

## 「地熱資源開発に係る温泉・地下水への影響」検討会

「地熱開発に係る温泉への影響について考えられる影響の内容とそのシステム、  
地熱開発による影響を回避あるいは軽減しながら温泉事業と共存する方法」  
提言（日本温泉科学会会長の立場から）

平成 23 年 9 月 28 日  
於アルカディア市ヶ谷  
日本温泉科学会 会長  
西 村 進

### 1. はじめに

表題のような課題に対して日本温泉科学会としての意見を求められた。日本温泉科学会は、会員数 330 名程度で、医療・温泉利用から地球科学、生物の研究の専門家を持って成りたち、古くから（昨年 70 周年）研究が進められている学会で、早急に意見をまとめられる学会ではない。しかるに、地球科学、温泉利用の専門家は地熱学会にも所属しているものが多い。地熱学会で「地熱発電と温泉利用との共生を目指して」検討された報告書（日本地熱学会，2010）も頂き、今年度から討議の機会を持つ意向を持っている。

まだ日本温泉科学会としての意見はまとめていないので、今回は出来るだけ今までの日本温泉科学会の中での意見と考えられるものを述べることにする。提案としては提言者個人のものをまとめるものとする。

提言者は京都大学教養部助教授当時、通商産業省工業技術院のサンシャイン計画の一環として行われた「全国地熱基礎調査（昭和 48～50 年度）の調査を地質調査所併任として角清愛課長のもとで調査をすすめた経歴をもつ。主に東北地方の火山活動の火山の帯状分布と熱年代の面から加わった。その後再び火山活動や温泉の地質構造や物理探査、熱年代学の研究に戻って行った。一方、「放射性廃棄物地層処分」の研究を桂山幸典京都大学原子炉実験所教授とはじめ、さらに、二酸化炭素の炭層固定のモニタリングを担当してきて、地熱地帯の深部の地質構造に興味を持ってきた経歴がある。また、日本地熱学会が発足した時から地熱学会の会員ではあるが、次第に温泉科学に研究の中心を移していった。今回は、出来る限り温泉科学の研究者としての立場から提言したい。

### 2. 日本温泉科学会の一般的な意見

地熱発電の最初の段階では、地熱の研究者は潤沢な国の予算のもと、探査も石油の探査手法などを導入し、大規模開発を目指してきた。一方、温泉の研究者は出来る限り自然に近い状態の温泉の保全のもとに起こる種々の研究を進めてきた。そのことから、同じ自然

の「地熱」の研究をしながら、温泉の研究者は泉源の下にどのような構造があるかにはあまり興味がなく、泉質に興味を持ち、温泉化学の研究でもその温泉場の最も地下水で薄められていない端成分のもので議論するのが普通で、生物の研究でも泉源にどのような生物が生きているかに興味があり、医療の方でも湧出している温泉水を使っただけの研究が多いので、温泉ありきからスタートしている。これは、自然の状態を変化させたくないことがスタートである。

地熱の研究者は、地下深部での熱構造、蒸気の胚胎の仕方が探査の目的であり、特に地下深部の地質構造、地熱構造の探査法を駆使してきた。条件としては、温泉と地熱は深度が違うのだから、影響は少ないとの先入観があった。

温泉は泉質を必要要素とし、1か所の泉源が50℃程度、30～1000ℓ/分程度で充分であるのに対し、地熱の泉質はできる限り成分を含んでいないことを好み、蒸気の必要量が非常に桁違いに多いので、探す場所が異なると考えていた。

現在では、温泉利用も堆積物中の泉源だけでなく、岩盤中でも1,200～1,500m程度まで掘削して利用されるようになってきて、2,000～3,000m深度程度の探査がなされてきた(たとえば、西村, 2011)。さらに、紀州の外帯高温泉や有馬の金泉の温泉の成りたちなどもマントルを含めて考察することもされるようになってきた(西村, 2011)。さらに、温泉の一人当たりの使用量も次第に多くなってきている。

一方、地熱発電も利用熱水の温度が、低温の方に可能性が広がってきている。しかし、その場合熱水の量が多く必要になり、これらのことから、温泉、地熱の探査の範囲、深度も近づき、互いに影響を意識するようになった。今では、温泉利用と地熱利用の違いは泉質と量の点になりつつある。

温泉で利用するにも、地熱発電で利用するにも、地下深部の地熱構造をお互い理解することが必要であり、開発計画立案等に協力し、その場所の将来の開発事情などを議論し、お互いの理解のもとに協議して共存を図る必要がある。

