

桜島の火山活動と鹿児島島の地中温度について*

吉 村 寿 一**

551.21 : 551.525

On the Volcanic Activity of Sakurajima and the Soil Temperature at Kagoshima

J. Yoshimura

(Fukuoka District Meteorological Observatory)

The variations of soil temperature at Kagoshima (near Sakurajima) consist of three parts; long term variation, short term (one year period) variation and sudden irregular variation.

Long term variation seems to originate from a change of temperature of magma itself and to be fairly affected by sun-spots.

Sudden irregular variation arises at a few months before the eruption of Sakurajima, so that the analysis of soil temperature is an effective method for anticipation of a volcanic activity.

§ 1. 地中温度の変化の概要

鹿児島は桜島にきわめて近いので(距離は約10km), 地中温度の変化には, おそらく桜島の火山活動の影響が現れているに違いないと考えられた. 調査したのは深さ5mと10mの2種であるが, 比較のために地面温度とともに Fig. 1 として変化の模様を示した(観測期間は大正14年(1925)から昭和23年(1948)までで, 毎月の平均値を記している).

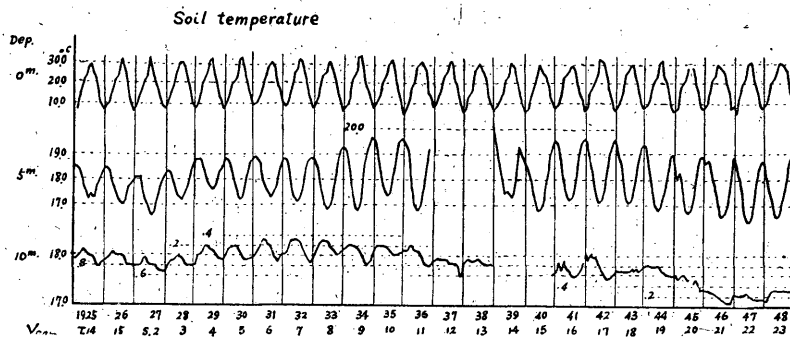


Fig. 1. Soil temperature variation from 1925 to 1948, depth at 0m, 5m, and 10m, respectively (at Kagoshima)

* Received Sept. 1, 1956.

** 福岡管区气象台

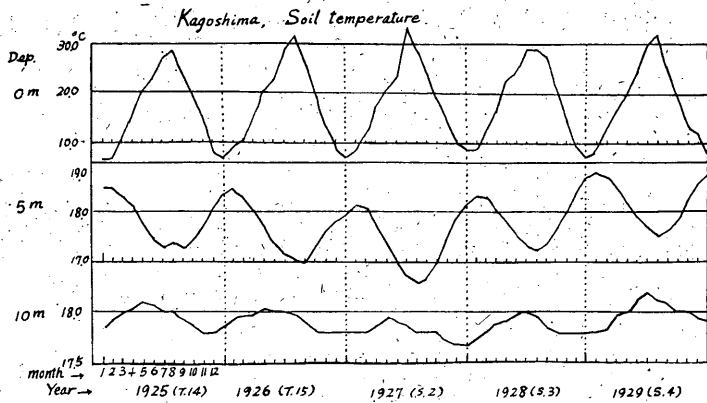


Fig. 2

上から地面、5 m、10 m の順序で、線の切れているところは欠測である。鹿児島の中地温度は 10 m の深さでも、なお、年変化を示しており、全振幅の最大が 0.52°C に達している年（昭和 17 年（1942））もあるが、ほとんど年変化を示さない年（昭和 21 年（1946））もある。地面温度の年変化が正弦波型で変動にとぼしいのに反し、地中温度にはかなりの変動がある。

温度の最高は地面では 7 月、または、8 月に現れているのに対し、5 m では 1 月、または、2 月に現れ、10 m では 5 月または 6 月に現れている。最低は地面が 1 月、または、2 月に現れているのに対し、5 m では 8 月、または 7 月に現れ、10 m では 11 月、または、12 月に現れている（Fig. 2 参照）。すなわち、地面と 5 m とでは位相に約 6 か月のずれがあり、地面と 10 m とでは約 10 か月のずれがある。

