

温 泉 科 学

第 7 卷 第 3 号

昭和 31 年 6 月

原 著

温泉の地球化学的研究 第三報 芦原温泉

*坂本峻雄・**益子 安・*佐藤幸二

(中央温泉研究所**地質部・**化学部)

(31年3月16日受理)

1. 位置及び地形

芦原温泉は福井平野の北端に位し、平坦な沖積地の水田に囲まれている。

芦原町の北方には海拔約50mの台地があり、その南面は急斜面となつて平野に臨んでいる。台地の表面は平坦であるが溪谷は稍深く北部では北瀉湖のように細長い湖水をつくつていものもある。台地の西端は三国の陣ヶ岡（海拔80.8m）の丘陵で、その西、日本海に臨むところに東尋坊の海崖がある。

台地の東部、金津一大聖寺間の鉄道沿線附近は海拔約100mの丘陵地であるが東に向つて漸次高さを増し1,000m以上の山塊となる。

2. 地 質

福井平野周辺の地質を概観すれば次の通りである。¹⁾

a 東部山地

福井市の東部、九頭竜川以南では黒雲母花崗岩の基盤の上に粒状安山岩質角礫岩、更に上位に粒状安山岩がこれを被う。九頭竜川以北では緑色頁岩が基盤となりその上を粒状安山岩類が被う。緑色頁岩は金津駅東方から山中温泉附近に広く発達し更に北方の山代温泉東方に現われ、こゝでは流紋岩に被われている。

b 西南部丘陵地

福井市西方の国見岳を中心とする西南部の丘陵地は緑色頁岩の基盤からなりこの上に中新世乃至鮮新世の凝灰質頁岩及び灰色頁岩、更にその総べてを被つて複輝石安山岩熔岩流がある。

c 北部台地

芦原町附近では台地の南端に高さ20m程の崖が連り、偽層を示す粗粒乃至中粒の黄褐色砂が露出している。金津駅北方では下部の緑色頁岩との間に凝灰質頁岩の小露出が報告されている。¹⁾ 東尋坊の海崖は高さ約30mあつて複輝石安山岩熔岩が見事な柱状節理をなし、奇勝として名高い。この熔岩流の一部は火山礫岩となり凝灰質頁岩と互層している。尚、三国中学校敷地もこの安山岩からなつており、又、中学校の東方500mの覚善には緑色頁岩の小露出が福井図幅に記載されている。又東尋坊の安

1) 地質調査所 1/5000 福井図幅、大聖寺図幅

山岩は国見岳のものと同様第三紀末乃至洪積世の噴出にかゝる新しいものである。この北部台地の洪積砂層の直接基盤は西部では東尋坊の複輝石安山岩及びこれと互層する新しい凝灰質頁岩（鮮新統最上部か）、東部では中新乃至鮮新世頃と認められる稍古い凝灰質頁岩であろう。更に前記の金津一大聖寺間鉄道沿線以東及び国見岳を中心とする丘陵地の地質を考慮すれば、これらのすべてに対し全体の基盤として綠色凝灰岩が比較的淺所に分布することが考えられる。

d 福井平野

福井平野は洪積世に沈降した盆地で沖積層に被われる。盆地南部の山地に近い周辺部では、第三紀層からなる大小の残留丘があつて沖積層に囲まれ、盆地北部では東尋坊附近並びに金津以東の第三系丘陵の間を連ねてC項に述べた洪積台地が発達し、盆地南部のような第三紀層の残留丘は現在の地上には見られない。

3. 福井地震について

昭和23年6月28日の福井地震によつて生じた地割れ、断層、家屋倒壊率、その直後に行われた弾性波探査の結果等²⁾のうち芦原町の地下構造を推定する上に参考となる事項を摘記すれば次の如くである。

イ、福井断層

福井地震の震源は芦原町南東12kmの丸岡町の東であつた。地震のために金沢一追分口（福井市と松岡町の間）を通り北々西一南々東に走る地震断層が生じた。本断層は明治24年の濃尾地震により生じた根尾谷断層の北方延長に当る大変動帯の一部で「福井断層」と名付けられた。福井断層に沿うて洪積台地上並びに沖積平地に著しい地割れが生じ、水準測量の結果この断層以東では4~39cmの地盤隆起、断層以西では16~48cmの地盤沈下が認められた。芦原町の北東方台地上では井江葎一番堂野を結ぶ線上に亀裂、地送り、沈下が生じた。この線は上記福井断層の西方1.5kmにあつてこれに並行し大変動帯の一部である。芦原温泉はこの線より更に西方1.5kmに位し大変動帯の西に偏している。

ロ、沖積層と洪積層の厚さ

福井市附近の上水道さく井は深度95~145mで中新世の火山岩類に出逢つている。然し平野の中央部で試みた反射法弾性波探査の結果によると400mでも未だ基盤に到達しないと云われる。

芦原町では弾性波探査の結果によると

P ₂ 波	1100m/sec	厚さ	21m
P ₃ 波	1900 //	—	

と報告されている。この速度から見て若い沖積層が約20mで、その下には恐らく古い沖積層か或は洪積層があるものと思われる。

詳細は後述するが、芦原町では深度30~35m及び50~70mの上下2枚の砂層があり、下部砂層の下の頁岩層を更に30~50m掘進しても頁岩層は均一で、地熱は認められるが温泉は無い。この頁岩層は従来から第三紀層と推定されている。

