



Title	3. 表土1mの平均熱伝導率測定 (第1報)
Author(s)	梶原, 昌弘; KAJIHARA, Masahiro
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 7, 31-36
Issue Date	1960-03-07
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.7.31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13819
Type	departmental bulletin paper
File Information	7_p31-36.pdf



3. 表土 1 m の平均熱伝導率測定 (第 1 報)

梶原 昌 弘

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和 34 年 9 月受理 —

(1) 緒 言

地表面から流出している熱量を求める場合、最も重要なものはその場所に於ける岩石及び土の熱伝導率である。

岩石の熱伝導率は資料を採集すれば実験室に於いても測定は可能である¹⁾。しかし土については、その含水率、空隙率、或いはまた土そのものを構成する土壌粒子、砂、岩石等の状態を全く変化させることなく測定しなければならない。それには野外の自然の状態に於いて、それぞれの場所の、しかもそれら構成物の平均された熱伝導率を測定することが望ましい。

この熱伝導率の測定には、既に多くの人々によつてその理論及び測定装置が研究されて来た。特に土の熱伝導率を測定する場合には、装置及び測定の容易さから導管を使用することが多い。これらの例としては Buettner²⁾、Lachenbruch³⁾ の研究がある。Buettner は注射針状の細管を用いた装置を試作したが、この装置では上に述べたような地表での測定には不適當である。また両者とも理論式への適用に、線状熱源による解を用いているが、これを直ちに適用することは疑問である⁴⁾。

筆者は Lachenbruch の装置に改良を加えて試作し、土壌、岩石の混合された状態で測定出来るようにした。また筆者らがしばしば、温泉調査に於いて 1 m 深地温、及び温度勾配(同一場所の深さ 50 cm, 1 m の地温から求めている)を測定しているため、特にこれらを考慮して、1 m 以内の土の平均熱伝導率を測定出来るようにした。

(2) 装置及び測定法

測定装置は第 1 図に示す。

この装置は非定常的に、導管に連続的に熱を与えながら同時に導管内の温度上昇を読み取

- 1) 例えば S. Ueda, T. Yukutake and I. Tanaoka, Studies of the Thermal State of the Earth. The First Paper: Preliminary Report of Terrestrial Heat Flow in Japan. Bul. Earthq. Res. Inst No. 36-3, 1958.
- 2) K. Buettner, A Small Portable Meter for Soil Heat Conductivity and Its Use in The O'Neill Test. Trans. A. G. U. Vol. 36, No. 5, 1955.
- 3) A. H. Lachenbruch, A Probe for Measurement of Thermal Conductivity of Frozen Soils in Place. Trans. A. G. U. Vol. 38, No. 5, 1957.
- 4) J. C. Jaeger, The Measurement of Thermal Conductivity and Diffusivity with Cylindrical Probes. Trans. A. G. U. Vol. 39, No. 4, 1958.

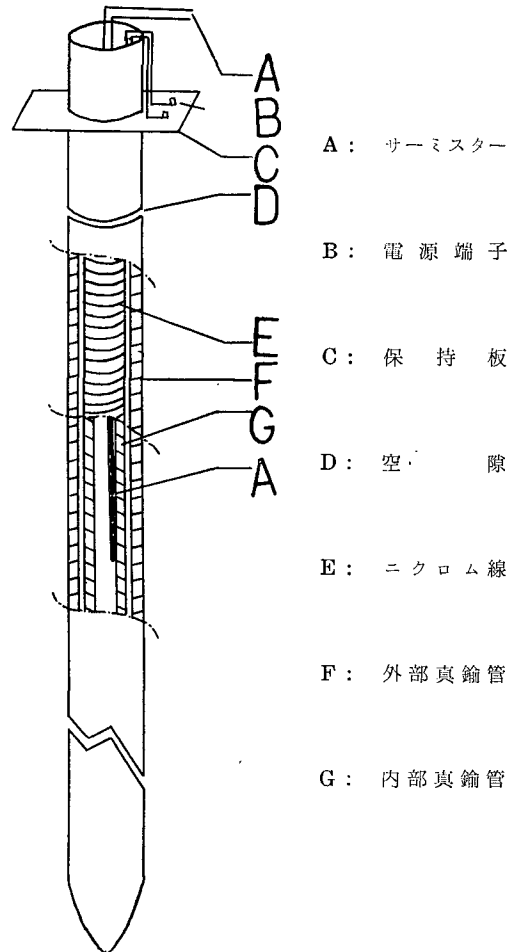
るようにしてある。ここでは導管自体が一つの熱源と考え得るよう配慮した。図に示す如く、導管は加熱用熱源及びその支柱となる内部真鍮管、それを保護する外部真鍮管、温度測定のためのサーミスターよりなつてゐる。真鍮管は両者とも長さ1 mで切り、上端には導管内からの熱流出を防ぐため、ゴム栓をしてある。この導管と絶縁のために数 mm の空隙を保つて、上部にベークライト製の電源端子保持板を付けた真鍮管をつないでゐる。結合部はゴム板で巻いてある。内部真鍮管は外径12.5 mm 肉厚0.5 mm であり、表面をセロテープにて絶縁して加熱用ニクロム線をラセン状に均一に巻き、更にセロテープで絶縁した。これに密着された外部真鍮管は外径16.0 mm、肉厚0.8 mm である。

