

原 著

内 牧 温 泉 の 現 況

湯 原 浩 三

(京 都 大 学 理 学 部)

(昭 和 35 年 8 月 14 日 受 理)

1 緒 言

阿蘇内牧温泉については昭和15年に京大研究用温泉の掘さくに際して広範な調査が行われたが¹⁾、その後既に約20年の年月が経過した。この間特に近年は一般的な温泉地の開発々展の波にのり、内牧温泉でも掘さく孔数、総湧出量共に著しく増加している。筆者は昭和27年に内牧温泉に関する調査研究を行い、その結果を既に概報²⁾したが、更に今回改めて調査を行った。別府温泉に於ては、大正13年以来ほぼ10年おきに一斉調査が行われ、その実状を把握することによって温泉の保護、開発、更に行政上の問題に対する適正な判断に役立てられている。内牧温泉に於ても上述の如く、ほぼ10年毎に既に3回調査が行われたので、これを機会に今迄の調査結果を比較し、その変遷及び発展の経過を眺めることにする。次に内牧温泉の湧出機構についても既にいろいろな方面から詳細に研究されているが、³⁾今回の調査資料に基いて、温泉水の起源に対して若干の考察を加えたいと思う。

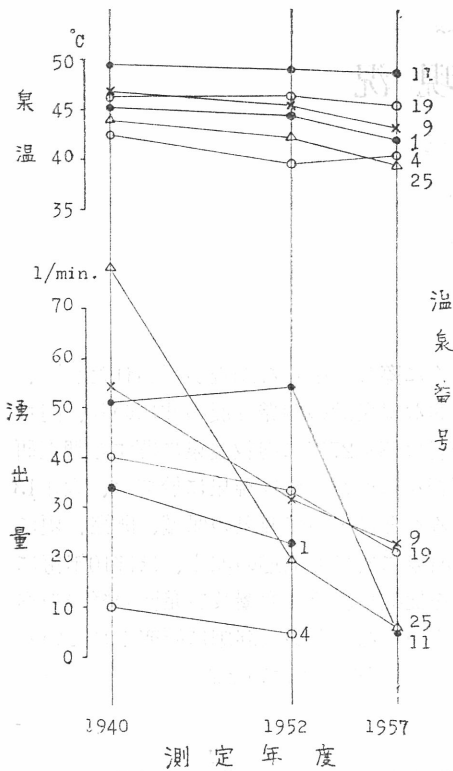
2 温泉孔の変遷

内牧には古来町の東北端の湯山と西北郊外の折戸に自然湧出温泉があつたが、明治31年以来市街地に掘さくが行われ、その後需要の増大と掘さく技術の進歩によつて、孔数がふえると共に深度も増し、結局総湧出量も増加して来た。その模様は第1表に明らかである。

第 1 表

年 度	活動孔数	総湧出量 (30°C以上 のもの ポンプ揚水 を除く)	最高泉温	平均湧出量 (30°C以上 のもの ポンプ揚水 を除く)	平均泉温	平均深度
		l/min	°C	l/min	°C	m
1940 (昭和15年)	70	1694	49.7	24.9	41.9	118
1952 (昭和27年)	73	1253	49.0	19.0	41.0	131
1959 (昭和34年)	91	3084	49.0	43.4	42.2	138

昭和27年には昭和15年と比べて、孔数がほぼ等しいにも拘らず総湧出量が約30%も減少している。これは第1図に実例を示す如く、個々の温泉の湧出量が著しく減つたためである。内牧では個々の温泉の寿命は比較的短い。即ち、昭和27年には昭和15年に活動していた温泉孔のうち18孔が、昭和34年には昭和27年に活動していたものうち19孔が閉止又は廃孔となっている。閉止や廃孔の際はその代替として新掘さくが行われることが多いが、昭和15年から昭和27年までの間には戦中戦後の社会状況を反映して改掘が充分行われなかつたことを物語っている。