この場合、総論よりも候補地を特定し、地熱胚胎構造、化学的性質をも考慮して、将来の利用形態まで分担して検討を行い、開発計画を立案し、工事中もお互いの必要なモニタリングを綿密に行い、工程、仕上がりの監視検討を続け、最終の利用形態をも共同で上げることが最良の方法と信じる。これらは個人情報に属するものを除き、すべて公開を条件とすることが必要である。

さらにこのためには、規制側のクリアーも必要になるが、提案者の経験では、行政・司法関係者の温泉や地熱発電の理解が非常に悪いのが現状で、行政・司法で問題になった場合に、関連学会の研究者に参加を要求し、関係者が理解の上判断を下すことが必要である。

温泉を利用したバイナリー発電の提案もある。利用されやすい提案に考えられるが、これも湯温、湯量の面から管理制約を受けるので、理解の上計画立案されることが必要である。

これらも、公開で内容を検討され開発の立案がなされることが大切である。

### 3. 温泉の研究者の一人の提案

20 年近く前、京都大学原子炉実験所の桂山幸典教授がとくに高レベル放射性廃棄物処分に心を使われ、筆者を伴い、財団法人原子力環境整備センターに赴き、研究の立ち上げを強く勧められた。我々の考えではいわゆる地層処分しか考えられないとした。その直後、桂山教授が倒れられた。当時、センターは低レベル放射性廃棄物の処分が担当とされており、1992～2000 年度に「低レベル放射性廃棄物処分可視画像化調査」（主査小出仁、地質調査分科会を西村が担当）の研究がなされ、2001 年の高レベル放射性廃棄物地層処分の概要調査地区選定、2006 年精密調査地区選定の段階の基本的考え方のまとめに、土木学会原子力土木委員、原子力安全委員会専門委員として参加した。しかし、処分地が決まらないで原発が多く建設されることに危惧を感じ機会があるごとに意見を述べていたが、原子力発電環境整備機構（NUMO）ができてからは、発言の機会をなくした。

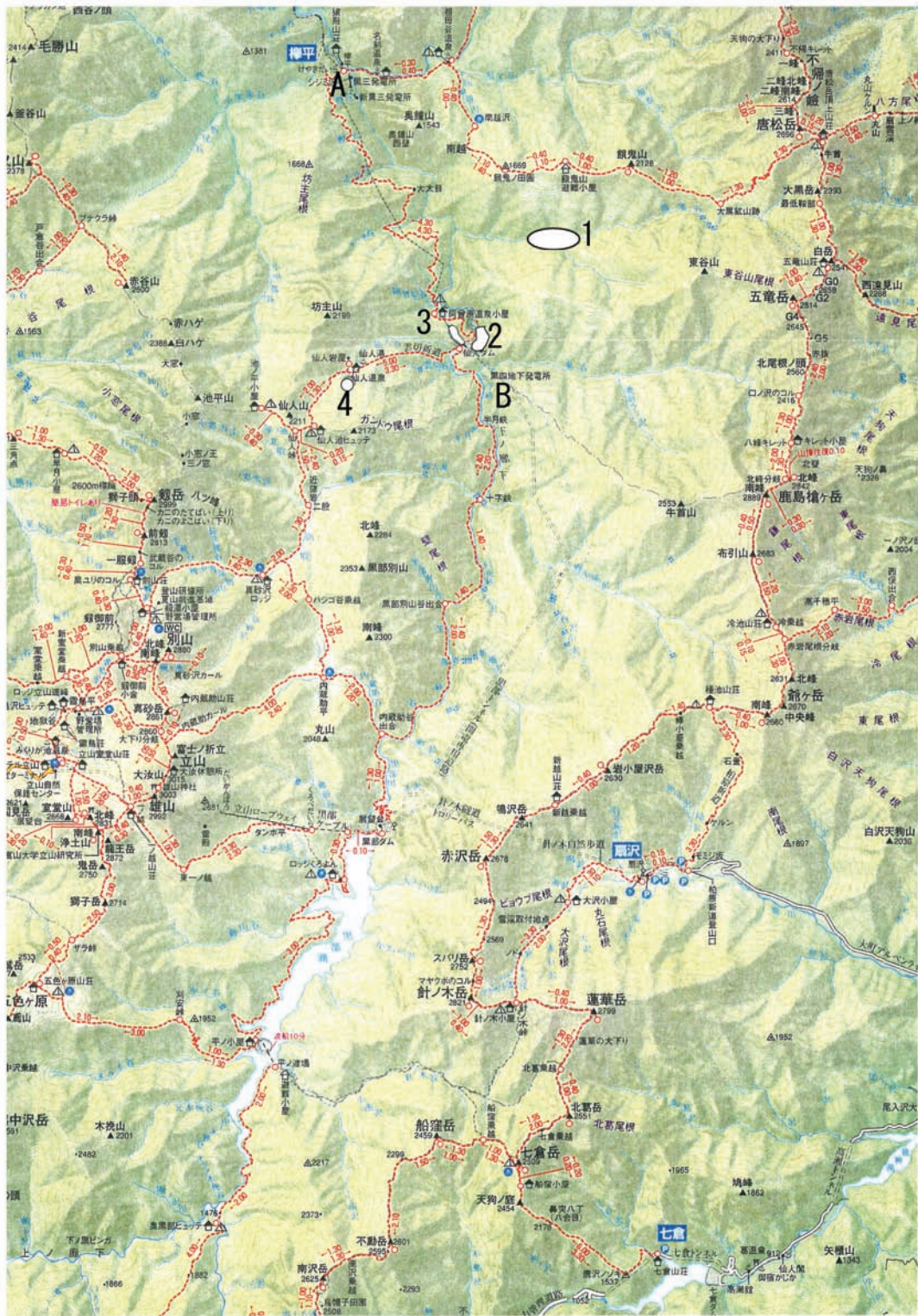
このような状況と今回の福島第1原発の人災をみて、現状では、次第に電力の原発に大きく頼ることを少なくする傾向に傾くのは仕方がないと考えざるを得ない。

