

火山噴火に伴った温泉の温度変化

関東学院大学工学総合研究所

田中康裕

〒236-8501 横浜市金沢区六浦町4834

(平成11年8月12日受付, 平成11年10月27日改稿, 平成11年10月29日受理)

The Changes in the Temperatures of the Hot Springs, in Connection with the Volcanic Eruption

Institute of Science and Technology, Kanto Gakuin University

Yasuhiro TANAKA

Abstract

Relationship between the changes in the temperatures at the 22 hot springs and the associated eruptions of 14 active volcanoes in Japan, are investigated by using the historical reports and the temporary data observed by the Japan Meteorological Agency.

Four types of the temperature changes are detected at hot springs accompanied by the volcanic eruptions.

1st type : Temperature of the hot springs rises just before the volcanic eruptions. Sometimes hot springs are born near the volcano.

2nd type : Temperature of the hot springs rises gradually since some years before the volcanic eruption.

3rd type : Temperature of the hot springs rises at the same time or just after the volcanic eruption. Hot springs are born rarely near the volcano.

4th type : Temperature of the hot springs have no relationship with the volcanic eruption.

Abnormal temperature-rise above 1st and 3rd type is occurred within 10 days before the eruption time. The continuous temperature-observation at those hot springs is useful to predict of the volcanic eruption.

Key Words : Change in water-temperature of hot spring, prediction of volcanic eruption,

Forerunning phenomena of volcanic eruption

キーワード : 泉温変化、火山噴火予知、噴火前兆現象

1.はじめに

活火山の近くにある温泉は該火山の噴火活動の影響を受けるかもしれない、という期待があつて筆者が昔奉職していた気象庁では、活火山の現地調査の際に火山に隣接した温泉の観測を実施することにしてきた。気象庁の火山業務が軌道に乗った1950年頃から現代までの約半世紀に亘る観測資料は膨大な量になったが、それを整理する暇がないまま定年退職してしまった。ただし、本稿に引用した資料は総て気象庁中央气象台発行の気象要覧(1949~1950)・地震月報(1951~1960)および火山報告(1961~1992)に印刷公表されている。

火山活動に関連する温泉の変化としては、湧水量の変化・成分の変化・温度の変化などが考えられ

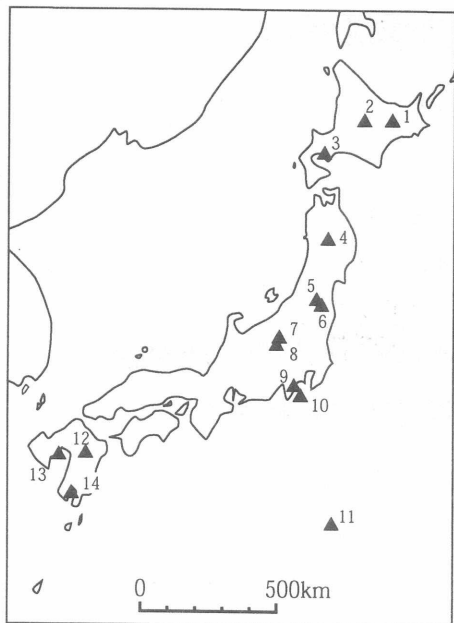


Fig.1 Volcanoes described in this study.

1. Meakandake, 2. Tokachidake, 3. Usuzan,
4. Akita-Komagatake, 5. Azumayama, 6. Adatarayama, 7. Kusatsu-Shiranesan, 8. Asamayama, 9. Teishi-Kaikyu, 10. Izu-Oshima, 11. Izu-Trishima, 12. Asosan, 13. Unzendake, 14. Sakurajima.

図1. 本稿で調査の対象とした活火山。

1. 雌阿寒岳 2. 十勝岳 3. 有珠山 4. 秋田駒ヶ岳 5. 吾妻山 6. 安達太良山 7. 草津白根山 8. 浅間山 9. 手石海丘 10. 伊豆大島 11. 伊豆鳥島 12. 阿蘇山 13. 雲仙岳 14. 桜島

6) 桜島(震災予防調査会, 1918)

