

シンポジウム “日本の温泉”

Symposium on the Hot Springs in Japan

(1) 温泉の地球物理学

京大地球物理学研究施設 吉川 恭三

かつて寺田は,¹⁾ 地殻が圧縮を受けている場所では、その圧力により深層の水がしばり出されて温泉がつけられやすいとの仮説をたて、宮部と共に,²⁾ 水準測量の資料を用いて、土地垂直運動の谷に当る沈降地域に温泉の多い傾向を求めた。日本における温泉の地球物理学的研究はここに始まる。その後この種の研究はあまり見られないが、地質学者の中には、地溝線に沿った温泉分布の多いことから、温泉を火山作用に直接結びつけるよりも、そういう地質構造を形成する造山活動や、それによる深層水の上昇流動にその生成機構を求めるべきだと述べている人も多い。³⁾ このような深層からの上昇流があるためには、二つの条件が必要である。一つはその流れのための通路が開いていることであり、もう一つは上昇流をみちびく水圧分布が存在することである。寺田の仮説は、後者につき地層を圧縮する方向の圧力分布を与えたことに相当し、これによりその地層内の水圧は増加し、他の圧力の及んでいない範囲に向け流動する。

松代地震にともなう温泉や湧水に異常がおこった。それは、この地域で以前には全く知られていなかった塩化カルシウム型の水が新しく混入してきたとしかいえない状態である。⁴⁾ このためには、地震エネルギーが地層の応力として貯えられ、また地震として解放されてゆく過程で、地下に水圧勾配を生じ、深層水の流動、混入をおこしたと考えねばならぬであろう。従来、地震に前後しておこった温泉異常のほとんどは、震動による地下流路の変化で説明できる程度とされていた。かつて、ほとんど自然湧出、またはそれに近い浅さから採湯されていた時代には、深層における水圧勾配の変化は採取される温泉水にほとんど影響を及ぼさなかったであろうが、近年、かなり深くまで掘さくされ深層熱水を直接採取するようになると、地下の地震エネルギーの蓄積や解放の過程が、より深層水の混入量変化として温泉に影響を現わす可能性も出てきたと思われる。強羅温泉における温度や Cl⁻ の異常上昇を早雲山における群発地震と関係づけるとすれば、⁵⁾ このような解釈も成り立つ。

近年の有名群発地震が、1899年の有馬以来、伊東、松代、えびのと、これまた有名温泉地でおこっていることに注目され、⁶⁾ 群発地震の発生と温泉の生成との間に何かの関連がありはせぬかと考えられる。地震エネルギーが一つの地震（あとに余震を持ちながら）として解放されるまで蓄積されるのではなく、群発的に次第に失われてゆくような地層の性質とは何であろうか。もし水の流動を許さない閉鎖系の地層なら、その破壊限度に達するまで応力が蓄積されて後に地震がおこるが、その中を水が流動し得る開放系の地層ならば、与えられた圧力は一点に集中できず、その水の流動を通じて応力がある範囲に散らばる。そう考えると、エネルギーの蓄積される地層が水の流動に対して閉鎖系か開放系かにより地震の発生機構はかなり違ってよいはずである。群発地震が温泉地に多いということは、温泉地の地層はそういう開放系とみな

せる場合が多いのではないか。深層に至るまで、水頭勾配に応じて水の流動し得る通路の開いている所に温泉ができやすく、そういう所の地震は群発性になりやすいという仮説も考えられる。

高温な温泉地の深層には NaCl 型熱水の存在が知られている。それは地表に見られる火山岩の下層にある岩石中に分布し、それが流動して地下水中に混入することにより形成されている温泉が日本には多い。その熱水の水頭は上層の温泉水や地下水よりおおむね低く、とくに上流部でその差は大きい。したがって、こういう熱水がそのまま浅層に上昇することはなく、それから発生した蒸気が上層の地下水へ上昇することにより浅層の温泉水をつくっている。この温泉水は、おもに地表からの水の供給状態で支配される水頭勾配にしたがって流れ、水質的には、Cl⁻ が少なく、HCO₃⁻ または SO₄²⁻ に富み、深層の熱水とは明らかに区別される。食塩泉型の深層熱水はこれより低い水頭を持つが、一般によりゆるやかな水頭勾配で流れるため、下流部のある点附近で両者の水頭は接近して両水系の混合がおこり、それより下流では、含食塩重曹泉、または重碳酸土類泉などが生じやすい。このように垂直方向に水頭や水質の差を持つ二種の温泉水系が存在する二重構造というべきものが、かなり高温な温泉地での一般的な姿である。この流動過程のうち、従来、日本の温泉地では、むしろその末端部に近い次の三種の採湯されている場合が多かった。(1) 上流部では浅層の温泉水、(酸性泉、重曹泉、単純泉など)、(2) 上流部で、深層熱水から上昇した噴気、(3) 両水系の混合点より下流部の温泉、(重碳酸土類泉、食塩泉など)、こうして一つの温泉地の中でも、温泉の出る所と出ない所がはっきり分れていたのである。