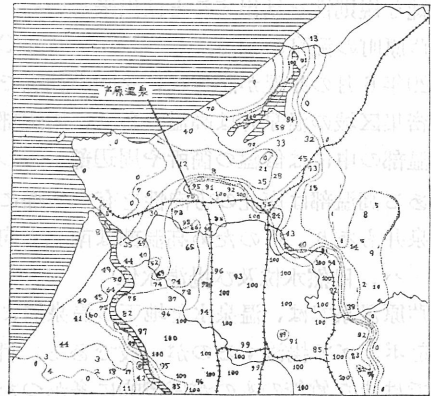
ハ、家屋倒壊率と基盤深度

地震に際してP波伝播速度の遅い（例えば1200m/sec以下）地層が厚い程災害が大きい。福井平野の沖積地上の部落では殆んど倒壊率100%を示し、周辺の山麓の洪積層上では急激にその率が減少し、第三紀層基盤上では0%を示す所が多い（第1図）。第一図について芦原町附近の倒壊率曲線を見ると極めて興味ある事実が認められる。即ち芦原町は倒壊率65%で周囲の沖積層平野よりも小さい倒壊率を示す。その北、東及び南の隣接部落は100%を示しているが、たゞ西の方に向つて漸次倒壊率が減じて水居部落附近で約30%、三国町台地で0%となる。倒壊率の小さい区域が三国町から東方、沖積平地に向つて恰も「半島」状に突出し、その先端に芦原町が位する。

第1図 福井地震に依る部落別全潰百分率

更に芦原町内の倒壊率を調査したところ、之は決して一様ではない。中心部即ち有力な温泉の湧出地帯ではその率は0%に近い。これに反して西、北及び東の周辺地帯で著しく倒壊したため平均65%の高率を示した。この両地帯は著しい対照を示しているがその境界が規則的であつて、0%の地域はある範囲に限られているから、家屋の耐震力よりも地盤の強度に関係するものと認められる。

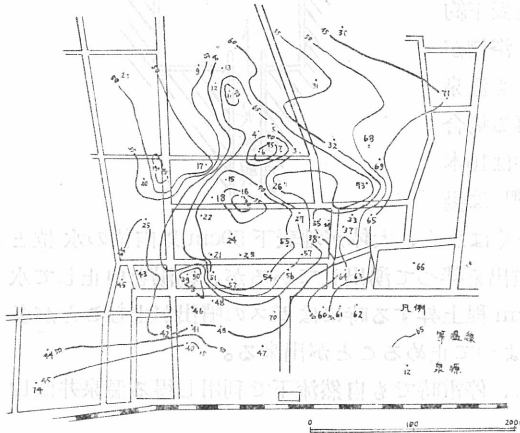
従つて詳細に見れば上記の倒壊率の小さい「半島」の尖端は芦原町の中心部で倒壊率0%の区域を持つわけである。平地上に位し、他の部落と同様に水田で囲まれた芦原町の中心部のみがこのような低率を示すことは甚だ注目し値することであり、この事実は芦原町の中心部では堅固な基盤迄の深度が浅いことを推測せしめるが、前記のP波伝播速度及び温泉井の地質ともよく符合することが認められた。



(昭24.3 日本学術会議、昭和24年福井地震調査研究速報より)

4. 温泉井 (第1表 第2図参照)

第2図 芦原温泉泉温分布図



芦原町内にある温泉井の現在数は、74本であり交換掘りのみが許され、町内の申合せにより新掘は認められていないので、この本数は増加する事がない。然し実際利用されているさく井数は63本である。(昭和29年6月、芦原町役場の調査による) その分布は町の中心部に密で、周辺部に行くに従つて急に数を減らすこと第2図の如くである。

イ、分布及び深度

芦原町役場の昭和29年6月の調査によれば、さく井の深度は一般に浅く、最も深いものでも81m浅いものになると32.5mとか34.5mとかである。深度50~75のものが8割近く、それより浅いものも、又深いものも夫々10本に達しない。そして町の中心部は一般に浅く周囲に深い井戸がある。即ち中心部には70m以上のさく井はなく30m台の浅い温泉井はすべてこの地域に集中している。これに反して周辺部には50m以浅の温泉井はない。このさく井の深度は多分に温泉層の深度に制約されている。この地方では一般に利用され得る温泉層の深さでさく井を止めるのが通例だからである。

芦原町役場の昭和29年6月の調査によれば、さく井の深度は一般に浅く、最も深いものでも81m浅いものになると32.5mとか34.5mとかである。深度50~75のものが8割近く、それより浅いものも、又深いものも夫々10本に達しない。そして町の

ロ、湧出量及び泉温

現在利用されている温泉井63本の湧出量は前出の町役場の調査に依れば最小5.4l/mから最大は36l/mであり、総湧出量は939.6l/mである。町役場の調査には掘さく当時の湧出量が併記してあるが、1本の温泉井で湧出量の変動は左程なく、殊に掘さく後増加した例は少ない。掘さく当時の湧出量として記してある数字は一斉時の調査ではないので、昭和29年6月の数字と比較することは適当とは云えないが、各源泉井のそれぞれの掘さく時の湧出量の総計と、昭和29年6月の総湧出量との差は余りないことが知られる。

