

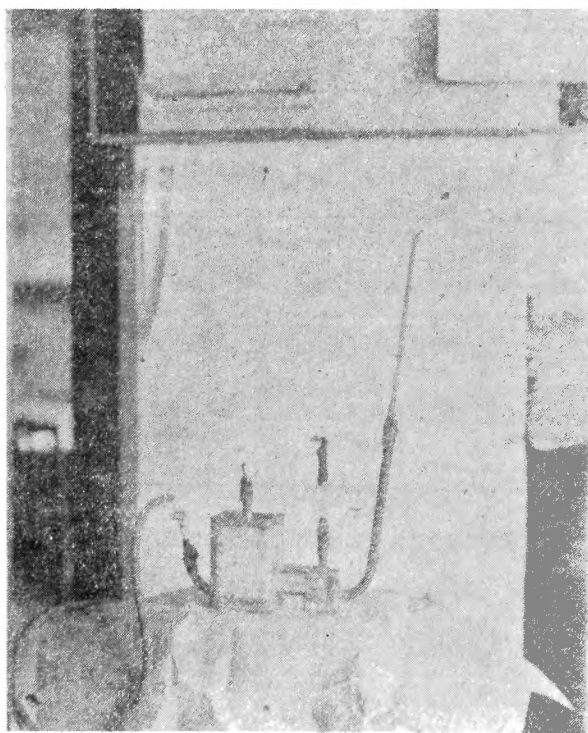
阿蘇湯の谷間歇泉續報

理學博士 南 葉 宗 利

前 書 き

本間歇泉附近に京大阿蘇研究所で施行した穿泉に依つて地中温度の分布状態を知つた。又本間歇泉の泉管内の温度分布、其時間的變化、管口下一米に於ける噴騰壓の變化を觀測した。之等新材料の吟味から本間歇温泉の模型を提出した。

更に氣壓變化を以て打診した結果湯の谷間歇泉と熱海大湯間歇泉とは性質の異なる事が知れた。之は間歇泉活動の源泉たる熱が地下水に移動する機構に原因するものと思はれる。



阿蘇間歇泉模型

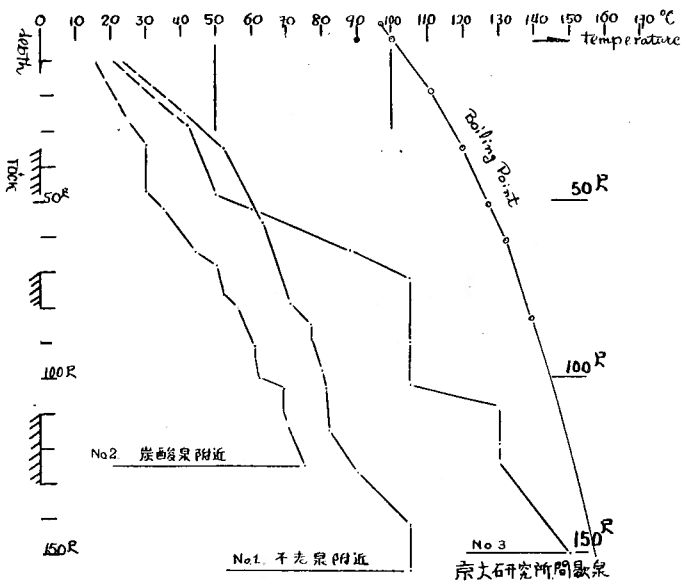
1. 地中温度分布

阿蘇湯の谷間歇泉續報

我阿蘇研究所は野滿教授等に興へられたる文部省科學研究費により本間歇泉附近の地中溫度鉛直分布を知る傍ら一の研究用噴汽孔乃至噴騰溫泉を作る爲め三ヶ所に Boring を施行した。即ち湯の谷舊火口内、火口瀬、及び其外部の都合三ヶ所に於てである。序報に挿入した地圖に見らるる花火地獄、不老泉と炭酸泉とある部分に於てである。花火地獄近くの Boring は鐵管の挿入加減で間歇泉となすことも出来、又は噴騰泉とも又は單なる溫泉湧出ともなしうるのである。

扱て地中溫度は何れも深くなる程略直線的に増溫してゐると云うてよろしい〔第一圖〕。詳細に見ると50尺から100尺の岩層と岩層との間が増溫率が特に大となつてゐる。大觀して湯の谷火口の内部に位する京大 Boring は増溫率最大で約 $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ である。火口瀬の中央部の不老泉 Boring では約 $2^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 、火口瀬外の炭酸泉 Boring では約 $1.7^{\circ}\text{C}/\text{m}$ となつてゐる。

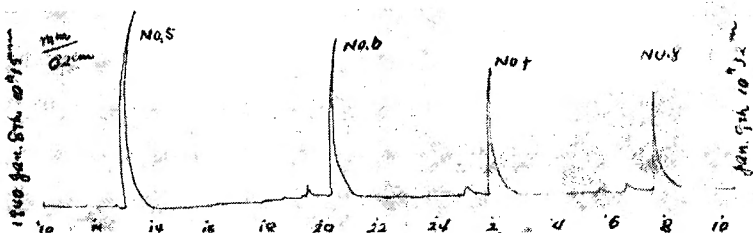
之等を参照して考ふるに湯の谷間歇溫泉は現在の管底のある溫度30米附近は硬岩磐で、しかも地中溫度は 100°C 以下であると結論してよいやうである。第一圖に各深度に相當する水壓下の水の沸騰點を示して置いた。これに依つてみると湯の谷間歇泉の地中各部溫度は水の沸騰點よりはるかに低溫である事を承認出来る。



第1圖 鉛直地中溫度分布圖
No. 3. 火口内 No. 2. 火口瀬内 No. 1. 火口瀬外

2. 噴騰壓力變化

序報に於て管口壓力上昇に依つて休止時間が長くなる事を觀測した。其後噴騰時の壓力變化を觀測するため中型自記氣壓計を硝子鐘内に密閉した。硝子鐘は内徑一纏の厚ゴム管に依つて泉管口下一米に開口する眞鑄管に連絡した。眞鑄管の底は中央に一平方寸の圓穴があけてある。此眞鑄管は噴騰をなるべく邪魔せぬ様泉管壁に近く取付け觀測中は位置を變更しなかつた。故に此觀測裝置に依つて得られた結果は各噴騰壓の變化を比較するには差支ない。昭和15年1月には子吹三回噴騰すると次いで親吹を吹き始めるといふ規則正しい噴騰をした。記録の一例を第二圖に示し、之等の噴騰を記録から整理した結果を示すと次の表の如くなる。



