

箱根火山硫黄山噴気地帯の調査

大山正雄, 粟屋 徹, 伊東 博

神奈川県温泉研究所*

Region de Fumarolle de Iôyama du Volcan de Hakone

par

Masao ÔYAMA, Tôru AWAYA et Hiroshi ITô

Institut de la Source Thermale de la Préfecture de Kanagawa

Hakone, Kanagawa

(Résumé)

La region de fumarolle de Iôyama, situé au versant est du mont Komagatake dans la caldeira de Hakone, a l'étendue superficielle environ 300×100 m. Aux environs de cette region les puits de vapeur ont été forés en vue de la création de la source thermale et du chauffage interieur. Nous avons fait les observations de l'énergie calorifique sortant de la surface de la terre à l'atmosphère en conduction de la chaleur et en vapeurs naturelles. Les principaux resultats de ces travaux sont rassemblés dans les conclusions suivantes.

1. Aux moyen d'une thermométrie profond d'un mètre, la region de fumarolle de Iôyama se compose de quatre parties de haute température. Les température maximums profond d'un mètre n'est pas passé 98.5°C . C'est équivalent au point d'ébullition de l'eau à l'altitude de cette region de fumarolle. Les pertes superficielles des chaleurs des vapeurs des fumarolles et des conductions des chaleurs dans cette region ont été de 1.94×10^6 cal/sec. Le chaleur sortant des fumarolles a formé précisément 74 pour cent de la chaleur totale susdite.
2. Les puits d'exploration 21, 25 et 27 ont été foncés, avec une profondeur maximum de 300m et des temperatures atteignant 198°C , et ils ont lances de la vapeur naturelle. Les essais de production totale ont donné un resultat de 23.7 kg/sec de vapeur et de 5.8×10^6 cal/sec de chaleur.
3. En effet, le dégagement total de chaleur du vapeur et de la conduction de la chaleur en region de fumarolle de Iôyama et en voisinage est estimé environ 8.23×10^6 cal/sec.

*神奈川県箱根町湯本997 〒 250—03

神奈川県温泉研究所報告 第4巻, 第2号, 83—90, 1973

はじめに

箱根山には今なお地表面が90度を越え、高温の蒸気を勢いよく噴出し、硫黄を析出している噴気地帯がある。これ等は主に、中央火口丘の神山と駒ヶ岳の北一東斜面に分布し、草木一本なく、異様な光景を呈しているので、昔から地獄と呼ばれてきた。大涌谷（大地獄）、早雲地獄ならびに硫黄山（達磨地獄）がこれにあたる。

大涌谷と早雲地獄では噴き出る高温の蒸気を利用しての温泉造成が盛んに行なわれており、麓の強羅、仙石原、温泉荘方面に1日約6,000トンもの温泉を供給している。硫黄山噴気地帯の周辺でも最近、温泉造成や室内暖房に蒸気井が掘さくされている。