湧出量は地下の温泉層の状態にも影響される事は自明であるが、掘さく及び揚湯の技術的な原因に

よつて左右される事も少くない。湧出量と泉温、湧出量と温泉井の深度、その地域的な差等の関係に単純な規則性を見出すことは出来ない。

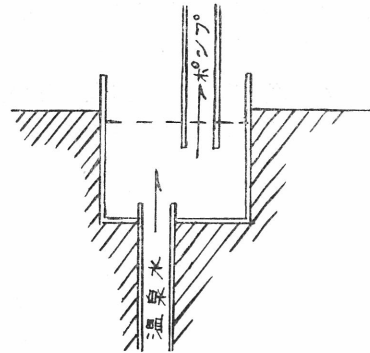
芦原町の温泉の泉温は 41°C から 81.5°C 迄の範囲に亘っている。町役場の調査には堀さく当時と昭和29年6月の泉温が記され、今回の調査では同年6月と8月と2回の計測が行われた。一般に中心部の密集区域の温泉井は高温であり、周辺部が低温であるといえる。この温度分布図を第2図に示した。高温部の中には低温の箇所や周辺部からの低温帯によるくびれなどが見られるが、大きく見ると中心にある高温部は南北の方向性を有する様に見られる。低温の温泉井は周辺部に多いが、比較的高温な温泉井もあり、そのため高温部は南北方向の他に西方にも延びるような形を示している。

ハ、自然水位及び揚湯水位

芦原温泉では、温泉水を地下の温泉層より竹管で、地表に埋めたコンクリートの井戸側に導き、それをポンプで揚湯するのが一般である。目下次第に鉄管が使用される様になりつつあるが、調査時現在ではまだ竹管のものが圧倒的に多かつた。さて、ポンプの揚湯管は直接竹管内に差込まず、井戸側中の温泉水のみを揚湯する。方式が殆んど全部の源泉井に採用されている。

旅館の浴槽は一般に低く、地表面よりも低いものが多い。勿論ポンプ揚湯を行うのは自然水位が浴槽面よりも更に低いものについて行われており、自然(温泉)水位の高いものではポンプは使用していない。ポンプの電動機の大きさは $\frac{1}{2}\text{HP}$ と定められ、又殆んどがピストン式のポンプである。測定し得た揚湯水位は第1表の如くである。最も低いものは地表下約3mであり、高いものは自然流下で浴槽に導いている。浴槽が地面を掘り下げて作られていることが多いから必ずしも温泉水位が井戸側を越えなくても自然流下させる事が出事する場合もあるけれども、現在自然流下で利用している温泉井は10本にすぎず、他はすべてポンプ揚湯である。自然水位^(註)は揚湯水位より上昇するが、井戸側を越えるものは左程多くはなく、大体が地表下50cm以内位の水位となる。揚湯水位に於ては一般に優勢な泉源はガスの噴出を伴つて湧出しているが、揚湯を中止して水位を上昇せしめればガスが少くなり、その水位が50cm程上昇する時にはガスの噴出が止むことが多い。すなわち、ガスの噴出は約 $\frac{1}{2}$ 気圧程度の加圧によつて止めることが出来る。

第3図 温泉井の構造



現在の浴槽に対して平時ポンプ揚湯をなしていても、停電時でも自然流下で利用し得る温泉井は12本ある。その場合、勿論泉温の低下は免れ得ない。

ニ、福井地震の影響

福井地震は殆んどの温泉井の湧出を停止或いは減少せしめた。その為交換堀りが行われ2.3ヶ月の間に湧出量は殆んど旧に復したとの事である。このことは地下の温泉の賦存状態には変化がなく、むしろ採湯機構が地震により被害を受けたための湧出量の減少であつたという考え方の一つの証左であろう。水位が地震前よりも低下したとも云われるが、ポンプによる揚湯が地震を期として行われ始めた事を考えると、この水位低下が自然水位そのものの低下を意味するや否やは疑わしい。泉温の変化があつたと云うのもまちまちであり湧出量や水位とも関係があり、地震の為よりも他の原因によるものが多いと考えられる。

総じて云えば、福井地震は芦原温泉の泉源には何ら大きい影響を及ぼさなかつたと云う事が出来る。

(註) 自然水位は停電時の様に全温泉井がポンプ揚湯を停止している時に測定しなければならないのであるが、今回の調査では、その温泉井の停電時の水位を聞き、又ポンプを止めて水位の移動を観察するに止まつた。

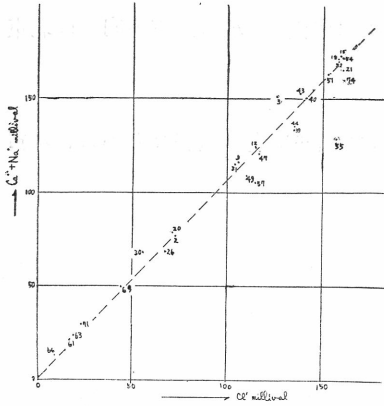
5. 泉 質 (第1表参照)

イ、泉 質

芦原温泉は「含塩化土類食塩泉」に属する緩和性高温泉群であつて、今回行つた化学分析の結果は第1表に示す通りである。

この分析値よりCl⁻含量 (millival単位) Na⁺及びCa⁺⁺の含量の和 (millival単位)の関係を各源泉に就いて、直交グラフ上に点記すれば第4図の如く、すべて一直線上に乗る。此の事から之等温泉群は