第 2 圖 昭和15年1月に於ける壓力自記記錄の一例

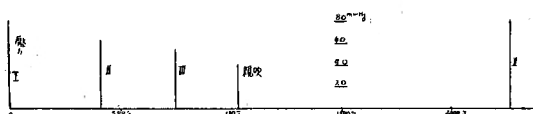
親吹開始から 第一子吹まで		第一子吹から 第二子吹まで		第二子吹開始から 第三子吹まで		第三子吹開始から 親吹まで	
—		^h 7	^m 10	^h 6	^m 30	^h 4	^m 55
^h 17	^m 10	7	12	5	43	5	40
故	障	6	00	5	15	5	05
10	50	6	50	5	30	故	障
20	00	5	50	5	00	3	55
25	10	7	40	6	15	6	10
19	25	6	25	5	20	5	20
22	35	7	25	5	45	5	55
平均	1242分	409分		340分		278分	

各噴騰時の最大壓力を示すと次の如くなる。

阿蘇湯の谷間歇泉続報

第一子吹	第二子吹	第三子吹	親吹
80.0 (No. 5)	62.0 (No. 6)	50.0 (No. 7)	42.5 (No. 8)
80.0 (No. 9)	65.0 (No.10)	71.0 (No.14)	42.0 (No.12)
90.0 (No.13)	70.0 (No.21)	56.0 (No.22)	50.0 (No.15)
82.0 (No.16)	60.0 (No.29)		40.0 (No.23)
80.0 (No.20)			35.0 (No.27)
83.0 (No.23)			
80.0 (No.32)			
平均 82.0 m.m.Hg	64.0 m.m.	56.0 m.m.	42.0 m.m.Hg

之を通覧すると第一子吹が壓力最大で親吹は最小となつてゐる事を知つた。前記の平均噴騰時刻と平均噴騰壓とを第三圖に圖示した。子吹及び親吹を一連の活動と見ると、經過時



第 3 圖 平均噴騰壓力と時刻の關係を示す

間最長のものが最大壓力を示し休止時間が減少するに従つて壓力減少を示すと云ふ結果を讀出し得る。

吾人が前吹と稱してゐる小さい噴出に就て壓力變化の模様を記すと約45分の規則正しい小噴騰で子吹、親吹の所謂主活動の数時間前から屢々繰返してゐる。主活動に近づく程前吹は漸次壓力の増大する傾向が認められる。此現象は主活動とは趣を異にしてゐることは、主活動休止後相當の時間を経た後でないと再び活動を始めない事からも知られる。前吹の呼稱は主活動が近づいてからあだかも露拂の如く活動しだす點に興味をもつたからかく呼んだのにはじまる。

3. 噴騰回数と氣壓變化の關係

泉管口に壓力を加へた場合に休止時間が延長した事は前に記した。しからば相當長期の觀測結果に於ては噴騰回数の中に氣壓變化の影響を取出す事が可能である筈である。

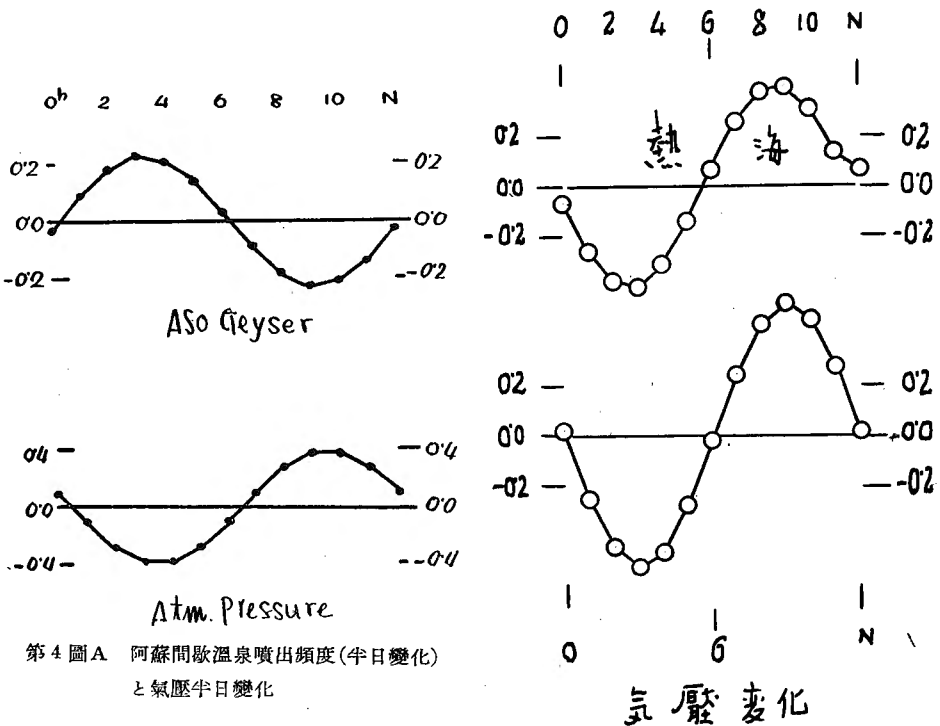
今湯の谷間歇泉の昭和14年11月から同15年1月に至る噴出日時は別表の通りであつて、之によると一日中の毎時間平均噴騰回数の變化項は

$$0.01 \cos(t-19) + 0.23 \cos(2t-98) + 0.23 \cos(3t-270) + \dots$$

京大阿蘇研究所に於ける同年11月中の毎時間平均氣壓變化は

$$+0.16 \cos(t-69) + 0.39 \cos(2t-285) + \dots$$

となる。調査期間が短かいため8時間週期の項がかなり目立つのはやむを得ない。しかし統計數の増加に依つて之を小さくする事は可能である。従つて最後には半日項が主要項となつて残る事は期待出来る故に半日項に主眼を置いてその性質を推察してもひどい誤りはない。かゝる觀點で讀んでみると氣壓の低い所に噴騰回數増大を伴ふてゐる。之は吾人がさきに經驗した管口壓増大に伴ふて休止時間延長と云ふ事實と一致してゐる。第四圖は兩



