

# 葛根田地域の深部地熱系

宮崎 眞 —1)

## 1. はじめに

葛根田地域では地熱井として国内で最も深い4,000 m まで掘削するボーリング調査が昨年開始された。地熱資源は火山国日本で数少ない純国産エネルギー資源であって、私たちの生活に欠かせないエネルギーの自給率を少しでも上げるためにその開発の進展が期待されている。国内では、約2,000 m よりも深い深部には従来主に開発されてきた浅部に比べて2倍強にあたる4,000万 kW 以上のエネルギーが賦存すると見積もられており、深部地熱資源開発は近い将来に地熱発電容量を大きく増大するものとして期待されている。

4,000 m のボーリングは新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が「深部地熱資源調査」プロジェクトとして国の予算で実施しているもので、深部地熱資源の賦存する地層を掘り抜いて調査してその実態を明らかにするとともに、深部地熱資源の探査や開発の指針を得ようとするものである。4,000 m の深部調査井は掘削の途中で各種の調査や試験を行いながら5年間をかけて掘削される計画である。

葛根田地域はこれまで日本重化学工業グループが深部地熱の調査開発を進めており、並行して地質調査所をはじめとする多くの機関の研究者が調査研究を行っている。しかしこれまでは深さ3,000 m の坑井しか掘削されていない。富士山を逆さにしたよりも深い4,000 m の深部はまだなぞに満ちた世界である。NEDOの深部地熱資源調査プロジェクトはこれまでの調査研究の成果の上に立って4,000 m まで実際に掘削し、最新の調査技術で深部地熱を解明しようとするものである。そこで本稿ではプロジェクトの進展を前にして、葛根田地域の深部の地熱調査

の経緯及び現在までに分かった深部地熱系の概要と疑問点などを、主に公表論文などをもとにして述べてみたい。

## 2. 葛根田地域の概要

葛根田地域は岩手県雫石町にあって仙岩地熱地域に含まれており、日本で最も活発な地熱地域の一つである。現在、葛根田地熱発電所(1号機)が運転しており、2号機を建設中である。1号機は5万 kW の出力で、日本重化学工業(株)が地熱蒸気を供給し東北電力(株)が発電を分担して1978年から運転している。2号機は3万 kW の出力で、日本重化学工業グループの東北地熱エネルギー(株)が地熱蒸気を供給し東北電力が発電を分担する予定で、1996年の運転開始を目指して建設が進められている。1号機では深さ約1,500 m より浅い「浅部地熱資源」が開発され、2号機も当初は浅部地熱資源を対象にして開発が進められた。しかし、浅部のみで十分な蒸気を得ることは不安があったため、1,500 m より深い地熱資源を調査するために1986年に深部テスト井(well-18)が掘削され、その結果優勢な深部地熱資源の存在が確認された。以後第1表に示すように深部生産井を掘削し大量の蒸気を確認している。

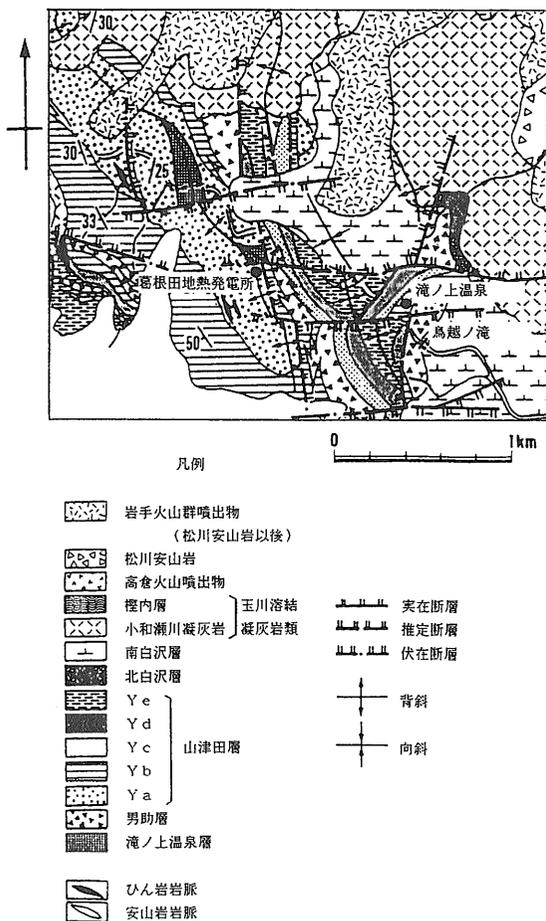
葛根田の深部地熱資源を地熱開発事業の立場からみると、深部井の掘削には浅部井よりも費用がかかるが、1本の深部生産井から生産される蒸気量は60~110 t/h(発電量にして約6,000~11,000 kw)と浅部井の2~3倍あるため優れた地熱資源とみなせる。また、熱水が酸性のため坑井や配管の腐蝕などの問題はありますが、地熱流体は高温でエンタルピーが高いため蒸気の量に比較して付随する熱水量は非常に少なく、還元井の負担が少なくてすむという利点