噴気地帯の熱利用が盛んになるにつれ、そこからどの程度の熱量が放出しており、また利用出来るのかということ把握することが必要となってくる。

大涌谷と早雲地獄からの放熱量は湯原(1968, 1969)や関岡(1970)等によって概算されてきたが、硫黄山噴気地帯での調査は今日まであまり行なわれていない。

ここでは1m深地中温度と蒸気量の測定から、硫黄山噴気地帯とその周辺からの総放熱量を求めた。

深さ1mの地中温度測定

駒ヶ岳の東斜面に硫黄山と呼ばれている噴気地帯がある(図1)。この噴気地帯は南北方向に細長く伸び、約 $280 \times 100m^2$ の面積を占めている。

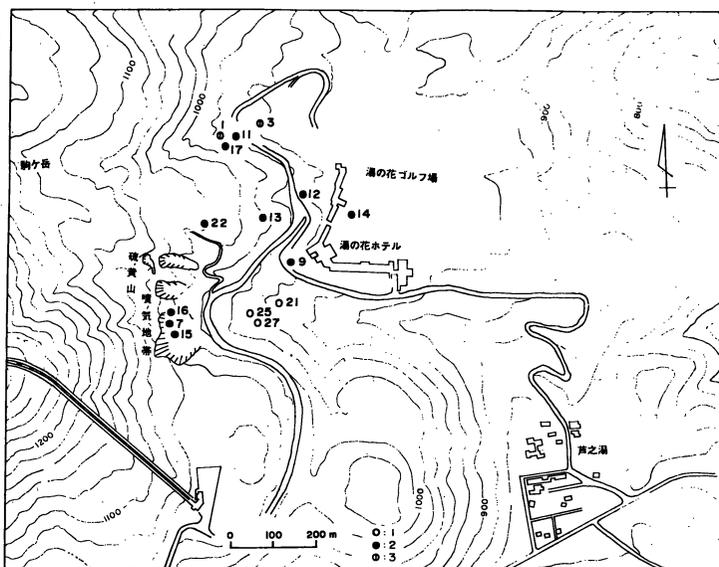


図1 硫黄山噴気地帯と蒸気井

- 1: 現在噴出している蒸気井
- 2: 現在埋没あるいは休止している蒸気井
- 3: 湧泉

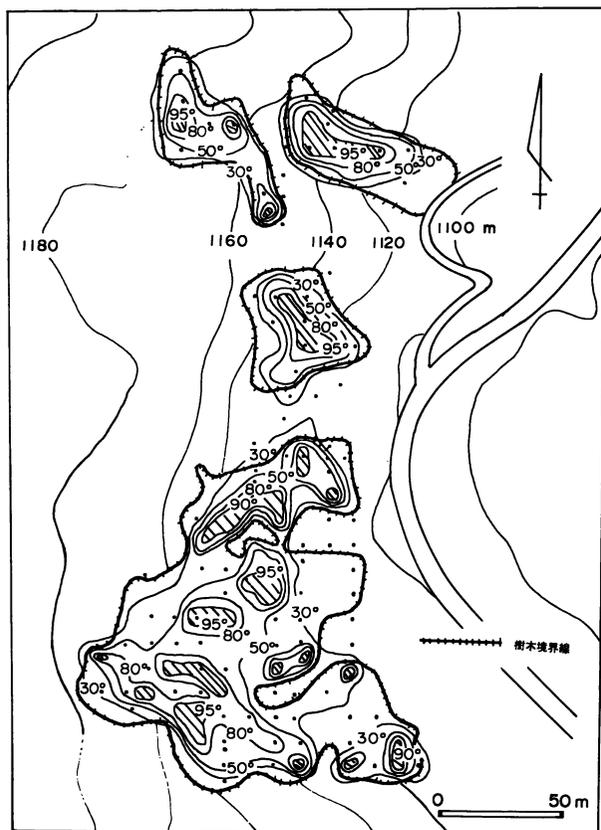


図 2 硫黄山噴気地帯の1 m深地温分布図

岩石や土壌は高い熱と火山ガスによって変質粘土化している。このため、地形の変化が激しく、刻々山はだを刻んでいる。かって大きな地じりがあったと伝えられている。

第2図は4月から5月にかけて行なった深さ1 mの地中温度分布と樹木境界線を示したものである。地中温度測定は径2.5 cmの鉄棒で穴をあけ、留点水銀温度計を20分以上挿入しておいて読み取った。地温の低いと思われる所はサーミスターを用いた。図中の黒点は測定位置である。測定された深さ1 mの地温は10～98°Cの広範囲にわたっている。深さ1 mの等温線は30°、50°、80°、95°Cに沿って引いた。

なお、細線は地形の等高線である。

1 m深の主要な高温部は図からも判るように、樹木地帯を挟んで4ヶ所に分かれて分布している。

噴気地帯と樹木地帯が隣接している境界地帯では、1 m深地温が25～35°Cを示し、場所によっては樹木地帯に向っての熱の移動もみられる。樹木地帯は一般に、熱源から充分離れた普通の地温に近い値を示しており、噴気地帯の地温分布に対し、一つの目安とすることが出来る。

