

最近の温泉開発について—— 嵐山温泉・大原温泉など ——

桂 京 造*

前置きとして最近感じたままに

長野県白骨温泉における入浴剤投入に端を発しマスコミが温泉問題を盛んにとりあげているが、私にとっては百家争鳴の感を免れない。では温泉とは何か？ 日本温泉法では付表-1のように規定し、それを公共の浴用又は飲用に供しようとする者は都道府県知事に申請しその許可を受けなければならないと定められてはいるが、温泉なる言葉があまりにも一般化し町中の銭湯にも「～温泉」の文字がそこかしこに見られるのが現実である。また温度測定や成分分析は湧出口におけるもので浴場での蛇口検査の必要は無く、極一部で定期的若しくは不定期に再検査を行う行政機関もあると

仄聞するが、一度温泉として都道府県の温泉台帳に登録されると極端に言えば未来永却権利が続く訳である。最近温泉法がザル法であるとの声をよく耳にするが筆者も全く同意見である。天然若しくは旧厚生省発行の「温泉分析法指針」に指定してある硫黄泉・鉄泉・放射能泉など特に医療効果が著しい療養泉（基準は付表-2）の名称を使ったり或いは適応症を勝手に挙げたりすると取り締まりの対象となるがそうでない限り温泉の名称を使っても行政機関は如何ともなし難い。浴用・飲用による医療効果も薬のように一定した用法を定めることができないのが温泉の実体である。問題が広がった白骨温泉の場合では白濁した湯が売り

1. 温度（源泉から採取されるとき温度）摂氏25度以上
2. 物質（下記に掲げるもののうち、いずれかひとつ）

物 質 名	含有量（1 kg中）
溶存物質（ガス性のものを除く）	総量 1,000 mg 以上
遊離二酸化炭素（CO ₂ ）（遊離炭酸）	250
リチウムイオン（Li ⁺ ）	1
ストロンチウムイオン（Sr ²⁺ ）	10
バリウムイオン（Ba ²⁺ ）	5
総鉄イオン（Fe ²⁺ ・Fe ³⁺ ）	10
マンガン（Ⅰ）イオン（Mn ²⁺ ）（第一マンガンイオン）	10
水素イオン（H ⁺ ）	1
臭素イオン（Br ⁻ ）	5
ヨウ素イオン（I ⁻ ）	1
フッ素イオン（F ⁻ ）	2
ヒ酸水素イオン（HAsO ₄ ²⁻ ）（ヒドロヒ酸イオン）	1.3
メタ亜ヒ酸イオン（HASO ₂ ⁻ ）	1
総硫黄（S）〔HS ⁻ ・S ₂ O ₃ ²⁻ ・H ₂ Sに対応するもの〕	1
メタホウ酸（HBO ₂ ）	5
メタケイ酸（H ₂ SiO ₃ ）	50
炭酸水素ナトリウム（NaHCO ₃ ）（重炭酸ソーダ）	340
ラ ド ン（Rn）	20×10 ⁻¹⁰ キュリー単位以上 （5.5 マッヘ単位以上）
ラチウム塩（Raとして）	1×10 ⁻⁸ mg 以上

付表-1 温泉の定義

* 桂温泉研究所

1. 温度（源泉から採取されるとき温度）摂氏25度以上
2. 物質（下記に掲げるものうち、いずれかひとつ）

物質名	含有量（1kg中）
	mg以上
溶存物質（ガス性のものを除く）	総量 1,000
遊離二酸化炭素（CO ₂ ）	1,000
銅イオン（Cu ²⁺ ）	1
総鉄イオン（Fe ²⁺ +Fe ³⁺ ）	20
アルミニウムイオン（Al ³⁺ ）	100
水素イオン（H ⁺ ）	1
ヨウ素イオン（I ⁻ ）	10
総ヒ素（Asとして）	0.7
総硫黄（S）[HS ⁻ +S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ Sに対応するもの]	2
ラドン（Rn）	30×10 ⁻¹⁰ キュリー単位以上 (8.25マッヘ単位以上)