§ 2. 地中温度の特種変動

地中から補給される熱の収支が一定であり、また、地下水の含有量など熱伝導にあずかる諸因子に変化がなければ、地中温度の年変化も地面温度によく似た傾向を示すはずであるが、地中温度の曲線には地面温度と異なった相当の乱れが現れている。

i) 長期変動

地中温度には地面温度の長期変動と異なった別種の変動がある。Fig. 3 は 3 種の地温の 12 か月ごとの移動平均値を示したものであるが、5 m では昭和 2 年（1927）に極小になり、その後上昇して昭和 4 年（1929）ごろから一定の期間が続き、昭和 10 年（1935）と 16 年（1941）ごろに極大が現れ、それから下降を続けて昭和 22 年（1947）に極小になっている。10 m では昭和 2 年（1927）の末ごろ極小になり、その後次第に上昇し、昭和 8 年（1933）の末には極大になっている。欠測期間中は明らかでないが、昭和 17 年（1942）に極大が現れ、21 年（1946）末には極小になっている。そのほかには昭和 12 年（1937）、および 18 年（1943）からの温度の下降と、振幅の著しい減少とが目だっている（Fig. 1 参照）。

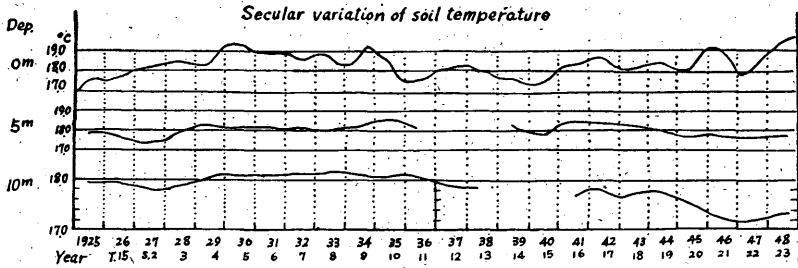


Fig. 3.

極大、極小の出現の周期が太陽活動の周期に近いと考えられたので、Fig. 4に太陽黒点面積（理科年表による）と全年の降水量、3種の地温の年平均値をいっしょに比較した。

目盛は左側に黒点面積と地温の0mと10mをとり、右側に降水量と地温の5mをとっている。降水量と地温の変化とはいずれの深さをとっても、関係がないように思われるが、黒点面積と10mの地温とは逆位相で対応しており、5mの地温でも一部の期間を除いては、やはり、逆位相になっている。

地面温度にははっきりした関係は見出せない。5m地温の昭和9年(1934)から昭和19年(1944)までのあいだは、欠測もあり詳しいことはわからないが、黒点の変化よりも、むしろ、地面温度の変化に平行しているようにみえる。

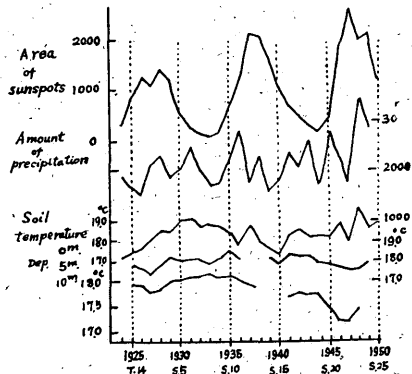


Fig. 4.

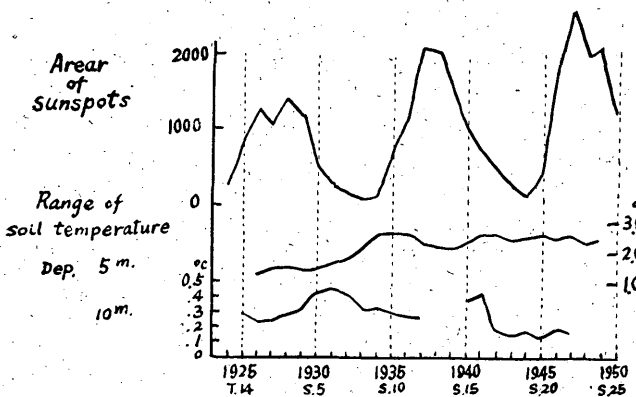


Fig. 5

Fig. 5には黒点面積と地中温度の年較差を示した。5mの深さでは昭和8年(1933)ごろから較差が増大し、その後、14年(1939)ごろすこし減少しているほかは、大体一定の値を保っている。黒点面積とは特別明りょうな関係はないように思われる。10mの深さでは黒点面積と逆位相で対応しているように思われるが、

