼次の三氏にお礼申し上げます。

7. Evaporation from the Water Surface of High Temperature

By Akira SUGAWA

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaidō University)

In the case that calculate the gushing volume from the bottom of the hot lake, the calculation that deduct the volume of out-flow from the lake from the volume of inflow into the lake has been generally made to get the gushing volume, but it is not exact. If it want to get the exact value, evaporation from the lake must be added to the value.

Accordingly, this paper presents firstly the relation between the volume of evaporation from the water surface and the temperature of the water, and secondly the volume of evaporation from the real hot lake.

1) It is expressed the following relation

$$V = CT^3 \tag{1}$$

in which V is evaporation from the water surface and the unit is c.c./ $\text{m}^2\cdot\text{min}$. T is the temperature of the water and the unit is $^{\circ}\text{C}$. C is constant but it change by the season from 3.72×10^{-4} to 4.88×10^{-4} . In the case that get the rough value of V , C is putted 4×10^{-4} for a year, and get the following formula.

$$V = 4 \times 10^{-4} T^3 \quad (2)$$

2) For example of the real hot lake, the evaporation from Ōyunuma in Noboribetsu in Aug. 1957 can be calculated by the application of formula (1). The data are $T=52.4$ °C, $C=3.72 \times 10^{-4}$, $S=16600$ m², in which S is the area of Ōyunuma. The evaporation is 913 L/min. and the volume is unexpectedly large.

Accordingly in the case that calculate the gushing volume from the bottom of the hot lake, the evaporation can not be neglected.