付表-2 療養泉の定義

物であり客もそれを求めて来るのであるから、入浴剤を入れてでも白い湯を提供するのは私はサービスと捉え何らの不都合も感じない。確かめれば直ぐに判るのに入浴剤の混入が有毒ガスを発生する恐れがあるとか、湧出温度や含有成分が基準値を下回ったのならいざ知らず、再分析もせずに知事をはじめとして行政機関が旅館業者を悪者扱いするのは弱者苛めとしか思えない。温泉は「生き物」で過日、名前を失念したがある温泉で色が復活したとの報道に接した。白骨でも他日同様の現象が起こるかも判らない。その時に投入を止めれば良いのである。温泉法は昭和23年に施行されてその後昭和24年、25年、46年、58年、平成3年、5年、10年、11年、13年と改正が行われてはいるが療養かレジャーか温泉に対する認識が変わり、法の不備が間々指摘される昨今現状に則した根本的な改正が望まれる。

温泉の成因と開発

流石に岩漿（マグマ）水説は影を潜め、現在では水蒸気→雨→地表水→《地下水→泉》→川→海→水蒸気のサイクルを持つ循環水のうちの地下水が何らかの原因で熱せられて形成されるとの考え

が一般的となっている。この地下水を温める熱源として火山性のものをまず考えるのは自然である。熔融状態（1,000℃位）で深部から上昇、固結した貫入岩体も比較的新しい時代（一応数万年位前とする）のものはまだ余熱を保持して泉源を構成するのに充分である。有馬温泉・白浜温泉もその熱源は未解決で定かではないがこのタイプではないだろうか？

自噴している温泉は一番判り易く利用もし易いが、ドリリング（日本ではボーリングの名称のほうが一般的なので以下ボーリングと記載する）に拠るのが通常である。極最近まではボーリング技術と費用の関係でせいぜい200～300m程度の掘削しか行われなかったがこの程度の泉源は余程の山奥などを除き開発し尽くされたと言って良いだろう。後述する探査技術・ボーリング技術・揚湯技術（ポンプ技術）三者の発達相俟って近年は超1,000mの掘削による温泉が数多く開発されている。地球は内部へ入るほど約3℃/100mの率で温度が上昇する。ただ地球の物性からこの率が保たれるのはせいぜい深さ数拾kmまでと考えられている。と言うのは若しこの増温率をそのまま延長すると半径約6,400kmの地球中心部は20万℃に達するし、

マントル上部ですら固相を保つことができないからである。地下水は永年（永いものでは数万年）地中に滞留するのでその間に地温と平衡状態に達する。即ち1,000mの深部に存在する地下水は特殊な熱源が無い所でも $3^{\circ}\text{C} \times 10 + \text{年平均気温}$ （日本では約 14°C ） $= 44^{\circ}\text{C}$ の温度を有し泉源となり得るのである。

1,000mを越す大深度ボーリングによる最近の温泉開発事情

最近、大阪平野部或いは京都府丹後地方などこれまで温泉不毛の地とされていた所での湧出が数多く報告されている。これらは大別すると平野部と岩盤地帯になる。

イ. 平野部について

堆積層の砂利層礫層部は地下水帯を形成しかつ平面的に拡がりをもっている。基盤が深く潜在即ち上部堆積層が1,000mほどの厚さを持っていて、最深部に地下水が存在していればその水温は特殊な熱源が無くても上述の如く 40°C 位まで温められている。これをボーリングによって地表へ導けば、量も相当あるので揚湯途中での温度降下も少なく立派に温泉基準 25°C をクリアするものが得られる訳である。即ち堆積層の厚さが1,000mほどある地域では深部からのみ採湯すれば何処を掘っても温泉になると言って過言ではない。堆積層の掘削は比較的容易で経費も少なく済むので現に大阪平野部においては50本を越す温泉が湧出している。