こまかにみると位相が少々ずれているので、あるいは、4年ないし5年おくれの正相関になっているのかもしれない。特に昭和16年(1941)から21年(1946)にかけてはかなりの位相の乱れがあるが、

16年(1941), 17年(1942)は桜島が相当の噴煙を出して活動し, 18年(1943)までそれが続き, 20年(1945)にはふたたび大噴煙を上げ, 翌21年(1946)には溶岩を噴出した. したがって, もし, これが原因で位相がずれたのであれば, 静穏のときには逆位相で対応するとも考えられるが, 観測期間が短いので正確なことはわからない.

Fig. 6 には 10m の地温の年平均値と黒点面積との関係を, また, Fig. 7 には 10m地温の年較差と黒点面積との関係を示した. 点はかなりばらついており, Fig. 6 では昭和 13(1938), 16(1941), 17(1942), 18(1943), 19(1944), 20(1945), 21年(1946), Fig. 7 では昭和 4(1929), 9(1934), 12(1937), 18(1943), 19(1944), 20(1945), 21(1946), 22年(1947)などが, 特に, へだたりが著しいが, これも桜島が活動した年, または, その近傍に相当している.

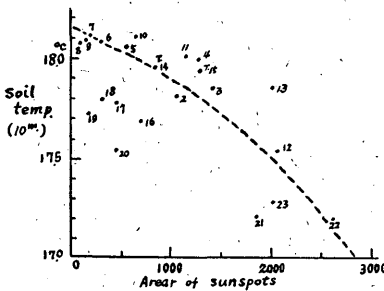


Fig. 6

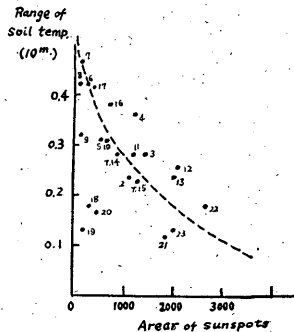


Fig. 7

ii) 短期変動

Fig. 1 から 5 m の地温は昭和 10 年(1935)のはじめの最高が異常に大きく, 14 年(1939)から 15 年(1940)にかけて波型が著しく乱れ, また, 20(1945), 21年(1946)の波型に小さなおうとつがある. 10m ではところどころ波型の乱れがあるが, 一般的な傾向と異なった特に著しい変動は昭和 13 年(1938) 3 月, 16年(1941) 3 月および 5 月, 20年(1945) 10 月, 22年(1947) 2 月に現れている地温の急昇と 12 年(1937) 12 月の急降である. これを桜島の活動と比較すると, 昭和 10 年(1935) (9, 10 月), 13 年(1938) (2, 3 月) 15 年(1940) (4, 5, 6, 7 月), 18 年(1943) (2, 3, 10, 11, 12 月), 20 年(1945) (8 月) には大噴煙の噴出があり, 昭和 14 年(1939) (10 月), 16 年(1941) (4, 5, 6 月), 17 年(1942) (7 月), 21 年(1946) (1, 2, 3 月) には爆発または溶岩の流出があった. 地温の短期の変動は桜島が活動を始めるときには必ず出現しており, しかも, 一年ぐらい前からそのきざしが現れるので, 大規模な活動のある場合には事前に察知することが可能である.