1914年(大正3)噴火。山腹に出来た割れ目火孔群の南3kmの海岸で、噴火の2時間ほど前から熱湯を噴出。同地区の有村では熱湯を10mも吹き上げた。

この他にも見落とした史料があるかもしれないが、上記の6件を整理すると

- 1)と4)の一部は噴火後の現象。
- 2)は噴火と同時現象。
- 3)と4)の一部、5)と6)は噴火の前兆現象。

とみなすことが出来る。そして、噴火に関連した温泉の異常現象は、いずれも噴火直前から噴火直後にかけての短時間内に発生しているようである。

3. 計測された温泉の温度変化

ここでは気象官署が火山観測の際、定期的に観測を行っている温泉の中から、長期にわたり同一地点で観測を続けた資料を取り上げる。また、気象官署以外の機関で観測した事象についても、参考として幾つかを掲げる。気象官署の定期観測は、毎年ほぼ数回行われているが、1年間の観測値には大

るが、ここでは測定が容易な温度を対象として、古記録(体感による感知)並びに、主として上記の気象庁の資料に記載してある観測値から、噴火と温泉との関係を検討した。ここで扱った火山はFig.1に示した14の活火山である。

2. 古記録に見る温泉の異常

定期観測実施以前に、体感によって感知された噴火時の温泉異常には次のような史料が残されている。

1) 有珠山(湯原・瀬野, 1969)

1910年(明治43)の噴火後、洞爺湖温泉を生成した。温泉の位置は噴火地帯に隣接していた。

2) 秋田駒ヶ岳(大塚, 1932)

1932年(昭和7)7月21日~30日噴火。噴火地点の南2.5kmの国見温泉では7月23日以降温泉の温度が上昇した。

3) 安達太良山(震災予防調査会, 1918)

1900年(明治33)噴火。火口内の温泉の湧水量が噴火の1か月前から減り始めた。また、噴火の10日程前から湧水量は顕著に減少し、温度が上昇した。

4) 草津白根山(津屋, 1933)

1932年(昭和7)の噴火の際、火口の東3.5kmにある香草温泉の温度が噴火の1週間前から1℃上昇し、さらに噴火後1℃上昇した。

5) 伊豆鳥島(大森, 1903)

1902年(明治35)噴火。噴火地点の北1kmの山麓の海岸にあった温泉が噴火の3か月前から温度が上昇し熱湯を噴出した。

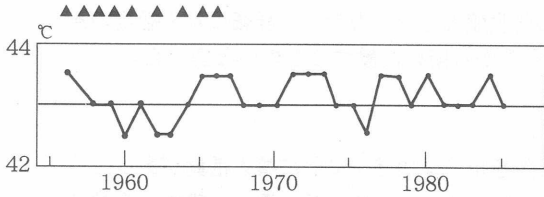


Fig. 2 Temperature change at Nonaka hot spring in Meakandake.
▲ : Eruption
図2. 雌阿寒岳の野中温泉の温度変化.
▲ : 噴火.

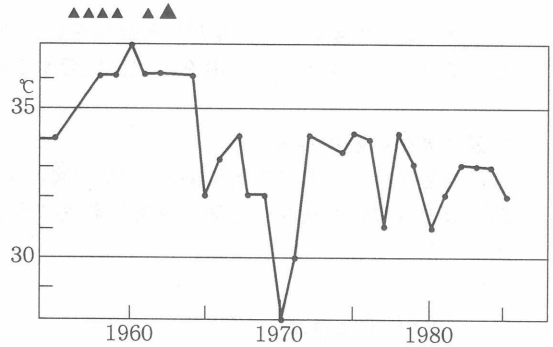


Fig. 3 Temperature change at Fukiage hot spring in Tokachidake.
▲ : Eruption (big triangle is remarkable eruption)
図3. 十勝岳の吹上温泉の温度変化.
▲ : 噴火. 大きな三角印は大きな噴火.

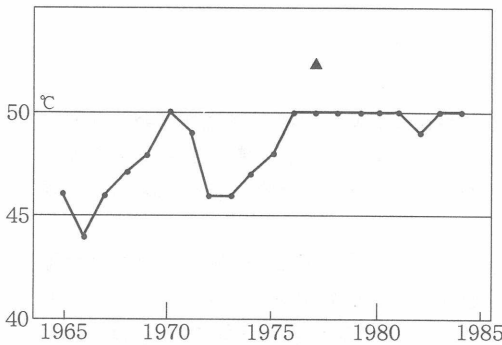


Fig. 4 Temperature change at Takayu hot spring in Azumayama.
▲ : Eruption
図4. 吾妻山の高湯温泉の温度変化.
▲ : 噴火.

