

講演要旨*

宮城県鬼首地域の熱水変質

—特に酸性熱水の成因と変質年代に関連して—

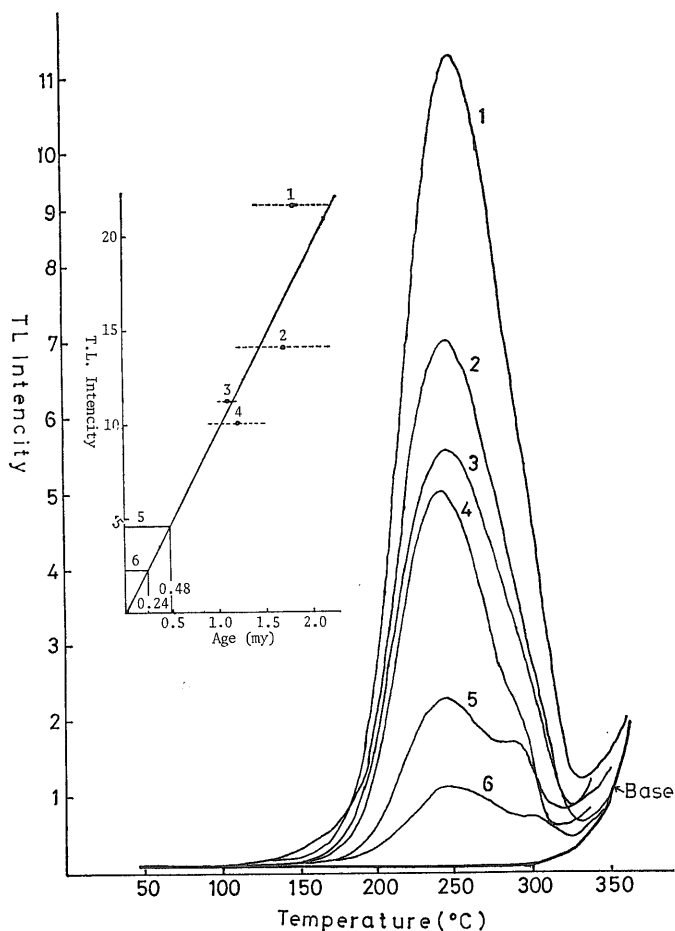
高島 勲

本地域の片山地熱地帯では、熱水貯留層が深部の Cl^- を多く含む酸性熱水層と、浅部の中性熱水層の2層構造をなしていることが知られている。また、地表の地熱活動も女釜・男釜のように、 Cl^- を多く含む酸性のものと宮沢、吹上げのように中性から弱アルカリ性のものとにわけられる。このように異なった性質の地熱活動がどの

ような時間的、空間的変動の結果生じたのかを明らかにする一つ的手段として変質帯の研究を行った。

地表の102個のサンプルのX線回折結果によれば、片山、荒雄、女釜・男釜地区の変質の中心部は明ばん石、カオリン、石英などからなり、周辺部は沸石、モンモリロナイト、クリストバライト、トリディマイトなどからなっている。一方、吹上、赤沢付近では沸石を多く含む変質で特徴づけられている。これらの変質帯ののびの方向はいくつかあるが、最も強い変質はNW-SE方向のものである。

片山では、地熱開発のための多くのボーリングが行わ



1. 小又峡船付場 1.8 ± 0.4 my 2. 栲森林道 1.7 ± 0.5 my 3. 橋場 1.1 ± 0.1 my 4. 柳沢林道 1.2 ± 0.3 my
5. 湯沢中流一 (変質年代 0.48 my) 6. 五十曲 2.0 ± 0.5 my (変質年代 0.24 my)