95°C以上の等温線で囲まれている面積は $1.7 \times 10^3 m^2$ であるが、噴気孔や硫黄の析出している所は

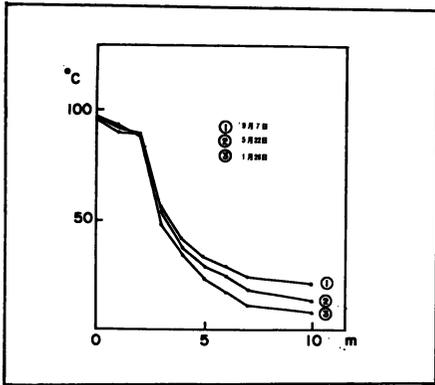


図3 1m深の地温変化

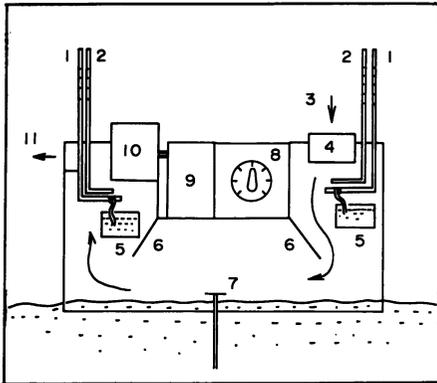


図4 放熱量測定装置

- 1: 乾球温度計 2: 湿球温度計 3: 入口
 4: 風速計 5: 水入れ 6: そらせ板
 7: 地中温度測定孔 8: 送風量調節板
 9: バッテリー 10: モーター 11: 出口

$0.6 \times 10^3 m^2$ である。沸とうしている小さなマッドポット ($1 \sim 2 m^2$) がA地区に3ヶ所存在している。マッドポットの付近は他に比べ1m深で水面に出会うか、水分を多量に含んだ粘土質の所が多かった。

1m深の最高温度は主に蒸気を出している噴気孔で代表されるが、 $98^\circ C$ を越えることがなく、平均 $97^\circ C$ であった。硫黄山噴気地帯の高度は $1,000 \sim 1,080 m$ で、それに対する水の沸点は $96.5 \sim 97^\circ C$ である。地表付近の最高温度は水の沸点と、その時の気圧に支配されているものと思われる。

噴気孔の数は多いが微小なものしか認められず、蒸気と共に硫黄を析出している。

かつて活発な噴気活動をしていたと思われる所は表面が黒くのっぺりとして固くなっており、表面温度が比較的高い。10cm深で $50^\circ C$ 以上の差を示す場合が多く、 $90^\circ C$ 以上の地温の6割を占めている。このような場所に深さ1mの穴をあけると、溜まっていた蒸気を一時的に噴出する場合があるが、地表に噴気孔を形成するだけの蒸気が上昇してこないで、噴気活動はしばらくすると止ってしまう。

1m深地温が $40 \sim 80^\circ C$ の所の土壤は殆んど粘土化しており、草木一本生えていない。

図3は噴気地から樹林地までの1m深地温を1m間隔で、1月26日、5月22日、9月7日に測定した温度変化である。地温は $90^\circ C$ から $30^\circ C$ までの $2.5m$ くらいの間で急激に変化し、それからは傾きも穏やかである。

気温の季節変化は、 $90^\circ C$ 以上の地温になると殆んど影響がないが、 $60^\circ C$ 以下では変化があらわれ、地温が低くなるに従いその差がはっきりしてくる。

噴気地帯からの放熱量の測定

硫黄山噴気地帯には微小な噴気孔群しか認められないので、4図に示した熱量計を用いた。この装置は Benseman (1959) の文献を参考にして、大木が製作したものである。操作方法は底の抜けている側を地表に置き、装置との接触部を密閉してから送風機で空気を3から11へと送る。送風量は変化出来るようにしてあり、箱が暖まらない程度に調節する。単位時間に装置に出入する空気量Vは取り付けた風速計から求める。

空気の取り入れ口の乾球温度を t_1 、湿球温度を t_1' 、絶対湿度を x_1 、出口のそれらを t_2 、 t_2' 、 x_2 とし、底から装置に入る質量を m とすると

$$m = V(x_2 - x_1)$$

t' における水の飽和蒸気圧を e 、大気の圧力を P とすると、絶対湿度 x は

$$x = \frac{217}{T + t'} \{e - 0.00066P(t - t') (1 + 0.00115t')\}$$

装置をかぶせた面積から単位時間に放出される熱量 Q は、空気の比熱を C_p 、湿度 t_1' 、 t_2' の時の水蒸気のエンタルピーを i_1 、 i_2 として、次式によって計算した。

$$Q = VRC_p(t_2 - t_1) + V(x_2 i_2 - x_1 i_1)$$

ここで、 R は空気密度である。

噴気地帯から大気中に放出される熱量

硫黄山噴気地帯の地表面から熱伝導や蒸気となって大気中に放出される熱量は第2図の30°、50°、80°、95°Cと95°C以上の等温線間の面積と各等温線間の平均放熱量との積から概算した。