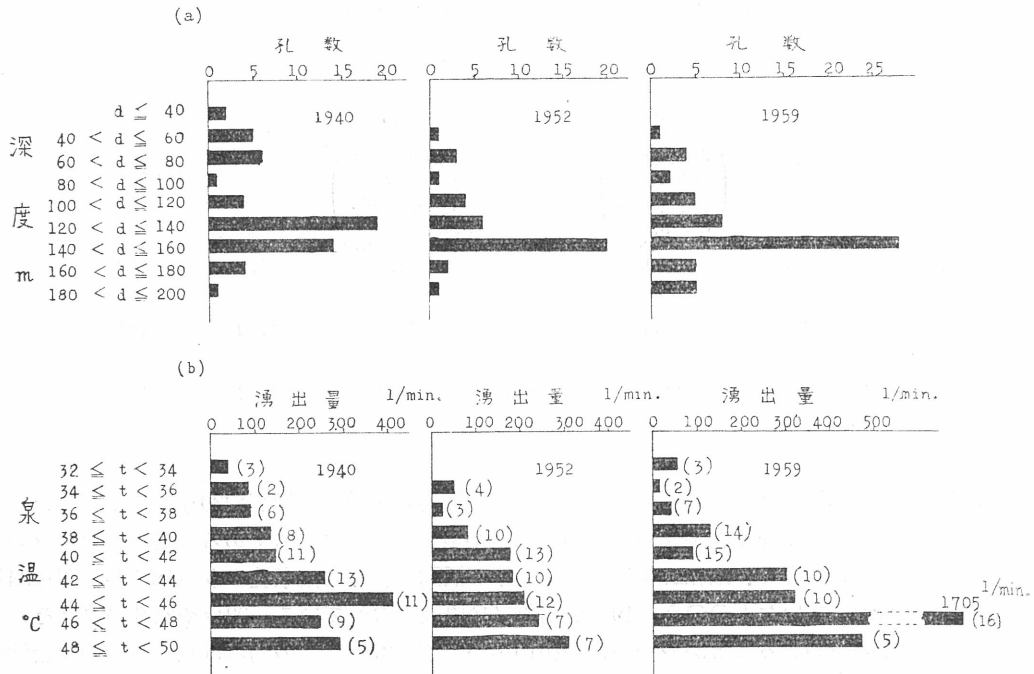
第1図 泉温湧出量の経年変化

湧出量が年々減少することの原因としては、先ず、温泉沈着物や細泥の附着のため孔管が狭められたり、孔底附近の地中の透水率を低下させたりすることが考えられる。更に湧出量の減少を補うためにその近くに掘られた温泉孔は、旧孔よりも深い層から採湯する事が多いから、これが浅層の温泉水圧の低下をひきおこし、既存の温泉の湧出量の減少に拍車をかけることになる。

第2図は過去3回の調査時の深度と孔数、泉温と湧出量(孔数)の関係を図示したものであつて、深い温泉孔が増しつつある傾向がうかがわれる。又これらは湧出量も多く泉温も比較的高い。しかし泉温の最高は第1表に示した如く49°C乃至50°Cであつてほとんど変つていない。結局昭和34年現在、内牧温泉の大半は、深さ150m前後の地下から湧出する約47°Cの温泉といふことが出来る。

3 泉温分布

昭和34年8月の調査結果の細目を第2表に示す。これより泉温の地理的分布を描くと第3図が得られる。



第2図 (a) 深度と孔数の関係(深度のわかつているもののみ) (b) 泉温と湧出量合計(孔数)の関係

第2表 温泉番号の欠番は昭和27年以前に閉止したもの。一印は昭和27年から昭和34年の間に閉止したもの。掘さく年月は特に記してない限り昭和、湧出量の微は微量、ポはポンプ揚水のもの、不は測定不能、又Cl, HCO₃の採不は採水不能を表はす。

(昭和34年8月調査)

