

地質調査

2018

第2号

(通巻152号)

Japan Geotechnical
Consultants Association

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

巻頭言

≫ エネルギー問題の切り札・地熱

小説家 真山 仁

小特集 地熱

≫ 東日本大震災後の地熱開発の動向

..... 當舎 利行

≫ 新たな大型地熱発電所
「山葵沢地熱発電所」の建設

..... 中西 繁隆

≫ 地熱発電開発における理解促進と
地域共生の現状と課題

..... 窪田 ひろみ

≫ バイナリー発電と熱水活用事例

..... 奥村 忠彦

≫ 土湯温泉町の復興・再生に
温泉発電とエビの養殖で挑む

..... 加藤 勝一

≫ 別府温泉の地学的成り立ち… 由佐 悠紀

≫ 地熱資源を探る -地熱地質学-

..... 清崎 淳子

≫ 海外における地熱発電の動向

..... 海江田 秀志

教養読本

≫ 温泉の定義

(温泉法に基づく温泉の定義や泉質の決め方など)

..... 菊川 城司

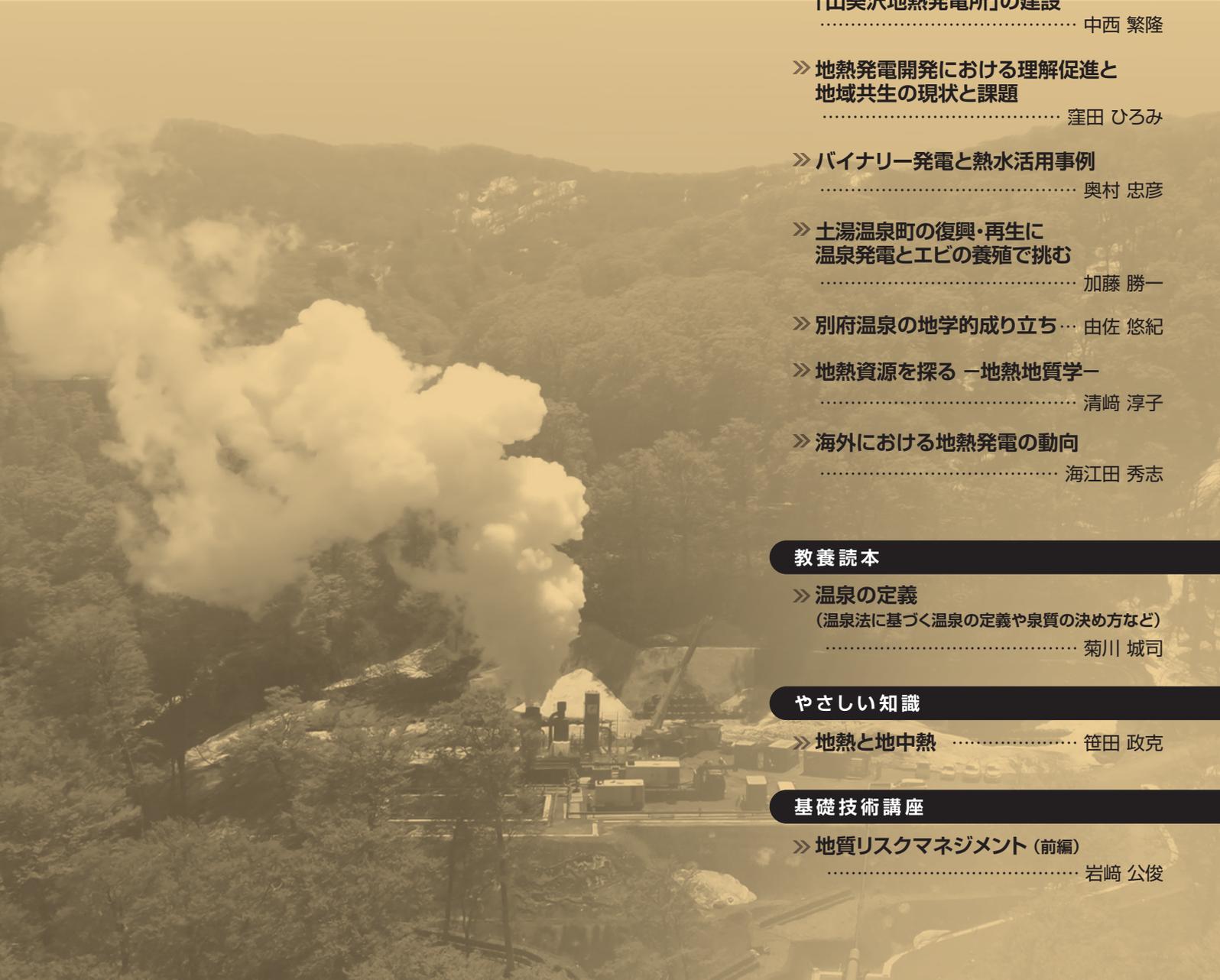
やさしい知識

≫ 地熱と地中熱 笹田 政克

基礎技術講座

≫ 地質リスクマネジメント (前編)