このような時に、地熱発電の活性化を提案する「地熱エネルギー利用促進(地熱発電)に係る政策提言」（平成23年5月20日、日本地熱学会）も発表された。また、国立公園の制限などが緩和されることなので、まず地熱利用と温泉利用とで、競合が少なく、工事期間が短くて済む場所の例をあげて提案し、前例を作り、次第に共存するための道筋を造り上げるよう提案したい。

#### 「高温岩体を利用した地熱利用」の提案の1例

酸性の深成岩の残熱を保持している高温岩体を利用する。花崗岩を主とする酸性岩体のほとんどは、日本海が開いた時期に地殻下部の再溶融が起こり、酸性岩マグマが多量に発生し、比較的ゆっくりとした冷却に従い、先にできた岩体中にガス成分などが多いマグマが貫入するなどして、現状では岩相の変化の多い岩体がやっと地表に現れた程度のとくに第四紀に上昇の激しい場所では、冷却していない部分が地表に現れているところがある。

黒部川の仙人ダムの近くの「高熱隧道」（たとえば、吉村，1967）の例を挙げる。提案者は関西電力の総合技術研究所の1980～1983になされた「黒部川中流地熱地帯の調査」に探査の立案から加わり、文献調査、地表地質調査、地球化学的調査、茂木・西村で試作した、ELF-MTによる比抵抗調査、熱年代学的調査を集中的に試みた（Nishimura and Mogi, 1986）。この周辺の地形図と地熱兆候の場所を第1図に示す。