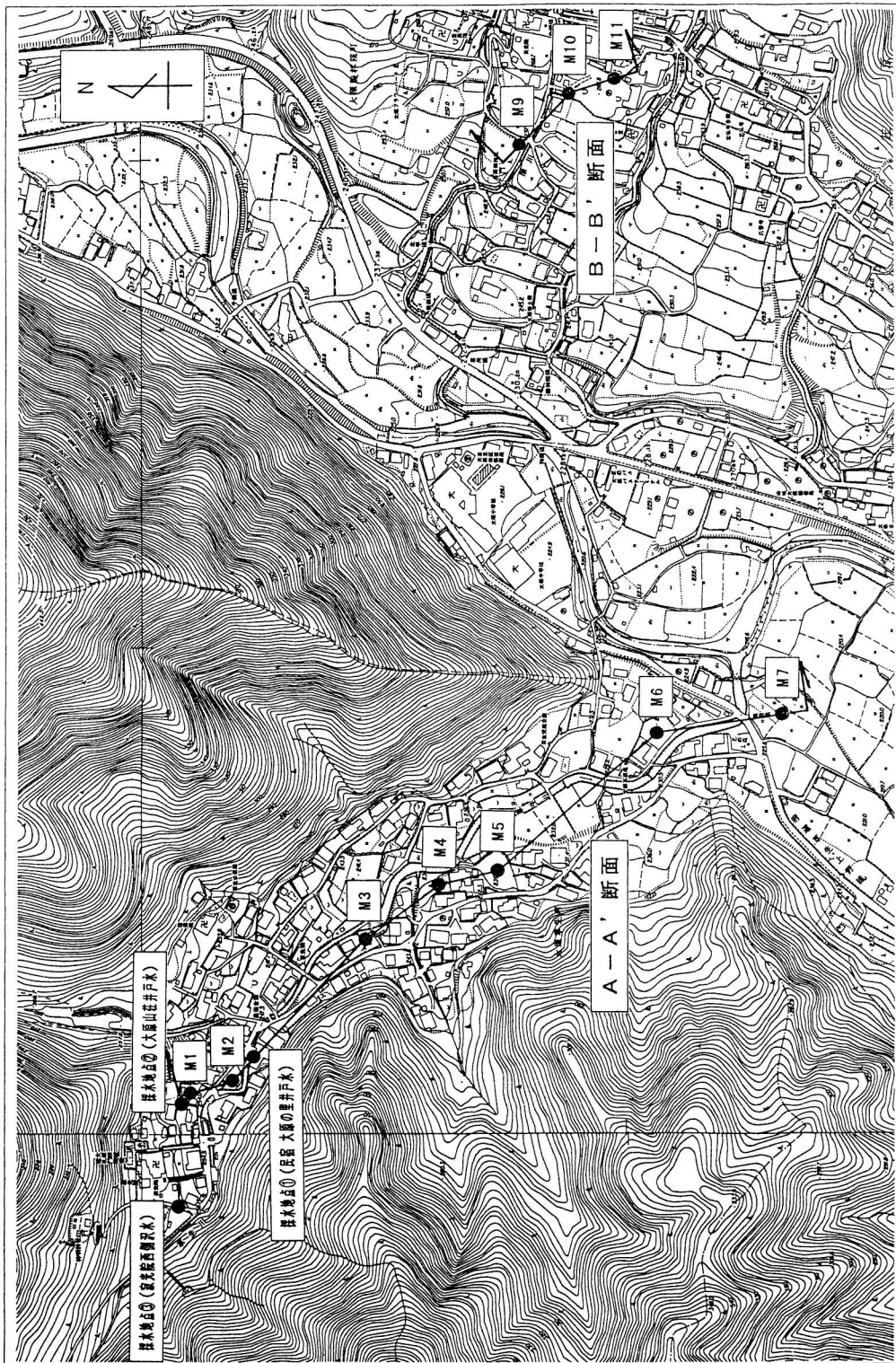
ロ. 岩盤地帯について

堅牢な岩石自体からの採湯は不可能である。岩盤地帯では温泉水を胚胎する破碎帯が存在しなければ温泉の湧出が見られないのは自明で、温泉探査は断層の追跡であると言って良いだろう。調査地やその近傍で地表踏査により断層の露頭が発見されることは非常に希である。また人跡未踏の所も広大でありこのような地域では地形図上で認識されるリニアメント（直線性）の解読から断層を