第1図 玉川石英安山岩中の石英の熱発光曲線および発光ピーク高さとの関係

*第131回研究発表会、昭和53年1月19日本所において開催

れているが、そのうち約 250 個の試料について X 線回折を行った。この結果、沸石を含む多くの鉱物が認められ、それにもとづき変質帯を輝沸石帯、濁沸石帯、ワイラカイト帯、パイロフィライト帯にわけた。これら各変質帯は層状に分布しているが、一部で層状分布の逆転や高温の鉱物帯(ワイラカイト帯)に低温で生ずるモルデナイトや東沸石の生成が見られる。このことから、片山では 2 度以上の変質作用があったことが推定される。また、地下深部の試料の石英の転移温度測定の結果のうちには 2 つのピークを持つものがあり、このことも 2 度の変質作用を示す証拠とみられる。さらに変質岩の化学成分から見ると、深部では SiO_2 に富み、Na, K 等が著しく少なくなっている。

以上を総合すると、鬼首地域の片山および女釜・男釜では、過去に著しい溶脱を伴う変質作用があり、その方向は NW-SE 方向にのびていたものと思われる。この結果、両地区の地下はほとんど SiO_2 , Al_2O_3 のみからなる変質帯が形成され、その後新しく生じた現在の塩酸酸性の地熱活動に対して、中和作用を果すことができなくなったと推定される。

以上の推定が正しいとすれば、片山において地下深部から酸性でなく中性に近い熱水を得るためには、開発の位置を片山の中心部ではなく、赤沢方向へ移すことが必要になる。

以上述べた変質帯の化学的側面以外に、変質帯を地熱開発に適用するに当たっては、変質帯形成年代の結果が重要な要素となる。このため、標題の地域とは異なるが八幡平地域に分布する玉川溶結凝灰岩を母岩とする変質についてサーモルミネッセンス(T. L.)の研究を行った。なお、この研究に利用した試料、フィッシュントラック(F. T.)年代などは本所玉生技官から提供を受けた。

T. L. は石英を対象として行い、その測定結果は第 1 図に示すとおりである。この図でみるとピークの高さは F. T. 法による年代測定結果とほぼ調和しているが、変質を受けた岩石のみ、そのピークは著しく低くなっている。これは、変質時の高温のため、それまで蓄積していたトラップ電子をすべて放出し、変質作用終了後新たにトラップ電子の蓄積をはじめたものと考えられる。もしそうだとすれば、本研究に用いた試料が岩質的にほぼ同一であるという条件により、トラップ電子蓄積に対する石英の性質、 α , β , γ 線の影響などが同じように働くと考えられることから、変質の年代は第 1 図のグラフに示したように、0.24 my および 0.48 my となる。

(地殻熱部)

栗駒地域の地熱貯留層構造に関する研究課題

山田 啓三

昭和52年度から熱水系の研究の一環として、地熱貯留層構造の研究が着手された。本年度は鬼首カルデラの南のへりに分布する基盤岩類および緑色凝灰岩類について地質構造および断裂系の研究を小生が分担し実施した。これについては現在とりまとめ中である。今回は、熱水系の研究に関連して栗駒地域の地質構造の研究を進めていくに当たって、既存資料をもとに広域地質(構造)について概括し、今後の研究課題を整理した。その結果次のような点を指摘した。

1. 火山と温泉分布

本地域の温泉は、明らかに第四紀末の火山(高日向山、鳴子火山、高松岳、栗駒山)の噴出地域の周辺に分布している。このような新期火山と温泉分布の関係は、福富(1960)などによる magma の冷却の理論計算が、実際とかなり良く一致することを裏づけているものと考えられる。今後、これらの第四紀 magma chamber の形・大きさ・深度・岩質などの時代による変遷と、現在の地熱異常地域の広さ・温度などについてこまかく検討してゆく必要がある。

2. 断裂系と地熱貯留層

鬼首の温泉群周辺には clastic dike が多数発達しており、温泉はそれらの clastic dike、それに平行した伸張性 joint 群および minor fault 群からおもに湧出している。小安温泉群周辺にも clastic dike の発達報告されている。また、緑色凝灰岩類中に挟まれる shale や fine tuff のような細粒岩中には密に joint が発達しやすく、これらの本来透水性の低い地層が joint の発達により逆に透水性の高い地層になっている可能性について検討を要する。さらに断裂の密度分布・長さ・新旧関係と時代・ズレの量および破碎帯の幅などについて、くわしい調査を行い、それらの実体を把握し、相互関係を明らかにする必要がある。

