

昭和53年6月

原 著

## 別府血の池地獄の放熱量

九州大学工学部資源工学科

湯原浩三・吉田哲雄・中尾晴次・大島勝文

(昭和52年8月28日受理)

Heat Discharge from a Geothermal Hot Pool, "Chinoike-jigoku", Beppu.

Kozo YUHARA, Tetsuo YOSHIDA, Seiji NAKAO and Katsufumi OSHIMA  
Department of Mining, Faculty of Engineering, Kyushu University

## Abstract

"Chinoike-jigoku" is one of the famous hot pool in the Beppu Geothermal Area, Kyushu, Japan. It has a shape of nearly regular triangle with the side of about 50m. The eastern part is very shallow since the red sediments are deposited, while the western part is generally deep and a depression of 26 m depth is located in the north-western side of the central part. Surface temperatures range from 56°C to 81°C. Vertical temperature distribution was also observed, and the highest temperature, 136°C, was found near the bottom of the depression. The evaporations from the hot water surface and the flow out of the pool were measured, and heat discharge by both processes was estimated to be about 1,600kcal/sec.

## 1. はじめに

活動の盛んな地熱地域にはその中心に高温湯沼の存在する場合がある。これらの高温湯沼は爆裂火口の跡であることが多く、現在もそこから熱が集中的に放出されていて、単位面積あたりの放熱量は、周辺の噴気地のものに比して大きい場合が多い。しかし、これらの高温湯沼については、各種測定が非常に困難であって、これまで定量的な観測結果が得られているものは少い。

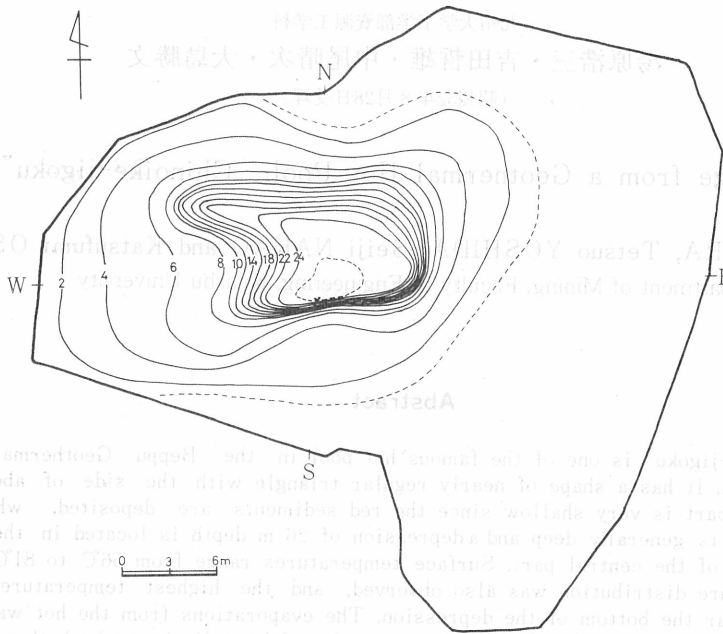
筆者等は地熱測定法の研究の一環として、高温湯沼からの放熱量の測定をとりあげ、まず別府「血の池地獄」高温湯沼で測定を行った。

通称「血の池地獄」は別府の北部、鉄輪温泉と亀川温泉の中間、標高約50mの丘陵地にあって、一辺約50mの正三角形に近い形をしており、中央部に近い所から高温の温泉水が湧出している。ここは近年爆発したという話もあり(中村清典氏私信による)、地形的に小爆裂火口とも考えられる。湯沼はほぼ全面的に赤色沈澱物におおわれ、堆積は特に東半分が多い。湖盆の形状や温度分布については、これまで1, 2度調査が行われたことがあり(瀬野錦蔵(1952), 山下幸三郎, 吉川恭三(1961)), 中央部西寄りに漏斗状の凹部があり、最深部約32mと報告されている。温度

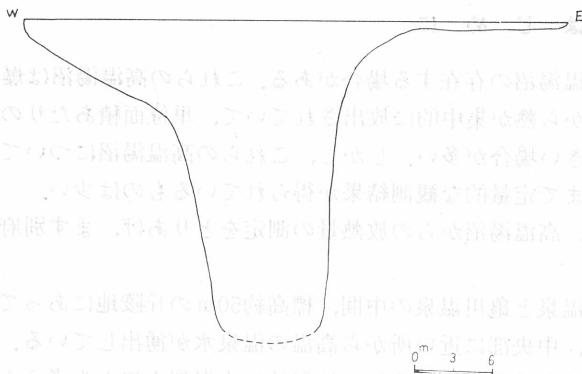
も最深部で135.0°Cが観測されている。今回は詳細な測深と三次元的な水温分布を調査すると共に、水面からの蒸発及び高温水の流出による放熱量を測定した。また各深度の温泉水や沈殿物を採取して分析し、地球化学的な検討も加えられた。後者については続報で述べる。