第4圖A 阿蘇間歇溫泉噴出頻度(半日變化)と氣壓半日變化

第4圖B 熱海大湯噴出半日變化と氣壓半日變化

者の半日項を示して置いた。次に熱海大湯の間歇泉に於て觀測された記録の中から大正12年9月25日から11月4日⁽⁹⁾まで21日間の噴騰に就て調和分析にかけてみたら毎時間の平均噴騰回數變化は

$$+0.69 \cos(t-239) + 0.40 \cos(2t-259) + 0.71 \cos(3t-349) + \dots$$

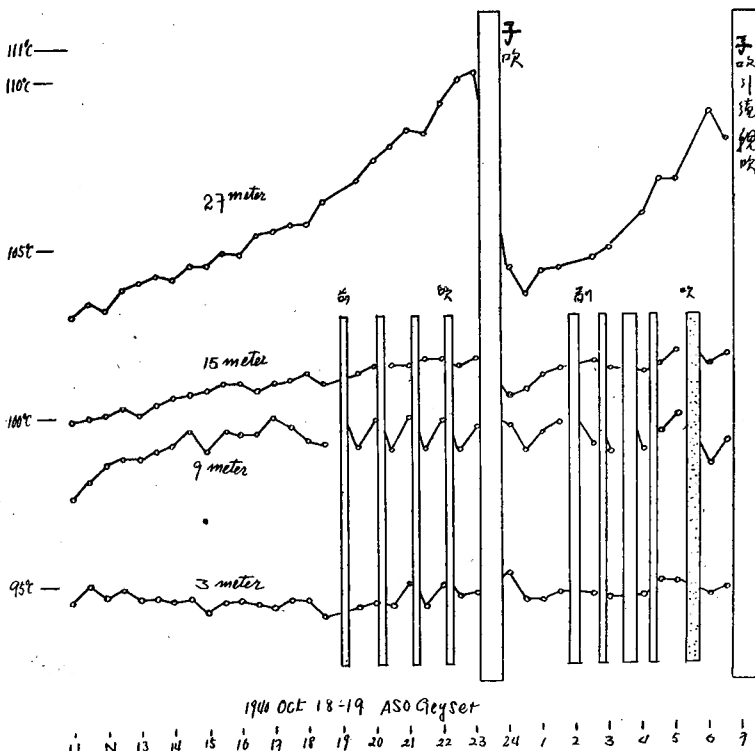
となり、東京に於ける氣壓變化は

$$+0.47 \cos (t-65)+0.53 \cos (2t-272)+\cdots$$

となつた。熱海の場合も半日項以外のものが顯著であるが、之も觀測回數の増加に依つて、半日項を主として残す事が出来る筈である。従つて半日項を主眼とする事、湯の谷の場合の如くすると前の場合とは逆に氣壓増大に伴つて噴騰回數減少となる。熱海間歇泉の代表的研究の一つである本多博士等の觀測⁽³⁾によると低氣壓の場合には週期が延びたと云ふ事である。此研究結果と今の調和分析結果とは一致した結果となる。しからば氣壓變化の影響を打診材料として間歇泉の機構を検討すると二種の機構のある事が知れた。

4. 湯の谷間歇泉管内の溫度

間歇泉活動機構調査にあつては泉管外で觀測出来る材料で目的を達する事が望ましいのであるが、今は溫泉管内にも手をつけて管内溫度の分布を測定し、管外で集めた資料の check に資し他の間歇泉調査の際の参考としたい。第5圖に示したのは管口から下に3米、9米、15米、27米の深さで水銀留點寒暖計を竹のへごに結びつけたものを30分毎に管内に



第5圖 泉管各深度に於ける溫度分布

入れ5分間静止して引上げ各深度の温度を同時に讀取つたものである。數値は別表に示してある。泉管は目下30米以下は管壁が押出されて寒暖計挿入不可能で事實上此所が管底と化してゐる。觀測は連續自記と異つて30分毎に觀測した値であり、且つ相當の volume のあり、又温度狀態の異つてゐる寒暖計及びヘゴを挿入することであるから直徑2吋の泉管内は攪亂され常態時とは異つて來る、従つて觀測結果の整理は單純ではあり得ない圖を一覽して得らるる諸點を列舉してみやう。

(1) 9米層から上は前吹活動に依つて温度の一上一下があるが15米以下の深所ではその影響は殆んど見られぬ。即ち前吹は9米と15米の中間に活動源がある。此部分は序報に於て説明した10米附近の“イケ”に鐵管を挿入してある部分に相當する所である。

(2) 子吹及び親吹の活動源は管底内にある。之等主活動に依つて全管内の攪亂される事が明瞭である。

(3) 子吹噴騰休止後の最低温度は順を重ねる程高温となり親吹直前のものが最高温度を示してゐるのが變化過程の通則らしい。序報に於て記した如く管口に於ける自記温度記錄にも同様の結果が現はれてゐた。けだし泉底から出た熱水が混合して子吹噴騰終了後にも幾分残るが爲とも思はれる。

(4) 湧出量の測定結果に於て 20L/M 及び 80L/M の顯著な活動相がみられたが、之れは前吹活動源から上の管内容積及び管底から上の管内容量に略等しい。此等の相が目につくのは噴出の時この量を一區切として湧出するものと思はれる。

(5) 管底が略30米であると云ふ事は Boring の結果から類推して硬岩磐の部分に管底が位してゐる主活動の根源は安定性があるらしく思はれる。

(6) 昭和15年10月18日には9時に噴騰が終了したので泉管内温度測定を始めた。同日11時底の温度は 103°C であつた。其後23時の噴出が済んでから温度測定を施行したら0時30分で管底温度 103.6°C を得た。此事實は23時の噴騰終了後管底に上つて來た地下水の温度は前の朝時の噴騰の時よりも増温してゐる事を意味してゐる。