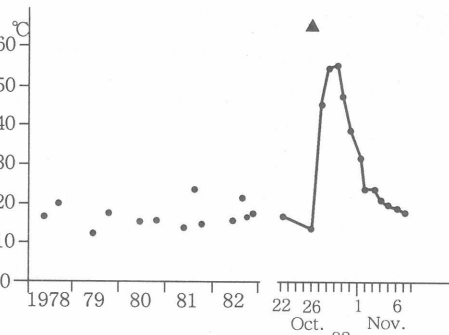


Fig. 5 Temperature change at Yugama (crater lake) in Kusatsu-Shiranesan.
▲ : Eruption
図5. 草津白根山の湯釜(火口湖)の温度変化.
▲ : 噴火.

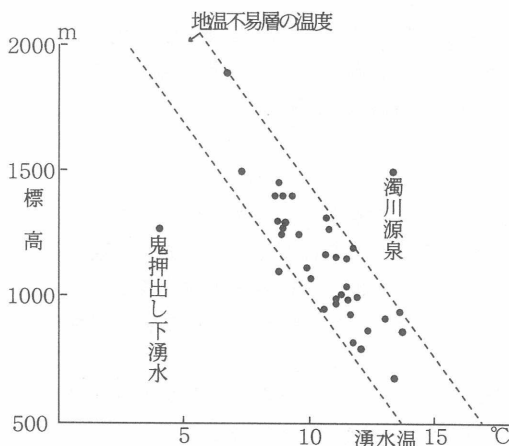


Fig. 6 Relationship between invariant temperature in the underground layer and the height above sea level. (after Sekiya, 1967)
図6. 浅間山周辺の湧水温度と標高との関係(関谷, 1967).

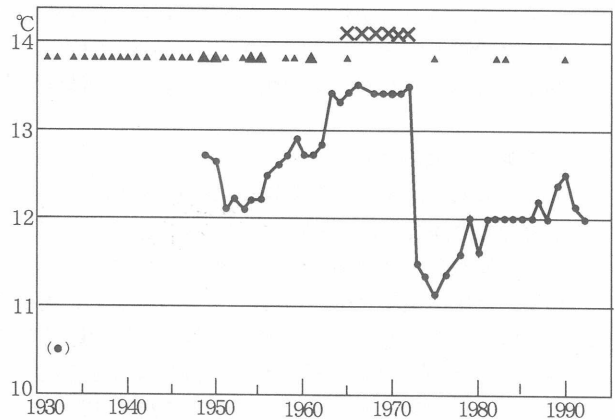


Fig. 7 Temperature change at the source of Nigorigawa in Asamayama.
▲ : Eruption (big triangle is remarkable eruption)
× : Mtsushiro earthquake swarm.
図7. 浅間山の濁川源泉の温度変化.
▲ : 噴火. 大きな三角印は大きな噴火.
× : 松代群発地震

差がないことが多いので、年間の最高値を以てその年の代表値とした。ただし、詳細に示す必要のある所では詳しく図示した。温泉は北に位置する火山のものから南に位置するものへと並べた。

1) 雌阿寒岳の野中温泉

この温泉は山頂火口の北西3kmの山の中腹にある。雌阿寒岳では1955～66年に噴火活動があった。釧路地方気象台が観測した野中温泉の泉源の温度はFig. 2のとおり41～43℃で、噴火に関係なく常にほぼ一定していた。

2) 十勝岳の吹上温泉

この温泉は昭和火口の西3kmの山の中腹にある。旭川地方気象台が観測した泉源の温度変化はFig. 3のとおりである。十勝岳は1956～62年にしばしば噴火したが、特に1962年の噴火は大きく被害もあった。小噴火活動を繰り返していた頃の温度は高温だったが、さらに1962年の大噴火にむかって昇温した。

3) 吾妻山の高湯温泉

この温泉は吾妻山の活動火口(一切経山の火口)の北東6kmにある。泉源では温度が45～50℃、pHは2.7前後の強酸性の湯である。吾妻山はいくつかの単式火山が集合した火山群である。したがって、高湯温泉の熱源が一切経山のものと同一である証拠はないが、同火山の活動火口から最も近い温泉だからここに取り上げる。

福島地方気象台が観測を始めた1966年以降の状況をFig. 4に示す。1970年頃と1976年以降に高い温度が観測された。前者の温度上昇の理由は、その頃火山活動が地下では異常を呈していたのかも知れない。後者の温度異常(1973年から1976年までの温度上昇並びにそれ以降の高温状態の持続)は、1977年12月に起こった噴火と関係があったと思われる。

4) 草津白根山の火口湖(湯釜)