1) 日本重化学工業株式会社 地熱事業部 企画技術部：  
〒103 東京都中央区日本橋小網町8番4号

キーワード：地熱，地熱系，深部，葛根田，新期花崗岩，熱変成，熱源，き裂，流体性状，課題

第 1 表 葛根田の深部坑井一覧表

坑井名	掘削年	深 度	特 徴
Well-18	1986	2,126 m	葛根田における深部開発の端緒となったテスト井 オールコア掘削
Well-19	1990	2,818 m	葛根田地域で最初の深部生産井 蒸気量 63 t/h, 熱水量 57 t/h, pH4.0 (坑口圧力: 6 kg/cm <sup>2</sup> G 換算)
Well-13	1991	2,465 m	蒸気量 92 t/h, 熱水量 5 t/h, pH3.7 (坑口圧力: 6 kg/cm <sup>2</sup> G 換算)
Well-20	1993	3,000 m	蒸気量 117 t/h, 熱水量 106 t/h, pH5.1 (坑口圧力: 6 kg/cm <sup>2</sup> G 換算)
Well-22	1993	2,721 m	蒸気量 85 t/h, 熱水量 22 t/h, pH5.3 (坑口圧力: 45 kg/cm <sup>2</sup> G)



第 1 図 葛根田地域の地質図  
(越谷ら1993の地質図の一部を引用し和文に修正)

がある。

葛根田地域の概略地質図を第 1 図に、モデル地質断面図を第 2 図に示す。葛根田地域の地質は第三系の凝灰岩・頁岩類、先第三系の粘板岩・砂岩・凝灰岩類、及び多くの貫入岩類からなっており、深度2,000~2,800 m 以深には新期花崗岩類が分布している。褶曲構造は北北西系の背斜・向斜がみられ、断層は北北西系、東西系のものが卓越している。

葛根田地域の地熱貯留層は浅部貯留層と深部貯留層とに分けられる。浅部貯留層は約1,000~1,500 m の深さにあり、断層や褶曲構造に起因する断層がよく発達している非常に透水性のよい貯留層で中性熱水が賦存する。深部貯留層は約1,500 m 以深にあり、断層は局所的に分布しているものの、特に新期花崗岩類の上部境界面付近にはよく発達して貯留層を形成しており、弱酸性の熱水が賦存する。

温度構造的に見ると、浅部貯留層は対流型の温度構造を示し、220~260°Cである。浅部貯留層の下底から約100 m ほど深くなる間に約50°C以上の急激な温度上昇が見られ、これより下を深部貯留層と呼んでいる。深部貯留層の温度は約300~350°Cである。地域北西部の浅部貯留層内には高温部が浅い所まで立ち上がる温度分布を示し、深部からの高温熱水の上昇を示すと考えられている。

葛根田では微小地震が多数発生しており、その様子は地質調査所によって詳しく観測されている(Ito

and Sugihara, 1988). その結果によれば、微小地震の分布は断裂発達地域の分布とよく一致することが分かっており(Doi et al., 1988), 貯留層の探査に有効な指針を与えている。

### 3. 新期花崗岩類について

葛根田地域では Well-18 の掘削によって深部にも地熱資源が存在する見込みが得られたが、その後最初の深部生産井として Well-19 が掘削された。Well-19 は 2,805 m で大規模な逸泥に遭遇し 2,818 m で掘止めたが、そこはちょうど先第三系から花崗岩に入った所であって優勢な地熱流体の流入点となった。その坑底のコアで採取されたトータル岩は葛根田地域で確認された最初の新期花崗岩類である。この坑井に続いて掘削された Well-13, Well-20 でも坑底付近で新期花崗岩類が確認され、新期花崗岩類の上面境界付近には大きな断裂が発達しており、やはり優勢な地熱流体の流入点となった。

このように葛根田地域では深部に新期花崗岩類が存在しその上面境界付近には断裂が発達して良い地熱流体の生産層となりうるということが分かり、深部生産井は新期花崗岩類の上面をねらって掘削すれば良いという方針が立つようになった。次の問題は新期花崗岩類の形、すなわちどこに新期花崗岩体があるのかということである。さいわい、葛根田地域では熱変成鉱物の分布の調査によって新期花崗岩体の形がかなり正確に予測できるようになってきた。その調査結果は概ね次のようである(加藤ほか, 1993)。