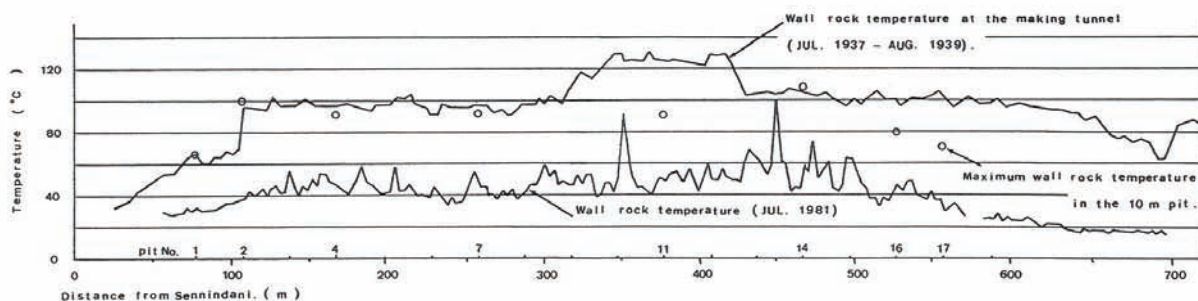


第1図 黒部川流域の地熱兆候の地下構造物の位置

1：餓鬼谷の地熱兆候、2：阿曾原温泉近辺の地熱兆候、3：高熱隧道、4：仙人温泉の地熱兆候、A：200mのエレベータ、B：400mのインクライン



その中の一部のデータを示すと、1937年6月から1939年8月の掘削された時の孔壁温度の記録を頂き、同じ場所の調査当時の1981年6月に計測した孔壁の温度並びに鉛直から45度西傾斜に10m深度のピットを掘り、その孔底の温度を計測したものを第2図に示す。この場所にはトンネルの他、導水管などが掘削されているにも関わらず、40数年でも殆ど冷えていない。この近くの黒部川沿いに北側の阿曾原温泉までの間、黒部花崗岩の水平に近い亀裂から80℃以上の湧泉が見られた。その後、地質調査所の5万分の1地質図幅「立山地域の地質」(原山他, 2000)では、阿曾原小屋東方、黒部川本流左岸において黒部川花崗岩及び阿曾原峠花崗閃緑岩のクラックから4か所にわたり湧出している。湧出量は全体で200ℓ/分と見積もられ、泉質は含食塩硫黄泉(注、濃度からみると単純泉)で、温度は90℃前後である。



第2図 仙人ダム近くの「高熱隧道」内の地温測定

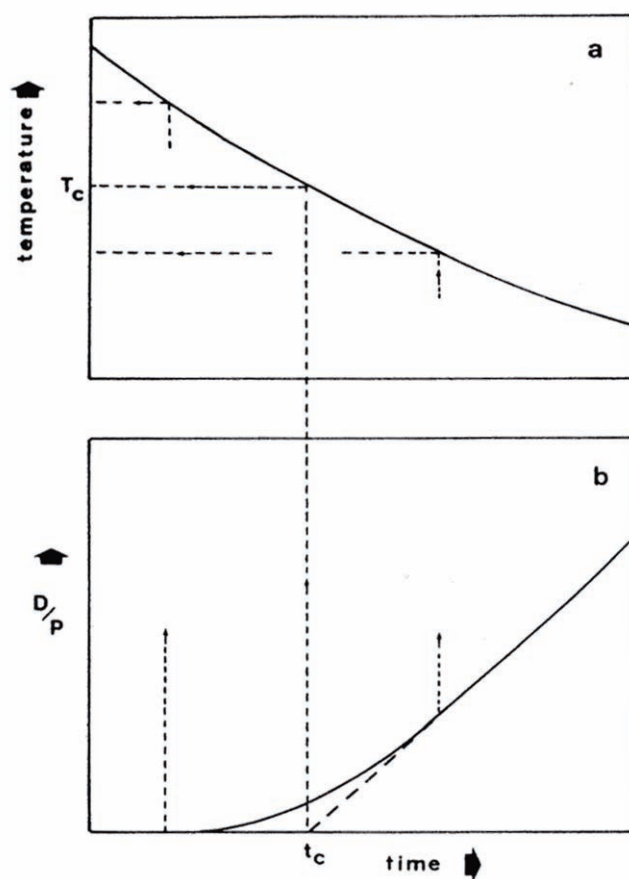
この調査の折に、少し北で黒部川本流を渡り、餓鬼谷をさかのぼり、見事な複数の噴泉塔を見出し、まむし、蛙の生息地を見ている。前述の地質図幅の報告書には、調査を行った1995年10月の時点では、餓鬼谷の右岸標高870~880mでは3か所、同じく右岸900~940mで6か所温泉の湧出が確認されたが、噴泉塔は見つからなかった。湯量は数~総100ℓ/分で94~100℃であった。

さらに、急な同じ傾斜で直登している仙人谷の中ほどに仙人小屋があり、その対岸標高1,580mに仙人温泉が噴気と共に5か所湧出している。泉質は含緑礬酸性泉(注、濃度からみると単純泉)で湧出量は1200ℓ/分、80~96℃である。

