

7-3 地学的見地から

板寺 一洋

(神奈川県温泉地学研究所)

1. はじめに

日本の有する地熱資源量はアメリカ、インドネシアに次いで世界第3位と見積もられている(村岡ほか、2007)。これに対して、国内では、1999年に八丈島地熱発電所の運転が開始されて以降、新規の地熱発電所は建設されておらず、地熱資源開発が停滞しているとの指摘もある(村岡、2008)。こうした中、まず、地球温暖化対策の観点から、そして東日本大震災以降は、エネルギー確保の観点から、地熱エネルギーの活用が注目されている。

わが国において地熱エネルギーの利用が進んでこなかった原因の一つとして「温泉と地熱発電の共生」の問題を挙げることができる。この問題は、「国内では地熱発電が温泉に影響したケースはない。」とする地熱開発事業者が、「温泉への影響」に関する温泉事業者の懸念を払しょくすることが出来ず、両者の間に、長らく対立とも言える状態が続いていることに起因している。本稿では、対立のポイントとなっている「影響」の予測と評価の観点から、温泉と地熱発電の共生に関わる現状と課題について述べることにする。

2. 影響の予測に必要な事柄

「地熱発電事業が温泉に影響するかどうか。影響があるとすればそのくらいか。」という問いは、主に(事前調査も含めた)開発事業が着手される前段階での予測に関わることである。この問いに答える(すなわち、影響について正確な予測をする)ためには、2つの事柄を明らかにする必要がある。一つ目は温泉・地熱系のモデルであり、二つ目はエネルギーと熱水・温泉の収支である。

2-1. 温泉・地熱系のモデル

温泉・地熱系のモデルとは、発電事業で採取される地熱流体と付近にある温泉のそれぞれについて、どのように生成されているか、循環・貯留の状況がどうなっているか、さらに両者の関係性がどうなっているかなどを含む総合的な考え方を指す。

地熱発電開発の候補地となるのは火山地域である。火山の地下には、火山活動の根源となるマグマだまりや、そこから派生した熱水だまりが存在し、開発のための地熱貯留層（地熱流体が循環する地層）の存在が期待されるためである。そして、地熱発電との共生が問題となるのもまた、火山地域に分布する火山性温泉である。近年の種々の研究により、火山性温泉の水分の大部分は天水（雨水）に由来していること、そして、成分と温度は火山活動により深部から供給される熱水や蒸気、熱エネルギーに由来していることが明らかにされている。これらのことから、地熱流体と温泉とは、地下深部から供給される火山性の熱水やエネルギーというキーワードで関連しているとみるべきであろう。

図1は、温泉・地熱系のモデルを模式化したものである。発電事業に見合う地熱貯留層が形成されるためには、熱水が流動するための亀裂を含む構造とともに、浅部にある温泉や地下水の帯水層と、深部の地熱流体の循環系を隔てる透水性が極めて低い地層（帽岩、キャップロックとも言う）が広く分布することが重要であるとされている（環境省、2012）。

帽岩は、温泉帯水層と地熱貯留層との間の、いわば間仕切りである。その仕切り具合により、温泉と地熱流体の関係性は異なっている。たとえば日本地熱学会（2010）は①同一熱水型、②熱水滲出型、③蒸気加熱型、④伝導加熱型、⑤独立型の五つのタイプを示している（図2）。

「温泉・地熱系のモデル」について検討するためには、既存の文献資料収集、現地踏査に加えて、種々の物理探査やボーリングによる地下構造の調査、熱水・温泉・地下水の分析調査などを実施し、データを収集する必要がある。「影響が有るか無いか」についての議論に終始するあまり、これらの調査が実施されないと、肝心な影響の可能性について予測ができないというジレンマに陥ることになる。

2-2. エネルギーと熱水・温泉の収支

地熱開発により、温泉に対してどの程度の影響があるかということ予測するためには収支の視点も不可欠である。収支の視点とは、地熱エネルギーおよび熱水・温泉の量のそれぞれについて、開発しようとする地域全体にどのくらいあるのか、現在利用されているのはどのくらいか、そして、新たに取り出そうとするのはどのくらいか、ということ定量的に検討することである。