温泉番号	所有者(通称)	掘さく年月	深度m	泉温°C	湧出量l/min	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l	N ₂ +A cc/l o°C	O ₂ cc/l o°C
1	杉田好太郎(キリスト教会)	8.8	162	41.9	微	162	338		
1の1	阿蘇町役場			—	—	—	—		
1の2	杉田好太郎(キリスト教会)	33.2	149	45.0	34.7	132	415		
2	小里部落共有	8.8	126	39.0	53.0	129	230		
2の1	同	28.12	140	43.7	46.2	102	437		
3	甲斐 政寅 (共同湯)	大 12	117	42.3	5.6	150	326		
3の1	同	28.9	142	45.1	32.3	164	360		
4	下村 清一	6	108	40.4	微	採不	採不		
4の1	同	32.11	127	40.6	2.9	146	332		
6	和田美智雄 (阿蘇ホテル)	15.6	144	40.4	不	161	293		
6の1	同	8		—	—	—	—		
6の2	同	7		40.7	微	134	216		
6の3	同			—	—	—	—		
6の4	同	33.12		47.4	125.8	177	398	15.0	0.7
7	杉原 春作 (白菊荘)	13	126	—	—	—	—		
7の1	同			—	—	—	—		
7の2	同	28	153	39.4	微	採不	採不		
7の3	同	29.9	157	37.0	ポ	採不	採不		
8	松岡 茂 (大阿蘇旅館)	14	138	39.0	9.3	132	227	13.3	2.1
8の1	同	34.8	153	43.0	170.5	157	226	12.7	1.4
9	安達 卯作 (だるま旅館)	7	149	43.0	22.5	115	155		
10	東 広吉 (宝泉旅館)	25	155	44.3	50.7	124	183	16.5	0.3
11	永田 泉吉 (蘇山郷)	9	144	48.7	4.8	154	199		
11の1	同	34.2	192	49.0	236	159	282		
14		12	140	—	—	—	—		
16	電々公社 (大観荘)		162	—	—	—	—		
16の1	同	33.11	90	47.5	137	178	365		
17	二宮 猛夫 (米屋旅館)	大 14		—	—	—	—		
17の1				45.9	3.4	167	286		

温 泉 番 号	所 有 者 (通 称)	掘さく 年 月	深 度 m	泉 温 °C	湧出量 l/min	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l	N ₂ +A cc/l o°c	O ₂ cc/l o°c
17の2	二宮 猛夫 (米屋旅館)	34.4	190	46.2	221	132	310		
18	内牧小学校	12	180	—	—	—	—		
19	池田 栄 (五缶荘)	2	144	45.2	21.2	111			
19の1	同	34.1	190	47.0	226	150	338		
20	井野 忠治	12	171	42.0	7.7	77	316		
20の1	同	8	135	40.9	ボ	採不	採不		
22の1	家入吉太郎 (新つたや)	33.1	144	36.5	21.1	51	260	17.7	0.8
22の2	同	27	133	38.8	18.6	84	199		
23	小野 主生 (医 院)	8	144	—	—	—	—		
25	八代 某 (駅弁会社)			39.6	6.0	92	321		
25の1	同			39.9	8.0	184	238		
25の2	同			42.5	1.7	144	338	12.9	1.7
26	満 徳 寺	7	126	—	—	—	—		
28の1	工藤 勇吉 (山王閣)	25	144	—	—	—	—		
28の2	同	33	154	46.0	60.0	175	282		
29	家入外科医院			33.4	ボ	18	133		
31	下城 好来			17.3	不	14	122		
33	小島 悟 (ますや旅館)	8	144	38.6	5.3	74	420		
33の1	同	2	137	不	ボ	採不	採不		
34	遠山 弥一 (角万旅館)			44.2	15.2	208	254		
34の1	同			44.5	21.1	171	199		
34の2	同	33.12	180	47.0	200	169	326		
35	丹部 路也 (小桜荘)			—	—	—	—		
36	遠山 弥一 (角万旅館)			43.0	5.9	191	210		
36の1	同			—	—	—	—		
36の2	遠山 弥一 (九電使用)			41.6	7.5	101	177		
37	寺本 清雄 (金物商)			—	—	—	—		
38	同			36.9	7.4	65	227	14.0	1.6
39	江藤 舜次			32.8	5.6	7	94		