§ 3. 計算値と実測値との比較

地中の熱伝導の式は

$$u = u_m + \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-\frac{z}{a} \sqrt{\frac{n\pi}{T}}} \sin\left(\frac{2\pi}{T} nt - \frac{z}{a} \sqrt{\frac{n\pi}{T}} + q_n\right)$$

であるが、取扱を簡単にするために、第1項までをとると次のような形になる。

$$u - u_m = A e^{-\frac{z}{a} \sqrt{\frac{\pi}{T}}} \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{z}{a} \sqrt{\frac{\pi}{T}} + q\right),$$

ここで z : 地表からの深さ

T : 周期

u : 時刻 t における深さ z の地温

u_m : 深さ z の年平均地温

A : 地面温度の年較差の 1/2

a : 温度伝導率の平方根。

上式に観測結果を入れると a の値を求めることができるが、鹿児島のように火山に近接した所では、地中温度の変化が熱伝導によって地面温度だけに左右されているとは考えられず、地中温度自身の变化も加わっているに相違ないので、観測結果からそのまま $u - u_m$ を求めて上式に代入すると、それからえられた a の値は実際とかけはなれたものになるおそれがある。したがって、ここでは次式により、最高最低の起時の遅れ (Δt) から a の値を求めた。

$$\Delta t = \frac{z}{2a} \sqrt{\frac{T}{\pi}}$$

Fig. 8 の下の曲線は以上のようにして求めた 10 m の地温についての a の値であるが、毎年同じではなくて、かなりの変化がある。地中の熱伝導に最も大きな影響をもつものは、地下水の含有量であろうと考えられるが、その量を直接知ることはできないので、便法として降水量を使用した。すなわち、地面温度の最高の現れた月の翌月から、10mの地中温度の最高の現れた月までの総降水量をもって a の値と比較した。Fig. 8 の上の曲線が

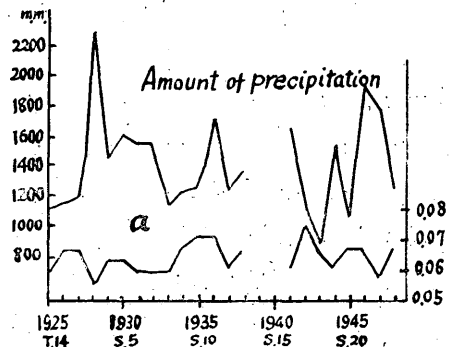


Fig. 8

それであるが、大体において逆相関になっていて、降水量が多ければ地中の含水量も多くなり、したがって、熱の伝わりかたも悪くなることを示している。

いま、位相のおくれから求めた a の値と実測された地面温度の値を用いて、10mの最高温度を計算すると、Tab. 1 の第1列のとおりとなり、第2列の実測値のあいだに、第3列のような開きができる。実測値と理論的に計算された値とが完全に一致するとは限らないが、くい違いの大きい年

Tab. 1. Calculated and observed soil temperature
(depth 10m) at Kagoshima

Year	Calculated value	Observed value	Difference
	°C	°C	
1925(大. 14)	18. 01	18. 10	-0. 09
26(大. 15)	18. 03	18. 04	-0. 01
27(昭. 2)	17. 96	17. 94	+0. 02
28(. 3)	17. 91	18. 00	-0. 09
29(. 4)	18. 06	18. 20	-0. 14
30(. 5)	18. 14	18. 20	-0. 06
31(. 6)	18. 14	18. 30	-0. 16
32(. 7)	18. 17	18. 30	-0. 13
33(. 8)	18. 18	18. 30	-0. 12
34(. 9)	18. 20	18. 20	0. 00
35(. 10)	18. 25	18. 20	+0. 05
36(. 11)	18. 19	18. 20	-0. 01
37(. 12)	17. 93	17. 93	0. 00
38(. 13)	17. 95	17. 93	+0. 02
39(. 14)			
40(. 15)			
41(. 16)	17. 74	17. 87	-0. 13
42(. 17)	17. 96	18. 03	-0. 07
43(. 18)	17. 82	17. 78	+0. 04
44(. 19)	17. 80	17. 82	-0. 02
45(. 20)	17. 67	17. 62	+0. 05
46(. 21)	17. 34	17. 28	+0. 06
47(. 22)	17. 24	17. 26	-0. 02
48(. 23)	17. 39	17. 35	+0. 04

