

水銀探査を利用した温泉調査 —その他の探査との併用について—

椎川 誠・久保田秀紀・三浦義征

Exploration of Hot Springs Using Mercury Method Together with other Exploration Methods

Makoto SHIKAWA, Hideki KUBOTA and Yoshitada MIURA

Abstract

In the vast majority of the resort and other local development projects now under way, the use of hot springs is usually considered. Since accessible to hot springs from the ground surface is limited, most of cases drilling is necessary to reach them.

In the past, there was no truly systematic method for locating hot springs, so the success rate of drilling was low. Now, however, there is available an geochemical prospecting using mercury as a basic indicator to locate sources of heat and location of faults in deep strata. By combining this method with older geophysical prospecting methods, it has become possible to achieve high success rates in hot springs drilling projects.

This report describes the properties and analysis method of mercury, and exploration method using mercury. And it also describes two case histories using this method together with other exploration methods. Efficiency of this method was confirmed by drilling at selected sites.

1 はじめに

最近に至って、地下深部に賦存する地熱源や温泉源の調査において、水銀を指示元素とする地球化学的探査法が注目されるようになってきた。

水銀は高い揮発性を有する元素である。地下深部の高温帯で加熱され気化した水銀は、岩石中の裂かや断層に沿って上昇してくる。この気化した水銀は上昇の過程において土壤中に取込まれるとか土壤ガスとして拡散する。水銀探査法は、この水銀の挙動に着目したもので、土壤中の水銀含有量の分布や土壤ガスとして拡散するガス中の水銀含有量の分布から、地下に潜在する断層などの延長方向や広がり等を推定するものである。

椎川(1971)が述べているように、水銀を利用する探査法は、外国においては古くから鉱床の調査に用いられて

いた。しかしながら、Koga et al (1975), Matlick et al (1975) などが水銀と地熱との関連が極めて強いことを明らかにしたことから、この方法は地熱の調査に積極的に利用されるようになった。

これまでの温泉調査においては、水銀探査と土壤ガス中の炭酸ガスによる探査を併用する調査はしばしば行われてはいるが、その他の物理・化学探査を併用して、それらの結果を総合して検討を行った例は極めて少ない。

筆者らは、秋田県において行った温泉調査の第二次野外調査(精査)において、電気探査、地温探査、放射能探査などに併せて水銀探査を実施し、その効果の検討を行った。

この報文では、上記の調査結果を例に採り、温泉調査においては、適切な地球化学的調査および地球物理的調査を組合わせて行うことが必要であり、これらの総合調

査における水銀探査の有効性について述べる。

2 温泉調査の現状

現在においては、温泉を得るために1000mあるいはそれ以上の大深度のボーリングを実施することが多くなり、このような大深度のボーリングによって、いままでに温泉が得られなかった地域からも温泉を得ることが可能になった。しかしながら、掘削深度が深くなるに従って、深部に賦存する温泉を地表からの調査によって予測することは、従来から実施されていた方法のみでは困難になってきた。

従来の温泉調査においては、放射能探査、電気探査などの単独探査か、あるいは2～3種類の探査法の組合せによって得られた結果に基づいてボーリング地点が決められていた。しかし、このような調査でも実施されれば良い方で、極端な場合には、科学的な調査を行うこともなく、ボーリングを実施する例も数多くあった。

温泉の胚胎層が浅い場合には、比較的簡単な調査によって温泉の開発に成功することも多かったが、現在のよう深い深度に温泉を求めるような場合には、より確度の高い手段が必要となり、このために、地下深部に潜在する断層や温泉の所在を知る方法として水銀探査法が活用されるようになってきた。

3 水銀探査

現在、筆者らが実施している温泉調査の手順は図一1に示す通りで、水銀探査は第二次野外調査（精査）の段階で使用している。

地下深部の高温帯において加熱され気化した水銀は、岩盤中の空隙や断層を通過して上昇し、地表付近で一部は硫化水銀として土壤中に固定され、一部は土壤ガスとして土壤中を拡散しながら大気中に放出される。

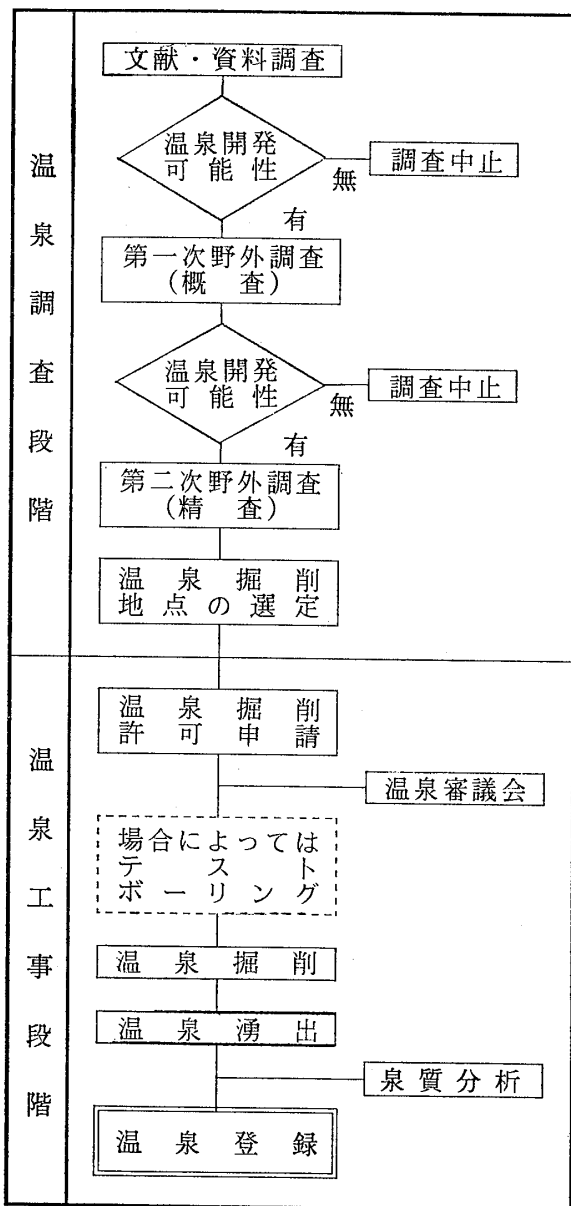
水銀探査法は、土壤中や土壤ガス中の水銀の含有量が採取された場所によって異なることから、地下に潜在する断層の位置や広がりやを推定するものである。この方法は、地表において熱に関する徴候が認められないような地域の調査にも用いることができる。この水銀探査法は、土壤中に固定された水銀の含有量を調べるものと、土壤ガス中の水銀の含有量を調べる方法に分けられる。

3・1 試料の採取と保管

(a) 土壤試料について

含有量分析試験に用いる試料としては、有機質に富んだA層あるいはその下部にあるB層*から約500gの土壤を採取する。採取した土壤は厚手のポリ袋に入れ、密封して室内に持ち帰り、室内において自然乾燥させる。十分に乾燥させた後、試料を粗粉碎し、100メッシュの

*A層およびB層は、土壤層位による分類法における呼称で、A層は、土壤断面の最上部にあり、腐植を含み暗色で細かい構造が発達し、物質の溶脱が起こりやすい層。B層は、A層の下部に分布し、腐植が少なく含水酸化鉄によって褐色、黄褐色、赤褐色などを呈し、細粒緻密で大構造が発達する。A層からの物質が溶脱された場合はこの層に濃集する。



図一1 温泉調査および工事のフローチャート
Fig.1 Flowchart of investigation and drilling of hot spring

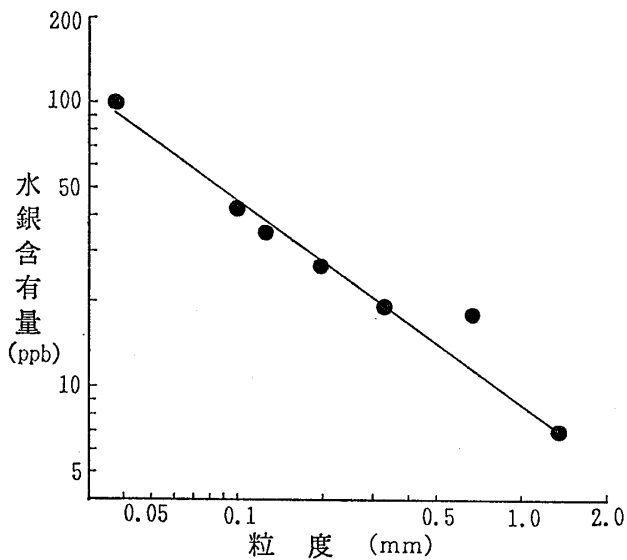


図-2 試料の粒度と抽出される水銀含有量との関係
Fig.2 Relationship between the gradation and the mercury content extracted from samples

篩で篩別し、篩下の試料の一定量を分析試料とする。

試料の粒度とそれらの粒子の中の水銀含有量との間には、図-2に示すような関係があるので、分析試料の粒度は統一しておくことが必要となる。

試料の保管に当たっては、試料をそのまま大気中に曝しておくと、大気中への水銀の拡散が起こるので、密閉容器中に保管する必要がある。また、水銀含有量の多い試料ほど拡散する度合が大きく、水銀含有量に差がある試料を同一密閉容器中に入れておくと、低含有量の試料の水銀含有量が増加することが実験的に確かめられている。したがって、試料は採取地点ごとに、別々の容器に保管することが肝要である。

(b) 土壌ガス中の試料について

地中に直径5cm、深さ1m程度の孔を掘り、その中に金線を一定期間吊し、土壌ガス中の水銀をアマルガムとして捕集する方法が一般的に使用されるようになってきた(地熱エネルギー編集事務局, 1980)。

この種の方法の1つに、明野(1982)の方法がある。この方法は、図-3に示すように、地中に直径5cm、深さ60cmの孔を掘り、外径5cm、長さ40cmの塩化ビニール製のケーシング管を30cmの深さまで挿入し、ケーシング管と周辺の土壌との間の隙間からガスが漏出しないうように、布や周辺の土によって孔の口元を密閉する。つぎに、この孔内に直径1mm、長さ100mmの金線を地表面から40cmの深さに吊り下げ、ケーシング管の口元をゴム栓によって密閉する。このようにして、金線を一定期間(通常は3~7日間)地中に吊し、土壌ガス中の水銀をアマルガムとして捕集する。一定期間後に金線を孔