村岡ほか(2007)は、国内の119ある活火山に対して2347万kwという地熱資源量を見積もっている。この数値は、我が国が地熱資源に恵まれていることを示す根拠としてしばしば引用されるが、見方を変えれば、国内各地の地熱資源量には上限があることも示している。地熱開発の候補地となるような活火山の周辺には、古くから温泉として地熱エネルギーを利用している温泉地がある(図3)。すでに多くの地熱エネルギーを使用している温泉地の周辺では、新たに発電のために多量のエネルギーを取り出すことは現実的ではない。

表1に、海外の地熱発電所が、温泉を含む環境に与えた影響についての報告事例を掲げた(環境省、2011)。ここに掲載された発電所は、どれも数百MWクラスのものであり、日本国内の発電所と比較するとかなり規模が大きい。そのため一概に比較することはできないが、発電所の周辺で、温泉水位や温度の低下、量の減少、地震の発生などの報告がなされている。さらに、これらの影響への対策を施した後も、回復なしとの記載も見られる。

国内の事例については、環境省(2011)が「我が国の地熱発電所は、昭和41年(1966年)に操業開始した松川地熱発電所が最初であり、40年以上の実績がある。この間、これまでに地熱開発に伴う周辺温泉などへの環境影響が発現した事例はなく、順調な運転を続けている」と報告している。これについては、国内の地熱発電所の規模が比較的小さいことや、発電のための地熱流体採取と温泉利用とでは対象とする深度が異なるためであるといった説明がされていることが多い。

しかしながら、表1に示した海外の影響事例は、地域の地熱資源量には上限があり、無秩序かつ過剰なエネルギー採取が様々な影響に結びつく可能性があることを示している。多くの温泉事業者が危惧しているのも、まさにこの点なのではないだろうか。

3. 温泉と地熱発電の共生に向けて

「地熱」と「温泉」の対立関係について、日本地熱学会(2010)は「地熱発電側の往時の説明として、地熱貯留層と温泉帯水層は深度が違い、間に不透水層があるから関係はないとする間答無用の説明が不信を招いたことが尾を引いている面がある」と述べている。地熱開発事業者は、主に「温泉・地熱系のモデル」の視点から、開発による温泉への影響の可能性が低く、実際に、国内では、地熱発電

事業が既存温泉へ影響した事例がないことを主張してきた。

しかしながら、現在稼働中の地熱発電所の近傍にあるのは、どれも比較的規模の小さな温泉地である。当然のことながら、一分間あたりの総ゆる出量が数万リットルに及ぶような有力温泉地の近傍に地熱発電所が建設された事例はない。地熱発電事業に必要な蒸気量が一分間あたり数千トンにも及ぶことも考慮すると、過去に影響事例がないことが、今後の計画についても「影響の可能性が低い」根拠とはならない。温泉事業者の多くは、「エネルギーと熱水・温泉の収支」の視点から、既存温泉の温度やゆる出量に対する直接的な影響を危惧しているのである。

温泉事業者と地熱開発事業者の対立状態が続いてきた要因の一つは、このように、それぞれが異なる視点から「影響」について主張してきたため、議論が噛み合っていないことにあるのではないだろうか。「地熱開発の温泉への影響」を予測するためには、どちらの視点も不可欠である。さらに、十分なデータにもとづく科学的な検討を積み重ねることで、予測の信頼性・公平性が確保されなければならない。

そして、ひとたび発電事業が着手されたら、「温泉に対するもの含め、環境に対する影響があったかどうか」という評価と、それを踏まえた事業計画の妥当性の検証や見直しが必要となる。事業者側は、発電事業が健全に継続されるために種々なモニタリングを行うであろう。一方、温泉に対する影響の有無と、その度合いを評価するために重要となるのが、対象地域にある源泉一つ一つの温度や水位・ゆる出量の経過に関するデータである。地熱発電に限らず、多くの開発行為について、事前のモニタリングデータが不十分なために、影響の判断が曖昧になっているケースが見受けられる。地熱発電は、発電所の建設・運転開始に至るまでに、事前調整や事前調査の期間も含めて数年から十年スパンの時間を要する事業である。両者の協力のもと、開発期間の前から、しっかりとしたモニタリング体制を整えることが必要だし、そのための時間的猶予はあるはずである。