サーミスターは内部真鍮管の内側、深さ50 cm の所に固着しサーミスターの抵抗変化を温度として直接読み取るようにした。温度精度は $1/10^{\circ}\text{C}$ である。測定に際しては、導管よりやや細目の鉄棒にて充分注意しながら地表に深さ1 m の孔をあける。この孔に上記の導管を挿入し長時間放置して導管と周囲の温度が平衡した状態で加熱を開始する。それと

同時に時間の測定を始め、それぞれの時間に於ける温度を読み取る。電源には交流100 volt、及び携帯する場合には45 volt の乾電池を使用した。これを更に、あらかじめ土の状態に応じて電圧を加減して使用した。なおニクロム線の全抵抗は、 81.4Ω であり、使用電圧は交流では35~50 volt であつた。

(3) 理論及びその適用

無限固体内に半径 a の完全な導体からなる円柱があり、単位時間に Q の割合で単位長さきに熱が供給されると、時間 t に於ける円柱の温度 T は、円柱と周囲との間に接触抵抗 R を考えた場合次の如く知られている⁵⁾。



第 1 図 装 置
Fig. 1. Apparatus

5) H. S. Carslow and J. C. Jaeger, Conduction of Heat in Solids p 345 (Second Edition 1959).

$$T = \frac{Q}{4\pi K} \left\{ 2h + \ln \frac{4kt}{Ca^2} - \frac{(4h-a)a^2}{2akt} + \frac{(a-2)a^2}{2akt} \ln \frac{4kt}{Ca^2} + \dots \right\}$$

但し K, k, ρ, c : 媒質の熱伝導率, 熱拡散係数, 密度, 比熱

R : 接触抵抗

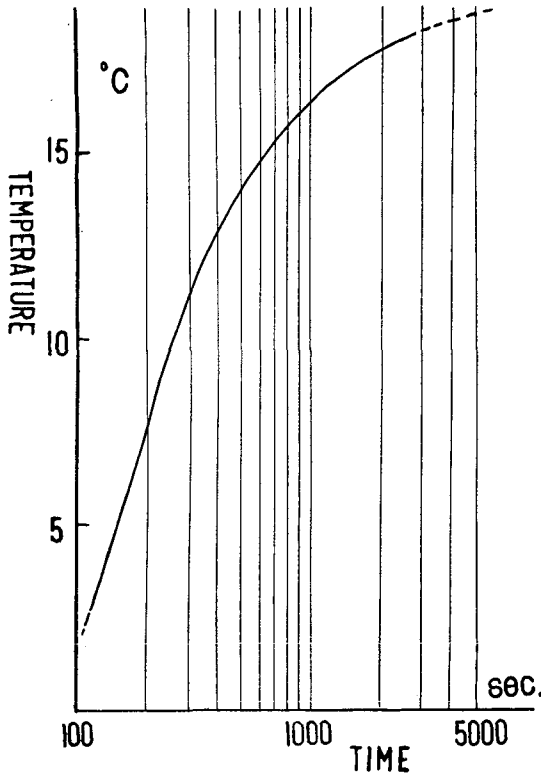
Q : 単位時間の単位長さ当りの熱量

S : 単位長さ当りの導管の熱容量

C : $1.7811 = \exp \gamma$: $\gamma = \text{Euler's const}$

$h = 2\pi RK$

$a = 2\pi a^2 \rho c / S$



第2図 測定例

Fig. 2. An example of the measurement

この式から近似的には第2図に示す如く、縦軸、横軸にそれぞれ測定した T 及び $\log t$ をとり、時間 t の十分大きな値に於ける直線関係からその傾斜を求め、熱伝導率を求め得る。しかし実際には被測定物質及び測定装置によつて、この十分な時間が決定し難く、且つこの傾斜が微妙にきいて来る欠点がある。

