

鉱物粒界での水/岩石反応から見た深部地熱系

藤本 光一郎¹⁾

1. はじめに

葛根田地域の約2000 m以深には前期更新世の貫入と考えられる若い潜頭性の花崗岩(新期花崗岩)が分布しており(加藤他, 1993), 本地域の熱水系に大きな影響を及ぼしていると考えられている. 現在の地下3000 m付近の地温は350°Cを越え, ホルンブレンドや黒雲母のK-Ar年代は0.34-0.14 Maと非常に若い値を示す(土井他, 1993).

花崗岩と周囲の岩層との熱的・物質的な相互作用については接触変成帯や斑岩銅鉱床を中心に多くの研究が行なわれてきたが(例えば村岡・玉生, 1993編), 本地域の新期花崗岩のように, 貫入後1 Ma足らずしか経過しておらず, 地温も高い花崗岩を対象とした水/岩石反応等に関する研究は, 実際それほど若い花崗岩が露出していないこともあってほとんどないといってよい. このような花崗岩に関連する地熱系を解明する際に, 現在の状態に加えて岩体の固結冷却から熱水系の形成, 成熟に至る進化過程を解明することが重要な課題になる.

従来多くの水/岩石反応の研究は, 変質鉱物の同定及びそれと平衡な熱水組成の推定を中心としていた. しかし実際には非平衡の鉱物組み合わせがしばしば存在して正確な推定を難しくする. さらに平衡論的解析は基本的にはある一つの状態の記述であり, ある状態から別の状態への変化過程についての情報を与えない.

そこで本研究は反応の主たる現場である鉱物粒界(表面)を詳しく観察することで, 平衡な組み合わせの正確な判定や, 状態の変化過程の追跡を試みた. ここでは葛根田地域も含め幾つかの地域の花崗岩の鉱物粒界の予察的な観察結果を紹介し, 次いで地熱系の進化について検討してみた.

2. 花崗岩の変質及び鉱物粒界の特徴

花崗岩試料の薄片観察にあたっては, 孔隙分布がわかるように高橋他(1992)の方法に従って薄片製作前に岩石試料中に青色の樹脂を注入した. 一方, 電子顕微鏡によって鉱物粒界や表面を観察した. 試料として葛根田の新期花崗岩の他に, 葛根田から約5キロ南西にある田沢湖東部地域の地熱調査井に分布する石英閃緑岩を用いた. 後者は1.7-2.2 MaというK-Ar年代が得られている比較的若い花崗岩類であるが, 冷却が進行して熱水変質を受けている(NEDO, 1992). さらに代表的な花崗岩として細粒の黒雲母花崗岩である米国Westerly花崗岩と古第三紀の粗粒の黒雲母花崗岩である茨城産の稲田花崗岩も観察した.

葛根田の新期花崗岩の記載は加藤他(1993)に詳しいが簡単に述べると, 比較的細粒のトータル岩～石英閃緑岩で構成鉱物は石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・ホルンブレンド・単斜輝石・磁鉄鉱・チタン鉄鉱・アパタイト・ジルコン等である. 変質は一見すると弱いが, 斜長石を交代した曹長石・カリ長石, ホルンブレンドを交代したアクチノ閃石・緑泥石, 微量ではあるが黄鉄鉱, 黄銅鉱等の変質鉱物が鏡下で確認できる. 斜長石はしばしば自形で累帯構造が顕著であり, 溶食をうけたような細かい凹凸のある輪郭を呈して部分的に曹長石やカリ長石等からなるリムを伴う. これらの一部はサブソリダスの反応縁と考えられるが, 斜長石内部にパッチ状や脈状に曹長石やカリ長石が生成している部分があること(写真1a)から熱水変質の部分もあると考えられる. また, 鉱物の粒間には細粒の自形石英が晶出していることが多い. 青色樹脂は孔隙や鉱物粒界に浸透している(写真1b).