..... 岩崎 公俊

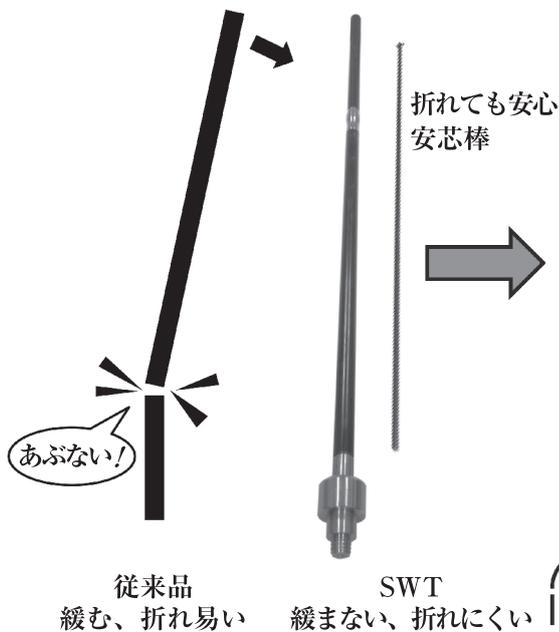


扶桑工業は、『安全』を提案します

ボーリング作業の安全対策はこれだ!!

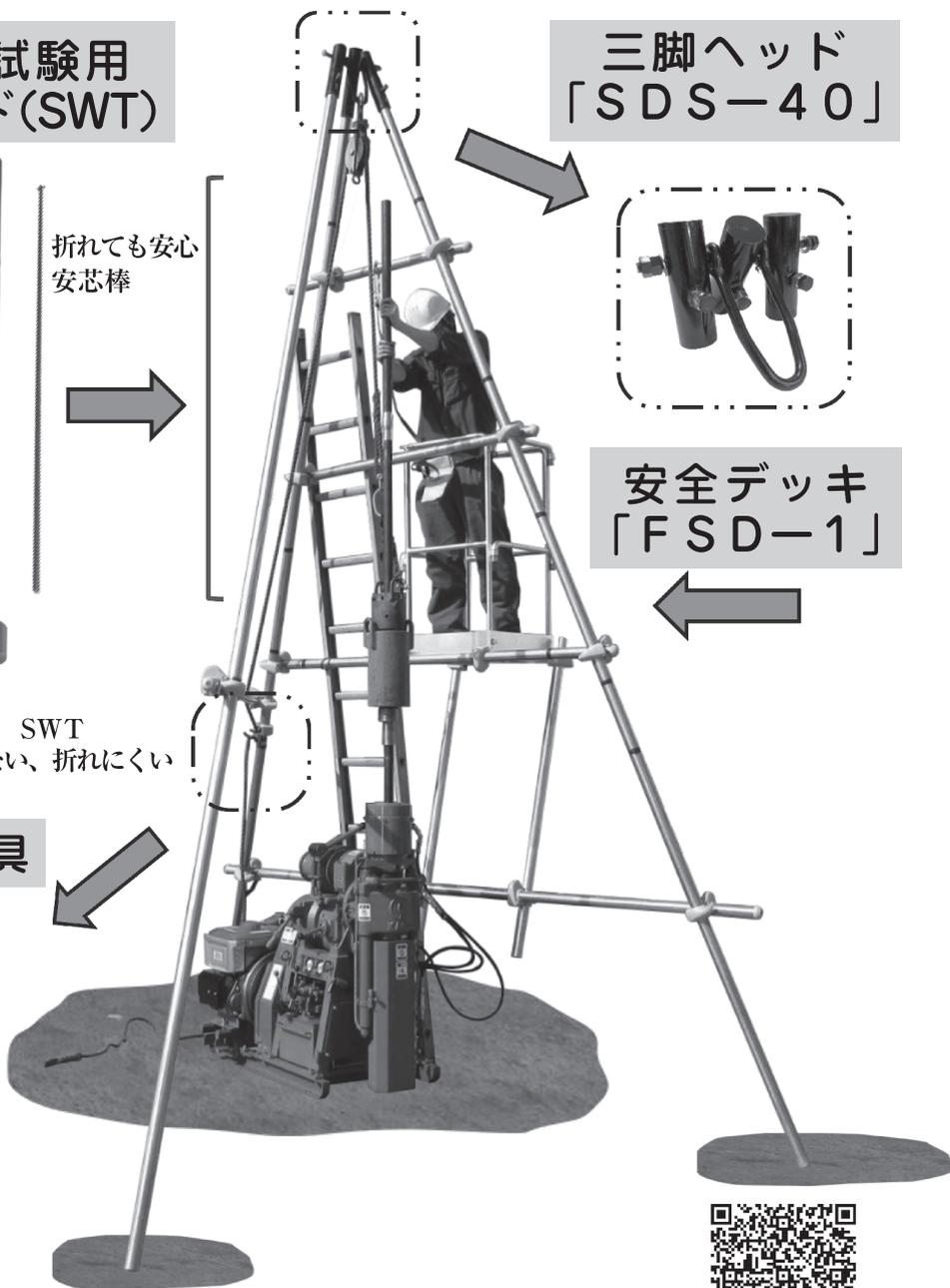
標準貫入試験用
ガイドロッド(SWT)