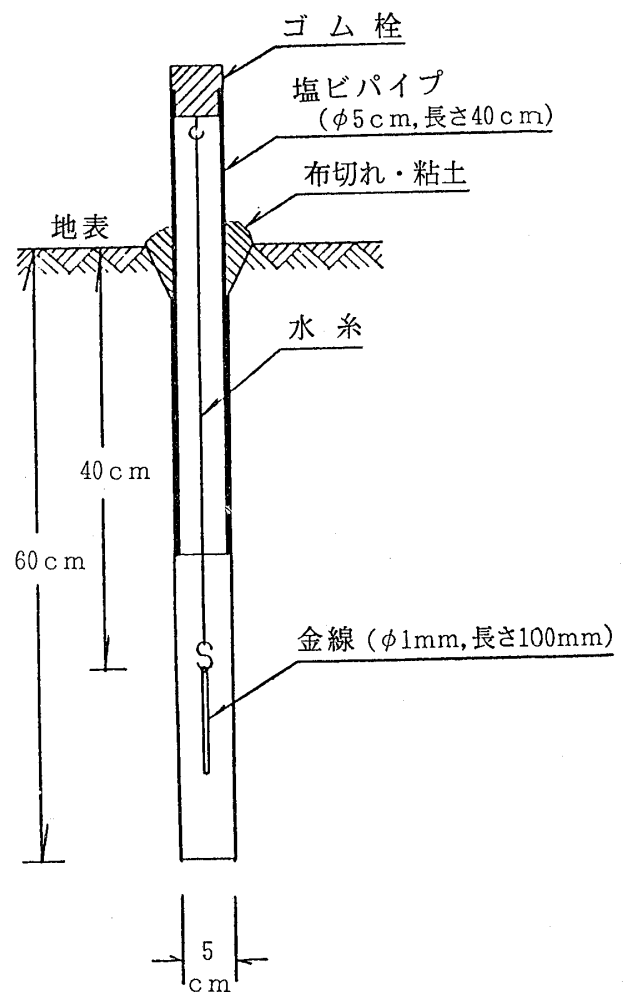


図-3 金アマルガム法による土壌ガス中の水銀の捕集状況(明野, 1982による)

Fig.3 Condition of collected mercury from soil gas by gold amalgam method (Akeno, 1982)

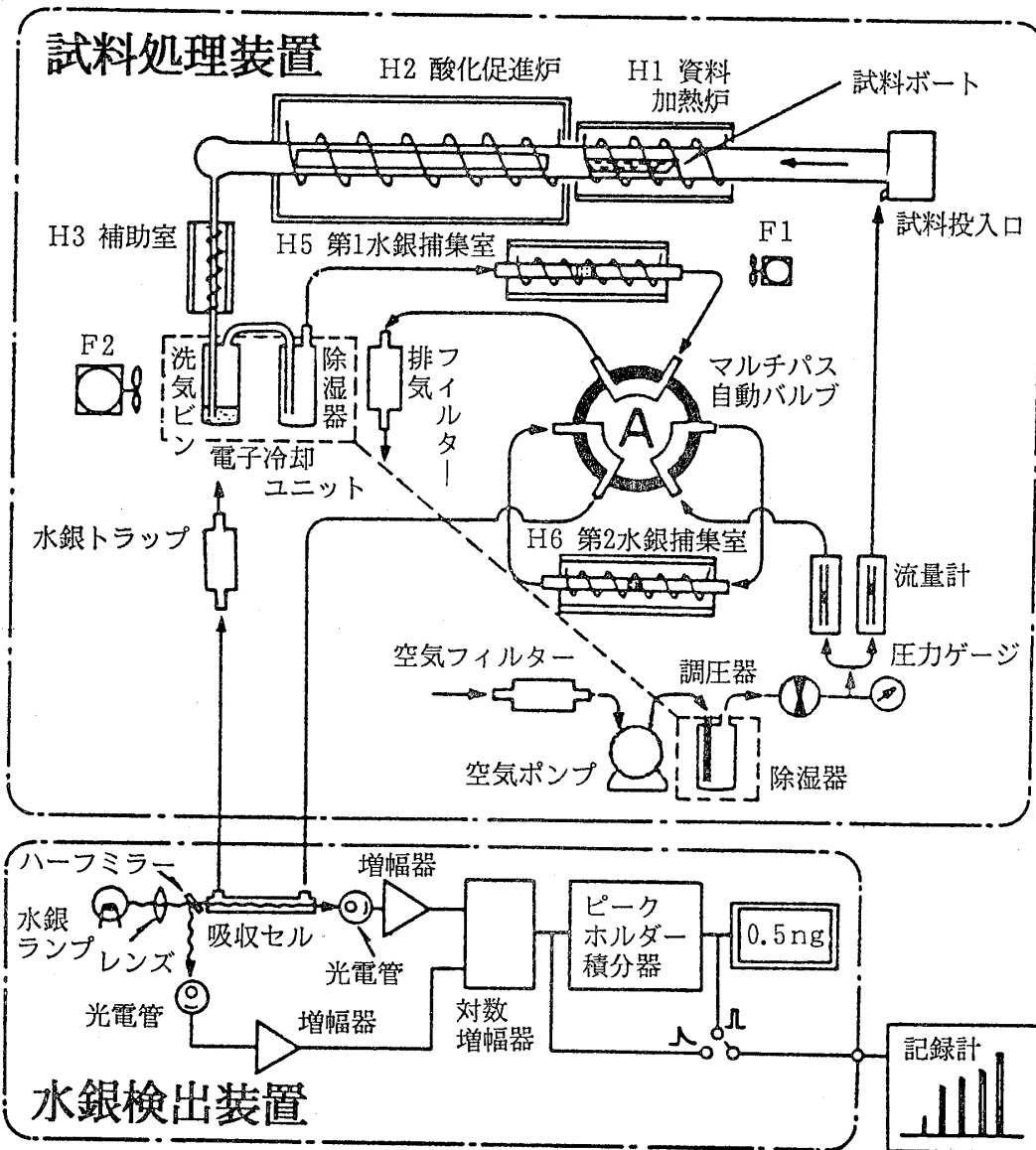
から取出し、速やかにシリコンゴムの栓をした試験管(容量10ml)に保管する。

3・2 水銀含有量分析

(a) 分析装置

水銀含有量分析には、水銀蒸気の紫外線吸収を利用した冷原子吸光光度法が多く用いられる。この方法による含有量の測定に用いられる原子吸光装置の一例を図-4に示す。この測定装置は、試料処理装置部と水銀検出装置部に分かれている。

分析を行うに当たっては、10~100mgの試料を秤量し、有機物などを吸収除去するための添加剤(活性アルミナ、水酸化カルシウム、炭酸ナトリウムの混合物)3~4gとともに磁性ポートに入れ、この磁性ポートを試料投入口から試料加熱炉(H1)に挿入する。その後は、試料の加熱から検出までのすべての処理は自動的に



図一四 水銀含有量測定装置 (理学電気㈱資料による)

Fig. 4 An apparatus for the mercury content measurement
(after Rigakudenki Corp.)

行われる。

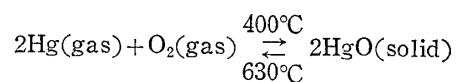
試料処理装置においては、試料を加熱して試料中の水銀を蒸気水銀として気化させ、金粒を入れた水銀捕集室 (H5 および H6) において、金アマルガムとして捕集する。この加熱と捕集の過程を繰返して行うことによって水銀を精製し、最後に、水銀を捕集した金粒を加熱して原子状の水銀を遊離する。

この遊離した水銀は、水銀検出装置の吸収セルに導かれ、冷原子吸光光度法に基づいて水銀の量を検出する。この装置では、固体や液体の試料を湿式分解する必要はなく、直接測定ができ、0.1ng まで定量することが可能である。

(b) 加熱温度

冷原子吸光光度法によって水銀含有量分析を行う場合に最も重要な点は、試料から水銀を気化するための加熱温度である。

水銀を 550°C 以上の温度で熱すると、水銀の一部につきのような酸化反応を伴い、分析結果の値を減少させることになる。



種々の水銀化合物から気化する蒸気水銀の量と加熱温度との関係を図一五に示す (Watling et al, 1978)。この図における各化合物の水銀含有量は 1 ppm である。化合物中の水銀の大部分が気化する温度は、塩化第一水銀