その結果、熱伝導によるものは $5.02 \times 10^2 \text{Kcal/sec.}$ (表1)、噴気孔群から蒸気として放出される熱エネルギーは $14.4 \times 10^2 \text{Kcal/sec.}$ を得た。従って、硫黄山噴気地帯からの総放熱量は概値として、 $19.42 \times 10^2 \text{Kcal/sec.}$ となる。

噴気孔群の面積 ($0.6 \times 10^3 \text{m}^2$) は計算された熱伝導のもの ($12.5 \times 10^3 \text{m}^2$) に比べ5%にも満たない。しかし、単位面積あたりの放熱量 ($0.24 \text{cal/sec./cm}^2$) が非常に大きいので、噴気孔群からの放熱量は総放熱量の約74%を占めている。

蒸気井

湯の花ホテルは温泉造成の目的で硫黄山噴気地帯とその周辺に多数の蒸気井を掘さくした。箱根町は同じ目的で1971年8月に蒸気井を試掘し、良質な蒸気を得ることに成功した。蒸気井の位置は温泉台帳番号とともに図1に示したが、湯の花ホテルの21と25号井、ならび、箱根町の27号井以外は蒸気

の噴出を停止している(表2)。

ここでは、現在蒸気の噴出している21, 25, 27号井について述べる。

表1 熱伝導によって、地表面から放出される熱量

1 m深地温の範囲 ℃	単位面積あたりの放熱量 cal/sec/cm ²	面積 m ²	放熱量 kcal/sec
95~	1.42×10^{-2}	1.1×10^3	1.56×10^2
80~95	0.74×10^{-2}	1.7×10^3	1.26×10^2
50~80	0.29×10^{-2}	3.6×10^3	1.04×10^2
30~50	0.19×10^{-2}	6.1×10^3	1.16×10^2
計		12.5×10^3	5.02×10^2

蒸気井21号: この孔井は硫黄山噴気地帯から約250 m程湯の花ホテルに寄った地点に位置している。掘さく深度225 mまでの孔底温度は図5に他の蒸気井のものと共に示した。

付近は樹木が生い茂っており、地表から12mくらいまでが転石まじりのローム層である。孔底温度は深度100mまで120°C/100mの割合で上昇している。100—150mの間では温度があまり変化していない。150mから孔底温度は再び上昇を始め、184mで197.5°Cに達した後一定となる。深度225mで蒸気が噴出し、掘さくを停止した。1972年9月に測定した値(表3)によってもかなりの蒸気量であるが、噴出をし始めた当時に比べると勢力は大分弱くなっているとのことである。蒸気は湯の花ホテルの暖房や温泉造成に利用している。

蒸気井25号井：この孔井は21号井の予備として、1970年9月に試掘したものである。孔底温度は229mで175°Cを記録した後、下がり始めた。予定深度の250mに達しても孔底温度は上昇せず、蒸気も噴出しないので更に増掘することになった。しかし、温度降下は止まらず、予定深度300mで146°Cとなった。蒸気は噴出せず、温度はどんどん下がっていくので、掘さくを止め、孔内の泥水を汲み上げ様子を見ることにした。孔内をからにすると、多量の熱水が噴き出てきた。2～3日たつと蒸気の量がだんだん増え、一週間程度で熱水の多い蒸気として落ち着いた。3ヶ月後の測定によると温度は96.5°C、乾き度0.1の極めて熱水の多い湿った蒸気であった。その年の暮頃から暫くの間、温度は122°C、乾き度0.46と蒸気の状態が急に変化したが、今日では表3に示されているように、温度97.5°C、乾き度0.17の湿った蒸気に戻っている。この蒸気井は時々多量の熱水を含んだ蒸気を10～15分間隔で、1～2分続けて周期的に放出しているのが観察された。

