

葛根田地熱地域の新时期花崗岩類中に 産する流体包有物の特徴

佐々木宗建¹⁾・笹田政克¹⁾・村松容一²⁾・小松 亮³⁾・佐脇貴幸¹⁾

1. はじめに

岩手県葛根田地熱地域では、現在葛根田地熱発電所2号機のための開発が進められている。地熱貯留層としてはこれまで、新第三系中の深度1,600 mまでが対象とされてきたが、最近ではより深部の貯留層を目指して開発が行なわれている。今までに掘削された深部井のうち4本の坑井では1,950～2,770 mの深度で新时期花崗岩類が捕捉された(Kato and Doi, 1993)。これら花崗岩類は、ほとんど熱変成作用を受けていないことと、熱水変質が比較的弱いことで特徴づけられる。

花崗岩類中の石英と斜長石には、多数のミネラル包有物、メルト包有物(かつて珪酸塩溶融物であったと考えられる包有物で、現在は鉱物と気泡から構成されている)及び流体包有物が認められる。ここでは、このうち石英に含まれる流体包有物についてその産状及びマイクロサーモメトリー(流体包有物の加熱冷却実験)の結果を報告し、今後解明すべき流体包有物に関連した課題について述べる。

2. 流体包有物の産状

葛根田地熱地域の深部に産する花崗閃緑岩とトータル岩は、主に石英・斜長石・黒雲母・普通角閃石からなり、少量の斜方輝石・トレモラ閃石・アクチノ閃石と微量の磁鉄鉱・チタン鉄鉱・燐灰石・ジルコンを含む。

花崗岩体を構成する石英粒中の流体包有物は、石英粒に割れ目ができた際、その割れ目に侵入した流体の一部を捕獲してできたものであり、すべて二次

包有物と考えられる。石英粒中の流体包有物の大きさは1～20 μm で主に負結晶形を呈する。観察された流体包有物は、産状、特に娘鉱物の組み合わせから以下の5種類に分類できる(写真1の(1)～(5))。

タイプA：気相包有物

タイプB：液相包有物

タイプC：ハライト(NaCl)を伴う多相包有物

タイプD：ハライトと鉱物 X₁ を伴う多相包有物

タイプE：ハライト・鉱物 X₁ と鉱物 X₂ を伴う多相包有物

一般に、石英中の一つの閉塞面には1種類の流体包有物が捕獲されていることが多いが、同一の閉塞面内にタイプAとタイプB、タイプA・C・D、及びタイプAとEの流体包有物が捕獲されていることもある。タイプAの流体包有物は試料中に最も頻繁に観察される。

鉱物 X₁ は、屈折率がハライトよりやや高く、光学的異方性を有する薄緑色の透明結晶である。鉱物 X₂ は、屈折率が鉱物 X₁ とハライトの中間にあり、光学的異方性を持たない薄黄緑～無色の透明結晶である。鉱物 X₁ が薄片上の方位の違いによって光学的異方性を示さない場合には鉱物 X₂ との区別が困難である。

これら鉱物 X₁ と鉱物 X₂ 及びその他の娘鉱物を同定するために、走査型電子顕微鏡(SEM)にエネルギー分散型X線マイクロアナライザー(EDX)を装備した装置で分析を行った(SEM-EDX分析)。娘鉱物の同定は、石英粒に新鮮な破断面を作り、その破断面に現れたものについて行った(写真1の(6)、(7))。鉱物 X₁ はFeを主成分とし、少量のMn・K(・Ca)を含む塩化物であり、SEM観察の際には