この新期花崗岩類は先第三系や新第三紀国見峠層の下に位置しているが、これらの地層は深部ほど強い熱変成作用を受けているのに対して、この花崗岩類は非常に新鮮で熱変成作用を受けていないことから新しいものであると推定された。新期花崗岩類は中粒のトータル岩～アダメロ岩～石英閃緑岩で浅所貫入型の特徴を示し、石英、斜長石、カリ長石、黒雲母、普通角閃石と、少量のカミングトン閃石、単斜輝石、斜方輝石からなっている。

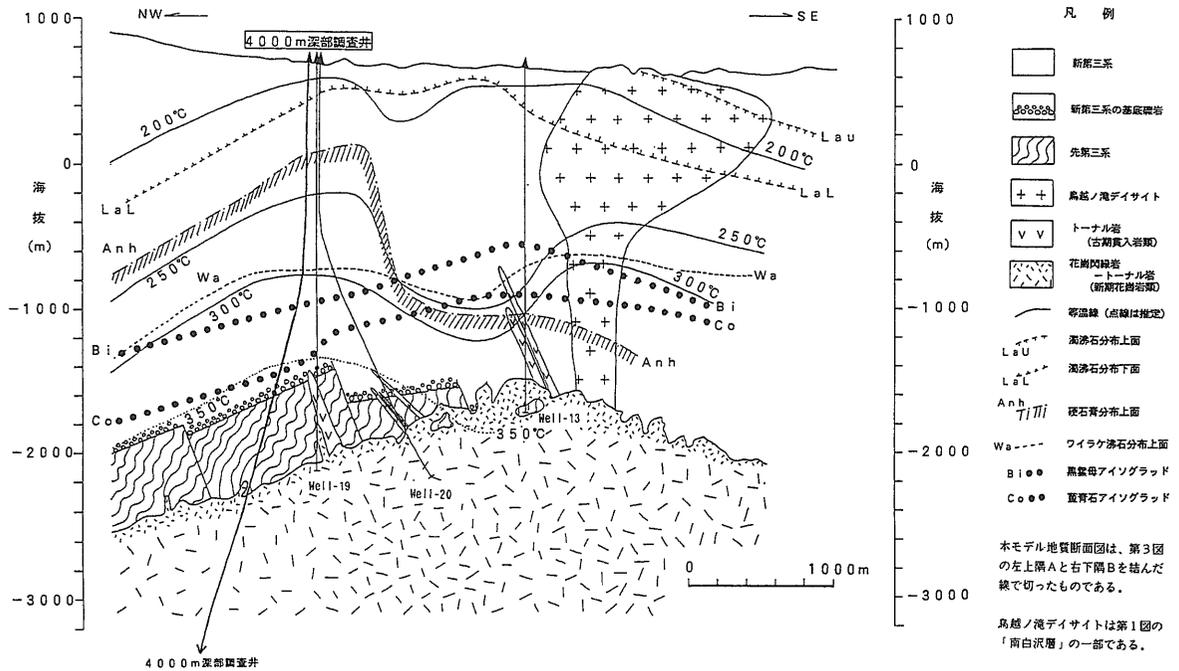
新期花崗岩体による熱変成作用を受けているのは、先第三系、新第三紀国見峠層のほか鳥越ノ滝ダイサイト(4.9±1.0 Ma)や松沢ダイサイト等の貫入岩類で、熱変成鉱物として黒雲母、白雲母、堇青石、直閃石、紅柱石、ヘスティング閃石、カミングト

ン閃石、透角閃石、磁硫鉄鉱、磁鉄鉱などが確認されている。これらの熱変成鉱物のうち黒雲母は葛根田の19本の坑井で、堇青石は10本の坑井で確認され、それぞれ初めて出現する点を連ねてアイソグラッドが描かれた。黒雲母アイソグラッドを第3図に示す。一方、Well-19, Well-13, Well-20 など実際に新期花崗岩類に当たった坑井において、黒雲母の出現は花崗岩体上面の約1,000 m 上、堇青石は同じく約700 m 上であってこの関係はほぼ一定であることが判明した。このことは、黒雲母や堇青石のアイソグラッドの形がそのまま深部の新期花崗岩体の形を表していることとなり、探査上きわめて有効であることが分かった。このようにして推定された新期花崗岩体の形は、地熱発電所の北東500 m ほどの海拔-1,300 m 付近に頂を持ち少なくとも2.0×2.5 km 以上の広がりを持つものである。