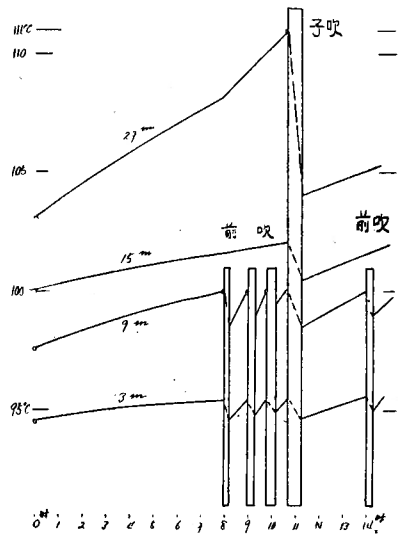
15米深度では最初 99.9°C であつたが後の場合には 106°C と温度増加を來してゐる。

(7) 泉管の上層部では管底の高温度の熱水が噴騰の際通過するので暫時は却つて増温してゐる場合も見られるが、一般的の通則としては子吹又は親吹の如き主活動の終止の後には温度の降下するのが確からしい。けだし管外のより低温である爲にもよるらしく、又比

較的低溫水が泉管内に補給される部分もあるからであらう。

(8) 30分毎の定時観測であるから各活動の同じ位相の模様を全部調査した事にはならぬから實測の圖上では相當の混亂が見られる。

以上の諸點を念頭にをいて本間歇温泉の地下構造を考へると Schematic に第 6 圖の如くなる。即ち地下10米附近に前吹を起すための貯水部があり、又泉管底岩磐下には小貯水室と之に連絡して大容量の貯水室があると思はれる。勿論是等は必ずしも空洞でなくとも差支ない、樹枝狀の割目の集合でも差支ない。此あたりの地質から考へてむしろ後者に屬するものと思はれる。管底(27米)では最初 103°C の地下水が漸次増溫して 110.5°C となると第一子吹を噴騰する。此噴騰が終了すると再び小室に流入した地下水は前回よりも増溫し



第 6 圖 各深度に於ける理想的溫度變化

てゐて 104°C である。噴騰の溫度は 110.5°C 附近に一定してゐるが注入して來る地下水は順次に高溫度のものとなる。次に第一子吹の噴騰終止して次の子吹が噴騰を始めるまでの時間即ち休止時間はその次の休止時間の方が短くなる。此現象も管外観測で既に知つてゐた事柄である。

15米深度では最初 100°C であつたが第一回子吹休止後は 100.5°C に増溫してゐる。第一回子吹噴騰直前には 101.9°C まで溫度の増加を來してゐる。之等の溫度増加は時間軸に凹の傾向のやうである。

9米深度では 97.6°C であつたものが時間と共に溫度の増加を來し 100°C になると前吹をはじめ。休止後は 97.6°C より高い溫度に留まる。再び溫度増加を來し 100°C になると第二回目の前吹をはじめ。之が繰返されてゐる中に主活動たる子吹が噴出すると泉管の水が全部放出される、其主活動休止直後の溫度は最初の溫度よりは高くあるものと思はれる。更に溫度増加して 100°C に至ると再び前吹の活動を繰返すものと思はれる。

3米の所では漸次増溫するが前吹に依つて攪亂される。前吹が終止すると再び溫度の増

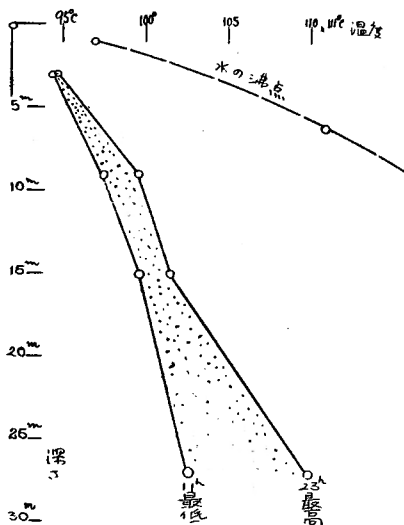
加を來す。

前吹が度々噴出活動すると主活動源の chamber の水の移動をうながすためか温度の増昇率がよくなつて勾配が急になつてゐる事が判然と目立つ。依而思ふに主活動も前吹に依つても少なからず影響されるやうである。

前吹の活動源たる熱の供給は此所の部分に注入される蒸氣によらなければならぬ。之は地中温度は 100°C 以下である事は既に述べてある。前吹が完全なる間歇泉的噴騰となり得ずして終るのは蒸氣の貯積分量が充分でないためであらう。しかし既に判明してゐるやうに噴出毎に幾分の上層水を管外に放出するため、泉管底からより高温の水の供給を受けるため管内の壓力及び温度共に少しづつ増大してゐるやうである。

噴騰休止中の各層の温度増加の模様を検するに、27米、15米の深度では略一様な増温率を示してゐるが、詳しく見ると27米での増加率の方が少し大きい、之は主たる heat source が底に近くて対流作用が15米のそれより一層盛である爲らしい。

泉管の最上層部の温度の降り氣味なのは管外の冷却の影響と見度い。



第7圖 泉管内温度の最底及最高と各深度に於ける水の沸点との比較

(9) 泉管内温度分布は第7圖に示した如く各深度共其點に於ける水の沸騰點よりははるかに低温度である事が知れる。

(10) 管口下一米での温度變化測定に依れば子吹及び親吹の所謂主活動の場合は約 110°C に近い温度が測定された、又前吹の場合には 100°C に近い温度を測定してゐる。⁽⁴⁾ 此等の温度は夫々の活動直前の最高温度に近い。此事は管口での測定でも略出所の温度模様の推察が出来る事を示したものとして重要視されてよろしい。

(11) 本間歇泉の主たる水補給源は矢張り管底附近である事は PH の測定からも略推定せられる。即ち附近の地獄の水につき得られた PH は次の通りである。

阿蘇湯の谷間歇泉續報

地 獄 名	餅 搗	雀	白 池	咆 哮	鑛泉前の川水
PpH	4.0	3.2	4.0	5.2	4.4

咆吼地獄は Boring に依つて得られたもので深さ30米の所から出る温泉で PH 5.2 であるが、前吹に依つて噴出された熱水は PH 5.4 であつた。他の地獄水は地表面に露出されてゐる水であつて判然と區別が目につく。間歇泉の水に就ては噴騰常態の場合四時間の間毎10分をきに泉水を採集 PH 測定をなせるに常に PH 5.6 であつた。尙噴騰経綫中約一時間毎に勢力強大となつたが此時も PH 5.6 であつた。

以上の結果から判断して、前吹活動源の主たる地下水供給源も管底の 5.6 の水であらうと思はれる。本測定は清田理學士の勞に依つて得られたものである。

5. 熱源の考察.