## 2. 水面下の地形

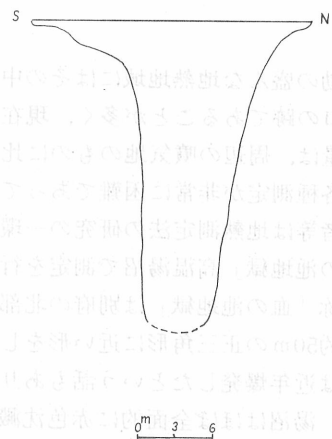
1 m 間隔に目盛を付した直径約 1 cm の綿製ロープを池を横断する様に約 5 m 間隔で張って測線とし、各測線上で 3 m おきに測点を定めた。測点数は計 36 である。各測点では先端にサーミスタ温度計を付けたキャプタイヤコードを滑車を介してつるし、温度計を水中につり下げ、コードの



第1図 等深線図



第2図 東西方向の地形断面図



第3図 南北方向の地形断面図

他端を温度記録計に連結して温度を測定すると共に、温度計が底に達した時のコードの長さから測点の深度を算出した。

水面下の地形については第1図に等深線図を、第2図、第3図にそれぞれ東西及び南北方向の断面図を示す。これらの図から、池の中心より西寄りに深さ26mの漏斗状の凹部があり、その上部はやや北西方向に傾いて開いているのがわかる。この凹部の東側と南側の斜面はほぼ垂直に近い急傾斜をしている。図上の×印は最深点(26m)の観測された位置を示す。また第1図より、底部の深みが西方へ2股に分れて伸びているのが認められる。池の東半分は深度数cm乃至10数cmと非常に浅く、そこには赤褐色の沈澱物が堆積している。

### 3. 水温分布

表面水温の測定は、①池の周辺部では岸から棒状温度計で直接測定する。②前節で述べた方法で表面温度をサーミスタ温度計で測定する。③船底に抵抗温度計センサを装備した無人ボートを浮かべ、温度信号を無線で送り、陸上に置いた温度記録計で記録する方法(湯原他, 1977)の3方法で行った。無人ボート及び測温テレメータの仕様と性能を第1表に示す。また、水面下の温

第1表. 無人ボート及び測温テレメータの仕様と性能

第1表-1 無人ボートの仕様と性能

全長	190m
全幅	67cm
材質	グラスファイバー
全備重量	32kg (採水後+4kg)
エンジン	37cc, 2サイクル水冷ガソリンエンジン ノイズ防止装置付
測温センサー	白金抵抗温度計, 1
測温テレメータ	一式
採水瓶	500cc×8
採水ポンプ	8コ
無線機	①操舵及エンジンコントロール用, 2ch ②測温テレメータ用, 1ch ③採水ポンプコントロール用, 4ch
電源	乾電池

第1表-2 測温テレメータの主要仕様と性能

計測範囲	+10℃~60℃
計測精度	±0.3℃ (0.6%)
使用センサー	測温ゲージ (白金)
校正	10, 20, 40, 60℃の4点
伝送距離	100m (見返し, 海上)
使用時間	2~3H (連続)
送信電源	0.06P×4ヶ, 4AA×1ヶ
レスポンス	1秒程度
使用温度範囲	10℃~40℃ (送・受共)
送信周波数	169.65MHz
VCO周波数	10Hz~10KHz
送信アンテナ	λ/4ホイップ型
受信アンテナ	5素子八木アンテナ
送信部重量	1kg以内 (電池含む)
受信部重量	15kg以下 (電池含まず)
防水性	なし (ビニル袋等で防滴する)
センサケーブル長さ	2m程度
受信部出力	0~5V (±10%, 5kΩ)
受信部電源	A. C. 100V ±10%, 50/60Hz