さて、最近新期花崗岩類のコアから分離した角閃石、黒雲母、カリ長石の K-Ar 年代が測定された(土井ほか, 1993)。それによれば、角閃石で 0.34~0.14 Ma、黒雲母で 0.16~0.20 Ma、カリ長石で 0.14 Ma の値が得られた。この年代値を新期花崗岩類の冷却時の年代とし、新期花崗岩類の貫入時期を玉川溶結凝灰岩類上部との対比から約 1 Ma とすると、この新期花崗岩類は年代的にきわめて若いものであり、現在の地熱活動の熱源の一部であろうと推定される。しかしながら NEDO の地熱開発促進調査の結果から、葛根田を含む高温地域(海拔 0 m 水準での地層温度が 200°C 以上)は 50 km<sup>2</sup> 以上の広がりを持つことが示されており、この新期花崗岩類の広がりよりもずっと広い。したがって高温地域全体としてはこの新期花崗岩類以外にも熱源があり、葛根田の開発地域においてもこの新期花崗岩類以外の熱源が重複してある可能性が考えられる。熱源の問題は今後の重要な研究課題である。

### 4. 深部き裂について

熱水や蒸気などの地熱流体は、地下の岩石のき裂中を流動したり貯えられているので、地下のき裂は地熱貯留層の形成には不可欠なものである。しかし一般に地下のき裂は深くなるほど減少するものである。葛根田においても浅部貯留層の下底である約 1,500 m 付近より下はき裂の乏しいゾーンが続いた



第2図 葛根田地域のモデル地質断面図  
(加藤ほか, 1993から引用, 加筆)

ため、Well-18で2,000 mを越える深部にもき裂が発達していることが確認されるまでは貯留層は約1,500 mより深い所にはないものと漠然と考えられていた。現在では葛根田の深部き裂は第2図に示すように、新期花崗岩類の上面境界付近に非常によく発達しており、その上面境界の上約200 m以内の先第三系や貫入岩中、およびその上面境界の下約100 m以内の新期花崗岩体内にも生産に寄与するき裂が存在することが確認されている。しかし最近掘削された Well-21では新期花崗岩類の上面境界付近で透水性の良いき裂に遭遇せず、新期花崗岩類の上面境界付近に常に透水性の良いき裂があるわけではないことが分かった。

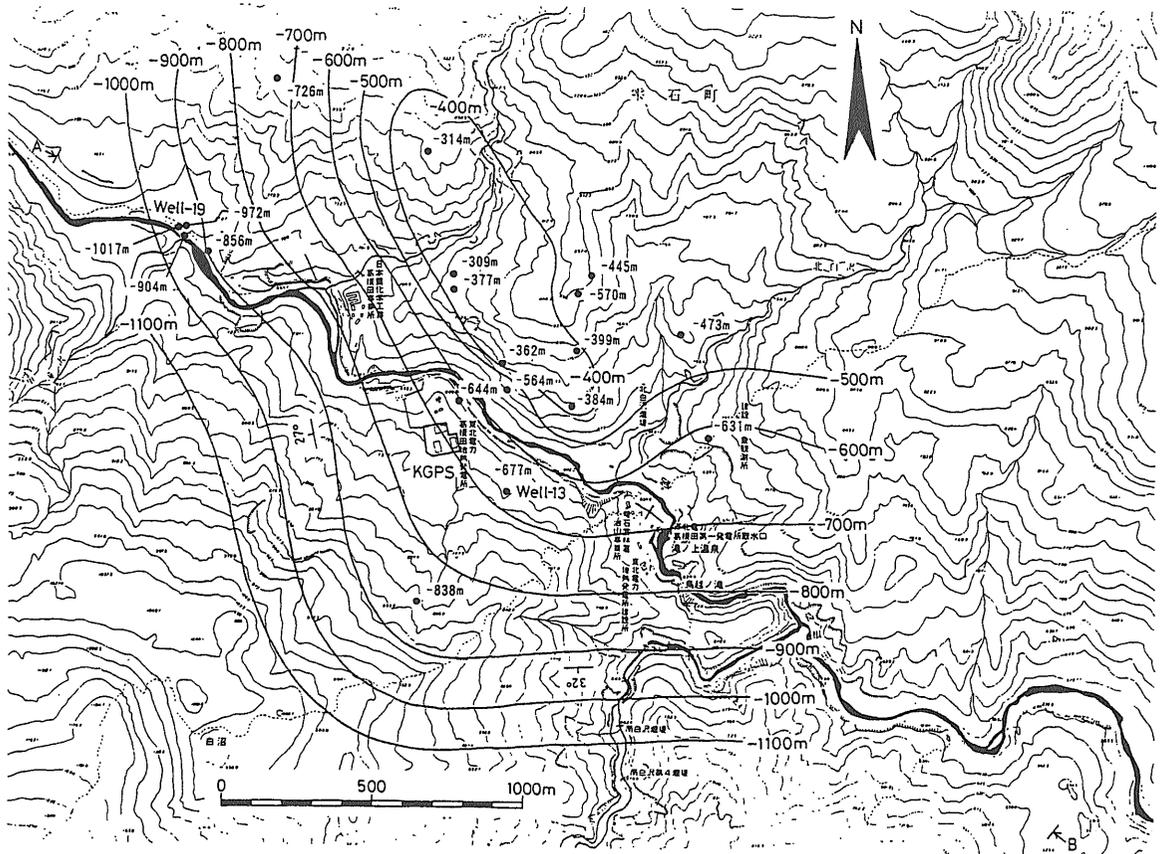
先に述べた地質調査所による微小地震観測によれば、深度約-2,500 m以深では微小地震が急減しておりき裂に乏しい新期花崗岩類の分布を表すものとも考えられる。新期花崗岩類の上面境界付近のき裂の成因については、花崗岩が貫入した時に境界付近が割れたものであるとか、花崗岩が貫入後冷却する過程で熱収縮によって生じたものであるとか、全く新しい構造運動によって生成したものであるなど様々な考え方があり、今後の重要な研究課題である。