今地下に於て水溜が蒸氣或は地熱で熱を與へられる場合を考へ、

M 地下水溜の有効水量(リットル)

θ_0 時間 $t=0$ の時の水の溫度即ち地下水最初の溫度(攝氏)

θ t 分後の溫度

T 熱源の溫度

とをくと

$$d\theta = \frac{c(T-\theta)}{M} dt \dots \dots \dots (1)$$

と置く事が出来る。 c は constant とすると

$$T-\theta = (T-\theta_0) \cdot e^{-\frac{c}{M}t} \dots \dots \dots (2)$$

湯の谷間歇泉の場合には同一地下水を大きさの異つた大小二ケの Chamber に於て熱し、小室の湯で先づ子吹が噴騰し、之が終ると大きい室から暖められた温水を小室に送り之を更に小室に於て温めて再び子吹として放出するものと考へられてゐる。此場合最初大室に入る地下水は 103°C と測定したから $\theta_0 \div 103$ と置く。子吹噴騰は 111°C で始まるから其時の $\theta = 111^{\circ}\text{C}$ とをく。Boring の結果から押して管底内の溫度は少くも 150°C 以上ある事は推察出来るから $T=150^{\circ}\text{C}$ と置いてみやう。湧出量には多少の不同はあるが昭和14年10月、15年1月、12月、16年1月の測定に依つて子吹は大約僅1立方尺餘、親吹は大約5立方尺にも足らぬものではあるが、貯水室の有効體積は略安定してゐると見なしうる。勿

論噴出量丈では貯水室の有効體積は精算し難く、噴出終了後地下水の室内移入後も急には 111℃ 以下にならぬが實際の噴湯量よりは幾分大きい可能性がある等の理由に依つて上記の値は大體の order を示すに過ぎない。然しあまり大きい差のない事は後に模型實驗の結果を記すからそれからも了解出来る。

親吹終了から子吹開始までの時間は

年 月	昭和14年10月	〃 15年 1 月	〃 15年12月	〃 16年 1 月
親吹終了より 子吹終了まで	約 300分	1000分	1100分	1200分

親吹終了から次の親吹開始までの時間は

年 月	昭和14年10月	〃 15年 1 月	〃 15年12月	〃 16年 7 月
親吹終了より 次の親吹開始まで	約 700分	2000分	2700分	3000分

であるから、大體第一子吹は1100分で、親吹は2500分で吹出すとすると、

$$\text{子吹の場合 } c = \frac{\log(T-\theta) - \log(T-\theta_0)}{0.44 t} M = \frac{0.08 \times 1000}{0.44 \times 1100} = 0.16$$

$$\text{親吹の場合 } c = \frac{0.08 \times 500}{0.44 \times 2500} = 0.36 \quad \text{となる。}$$

此所に得た増温率 c の値は子吹活動に依つて大室から暖められた水が小室に移出され、其の空虚に周圍から 103℃ の水が補充に這入つて來たための cooling も混じた平均の値である。

前吹源も子吹親吹源も其周圍の地中温度のみでは沸騰せしめる事の出来ない事は既に記述した。更に子吹では順を追ふて噴騰壓力の減少する事を知つた。

而して温度は順次増加してゐる事も記した。之等の状態から推察して活動源の主なる熱源は高熱蒸氣であらうと思はれる。而して大室が小室よりも増温率の大なること上の計算の通りであるから、高温蒸氣の浸入は主として大室の方に於てすることが察せられる。兎に角間歇泉の壽命を思ふ時熱源が深所の高熱地帯から來る高熱蒸氣である事は最も望ましい事である。序報に於て述べてある如く當間歇泉掘穿後附近の噴氣孔は閉止してしまつた事實も今の見解に意を強くさせるものがある。即ち從來他に逃げてゐた蒸氣が當間歇泉の掘鑿により其方に吸収される爲ではあるまいか。

7. 噴騰時間及び休止時間の考察

θ を噴騰開始直前の温度として、 θ_0 から θ になる迄の時間即ち休止時間を(2)式から出すと

$$t = \frac{\log_{10}(T-\theta) - \log_{10}(T-\theta_0)}{0.436 \times (-c)} \cdot M.$$

この時の温度は

$$\theta = T - (T - \theta_0) \cdot e^{-\frac{c}{M}t}$$

1) θ , T 及 θ_0 , C が一定である場合に休止時間 t は M に支配される。殊に穿泉に依つて出来た間歇泉では噴出度毎に崩壊をうけて貯水室の容量を變化する事はありうる事である。阿蘇湯の谷間歇泉の噴騰表をみると此場合に相當するらしい様子もある。泉管底が30米になつてゐるがこれから下は硬い岩磐であるから案外安定した空隙を保持出来るかも知れない。Bunsen は Ice Land の間歇泉はアルカリ性に限ると記載してゐるが、佐藤傳藏氏によると鬼首の場合は中性であると云ふ。此等の主張は間歇泉の活動機構に關するものではなくて、只アルカリ性泉の場合は sinter のために空隙が保護出来易く M の安定に都合がよいと解すべきではあるまいか。湯の谷間歇泉は穿泉者長迫二郎氏及び橋村技師の記録に依ると竣工直後には27分及び45分毎に噴騰した。2ヶ月後には30分毎に噴出した、5ヶ月後には50分餘、而して湧出量益々増加すると云ふ。6ヶ月後野滿教授の觀察した時は5時間を連續して噴出してゐた。10ヶ月後には4—5時間毎に子吹を演じ數回の子吹の後に親吹4時間の噴騰となつたが其後は休止時間は少々延びた様子はあるが大體に於いて落着いた事は二種の空隙の安定を意味するものと見度い。