と、わりあいによく一致している年とある。特に、差の大きいのは大正 14 年(1925)、昭和 3 (1928)、4 (1929)、6 (1931)、7 (1932)、8 (1933)、16 年 (1941) であって、いずれも実測値の振幅は計算値の振幅より大きく出ている。その原因はよくわからないが、こころみに鹿児島県下で、鹿児島を中心に半径約 80km の範囲内に起った有感地震をとって、地区別規模別に表わすと Tab. 2 のようになる。震央は大別して北西部の阿久根付近、霧島山付近、薩摩半島、大隅半島、およびその近海の四地区に分布するが、回数を表わす数字にかこいもないのは阿久根地区、—は霧島地区、┌は薩摩地区、□は大隅地区である。規模を表わす記号は、◎…顕著地震、○…稍顕著地震、△…小区域地震、×…局発地震である。表中、稍顕著以上の地震が 3 回あるが、これはいずれも深い地震である。Tab. 2 から鹿児島地方の地震活動が昭和 10 年(1935) 以前に盛んで、その後激減していることがわかるが、計算と実測とがよく合っているが、昭和 12(1937)、13(1938)、16(1941)、17(1942)、18(1943)、20(1945)、21(1946)、22 年(1947) は波形に乱れが多く、しかも、これらの年は桜島が活動した年に相当していることは、Tab. 3 から明らかである。すなわち、昭和 10 年 (1935) ころを境にして、前半は地震活動が盛んで桜島の活動がなく、後半は地震活動が衰えて桜島が活

Tab. 2. Felt earthquakes occurred in the vicinity of Kagoshima, 1925—1948

Year	Month											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1925 (大. 14)							△ [2]					
26 (大. 15)											×	[1]
27 (昭. 2)		×	[2]		×	[1]	×	[2]	×	[1]		
28 (. 3)	×	[1]	×	1						×	[1]	
29 (. 4)	×	[1]		×	1		×	[1]	×	[1]		
30 (. 5)						×	[2]		◎	[1]	×	[1]
31 (. 6)				×	[1]						◎	[1]
32 (. 7)	△	[1]	×	[1]	×	[1]					×	[1]
33 (. 8)	×	[5]	×	[2]							×	[1]
34 (. 9)										×	[1]	
35 (. 10)						×	1			○	[1]	
36 (. 11)	×	[2]										
37 (. 12)	×	[3]										
38 (. 13)												
39 (. 14)												
40 (. 15)												
41 (. 16)												
42 (. 17)						×	[1]					
43 (. 18)												
44 (. 19)												
45 (. 20)												
46 (. 21)												
47 (. 22)												
48 (. 23)					×	[1]						

— : Kirishima region, [] : Satsuma region, □ : Osumi region, No mark : Akune region.
 ◎ : Remarkable earthquake, ○ : Moderate earthquake, △ : Felt earthquake of small area,
 × : Local earthquake

動している。地中温度に現れた特徴は、前半に振幅が大きくて計算値と一致せず、後半は計算値とかなりよく一致するが、波型に乱れが多い。Tab. 3は桜島の活動を示したもので、記号の意味は次のとおりである。E_r…爆発、F_r…溶岩流出、S…噴煙、S_r…噴石を伴う噴煙、記号の右肩に付した数字は現象の強弱を表わすもので、今回の爆発（昭和30年(1955)10月）をE_r¹とし、比較の便宜のためで厳密なものではない。

§. 4 地中温度による火山活動の予測

地中温度の変化は地面温度の変化とは異なった傾向をもっているので、観測された地面温度をそのまま使用して、地中温度の予測をしても一般には実測と一致しない。これは火山地帯における地下の岩しょう温度自体に永年変化があるためであろうと想像されるが(年変化もあるかもしれない)、調査期間が短いので変化の詳細を知ることができない。ただ、大ざっぱにみて、太陽黒点とのあいだにFig. 6に示すような関係がありそうに思われる。しかし、昭和13(1938)、16(1941)、17(1942)、18(1943)、19(1944)、20(1945)、21年(1946)などの各年が相当離れているが、桜島の活動の盛ん