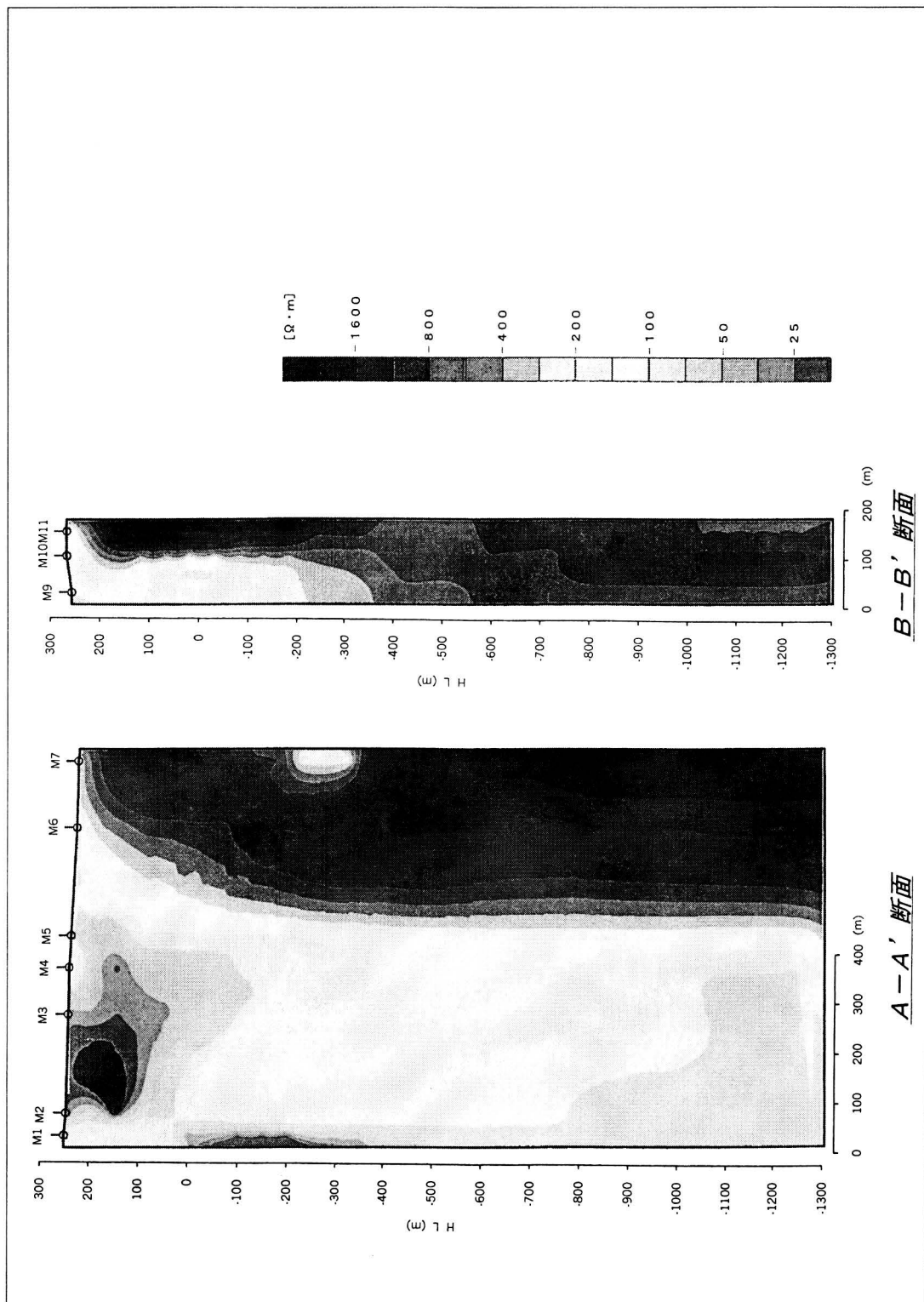
推定している。断層は潜在していることが多く、この場合は電気探査・放射能探査など物理的手法が適用される。中でもここ10年ほどの間で電磁探査の一手法 CSAMT 法 (Controlled Source Audio-frequency Magneto-Telluric) が実用化され、得られた岩盤の比抵抗値から $-1,000 \sim -1,500\text{m}$ 位までの基盤の状態を推定することが可能になった。ただこの手法のみでことを運ぶのは危険を伴い総合的に判断を下さねばならないのは論を待たない。筆者はこの CSAMT 法を嵐山温泉・大原温泉・（仮称）嵯峨野温泉に適用しそれぞれ成功を収めたので次ぎに一例として大原温泉の実例を述べる。