3. 陥没性堆積盆地と地熱貯留層

第三紀末から第四紀の陥没盆地(鬼首カルデラ、鳴子、中山平?)には、透水性の高い地層(例えば sorting の良い砂礫層、水中火砕流堆積物の下部など)が挟在されており、それらの地層には盆地周辺部から冷水が流入したり、温泉水がそれらの地層中を流動したりして、温泉分布を規制している。これらの地層の時代・埋没深度などと、compaction や diagenesis による透水性の変化

の関係についても検討する必要がある。

4. 変質帯と地熱貯留層

当地域には、現在の熱水活動に伴う変質帯および過去の熱水活動によるしばしば鉱化作用を伴う変質帯が地域的に発達している。熱水活動が地熱貯留層に与える影響は、変質鉱物の生成などによる self sealing および岩石中の成分の溶脱による cavity や熱水の通路の生成など多様性があり、変質帯分布の構造規制を含めて、特に検討する必要がある。

(地殻熱部)

小安地域の重力異常 (基盤深度図)

小川健三・駒沢正夫・須田芳朗

1. 重力分布と地熱微候

小安・泥湯・川原毛など栗駒北部地域の重力分布は北東と南東が高く、低重力異常は兜山を中心とする小安・大湯と、秋の宮や横堀東方の地区などに、高重力異常は奥前森や小安岳などに認められ、重力差は 35 mgal である。

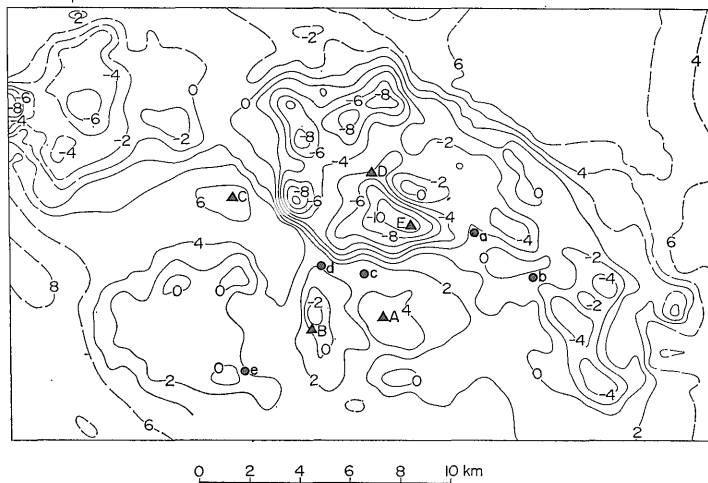
密度測定の結果では、花崗岩 2.6-2.8 g/cm³, グリーンタフ 2.4-2.6 g/cm³, その他の地層は 1.5-2.4 g/cm³ である。重力異常は基盤岩である花崗岩, またはグリーンタフの構造を反映しているといえる。重力分布図と余剰重力異常図に地熱微候地を記入してみると、地熱微候地は低重力異常 (負域)〔須川, 湯浜, 小安, 秋宮〕と高

重力異常の周辺または鞍部状 (正域)〔とち湯, 泥湯, 荒湯〕などと、重力傾度の著しい地帯〔泥湯, 川原毛〕などに分布している。

2. 基盤岩の深度図作成 (三次元の解析)

地表 (標高 600 m) での基盤岩 (奥前森付近) を基に三次元として基盤岩の高低 (深度) を計算した。計算は重力分布図から縦横 500 m の格子に切って重力値を読み取りすべて小安岳の標高 1,300 m での重力値に換算し、基盤岩とその他の地層との密度差を 0.6 g/cm³ とし、重力値と求めた構造での重力計算値との誤差が 0.1 mgal の範囲におさめた。計算した深度は、海拔 (0 m) を基準とし、50 m 毎の等深線で図化した。深度図をみると、低重力異常の地域は、いずれも海拔 0, または海拔 +200 m 以下であり、海拔 -1,000 m 以上の深いところが 2 カ所認められ最も深いところは木地山付近で海拔 -1,150 m であった。泥湯, 川原毛の付近をとおる断層は幅 1 km で 600 m, 奥前森の東方では 1,400 m, また、皆瀬ダムの北では 800 m の落差があることが判った。兜山周辺の地区は凹凸が激しく、海拔 -600 m 以下の陥没地が 4 カ所もあり、兜山, 小安との中間に海拔 +160 m の凸地のところがある。等深線が密であり、凸地の形状から基盤岩ではなく、貫入岩であるかも知れない。