温 泉 番 号	所 有 者 (通 称)	掘さく 年 月	深 度 m	泉 温 °C	湧出量 l/min	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l	N ₂ +A cc/l o°C	O ₂ cc/l o°C
41	古閑 文子 (丸一旅館)			24.3	4.5	18	77		
41の1	同			24.2	2.3	9	105		
42の1	佐藤 富雄 (家具商)	28	135	35.0	12.0	54	249	17.8	0.1
46	森本アヤ子 (塘下温泉)	大 10	72	42.6	10.5	152	332		
46の1	同	14	72	42.9	11.3	143	299	15.8	0.6
46の2				41.5	3.7	146	332		
47の1				25.9	微	採不	採不		
48	下城 好来	17	54	不	微	採不	採不		
49				16.3	4.5	9	144		
50	洞田貫吉続 (湯山温泉)			20.3	不	14	94		
51	折戸池中温泉			33.5	不	104	194		
52	坂本 弘 (折戸温泉)	大 14	63	41.6	17.8	217	321		
53	柿原 休	17	144	—	—	—	—		
56	竹本 美次		162	45.0	3.9	100	410		
58	大倉 丈人			38.2	15.2	157	349	13.8	1.5
59				38.9	4.9	157	492	12.7	1.5
59の1				23.5	不	30	205		
59の2				39.0	不	159	321		
61	内野 住平 (宝湯)	7	151	47.5	66.3	143	199	16.0	0.7
63	阿蘇町役場 (田町温泉)		144	40.5	13.5	138	177		
63の1	同	28	149	46.0	69.0	180	265	16.0	0.3
64	佐伯 巖 (見晴荘)	26		38.2	1.7	148	304	12.9	0.5
64の1	同			41.4	8.2	152	326		
65	山本 安喜 (宮原共同湯)			39.1	微	採不	採不		
65の1	同			41.3	5.8	63	249		
65の2	同	34.4	65	38.3	3.8	41	177		
66	迫 豊記 (雲海旅館)	34.6	145	45.6	110.2	115	326		
68	道 智 寺	7	81	—	—	—	—		
68の1	同		117	38.8	1.0	168	232	14.4	0.6

温 泉 番 号	所 有 者 (通 称)	掘さく 年 月	深 度 m	泉 温 °C	湧出量 l/min	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l	N ₂ +A cc/l o°C	O ₂ cc/l o°C
69	後藤 鉄蔵			40.0	5.1	134	238	14.0	1.4
69の1	同			37.0	1.3	35	177		
69の2	同			—	—	—	—		
70	田代 重信 (丸屋旅館)	27.1	108	47.1	18.5	153	366	17.0	0.2
71	清水澄夫 (たつた旅館)	26.5	148	43.5	17.7	144	249		
71の1	同	30	162	46.0	98.5	185	310	15.1	0.0
72	佐藤 信敏 (山楽荘)			44.5	25.3	159	281		
72の1	同	33	130	46.8	34.9	162	299		
73	工藤 芳雄 (竹田屋)			—	—	—	—		
73の1	同	28	153	47.7	38.1	175	266		
74	池田信夫 (編物研究所)		144	37.1	2.1	71	194		
75	京都大学	16.7	153	46.1	20.0	147	221		
76	養 老 院	31.6	118	35.9	3.3	122	221	16.1	1.1
77	内物中学校	30.11	123	37.9	7.0	127	221		
78	新町下組共同湯	30	131	39.2	8.7	131	260		
79	脇義文 (医 院)	28.7	144	40.8	12.2	57	188		
80	高木岩雄 (中央温泉)	28.1	149	47.2	33.4	161	288		
81	三宅末太郎 (菊水荘)	29.11	148	49.0	88.5	171	265		
82	山下典之助 (木材商)	30.2	153	48.2	63.4	169	238		
83	阿蘇観光会館	32.12	190	48.0	79.7	162	277		
84	七福共同温泉	28	149	47.1	26.9	146	243	9.3	0.7
85	公立学校共済組合 (ひのくに荘)	32.4	172	47.8	330	177	260		
86	内牧保健所	29.4	140	41.1	16.2	187	188	12.9	0.9