大原温泉の探査実例

この探査は有限会社大原温泉よりの委託を受けて平成14年10月に実施した。大原地区は小規模な盆地地形を形成している。当地区での泉源は基盤中に求めなければならず、温泉開発の成否は断層の追跡結果にかかっていると言えるだろう。東部には滋賀県武奈ヶ岳（今津町）から京都市街部に至る花折断層が存在するが当地区での位置は未確認である。また都市圏活断層図「京都東北部」の大原盆地の西北西域にほぼ北西方向の2本の推定断層が記載され、草生川の谷はその1本の延長上に位置している。既に寂光院近傍の民宿「大原の里」と「大原山荘」の玄関前には100m程の井戸が掘削されそれぞれ $100\text{l}/\text{min}$.程度の水量を得ている事実は断層の存在を明白に示しているが、その性状については未確認である。これらのことを踏まえ CSAMT 探査と放射能探査の実施へ踏み切った。放射能探査を併用したのは断層の開口部の位置の決定に非常に有効なのを筆者は充分過ぎるほど体験しているからである。しかし本探査ではこれまでに経験のなかった問題に直面した。CSAMT 法では測線を予想される断層に直交するように設置し平面的な解析もできるように、さらに平行する測線を配置するのが通常である。温泉



付图-1 测点位置图



付图-2 比抵抗断面图

法では掘削申請地点の土地の所有者であるか、あるいは温泉掘削についての地権者の同意が無ければ許可されない。大原温泉の場合もいろいろな事情で、付図-1に示されている出資した3者の飛び飛びの所有地での個々の測定となった。このような方法でCSAMT探査を行ったのは初めての経験で解析結果がどうなるか一抹の不安を持っていたのだが、付図-2に示されるような結果を得ることができた。図中の高比抵抗帯は堅固な岩盤、低比抵抗帯は破碎帯を反映し定性的には問題は無いが、その位置と幅に数十米のずれが生じることがあるのはこの方法の弱点である。

三千院側の出資者の所有地 M9, M10, M11ではM9の下部に破碎帯が認められるが約-300m迄であるので掘削に適しないと判断した。寂光院側ではM1, M2, M3, M4, M5の下部に-1,300mにも達する破碎帯が検出され、谷の末端やや東寄りのM6, M7では認められなかった。これらより平面的な解析は不充分だが草生川の谷筋にはほぼ北西に走る、破碎帯が-1,300mにも及ぶ急傾斜の断層が存在すると判断し、後の利用も考え合わせてM1の草生川寄りに掘削地点を決定した。掘削は当初1,000mを予定したが予期したほど温度が上昇せず1,200mまで増掘した。

掘削技術と揚湯技術の進歩

従来のボーリングでは岩石を筒状にくりぬき岩芯(コア)として取り出す工法だったが非常に効率が悪かった。これに代わって最近では岩石を粉碎し削りかす(スライム)を循環水で地表へ送り出す所謂ノンコア方式が非常に発達し実用化されている。この工法では掘削先端部のトリコン・ビットと呼ばれる特種な鑿(ビット)に植え付けられた、超硬合金が摩耗するまで連続して掘削が続けられるので能率的で3ヶ所とも1,200mを半年程で

掘ることができた。

基盤の断層から得られる水量を推定するのは残念乍ら現在の科学では不可能である。採水量は湧水箇所にかかる上部からの水圧と湧水圧のバランスから決定される。吸い上げポンプは1気圧相当即ち最深-10mまでからしか揚水できないが押し上げは理論的に無限である。実用に供される水中ポンプはポンプとモーターを直結して一体化したもので、掘削した穴の中に電線を用いて吊り降ろし運転するので動水位が低い掘削孔でも採湯が出来るようになった。