Tab. 3. Volcanic activity of Sakurajima, 1925—1948

Year	Month											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1925 (大. 14)												
26 (大. 15)												
27 (昭. 2)												
28 (. 3)												
29 (. 4)												
30 (. 5)												
31 (. 6)												
32 (. 7)												
33 (. 8)												
34 (. 9)												
35 (. 10)									S	S		
36 (. 11)												
37 (. 12)												
38 (. 13)		S	S									
39 (. 14)										E_r^0		
40 (. 15)				S	S	S_S	S					
41 (. 16)				E_r^1	E_r^0	E_r^0						
42 (. 17)							E_r^0	S				
43 (. 18)	S	S	S							S	S	S
44 (. 19)												
45 (. 20)								S				
46 (. 21)	S_S	S_S	S_S^1, Fl	E_r^0	E_r^0			S	S	S		
47 (. 22)												
48 (. 23)												

E_r : Explosion, Fl : Fusion of lava, S : Smoke, S_S : Smoke accompanied by ejection of stone.

Figure in the table indicates intensity of phenomena, for example, E_r^1 shows more active explosion than E_r^0 .

であった年、および、その前年ほど離れかたが大きいように思われるので、もし、これが正しければ太陽黒点のほうからも、火山活動を予測することができよう。

Fig. 9 は 10m の地温の実測値と計算値との差 (実測値が計算値よりも大きいとき+とする)を縦軸に、月を横軸にとって偏差の起りぐあいを調べたものである。昭和 10 年 (1935) 以前、振幅だけが大きくて波型に乱れの少なかった期間は、図の a で示されるように偏差の最大値は地温の極大極

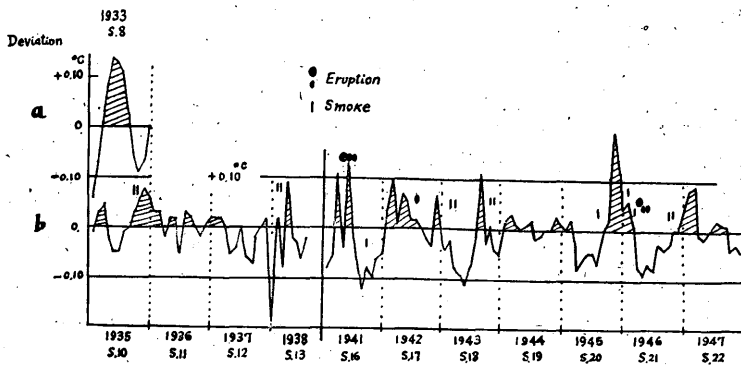


Fig. 9. Relation between deviation ($t_{ob}-t_{cal}$) and volcanic activities, 1935—1947

●: E_r^1 , ○: E_r^0

小点付近に集中しており、また、昭和11年(1936)以後で桜島が静穏であったときには、昭和19年(1944)の例のように偏差はほとんど0で、横軸上にのようになるが、火山活動が盛んになるときは、偏差の大きさもまた、最大値の現れる時期も異なってくる。偏差を表わす曲線の上に、噴火や噴煙の記号を付けて比較してみると、大きな活動の起る前には偏差も大きく現れているようである。ただし、昭和10(1935)、13(1938)、および21年(1946)末の噴煙は現象が起って、正の偏差が現れているので、正の偏差だけに着目すれば現象の生起を予測しうるとはいえない。しかし、その前には先行する深い谷があってそれから山が現れている。これは大規模な活動のあったときも同様になっている。つまり、活動を開始する前には一たん温度が低下して、理論的に期待される値よりも小さくなり、その後、活動の直前になって温度が急昇するらしい。

§ 5. むすび

火山の近くでは地中温度に岩しょうの温度の影響が加わっているらしいので、地中温度の変化に注意すれば、ある程度、火山活動を予測することができる。まだ、不明な点が多く的確な方法とはいえないが、大体の参考にはなるであろう。観測地点を桜島に設定すれば、もっとはっきりした関係を見出せるかもしれない。最後に、資料を戴いた鹿児島地方気象台の御好意に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 岡田武松：理論気象学（中巻）。
- 2) 小平吉男：物理数学（第2巻）。
- 3) 鹿児島地方気象台：昭和30年10月13日 桜島爆発速報 No. 3。