1) 地質調査所 地殻熱部

キーワード: 花崗岩, 表面, 鉱物粒界, 熱水変質, 水/岩石反応, 葛根田

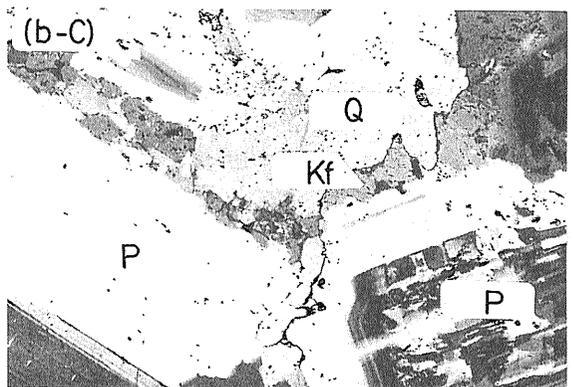
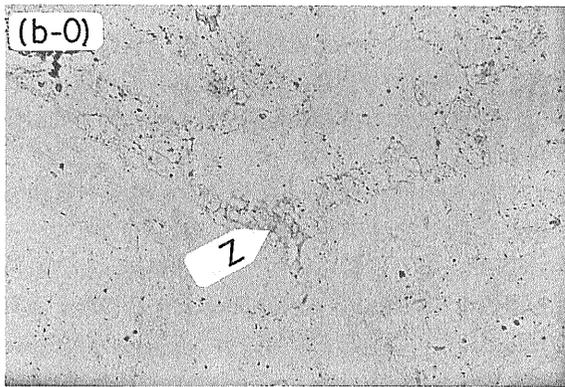
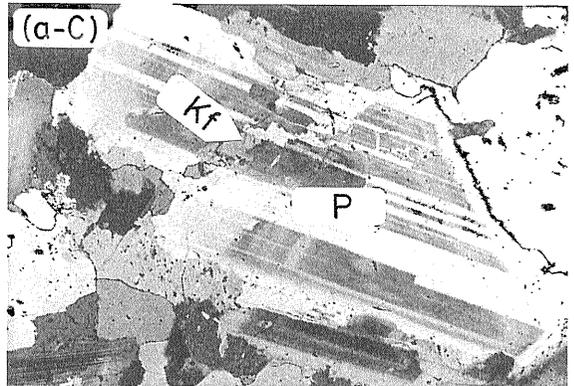
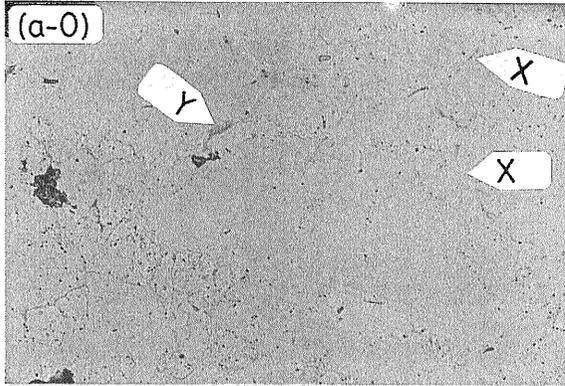


写真1 葛根田の新时期花崗岩の偏光顕微鏡写真。(a)が開放ニコルで(c)が直交ニコルの写真。P；斜長石，K-f；カリ長石，Q；石英，B；黒雲母，H；ホルンブレンド，C；緑泥石，X・Y・Z；青色樹脂。写真の横幅が約1.3 mm。青色の樹脂を間隙に注入してある。a)では累帯構造を示す斜長石中に脈状のカリ長石化が見られる。鉱物粒界(X)や斜長石中の脈沿い(Y)に樹脂が侵入している様子が見られる。b)では鉱物の粒間に細粒の石英が晶出し、その粒間を青色樹脂が充填している(Z)。