第4図 Ca+Na millival—Cl⁻ millival分布



すべて1種の高温泉が各種の割合に地下伏流水を混入して地表に湧出するものであると考える事が出来る。

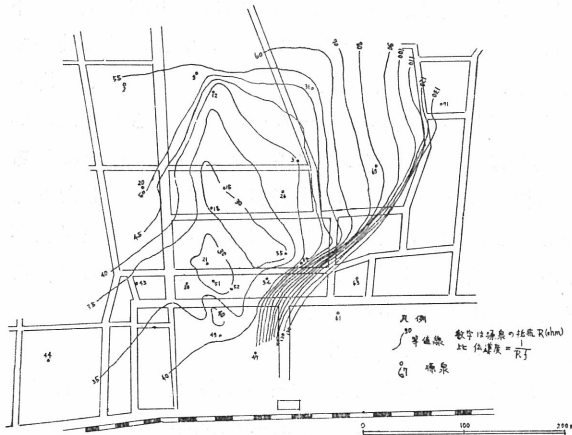
ロ、成分分布

上節に述べた如く、温泉源から地表に到るまでに混入する伏流の量の割合に応じて、温泉中の塩類濃度は変化するから地表に湧出する温泉中の塩類濃度並びに各成分の濃度は異つている。

今、現地にて於て測定した之等各源泉の電気伝導度の等価曲線を地図上に描けば第5図の如くである。之を以て塩類濃度並びに各成分濃度の分布状態をよく代表せしめることが出来よう。之によれば塩類濃度は東南部で急激に低下し、中心部では塩類濃度の大きい温泉が湧出している。この濃度勾配は中心地域から東南に向う方向に最も急で南西方向に最も緩かであり、南西の方向では中心部より遠い地点でもよく塩類濃厚な温泉を採取する事が出来る。

る。

第5図 電気伝導度分布図

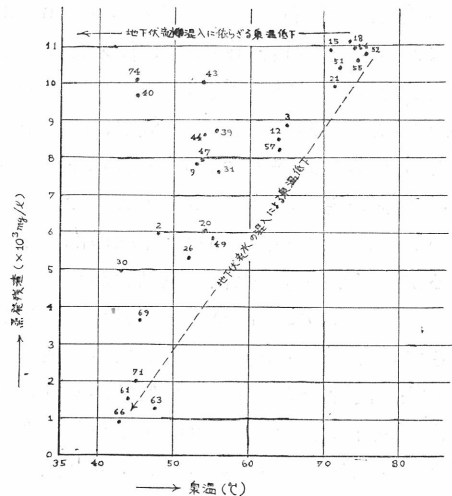


ハ、泉温と各成分濃度

各成分濃度並びに泉温との関係を図示すれば、第6図の如く一つの直線で切られる平面内に分布する。

第6図に点線の矢印を以て示した方向より地下伏流水の混入率の差による温度の低下を、又、実線の矢印で示した方向よりその混入以外の原因による温度の差を夫々読みとる事が出来る。(註) 即ち、52

第6図 泉温—蒸気残渣



(註) 第6図の、各点が分布する三角形と分布していない三角形の余白の部分との境界線の下端は、地下伏流水そのものの温度並びに蒸気残渣を示すべきであるが混入する地下伏流水が周囲との熱交換で温められることも考えられる。又、地下伏流水の分析は行わなかつたので明確なことは云えない。

号泉よりも49号泉が低温であるのは49号泉が地下伏流水をより多く混入しているためである。又55号泉よりも74号泉の方が低温なのは、地下伏流水の混入によるためではなく、他の原因によるものである。又、54号泉と39号泉との温度の差は地下伏流水の混入による温度低下分と、他の原因による温度低下との合成された結果生じたものと云える。

全体として、地下伏流水の混入による温度低下の傾向は、中心部より東及び東南の方向に最も大で西南方向に最も緩いである。即ち、西南の方向では地下伏流水の混入による温度低下よりも、他の原因による温度の低下がはなはだしい。北及び北西方向では、地下伏流水の混入と他の原因による温度低下とが相半ばしている。

以上の事から、地下伏流水がこの温泉源に混入しようとする方向（地下伏流水の流下方向）は北東—南西の方向である事が予想される。

6. 地質構造と温泉の湧出機構（第7図参照）

地表調査、泉質の化学分析、掘さくの結果判明した地下の状況及び福井地震の調査などから、地質構造と温泉の湧出機構を以下に論じて見たい。

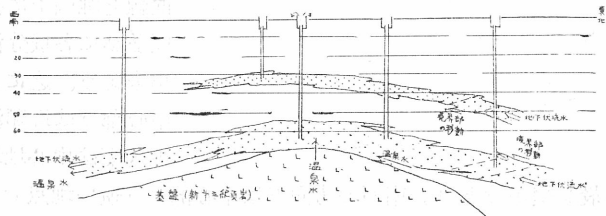
芦原町中心部附近の地層は大体上位より<5mに粗粒の砂、<5~35mに砂並びに粘土の互層、30~35mに粗粒の砂乃至細礫層、35~50mに灰色粘土層、50~70mに中粒砂層、そしてその下位に固い灰色の頁岩層が続く。この最上位の粗粒砂は、芦原町の北部丘陵に見られる洪積世砂層が崩壊したものであり、質の悪い

水が出る。その下位に来る砂と粘土の互層は福井平野をなす沖積層である。30~35mの粗粒の砂乃至細礫層は介化石を含み、下方50~70mの中粒砂層と共に温泉貯溜層となっている。下位温泉層の下には、固い灰色頁岩層が続き、従来より新第三紀に属する基盤と見做されている。地質の項に於いて既述した様に、この基盤が芦原町殊に中心部では浅く、周囲に行くに従つて沖積層が厚くなる。即ち芦原町附近では新第三紀層の基盤が、町の中心部に於て盛上がつた形のドームをなしているのではないかと考えられる。(註)基盤がこの様にドームをなす場合にはその上位の地層も、幾分傾斜は緩くなるが、基盤に従つて湾曲するのが普通である。上記二枚の温泉層は互いに連絡があつたり尖滅したりしているが、やはり中心部で浅く周辺部で深くなつている。例えば中心部では30mと50mとに温泉層があるが、44号井では上位の温泉層が認められず65mの温泉層の1枚となつているのはこのためである。一般に云つて上位の温泉層が温度が低く、下位の温泉層がより高温である。