三脚ヘッド
「SDS-40」



安全デッキ
「FSD-1」

ホース巻付防止金具



◇半自動モンケン ガイドロッドネジ緩みテスト

◎結果は YouTube でご覧下さい https://youtu.be/DI_8x4dIXpM



FUSO
株式会社
扶桑工業
機械事業部

東京支店	〒336-0038	埼玉県さいたま市南区関1-13-5	☎(048)789-6317
東北支店	〒983-0034	宮城県仙台市宮城野区扇町1-7-1	☎(022)236-5101
北陸支店	〒933-0331	富山県高岡市中保1204	☎(0766)31-2620
広島支店	〒733-0821	広島県広島市西区庚午北4-9-40	☎(082)271-2858
大阪支店	〒574-0076	大阪府大東市曙町6-41	☎(072)874-6654
静岡工場	〒426-0002	静岡県藤枝市横内800-30	☎(054)644-2100

<http://www.kk-fuso.co.jp>

巻頭言	>> エネルギー問題の切り札・地熱 小説家 真山仁 ……1
小特集	■ 地熱 >> 東日本大震災後の地熱開発の動向 當舎 利行 ……3 >> 新たな大型地熱発電所「山葵沢地熱発電所」の建設 中西 繁隆 ……9 >> 地熱発電開発における理解促進と 地域共生の現状と課題 窪田 ひろみ ……15 >> バイナリー発電と熱水活用事例 奥村 忠彦 ……19 >> 土湯温泉町の復興・再生に温泉発電とエビの養殖で挑む 加藤 勝一 ……25 >> 別府温泉の地学的成り立ち 由佐 悠紀 ……31 >> 地熱資源を探る -地熱地質学- 清崎 淳子 ……37 >> 海外における地熱発電の動向 海江田 秀志 ……41 >> 温泉の定義 (温泉法に基づく温泉の定義や泉質の決め方など) 菊川 城司 ……47 >> 地熱と地中熱 笹田 政克 ……53 >> 地質リスクマネジメント (前編) 岩崎 公俊 ……57 >> 若手技術者への技術伝承 活動事例 香月 裕宣 ……63 >> 国立大学法人 琉球大学博物館 風樹館 高久 和彦 ……68 >> 大谷石・大谷層 大村 猛 ……70 >> 向津 ^{むかづく} 半島の地形と地質 (山口県) 森岡 研三 ……72 >> 森林総合研究所における環境観測研究について 大丸 裕武 ……74 >> 長崎県西彼杵郡長与町における小規模建築物の地質調査 葭谷 武司 ……79
教養読本	
やさしい知識	
基礎技術講座	
私の経験した現場	
各地の博物館巡り	
大地の恵み	
各地の残すべき地形・地質	
研究所からの報告	
寄稿	
	全地連「技術フォーラム 2018」について ……85
地質だより	■ 平成 30 年度 全地連資格検定試験の実施結果について …… 90 ■ 全地連「技術フォーラム 2018」の開催結果について …… 91 ■ 地質リスクマネジメント事例研究発表会 (開催報告) …… 92 ■ 平成 30 年度 全地連資格制度 登録更新の手続きについて …… 93 ■ 平成 30 年度「道路防災点検技術講習会」について …… 93

既刊情報

下記の「地質と調査」は、次の URL または QR コードから、どなたでもご覧いただけます。

全地連の機関誌「地質と調査」

https://www.zenchiren.or.jp/jgca/jgca_geo-se.html



● 掲載概要

2000 年第 1 号 (通巻 83 号) ～ 2005 年第 4 号 (通巻 106 号) → メインテーマのみ

2006 年第 1 号 (通巻 107 号) ～ 2013 年第 1 号 (通巻 135 号) → 【会告】を除くすべてのページ

2013 年第 2 号 (通巻 136 号) 以降 → すべてのページ

※ Web 掲載版の「地質と調査」はカラーで閲覧いただけます。

● 最近の発刊

通巻	発行年月	メインテーマ
142 号	2015 年 4 月	小特集：津波堆積物
143 号	8 月	特定テーマ：－新幹線－
144 号	12 月	小特集：土砂災害
145 号	2016 年 4 月	小特集：火山災害
146 号	8 月	特定テーマ：△山の日△
147 号	12 月	小特集：人材育成
148 号	2017 年 4 月	小特集：ドローンの地質調査への活用
149 号	8 月	特定テーマ：～離島～
150 号	12 月	小特集：熊本地震
151 号	2018 年 4 月	小特集：インフラメンテナンス
152 号	11 月	小特集：地熱

次号予告

地質調査 2019 年 第 1 号 (通巻 153 号) 内容 (予定) 平成 31 年 4 月発行予定

小特集テーマ：地盤情報データベースの現状と課題

*編集方針により小特集テーマは変更となる場合があります。

エネルギー問題の切り札・地熱

まやま じん*
真山 仁

K
ey Word

エネルギー資源, 地熱発電, 東日本大震災, 相互理解,
エネルギー関連作品

地熱は、日本にエネルギー革命を起こすかも知れない――。

2005年春、東京・虎ノ門にある全国ボーリング協会で、当時会長を務めていた木村彰宏氏から、地熱発電の仕組みと日本の現状、そして問題点を取材していくうちに、その予感は確信になった。