小安, 大湯周辺には海拔 -400 m 以下のところが 4 カ所認められる。小安は鞍部の凸部の先端にあり、大湯との間にある海拔 +140 m の凸部は貫入岩と考えてもおかしくない。山伏岳付近は海拔 -420 m で、南北の断層がある。川原毛は海拔 220 m 前後で、南と北が著



第 1 図 栗駒北部地域基盤岩等深線図

海拔深度 重力図 $\sigma=2.3\text{g/cm}^3$, $\Delta\sigma=0.6\text{g/cm}^3$ 等深線 200 m 間隔 海拔=0 海拔以上=+
 ▲ 角点, ● 地熱微候温泉 A: 小安岳 B: 山伏岳 C: 奥前森 D: 兜山 E: 木地山
 a: 小安 b: 大湯 c: 泥湯 d: 川原毛 e: 荒湯

しく深く、北西、南東は海拔 400 m と高い鞍部状の地点にある。赤湯の又も海拔以下の凹地であり、この凹地は北東方向の大湯南部に延びている。断層または破碎帯であるかも知れない。

秋の宮の低重力異常は、すべて海拔 +200 m 以下で、温泉は 0 から +50 m 付近であり、荒湯のみ +200 m で、南北方向に落差 300 m の断層上にある。参考のため地表からの深度図も作成した。

当然のことであるが、基準とした標高 600 m の基盤岩のところは 0 m となる。本地域の標高は 120 m から 1,300 m の小安、高松岳までである。従って山伏岳付近の海拔 -400 m のところは基盤岩の深度は地表下 1,550 m となり、木地山では 1,700 m となる。変質帯、断層のある地区には、いくつかの試錐が実施してあり基盤岩まで達した試錐は 3 本ある。いずれも川原毛・泥湯付近である。この試錐結果との差は 20 m, 50 m と 70 m であった。標高がすべて 5 万分の 1 地形図からの読取りであり、深度は 50 m コンターで、しかも重力傾度が激しい地帯での比較を考えるとよく一致しているといえる。なお、地下の岩石の密度は様々であるので密度差をかえて計算をしておくことも必要である。秋の宮などの下部の地層が分布する地区では密度差をもっと小さくした方がよいと思われる。

深度図で、深いところは花崗岩ではなく、グリーンタフであるかも知れない。

3. 地熱に対する考察

基盤岩の深度が深いところは、全地層が厚く堆積し、地熱水貯湯層も厚いものと考えられる。

周囲が高温の地点が多い小安、高松岳の近くで基盤深度が深いところは、地熱開発にとって最も有望な地区といえよう。

また、貫入岩と推定されるところは、地温測定などの結果によっては、その周辺も含めて有望地区となるであろう。

なお、岩石密度測定や G-H 図から、補正密度 2.3 g/cm^3 の重力分布図を使用した。

(地殻熱部・同・同)

小安地域の緑色化変質

金原 啓司

秋田県雄勝地域の小安、泥湯、秋の宮の各温泉を含む約 100 km^2 の地域は日本における第一級の地熱地帯として注目されている。本地域の地質は下位より新第三紀中

新世泥湯層(安山岩溶岩・火砕岩)、川原毛層・皆瀬川層(石英安山岩溶岩・火砕岩、以上大石層に相当)、三途川層(礫岩・凝灰岩・シルト岩、船川層に相当)と、これらを不整合に被覆する新期火山噴出物(兎山石英安山岩、高松岳石英安山岩)からなる。

本地域には西から東に向かって川原毛、泥湯、新湯、棚湯、小安、大湯の各温泉が分布しており、新湯、棚湯を除いていずれも顕著な変質帯を伴っている。湧出する温泉の温度は $50\text{--}100^\circ\text{C}$ 、pH は川原毛で 1-2、小安・大湯では 8 前後である。変質帯の規模および泉質から、川原毛が温泉活動(火山作用)の中心と考えられている。