さて、そこで温泉水がその源泉から地表に至るまでを推論して見よう。

基盤の頁岩層には多くの小亀裂が走り、温泉水の通路となつている。基盤から出た温泉水は上位の2枚の砂層に貯溜され、更にさく井孔によつて地表に揚湯される。この温泉水の貯溜の際、温泉井の項で述べた様にガスによつて、より高温の温泉がドームの頂部に集中する傾向が生ずる。全温泉井中の最大湧出量が63l/mであること、中心部の温泉井でも水位がさして高くないこと、又温泉水の上昇を促がすガスの圧が $\frac{1}{2}$ 。気圧程度である事などから、この温泉の上昇力が強くない事がわかる。この砂層には又、北東方から地下伏流水が浸入し温泉水に圧を加えている。この伏流水と温泉水との平衡は両者の圧の変化に伴う境界部の移動によつて保たれる。基盤より砂層中に貯溜される温泉水の量も、地下伏流水の圧も略々一定であるから、両者間に相対的な圧の差を起させるのは、砂層中より揚湯される温泉水の量である。即ち、その量が増加すれば貯溜された温泉水の圧は減じ、両者の境界部は温泉

第7図 湧出機構模型図



(註) この点に関しては将来、電気探査等により確められるべきである。

の中心部の方へと移動し、反対に揚湯量が減少すれば境界部は周辺の地下伏流水の方へと移動する傾向を生ずる。しかし基盤からの温泉水の補給が充分に行われ、両者の相対的な圧が変らなければ境界部の移動はない。この境界部の地表への投影が第5図に見られる東方の急変部なのである。温泉水と伏流水の流下方向が同じである為、泉質の項で述べた様な変化が見られる。即ち、東方地域のものは地下伏流水の混入に依る変化が泉質、泉温の上に表われるが、西南方のものは、それと異り、泉温は低下するが泉質がそれに比例して変化すると云つた傾向は認められない。これは中心部の温泉水が地下伏流水との混入なく流下する（そして温泉の上昇力は余り強くないのであるから、この場合の流下速度は大きくない）場合、泉質は余り変化せず泉温のみが低下するわけである。温泉井の増加、改良及びポンプ揚湯などによつて中心部の揚湯量が増加すると共に、温泉圧が減少して貯溜層内に地下伏流水が侵入してくるから、周辺部の温泉井では泉温も泉質も地下伏流水のそれに近くなる様な変化が表われる。たゞ、地下伏流水の流入してくる方向（東部）ではその変化が促進され、地下伏流水と温泉水とが流下して行く方向（南西部）ではその変化がそれ程大きくは認められない。殊に泉質の変化は小さい。市街東部の温泉がだんだん衰微し、西南部の温泉でこの現象が明かでないのは、地下伏流水が北東—南西方向に流れているためであろう。

芦原町中心部の地下には、地質の項で述べた通り、第三紀層の埋没丘があつてそれを沖積層及び洪積層が緩かなドーム状構造を以て蔽つていると考えられるから、堆積期間中に温泉の湧出があつていたとすれば対流によつて上昇流がおこり、細泥及び粘土の沈積が妨げられ、周辺よりも平均透水率の高い物質が堆積していることも推察出来る。

温泉はこのようにしてドーム状構造の縦の透水率の大きいことにより、地下伏流水は主として砂層の横の透水率の大きいことによつて流動をおこすものと思われる。

ポンプの使用等によつて揚湯量が増加すると温泉水塊内部の水圧が減じ、一方では下方の基盤から高温の温泉水の補給を促すが、同時に他方では側方から砂層を透して、冷たい地下伏流水の侵入を促すことになる。その結果前よりも中心部は泉温が上昇し、周辺部は低下する。そして温泉水塊内部の温度勾配が次第に大きくなる。東部地域の低温の温泉井で、多量の揚湯を行うことは、こつ傾向を一層助長することとなるであろう。

さて上記の議論にもとずいて新期堆積物の中で、ドームの頂点附近に温泉水が集る原因を要約すれば次の通りである。

- イ、堆積物の厚さが周囲より薄い。
- ロ、堆積物の多孔性が周囲より大きい。
- ハ、高温、且つガスを含む温泉水は比重が軽い。
- ニ、高温の温泉水は粘性が小さい。

これらの因子は、すべて、ドームの頂点附近の堆積物の透水率を向上させるものである。家屋倒壊率が0%に近い中心部に有力な温泉井が集中して存在するのはこのためであろう。

次に第三紀層と推定される基盤中で、温泉がどのような分布と流動を示すかは重要な問題である。しかし、この推定第三紀層についてはボーリングによる確かな資料がなく、又附近に露頭も認められないので詳細は不明である。然し、周囲の地質状況から、芦原町の地下の第三紀層は次の何れかであると推定される。