### 5. 地熱流体の性状について

葛根田の地熱流体の性状は、浅部熱水はpH8程度の弱アルカリ性であるのに対して、深部熱水はpH3~5の弱酸性を示し、深度が深くなるほどpHは低くなる傾向を示す。浅部熱水、深部熱水ともにNaCl型であるが、溶存化学成分には差異がみられる。しかし蒸気性状は深部貯留層と浅部貯留層との間で大きな差異はみられない。

地熱流体の起源について水素-酸素同位体の関係でみると、浅部熱水、深部熱水ともに地表水起源と考えられている。地下深部まで浸透した地表水に高温の火山性ガスに含まれるHCl, SO<sub>2</sub>ガスが溶解すると酸性熱水を生成するが、深部貯留層では熱水と岩石との反応が完全に平衡に達していない言わば未成熟な状態で熱水が存在し、その深部の酸性熱水が浅部に上昇する過程で岩石との反応による中和や希釈により浅部の中性熱水流体を生成しているものと考えられている。

現在分析に供されている地熱流体は、坑井から噴気し坑口で採取したものである。しかし、坑井内では地熱流体が上昇する間にフラッシュ、いわゆる沸



第3図 黒雲母アイソグラッドの等深度線図(深度は海拔 m)(加藤ほか, 1993から引用)

騰が起り熱水と蒸気が分離したり、場合によっては坑井内にスケールとして鉱物を生成・付着させるため、坑口で採取する流体は必ずしも深部の流体と同じものではない。また、坑井に流入するまで地層中を流動する過程で元の流体は岩石と反応しているわけであるから、真実の深部地熱流体がどのようなものか、さらにその元となる起源流体はどのようなものか、実際に坑井を掘削して深部のその場で流体を採取して調べることが重要な課題となろう。

## 6. おわりに

葛根田地域でも深部地熱についての調査研究は始まったばかりでまだまだ不明な事や疑問な点が多い。これらの問題を解明することができれば、日本の他の地熱地域はもちろん世界の地熱開発にとっても大きな指針が得られることとなる。NEDOの深部地熱資源調査には世界の注目が集まっているが、

深部調査井での調査が成功して地熱資源の全貌の解明に一步でも近付きたい。

### 参考文献

- Doi, N., Muramatsu, Y., Chiba, Y. and Tateno, M. (1988): International Symposium on Geothermal Energy, 1988. p. 522-525.  
 土井宣夫・加藤 修・蟹沢聰史(1993): 日本地熱学会平成5年度学術講演会講演要旨集, P2.  
 Ito, H. and Sugihara, M. (1988): International Symposium on Geothermal Energy, 1988. p. 109-112.  
 Kato, O. and Doi, N. (1993): Proceedings 15th NZ Geothermal Workshop 1993.  
 加藤 修・土井宣夫・村松容一(1993): 日本地熱学会誌, 第15巻, 第1号, p. 41-52.  
 越谷 信・大上和良・菊地 康・平山拓哉・早坂祐里・宇沢政晃・本間健一郎・土井宣夫(1993): 日本地熱学会誌, 第15巻, 第2号, p. 109-139.

Miyazaki Shin-ichi (1994): Deep seated geothermal system at the Kakkonda field, Japan

<受付: 1994年1月21日>