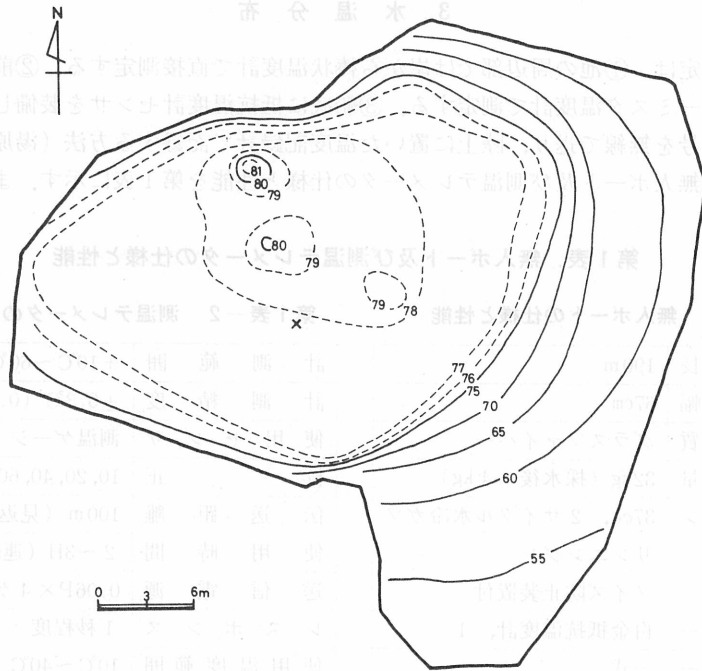
度は前節で述べた方法でサーミスタ温度計を水面から1mづつ下げ温度を測定した。結局水温測定点は水面で54点、水面下224点である。

表面水温は、南端部の地表水の流入が認められる一点で例外的に23.4℃が観測された以外は55.6

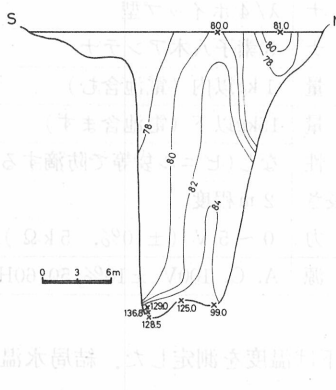
～81.0℃で、その平均は72.2℃である。第4図に表面水温分布図を示す。これより、池の東半部の沈澱物の堆積した所では75℃以下、西半部では大部分が75℃以上であることがわかる。表面水温の最高は81℃で、池の中央より北西側にあつて、後述する深部の最高温度を示す地点より北方に5mほどずれている。

西半部の漏斗状凹部の水面下の水温はすべて77℃以上であつて、その大部分は77～83℃の範囲にあつて変化は少い。それ以上のものは83.3～87.5℃が7点、99℃が1点、125～136.8℃が4点観測されたに過ぎない。特に99℃以上の水温は深さ24.5～26.0mの凹部の底あるいは底から1m以内の極く限られた範囲にのみ存在する。

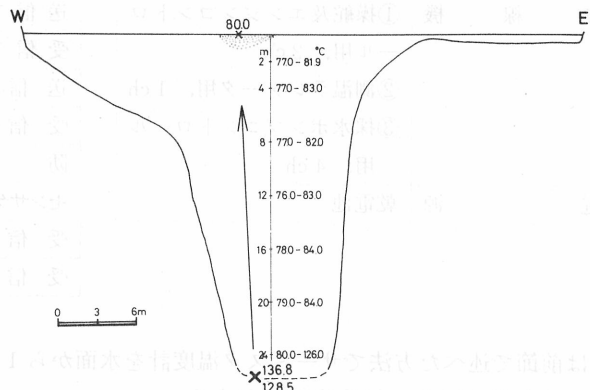
第5図はほぼ南北方向の断面内の垂直温度分布を描いたものであつて、この図から底部の高温



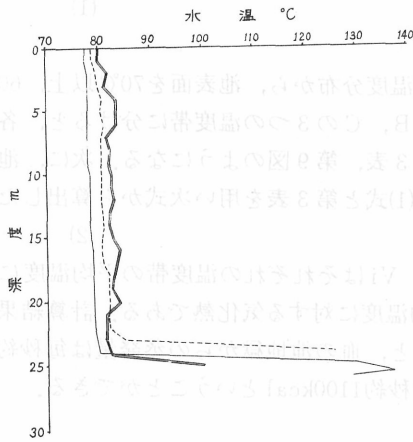
第4図 表面水温分布



第5図 測線No.4(ほぼ南北方向)にそう垂直温度分布



第6図 東西方向断面内の深さと水温の関係



第7図 3測点での垂直温度変化

水が表面水温80.0°Cの所へ向って湧昇しているものと推定される。第6図は、東西方向の断面図に、深さとその深さにおける水温測定値の温度幅を書き入れたものである。図中×印は最高温度136.8°Cを観測した地点を示し、矢印は高温水が上昇していると思われる方向を示している。第7図は第5図中に示した底の温度がそれぞれ99.0°C、125.0°C、128.5°Cの3測点について深度と温度の関係を示したものである。この図より、底の温度が99.0°Cの測点では他の点に比べて深さによる温度の凹凸が著しい。これはこの地点で対流渦の上昇があることを示すものと解釈でき、第5図の温度分布と併せて、この地点で高温水の湧昇があることは確実である。