深度別の泉温分布図を作成してみても、大半を占める深さ140m乃至150mの分布図は第3図とほとんど同じである。第3図に於て、最高温部が町の中央よりやや南東寄り、坊中街道の延長線上に存在することは昭和15年の分布と変りがない。しかし西部のものの泉温が低下した事、及び北東部の新掘によつて45°C以上の温泉が湧出した事は分布図を大きく変えている。

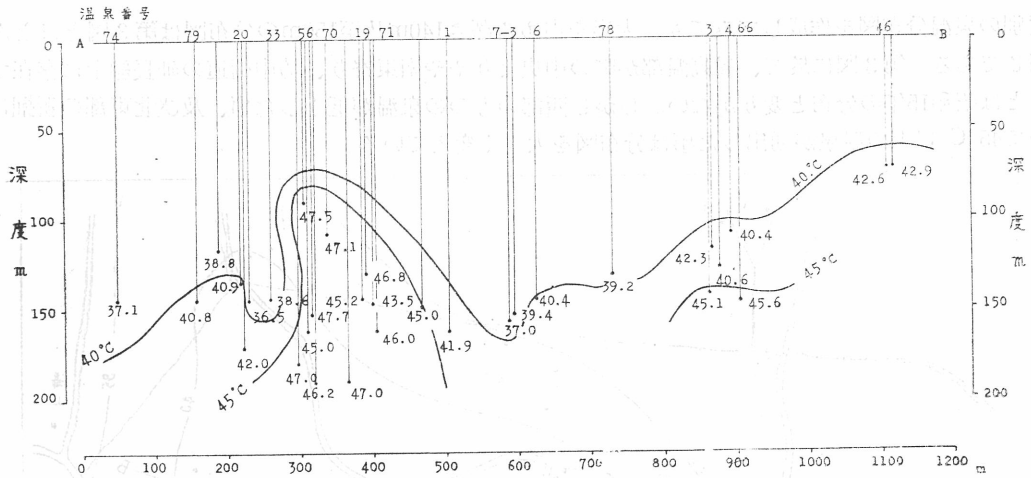


第3図 温泉孔及び泉温分布(°C)

- : 活動している温泉孔
- : 閉止又は廃孔となつている温泉孔
- : 京都大学火山研究施設内牧分所
(但し折戸附近の温泉はこの図に入っていない)

西部地域は最も古く開発されたが、もともと浅くて泉温の比較的低い地域であつた。昭和15年には40°C前後のものが多かつたが、今回の調査では35°C前後のものが多。これらの大多数は長い間浚渫が行われず湧出量も減少してきているのでこれが泉温低下の原因の一つであることは間違いない。更にこの地域で比較的新しい一二の温泉井は尚40°Cの泉温を保つているので、地下の温泉水の温度が全面的に低下したとは考えられない。北東部に比較的高温の温泉が湧出したのも掘さく技術の進によつてもたらされたものであるから、泉温分布図にあらわれた昭和15年以来的変化は本質的なものではなく、むしろ、湧出量が約2倍に増加したにも拘らず、地下温泉帯水層の状況はほとんど變つていないと考えてよいであろう。