今や、地熱大推進派である私だが、その時まで地熱発電の存在すら知らなかった。お恥ずかしい話ではあるが、だからこそ、木村氏の話は「大スクープ」を取った時の興奮に近かった。

木村氏のレクチャーを聞いていて、最初に感じたのは、自分たちは小学校で誤った知識を植え付けられていたということだ。すなわち――、日本はエネルギー資源が皆無で、発電の原材料のほとんどを、輸入に頼っている。そのため、電気代は高いし、海外のエネルギー事情や外国為替に大きな影響を受ける。皆、そう習ったはずだ。

ところが、理論上は日本中の原発の総量と変わらないだけの地熱エネルギーが足下に眠っているというのだ。

「じゃあ、なぜ、それを使わないんですか！」

私は前のめりで、木村さんに尋ねていた。

「それは、もう色々ありまして……」

自然公園の乱開発、温泉組合の反対、リードタイムの長さ、実際に掘ってみないと判明しない熱水量、発電規模の小ささ等々。

しかし、眠っている資源を無駄にするなんて、勿体ない！

それが、拙著『マグマ』を書くきっかけだった。

小説を書く上で、重要な要素の一つは、一筋縄ではいかない難攻不落のターゲットの存在だ。それに挑もうとする主人公の前に、様々な試練が立

ちはだかるが、それでも、主人公は知恵を絞り、人を巻き込み、道を切り開いていく。そういう物語の構図によって、読み応えのあるメリハリと、もっと先を読みたいという推進力が生まれるのだ。

『マグマ』の場合、その要素がたった一度の取材で、全て揃った。こんなことは、後にも先にも一度もなく、そういう意味で、私と地熱は運命的な出会いをしたのだ。

そして、大分県の八丁原地熱発電所を見学した時に見た勢い良く噴き上げる蒸気の力強さに、地熱発電とは地球が生きている証明でもあるのだ、と感動したことを今でも鮮明に覚えている。

まだ『ハゲタカ』で小説家デビューした直後で、編集者から“ハゲタカの要素”を織り込んで欲しいとオーダーされたことも幸いした。荒唐無稽なギリギリのストーリー展開も、「ハゲタカファンならやりそう」と、関係者から理解してもらえたからだ。

そして、2006年2月『マグマ』は世に放たれた。残念ながら、世間から大きく注目されるには至らなかった。

ただ、私にとっては、地熱という素晴らしいポテンシャルがあることを一人でも多くの人に届けたいと、PRできる機会があればどこへでも飛んでいって、地熱の素晴らしさを訴え続けた。

それによって、多くの電力関係者の方、そして、地熱関係者の方とも親しくなることができた。そのご縁は、(北京五輪開幕前に日中共同開発した世界最大の原発が事故を起こす)『ベイジン』や、(原発プラント輸出を国家プロジェクトで進める総理が陥る陥穽)『コラプティオ』、(ハゲタカシリーズの第5弾で、東日本大震災時の原発事故や電力会

*小説家

社の実態に切り込んだ)『シンδροーム』などと続く、エネルギー関連作品を執筆するきっかけにもなった。

とはいえ、刊行当時は、私がいくら必死で地熱の素晴らしさを訴えても、喜んでくれるのは地熱学会の皆さんだけという状況が続いていた。

ところが、そこに突然の大変化が訪れる。

2011年3月11日に発生した東日本大震災だ。

震災によって東京電力福島第一原子力発電所で事故が発生し、深刻かつ甚大な被害が起きる。

原発事故の発生によって、他所の原発も、定期検査のタイミングで運転停止し、再稼働に待ったが掛かった。

皮肉なことに、それが地熱発電への大きな追い風となったのだ。

最初に火を点けたのは、Twitterだった。「真山仁の『マグマ』の設定通りのことが起きた!」と大騒ぎになったのだ。当の私には、最初、何を指して設定通りと言っているのかが分からず戸惑った。

その後続いたTwitterを読んでいて、ようやく理解した。

私が『マグマ』執筆した当時、原発事故以前の日本は電力が供給過剰状態にあり、新規で地熱発電所を建設するのは「ナンセンス!」だと、関係者から指摘された。そこで、日本の原発を止めなければならない状況(これは、事故のためではなく、国際政治的な側面での原発稼働自粛)を設定したのだ。それを指して、一部の人が「予言だ!」と騒いだのだ。

予言ではない。だが、事故が原因とはいえ原発が止まっていくなか、原発に代わる発電として、明らかに地熱発電に注目が浴びたのは事実であり、それは大変喜ばしいことだった。

原発事故の収束がまだ不透明な頃だ。資源・エネルギー庁から連絡があった。

「地熱発電について、お話を聞きたい」という。

さすがに驚いた。天下の資源・エネルギー庁が、小説家ごときに何を聞きたいと言うのか。

それでも、地熱について話せるのだと思って、職員にお会いした。

すると、「原発事故の影響で、当分の間、国内で原発の再稼働は難しくなった。ひいては、エネルギーとしては、地熱発電を代替エネルギーの一つとして、注目している」と、切り出された。