一般に、山頂の火口湖と山腹の温泉とでは位置も構造も違うが、水が関与していることでは両者は共通している。火口は火山下のマグマなどの熱源につながっている場所だから、噴火の影響は最も敏感に受け易い所と考えられる。

前橋地方気象台が観測した1982年11月以前の湯釜の水温はFig. 5のとおりである(気象庁, 1983)。噴火は1982年10月26日に起こったが、噴火直後から水温が突沸的に40℃も上昇した。その後同年12月29日にも噴火したが、その頃火口に近寄るのは危険だったため温度観測は欠測した。

5) 浅間山の濁川源泉

この湧水は山頂火口の南3kmの浅間山中腹にある。常時ほぼ一定量の湧水があり季節変化はない。水質は炭酸鉄質で、湧水時は透明だが流出後間もなく鉄を遊離析出して黄色に濁る。これまでの観測では、湧水の温度は10～14℃程度だった。関谷(1967)によれば、中緯度地方の緯度と海拔高度から求めた不易層の温度はFig. 6のようになっており、濁川湧水の温度は低いように見えるが不易層の温度よりは高いことから浅間山体内部の火山熱の影響を受けていると考えられる。

ここでは軽井沢測候所により1949年以降毎年数回定期観測を続けている。一方、この湧水温度は1933年に柴田他(1933)によって観測され10.5℃が得られている。この値も合わせてFig. 7に示す。

浅間山は1960年以前は毎年活発な噴火活動を繰り返していた。しかし、それ以降活動の様子が変わり、噴火活動はやや不活発になり、散発的な噴火で規模も小さくなった。たまたま1965～70年には浅間山からわずか20～30km離れた松代付近で活発な群発地震が起こった。浅間山と松代とは同じブ

レート上にあるので、松代付近で地震を起こすような地下応力が浅間山に影響を及ぼすことがあっても不思議ではない。これらのことを念頭においてFig. 7の温度変動の理由を推理して見よう。

1963年以前の温度上昇の時期：

浅間山の地下応力が増大していた時期だと考えられる。そのため、活発な噴火活動を繰り返すと共に、湧水温度も上昇した。

1963～73年のほぼ一定温度の時期：

松代群発地震により、浅間山を含む広域地殻応力が変わったため、浅間山へ働いているストレスが減って、噴火はほとんど起こらなくなり、湧水温度も変動しなくなった。

1973年の温度が急激に降下した時期：

松代群発地震活動の終息時にあたる。浅間山を含む地下の応力が急激に減少したため、山体内から湧水への地熱エネルギーの供給が急減し、湧水温度が急降下した。

1975年以降の温度上昇の時期：

浅間山の地下応力は次第に回復しており、湧水温度も漸次上昇。小爆発が時々起こるようになった。

6) 手石海丘噴火と伊東の温泉[参考]

1989年7月13日、伊豆半島の東方沖で海底噴火が起こり手石海丘と命名された。地質調査所(1990)によれば、伊東市赤沢6号泉(噴火地点の南西5km)では、7月6日以降噴火発生頃にかけて自噴量が著しく増加した。しかし、温度は変化しなかった。この頃、噴火発生海域では顕著な群発地震活動があったので、温泉の自噴量の変動と群発地震活動とは火山噴火の前兆現象だったとみなされる。

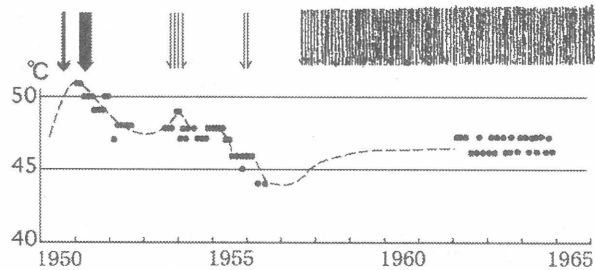


Fig. 8 Temperature change at Yuba in Izu-Oshima.
 ↓ : Remarkable eruption. ↓ : Slight eruption.
 図8. 伊豆大島の湯場の噴気温度の変化。
 ↓ は大きな噴火。 ↓ は小噴火。

7) 伊豆大島の湯場の噴気並びに元町の温泉

湯場は山頂火口の北3.5kmにある自然噴気孔である。ここでは噴気を利用して蒸し風呂が営業されている。1950年の大噴火を契機に湯場の主人、吉成剛氏は毎朝6時に噴気温度を測定した。田中(1969)によって整理されたその温度の変化をFig. 8に示す。