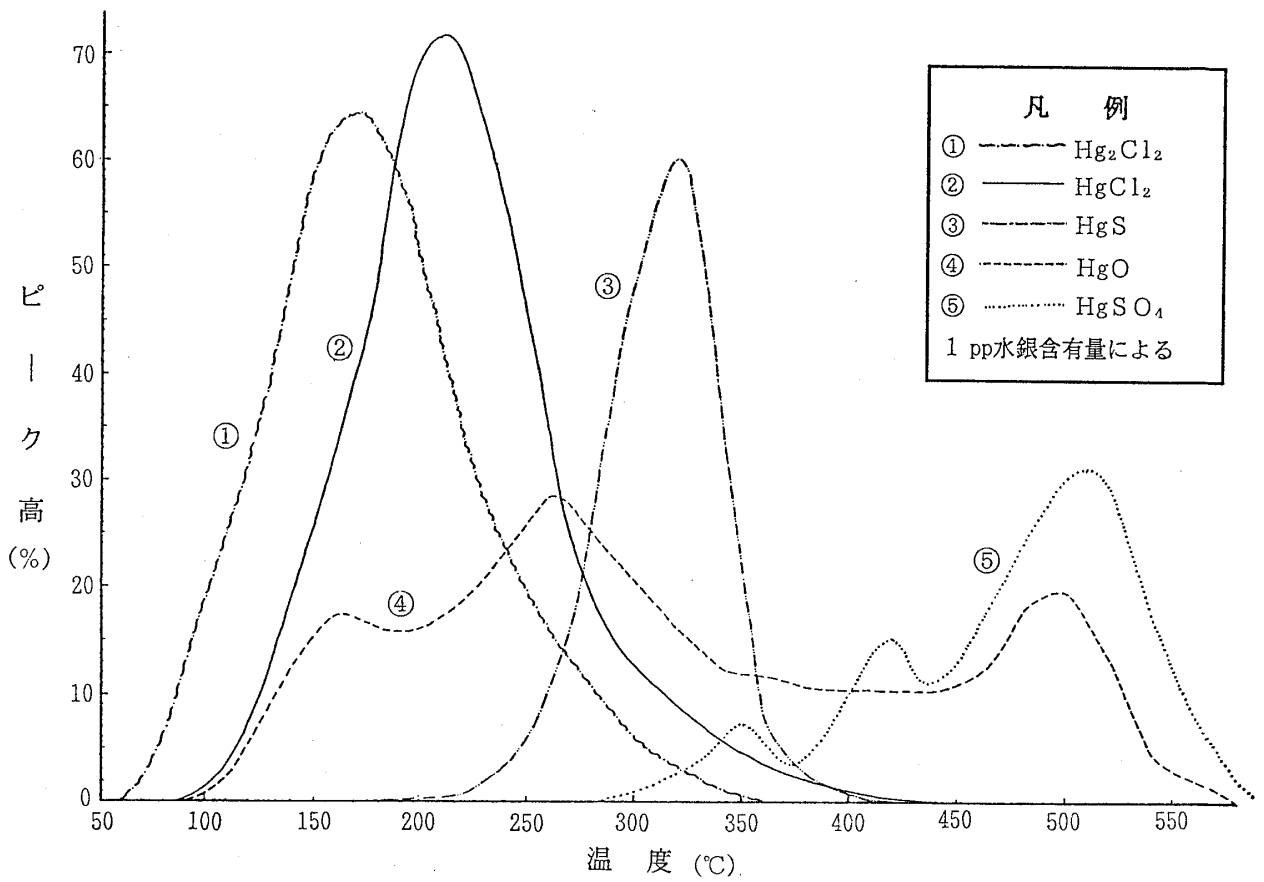


図-5 いろいろの水銀化合物における蒸気水銀の加熱気化曲線 (Watling ほか, 1978)

Fig. 5 Thermal release curves of mercury vapor from various mercury compounds (Watling et al., 1978)

(Hg_2Cl_2) では170°C, 塩化第二水銀 (HgCl_2) では210~220°Cと比較的低温で, 硫化水銀 (HgS) ではやや高く300~320°Cである。酸化水銀 (HgO) では160°C, 255~270°Cおよび495°Cの3箇所にピークが見られる。また, 硫酸水銀 (HgSO_4) の場合も350°C, 420°Cおよび510°Cの3箇所にピークがある。したがって, いずれの化合物であっても, 550°Cの温度で熱することによって試料中のすべての水銀を蒸気として気化させることができるとともに, 酸化反応による分析値の低下を避けることができるものと考えられる。

4 秋田県藤里町における温泉調査

秋田県の北部の青森県との境にある藤里町における温泉調査に当たっては, 町内全域について文献および資料調査を行った。これによると, 町内に分布する地質は, 主として新第三紀中新世のいわゆるグリーンタフと油田第三系とからなっている。後述の第一次野外調査地域周辺は, 油田第三系の硬質頁岩からなる岩谷層, 凝灰角礫岩, 安山岩質火山砕屑岩, 黒色泥岩などからなる藤琴川

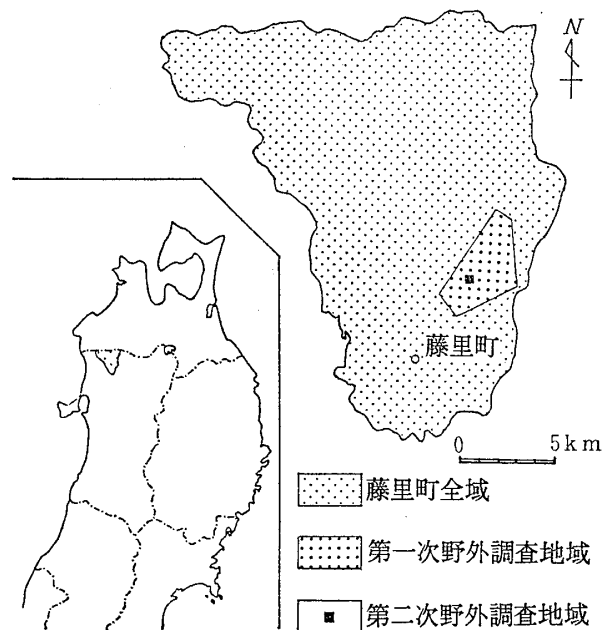


図-6 藤里町における調査範囲

Fig. 6 Investigation area at Fujisato-machi

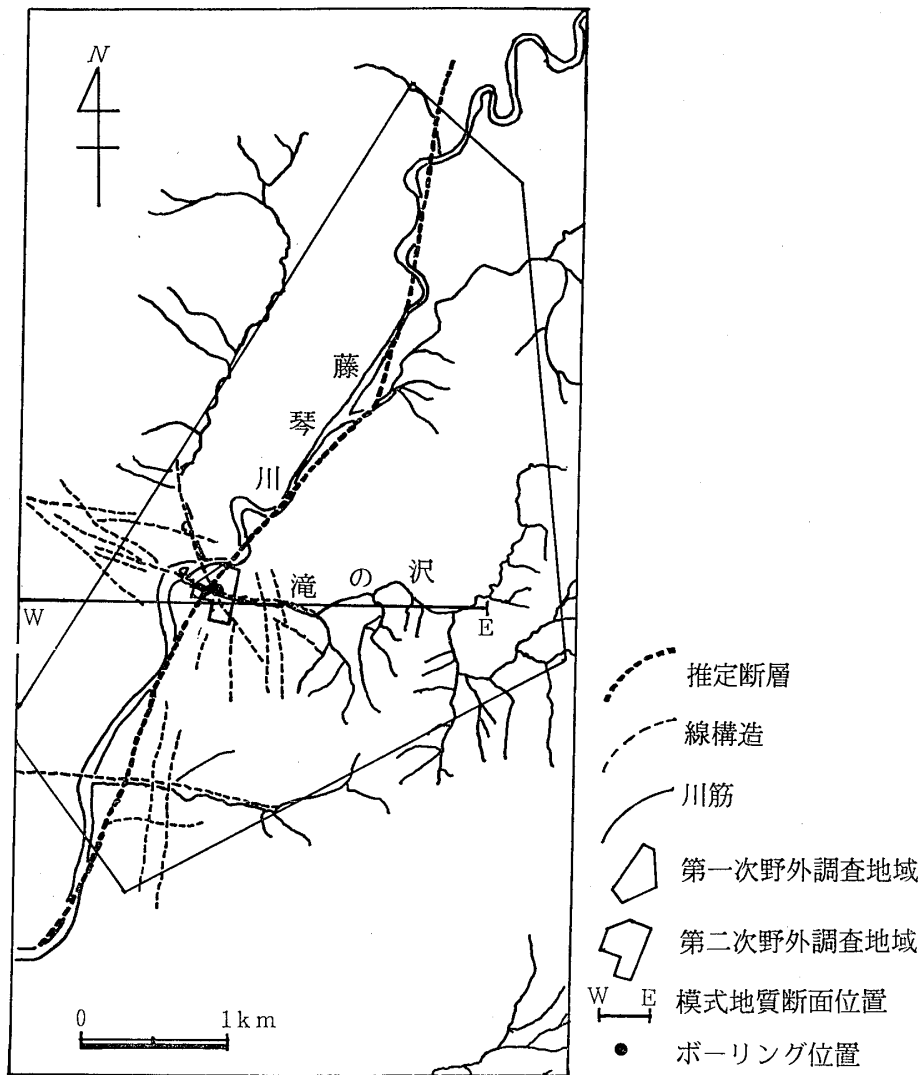


図-7 第二次野外調査地域（滝の沢地区）の地質構造

Fig. 7 Geological structure of the area for the Second field work (Takinosawa)

層からなっている。この地域を流下する藤琴川沿いには顕著な断層が存在すること、また、空中写真解析によって、この断層に直交して数多くの断層の存在が予測されることなどの理由によって、図-6に示す藤里町東部の地域を第一次野外調査（概査）地域として選定した。

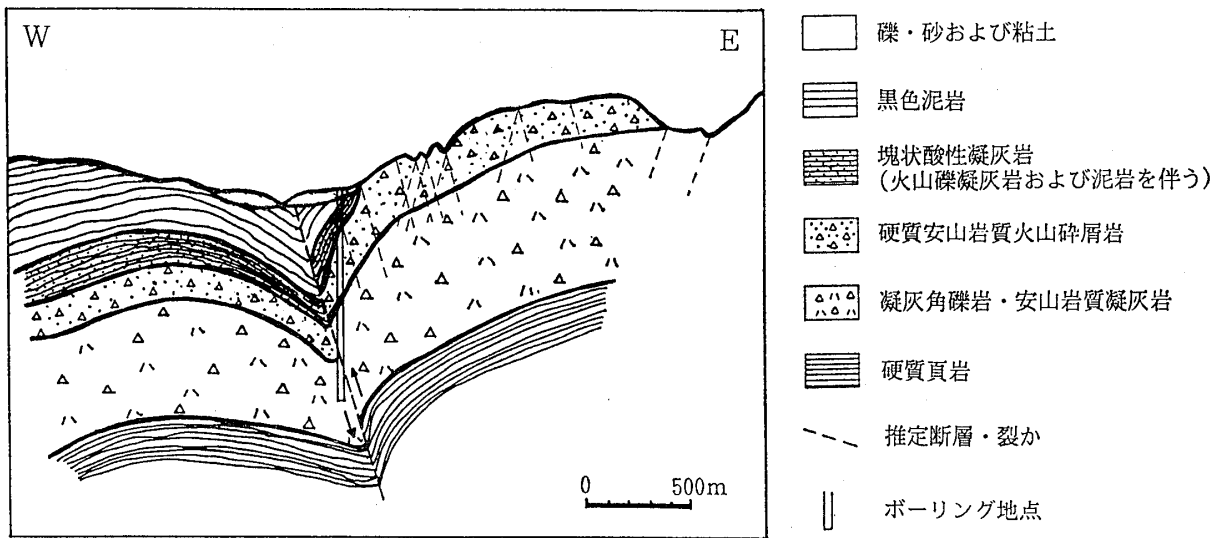
この第一次野外調査地域について、地表踏査および空中写真解析を行った結果によれば、図-7に示すように、藤琴川を形成する北東～南西に延びる断層とこれに直交する数多くの断層が存在する。また、この地域の安山岩質火山砕屑岩中にはメノウや方解石などのような熱水による二次生成鉱物が多く見られる。すなわち、断層が数多く発達していることから地下水が賦存する可能性が高いことが考えられ、熱水作用があったことから温泉の熱源の存在が期待できる。