それは、素晴らしい!と喜びはしたが、わざわざそれを伝えるために、呼ばれたわけではないだろう。

「実は、エネルギー内には地熱発電の専門家はいない。そこで、真山さんに、地熱について国会議員にレクチャーしてほしい」というのだ。

背景には、ある思惑があった。国会議員による超党派の地熱議連を立ち上げ、代替エネルギーの創出のために新規地熱発電所の建設を後押ししたいと考えていたのだ。

私は喜んでお手伝いする!とお答えした。

超マイナーで、もはや消えていく運命の地熱発電、という諦めムードが、私が『マグマ』を刊行した前後にはあった。それが、一気に日本のエネルギー問題を解決する切り札になるかもしれないというのだ。何をおいても、協力しなければと思った。

実際に立ち上がった地熱議連の準備委員会では、集まった国会議員に「地熱発電がもっと増えれば、無理に原発を再稼働する必要もなくなる。そのためは、先生方に汗をかいて戴きたい!」と強く訴えた。

あれから7年。ようやく、震災後に計画が始まった一部の地熱発電所が、営業目前に迫ってきた。

しかし多くの有力地は、いまもまだ、様々な理由から初期の目的を達することなく、悪戦苦闘している。

近所に発電所ができるのは不安だ、不愉快だという感情が起きるのは、致し方ないかもしれない。だが、そういう人は、ぜひ地熱発電所を見学に行つて欲しい。地球が活着していることを感じられる躍動感を目撃したら、ぜひわが町にも!と思うに違いない。

その一方で、自然破壊や温泉の減衰問題についても、地元の危惧を理解しつつ、丁寧な説明と相互理解があれば、突破できるはずなのだ。

そもそも地熱発電ができれば、発電後の熱水を利用して温泉の減衰を補填したり、ビニルハウスや温水プールに利用するなど、様々な利点もある。

21世紀に入って、日本は、今までのように何でも欲しいものが手に入る国ではなくなった。中でも世界のエネルギー資源不足は深刻で、各国が資源を奪い合っている状態だ。そんな中、我が国には足下に素晴らしいエネルギー資源が眠っている。これを利用しない手はない。

地熱は、日本を救うのみならず、どの先進国でも果たせなかった、新しい“エネルギーのベストミックス”を有する自然エネルギー大国への道を突き進む、原動力にもなりうるのだ。

だからこそ、諦めず前に進み続けることが、地熱の理解を広げ、深めていくことに繋がると、信じて疑わない。

東日本大震災後の地熱開発の動向

とうしゃ としゆき
當舎 利行*

Key Word

地熱発電, 熱水多段利用, エネルギー基本計画, 技術開発, JOGMEC, NEDO, 空中物理探査

はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、東北地方を中心として各地に甚大な被害を及ぼし、その被害者の多くが地震後に発生した津波による被害とされている(2018年9月現在, 死者15,896名, 行方不明者2,536名)¹⁾。この津波の被害は、東北地方太平洋側のほとんどの市町村で発生したが、大きな被害のひとつは東京電力福島第一原子力発電所の事故であろう。この事故により、国内のすべての原子力発電所は稼働停止となり、電力の供給が追いつかない状況となった。このため、計画停電の実施などによる需要の抑制などとともに、稼働を停止していた石炭火力発電所を再稼働して電力の確保を図った。山間部に位置していた地熱発電所自体には損害が無く直ぐにでも送電ができる状態にあったが、送電網の被害などにより通常送電ができなかった。

政府は、地球温暖化対策として東日本大震災が発生する以前から石炭・石油などの化石燃料から再生

可能エネルギーへの転換を図ってきており、固定買取価格制度(Feed in Tariff; FIT)の導入が政府内で進められていた(たとえば、新成長戦略~「元氣な日本」復活のシナリオ, 2010年6月18日閣議決定)。この時点では、政府は原子力発電を主電源とすることを考えており、再生可能エネルギーの導入はそれほど大きなものではなかった。しかし、福島第一原子力発電所の事故が事態を一変させ、より一層の再生可能エネルギーへの変換が余儀なくされる状況となった。新たなエネルギー基本計画では、2030年において地熱発電は、全電力の1.0~1.1%を担うものとされている(図-1)²⁾。

我が国には、世界第3位とされる地熱資源(電力換算で2,347万kW)³⁾が存在すると試算されているものの発電所設備容量は2017年3月で約53万kWであり⁴⁾、地熱資源のほとんどは未利用となっている(図-2)。比較的発電規模の大きな地熱発電は、地熱流体から気水分離器により蒸気のみを取り出し、蒸気タービンを回転させるフラッシュ地