野満¹⁾は内牧温泉の地下構造をより明らかにするため第3図ABを通る垂直断面内の泉温分布図を作成した。今回の調査資料から同じ断面内で同様な分布図を描くと第4図の如くなる。これは湧出温度に基いたものであるから正確には地中の温度分布を示すものではないが大勢を知るには充分である。そして昭和15年度のものと同様に変りはない。多少異つている点と云えば、所謂高温舌状部の東側で傾斜が急になつた事と、更に東部の深処に45°C以上の所が出現している事とである。

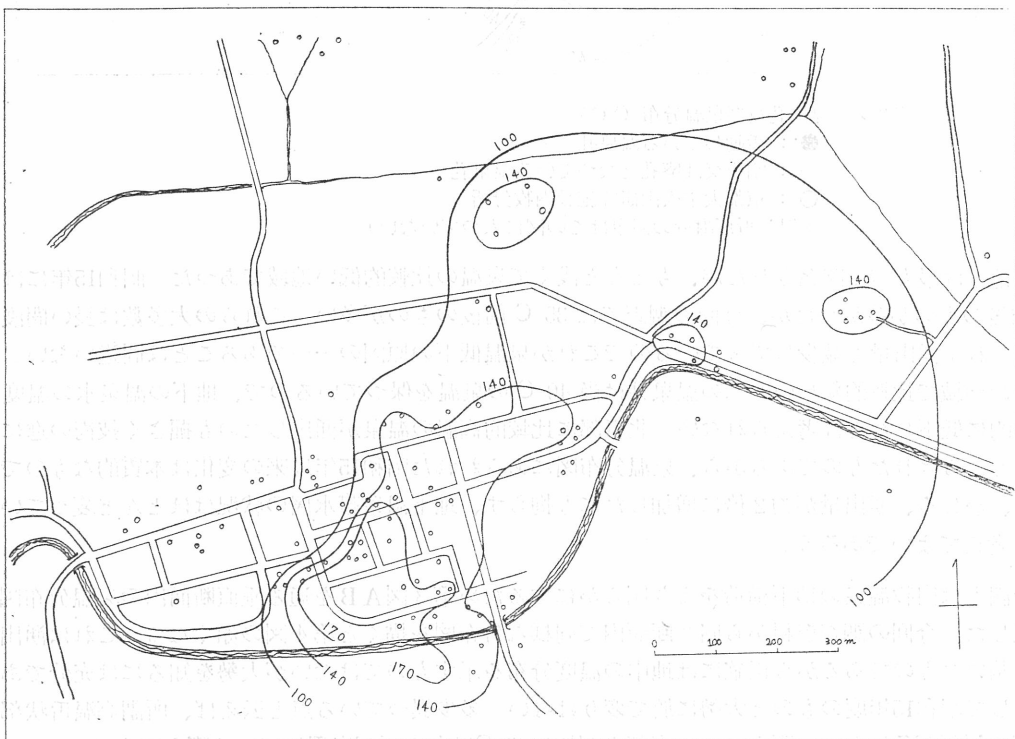


第4図 垂直断面内の温度分布°C

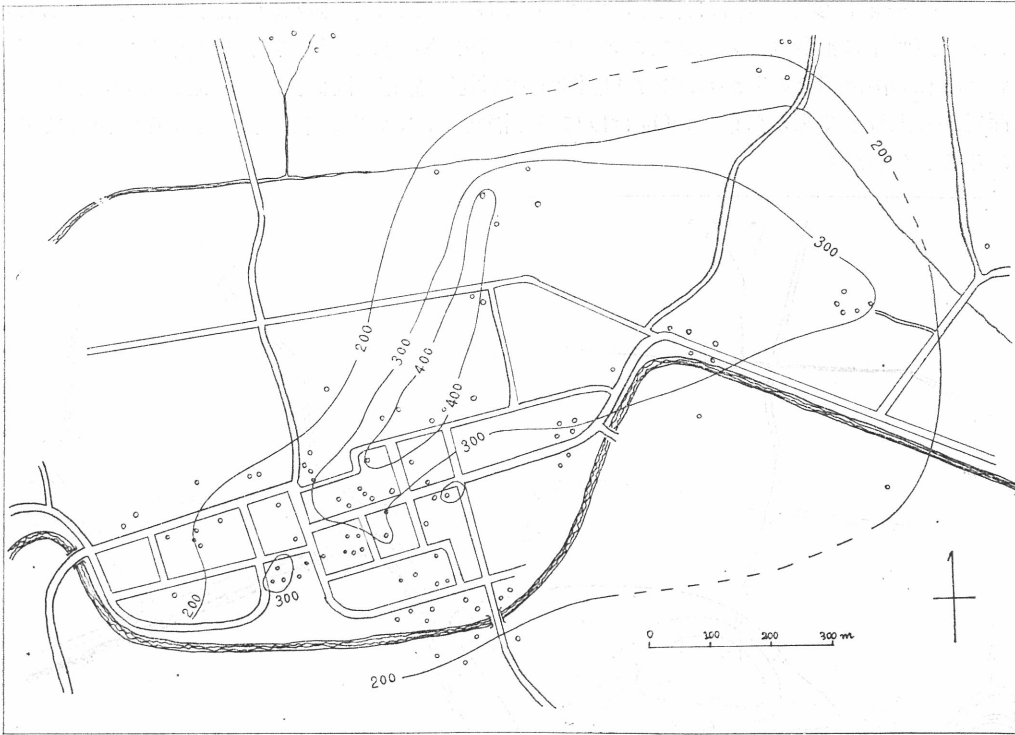
前者については浅い温泉井の閉止によって浅層の資料が乏しくなっているため何も云えない。後者は前述の新掘さくの温泉の資料によるものであるが、その位置は野満の想定したカルデラ裂弱線のひとつと一致している。しかし第4図に描かれた様にその場所にだけ高温部が存在するかどうかは、その附近に同程度の深さの温泉井がないので不明であつて、むしろその東側には尚高温部が続いているかも知れない。いずれにしても、東側深部から西側浅部に延びている高温舌状部に沿つて上昇して来る温泉が依然として内牧温泉の中核である事には変りはない。

4 Cl, HCO₃の分布

Cl, HCO₃の二成分が全温泉孔について測定された。その地理的分布は第5図、第6図に示されて