蒸気は大気中に自然放出されているため、周辺の樹木が次々に枯れている。自然保護と美観の上からも早急に処理をすることが望まれる。

蒸気井27号井：箱根町は年々増加する一方の温泉需要に対処するため、地下から噴出する蒸気に水を混ぜ温泉化する温泉造成開発を計画し、町営第1号の蒸気井を湯の花ホテルの25号井から20m離れた所に試掘した。

孔底温度は25号井と同様な傾向を示しているが、深度256m、孔底温度172°Cの箇所から良質の蒸気を得ることに成功した。

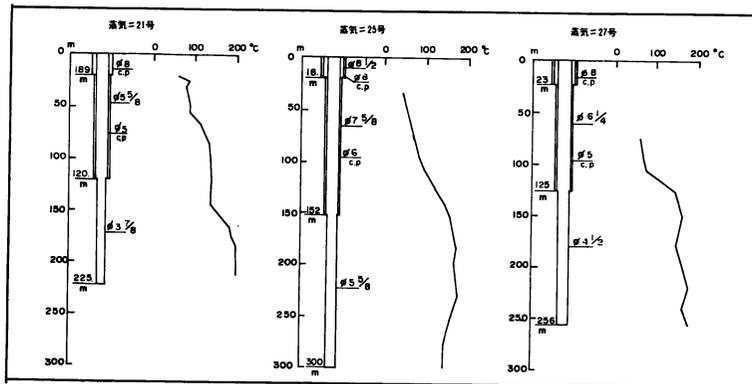


図5 蒸気の地中温度

表2 硫黄山噴気地帯周辺の孔井の状況 (1972)

温泉台帳番号	掘さく認可年月日	井深 m	状 況	現況
1	1925. 6. 26	15.0	横穴湧泉	休止
2	古来より存在	3.0	縦穴湧泉	休止
3	古来より存在		縦穴湧泉	
7	1936. 11. 13		湧 泉	埋没
9	1953. 9. 22		蒸 気	埋没
11	1956. 4. 11	61.5	蒸 気	埋没
12	1957. 11. 1	98.0	蒸 気	埋没
13	1958. 10. 30	150.0	蒸 気	埋没
14	1958. 10. 30	150.0	温泉揚湯	埋没
15	1960. 6. 26	83.8	蒸 気	埋没
16	1960. 6. 26	47.8	蒸 気	埋没
17	1962. 8. 2		蒸 気	埋没
21	1967. 6. 23	225.0	蒸 気	噴気
22	1967. 6. 23	200.0	蒸 気	埋没
25	1970. 7. 18	300.6	蒸 気	噴気
27	1971. 7. 12	256.3	蒸 気	噴気

表3 蒸気井の測定結果

1972年9月26日	21号井	25号井	27号井
温 度 $^{\circ}C$	124.4	97.7	132.6
密 度 kg/m^3	3.07	5.38	6.12
平均流速 m/sec	127.0	59.4	134.0
噴気流量 m^3/sec	1.68	1.43	1.78
蒸気量 kg/sec	2.15	0.79	2.86
熱水量 kg/sec	3.03	6.89	8.05
噴出量合計 kg/sec	5.18	7.68	10.91
噴出熱量 $kcal/sec$	1.7×10^3	1.17×10^3	2.92×10^3
乾き度	0.4	0.1	0.3
湿り度	0.6	0.9	0.7
出口附近の静圧 kg/cm^2	-0.07	-0.01	-0.14

Kcal/sec. であった。

4) したがって硫黄山噴気地帯とその周辺から温泉や蒸気、熱伝導となって大気中に放出されている熱量は 8.27×10^3 Kcal/sec. であった。

謝 辞

蒸気測定を行なうに当り、箱根町と国土開発株式会社の助力に負う所が多かった。特に、箱根町公営事業課の勝又一氏、国土開発株式会社の鈴木恵三氏には現地での調査に御苦勞をおかけした。武蔵