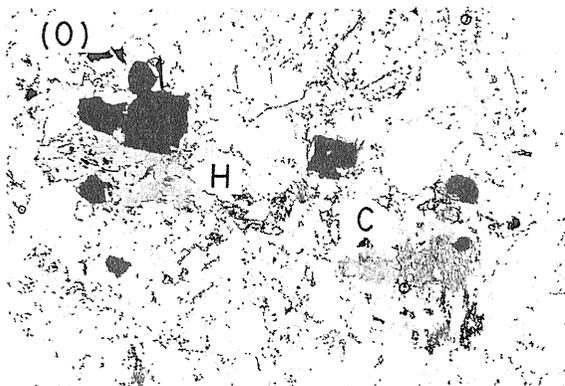


写真2 田沢湖東部地域の石英閃緑岩。横幅約2.6 mm。斜長石のカリ長石化，マフィック鉱物の緑泥石化等の変質が見られる。記号は写真1と同じ。

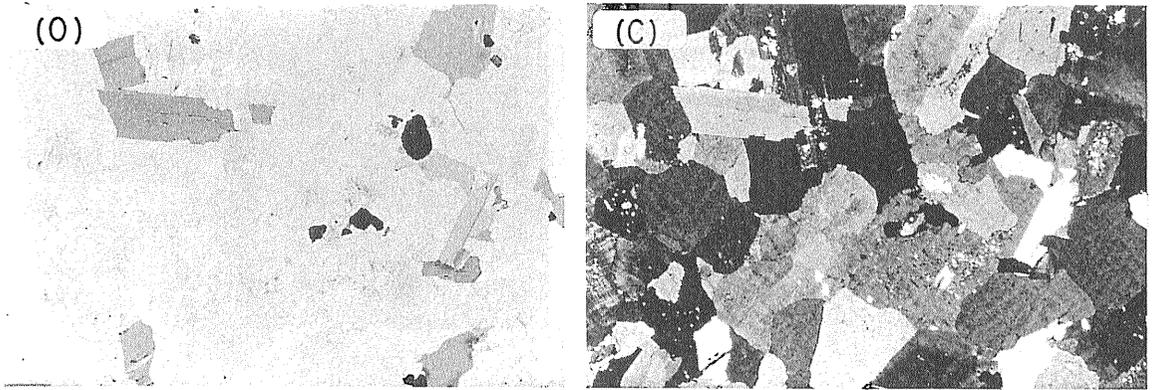


写真3 米国 Westerly 花崗岩. 横幅が約2.6 mm. 鉱物が密着して粒間に隙間がない. 記号は写真1と同じ.

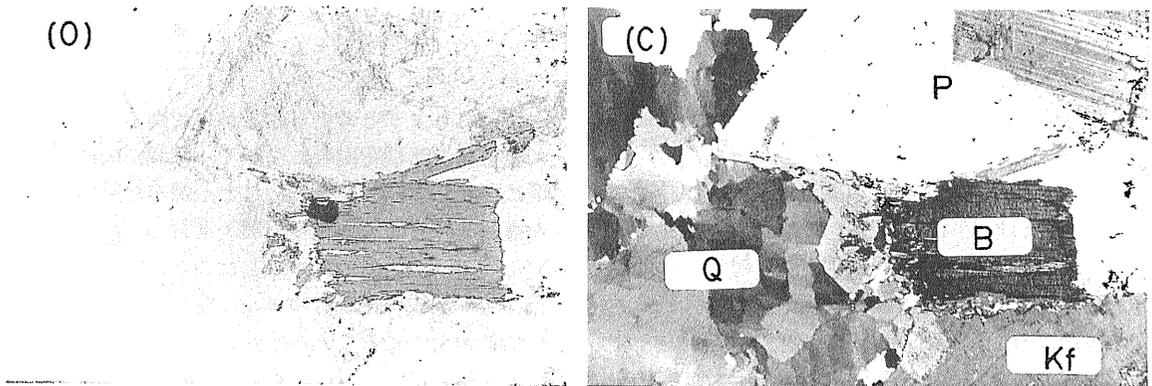


写真4 稲田花崗岩. 横幅が約2.6 mm. 鉱物が密着して粒間に隙間がない. 記号は写真1と同じ.

田沢湖東部地域の石英閃緑岩は樹脂注入は行なわなかった. 岩質的には葛根田の花崗岩よりややマフィックでかなり変質が進行している. 斜長石は縁辺部や割れ目に沿って主としてゼオライト, あるいは一部カリ長石, 曹長石, 緑簾石等に交代し, マフィック鉱物は緑泥石等に部分的に交代している(写真2).

一方, Westerly 花崗岩(写真3)と稲田花崗岩(写真4)とは, ともに鉱物どうしが密着しており, 隙間がない. カリ長石が一部セリサイトになっている他は変質は弱い, 石英の再結晶が見られる. したがって青色樹脂は粒界よりは二次的な割れ目等に浸透する.

次に, 試料の破断面を走査電子顕微鏡で観察した. 破断面は1ミリ程度の厚みの板状の試料を割った面である. 葛根田の新期花崗岩は非常に脆く, 鉱物粒界で割れることが多かった.

電子顕微鏡観察によると葛根田の新期花崗岩の場

合, 鉱物表面に溶解を示すエッチピットが存在するとともに, 鉱物粒界に数 μ 幅の隙間がある(写真5). また, 沈殿鉱物が非常に少ないことも特徴である. 田沢湖東部の花崗岩の場合は表面のエッチピットや粒界の隙間が存在するが, 特徴的なことは鉱物粒界にセリサイト等の微小な鉱物が沈殿していることである(写真6). なお, セリサイトは光学顕微鏡ではほとんど認められなかった. Westerly 花崗岩では鉱物の破断面が多く見られるとともに, 鉱物粒界は密着している(写真7).