第5図 Cl 分布 (mg/l)

第6図 HCO_3^- 分布 (mg/L)

いる。両成分とも西部では少く、東部の方に多い。しかし含有量の最も多い所は両者で多少くい違つていて、 Cl^- の多い所は町の中央部の南東寄りにあり、 HCO_3^- は中央部の北側を北東から南西の方へ延びる帯状地域に最も多い。この様な一般的傾向は昭和27の調査結果²⁾と変りがない。昭和27年の資料を Cl^- と HCO_3^- を両軸とする図上に描けばほぼ総ての温泉水が一つの三角形内に分布し、その頂点はそれぞれ上述の Cl^- の多い中央部南東の温泉と、 HCO_3^- に富む中央部北辺の温泉と、単なる地下水に相当することが示された。この様な関係は今回の調査結果についてもおよそ保たれているので、内牧の各温泉の温泉水は、一応前記二種の温泉水と地下水がそれぞれの割合で混合しているとして説明出来る。しかしこの様な説明はあくまでも現象論的なものであつて、本質的に異なる二種の温泉水が存在していると主張するものでない事は勿論である。特に分析した二成分のうち HCO_3^- は CO_2 の溶解や遊離によつて影響されるところが大きいので、 CO_2 の移動によつて元来一種類の温泉水が二次的に異つた温泉水となり、それ等が再び種々の割合で混合すると共に地下水によつて種々の割合に薄められていると考えるのが妥当であろう。