4. 水面からの蒸発

高温湯沼からの蒸発量を算出するため、池面の5個所に1辺20cmの正方形蒸発皿を浮べ、2時間放置して蒸発減量を測定した。測定結果を第2表に示す。水面からの蒸発量は微気象的要素に

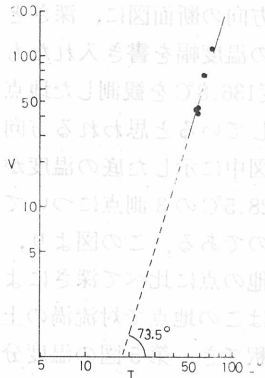
第2表 蒸発量測定結果一覧表

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	単位
蒸発皿内平均温度	63.0	55.8	56.0	59.2	71.7	°C
蒸発皿外平均温度	65.0	58.6	59.0	64.5	76.2	°C
蒸発皿中蒸発量	350	220	210	220	530	cc
蒸 発 量	72.9	45.8	43.8	45.8	110.4	ccm <sup>2</sup> min
測定開始及び終了	S. 51. 8. 19 14h20m~18h40m		S. 51. 8. 20 9h15m~15h35m			
時 刻	14h20m 16h20m	16h40m 18h40m	13h35m 15h35m	11h50m 13h30m	9h15m 11h15m	
気 温	33.8 33.2	30.8 31.8	30.4 31.0	32.0 33.0	33.4 34.5	°C
湿 度	74 80	80 80	80 81	74 69	68 75	°C
気 圧	1017	1016	1013	1017	1017	mb
風 速	0.1	0.0	0.0	0.0	0.93	m/sec.

(注) 気温・湿度：上 地上1.0m, 下：地上0.5mの値

支配されるが、これについては、Sekioka (1977) によって同時に平行して詳細な研究が行われた。ここでは須川 (1960) の用いた簡便な方法によって、表面水温分布から蒸発量を算出した。まず、第2表の結果から水温と蒸発量の関係を両対数グラフ上に示すと第8図のようになる。これより、水温をT°C、蒸発量をVcc/m<sup>2</sup>・minとすると

$$V = 6.01 \times 10^{-5} \cdot T^{3.376} \quad (1)$$



という関係が得られる。  
 一方、第4図に示した表面温度分布から、池表面を70℃以上、60～69.9℃、69.9℃以下のA、B、Cの3つの温度帯に分けると、各温度帯の面積と平均温度は第3表、第9図のようになる。次に、池面からの蒸発による放熱量は(1)式と第3表を用い次式から算出した。

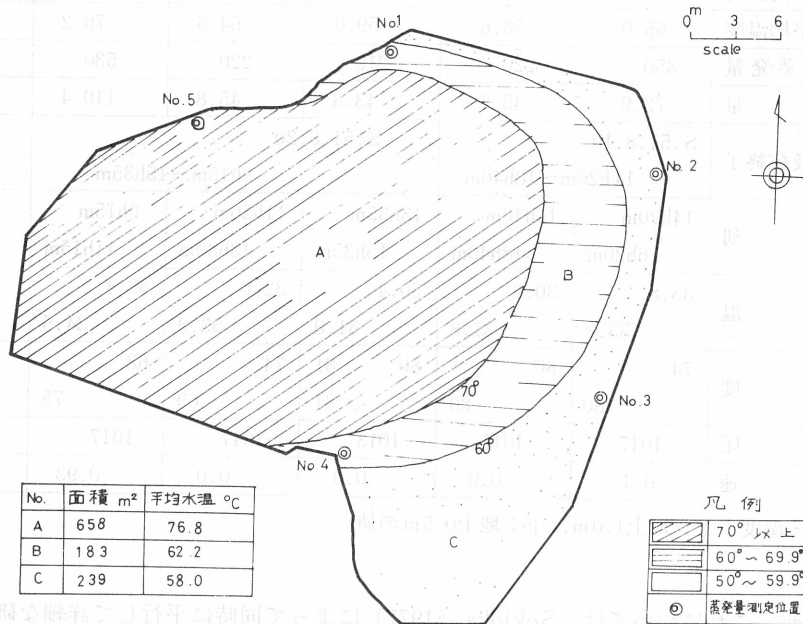
$$Q = \sum S_i V_i H_i \quad (2)$$

ここに  $S_i$  は各温度帯の面積、 $V_i$  はそれぞれの温度帯の平均温度に対する蒸発量、 $H_i$  はその平均温度に対する気化熱である。計算結果は第3表に示す。これによると、血の池地獄からの蒸発量は毎秒約2ℓ、蒸発に要した熱量は毎秒約1100kcalということが出来る。