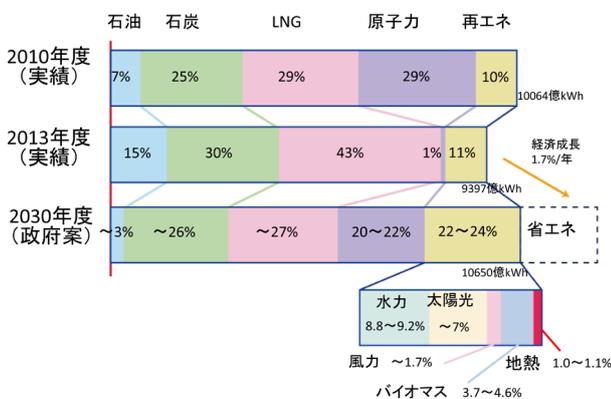


図-1 期待される電源構成

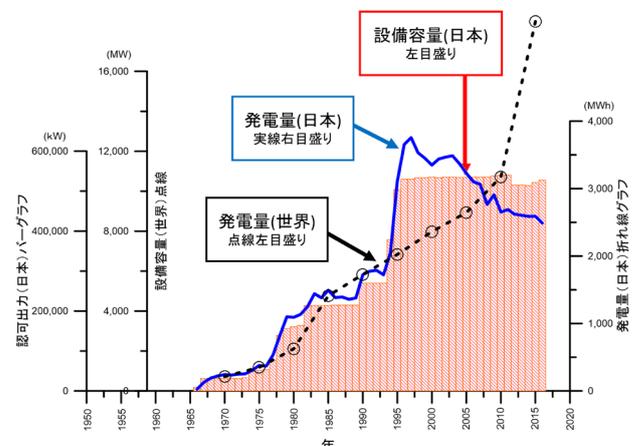


図-2 地熱発電所出力の推移

*国立大学法人熊本大学 国際先端科学技術研究機構 特任教授

熱発電である。このフラッシュ地熱発電所は、1999年に運転を開始した八丈島地熱発電所（認可出力3,300kW）以来しばらく建設されていなかったが、2015年にわいた発電所（同1,995kW）が運転を開始し⁵⁾、2019年には松尾八幡平地熱発電所（仮称）（同7,499kW）および山葵沢地熱発電所（同42,000kW）が発電を開始する予定となっている。このような導入が進まなかった蒸気を利用するフラッシュ地熱発電に対して、より低温で低エンタルピーの地熱資源を利用できるバイナリー（サイクル）発電所の建設が進んでいった。このバイナリー発電は、熱交換器を用いて地熱流体から沸点の低い物質（フロンやペンタンなどの炭化水素およびアンモニアと水の混合物）を気化させて、その気体でタービンを回す方法であり、蒸気を伴わない熱水のみを産出する地熱資源を利用することができる。バイナリー発電所は、2004年に八丁原地熱発電所内にバイナリー発電施設（同2,000kW）⁶⁾が運転を開始するとともに、2015年には菅原バイナリー発電所（同5,000kW）⁷⁾、2017年には滝上バイナリー発電所（同5,050kW）⁸⁾、2018年には山川バイナリー発電所（同4,990kW）⁹⁾が運転を開始している。なお、菅原バイナリー発電所は専用の生産井からの地熱流体を利用しているが、他の発電所は併設されているフラッシュ発電での余剰熱水を利用して発電を行っている。

2 地熱開発の歴史

我が国における地熱発電は1919年の大分県別府市での海軍中将山内万寿治の蒸気噴出実験に始まるとされている。これは、山内が将来の石油、石炭枯渇に備え代替熱源として地熱利用を進めるべく国内を踏査した結果、鶴見岳での掘削に成功したもので、1904年の世界で最初のイタリア、ラルデレロでの地熱発電実験（出力0.55kW）¹⁰⁾から15年ほど遅れる状況であり、実験を進めた山内のエネルギーに対する先見の明があった結果と考えられる。

その後の記録に残る地熱開発は、1925年別府での発電実験になる。東京電灯（現、東京電力）の太刀川平治は山内の後を引き継ぎ、鶴見岳で坑井から蒸気を用いて日本最初の地熱発電実験（出力1.12kW）を実施した。この発電は、1925年11月13日に試運転を行った後、約1年半の連続運転を行った。この実験の詳細は、太刀川が単行本としてまとめた本に記載されている（図-3）¹¹⁾。我が国においてもこのような先駆的な研究が執り行われたが、戦争の勃発などにより研究は中断を余儀なくされた。