- イ、東尋坊の複輝石安山岩及びこれに伴う凝灰質頁岩（鮮新世末期又は洪積世初期）
- ロ、金津—大聖寺間鉄道沿線に露出している凝灰質頁岩（中新—鮮新世）
- ハ、金津以東、東部山地に発達する緑色凝灰岩類（中新世初期）
- ニ、イ、若しくはロ、が浅所にあり、数百米以深の深所にハ、が発達する。

第 1 表 芦 原 温 泉 分 析 表

鉱泉番号	深度 m	湧出量 l/m		泉 温 °C		水 位 m		pH	蒸発残渣 l/g	比 重
		掘さく 当 時	29年 6月	掘さく 当 時	調査時	揚湯水位	自然水位			
2	81	9.0	14.4	48	48	-0.10±		7.9	5.900	1.0037
3	75.5	18	12.6	69	65	-1.0		7.5	8.860	1.0062
9	57.5		21.6	57.4	52			7.4	7.840	1.0054
12	60	14.4	14.4	65	64			7.4	8.460	1.0058
15	52	3.6		65	71			7.4	10.920	1.0074
18	56	14.4	14.4	65	73.5			7.4	11.170	1.0073
20	65	18	14.4	52	54			7.6	5.980	1.0040
21	34.5	9.0	9.0	67.5	72			7.5	9.880	1.0069
26	54	32.4	16.2	70	52	-2.0±	-1.0±	7.8	5.340	1.0035
30	66.5	9.0	10.8	43	43			7.5	4.940	1.0034
31	52	27	14.4	59	56			7.2	7.640	1.0051
39		45	21.6	65	55.5			7.2	8.680	1.0058
40	77.5	18	12.6	55	45		地表面	7.4	9.660	1.0064
43	76.5		27		54			7.4	10.060	1.0131
44	65	16.2	16.2	52	54.3	-0.30	地表面	7.9	8.580	1.0060
47	50.5	18	18	67	53			7.4	7.960	1.0054
49	50.5	18	16.2	46	55			7.4	5.796	1.0041
51	61	18	18	62	71.8			7.5	10.390	1.0072
52	55	21.6	27	70	76	-0.50-		7.2	10.864	1.0074
54	81	14.4	14.4	62	74			7.2	10.924	1.0075
55	56		10.8	69	75	-1.0-	地表面	7.8	10.626	1.0074
57		14.4	14.4	50	64	-3.0	-1.0	7.5	8.250	1.0055
61	59.5	18	10.8	46.8	44.5	-1.0±		7.9	1.534	1.0011
63	72	12.6	9.0	54	48			7.8	1.240	1.0013
66	59.5	14.4	9.0	38.5	43			7.3	0.900	1.0006
69	57.5	14.4	14.4	65	46.5			7.8	3.640	1.0023
71	72	14.4	18	44	45			7.8	2.040	1.0016
74	72.5	21.6	14.4	46	45	-1.0-		7.2	10.140	1.0069

K ⁺			Na ⁺			Ca ⁺⁺			Mg ⁺⁺		
mg	mval	mval%	mg	mval	mval%	mg	mval	mval%	mg	mval	mval%
37	0.95	1.20	1150	50.0	63.35	550	27.5	34.85	2.2	0.18	0.23
90	2.30	1.72	2050	89.1	66.50	840	42.0	31.37	3.3	0.27	0.20
83	2.12	1.78	1650	71.6	60.12	900	45.0	37.77	2.2	0.18	0.15
85	2.18	1.73	1800	78.1	61.87	910	45.5	36.02	4.4	0.36	0.29
110	2.82	1.60	2470	107.5	60.97	1300	65.0	36.87	6.5	0.54	0.31
110	2.82	1.61	2420	105.1	59.92	1320	66.0	37.65	10.9	0.90	0.51
45	1.15	1.42	1250	54.5	67.14	500	25.0	30.80	2.2	0.18	0.22
110	2.82	1.51	2400	104.5	61.89	1220	61.0	36.09	6.5	0.54	0.32
35	0.90	1.28	1100	47.8	68.28	420	21.0	29.99	1.1	0.09	0.13
35	0.90	1.29	1100	47.8	68.72	410	20.5	29.47	2.2	0.18	0.26
60	1.54	1.37	1800	78.2	66.14	750	37.5	31.70	4.4	0.36	0.30
80	2.05	1.50	2050	89.2	65.33	890	44.5	32.60	6.5	0.54	0.40
90	2.30	1.51	2070	90.0	58.71	1200	60.0	39.15	8.7	0.72	0.47
85	2.18	1.40	2250	97.9	62.80	1100	55.0	35.28	6.5	0.54	0.35
92	2.32	1.71	2000	87.0	63.18	950	47.5	34.50	7.5	0.62	0.45
85	2.18	1.76	1800	78.2	63.25	850	42.5	34.39	7.6	0.63	0.51
72	1.92	1.71	1600	69.6	62.06	800	40.0	35.65	5.5	0.45	0.40
115	2.94	1.76	2350	102.0	61.18	1220	61.0	36.59	5.5	0.45	0.27
120	3.07	1.77	2400	104.5	60.21	1300	65.0	37.44	5.5	0.45	0.26
125	3.20	1.81	2470	107.3	60.84	1300	65.0	36.87	7.6	0.63	0.36
113	2.89	1.68	2450	106.5	61.69	1230	62.15	35.99	5.5	0.45	0.26
140	3.69	2.89	1900	82.6	63.89	850	42.5	32.87	3.3	0.27	0.21
17	0.435	1.88	400	17.4	75.11	85	4.25	18.35	1.1	0.91	3.93
16	0.41	1.62	400	17.4	68.95	134	6.70	26.54	2.2	0.18	0.71
9.0	0.23	1.68	265	11.5	83.87	33	1.65	12.04	微量		
32	0.82	1.59	825	35.9	69.75	280	14.0	27.20	1.1	0.091	0.18
23	0.59	1.93	550	23.9	78.31	113	5.65	18.51	3.3	0.27	0.89
96	2.45	1.49	2270	98.7	60.16	1230	61.5	37.48	6.5	0.54	0.33