1) 地質調査所 地殻熱部
2) 地熱エンジニアリング株式会社(現 東京理科大学)
3) 地熱エンジニアリング株式会社

キーワード：葛根田地熱地域、流体包有物、娘鉱物

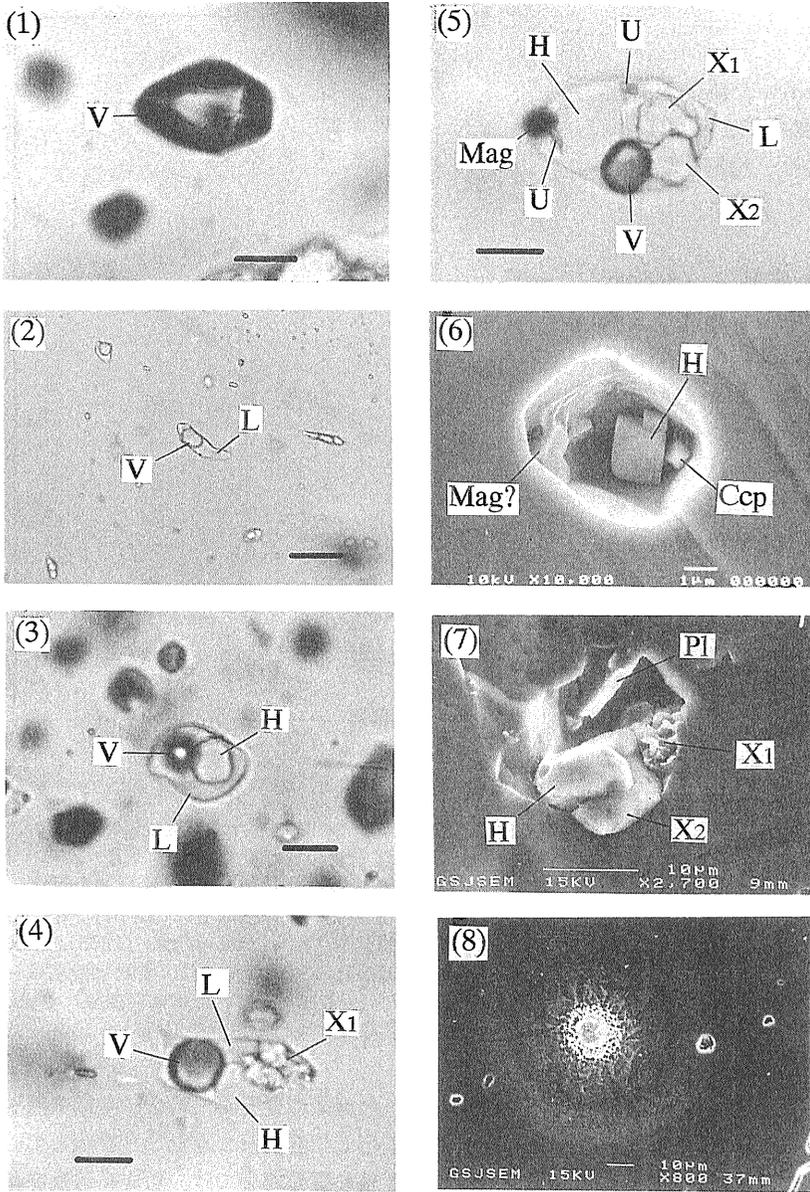


写真1

石英中の流体包有物の産状。

- (1): 気相包有物,
 - (2): 液相包有物,
 - (3): ハライトを伴う多相包有物,
 - (4): 鉱物 X₁ とハライトを伴う多相包有物,
 - (5): 鉱物 X₁・鉱物 X₂・ハライトを伴う多相包有物,
 - (6), (7): 娘鉱物の SEM 像,
 - (8): 加熱破碎によって石英の表面に放出された流体からの沈澱物。V: 気相, L: 液相, H: ハライト, X₁: 鉱物 X₁ (Fe に富む含水塩化物), X₂: 鉱物 X₂ (K に富む塩化物; KCl?), Ccp: 黄銅鉱または斑銅鉱, Mag: 磁鉄鉱または赤鉄鉱, Pl: 斜長石, U: 未同定鉱物。
- (1)~(5)のスケールバーは10 μm.

スポンジ状を呈する。これは、鉱物 X₁ が含水鉱物であり、試料をカーボン蒸着した際に脱水が起こったためと考えられる。鉱物 X₂ は K を主成分とし、少量の Mn・Fe・Na を含む塩化物であり、この分析値からは鉱物 X₂ はシルバイト (KCl) に近い組成であると推測される。他の娘鉱物には、石英・黒雲母・斜長石・曹長石・絹雲母または氷長石・燐灰石・磁鉄鉱または赤鉄鉱・チタン鉄鉱・閃亜鉛鉱・黄銅鉱または斑銅鉱がある。

流体包有物の液相に溶存している成分を調べるた

めに、流体包有物を加熱破碎し石英の表面に放出された成分について SEM-EDX 分析を行った(写真1の(8))。その結果、鉱物 X₁、鉱物 X₂ とハライトの溶解によると考えられる Na・K・Fe・Mn・Cl のピークの他に、Ca と S のピークが検出された。流体包有物中には Ca や S を主成分とする可溶性の娘鉱物は認められないので、Ca と S は流体包有物中の液相に溶存していたと推定される。

3. マイクロサーモメトリー

USGS 型加熱冷却ステージを用いた流体包有物の均質化温度と塩濃度の測定結果を第 1 図に示す。タイプ A の流体包有物については、均質化温度と塩濃度の正確な測定が難しいので、測定を行っていない。