5 N_2 , O_2 溶解量より見た温泉水の起源

前述の諸調査と平行して、内牧温泉の22ヶの温泉水で N_2 , O_2 の溶解量を測定した。第2表に示した如く、 N_2 溶解量 (アルゴン等も含む) は9.3cc/l より 17.0cc/l の範囲にあつて、大気と平衡状態にある時の飽和溶解量よりも多い。又地理的には第7図に示す如く前述の裂弱線に近いものに多いから、内牧では地下深处から上昇して来る温泉水に既に多くの N_2 が溶解していると考えられる。一般に温泉水中の N_2 溶解量は火山性の強い高々温泉程少いが⁴⁾、内牧温泉は最も多い部類に属し、今迄測られたものの中では山口県湯田温泉と同程度である。この様な著しい過飽和は温泉循環水がより成り立っていると考へて説明可能であつて⁵⁾、この場合の極限値 18.99cc/l を超えるものはない。

O_2 溶解量は一般に少く、中には全くないものもある。これは温泉水の大部分が循環水であるとすれば、地下流動中に消費されるためである。 O_2 も最初は N_2 と同じ飽和度だけ溶解していたと考えて、それと現在の溶解量との差から求めた O_2 消費量は N_2 の分布と同様裂弱線に近いものに多い。即ち地下深处から上昇して来る温泉水の O_2 は既に多く消費されていて、充分長く地中を流動して来たものであることがわかる。



第7図 N_2 分布 (cc/l 0°C)

岩漿起源の N_2 はないとは云いきれないので、上とは反対に、温泉水中に岩漿水がかなり多量に混入しているという立場をとつて飽和度200%に近い N_2 溶解量を説明しようとするならば、岩漿水が不凝縮性ガスを多く伴うためには熱水としてよりも水蒸気として混入していると考えねばならない。

しかし泉温は今のところ最高 $49^\circ C$ にすぎないので、岩漿起源の高温水蒸気が多量に含まれていると考えることはやや困難である。

以上の諸点から、内牧温泉は阿蘇カルデラ内にある最も規模の大きい温泉であるが、阿蘇火山の現在の活動とは直接的に関係はなく、カルデラの陥没に際して二次的に生じた裂弱面を循環水を大部分とする温泉水が上昇して来るものと思われる。勿論本質的な熱源については火山性であることを疑う余地はないが、具体的な考察は今後の研究にまたねばならない。

終りに御指導戴いた瀬野博士、又調査に種々便宜を与えられた京都大学火山研究施設内牧分所の久保寺助教授はじめ所員各位に感謝する。又本研究の費用は文部省科学研究費によつた。併せて感謝する。

参 考 文 献

- 1). 野満隆治; 地球物理, Vol. 6, No. 1, p. 1, 1942
- 2). 湯原浩三; 温泉科学, Vol. 5, No. 4, p. 74, 1953
- 3). 野満隆治; 地球物理, Vol. 3, No. 1, p. 8, 1939
- 4). 湯原浩三; 地球化学討論会要旨集, p. 2, 1959
- 5). 湯原浩三; 湯田温泉調査報告, p. 47, 1959

On the Uchinomaki Hot Springs in Aso Caldera

Kōzō YUHARA

(Geophysical Reserch Station, Kyoto University, Beppu)

There are about 90 bored hot springs at Ucinomaki in Aso Caldera. Their depths range from 50 to 190 meters, spring temperatures from 32 to 49 °C, and the total flow rate of all hot springs is 3084 l/min.. Comparing the result of this investigation to the past twice investigations in 1940 and 1952, we find that mean depth of the boring and total flow rate have remarkably increased and yet the maximum temperature help invariably. Hot waters of these springs contain Cl, SO₄, HCO₃ as anion and Na, Ca as chief Kation, and their contents denote very roughly positive correlation to the temperatures. In some hot springs situated at the center of hot-spring activity, much N₂ and few O₂ dissolve in hot water, this suggests that the original hot water of Uchinomaki may be mostly vadoes, and flow out through underground long passage. It admits of no doubt that the heat source is volcanic, but present action of Aso Volcano does not seem to affect on the Uchinomaki Hot Springs.