ところが、近年、道路の開通や観光規模の拡大、住宅地の開発など土地開発事業が急速に進展し、それに呼応して、従来、温泉のなかった土地、または少量の温泉しかとれなかった土地に対し、温泉供給の必要度が高まった。その要求にこたえる開発はより深層へと向い、とくに上流部で前記二重構造のうち下層の温泉、すなわち深層の熱水を直接採取する方向に向った。そのため、かつて温泉のなかった地域に、かえって、高温で多量の弱食塩泉の採取される傾向が示され、前記のように、その深層での水頭がかなり低いために、その多くは沸騰泉として採取されるが、沸騰し得ないものはエアリフトをおこなっている。つまり、温泉の採取方法が、従来は自然の二重構造のうちの主として上部の温泉水を採取していたものが、しだいに下部の熱水採取に移ってきたのである。その傾向が進めば、下部の水頭は下り、上部との水頭差はますます大きくなる。上下両層の間には透水性は悪くてもなおいくらかの流通のあることは、下層からの蒸気を介して熱やガスが上層の温泉水へ移動していることから了解され、その間に蒸気層の存在していない範囲では、両層間の水頭差に応じて上層の水が下層へ流れこむ量がふえ、熱水の稀釈は強まるであろう。しかしそれよりもまづ、上流部での熱水採取量の増加により、下層の下流に向う水頭勾配がますます減じ、下流堆積層内への熱水混入量がへってくる影響が重大である。これにより、かつては温泉地の中心であった地域で温泉は低温化してゆく。温泉地の拡大、熱水直接採取量増加の影響は、まづ、このような下流域温泉の低温化と、上流部沸騰泉での湿度の減少、噴気化に現われる。従来、日本の温泉における泉源保護の問題は特定地域における源泉密集化にもとづく各井戸間の干渉の問題として取り扱われたが、採湯地域の拡大と深部開発により地域ぐるみの問題に移行して来た。そのため、泉源保護の具体的手段として従来もっとも広くおこなわれてきた、源泉間の距離規制、特定区域での新規掘さくの新規掘さくの間合はなくなってきたのである。そこで、温泉の集中管理が多くの温泉地で試みら

れかけてきたが、これにも多くの問題が伏在している。たとえば、多数の既存源泉を少数の管理源泉におきかえて配湯をおこなうとすれば、その源泉は二重構造の下層から多量の熱水をとる方向にむけられやすい、これは、上層の温泉の利用を下層の熱水利用におきかえる方向であり、温泉がその利用面からみて、NaCl 型の熱水だけとなってよいものかどうか疑問が残る。単に温度のある水でよいのなら、現状では工場冷却水の利用の方がはるかに容易な場合が増し、一つの温泉地における温泉が、ある泉質だけに限られる方向に向うのでは、温泉としてはむしろその特徴を殺す方向ではないかと考えられる。いろいろな泉質の温泉は、前記のような地下温泉水の二重構造から生まれるものであるから、その自然の流れにさからわずむしろそれを強化して、そのそれぞれの泉質の温泉をそれぞれ保護することが望ましい。

その点から、日本の温泉地で今後進められるべき課題は水の地下注入であろうと思われる。地下温泉水に二重構造のみられる所では、水理的には地下注入は容易である。実際に別府温泉の、上層で適温の温泉が得にくくまた深層に掘さくが進む程、地温は上昇するが採湯をしても水が集まりにくい地域では、その孔井を利用して、浅層の水を深部へ送り、地温で加熱してから揚湯をしている所も多い。

とくに温泉がほとんど入浴用のみに使われている現状では、上流部沸騰泉からのかなりの量の熱水が未利用のまま放流され、その下水部分で危険をともなっている。そこにもう一本の井戸を掘って、その高温水を地下熱水層に返すことは、泉源の保護のために焦眉の急であると共に、また利用者にとっても、沸騰泉やエアリフト高温泉がカルサイト沈殿物で閉塞されやすいことを考える時、その予備用温泉としての役目も兼ねるのではないと思われる。そのような注入の技術についてはまだ問題があり、その研究を進めると共に、行政面からも重要課題として研究をいそがれることを望みたい。

参 考 文 献

- 1) Terada T.: Proceed. Imperial Academy, X, 7, (1934) pp. 410~413.
- 2) Terada T., N. Miyabe: Bull. Earthquake Res. Inst., XIII, 3, (1935) pp. 576~585.
- 3) 大橋良一: 温泉科学. 20, 3/4, (1969) pp. 140~142.
- 4) Yoshioka R., S. Okuda, Y. Kitano: Geochemical Journ. 4, 2, (1970) pp. 61~74.
- 5) 大木靖衛, 萩野喜作, 平野富雄, 広田 茂, 大口健志, 守矢正則: 神奈川県温研報, 6, (1968) pp. 1~20.
- 6) Matsushima S.: Special Contrib., Geoph. Inst., Kyoto Univ., 7, (1967) pp. 201~210.