今近似的には前式で第4項以下を無視し整理すると次の如くなる。

$$T = A \log t + B + \frac{1}{t} (C \log t + D)$$

但し

$$A = \frac{Q}{4\pi K}$$

$$B = \frac{Q}{4\pi K} \left(\log \frac{4k}{Ca^2} + 2h \right)$$

$$C = \frac{Qa^2(a-2)}{8\pi Kka}$$

$$D = \frac{Qa^2}{8\pi Kka} \left\{ (a-2) \log \frac{4k}{Ca^2} - (4h-a) \right\}$$

従つて最小自乗法によつて係数 A を求めると熱伝導率は容易に

$$K = \frac{Q}{4\pi A}$$

となり求められる。

この方法は Blackwell⁶⁾、及び齋藤⁷⁾によつても試みられた。両者とも係数 A については全く等しい。齋藤はまた導管と媒質との間に空隙がある場合、その影響は第2項以下に加えられることを予想している。

(4) 測定結果

上記の装置を用いて、野外に於いて土の熱伝導率を測定した。測定結果は第1表に示す。

第 1 表

測定 番号	供給熱量 (cal cm ⁻¹ sec ⁻¹)	積算雨量 (mm)	熱伝導率 (cal cm ⁻¹ sec ⁻¹ °C ⁻¹)	測定 番号	供給熱量 (cal cm ⁻¹ sec ⁻¹)	積算雨量 (mm)	熱伝導率 (cal cm ⁻¹ sec ⁻¹ °C ⁻¹)
1	1.62×10 ⁻²	69.4	2.68×10 ⁻³	14	2.17×10 ⁻²	0	1.52×10 ⁻³
2	1.82	25.5	1.72	15	2.17	1.0	1.54
3	2.17	0		16	4.37	9.0	1.13
4	2.84	5.0	1.61	17	3.40	0	1.45
5	2.77	5.0	1.30	18	1.62	0	0.75
6	2.84	0	1.36	19	1.82	0	1.25
7	2.84	15.5	1.35	20	1.43	0	0.54
8	2.79	15.5	1.34	21	2.33	0	0.78
9	2.79	0	1.39	22	2.56	0	0.62
10	2.79	0	1.39	23	1.79	0	1.24
11	2.71	0		24	1.79	0	1.25
12	3.44	9.5	1.63	25	1.65	0	0.67
13	3.24	0	1.54				

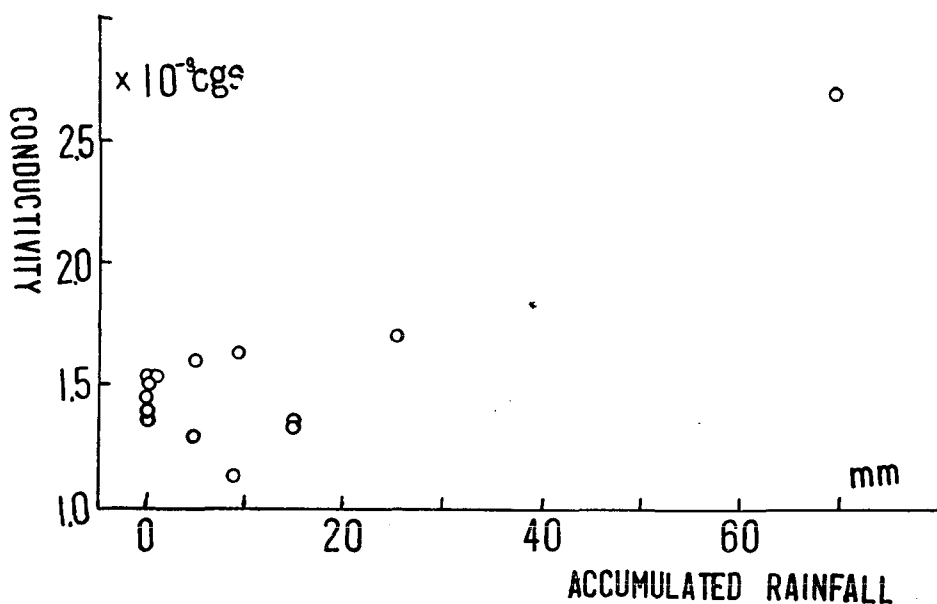
6) J. H. Blackwell, A Transient-Flow Method for Determination of Thermal Constants of Insulating Materials in Bulk. J. Appl. Phys. Vol. 25, No. 2, 1954.