これらの結果を総合して、図-7に第二次野外調査地

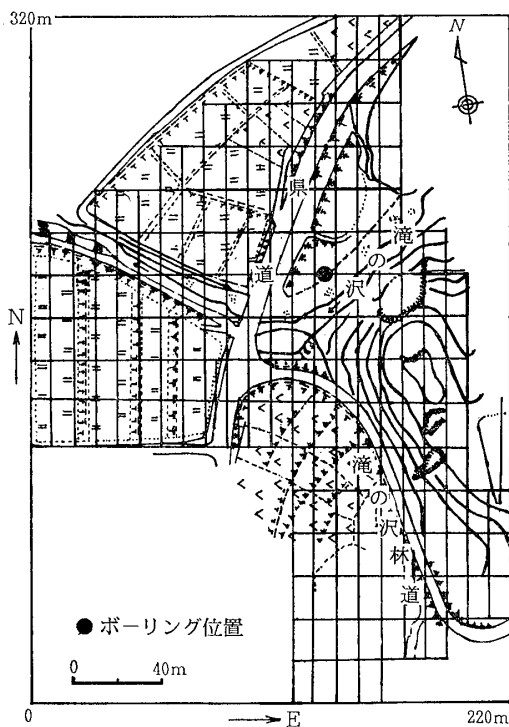
域として示した滝の沢地域が、温泉開発に必要な地質条件を最も多く備えていると判断した。

図-8は、第二次野外調査地域の東西方向の模式地質断面図である。この地域の地層は激しく褶曲し、褶曲軸付近には断層が発達している。北東～南西に延びる藤琴川沿いの断層は、東側が上昇した衝上断層で、断層面は東傾斜をなしている。この断層の傾斜は、周辺の地質構造から、70～75°程度の傾斜をもっているものと判断される。この地質断面にはほぼ平行して東から西へ流下している滝の沢も断層によって形成されたものであり、上記の衝上断層にはほぼ直行している。また、この断層に接して安山岩質火山砕屑岩がドーム構造をなして分布している。第二次野外調査地域は、これらの断層の交点に当たる地区である。

第二次野外調査地域の面積は5.1ヘクタールで、地域



図—8 滝の沢地区模式地質断面図
Fig. 8 Geological section of Takinosawa area



図—9 第二次調査地域におけるグリッドの配置 (藤里町)
Fig. 9 Arrangement of the grid at the Second field work (Fujisato-machi)

内に、東西方向に5m間隔、南北方向に20m間隔のグリッドを設定し(図—9)、このグリッドに沿って自然電位探査、放射能探査、地温探査、炭酸ガス探査および水銀探査(土壌水銀法、土壌ガス法)を実施した。図—9において、グリッドが設定されていない区域は、地形的な制約によって測定ができなかった部分である。

(a) 物理探査

1) 自然電位探査

自然電位探査は調査地全域を対象とし実施した。測定間隔は東西方向5m、南北方向20mで、測定点数は406点である。調査地域における自然電位分布を図—10に示す。

自然電位の低電位帯は散在的ではあるが、調査地域の北部に分布している。これらの低電位帯は、グリッドN-207より北側にはほぼ東西に広がる地帯と、およそN-160~N-210の間にはほぼ東西方向に点在する部分に分けられる。これらの低電位帯の分布位置は藤琴川に沿う断層と滝の沢に沿う断層との交点部に当たっており、これらの推定された断層の存在を示唆しているものと思われる。

2) 放射能探査

放射能探査は調査地域の全域について実施した。測定間隔は東西方向10m、南北方向20mで、測定点数は236点である。調査地域の放射能分布を図—11に示す。

放射能強度の高い地帯は、調査地域の北部の県道より西側と滝の沢林道の西側に分布している。前者の高放射能強度帯の分布方向は北東~南西を示しており、これは藤琴川沿いの断層の方向と一致している。

3) 地温探査

地温探査は調査地域の全域について実施した。測定間隔は東西方向10m、南北方向20mで、測定点数は212点である。図—12に調査地域の地温分布を示す。

高地温帯は調査地域の北部に分布している。これらのうち、県道の東側の地帯は最も高い値を示している。

4) 物理探査によるアノマリーの分布

自然電位探査、放射能探査および地温探査の結果から求められたそれぞれのアノマリーを重ね合わせると、図

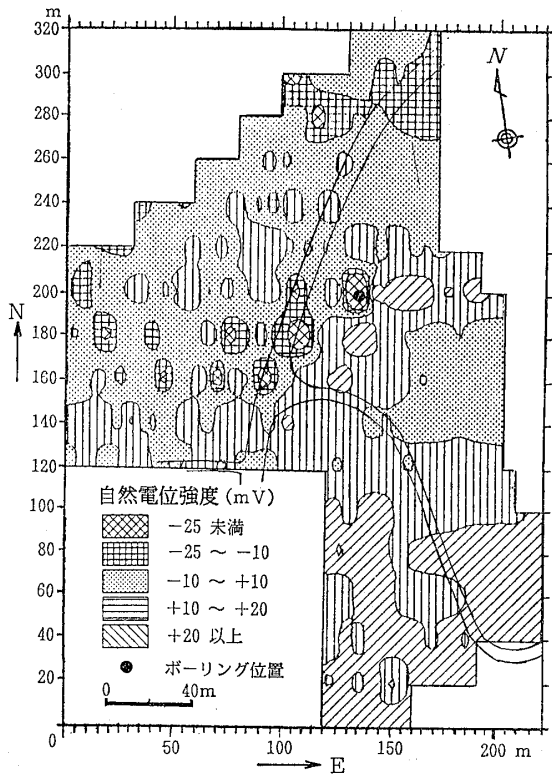


図-10 自然電位分布図 (藤里町)
Fig.10 Spontaneous potential distribution chart (Fujisato-machi)

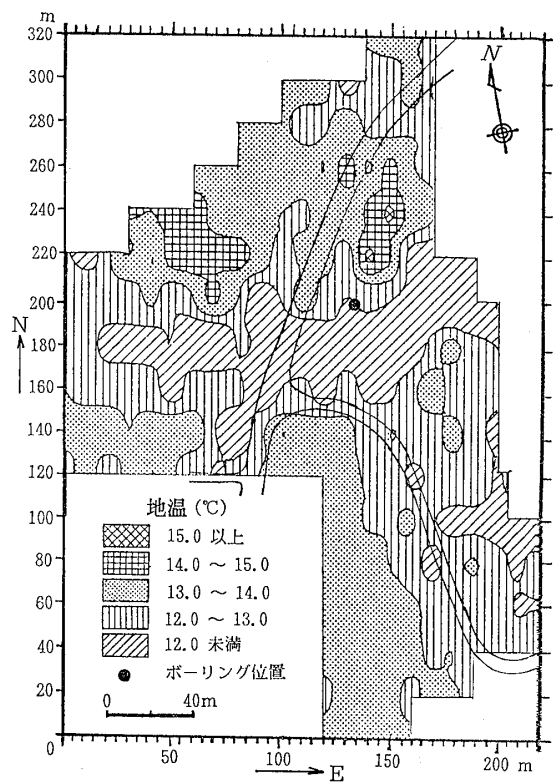


図-12 地温分布図 (藤里町)
Fig.12 Geothermal distribution chart (Fujisato-machi)

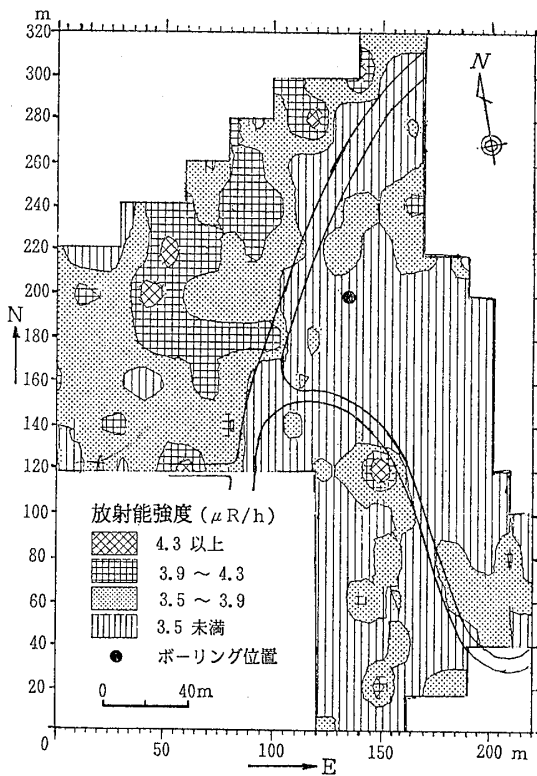


図-11 放射能分布図 (藤里町)
Fig.11 Radioactivity distribution chart (Fujisato-machi)