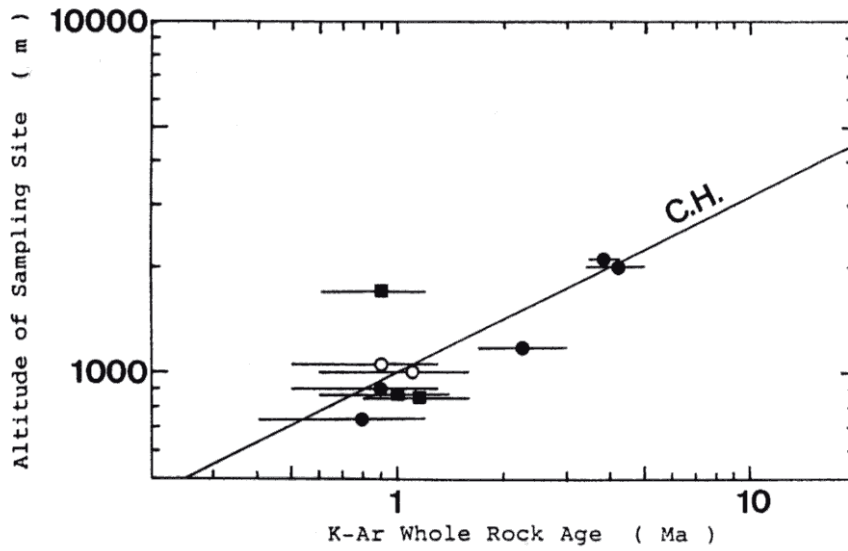
この辺りの新鮮な岩石を採取し、閉鎖温度(第1表;第3図)が低い、K-Ar年代FT(Zr)年代でその上昇と冷却を論じている(第4図;第5図)(Nishimura and Mogi, 1986; 山田, 1999)。

第1表 閉鎖温度 (冷却速度  $10^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$ ) の一例 (Nishimura and Mogi, 1986)

方法	試料	閉鎖温度( $^{\circ}\text{C}$ )
F.T	アパタイト	$110 \pm 15$
F.T	ジルコン	$200 \pm 30$
K-Ar	黒雲母	$270 \pm 40$
K-Ar	全岩	$400 \sim 600$
Rb-Sr	全岩	結晶温度

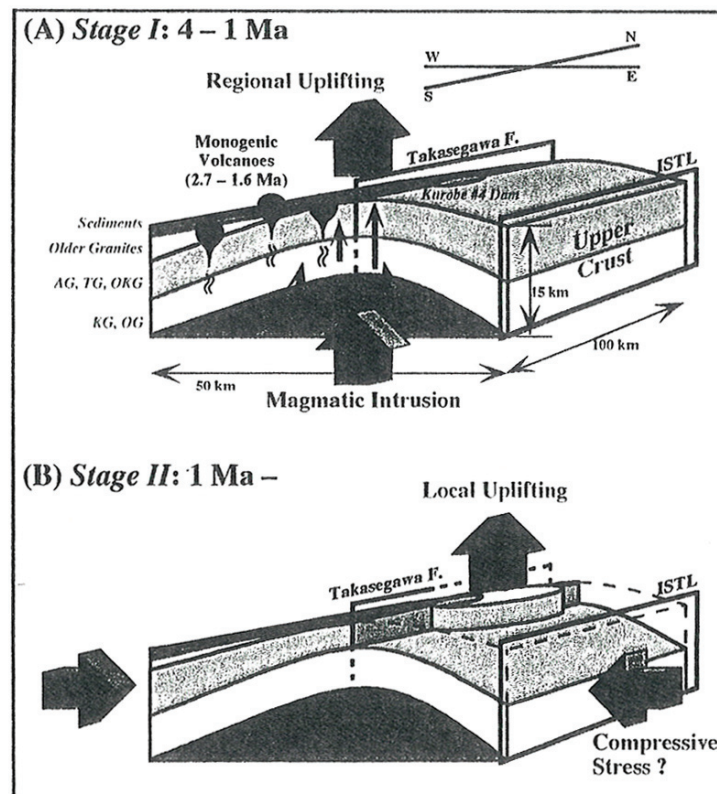


第3図 放射性同位体による年代 ( $t_c$ ) の閉鎖温度 ( $T_c$ )  
 a. 冷却曲線 b. 娘元素の生長曲線、 D/P 娘元素と親元素の比



第4図 仙人谷に沿っての K-Ar 年代

● 花崗閃緑岩 ○石英閃緑岩 ■ 石英斑岩 (岩脈)