Fe ⁺⁺			Al ⁺⁺⁺			Mn ⁺⁺			Cation計	
mg	mval	mval%	mg	mval	mval%	mg	mval	mval%	mg	mval
0.2	0.072	0.09	2	0.22	0.28	—			1741	78.92
0.2	0.072	0.05	2	0.22	0.16	微量			2986	133.9
—			2	0.22	0.18	微量			2637	119.1
—			1	0.11	0.09	微量			2800	126.3
—			4	0.44	0.25	0.1	0.0036	0.00	3891	176.3
—			5	0.55	0.31	微量			3866	175.3
微量			3	0.33	0.41	0.2	0.0073	0.01	1800	81.17
0.5	0.16	0.10	2	0.22	0.13	0.2	0.0073	0.00	3729	169.0
—			2	0.22	0.31	0.2	0.0073	0.01	1558	70.02
0.2	0.072	0.10	1	0.11	0.16	微量			1548	69.56
—			6	0.66	0.56	微量			2620	118.3
—			2	0.22	0.16	0.3	0.011	0.01	3030	136.5
—			2	0.22	0.14	0.7	0.025	0.02	3371	153.3
0.1	0.036	0.02	2	0.22	0.14	0.3	0.011	0.01	3444	155.9
—			2	0.22	0.16	微量			3050	137.7
—			1	0.11	0.09	微量			2745	123.6
0.2	0.072	0.06	1	0.11	0.11	0.5	0.018	0.02	2484	112.2
—			3	0.33	0.20	0.1	0.0036	0.00	3694	166.7
—			5	0.55	0.32	微量			3831	173.6
—			2	0.22	0.12	—			3905	176.3
—			6	0.66	0.38	—			3805	172.7
—			2	0.22	0.17	—			2895	129.3
—			1.5	0.17	0.73	—			515	23.17
—			5	0.55	2.18	—			557	25.24
—			3	0.33	2.41	—			310	13.71
—			6	0.66	1.28	—			1144	51.47
—			1	0.11	0.36	—			690	30.52
—			8	0.88	0.54	—			3611	164.1

Cl'			SO ₄ '			HPO ₄ '			HCO ₃ '		
mg	mval	mval%	mg	mval	mval%	mg	mval	mval%	mg	mval	mval%
2598	73.3	90.61	332.1	6.92	8.55	—			41.4	0.68	0.84
4464	126.0	94.37	320.6	6.69	5.01	—			50.3	0.83	0.62
3780	106.5	92.33	384.0	8.00	6.93	—			52.0	0.85	0.74
4084	115.2	93.19	376.1	7.83	6.34	—			35.2	0.58	0.47
5656	159.6	94.89	394.2	8.21	4.88	—			23.7	0.39	0.23
5603	158.0	94.74	400.4	8.33	5.00	—			26.7	0.44	0.26
2642	74.8	89.51	369.1	7.69	9.58	—			44.5	0.73	0.91
5682	160.2	95.20	372.4	7.74	4.60	—			20.8	0.34	0.20
2405	67.8	92.28	185.1	3.86	5.26	—			108.6	1.78	2.46
1988	56.0	84.93	414.4	8.62	13.08	1.8	0.038	0.06	77.4	1.27	1.93
3709	104.5	91.47	440.3	9.17	8.02	—			35.5	0.58	0.51
4805	135.4	94.88	325.0	6.77	4.75	—			32.1	0.53	0.37
4995	141.1	95.28	302.3	6.30	4.25	—			42.5	0.70	0.47
4904	138.5	94.49	361.3	7.45	5.15	—			32.6	0.53	0.36
4802	135.5	93.92	393.8	8.21	5.69	—			34.6	0.57	0.39
4163	117.5	95.17	230.9	4.81	3.89	—			71.0	1.16	0.94
3923	110.7	94.92	231.3	4.80	4.12	—			68.1	1.12	0.96
5408	152.7	94.66	390.9	8.13	5.04	—			29.6	0.48	0.30
5593	158.0	94.87	391.7	8.16	4.90	0.35	0.0073	0.00	23.7	0.39	0.23
5690	160.5	94.98	389.7	8.10	4.79	—			23.7	0.39	0.23
5575	157.3	94.83	392.0	8.17	4.93	—			24.0	0.39	0.24
4083	115.2	93.01	389.3	8.10	6.55	0.6	0.013	0.01	32.4	0.53	0.43
615.0	17.35	78.67	178.1	3.71	16.80	微量			61.0	1.00	4.53
701.0	19.8	81.23	167.9	3.50	14.38	—			65.1	1.07	4.39
350.1	9.88	81.99	136.8	2.85	20.77	0.2	0.0042	0.03	60.4	0.99	7.21
1565	44.20	88.61	227.0	4.73	9.48	微量			58.3	0.955	1.91
834.8	23.25	77.25	273.2	5.69	18.90	—			71.0	1.16	3.85
5718	161.4	95.25	360.8	7.50	4.43	—			33.0	0.54	0.32