終わりとして

探査結果に基づいてボーリングが行われ幸い京都市内の著名観光地に3本の温泉が誕生し、生まれ育った京都に少し恩返しが出来たのは筆者にとって嬉しい限りである。

嵐山温泉と大原温泉の分析書(仮称 嵯峨野温泉は分析中)を参考までに付表-3として示しておく。大原温泉の温度が27.9℃と予期に反して低いがその原因は胚胎されている水が破碎帯内で上下方向にも相当流動し、地温と平衡状態を保つことができない為と解釈する。また得られたスライムにより800mから深部が花崗岩質岩石に変化していることが判ったのは地質学上の新発見である。ラドン量が 25.1×10^{-10} キュリー/kgを示すのもこの事実を裏付けている。嵐山温泉では分析表に記載は無いが少量の天然ガスを伴い仮称嵯峨野温泉では相当量(埋蔵量不詳)噴出した強い鹹味を持つことを付記しておく。

本稿を終えるに当たって貴重な紙面に部外者の拙稿の掲載をお許し頂いた藤永先生はじめ関係各位に厚く感謝致します。

温 泉 分 析 書

(鉱泉分析試験による分析成績)

1. 申請者

京都市右京区嵯峨天龍寺芒ノ馬場町40
嵐山温泉開発株式会社 代表取締役 中 路 剛

(A) 泉 温 35.2℃ (気温 18.6℃)

(B) 湧 出 量 81.0 L/min(動力)

(C) 知覚的試験 微白濁・微土臭・無味

(D) pH 値 7.80 (ガラス電極法)

(E) ラドン(Rn) 6.76 × 10⁻¹⁰ キュリー/kg

2. 湧出地及び源泉名

京都市西京区嵐山上河原町1番2

嵐山温泉

4. 試験室における試験成績

(イ) 試験者

京都府保健環境研究所 水質課
上田彬博、山田 豊、堀口貞明、
多田哲子、坂 雅宏

(ロ) 分析終了年月日 平成15年11月5日

(ハ) 知覚的試験 微白濁・微土臭・無味

(ニ) 密 度 0.9990 (20℃)

(ホ) pH 値 8.21 (ガラス電極法)

(ヘ) 蒸発残留物 677.7 mg/kg (180℃)

3. 湧出地における調査及び試験成績

(イ) 調査及び試験者

京都府保健環境研究所 水質課
山田 豊、坂 雅宏

(ロ) 調査及び試験年月日

平成15年10月15日

5. 試料1kg中の成分、分量及び組成

(イ) 陽 イ オ ン

(ロ) 陰 イ オ ン

成 分	ミリグラム (mg)	ミリバル (mval)	ミリバル(%) (mval%)	成 分	ミリグラム (mg)	ミリバル (mval)	ミリバル(%) (mval%)
水素イオン (H ⁺)	0.0	0.00	0.00	フッ素イオン (F ⁻)	16.0	0.84	7.02
リチウムイオン (Li ⁺)	0.2	0.03	0.26	塩素イオン (Cl ⁻)	105.7	2.98	24.92
ナトリウムイオン (Na ⁺)	247.7	10.77	94.23	臭素イオン (Br ⁻)	0.0	0.00	0.00
カリウムイオン (K ⁺)	7.1	0.18	1.57	ヨウ素イオン (I ⁻)	0.0	0.00	0.00
アンモニウムイオン (NH ₄ ⁺)	0.5	0.03	0.26	水酸イオン (OH ⁻)	0.0	0.00	0.00
マグネシウムイオン (Mg ²⁺)	1.6	0.13	1.14	水硫イオン (HS ⁻)	0.0	0.00	0.00
カルシウムイオン (Ca ²⁺)	3.0	0.15	1.31	硫酸イオン (S ²⁻)	0.0	0.00	0.00
ストロンチウムイオン (Sr ²⁺)	0.0	0.00	0.00	亜硫酸イオン (S ₂ O ₃ ²⁻)	0.0	0.00	0.00
バリウムイオン (Ba ²⁺)	0.0	0.00	0.00	硫酸イオン (SO ₄ ²⁻)	1.2	0.02	0.17
アルミニウムイオン (Al ³⁺)	0.7	0.08	0.70	亜硝酸イオン (NO ₂ ⁻)	0.0	0.00	0.00
マンガンイオン (Mn ²⁺)	0.0	0.00	0.00	硝酸イオン (NO ₃ ⁻)	0.0	0.00	0.00
第一鉄イオン (Fe ²⁺)	1.6	0.06	0.52	リン酸一水素イオン (HPO ₄ ²⁻)	0.3	0.01	0.08
第二鉄イオン (Fe ³⁺)	0.0	0.00	0.00	亜亜硫酸イオン (AsO ₂ ⁻)	0.0	0.00	0.00
銅イオン (Cu ²⁺)	0.0	0.00	0.00	炭酸水素イオン (HCO ₃ ⁻)	494.8	8.11	67.81
亜鉛イオン (Zn ²⁺)	0.0	0.00	0.00	炭酸イオン (CO ₃ ²⁻)	0.0	0.00	0.00
				メタケイ酸イオン (SiO ₃ ²⁻)	0.0	0.00	0.00
				メタボロ酸イオン (BO ₂ ⁻)	0.0	0.00	0.00
陽イオン合計	262.4	11.43	99.99	陰イオン合計	618.0	11.96	100.00