その後、地熱発電が歴史に登場するのは、第二

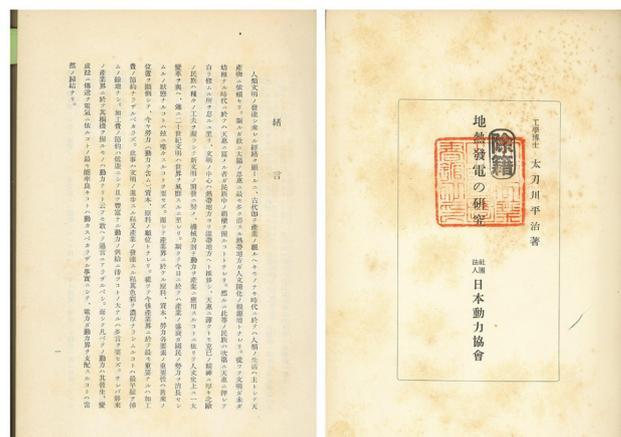


図-3 太刀川平治の著書

次世界大戦後となる。1947年には地質調査所（現、産業技術総合研究所の地質ユニット）が調査研究を開始して別府で蒸気井の掘削に成功した。この蒸気井は30kWの発電所として1951年から3年間運転をしている。1949年には九州配電（現、九州電力）が大分県下の地熱地帯調査と発電の研究を開始し、自然噴気帯があり小松池地獄など地熱活動が盛んであった大岳での試験井の掘削が行われた。なお、この大岳地域は、太刀川も1927年に試掘を行い乾き蒸気の産出に成功していたが、九州配電が掘削した4本の坑井からは過熱蒸気の噴出は得られず、来日したフランス人技術者から有望な貯留層が見込めないとのコメントを得たため開発は一時中断することとなった¹²⁾。一方、多量の電力を必要とする合金鉄を製造していた東化工（あずまかこう；現、日本重化学工業）は、安価な電力供給を求めていたが、適切な規模の水力発電を行える地点が少なく電力確保に苦勞をしていた。同社では、主力工場のあった富山県高岡から立山の地獄谷を訪問した際に、吹き上げる蒸気噴出をみて、この蒸気で発電ができないかを考えていた。一方、岩手県松尾村（現、八幡平市）では、観光目的の温泉開発のため1952年より試掘が行われていたが、掘削されて噴出されるのは蒸気のみであり、熱水の噴出には成功していなかった。この蒸気のみが産出される松川の情報を入手した東化工は、1956年に地質調査所と共に松川地域の地熱開発調査に着手し、10年後の1966年に日本初の地熱発電所の運転開始に至っている¹³⁾。この調査から運転開始に要する時間の短さは、当時の地熱資源に対する知識量を考えると驚異的な速さであり、昼夜を問わず開発に打ち込んだ技術陣ならびに成功を信じて突き進んだ経営陣に敬意を表する次第である。

我が国で2番目の地熱発電所は、最初の松川地熱発電所の運転開始の次の年に、大分県九重町で大岳地熱発電所として誕生した。発電所の運転を開始し

た九州電力は、前述のように1949年から大分県の大岳で地熱調査を行っていたが、過熱蒸気が得られず1956年頃の開発を一時中断している¹²⁾。1958年にニュージーランドにて蒸気を熱水から分離する装置（気水分離器）を備えたワイラケイ発電所が運転を開始した¹⁰⁾。この分離技術が開発されたことにより、我が国で2番目であり、熱水蒸気の混合流体からの地熱発電所としては、わが国最初の大岳地熱発電所が運転開始となった。

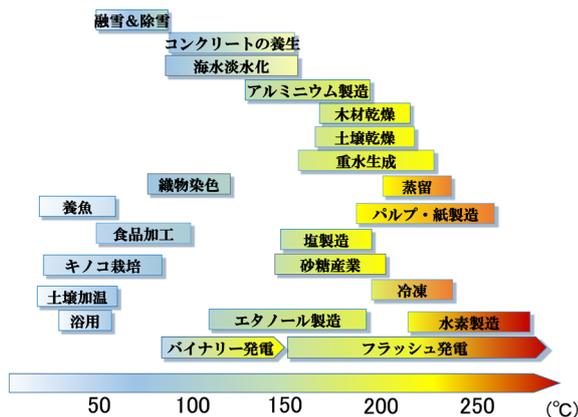


図-4 熱水の利用温度

3 地熱資源の多段利用

高温の地熱流体は、蒸気を取り出すと温度が低下するが、温度の低下した熱水を利用して他の目的に利用するなど、多段階の熱利用が可能となる。発電に関しては、「はじめに」で記載したようなバイナリー（サイクル）発電がある。余剰熱水の利活用という観点から奨励されており、今後各地でこのような設備の建設が期待されている。

地熱資源は発電に利用できるだけでなく、産出する熱水蒸気の温度によって木材の乾燥、農業ハウスの冷暖房、養魚などさまざまな用途に利用できる（図-4）。このような取り組みは、地域との共生の観点から重要視されており、地域に根付いた地熱開発のためにも事業者には発電に使用した熱水の再利用としての多段利用の検討が求められている。

地熱の熱利用としては暖房に用いることが多くの所で実施されているが、吸収式の冷温水機として地熱熱水を冷房に使用して、胡蝶蘭の育成が行われている（地熱シンポジウム in 鹿児島での講演）。図-5にこの吸収式の冷房原理を示す。このような冷房に地熱を利用する試みは、別府市のホテルなどでも利用され始めており、九州など暖かい地域での地熱利用の一つと考えられる。