7) 齋藤武, 岡垣理, 不定常熱流による熱伝導率の迅速測定について. 北大, 工学部研究報告, 第14号, 昭31-4.

No. 1~No. 17 は北大構内に於いて測定したものである。それぞれの測定点間には余り土の構成状態に差はなく、土壌と小石の混合された状態であつた。No. 23, 24, 25 は然別湖岸に於いて測定したもので、石塊と粘土質土壌との混合状態であつた。No. 18~No. 21 は層雲峡温泉 (北海道大雪国立公園) に於ける測定で、熔結凝灰岩の崩壊した均質なものであつた。

なお No. 18 の比重は 1.22, 含水率は 15.3%, また No. 20 の比重及び含水率は 1.32, 24.6% であつた。

土の熱伝導率は一般に経験的、実験的にも既に述べたごとく、空隙率、含水率及び土を構成する成分の混合比によつて微妙に変化することが知られている。即ちこのことは同一の場所に於いては気候条件によつても変化することを示している。今簡単に No. 1~No. 17 の測定結果を縦軸に熱伝導率、横軸に積算雨量をとつてこれを図示すれば第 3 図の如くなる。雨量の土



第 3 図 積算雨量と熱伝導率の関係

Fig. 3. The relation between accumulated rainfall and the thermal conductivity

の熱伝導率に及ぼす影響は、それぞれの場所に於ける雨量の吸収状態によつて当然異なるから、厳密には同一場所でしかも気温、地温、風速等がまた同一状態のときに議論しなければならない。ここでは測定前日からの積算雨量をとつて代表させ、雨量と熱伝導率との傾向をみることにした。図から明らかなように雨量の増大と共に熱伝導率も大きい値をとつていることが判る。雨量零での値が多少異なつてゐるのは、測定日の違いによる土質の変化及び測定点の微小な土の構成状態の違いによるものと思われる。例えば No. 7~No. 10 は同一孔を用いて測定したものであるが、ここでは殆んど変化が認められない。但し No. 7, No. 8 及び No. 9, No. 10 との

間には約1日, またそれぞれ二者の間には約6時間の冷却時間を置き, 導管を抜いておいた。従つてこの結果はまた同時に, 式の適用に際して接触抵抗その他の影響が除かれていると云う実験上の説明になつた。

(5) 結 語

土壌粒子, 砂, 小石などの混合された自然の状態では, それらの平均された熱伝導率を測定し得るような装置を試作した。この装置によつて25地点の土について測定を行つたが, 本測定では $0.54 \times 10^{-3} \text{cgs} \sim 2.68 \times 10^{-3} \text{cgs}$ の値の熱伝導率を得た。一般に土の熱伝導率はその構成状態は勿論, 気候条件の変化によつて微妙に変わることが予想されるが, この測定に於いても雨量の増加と共に熱伝導率は大きい値をとる傾向がみられた。これについては同一場所の, 連続的測定を行なつて相関を求めて行きたい。

この装置は当初地熱地帯の熱伝導率を知るために試作したものであるが, これら地熱地帯に於いては現在測定中であり, 第2報以下に発表する考えである。

おわりに, 終始御指導を賜つた福富教授に感謝の意を表わす。

3. The Mean Thermal Conductivities in Soil within 1 meter Depth under the Ground-Surface. (The first paper)

Masahiro KAJIHARA

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

For the calculation of the heat flow from the ground-surface, it is the most important to obtain the thermal conductivity in soil, especially to obtain the mean thermal conductivity in soil mixed with soil particles, stones containing water and etc.

The thermal probe, 1 m long, 16 mm in diameter of outer probe and 12.5 mm in diameter of inner probe, containing heat source and thermistor have been used for the purpose.

A transient-flow method was applied in this case

Under the normal field conditions, thermal conductivities were measured at 25 stations. Values of them were from $0.54 \times 10^{-3} \text{cgs}$ to $2.68 \times 10^{-3} \text{cgs}$ and showed that accumulated rain-fall inclined toward the increase of the thermal conductivity.