以上、はなはだ簡単ではあるが、「地熱発電事業の温泉に対する影響」の予測と評価に関わる事項について整理した。今後、温泉事業者と地熱開発事業者とが、影響予測に関する十分な科学的知見と、影響評価のためのモニタリングデータを共有したうえで、地域にふさわしい地熱利用の在り方について議論を深める事例が一つでも多く実現することを期待したい。

文献

環境省(2011) 平成22年度地熱発電に係る環境影響審査手法調査業務報告書、174p..

環境省(2012) 温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)

村岡洋文(2008) 再評価されつつある地熱開発ニーズに応じて、産業技術総合研究所
地圏資源環境研究部門 Green Report2008、1(1)、13-16.

村岡洋文・阪口圭一・玉生志郎・佐々木宗建・茂野博・水垣桂子(2007) 日本の地熱ア
トラス、産業技術総合研究センター、110p.

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、62p.

図1 地熱潮流層の概念図（環境省(2012)：温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)による)

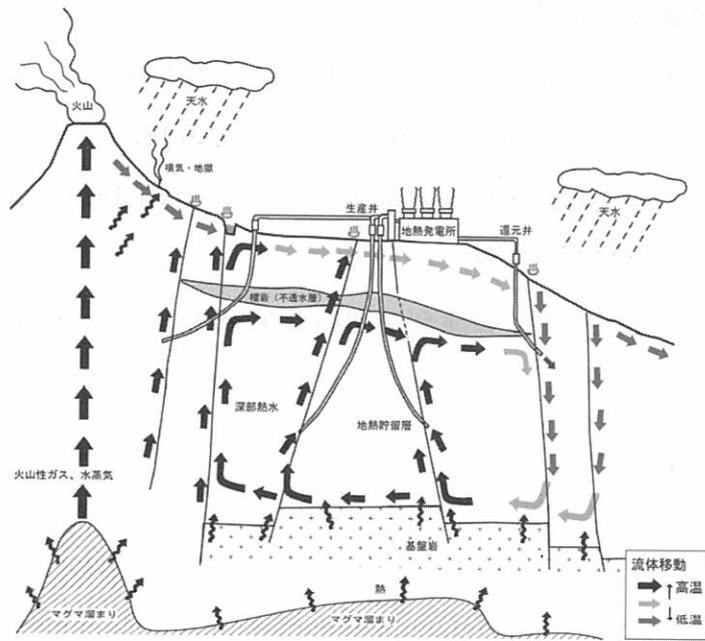
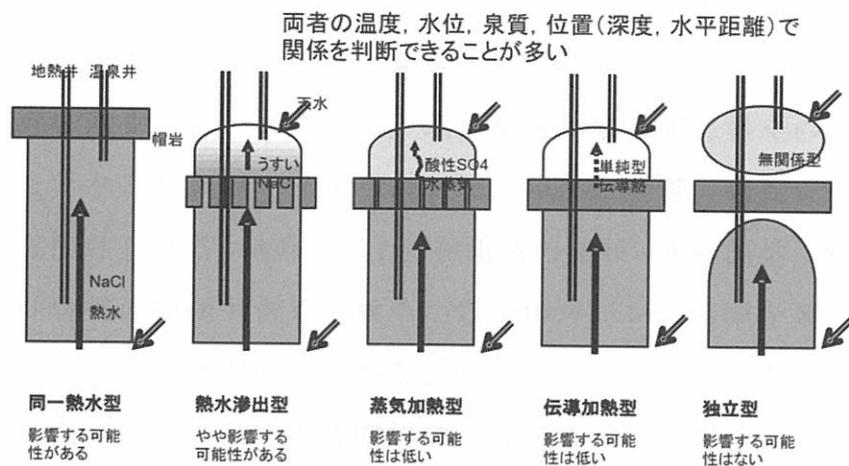


図2 地熱貯留層と温泉と帽岩の関係（日本地熱学会(2010)による)