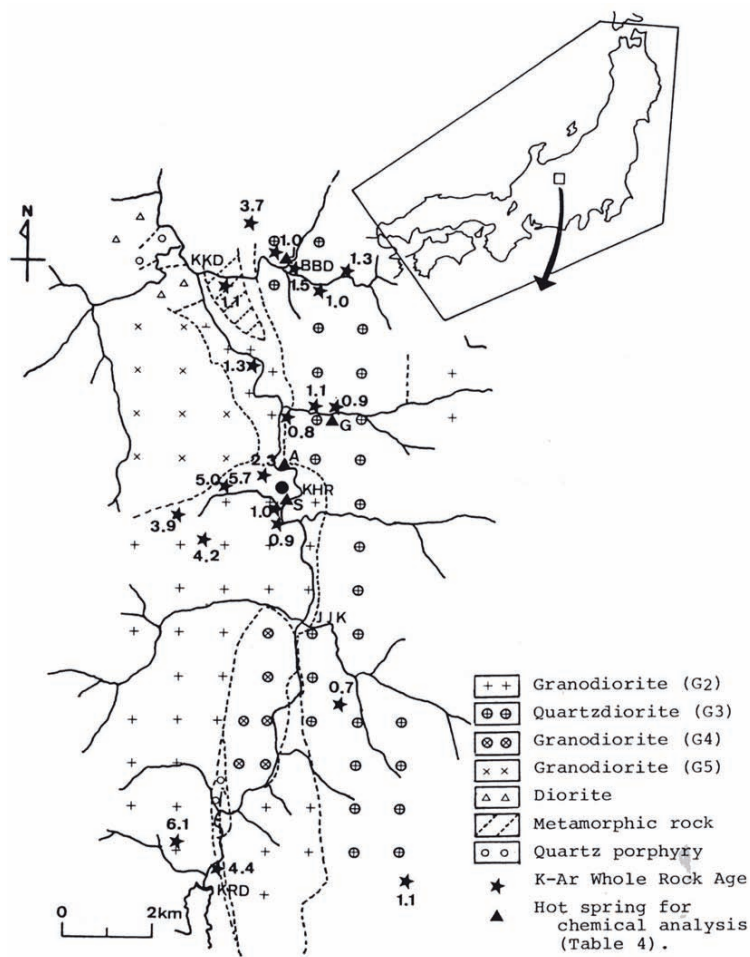


第5図 K-Ar 年代とフィッシュトラック年代で導いた黒部花崗岩帯の上昇モデル (山田, 1999)

この地域では、樺平の 200m のエレベータ、黒四地下発電所、400m のインクラインなどの地下工事がなされている前例がある。また餓鬼谷は通常の尾根道ではなく、殆ど登山者は通らない。さらに、夏に利用者の多い名剣温泉、祖母谷温泉からも離れ、この近辺の温泉は湧出量に比べて、利用客が非常に少ない。

他にこのような低い閉鎖温度を持つ K-Ar 年代で数 Ma の熱年代を持つ酸性岩の場所を探せば、同じような可能性がある(第 6 図)。

これらのところでは、蒸気を得ることがなくても、水の圧入孔や蒸気の生産孔を掘り、水圧破碎などを行い、蒸気を産出することも可能であろう。さらに、破碎のための圧入する流体(たとえば高压の超臨界二酸化炭素)を検討することも新しい手法の開発につながるのではない(環境総合テクノス, 2005)。



第 6 図 黒部川沿いの花崗岩の岩相と K-Ar (WR) 年代



#### 参考文献

- 環境総合テクノス（2005）：二酸化炭素炭層固定化技術開発成果報告書（平成17年3月）。
- 原山智、高橋浩、中野俊、刈谷愛彦、駒澤正夫（2000）：立山地域の地質、地域地質研究報告5万分の1地質図幅、地質調査所、
- 日本地熱学会（2010）：地熱発電と温泉利用との共生を目指して、地熱発電と温泉の共生を検討する委員会報告書、62頁、日本地熱学会、東京。
- 西村進（2011）：近畿地方の高温泉とその地質構造、温泉科学、60、481-491。
- 西村進、赤松信（2011）：兵庫県のいくつかの温泉と地質構造、温泉科学、61、25-32。
- Nishimura, S. and Mogi, T. (1986): The Interpretation of Discordant Ages of Some Granitic Bodies, J. Geotherm. Research Soc. Japan, 8, 145-164.
- 山田隆二（1999）：フィッシュトラック法による北アルプス花崗岩類の冷却史解析、月刊地球、21、803-810。
- 吉村昭（1967）：高熱隧道、226頁、新潮社、東京。