タイプ B の流体包有物の塩濃度は、Bodnar (1993) に基づいて氷の消失温度から求めた。タイプ B の流体包有物には、均質化温度が 337~364°C で塩濃度が 1 wt% 以下のものと、均質化温度が 346°C 以上で塩濃度が 14~20 wt% のものがある。

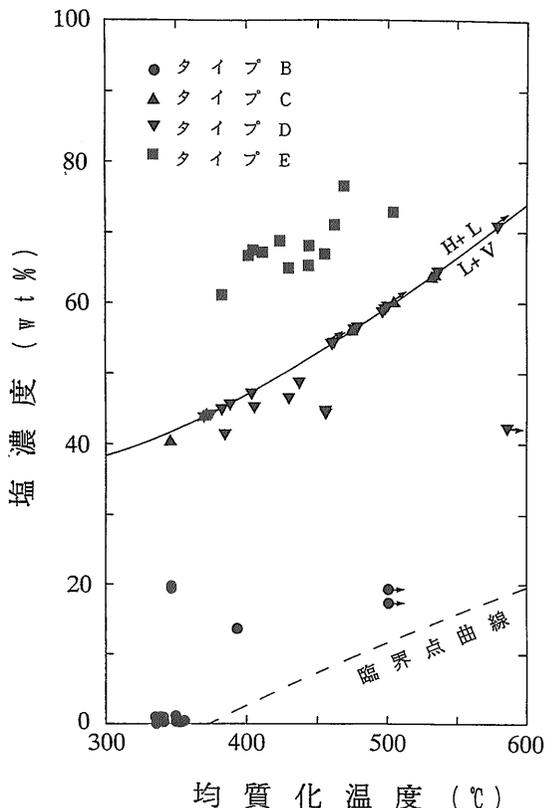
タイプ C とタイプ D の流体包有物には、気相の消失あるいはハライトの消失によって均質化する場合がある。また、タイプ E の流体包有物はすべて、ハライトの消失によって均質化する。ハライトの消失によって均質化する流体包有物の塩濃度は、実験データがないので正確に求めることはできない。そこでここでは、流体包有物の塩濃度は、均質化の仕方に関わらず娘鉱物の消失温度のみから、Sternier *et al.* (1988) に基づいて推定することにする。

タイプ C の流体包有物の均質化温度は 346~536°C で、塩濃度は 41~65 wt% である。タイプ D の流体包有物の均質化温度は、580°C を越える場合があるが多くは 370~533°C である。塩濃度は、鉱物 X₁ が同定できていないので正確には求められないが、ハライトの消失温度から推定すると 42~64 wt% 程度である。第 1 図では、タイプ C とタイプ D の流体包有物の均質化温度と塩濃度は、液相-気相-ハライトの三相共存ラインに近いところにプロットされている。

タイプ E の流体包有物の均質化温度は 381~504°C である。塩濃度は鉱物 X₁・鉱物 X₂ が存在するのでやはり正確に求めることができないが、鉱物 X₂ をその組成からシルバイトと仮定し鉱物 X₂ とハライトの消失温度から推定すると 62~77 wt% 程度である。このときの Na/K (モル比) は 1.6~3.2 程度である。

4. 流体包有物から見た今後の課題

これまで述べてきた流体包有物の種類と産状、タイプごとの均質化温度や塩濃度の相違は、花崗岩体



第 1 図 流体包有物の均質化温度と塩濃度の関係。

流体包有物の塩濃度は、タイプ B~タイプ D の流体包有物については NaCl-H₂O 系を仮定し、タイプ E の流体包有物については NaCl-KCl-H₂O 系を仮定して、Sternier *et al.* (1988) と Bodnar (1993) に基づいて求めた。実線は液相 (L)・気相 (V)・ハライト (H) の三相共存曲線。点線は NaCl-H₂O 系における臨界点曲線。

内で活動していた流体の性質が、岩体の冷却や熱水系の発達過程に応じて変化してきたことを示している。今後の深部地熱資源調査では、岩体周辺及び花崗岩体内部からコア試料等が多数採取される予定であるので、それらに含まれる流体包有物について研究を行うことにより、花崗岩類に関連した深部熱水系の全体像を明らかにすることに寄与していきたい。具体的には、次のような研究を考えている。

(1) タイプ B の流体包有物で塩濃度が 1 wt% 以下のものは、均質化温度が岩体内で得られた検層温度 (333~353°C) とよく一致しており、その塩濃度は岩体縁及び内部から実際に採取されている熱水のそれに近い (柳谷ほか, 1993)。これらのことは、このタイプの流体包有物が現在岩体内で活動している