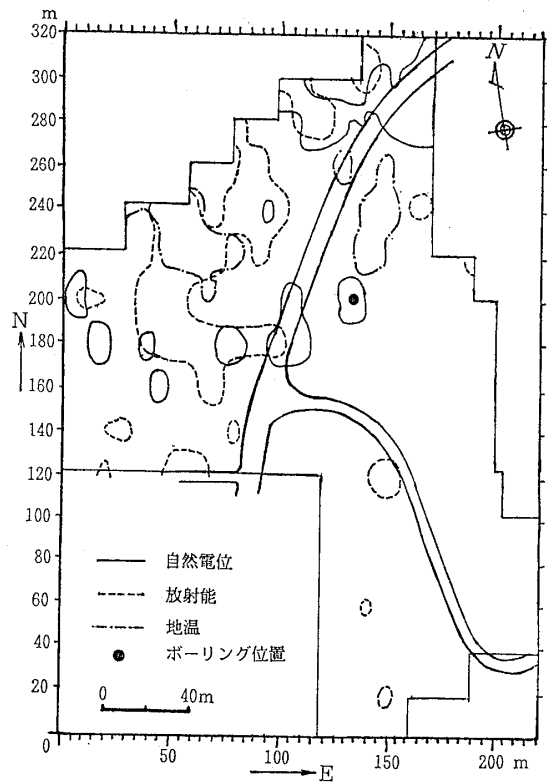


図-13 物理探査のアノマリー分布図 (藤里町)
Fig.13 Anomaly distribution chart of geophysical explorations (Fujisato-machi)

表一 1 土壤水銀含有量 (藤里町)
Table 1 Mercury content of soil (Fujisato-machi)

試料採取位置		含有量 (ppb)	試料採取位置		含有量 (ppb)	試料採取位置		含有量 (ppb)	試料採取位置		含有量 (ppb)
N	E		N	E		N	E		N	E	
120	15	90	160	55	90	200	95	115	260	55	175
120	35	70	160	75	55	200	115	65	260	75	40
120	55	155	160	95	80	200	135	25	260	95	80
120	75	115	160	115	75	200	155	35	260	115	55
120	95	95	160	135	65	200	175	95	260	135	170
120	115	110	160	155	80	200	195	90	260	155	75
120	135	100	160	175	60						
120	155	90	160	195	145	220	15	20	280	80	130
120	175	150				220	35	25	280	95	70
120	195	160	180	15	25	220	55	170	280	115	80
			180	35	35	220	75	50	280	135	100
			180	55	45	220	95	20	280	155	135
140	15	45	180	75	75	220	115	40			
140	35	45	180	95	30	220	135	55	300	100	65
140	55	90	180	115	15	220	155	15	300	115	80
140	75	85	180	135	45	220	175	30	300	135	125
140	95	100	180	155	40				300	155	20
140	115	50	180	175	65						
140	135	90	180	195	105	240	30	25			
140	155	60				240	55	25	平均値		76
140	175	115				240	75	35	標準偏差		41
140	195	135	200	15	25	240	95	50			
			200	35	45	240	115	75			
160	15	55	200	55	35	240	135	90			
160	35	80	200	75	130	240	155	130			

—13に示すようになる。この図によって分かるように、自然電位および放射能のアノマリー帯は、調査地の北部の県道の西側に北東～南西の方向に延びる形に分布している。

(b) 地化学探査

1) 水銀探査

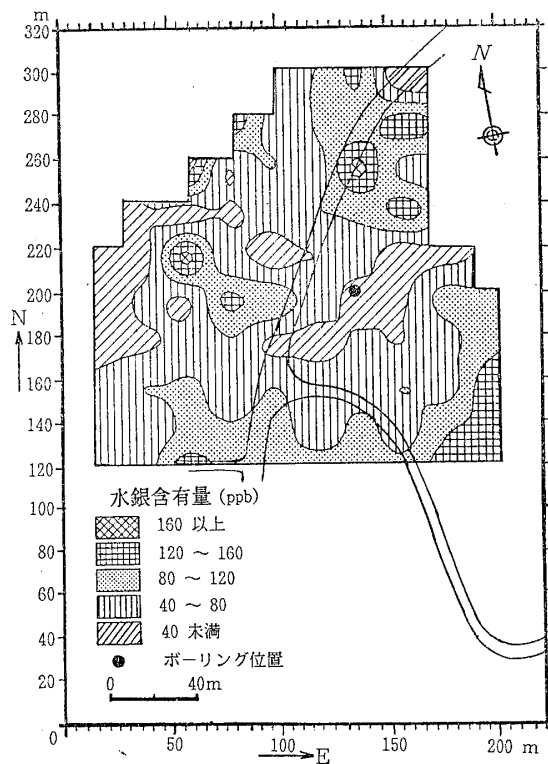
第二次野外調査地域において、温泉の賦存に最も関係が深いと考えられる藤琴川沿いの断層の分布位置を把握することを主目的として、土壤水銀含有量および土壤ガス中の水銀含有量の測定による水銀探査を実施した。

① 土壤水銀含有量

さきに示した自然電位分布、放射能分布および地温分布を参考にして、土壤水銀含有量の調査範囲をグリッド N-120より北側の2.8ヘクタールの区域に限定した。

土壤試料の採取箇所の間隔は、東西方向、南北方向ともに20mとし、採取箇所数は81点である。採取に当たっては、水田部では表層から30cm下の土壤から採取し、それ以外のところではB層の土壤を採取した。これらの試料の分析の結果得られた水銀含有量は表一1に示す通りである。

この表によれば、水銀含有量の最大値は175ppb、最小値は16ppbであり、平均値(m)は76ppb、標準偏差



図一14 土壤水銀含有量分布図 (藤里町)

Fig.14 Distribution chart of the mercury content of soil (Fujisato-machi)

表一 水銀ガス含有量 (藤里町)

Table 2 Mercury gas content (Fujisato-machi)

試料採取位置		含有量 (ng)	試料採取位置		含有量 (ng)	試料採取位置		含有量 (ng)	試料採取位置		含有量 (ng)
N	E		N	E		N	E		N	E	
200	80	0.1	220	130	0.6	240	145	0.6	280	115	2.6
200	90	0.1	220	135	0.3	240	155	0.1	280	130	0.8
200	100	0.1	220	140	0.1	260	95	0.7	300	100	0.2
200	125	0.3	220	145	0.4	260	115	0.6	300	115	0.7
200	135	0.3	220	155	0.1	260	150	0.4	300	135	0.1
220	75	1.0	240	95	0.7	260	155	0.2	300	145	0.2
220	95	0.4	240	110	0.7	280	95	0.8	320	160	0.4
220	105	0.1	240	140	0.1						

(σ) は 41ppb となる。そして、 $m + \sigma \approx 120\text{ppb}$ 以下の含有量を示す箇所が84%を占めている。したがって、120ppb 以下の値をこの地域におけるバックグラウンド値とし、120ppb 以上を示す箇所をこの地域の 高含有量箇所とすることにした。

図一14に調査地における土壌水銀含有量分布を示す。この図によれば、調査地の北部の県道の西側と県道沿いにアノマリー帯が見られ、これらのアノマリー帯の分布を大局的に見ると、北東～南西方向に延びており、地表に見られる沖積層の下部に断層が存在することを示唆するものである。

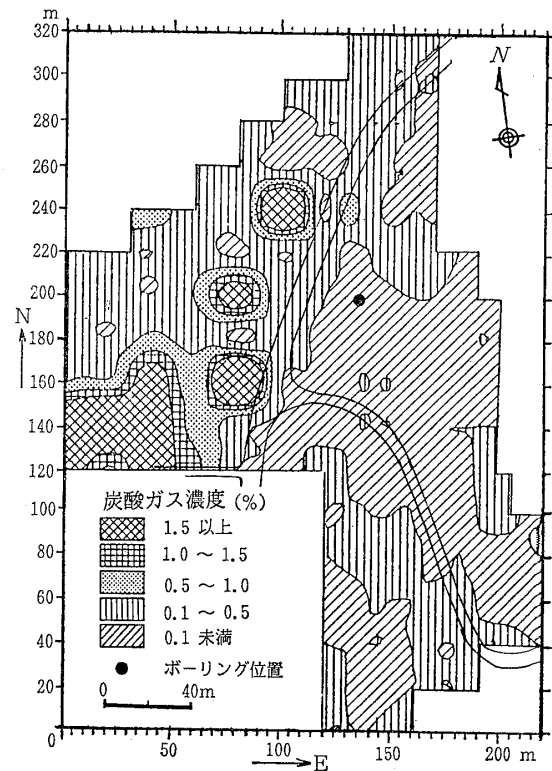
② 土壌ガス水銀含有量

土壌水銀含有量測定結果の県道沿いのアノマリーとの比較を主目的として、グリッドN-200以北でE-80～E-160の範囲の0.6ヘクタールを調査地域とした。測定点間隔は東西方向5mあるいは10m、南北方向20mとし、測定点数は30点である。土壌ガス中の水銀含有量の分析結果を表一2に示す。

水銀含有量の最大値は2.6ng、最小値は0.1ngで、平均値 (m) は 0.5ng、標準偏差 (σ) は 0.5ng となる。したがって、土壌水銀含有量の場合と同じように、 $m + \sigma = 1.0\text{ng}$ 以下の値をこの地域のバックグラウンド値とすると、高含有量を示す箇所は、測定点 N220—E75の1.0ng と測定点 N280—E115の 2.6ng の2点のみである。しかも、明野 (1982) が示している岩手県滝ノ上地熱地帯の値 (最大値 100ng、最小値 0.6ng、平均値 7.74ng および標準偏差 13.26ng) と対比すると、ここに得られたすべての測定値がバックグラウンド値に該当しているのであって、土壌ガス水銀含有量に関しては、明瞭なアノマリー帯を発見できなかったことになる。

2) 炭酸ガス探査

炭酸ガス探査は調査地域の全域において実施した。測



図一15 炭酸ガス濃度分布図 (藤里町)

Fig.15 Distribution chart of the density of carbon dioxide gas (Fujisato-machi)

定間隔は東西方向10mあるいは20m、南北方向20mで、測定点数は 136 点である。炭酸ガス濃度の分布は図一15に示す通りである。

この図によれば、炭酸ガス濃度のアノマリーは県道より西側に散在している。これを大局的にみれば、水銀のアノマリー帯と同様に、北東～南西方向に延びており、土壌水銀探査の結果と同じように、地表に見られる沖積層の下部に断層が存在することを示唆しているものと考えられる。

(c) 探査によるアノマリーの分布

物理探査および地化学探査によって得られたアノマリー帯を総合すると、図一16に示すようになる。この図によれば、自然電位のアノマリー帯は、藤琴川に沿った推定断層と滝の沢に沿った推定断層との交点に一致し、強放射能帯の分布は、藤琴川沿いの推定断層の方向と一致している。土壤水銀および炭酸ガスのアノマリー帯の分布方向も、大局的には北東～南西方向を示しており、藤琴川沿いの推定断層の方向とほぼ一致している。