(ハ) 遊 離 成 分

非 解 離 成 分				溶 存 ガ ス 成 分			
成 分	ミリグラム (mg)	ミリモル (mmol)		成 分	ミリグラム (mg)	ミリモル (mmol)	
メタケイ酸 (H ₂ SiO ₃)	27.9	0.36		遊離炭酸 (CO ₂)	0.9	0.02	
メタホウ酸 (HBO ₂)	18.2	0.42		遊離硫化水素 (H ₂ S)	0.0	0.00	
メタ亜ヒ酸 (HAsO ₂)	0.0	0.00					
非 解 離 成 分 計	46.1	0.78		溶 存 ガ ス 成 分 計	0.9	0.02	

溶解物質 (ガス性のものを除く)

0.927 g

成 分 総 計

0.928 g

(ニ) その他微量成分

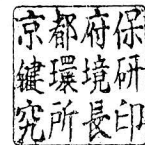
総ヒ素	0.005	mg未満
カドミウム	0.01	mg未満
鉛イオン	10	μg未満
総水銀	0.5	μg未満

平成15年11月12日

京都市伏見区村上町395

京都府保健環境研究所

所 長 中 川



6. 泉 質

単 純 温 泉

(低張性弱アルカリ性温泉)

7. 禁忌症、適応症等

「温泉分析書別表」中5に記載する。

温 泉 分 析 書

(鉱泉分析試験による分析成績)

1. 申請者
 京都市左京区大原草生町17番地
 有限会社 大原温泉
 代表取締役 山本英和

(a) 泉 温 27.9℃ (気温 15.0℃)
 (b) 湧 出 量 119 L/min(動力)
 (c) 知覚的試験 無色・透明・微硫化水素臭・無味
 (d) pH 値 8.15 (ガラス電極法)
 (e) ラドン(Rn) 25.1 × 10⁻¹⁰ キュリー/kg

2. 湧出地及び源泉名
 京都市左京区大原草生町18
 大原温泉

4. 試験室における試験成績

(f) 試験者
 京都府保健環境研究所 水質課
 上田彬博、山田 豊、堀口貞明、
 多田哲子、坂 雅宏
 (g) 分析終了年月日 平成16年4月15日
 (h) 知覚的試験 無色・透明・微硫化水素臭・無味
 (i) 密 度 0.9984 (20℃)
 (j) pH 値 8.16 (ガラス電極法)
 (k) 蒸発残留物 287.8 mg/kg (110℃)