泥湯地域の地熱変質帯

噴気地帯をなす川原毛・泥湯の大規模な理化帯(主に石英よりなる)を中心にして、その外側に粘土化帯(カオリン鉱物、モンモリロナイトを主体にして、これに明ばん石を伴う)、および非変質帯がほぼ帯状に分布している。非変質帯の岩石はグリーンタフ変質を受け、泥湯層・川原毛層では緑泥石、緑泥石/サポナイト混合層鉱物、緑れん石、濁沸石が、また三途川層ではモルデン沸石などが生じている。泥湯と小安の中間に南北に延びる小安沢に広く露出する三途川層には上述のモルデン沸石のほかに緑泥石、濁沸石およびワイラケ沸石の生じている目玉状の緑色化変質帯が多く認められるが、これはグリーンタフ以降の地熱変質により生じたものであろう。

小安地域の地熱変質帯

ここでは小安と大湯を中心にして地熱変質帯が広く分布している。このうち三途川層よりなる小安の変質帯では皆瀬川に沿って珪化帯(一部にモルデン沸石を伴う)が広く分布しており、湯河原沸石の生じた石英脈の発達著しい。この周辺には明ばん石を伴う小規模なカオリン帯があるほか濁沸石+緑泥石、モルデン沸石+モンモリロナイトの各変質帯が分布している。柱沢付近にも石英脈が発達しており、ここでも、湯河原沸石が生じている。一方大湯の変質帯(主に皆瀬川層が母岩)では珪化帯は発達せず、小規模なカオリン帯をとりまいてモルデン沸石+モンモリロナイト、濁沸石+緑泥石の変質帯が特徴的に分布している。このモルデン沸石および濁沸石を含む緑色化変質帯はその分布域の拡がりから、グリーンタフ変質ではなく地熱変質によって生じたものと考えられている。

以上述べてきたように泥湯地域では珪化・粘土化変質帯の発達が著しく、一方、小安地域では沸石を伴う緑色化変質帯の発達が著しいが、これは両地域における温泉の性質と密接な関係がある。

(地殻熱部)

熱水系の研究—栗駒地域を中心に—

特集10 栗駒地域熱水系の化学、同位体化学

茂野 博・阿部喜久男・安藤直行・
池田喜代治・後藤隼次

1. 熱水系の分布と熱水の化学・同位体化学的特徴

栗駒地域には、地形、ブーゲ重力異常などにも見られるように、NW-SE方向の本庄—松島線に平行な地質構造が優勢で、新第三紀層中に顕著に発達する熱水系は、この方向に平行に雁行状に配列しており、第1図に示すとおり熱水の化学組成によって西から東へ第I-VI帯に分帯できる。

高松および高日向火山が存在するこの地域の中軸部は全般的に高重力異常の隆起帯で、部分的に低重力異常地が存在しており、この低重力異常地に川原毛、赤湯又沢、片山など第III帯の地熱微候地が発達する。第III帯の温泉の化学的特徴は、 Cl^- ないし Cl^- - SO_4^{2-} 高塩濃度熱水型と SO_4^{2-} 低塩濃度噴気型の2種類の酸性泉が存在することで、大規模な酸性変質帯を伴っている。これに対して地下の熱水系は、片山および泥湯地域の調査井によって、深度1,000m付近に熱水型(片山では Cl^- 酸性高塩濃度)が存在する一方、片山の深度300m付近、泥湯北方の深度1,000m付近には蒸気卓越型が存在することが明らかにされている。これらの熱水、蒸気は、最大5%程度のOxygen shiftと同時に、明瞭なHydrogen shiftをも示す。熱水の化学的地下温度推定