1950～51年の大噴火当時は高温(50℃程度)だったが、噴火休止期には温度が下降した様子がわかる。なお、1965～87年の資料は無いが、1988年以後の温度は、1988年が42.2℃、1989年が43.0℃、1990年が41.2℃、1991年が41℃、1992年が36℃、1993年が37℃と観測されており、1950年頃と比べると約10℃も低下しているが、火口で噴煙がやや増加した1989年の温度は若干上昇した。

一方、1986年の大噴火後、山麓の元町では温泉を生成した。このときの噴火は山頂火口から始まり、火口の北西方向の山麓で割れ目火孔を生じて溶岩を流出した。新生した温泉の位置は山頂から北西に5km(山腹の割れ目火孔から2～3kmの元町地区)で、海岸より出来た温泉には「浜の湯」と命名されている。元町ではこの他にも掘削により温泉を生成したが、地質調査所(1991)によれば、その一つの「小清水」の温度は1986年が約20℃、1987年が30～40℃、1988～90年が約60℃で、温泉生成から4年間に温度が約40℃も上昇した。

8) 阿蘇山の湯の谷温泉

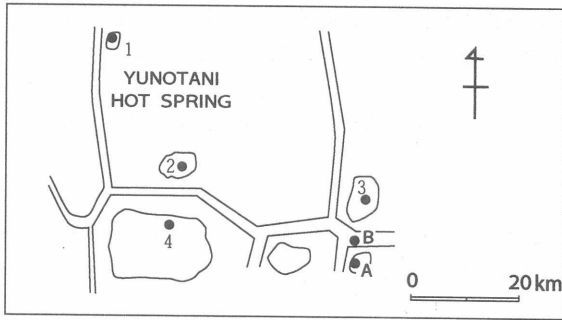


Fig. 9 Temperature observation points at Asosan.
A, B, 1~4 : Temperature observation point.

2 : Shiroikejigoku 3 : Mochitsukijigoku
図9. 阿蘇山の湯の谷温泉と温度観測点.
A, B, 1~4 : 温度観測点 2 : 白池地獄,
3 : 餅搗地獄

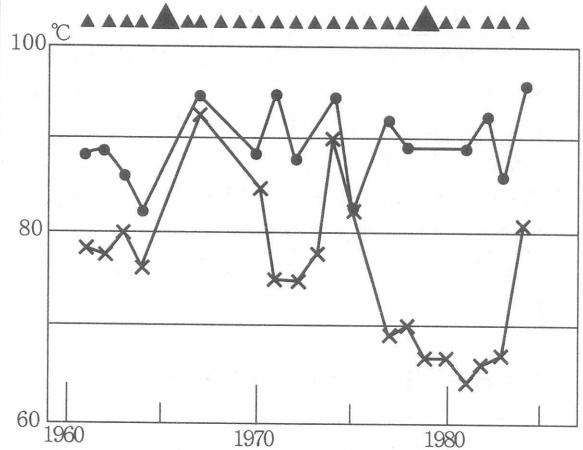


Fig. 10 Temperature change at Yunotani hot spring in Asosan.

▲ : Eruption (big triangle is remarkable eruption)

● : Mochitsuki-Jigoku, × : Shiroike-Jigoku

図10. 阿蘇山の湯の谷温泉の温度変化.

▲ : 噴火. 大きな三角印は大きな噴火. ● : 餅搗地獄.
× : 白池地獄.

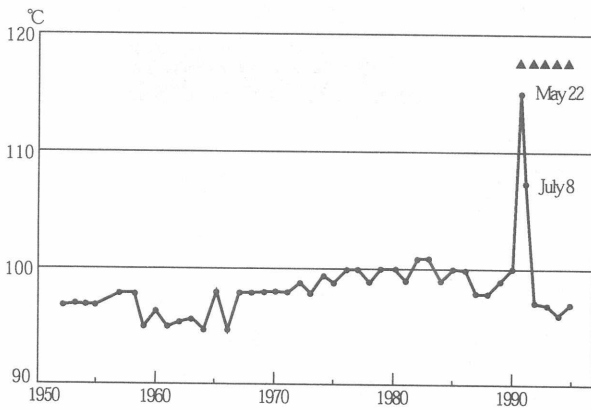


Fig. 11 Temperature change at Daigyokan-Jigoku in Unzendake.

▲ : Eruption

図11. 雲仙岳の大叫喚地獄の温度変化.

▲ : 噴火.