熱水の取り過ぎにより地熱貯留層の圧力が低下する場合に影響が生じる。地熱貯留層の収支バランスがとれていれば影響は生じない。また、温泉相互の関係と、他の人為的、自然的影響があり得るので判断には注意を要する。

図3 国内の活火山分布と諸国温泉一覧（明治20年発行）掲載の温泉地

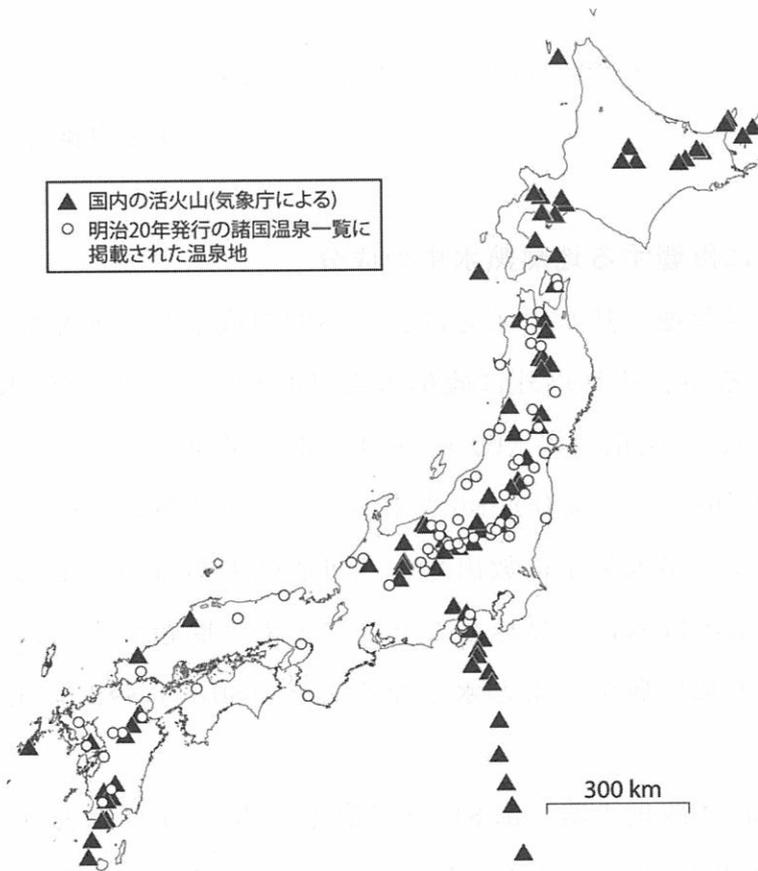


表1 海外における地熱発電に関する環境影響事例（環境省（2011）より抜粋）

国	ニュージーランド		フィリピン		イタリア	米国	スイス
事例名	ワイラケイ	オハーキ	ティウイ	トンゴナン	ラルデレロ	ガイザー	バーゼル
発電規模 (MW)	204	104(4基)	330(6基)	723(21基)	543(21基)	1421(21基)	(情報なし)
面積 (km ²)	15	5~8	13	120~150	250	100	(情報なし)
生産井数	60	24	43	81	180	424	3
発電開始年	1958年~	1988-89年~	1979年~	1983年~	1910年~	1960年~	2006年~
環境影響	温泉減少	水位低下	水位低下		流量低下	流量低下	
	温度低下	○	○				
	温泉枯渇	○		○			
	間欠泉停止	○					
	成分減少	塩化物含有量			塩化物濃度		
	地震誘発			○			○
その他			水蒸気爆発		蒸気・ガス噴出停止	蒸気供給量低下	
対策等	還元井設置	還元井の設置 分離熱水を温泉へ直接供給 温泉底部へのコンクリート施工	還元井の設置 開発対象地の移動	還元井の設置	還元井の設置	注水	開発停止
回復	回復なし	水位上昇 ただし、分離熱水の直接供給により、水温変動、塩化物含有量増加が発生	回復なし	塩化物濃度増加 流量増加	回復なし	生産量減少に歯止め ただし、注水量増加に伴い地震増加	開発停止から5か月後まで 地震観測