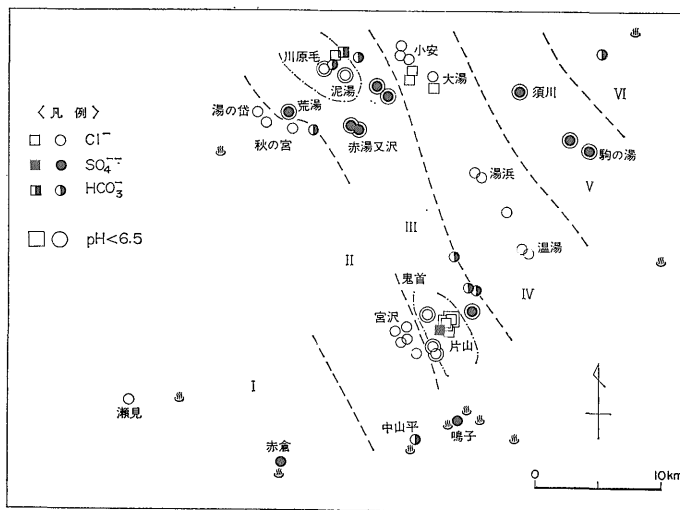
値 $T_{\text{Na-K-Ca}}$ には 240°C 以上を示すものがあり、孔井内実測値とも良く一致している。

第III帯の両側に位置する第II帯(湯の岱、宮沢など)および第IV帯(小安、湯浜、温湯など)の熱水系は、低重力異常地にあたるNW-SE方向に延びた谷に存在する。第II、IV帯の温泉水は、小安地域の調査井によって明らかにされた深度1,000m付近の熱水によく似た Na^+ - Cl^- ($-\text{SO}_4^{2-}$) ほぼ中性の熱水型で、中性ないし弱アルカリ性の変質帯を伴う。これらの熱水は、最大1%程度のOxygen shiftしか示さず、 $T_{\text{Na-K-Ca}}$ も最高 210°C 程度である。なお、第III帯と第II、IV帯との境界には、 Na^+ - HCO_3^- 中性型の温泉が存在することがある。

上述した第II-IV帯は、花崗岩などの基盤が隆起した高重力異常地によって周囲を取り囲まれており、この隆起帯の外側にも若干の熱水系が存在する。それらは、第I帯の Na^+ - Ca^{++} - Cl^- - SO_4^{2-} 中性型の熱水系、栗駒火山から湧出する第V帯の Ca^{++} - SO_4^{2-} 酸性噴気型熱水系および第VI帯の Na^+ - HCO_3^- - SO_4^{2-} 中性型の熱水系で、Oxygen shift をほとんど示さず、 $T_{\text{Na-K-Ca}}$ も低い。また、鳴子火山の北、鳴子、中山平付近には、 Na^+ - SO_4^{2-} ないし Na^+ - HCO_3^- 中性型の熱水系が存在し、Hydrogen shift を伴う明瞭なOxygen shift が認められ、 $T_{\text{Na-K-Ca}}$ も 200°C 程度を示す。

2. 熱水系の熱と水の起源

以上のように酸性泉を中心とした分帯を示す栗駒地域の熱水系は、大部分が第四紀の火山性熱源によって加熱



第1図 栗駒地域熱水系の主要溶存陰イオンによる分帯
(角印は蒸気+熱水が採取できる地熱井、丸印は温泉である)

されている。最も地熱活動が活発な第 III 帯では、 H_2O 以外に、 HCl 、 (SO_2) H_2S などに富む高温の火山ガスが地下深部から上昇し、熱の移動に大きな役割を果たしていると考えられる。これに対し、第 II、IV 帯では熱源として、第 III 帯から Cl^- 酸性型熱水が岩石と反応をおこないながら流入すること、あるいは深部に存在する火山性熱源からの直接の熱伝導などが考えられる。一方栗駒火山では H_2S に富む火山ガス、鳴子火山では H_2O 、 (SO_2) H_2S 、 CO_2 に富む火山ガスが、地下深部からそ

れぞれの熱水系へ熱を伝えているのであろう。

栗駒地域の熱水系の水の起源は、水素・酸素同位体比から、世界の有力な熱水系と同様に、大部分が周辺地域の降水であると結論される。地熱井から採取した熱水のトリチウム濃度は、小安で 0.22 T. U.、片山で 1.50 T. U. であり、40 年前より以前の降水がこの地域の貯留層に閉じ込められていることを示している。

(地殻熱部・技術部・同・同・同)