2) 空隙が安定して來ると問題になるのは θ_0 である。 T 及び θ , c が一定とすると、もし θ_0 が増大して $\theta \div \theta_0$ となると連續噴騰をする。熱海大湯の“永湧”は地熱のために地下水の温度上昇によると解されてゐるが、もしさうならば此場合に相當するであらう。 θ_0 が降下すると再び間歇的となり更に降下すると週期が延びてしまう。

3) θ の變化に依る休止時間の變化は極めて重要である。前の式に於て θ が増大すると t は増大し、 θ が減少すると t も亦短くなる。今地下水位の増減に依つて、 c に影響無いと假定しやう。水位 136cm 上昇は 100mmHg 上昇に當り、 θ は約 3.75°C の上昇にあたる。今 50mm Hg の變化即ち 68cm の水位變化のあつた場合を計算してみると、 $T = 150^\circ\text{C}$ $M = 1000$ 立 $\theta_0 = 103^\circ\text{C}$ $c = 0.16$ として

阿蘇湯の谷間歇泉續報

Hg	水 位	0	第一子吹までの休止時間
+50.0mm	+68cm	113°C	1480分
0.0mm	0.0	111°C	1160分
-50.0mm	-68cm	109°C	1000分

上表の如く休止時間を變化させる事になる。Excelsior⁽⁶⁾ 泉の如きは一方の標準型となつてゐるが水位の變化の影響を顯著に受けるらしい。

別府間歇泉⁽⁷⁾の場合には梅雨期には地下水位の上昇を來し週期が延びた由、地學雜誌に出てゐる横山又次郎氏 Hecla geyser 見聞記には石鹼を20磅投入して噴出を促進したと云ふが水位變化以外の効果をねらつたものか了解し難い。別府では管水を汲出して促進させてゐたと云ふ。湯の谷間歇温泉の場合に於ては前吹は此役割を演じてゐると見られる。即ち前吹の活動に依つて管水を管外に放出して水位を低下させるのである。鬼首間歇泉に於ける“弘法”“不動”の活動の様子は“弘法”が“不動”を促進させてゐる如く解されてゐる。⁽⁸⁾

4) 地下水が供給不充分の場合

水位の變化は顯著でなくとも地下水の供給充分でない場合は噴騰終了後空隙の周圍の溫度を沸騰點以下に冷却するのに時間がかかる。即ち間歇噴騰の after effect とでも云ふべき現象を起す。子吹の場合には見られないが親吹の場合には噴騰中に時々勢力を盛返す。この現象は一種の after effect として解釋出来る。即ち地下水の供給不充分のため空隙を手早く冷却する事が出来ないでゐる中に熱の供給が相當ある爲再び噴騰を始めるものと解されるやうである。此場合 PH が前後に同じくて同一源から出たものと解される事は前に述べた。

昭和15年 8月3日	〃 4 日	〃 5 日	〃 6 日	〃 7 日	〃 8 日	〃 9 日	〃 10 日
子吹ばかり	親 吹 6~15時 まで	子吹ばかり	子吹ばかり	親 吹 6~16時 まで	子 吹	子 吹	親吹ばかり

上の表の如く水不足の期節には after effect と思はれて活動時間が皆長い。昭和14年8月に野滿教授の観測は此の種類のもので解するのが好都合かも知れない。

5) 氣壓による影響(A)

3)の必然的結果として氣壓の効果が考へられる。水の沸騰點は $1000^{\circ}\text{C} + 0.0375(\text{H} - 760)$ +…………… 但し H は大氣壓力を mm. で示したものである。故に 1mm. の氣壓變化があ

ると 0.04°C の變化をする筈である。之に應じて休止時間も變化する筈である。 θ の増大は t の増大となるから毎時間の噴出回数を相當期間集めると氣壓の變化に應ずる頻度の變化を示す筈である。然し今の議論は増溫率 c が外壓に依つて不變とした時の事である。蒸氣の進入が相當の分量ある場合にはその變動増減による c の變化の影響が著しい場合があるのではなからうか。

6) 水位變化に依る θ の變動と子吹親吹との關係

湯の谷間歇泉の活動は大貯水室（有效容積 5 立方米）に於いて暖められた水が更に小室（1 立方米）に進入し此所でも暖められ 111°C に昇ると子吹を始めると見られるのであるが今

$$T=150^{\circ}\text{C} \quad \theta=111^{\circ}\text{C} \quad \theta_0=103^{\circ}\text{C} \quad c=0.16 \quad C=0.36$$

として子吹親吹を算出してみやう。

$\theta_0=103^{\circ}\text{C}$ の水が全機構各部に充されてから第一子吹を始めるまでの時間 t_1 は

$$t_1 = \frac{\log(150-111) - \log(150-103)}{0.4346 \times (-0.16)} \times 1000 = 1160(\text{分})$$

この時の大室内の溫度は15分間の平均噴騰時間を考慮に入れて

$$\theta_1 = 150 - (150-103) \cdot e^{\frac{-0.36 \times 1175}{5000}} = 107(^{\circ}\text{C})$$

此水の若干が小室に進入して更に熱せられ第二子吹となつて噴騰する。

$$t_2 = \frac{\log(150-111) - \log(150-107)}{0.4346 \times (-0.16)} \times 1000 = 610(\text{分})$$

$$\theta_2 = 150 - (150-103) \cdot e^{\frac{-0.36 \times (1175+625)}{5000}} = 109(^{\circ}\text{C}).$$

かくして $t_3=310$ 分 $\theta_3=110^{\circ}\text{C}$ $t_4=160$ (分) $\theta_4=110.5(^{\circ}\text{C})$ 故に第 3 回目の子吹がすんで次には親吹を始める事となる。