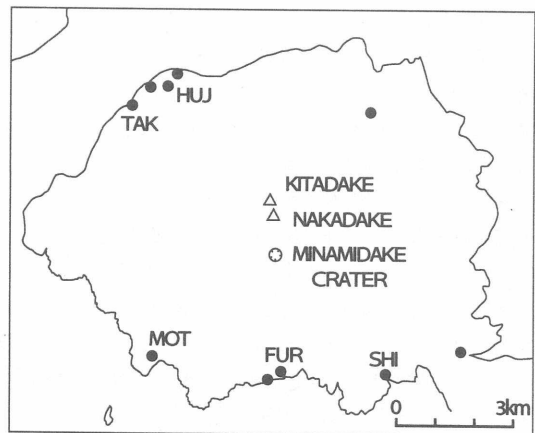


Fig. 12 Temperature observation points at Sakurajima.

[FUR] : Furusato hot spring

[SHI] : Shindai-Bay geothermal field

[MOT] : Mochiki geothermal field

[HUI] : Fujino well

[TAK] : Take well

図12. 桜島の温泉・湧水の温度観測点

[FUR] : 古里温泉 [SHI] : 身代湾地熱地帯

[MOT] : 持木地熱地帯 [HUI] : 藤野井戸 [TAK] :

武井戸

阿蘇山は中岳火口で毎年噴火を繰り返している。湯の谷温泉は中岳火口の西5kmにあり、活動火口からは最も近い温泉である。ただし、この温泉は中央火口丘の一つである烏帽子岳の中腹にあることから、温泉の熱源は中岳のものとは異なっているかも知れない。

阿蘇山測候所では湯の谷温泉の泉源や噴気孔の中の数箇所を観測を行ってきたが、付近に観光ホテルなどが建設されて自然環境が変わったため観測点を移設した所があり、同一地点で長期観測が続いているのはFig. 9に示した2番の白池地獄と3番の餅搗地獄の2点だけとなった。その状況はFig. 10の通りである。温度変化の幅は約30℃もあって不安定だが、それは付近の環境変化によるためであって噴火活動の影響だとは考えられない。また、白池地獄の温度が下降傾向にあるのも温泉湯を使うための人為的影響だと考えられる。

9) 雲仙岳の大叫喚地獄

雲仙普賢岳の南西3.5kmには広大な噴気地熱地帯があり、温泉地獄と呼ばれている。雲仙温泉街の温泉湯はここから供給されている。

雲仙岳測候所ではこの地獄地帯の10余か所で毎年数回定期観測を行っている。大叫喚はこの温泉地獄地帯の最東部にある活発な噴気孔の名前で観測点の一つである。この噴気孔には温泉湯を誘導するための工作が施されていないので、人工的擾乱が少ないとみて、大叫喚の資料を採用してFig. 11に示す。

雲仙岳は1991年1月から噴火を始めた。同年5月20日には山上に溶岩ドームが現れ、5月24日には最初の火砕流が発生した。以来、1995年初期まで頻繁な火砕流噴火を繰り返した。Fig. 11で初めて溶岩ドームが現れた時期の温度が急上昇しているのは、普賢岳の火山活動と関係した現象と考えられる。

なお、東京工大、玉川大学(1992)、小坂他(1992, 1997)は大叫喚の北西300mにある清七地獄で、1990~91年頃に異常な火山ガス変化と高温度を観測している。これも上記の大叫喚の温度異常と合わせて雲仙岳の噴火と関係した現象だったと考えられる。

10) 桜島山麓の温泉・湧水

この火山は南岳山頂火口で1955年以来今日(1999年)まで毎年噴火を繰り返している。

鹿児島地方気象台では山麓にある沢山の地熱地帯や温泉の中からFig. 12に示した約10点を選び毎年数回定期観測を実施している。その中から長期間にわたり同じ位置で観測を続けた5地点の温度変化をFig. 13に示す。

古里 [FUR] は南岳山頂火口の南3kmにある温泉で、入浴に使われている。温度下降の原因は人為的な可能性がある。

身代湾 [SHI] は南岳山頂火口の南東5kmの海岸にある。溶岩流に覆われた地熱地帯で、所々で噴気をあげている。海水が温泉状に暖まっている所もある。この観測点は噴火による多量の降下火山灰のため噴気孔が閉塞傾向にある。温度が下降傾向にあるのはそれが原因かも知れない。

持木 [MOT] は南岳山頂火口の南西4kmの海岸に近い地熱地帯で、地中にしみこんだ海水が温泉状に暖まっている所もある。ここの温度は上昇傾向にあり、火山活動と関係があると思われる。