3. 熱水系の進化の検討

前述したように葛根田の新期花崗岩はそれほど強くはないもののカリ長石化をうけている可能性がある. 本特集号の佐々木他の論文で述べられているように, 花崗岩に含まれる多相流体包有物中には NaCl とともにかなりの量の KCl が見いだされてお

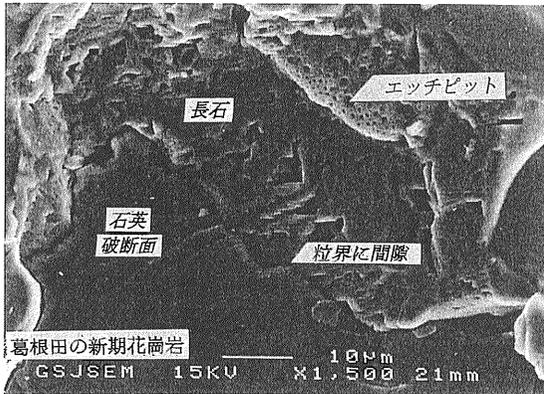


写真5 葛根田の新时期花崗岩破断面の長石と石英の粒界の電子顕微鏡写真。長石表面に溶解を示すエッチピットが存在するとともに、鉱物粒界に数 μ 幅の隙間がある。沈殿鉱物は見られない。

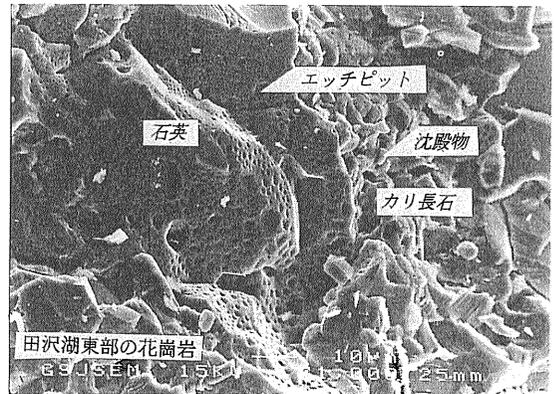


写真6 田沢湖東部の石英閃緑岩の破断面の電子顕微鏡写真。石英の表面にエッチピットが見られる他、カリ長石表面に数 μ サイズの微小鉱物(多分セリサイト)が沈殿している。

り、そのような包有物を形成したカリ成分に富む高塩濃度の熱水がカリ長石の生成をもたらした可能性もある。流体包有物からは300°C以上という温度が推定されている(小松・村松, 1993; 佐々木他, 本特集号)。カリ長石化がいつの時点で起こったかは非常に興味深い点であり、斑岩銅鉱床で見られるカリウム変質のように固結以後の一連の冷却過程の中で起こっている現象であるかもしれない。弱酸性を示す現在の深部熱水の組成(柳谷他, 1993)や、多相流体包有物の後のステージで液相に富む低塩濃度の流体包有物が存在すること(小松・村松, 1993; 佐々木他, 本特集号)等から判断してカリ長石化が現在進行しているとは考えられない。現在の深部熱水と対応する変質の解明は今後の課題である。マフィック鉱物のアクチノ閃石化や緑泥石化は現在の深部熱水に対応する変質の可能性はあるが直接的な証拠はない。

田沢湖東部の石英閃緑岩においても斜長石のカリ長石化と KCl・NaCl を含む高温の多相流体包有物(佐々木, 未公表データ)が見られる。葛根田と同様のカリ長石化が起こり、その後温度が150°C弱(NE-DO, 1992)まで低下して緑泥石等比較的低温の変質鉱物が生成したと考えられる。

葛根田の新时期花崗岩の鉱物粒界の脆さや隙間に関連して、一般的に花崗岩の鉱物粒界が固結段階で閉じているか開いているのかという点についてはよくわからない。仮に開いていたとしてもそれが温度圧力(応力)条件による変形や再結晶によって多くの場