此計算値と前に出した平均の實測値を第 9 圖に示した。更に挿畫の如き 30cc 及び 150cc の容積のある容器を



間歇泉模型溫度變化

第 8 圖 模型及び溫度變化自記記象

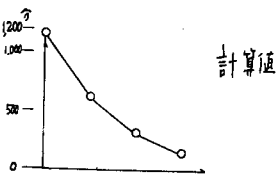
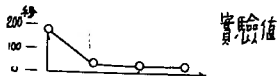
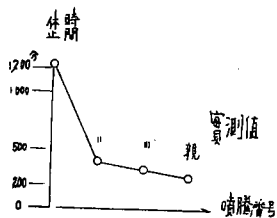
I	第一子吹	} time mark は毎10 ^s
II	第二子吹	
III	第三子吹	
IV	親吹	

模型は基本噴騰のみ

パイプで連絡して作った當間歇泉の模型を電熱器で適當に熱めて子吹3回にして親吹1回の噴出をなさしめ湧出量及び噴出時間の模様を實驗してみると次表の通りになつた。

模 型 實 驗 結 果

		子Ⅰ吹		子Ⅱ吹		子Ⅲ吹		親吹
休止時間	164 ^s		36 ^s		31 ^s		25 ^s	
湧出量		13 ^{c.c.}		22 ^{c.c.}		31 ^{c.c.}		155 ^{c.c.}
休止時間	194 ^s		40 ^s		30 ^s		25 ^s	
湧出量		15 ^{c.c.}		24 ^{c.c.}		32 ^{c.c.}		161 ^{c.c.}
平 均	179 ^s	14 ^{c.c.}	38 ^s	23 ^{c.c.}	31 ^s	32 ^{c.c.}	25 ^s	158 ^{c.c.}



第9圖に於て三者を比較して見ると實測と模型實驗とは略似た状態を示してゐる。計算値に於いては終りの方が勾配が少し急になる。これは小室の噴出の影響が實際にはもつとひどくきいてゐる事を示すものと思ふ。

以上は平水位の場合の計算であるが、これと同じ要領で増温率 c は不變として水位を100cm丈増減した場合の子吹の回数と地下水の θ_0 が105°C, 99°Cに變化した場合も計算してはみたが子吹親吹の間の回数關係は殆ど變らない事が知れた。之でみると M 及び c に變化のない限り休止時間の變化はあつても子吹三回にして親吹を始めると云ふ活動様式には變りない事が云へる。換言すると、此回数關係に異狀があると M, c に主なる變化のあつた事を意味す

第9圖

ると云ひうる。昭和14年11月上旬には子吹2回の後に親吹を始めたが

親吹休止から第一子吹まで $t=300$ 分

親吹休止から親吹開始まで $t=700$ 分

であつた。もし M にひどい變化がなかつたとすると、 c は12.0及び15.0となる。之に反し昭和15年1月に於ては既述の通り0.16と0.4となつてゐる。

8) 氣壓影響から見た間歇泉の活動(B)

以上の調査によると、間歇泉噴騰作用に對する管口壓力上昇は湯の谷、別府及び鬼首の

場合は噴出を抑制され、熱海の場合は却つて促進されると云ふ。しかるに壓力變化に依る θ の變化に原因する場合ならば兩者共全く同一結果とならねばならぬ。

而して湯の谷の場合の如く子吹、親吹の活動をやる場合には噴出回數の關係が變る爲には θ_0 , θ の多少の變化は問題にならないでむしろ増溫率 c の異變に待つ所著大なるものと云ふ結論になつた。

故に壓力變化の影響の二様になる事を解決するには増溫率の變化が二様になる機構を考へねばならぬ。

あたかもよし1915年本多、曾禰兩博士の鬼首間歇泉研究結果に於ても θ の變化でなく増溫率の變化に原因する事は全く別の方法で結論されてゐる⁽⁹⁾。即ち“氣壓の減少によつて地下水の流動を容易ならしめるために地表近くに空洞の存在する鬼首の場合は、地中は高温でなく空洞中の水は流入する比較的高温の地下水から熱せられる事となる故に低氣壓の時には地下水の活潑な循環が行はれ空洞中の水の加熱は早くなる、従つて週期を短くする”と云ふのである。更に熱海の場合は空洞が地下深く存在してゐる空洞の周囲の壁は地下水よりも高温を有して居て空洞内に入り来る水へ熱を供給する。斯くして低氣壓の場合には空洞中の水の加熱が遅くなり、従つて噴騰週期を長くする”と云ふにある。

湯の谷間歇泉に於ても空隙の容積 M の安定を假定すると増溫率 c の變化を豫想しなければならなかつた。鬼首と湯の谷は調査方法は相異してゐるが共に氣壓變化の影響は主として増溫率 c の變化として現はれると解するのが正當であるらしい。

鬼首に於て考へられたる如く地下水の流動順環が氣壓變化に依つてどの程度に影響されるかは直ちに斷言出來ないにしても高熱蒸氣が地下裂孔を地表へと進出する事は間歇泉地帯では何人も認めてゐる事實である。此蒸氣の進出は氣壓變化の影響をうける事は推察出來る事である。此點を考慮に入れて本多、曾禰兩博士の考へ方に協力したい、即ち“湯の谷の場合は主活動源にある地下水はその主たる熱源である所の高熱蒸氣が氣壓變化に影響される即ち氣壓上昇に依つて抑制されるから加熱作用が遅れる”と解する事が出來るとすると至極好都合である。湯の谷間歇泉の泉管口に耳を近づけるとゴトゴトと音がして蒸氣泡の出てるのが知れる。又湯の谷の白池、雀等の諸地獄を見ると地下水の水面は殆んど不變ではあるが蒸氣泡を盛んに吹出してゐるその蒸氣泡が氣壓變化の影響をうける事は理解出來る事である。

熱海の場合に都合よき想像が許されるならば主たる熱源は周囲の高熱岩磐であるとしてその岩磐よりも低温度の蒸気が空洞を通過して泉管にもれて出るとすると、氣壓増大に依つて蒸気泡の管外逃出は妨けられ熱源は cooling される事を減じ従つて噴騰は促進される事となる。高熱岩磐の局所的存在は可能な事である。故に上の如き説明もあまり無理ではないと云ひうる。