造成温泉は1972年10月1日からまず、温泉の出ない元箱根大芝地区の旅館に給湯を開始した。

以上のことから、この辺では深度 250 m 付近で蒸気の貯留層にぶつかり、大量の蒸気を得ることが出来た。

蒸気井からの放熱量は日によって幾分変動が生じるが、その幅は小さいので概算として、表3から 5.79×10^3 Kcal/sec. となる。

蒸気井の出口付近の静圧は大気圧より低かった。

温泉による放熱量

駒ヶ岳東斜面に位置する芦ノ湯温泉(図1)は駒ヶ岳の斜面を自然流下する地下水が硫黄山噴気地帯の地熱によって暖められたものと推定される。小田原保健所温泉課の調査資料によると、芦ノ湯地域からの温泉の総熱量は 0.54×10^3 Kcal/sec. ($13^{\circ}C$ 基準) となる。

ま と め

以上によって次のことが得られた。

1) 1 m 深地中温度測定から、硫黄山噴気地帯は4ヶ所の高温地域からなっており、熱伝導と蒸気による放熱量は 1.94×10^3 Kcal/sec. であった。その内の74% は微小噴気孔群からによるものであった。

2) 1 m 深の最高温度は $98.5^{\circ}C$ を越えることがなく、土地の高度に対する水の沸点に近い値であった。1 m 深地温が $60^{\circ}C$ 以下では地表の気候変化の影響を受けていることが判った。

3) 蒸気井21, 25, 27号井は深度220~300 m 付近から蒸気を採っている。蒸気井からの総熱量は 5.79×10^3

野地質開発株式会社からは貴重な資料の提供を受けた。神奈川県温泉研究所大木靖衛所長には終始有益な助言をいただいた。平野富雄氏、広田茂氏、小椋藤幸氏は現地調査に御協力いただいた。今野武雄先生には *Résumé* を閲読していただいた。図面の作成には杉山あけ美嬢をわずらわした。牧野弘美管理課長、平賀士郎温泉地質科長、小鷹滋郎および所員の方々から、終始温かい激励をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げる。なお、この調査の費用はすべて神奈川県衛生部の箱根温泉蒸気調査費によった。

参考文献

- 福富孝治, 須川明, 小林丈二, 徳永英二, 和田昭夫, 和気徹 (1966), 北海道アトサヌプリ噴気孔の地球物理学的研究, 北海道大学地球物理学研究報告, 第16号, 61—80.
- 湯原浩三 (1964), 別府周辺噴気孔の噴出熱量と熱力学的性質, 大分県温泉調査会報告, 第15号, 15—25.
- 湯原浩三 (1968), 地熱地域からの放熱量の測定法および箱根大涌谷, 早雲山における実測例とそれより推定した熱水系, 地熱, No. 16, 25—43.
- 湯原浩三, 瀬野錦蔵 (1969), 温泉学, 地人書館.
- 関岡満, 湯原浩三 (1970), 積雪を利用して測定した箱根大涌谷の熱流量, 地熱, No. 25, 22—27.
- KNUDSEN, J. and D. KATZ (1958), *Fluid dynamics and heat transfer*, McGraw Hill.
- 大木靖衛 (1971), 箱根火山の温泉, 箱根火山, 日本火山学会編, 139—176.
- 大山正雄, 平野富雄, 栗屋徹, 鈴木孝雄 (1971), 箱根火山の蒸気, 神奈川温研報告, Vol. 2, No. 3, 133—142.
- 松尾岑一郎, 平子喜信 (1972), 八幡平地域藤七温泉における地温調査と放出熱量調査, 地熱, No. 33, 5—17.
- BENSEMAN, R.F. (1959), *The Calorimetry of Steaming Ground in Thermal Areas*, *Jour. Geophy. Res.*, Vol. 64, 123—126.
- THOMPSON, G., C. BANWELL, G. DAWSON and D. DICKINSON (1961), *Prospecting of hydrothermal areas by surface thermal surveys*, *New sources of energy*, Vol. 2, 385—401.
- ELIZONDO, J. (1961), *Prospection des champs géothermiques et recherches nécessaires pour évaluer la puissance utilisable*, *Sources nouvelles d'énergie*, Vol. 2, 24—47.
- 谷下市松 (1970), 工業熱力学, 裳華房.
- 藤本武助 (1966), 流体力学, 養賢堂.