Anion 計		遊 離 成 分 (mg)				總 計 mg	泉 質
mg	mval	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	H ₂ S	計		
2972	80.90	54.5	31	1.7	87.2	4800	含塩化土類食塩泉
4835	133.5	59.5	40	—	99.5	7921	//
4217	115.4	80.6	28	0.05±	108.6	6963	//
4495	123.6	85.8	28	0.8	114.6	7410	//
6073	168.4	93.5	37	痕 跡	130.5	10095	//
6030	166.7	88.5	35	—	123.5	10020	//
3057	83.22	44.2	28	痕 跡	72.2	4929	//
6075	168.2	72.8	31	—	103.8	9908	//
2699	73.44	59.6	28	痕 跡	87.5	4345	//
2482	65.93	41.6	28	0.8	70.4	4100	//
4185	114.3	41.6	28	—	69.6	6875	//
5163	142.7	60.0	31	0.8	91.8	8285	//
5340	148.1	54.5	30	—	84.5	8796	//
5298	146.5	62.5	23	1.9	87.4	8830	//
5196	144.3	109	28	0.05	137	8383	//
4460	123.5	122	30	痕 跡	152	7357	//
4222	116.5	88.4	28	0.8	117.2	6823	//
5829	161.3	104	38	0.8	142.8	9666	//
5907	166.6	110	38	1.0	149.0	9887	//
6103	169.0	380	微量	—	380	10388	//
5991	165.9	90.4	37	—	127.4	9923	//
4505	123.8	50.5	微量	±	50.5	7451	//
854	22.06	39.0	30	—	69	1438	弱 食 塩 泉
928	24.37	15.6	微量	0.8	16.4	1501	含塩化土類食塩泉
548	13.72	49.5	微量	0.8	50.7	908.7	單 純 温 泉
1950	49.89	15.6	9	—	24.6	3119	含塩化土類食塩泉
1179	30.10	80.5	31	痕 跡	111.5	1981	//
6112	169.4	26.0	31	—	37.0	9760	//

7. 芦原温泉と近隣著名温泉との比較

石川県下の所謂加賀及び能登地方には有名な温泉が多い。今、之等温泉の泉質とその周囲の地質を芦原温泉に比較すると第2表の通りである。

第2表 芦原温泉と附近諸温泉との比較

温 泉	泉 質	蒸発残渣 g/l	温 度 °C	地 質
(1) 芦 原	含塩化土類 食 塩 泉	10,920	71	沖積平地(但し約50m以下に新第三紀層)
(2) 片山津	同 上	13,432	68	沖積平地、但し地下浅所に新第三紀層
(3) 和 倉	同 上	21,674	94.2	海岸平地、但し地下に複輝石安山岩及び新第三紀層
(4) 山 中	含 石 膏 芒 硝 泉	1,490	51	第三紀緑色凝灰岩
(5) 山 代	含石膏食塩 芒 硝 泉	1,394	66	沖積平地、但し地下10m以深第三紀層(緑色凝灰岩に近い)
(6) 粟 津	含 食 塩 芒 硝 泉	2,034	55	沖積平地、但し約10m以深に緑色凝灰岩

噴出にその熱源を負うものと認められる。

何れにしても、安山岩の噴出に伴い著しい火山碎屑物を生じ、厚い多孔質の地層が出来ているものと考えられる。従つて、芦原の場合にも第三紀層内の温泉の流動に対して単に垂直方向の裂この外、地層の背斜或はドーム構造乃至地層と火山岩体との接触面などが重要な役割をなすかも知れない。将来ボーリングによつて、母岩の珪化、緑泥石化、粘土化或は黄鉄鉱々染等の諸作用を検討すれば、これらの地質条件が明かにされるであろう。

この表については、泉質、泉温から云つて、(1)~(3)及び(4)~(6)の2群に分け得る。地質を見ると前者は中新世末期以後の上部新第三紀層に、また後者は中新世下部の緑色凝灰岩に關係しているものと見られる。和倉温泉はこのうち最も高温であるが複輝石安山岩と中新世末期の第三紀層との接触部から湧出すると云われている。

芦原と片山津は地質条件がよく似ていて、和倉と同様に、緑色凝灰岩よりも新しい安山岩の

The Geochemical Studies on the Mineral Spring

Part 3 Awara Spa

*Takao SAKAMOTO, **Yasushi MASHIKO, *Koji SATO

(**Geological Inst. & ***Chemical Inst., Hot Spring Reseach Center)

Awara Spa is at the northern end of the Fukui Plain, and there are about 70 spring sources in the town.

We surveyed the geology of the neighbourings and the effects of the Fukui Earthquake, physical and chemical characters of the spring water of each spring well.

The geology of the central part of this town is as follows:

-5m	coarse sand
-5—30m	alternation of sand and clay
30—35m	coarse sand or fine gravel
35—50m	gray clay layer
50—70m	medium sand layer
70m+	hard gray shale layer

namely, the lowermost layer is the newer Tertiary shale and has the dome structure, and the upper part belongs to the delluvium or alluvium. Two sand layers are the reservoirs of the spring water and also has the dome structure.

The spring water issues from the hard gray shale and reserved in two sand layers. The underground water flows into the sand layers, and the spring water is diluted with the underground water which flows from north-east to south-west.

So, the spring water of central part has higher temperature, higher level, higher concentration than those of the marginal part. Furtherly, the tendency of the spring water similar to the underground water is hastened in the eastern marginal part and restrained in the south-western marginal part.