藤野 [HUJ] と武 [TAK] は、どちらも南岳山頂火口の北西6kmにある湧水で、温度変化の幅は4℃以下。長年を通すとほぼ一定温度と見なされ、火山噴火との関係はない。

4. むすび

2章と3章の事例を整頓してTable. 1にまとめた。火山活動によって温度が変化するような温泉は、該火山の熱源(マグマ溜まり)に直接つながる地下構造をもっているためだと考えられる。とくに、火山噴火に伴って温度が上昇するような温泉は噴火と関連しやすいので注意深く監視する必要がある。

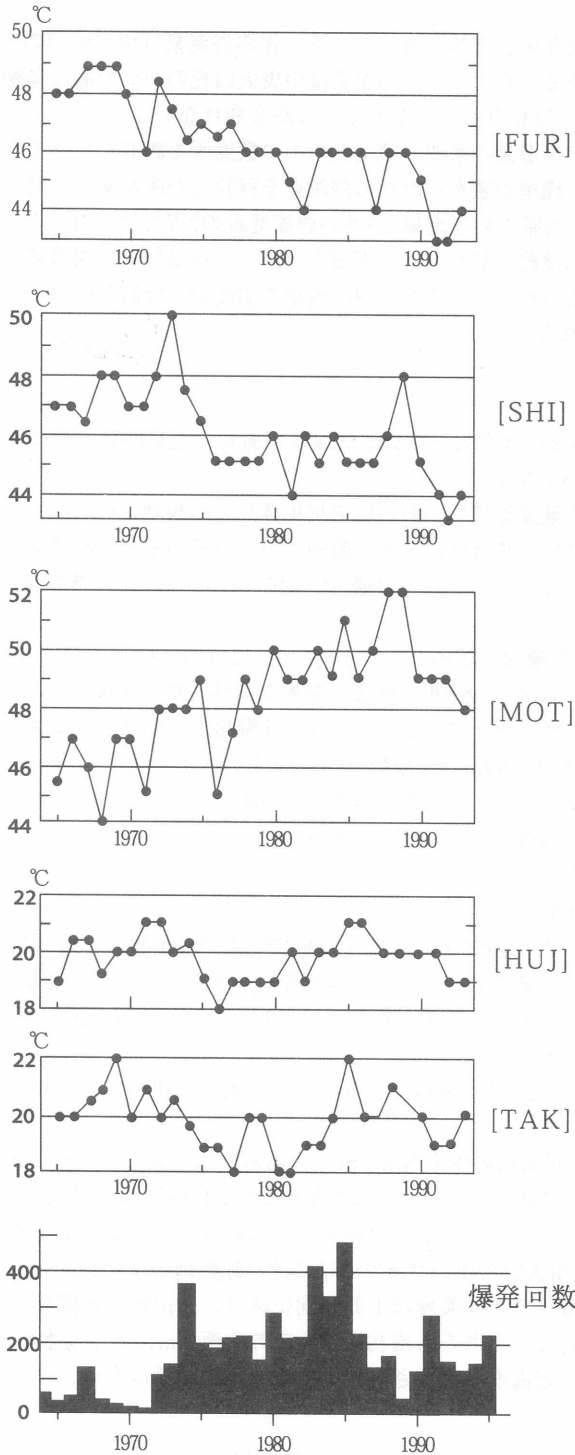


Fig. 13 Temperature changes at the hot springs and the springs spouting from wells around Sakurajima.

Below figure : Yearly number of eruptions at Sakurajima

図13. 桜島の温泉・湧水の温度変化。

記号は図12と同じ

最下段：桜島の爆発回数

Table 1 Classification of the temperature-change of the hot springs, accompanied by the volcanic eruption.

表1 火山噴火に関連して観測された温泉温度変化の分類

温泉名(火山名) 「」は体感で 感知された温泉名	火口から の距離 (km)	噴火直前に 温度上昇	噴火のかなり 前から徐々に 温度上昇	噴火と同時 又は噴火直後 に温度上昇	噴火と 無関係な 温度変化
野中(雌阿寒岳)	3				○
吹上(十勝岳)	3		○	○	
「洞爺湖」(有珠山)	0.1			○	
「国見」(秋田駒ヶ岳)	2.5			○	
「沼ノ平火口」(安達太良山)	0	○			
高湯(吾妻山)	6		○		
「香草」(草津白根山)	3.5	○		○	
湯釜(草津白根山)	0			○	
濁川(浅間山)	3		○	○	
伊東(手石海丘)	5				○
湯場(伊豆大島)	3.5			○	
元町(伊豆大島)	2~3			○	
「山麓の温泉」(伊豆鳥島)	1	○			
湯の谷-餅搗(阿蘇山)	5				○
湯の谷-白池(阿蘇山)	5				○
温泉地獄-大叫喚(雲仙岳)	3.5			○	
「有村」(桜島)	3	○			
古里(桜島)	3				○
持木(桜島)	4		○	○	
身代湾(桜島)	5				○
藤野(桜島)	6				○
武(桜島)	6				○