3. 湧出地における調査及び試験成績

(l) 調査及び試験者
 京都府保健環境研究所 水質課
 山田 豊、堀口貞明
 (m) 調査及び試験年月日
 平成16年3月31日

5. 試料1kg中の成分、分量及び組成

(a) 陽イオン

成 分	ミリグラム (mg)	ミリバル (mval)	ミリバル(%) (mval%)	成 分	ミリグラム (mg)	ミリバル (mval)	ミリバル(%) (mval%)
水素イオン (H ⁺)	0.0	0.00	0.00	フッ素イオン (F ⁻)	7.7	0.41	8.12
リチウムイオン (Li ⁺)	0.0	0.00	0.00	塩素イオン (Cl ⁻)	16.9	0.48	9.50
ナトリウムイオン (Na ⁺)	92.0	4.00	79.84	臭素イオン (Br ⁻)	0.0	0.00	0.00
カリウムイオン (K ⁺)	4.0	0.10	2.00	ヨウ素イオン (I ⁻)	0.0	0.00	0.00
アンモニウムイオン (NH ₄ ⁺)	0.1	0.01	0.20	水酸イオン (OH ⁻)	0.0	0.00	0.00
マグネシウムイオン (Mg ²⁺)	4.3	0.35	6.99	水硫イオン (HS ⁻)	0.0	0.00	0.00
カルシウムイオン (Ca ²⁺)	7.7	0.38	7.58	硫黄イオン (S ²⁻)	0.0	0.00	0.00
ストロンチウムイオン (Sr ²⁺)	0.8	0.02	0.40	チオ硫酸イオン (S ₂ O ₃ ²⁻)	0.0	0.00	0.00
バリウムイオン (Ba ²⁺)	0.2	0.00	0.00	硫酸イオン (SO ₄ ²⁻)	0.4	0.01	0.20
アルミニウムイオン (Al ³⁺)	0.1	0.01	0.20	亜硝酸イオン (NO ₂ ⁻)	0.0	0.00	0.00
マンガンイオン (Mn ²⁺)	0.0	0.00	0.00	硝酸イオン (NO ₃ ⁻)	0.4	0.01	0.20
第一鉄イオン (Fe ²⁺)	3.8	0.14	2.79	リン酸一水素イオン (HPO ₄ ²⁻)	0.0	0.00	0.00
第二鉄イオン (Fe ³⁺)	0.0	0.00	0.00	亜硫酸イオン (AsO ₂ ⁻)	0.0	0.00	0.00
銅イオン (Cu ²⁺)	0.0	0.00	0.00	炭酸水素イオン (HCO ₃ ⁻)	252.6	4.14	81.98
亜鉛イオン (Zn ²⁺)	0.0	0.00	0.00	炭酸イオン (CO ₃ ²⁻)	0.0	0.00	0.00
				珪酸イオン (SiO ₃ ²⁻)	0.0	0.00	0.00
				亜亜硫酸イオン (BO ₂ ⁻)	0.0	0.00	0.00
陽イオン合計	113.0	5.01	100.00	陰イオン合計	278.0	5.05	100.00

(b) 遊離成分

非 解 離 成 分				溶 存 ガ ス 成 分			
成 分	ミリグラム (mg)	ミリモル (mmol)		成 分	ミリグラム (mg)	ミリモル (mmol)	
メタケイ酸 (H ₂ SiO ₃)	25.5	0.33		遊離炭酸 (CO ₂)	0.0	0.00	
メタホウ酸 (HBO ₂)	0.8	0.02		遊離硫化水素 (H ₂ S)	0.0	0.00	
メタ亜ヒ酸 (HASO ₂)	0.0	0.00					
非 解 離 成 分 計	26.3	0.35		溶 存 ガ ス 成 分 計	0.0	0.00	

溶存物質 (ガス性のものを除く)

0.417 g

成 分 総 計

0.417 g

(c) その他微量成分

総ヒ素	0.005	mg未満
カドミウム	0.01	mg未満
鉛イオン	0.01	mg未満
総水銀	0.0005	mg未満

平成16年4月20日
 京都市伏見区村上町395

京都府保健環境研究所

所 長 中 川 雅 夫



6. 泉 質
 単 純 温 泉
 (低張性弱アルカリ性低温泉)

7. 禁忌症、適応症等
 「温泉分析書別表」中5に記載する。

付表-3 温泉分析書