合閉じてしまうと考えられるからである。したがって葛根田の新时期花崗岩について、隙間が固結時から既に存在していたのか、それとも熱水が鉱物粒界等を通過することで鉱物の溶解が進行して隙間が拡大したのか、現状でははっきりしたことは言えない。田沢湖東部地域の花崗岩のように冷却が進むと粒間が沈殿鉱物でつまることが予想されるので、葛根田の新时期花崗岩については、粒界に沈殿物がほとんどないことなども考えあわせると、岩体の固結以降、冷却再加熱というプロセスを経た可能性は低いだろう。土井他(1993)は花崗岩の分布と現在の高温の温度構造が一致しないこと等から、新时期花崗岩が、より新しいマグマによる加熱で通常よりゆっくりと冷却した可能性を示唆しているが、その間連続的に

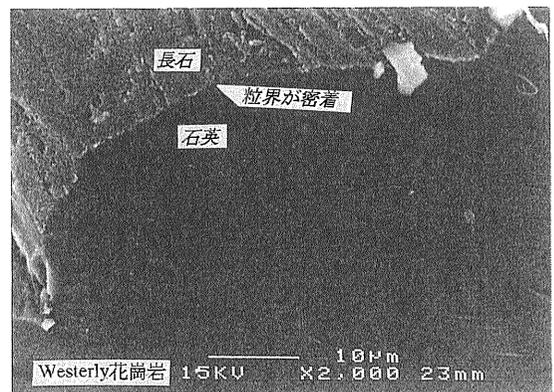


写真7 Westerly花崗岩の石英と長石の粒界の電子顕微鏡写真。鉱物の破断面が多く見られるとともに、鉱物粒界は密着している。

熱水が流れていたと考えられる。いずれにせよ葛根田の新时期花崗岩で見られる鉱物粒界や孔隙の状況は、岩体の冷却史の観点や花崗岩自体の透水性、貯留層としての能力を評価する観点等からも注目される。

4. 今後の課題

最初に述べたように葛根田の新时期花崗岩のような貫入後経過時間の短い岩体が、様々な分野から総合的に研究された例はないといってよい。従って、通常の花崗岩とどこが違うのか、どこが共通なのかを様々な点でより一層解明する必要がある。例えば本論ではカリ長石化や鉱物粒界の問題、多相流体包有物との関係等幾つかの重要な点を指摘した。これが果たして葛根田や田沢湖東部に分布する花崗岩だけの特徴なのか、それとも浅所貫入の花崗岩に一般的なものなのかは今後の大きな課題である。さらに、今回は触れなかった壁岩やより浅部に分布する変質鉱物脈等の解析も深部地熱系の構造や花崗岩の貫入との関連を明らかにする上で必要である。

謝辞：本研究を進めるに当たり、貴重な新时期花崗岩試料の提供と発表の許可をいただいた日本重化学工業(株)地熱事業部及び東北地熱エネルギー(株)と、種々の便宜を計っていただいた地熱エンジニアリング(株)(旧日重開発工業(株))に深く感謝します。また、いくつかの花崗岩試料を提供していただいた西沢 修氏

(地質調査所)、樹脂注入薄片を製作していただいた大和田 朗氏(地質調査所)、常日頃議論している佐々木宗建氏(地質調査所)に感謝します。

引用文献

- 土井宣夫・加藤 修・蟹澤聰史(1993)：岩手県葛根田地熱地域の新时期花崗岩の K-Ar 年代と熱水対流系の生成時期。日本地熱学会平成5年度学術講演会講演要旨集, P2.
- 加藤 修・土井宣夫・村松容一(1993)：岩手県葛根田地熱地域における新时期花崗岩類と地熱貯留層。地熱学会誌, 15, 41-57.
- 小松 亮・村松容一(1993)：葛根田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.
- 村岡洋文・玉生志郎編(1993)：国土地熱資源評価技術に関する研究, 平成3・4年度サンシャイン計画研究開発成果中間報告書, 296 p, 工業技術院地質調査所.
- NEDO (1992)：地熱開発促進調査報告書 No. 27田沢湖東部地域, 1021p., NEDO.
- 佐々木宗建・笹田政克・村松容一・小松 亮・佐脇貴幸(1994)：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。地質ニュース本特集号.
- 高橋 学・薛 自求・大和田朗・石島洋二(1992)：青色顔料を混合した樹脂によるポア観察について。応用地質, 33, 296-306.
- 柳谷茂夫・笠井加一郎・K. Brown・W. Giggenbach (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.

FUJIMOTO Koichiro (1994): Understanding of a deep geothermal system from a view point of water/rock chemical reactions at mineral grain boundaries

〈受付：1993年12月6日〉