以上のように、探査の結果は、空中写真解析や地表踏査によって推定した断層の存在を裏付けるものであり、図一16に示した地点をボーリング位置として選定した。この位置は、図一7の地質構造図に示したように、ほぼ東西方向に延びる線構造上であり、また、図一8の模式地質断面図に示したように、藤琴川に沿った衝上断層の東側に当たっている。なお、ボーリング実施点としては、自然電位が最も低いアノマリーの中心部とした。

(d) 掘削結果

掘削深度は1,005mで、分布地質は地表から深度200mまで沖積層の粘土、藤琴川層の泥岩、凝灰岩と泥岩の互層、深度200～475m間は藤琴川層の素波里安山岩に分類される硬質の安山岩質火山砕屑岩、深度475mから最終

深度の1,005mまでは同層の安山岩質凝灰岩類(凝灰角礫岩、安山岩質凝灰岩)であった。

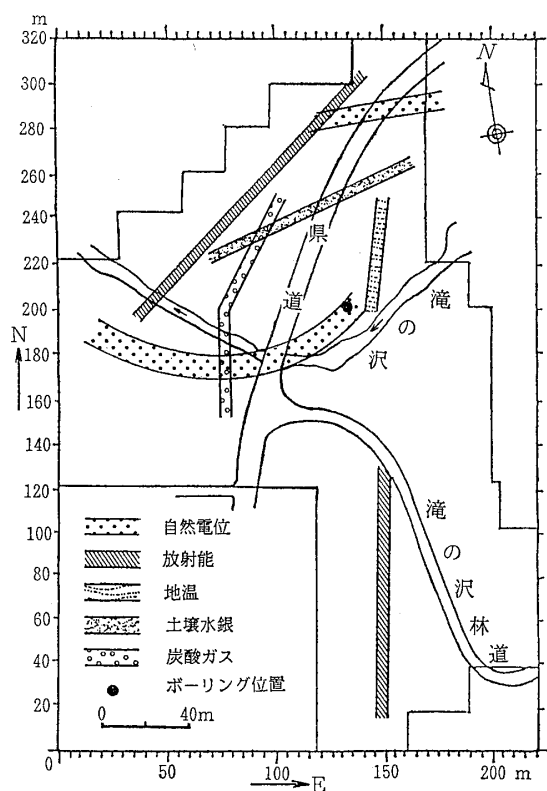
地表から孔底までの間の数ヶ所に、裂かや破碎帯が見られた。これらの中で深度972m付近に位置する破碎帯は最も厚く、この破碎帯の分布位置は、図一8の模式地質断面図に示した衝上断層の位置とほぼ一致するものである。

温泉の湧出状況は、216.7mの素波里安山の硬質安山岩質火山砕屑岩体の裂かから湧水量1500l/分、水温30.5℃(湧水箇所温度42℃)、湧水圧7kgf/cm²の湧水が見られた。また、深度524.0m、564.0mおよび927.0mから、それぞれ55l/分、55l/分および15l/分の湧水が孔内流速検層によって確認された。このときの湧水箇所における温度は、それぞれ52℃、52℃および76℃であった。

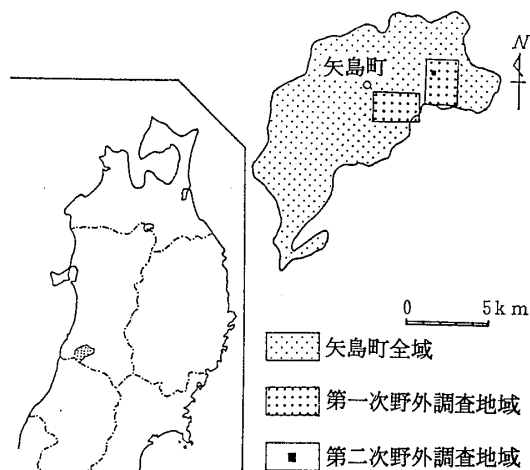
採水に当たっては、深度216.7mにおける裂かからの湧水と深度524.0m以深の湧水とをケーシング管によって区別し、上部の湧水はケーシング管と孔壁との間から、下部の湧水はケーシング管の内側から採水することとした。工事終了後に、ケーシング管内部からの湧水量は、210l/分に増加し、温度33℃、湧水圧8kgf/cm²となった。また、水中ポンプ用いて強制揚水した場合、揚水量は300l/分、水温40.5℃となった。一方、ケーシング管の外側からの採水については、温度33.0℃、湧水圧9kgf/cm²となったが、湧水量には変化が見られなかった。

5 秋田県矢島町における温泉調査

秋田県の南部の山形県との境にある矢島町における温泉調査に当たっては、図一17に示す矢島町の北東部約23



図一16 顕著なアノマリー帯とボーリング位置(藤里町)
Fig.16 Pronounced anomaly zone and locations of boring (Fjisato-machi)



図一17 矢島町における調査範囲
Fig.17 Investigation area at Yashima-machi

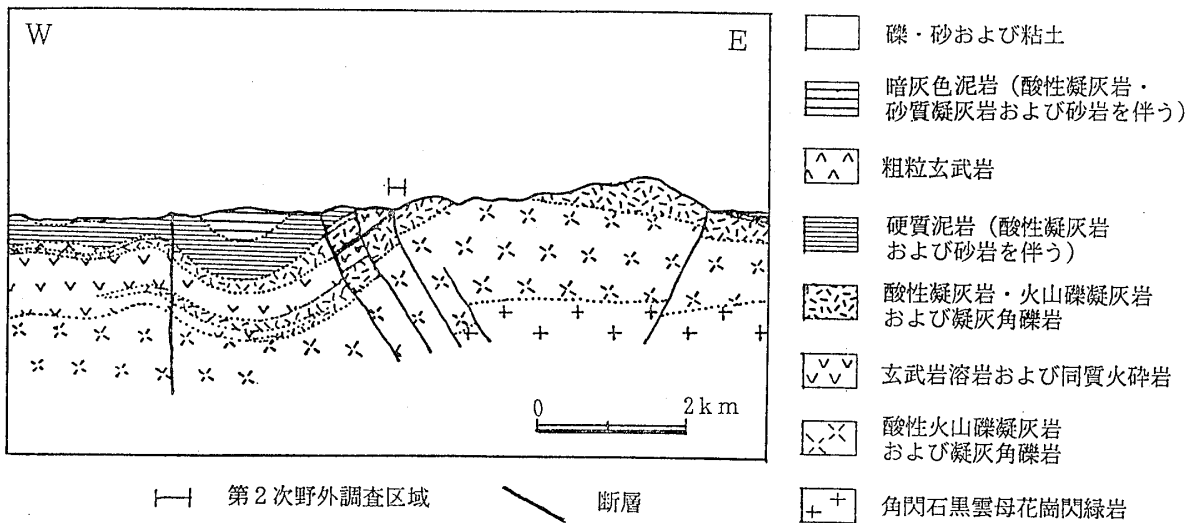


図-18 矢島町における地質断面図
Fig.18 Geological section of Yashima-machi

平方 km の範囲を対象地域として資料調査を実施し、その地域内に、約6平方 km の地域2箇所を第一次野外調査地域として設定した。

この地域の地質は、新第三紀中新世の凝灰岩類からなる八塩沢川層、玄武岩溶岩および同質火砕岩からなる青沢層、凝灰岩類からなる畑村層、硬質泥岩からなる女川層、暗灰色泥岩からなる船川層などからなっている。これらの地層は褶曲を繰返しているが、大局的には西傾斜をなしている。また、泥岩層と凝灰岩層は凝灰岩側が上昇した南北方向の衝上断層を境にして接している。凝灰岩中には熱水変質鉱物が見られ、下位の地層ほど変質作用を強く受けている。図-18は第二次野外調査地域を通る東西方向の地質断面である。

資料調査および地表踏査の結果、温泉開発候補地としては、凝灰岩と泥岩の境界をなす断層周辺部で、断層の発達が著しく、かつ温泉の熱源となり得る熱水作用が見られる面積4.2ヘクタールの地域を第二次野外調査地域とした。この地域内に、図-19に示すように、東西方向に5m間隔、南北方向に20m間隔のグリッドを設定した(図の南東部においては、地形上の制約から調査地域から除外した)。この地域において、南北に延びている断層の位置を把握することを目的として、自然電位探査、放射能探査、地温探査、水銀探査および炭酸ガス探査を実施した。

(a) 物理探査

1) 自然電位探査

自然電位探査は調査地全域について実施した。測定間隔は東西方向5m、南北方向20mで、測定点数は441点である。調査地域における自然電位の分布を図-20に示

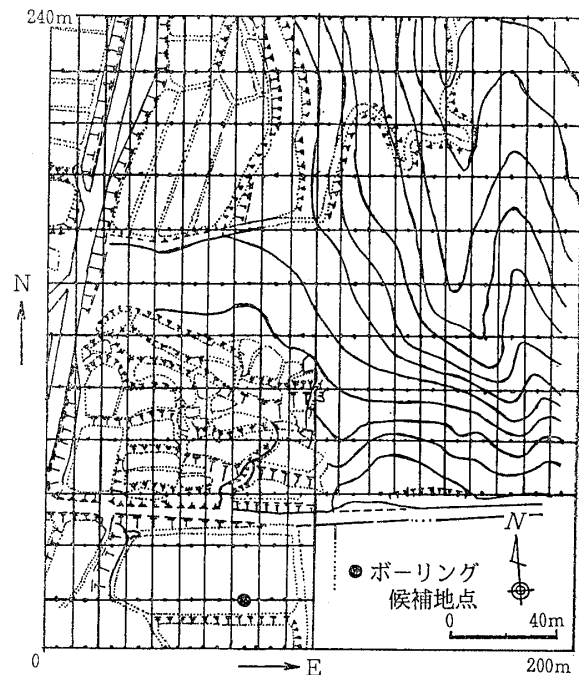


図-19 第二次調査地域におけるグリッドの配置 (矢島町)
Fig.19 Arrangement of the grid at the Second field work (Yashima-machi)