Table. 1から火山付近の温泉の温度は火山噴火に際して次の4種類の中のいずれかの形態で変化していることがわかる。

I型：噴火の直前に温度が上昇。

II型：噴火活動のかなり前から温度が徐々に上昇。

噴火の前に火山近くで温泉を生成することがある。

III型：噴火と同時又は噴火直後に温度が上昇。

噴火の直後に温泉温度が突沸的に上昇したものがあ。これは見掛けの現象であって、実は噴火発生の直前から温度の上昇が始まっていた可能性がある。それは、定期温度観測は間欠的に実施しているために噴火直前の温度変化を見落とすためだとも考えられる。

噴火後に火山近くで温泉を生成することがある。

IV型：噴火と無関係。

噴火に伴う温度変化がなく、ほぼ一定温度を保つか、噴火とは関係なく温度が下降する。

火山噴火の前兆を監視するために温泉を利用することは、上述の観測資料から見てきわめて有望であり、噴火予知に役立つ。ただし、実用的な噴火予知とは、噴火より何年もさかのぼって始まる不鮮明な温度上昇現象よりも、噴火の直前から始まる温度上昇変化を確実に把握することの方が大切だと思われる。それは上記のⅠ型とⅢ型をうまく捕らえる事であり、そのためには温度の連続記録観測が是非必要である。

噴火直前の前兆現象が始まるのは、噴火からあまり遡らない時間帯であることは2章の事例から推定できる。それは、多くの場合、噴火の直前ないし10日ほど前からであろう。

謝辞

長年に亘り温泉観測を続け、貴重な資料を残されている気象管署の諸氏に謝意を表します。本稿の不備な点を指摘し、修正して下さった京都自然史研究所の西村進先生にお礼申し上げます。

引用文献

- 地質調査所(吉川清志・長井茂, 1990): 伊東市赤沢6号温泉井の自噴量・水温観測結果(～1990年4月)、地震予知連絡会会報、44、204-210.
- 地質調査所(高橋正明)(1991): 伊豆大島小清水揚水井周辺部の水温・化学成分の観測、火山噴火予知連絡会会報、49、29-30
- 中央气象台(1949～1950): 気象要覧、593～616号.
- 中央气象台(1951～1960): 地震月報、1～4巻、41～120号.
- 気象庁(1961～1992): 火山報告、1～32号.
- 気象庁(1983): 火山報告、22(4)、91.
- 小坂丈子・山本雅弘・吉田稔・平林順一・大場武・野上健治(1992): 雲仙温泉源泉地域における噴気ガス成分の変化と普賢岳の活動、温泉科学、42、220.
- 小坂丈子・山本雅弘・黒崎誠・吉田稔・野上健治・平林順一(1997): 雲仙温泉源泉地域における噴気ガス成分の変化と普賢岳の噴火、温泉科学、47、22-28.
- 大塚彌之助(1932): 秋田駒ヶ岳火山爆裂調査記、地震、4、593-607.
- 大森房吉(1903): 鳥島破裂概報、震災予防調査報告、43、3-23.
- 関谷溥(1967): 火山観測、33、総合図書.
- 柴田雄次・野口喜三雄・金子修(1933): 浅間火山付近湧水の重水温度測定、日本化学会誌、58、1013.
- 震災予防調査会(1918): 日本噴火志上編、震災予防調査会報告、86、146-149、197-200.
- 田中康裕: 噴煙現象の統計、3報(1969): 験震時報、32、98-102.
- 東京工業大学理学部・草津白根火山観測所・玉川大学農学部(小坂丈子他, 1992): 雲仙岳の火山活動と火山ガス組成、火山噴火予知連絡会会報、51、89-93.
- 津屋弘達(1933): 昭和7年10月草津白根山爆発について、地震、5、71-98.
- 湯原浩三・瀬野錦(1969): 温泉学、123、地人書館.