熱海及び湯の谷の活動様式の逆である事は氣壓變化を打診材料として得た事柄ではあるが、その氣壓變化の影響たるや極めて微々たる存在で、間歇泉の噴騰、休止等を創作させる程の重大な役割を演じてゐるのではない事は勿論である。たゞ微少なりとは云へその影響を適當に分析して間歇泉活動機構を解決しやうとしたのである。

結 語

以上の結果を要約すると

(i) 阿蘇間歇泉には前吹、子吹、及び親吹と稱する三様の活動段階がある、前吹は子吹及び親吹の促進作用をなす存在である。

(ii) 現在の管底(30米)以下の所に有效體積5立方米及び1立方メートルの空隙が連絡してゐて、夫々親吹及び子吹の活動源として存在するらしい。管口から下10米附近に前吹の活動源がある。空隙は空洞と稱すべき程のものでなくてむしろ樹枝狀に分岐した割目の集合らしい。

(iii) 地下水(103°C)の主たる供給は大室を経て小室に入り更に泉管内に送り込まれる。

(iv) 熱源は 150°C 前後の蒸氣であるらしい。

(v) 最初 103°C の地下水が小室で約 111°C になると前吹に刺戟されて子吹を始める。子吹が數回繰返されてゐる間に大室も 111°C になり親吹活動をはじめる。之が終了すると 103°C の地下水が全部に充滿され再び最初からの活動を反覆する。

(vi) 泉管口に加はる壓力變化を比較的鋭敏に感じ壓力上昇に依つて噴騰は抑制される。此現象は別府及び鬼首の或者と同様であるらしい。

(vii) 熱海の大湯間歇泉は氣壓變化の作用は湯の谷のそれとは逆に受けるらしい。

(viii) 而して之が原因は結局増温率 c の變化に影響されるのが最も効果的であるらしく、従つて受熱様式の相異が注目されるに至つた。今假りに一つの試案を提出したが尙今後の研究に待つて確定したい。

(ix) 以上の要領に依つて基本活動を示す模型を提出してみた。寫眞はその外觀と溫度變化記錄の一例を示した。實驗の結果は既に前に記してをいた。

本報告の一部は昭和15年4月の日本數學物理學會の年會に、又昭和16年11月には學術研究會議例會に於て紹介された。

野滿教授には三ヶの Boring を文部省科學研究費に依つて施行して戴き、且つ本文の校閲と批正を受け、又泉管溫度測定は理學士中村秋甫氏の努力に依つて示された。現場に於ては大阿蘇交通株式會社専務浦知十氏、橋村技師、長迫二郎氏の援助をうけた。研究所員中原、池松、稻垣、竹原、高月諸君には夫々觀測にあたり非常な苦勞をかけた。共に記して謝意を表する次第である。

文 獻

- 1). 南葉：一湯の谷間歇泉序報。地球物理第3卷第4號
- 2). 震災豫防調査會報告第100號甲 p. 84
- 3). K. Honda and T. Terada:—Publ. Earthqu. Inv. Comm. 22B. (1906), 51.
- 4). 前出序報
- 5). K. Honda and T. Terada:—前出
- 6). F. v. Wolff:—Handbuck der Geophysik Bd. III, Lief. 1 282.
- 7). 丸田、鈴木：一地球物理第1卷第2號 p. 74-102.
- 8). K. Honda and Sonne:—"The Mineral Spring in Japan" (1915).
- 9). 前出

阿蘇湯の谷間歇泉続報

Aso Geyser : time of Eruption.

	開始時刻		開始時刻	
1939 Nov. 7th	^h 12 ^m 20	1940 Jan. 7th	^h 15 ^m 00	(No. 3)
	15 19		19 55	(No. 4)
	23 03	Jan. 8th	13 10	(No. 5)
Nov. 8th	2 25		20 22	(No. 6)
	5 21	Jan. 9th	2 05	(No. 7)
	14 39		7 45	(No. 8)
	18 05	Jan. 10th	16 50	(No. 9)
	21 21		22 50	(No. 10)
Nov. 9th	6 44	Jan. 11th	4 05	(No. 11)
	10 36		9 10	(No. 12)
	13 57	Jan. 12th	5 00	(No. 13)
Nov. 16th	11 10		11 50	(No. 14)
	15 55		17 20	(No. 15)
	19 24	Jan. 13th	13 20	(No. 16)
	23 15		19 10	(No. 17)
Nov. 17th	2 55	Jan. 14th	0 10	(No. 18)
	6 10		4 05	(No. 19)
	15 12	Jan. 15th	5 15	(No. 20)
	19 10		12 55	(No. 21)
	22 55		19 10	(No. 22)
Nov. 18th	2 45	Jan. 16th	1 20	(No. 23)
	6 25		20 45	(No. 24)
	17 58	Jan. 17th	3 10	(No. 25)
	22 15		8 30	(No. 26)
Nov. 19th	1 55		13 50	(No. 27)
	5 40		12 25	(No. 28)
	9 52	Jan. 18th	19 40	(No. 29)
Dec. 28th	17 05		1 35	(No. 30)
	22 25	Jan. 19th	7 30	(No. 31)
Dec. 29th	01 10		6 45	(No. 32)
1940 Jan. 7th	1 20	(No. 1) Jan. 20th		
	8 30	(No. 2)		

阿蘇湯の谷間歇泉續報

時 刻	熱海大湯大陰日 噴 出 回 數 表	同 左 太 陽 日 回 數	阿蘇間歇溫泉 太 陽 日 回 數
ⁿ 0—1	11	9	1
1—2	5	5	5
2—3	11	11	4
3—4	10	10	1
4—5	9	10	2
5—6	4	4	4
6—7	10	10	4
7—8	16	15	2
8—9	12	12	2
9—10	4	4	2
10—11	11	11	1
11—12	12	12	2
12—13	9	10	3
13—14	11	12	4
14—15	5	5	1
15—16	13	12	4
16—17	11	9	1
17—18	16	18	3
18—19	7	6	1
19—20	10	12	5
20—21	4	3	2
21—22	14	14	1
22—23	9	9	4
23—24	11	12	2