す。この分布図によれば、低電位帯は調査地内の西側半分の北部と南部に現われている。

2) 放射能探査

放射能探査は調査地全域について実施した。測定間隔は東西方向10m、南北方向20mで、測定点数は230点である。調査地域における放射能強度の分布を図-21に示す。この結果によれば、調査地域の東端に高放射能強度帯が南北に延びる形で現れている。この地域は、凝灰岩と玄武岩の境界部に当たり、この放射能強度のアノマリ

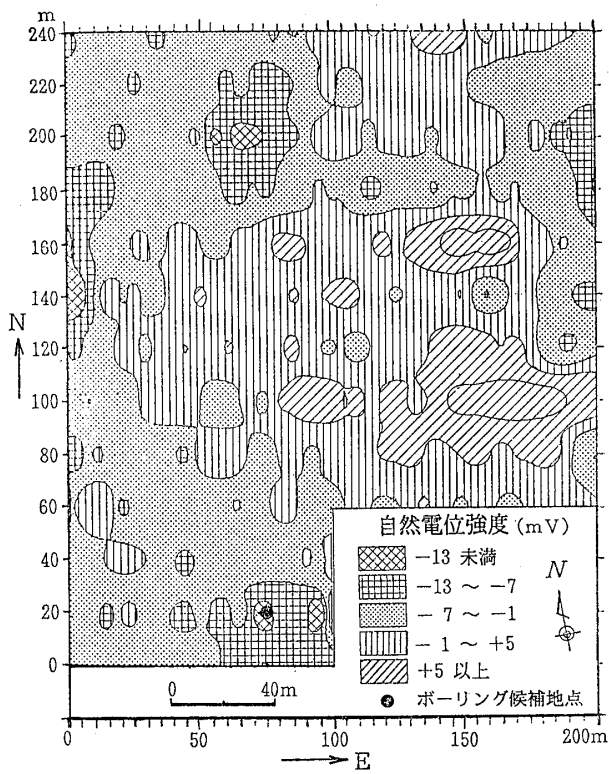


図-20 自然電位分布図(矢島町)
Fig.20 Spontaneous potential distribution chart (Yashima-machi)

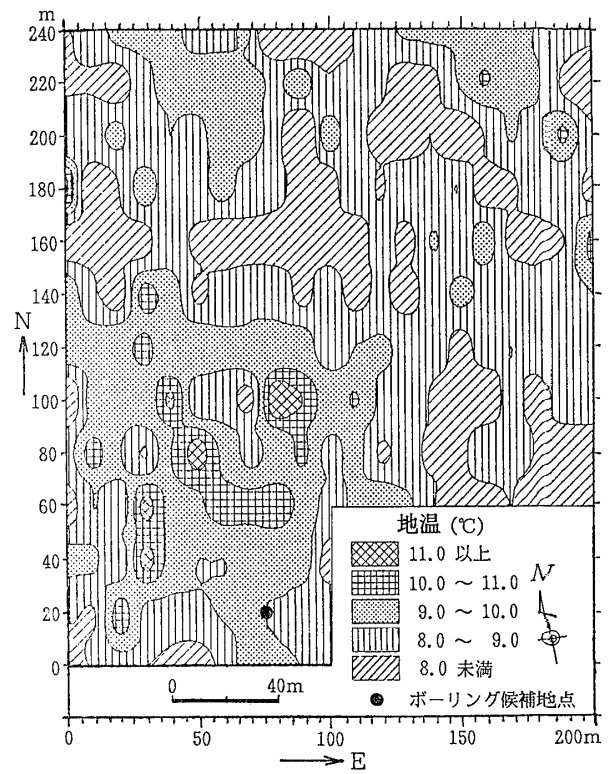


図-22 地温分布図(矢島町)
Fig.22 Geothermal distribution chart (Yashima-machi)

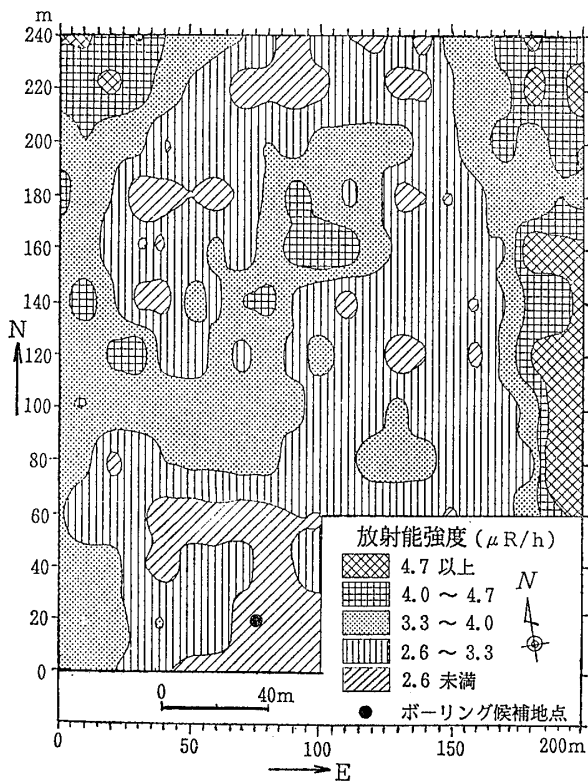


図-21 放射能分布図(矢島町)
Fig.21 Radioactivity distribution chart (Yashima-machi)

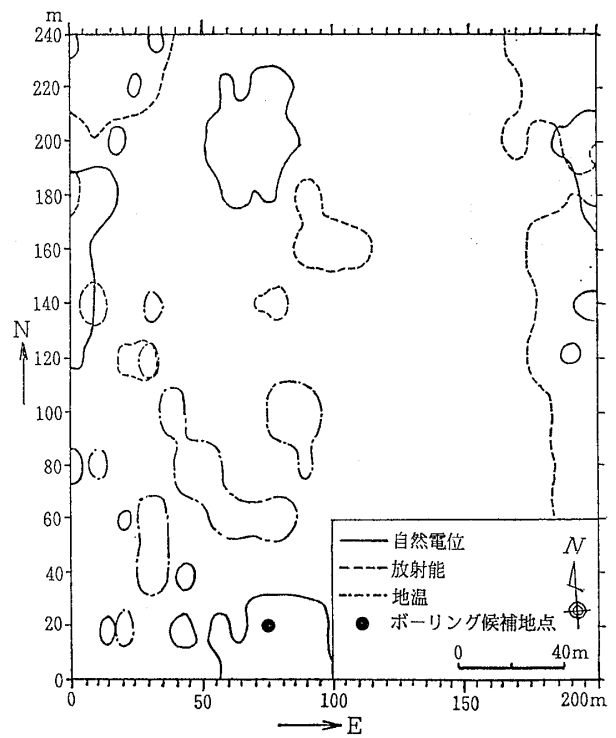


図-23 物理探査のアノマリー分布図(矢島町)
Fig.23 Anomaly distribution chart of geophysical explorations (Yashima-machi)

一帯は、おそらく、この部分に断層が存在することを示唆しているものと考えられる。また、調査地域の中央部および西部にも高放射能強度帯が存在しており、東部におけるほど明瞭ではないが、同様に断層の存在を示すものであろう。

3) 地温探査

地温探査は調査地全域について実施した。測定間隔は東西方向10m, 南北方向20mで、測定点数は230点である。図-22に地温分布を示す。高地温帯は調査地域の南西部に散在している。

4) 物理探査によるアノマリーの分布

自然電位探査、放射能探査および地温探査の結果から求められたそれぞれのアノマリーを重ね合わせると、図-23に示すようになる。この図によれば、調査地域の東端の放射能のアノマリー帯に自然電位のアノマリー帯が重なっているが、この部分を除くと、東側半分の地域に

はいずれの探査によるアノマリーも見られない。また、西側半分に存在する3つの探査によるアノマリー帯はほとんど重なっていない。したがって、西側半分の地域については、物理探査によるアノマリーから地下の状況を推論することは困難である。そこで、地化学探査の実施区域を第二次野外調査地域の西側半分に限定して、これらの結果と併せて検討することにした。

(b) 地化学探査

1) 水銀探査

土壌試料の採取は、第二次野外調査地域の西側半分の地域において行った。試料採取箇所の間隔は東西方向5m, 南北方向20mとし、試料採取箇所数は114である。採取に当たっては、水田部では表面から30cm下の表層土壌から採取し、その他のところではB層の土壌を採取した。これらの試料の分析結果は、表-3に示す通りである。

表-3 土壌水銀含有量 (矢島町)
Table 3 Mercury content of soil (Yashima-machi)

試料採取位置		含有量 (ppb)	試料採取位置		含有量 (ppb)	試料採取位置		含有量 (ppb)	試料採取位置		含有量 (ppb)
N	E		N	E		N	E		N	E	
0	0	115	40	40	85	80	30	30	200	0	80
0	5	55	40	45	35	80	35	30	200	10	60
0	10	85	40	50	95	80	40	75	200	20	60
0	15	95	40	55	45	80	45	15	200	30	30
0	20	140	40	60	60	80	50	35	200	40	35
0	45	55	40	65	50	80	55	45	200	50	40
0	50	100	40	70	120				200	60	75
0	55	65	40	75	55	120	20	85	200	70	40
0	60	55	40	80	30	120	40	45	200	80	25
0	65	75	40	85	95	120	50	5	200	90	10
0	70	65	40	90	25				200	100	5
0	75	50				140	20	70			
0	80	50	60	0	95	140	30	35	220	0	45
			60	5	85	140	40	50	220	10	65
20	0	200	60	10	40	140	50	15	220	20	20
20	5	105	60	15	25	140	60	20	220	30	20
20	10	145	60	30	75	140	70	15	220	40	5
20	15	35	60	35	85				220	70	20
20	45	120	60	40	10	160	15	30	220	80	5
20	50	10	60	45	140	160	20	60	220	90	5
20	55	35	60	50	40	160	30	175	220	100	5
20	60	50	60	55	65	160	40	60			
20	65	25	60	60	130	160	50	30	240	70	10
20	70	40	60	65	150	160	60	75	240	80	60
20	75	35	60	70	35	160	70	75	240	90	10
20	80	20	60	75	15	160	80	60			
20	85	80	60	80	45	160	90	15			
20	90	25	60	85	40				平 均 値		57
			60	90	60	180	10	20	標 準 偏 差		40
40	0	125				180	20	25			
40	5	125	80	0	35	180	70	20			
40	10	145	80	5	80	180	80	35			
40	15	115	80	25	120	180	90	25			