第8図 水温と蒸発量の関係

第3表 蒸発量と蒸発による放熱量

温度帯	面積 m <sup>2</sup>	平均温度 ℃	1 m <sup>2</sup> あたりの蒸発量 cm <sup>3</sup> /sec	蒸発量 ℓ/sec	気化熱 kcal/kg	蒸発に要した熱量 kcal/sec	30℃を基準にした放熱量 kcal/sec
A	658	76.8	2.3	1.5	553	830	900
B	183	62.2	1.1	0.2	562	112	118
C	239	58.0	0.9	0.2	564	113	119
計	1,080			1.9		1,055	1,137



No.	面積 m <sup>2</sup>	平均水温 °C
A	658	76.8
B	183	62.2
C	239	58.0

凡例

	70°以上
	60°～69.9°
	50°～59.9°
	蒸発量測定位置

第9図 水面の温度別面積と平均水温

### 5. 血の池地獄からの総放熱量

血の池地獄の東北端に流出口があって、そこから57.6℃の温泉水が流量16ℓ/secで流出している。測定が行われたのは8月18日であって、その日の気温を考慮して、今基準温度を30℃とすると、温泉水流出による基準温度に対する放熱量は442kcal/secとなる。

一方、前節に述べた蒸発量も、基準温度30℃の地下水がA, B, Cそれぞれの温度帯の平均温度まで昇温し、その温度で気化したとすると、30℃基準の放熱量に換算することができる。結果はやはり第3表に示してあり、蒸発による放熱量は計1137kcal/secとなる。

結局、1976年8月18日の時点で血の池地獄からの総放熱量は、30℃を基準にして毎秒約1600kcalということになる。この値をこれまでの湯沼での観測値と比較したものが第4表である。またこの放熱量は温泉の熱階級で示せばⅢにあたり、別府温泉全体の放熱量 $37.3 \times 10^6 \text{ cal/sec}$  {湯原浩三・瀬野錦蔵(1969)}の約1/25にあたる。

第4表 各地の湯沼からの放熱量

湯 沼	面 積(m <sup>2</sup> )	放熱量kcal/sec	基準温度(℃)	文 献
登別大湯沼	16,600	10,700	—	福富孝治(1966)
登別奥湯沼	900	2,900	—	"
登別大正地獄	250	300	—	"
霧島湯の池上の池	518	253	13	湯原浩三・牛島恵輔
霧島湯の池下の池	6,570	628	13	"
霧島おしろ池	2,147	95	13	"
別府血の池地獄	1,080	1,579	30	

### 謝 辞

血の池地獄を調査することができたのは、それを許可された支配人中村清典氏の御理解に負うところが大きい。ここに改めて感謝する次第である。調査には防衛大関岡教授、九大温泉治療学研究所野田徹郎氏、京大地球物理学研究施設北岡豪一氏及び九大工学部学生井上修一・柴戸隆秀・桜木俊一・藤本政晴諸氏の御協力を載いた。併せて感謝致します。

### 引 用 文 献

- 1) 福富孝治：登別温泉の地球物理学的研究の概要，温泉科学，16巻2号，P.51。(1966)
- 2) M. Sekioka：A Micrometeorological Estimation of the Water and the Heat Discharged in a Hot Pool, Arch. Mete. Geoph. Biokl. (1977. 投稿中)
- 3) 瀬野錦蔵：地学より見た別府，別府市，P.29。(1952)
- 4) 須川 明：高温な水面からの蒸発量 北海道大学地球物理学研究報告，第7号，P.63。(1960)
- 5) 山下幸三郎・吉川恭三：別府の血の池地獄について，第26回日本陸水学会大会講演要旨。(1961)
- 6) 湯原浩三・瀬野錦蔵：温泉学，地人書館，P.141。(1969)
- 7) 湯原浩三・牛島恵輔：霧島南部地域放熱量調査報告，地質調査所月報(投稿中)
- 8) 湯原浩三・関岡 満・吉田哲雄：リモートコントロールする無人ボートによる海面温度測定，水温の研究。Vol. No.5 P.15。(1977)