熱水を捕獲していることを意味する。現在岩体内で活動している熱水は同位体的に天水起源を示すので(柳谷ほか, 1993), 流体包有物に捕獲されている流体もまた天水起源の流体であると推定される。本タイプの流体包有物は温度検層に有効であるなど, 深部熱水系の現状を解析する上で最も有用であると考えられる。

(2) タイプCとタイプDの流体包有物の均質化温度と塩濃度は, タイプBの流体包有物とタイプEの流体包有物のそれらの中間にあることが多い。従って, これらのタイプの流体包有物に捕獲されている流体は, タイプEの流体包有物に捕獲されている高塩濃度の流体が, タイプBの流体包有物に捕獲されている低塩濃度の流体と混合して希釈されてきたと考えられる。タイプBの流体包有物で塩濃度が14~20 wt%のものは, この混合, 希釈の過程で形成されたのかもかもしれない。

タイプCの流体包有物は岩体内だけでなく, 新第三系を切る熱水性鉱物脈にも認められている(小松・村松, 1993)。この熱水性鉱物脈中にタイプCの流体包有物が認められる範囲は, 松沢貫入岩に伴うものを除くと, 現在の熱水系で約250°C以上を示す範囲と比較的一致している(小松, 未公表資料)。今後, タイプCの流体包有物を伴う熱水性鉱物脈と現在の熱水の流通路との関係を明らかにする必要がある。

(3) タイプEの流体包有物の均質化温度はタイプBの流体包有物のそれに比べて明らかに高い。また, ハライトと鉱物 X_2 の量比から推定したタイプEの流体包有物のNa/K比は, 現在貫入岩体から採取されている熱水のNa/K比7.5~7.8(柳谷ほか, 1993)に比べて明らかに低い。これらのことは, タイプEの流体包有物に捕獲されている流体が現在岩体内で活動している熱水の沸騰によって生成されたものではないことを意味する。本タイプの流体包有物に捕獲されている流体の起源は明らかではないが, 母岩の花崗岩類にはあまり熱水変質作用が認められないので, この流体は現在岩体内に見られる鉱物のいくつかと比較的平衡に近い条件下にあったと推定される。

流体包有物中には, Na・K・Clの他に無視できない量のFe・Mn・Ca・Sが溶存している。今後こ

れらの成分について定量分析を行うとともに, 花崗岩体についての鉱物学的な研究や水/岩石反応の実験を通じて, 高温時における流体と岩石との反応過程を明らかにし, 本タイプの流体包有物の特徴を解明していく必要がある。

(4) 葛根田地熱地域の新第三系中には, 深度に応じた鉱石鉱物(閃亜鉛鉱+方鉛鉱, 黄銅鉱+赤鉄鉱)の累帯が認められている(村松, 未公表資料)。また, 花崗岩体中に観察された高塩濃度の流体包有物には, 娘鉱物として閃亜鉛鉱や黄銅鉱が含まれていることが明らかになった。そこで, 花崗岩体内で活動していた高塩濃度の流体と, 新第三系中に鉱石鉱物を沈澱した流体との成因的な関連性も今後解明する必要がある。

謝辞: 日本重化学工業(株)地熱事業部および東北地熱エネルギー(株)には発表を許可して頂いた。本研究を進めるにあたり, 同事業部および地熱エンジニアリング(株)の方々にはいろいろと便宜を計って頂いた。日本重化学工業(株)地熱事業部佐藤 浩博士には粗稿を校閲して頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- Bodnar, R. J. (1993): Revised equation and table for determining the freezing point depression of H_2O -NaCl solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **57**, 683-684.
- Kato, O. and Doi, N. (1993): Neo-granitic pluton and later hydrothermal alteration at the Kakkonda geothermal fields, Japan. *Proceedings 15th NZ Geothermal Workshop*, 155-161.
- 小松 亮・村松容一(1993): 葛根田地熱地域の深部貯留層における流体包有物の特徴。日本地熱学会平成5年度学術講演会講演要旨集, A14.
- Sterner, S. M., Donald, L. and Bodnar, R. J. (1988): Synthetic fluid inclusions. V. Solubility relations in the system NaCl-KCl- H_2O under vapor-saturated conditions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **52**, 989-1005.
- 柳谷茂夫・笠井加一郎・Brown, K. L.・Giggenbach, W. F. (1993): 岩手県葛根田地熱地域における深部地熱流体の化学的特性。日本地熱学会平成5年度学術講演会講演要旨集, A12.

SASAKI Munetake, SASADA Masakatsu, MURAMATSU Yoichi, KOMATSU Ryo and SAWAKI Takayuki (1994): Characteristics of fluid inclusions observed in Neo-Granitic rocks from the Kakkonda geothermal field.

<受付: 1993年12月9日>