この表によれば、水銀含有量の最大値は 200ppb、最小値は 5 ppb であり、平均値 (m) は 57ppb、標準偏差 (σ) は 41ppb となる。m+ σ ≒100ppb 以下の含有量を示す箇所が全体の85%を占めている。したがって、含有量が 100ppb 以下の値をこの地域におけるバックグラウンド値とし、100ppb 以上の値を示す箇所をこの地域の高含有量箇所とすることにした。

図-24に土壤水銀含有量の分布を示す。この分布図によれば、調査地域の北部に高含有量を示す箇所が多く見られる。一方、測定点N80-N40を中心とした高含有量帯がある。この調査地域には南北方向の断層が推定されており、これらのアノマリーは、それらの直下に上記の推定断層が存在することを示唆している。

2) 炭酸ガス探査

炭酸ガス探査は、水銀探査の場合と同様に、第二次野外調査地域の西側半分の地域において実施した。測定間隔は東西方向10m、南北方向20mで、測定点数は81点である。

図-25に炭酸ガス濃度の分布を示す。この分布図によれば、他の探査によるアノマリー帯の分布方向がほぼ南北方向を示しているのに対して、炭酸ガスのアノマリー帯は、調査地域の北端部のグリッドN220~N240間と南部のグリッドN00~N70間に幅広く見られる。この炭酸

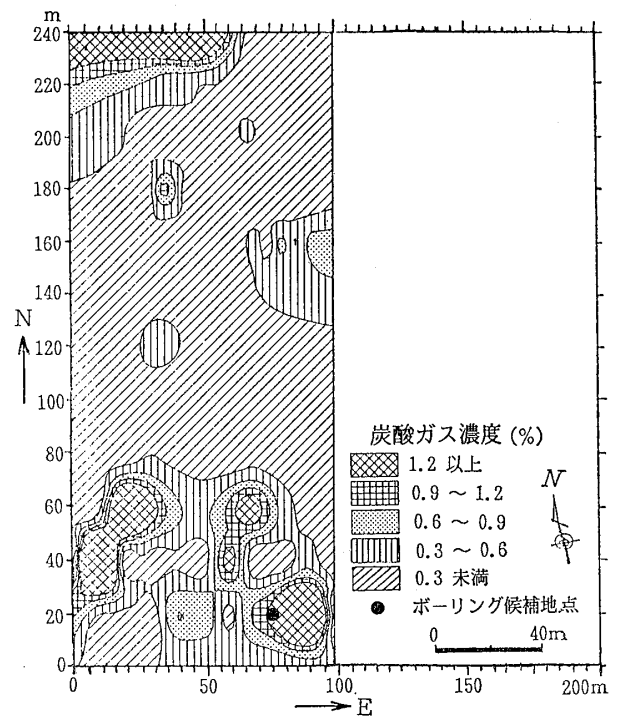


図-25 炭酸ガス濃度分布図 (矢島町)
Fig.25 Distribution chart of the density of carbon dioxide gas (Yashima-machi)

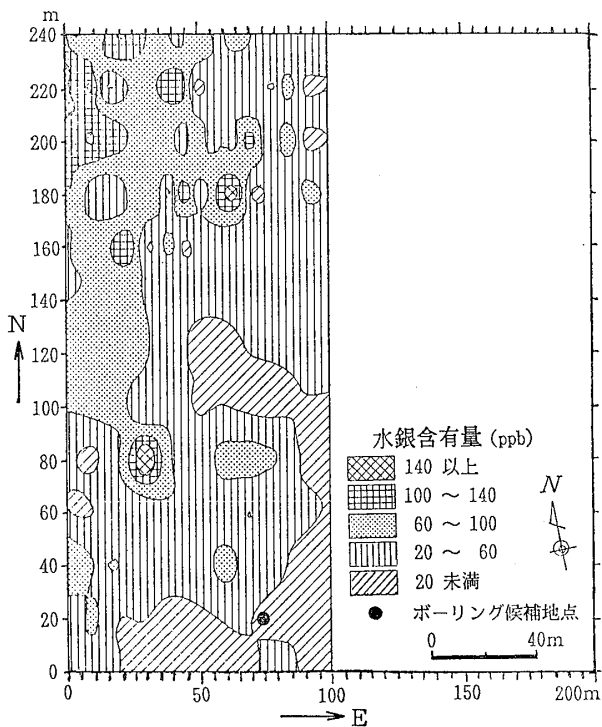


図-24 土壤水銀含有量分布図 (矢島町)
Fig.24 Distribution chart of the mercury content of soil (Yashima-machi)

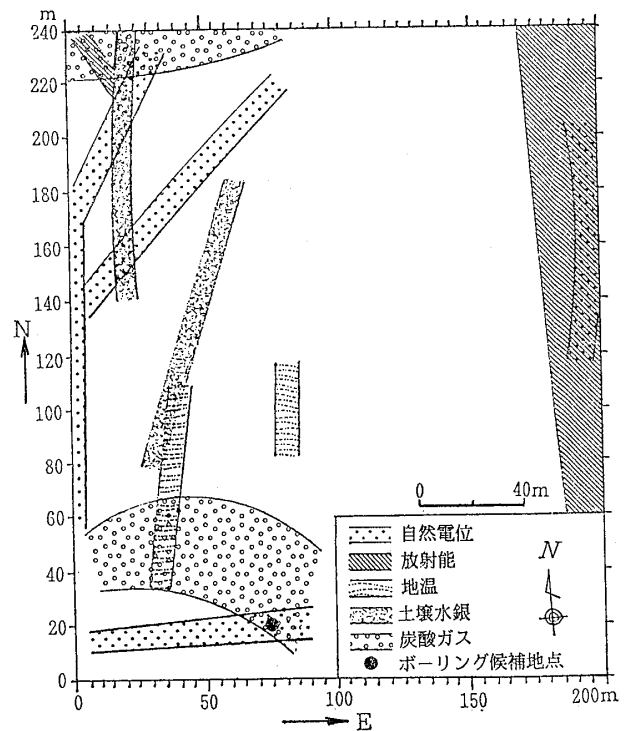


図-26 顕著なアノマリー帯とボーリング位置 (矢島町)
Fig.26 Pronounced anomaly zone and locations of boring (Yashima-machi)

ガスのアノマリー帯の分布は、大規模な衝上断層によって形成された幅広い破碎帯を反映しているものと推定される。

(c) 探査によるアノマリーの分布

物理探査および地化学探査によるアノマリー帯を総合して示すと、図-26のようになる。自然電位、放射能、地温および土壤水銀のアノマリー帯の分布方向は、ほぼ南北方向に延びる傾向を示しており、この方向は、この地域に推定されている衝上断層の方向とほぼ一致している。したがって、ボーリング位置としては、この断層の東側で、調査地域の南西部に見られる炭酸ガスのアノマリーと自然電位のアノマリーが重なる点を選定した。

6 あとがき

温泉調査に対して、水銀探査や炭酸ガス探査のような地化学探査を物理探査と併用することによって良好な結果が得られることを、秋田県の北部および南部において実施した調査を例にして述べた。

矢島町における調査結果では、土壤水銀探査によるアノマリー帯の分布傾向と物理探査によるアノマリー帯の分布傾向とはほぼ一致している。

これに対して、藤里町における調査結果では、土壤水銀探査および炭酸ガス探査によるアノマリー帯の分布方向と放射能探査によるアノマリー帯の分布方向とは同じ方向を示し、これらは、北東～南西に延びる藤琴川沿いの推定断層の方向とほぼ同じ方向である。しかしながら、自然電位のアノマリー帯の分布方向はこれらのものとは異なり、滝の沢に沿って東西方向に延びる推定断層の方向と同じである。このように、探査方法によって、アノマリー帯の現れ方が異なるのは、分布地質や地質構造の違いからくるものと思われる。藤里町の場合には、水銀探査によって、推定されていた断層の位置を明確に把握したことによって目的を達成しており、推定断層の位置を明らかにする手段として、水銀探査が有効であることが実証されたと考えている。しかしながら、水銀探査によって得られるアノマリーが、直ちに、ボーリング位置となるものではなく、断層の傾斜方向とアノマリー帯の位置・分布との関係に注意を払うことが必要である。

謝 辞

この報文の執筆に当っては、秋田県藤里町ならびに矢島町の関係各位から極めて有益な御助言と御協力をいただき、さらに各種資料の御提供をいただきました。ここに記して、関係各位に感謝の意を表す次第であります。

参 考 文 献

- 明野利寛(1982): 滝ノ上(岩手県)地域における水銀を指示元素とした化学調査について 地熱 Vol.19, No.1., (Ser. No.72), pp.5~20.
- 地熱エネルギー・編集事務局(1980): 水銀を指示元素とする地熱の探査 地熱エネルギー Vol.5, No.2, (Ser. No.15), pp.65~66.
- Koga A. and Noda T. (1975): Geochemical prospecting in vapor dominated fields for geothermal exploration. Proc. of 2nd U.N. Symp. on the development and use of geothermal resources, San Francisco, Vol.1, pp.761~776.
- Matlick J.D. and Buseck P.R. (1975): Exploration for geothermal areas using mercury. A new geothermal technique. Proc. of 2nd U.N. Symp. on the development and use of geothermal resources, San Francisco, Vol.1, pp.785~792.
- 椎川 誠(1971): 地球化学探査について——金属鉱床探査における指示元素としての水銀(1), (2), (3), (4), 日本鉱業会誌 Vol.87. No.100, pp.538~542: No.1002, pp.617~621: No.1103, pp.679~682: No.1004, pp.773~775.
- Watling R. J., Davis G.R. and Meyer W.T. (1978): Trace identification of mercury compounds as a guide to sulphide mineralization at Keel, Eire. Geochemical Exploration, I. M. M., London, pp.59~69.