なお、バイナリー発電は比較的小規模の地熱発電

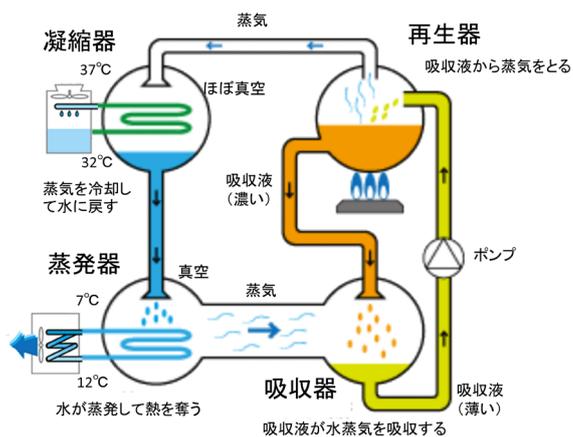


図-5 吸収式冷房機概念

設備として既設の温泉施設に併設する形での導入が進んでおり、2017年3月末における出力1,000kW以上の中～大規模地熱発電は、19地点22ユニットで設備容量（発電端出力）は523,585kWに対して出力1,000kW以下の小規模発電は、26地点37ユニット3,828kWとなっている。両者を合わせると、45地点59ユニット527,413kWとなる⁴⁾。このような小規模発電は、とくに大分県別府市で盛んであるものの、多くが温泉資源を利用していることから温泉の湯量の低下などを招いており、同市では温泉発電等掘削を回避すべき地域としてアボイドエリアの設定を図り資源の保護に努めている¹⁴⁾。

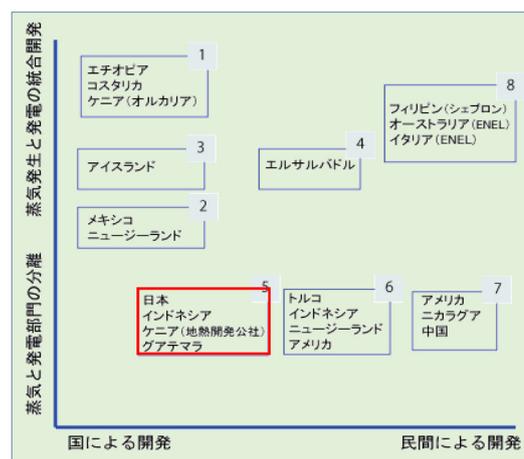


図-6 国による開発方法の違い

4 最近の地熱開発の動向

4.1 開発形態

地熱開発に対する各国政府の関与はさまざまである。図-6に、世界各国で地熱開発に対する政府の関与の割合と地上設備と地下を一体的に開発するか

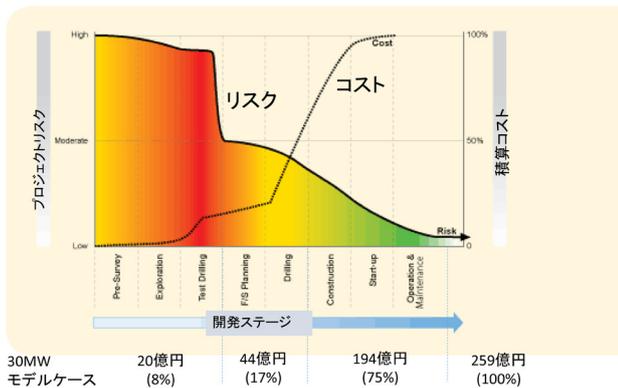


図-7 開発リスクとコスト（積算）

別組織で開発するかの割合を分類した図示する¹⁵⁾。この図では、国の関与と蒸気と発電とを同一組織が行うか別組織が行うかによって、8のグループに分けている。我が国はグループ5に分類されており、開発に当たっては、地下に関連する蒸気の発生部門と地上設備である発電部門が分離され、初期は国が開発して、その後は民間主導として開発が行われる図式になっている。2000年代の初頭までは、資源エネルギー庁やNEDO(新エネルギー総合開発機構:現、新エネルギー・産業技術総合開発機構)などが地熱開発基礎調査や地熱開発促進調査など全国規模の地熱資源調査を実施し、その成果を踏まえて民間が開発を進める方式がとられていた。しかし、現在は、JOGMEC(石油天然ガス・金属鉱物資源機構)が民間に助成金等を交付して財政的な支援をする方向になっていることから、民間による開発に重点が移ってきている。

JOGMECの開発企業に対する財政的な支援は、助成、出資、債務保証に分かれており、開発初期の調査や調査井の掘削などには、助成率が50%（一部大規模開発に対しては75%）の助成金が支払わ

れる。図-7は、この初期段階のリスクの大きさ¹⁵⁾と3万kWの発電を想定した時の必要とされるコストの積算¹⁶⁾を開発各段階において図示したものである。地熱開発では、調査井を掘削するまでの調査・探査段階でのリスクが非常に高いという特徴がある。このため、初期の開発に対しては助成金の支給によりリスクの低減を図っている。調査井での調査が終わり、発電規模などがほぼ確定して生産井に転用できるような最終口径が8・1/2インチ(216mm)ほどの井戸の掘削が始まると、JOGMECが50%以下で筆頭株主とならない範囲での出資が行われる。その後、開発の70%以上の資金が必要とされる発電所の建設になるところで、80%の債務を保証する債務保証の制度を利用することになる(図-8)。

日本の多くの地熱発電所は、蒸気生産と発電とは別会社が実施しているが、九州電力管内では蒸気生産と発電を一体として開発している地熱発電所(たとえば大岳発電所)も多く、東北電力管内でも、開発初期は別会社による蒸気生産が行われていたが、東北電力の関連会社が蒸気生産部門を引き取る形で発電が行われているところもある(たとえば、葛根田発電所)。他の国でも同じ状況であり、ニュージーランドでは国営の電力会社(ECNZ)が蒸気生産から発電、送電を一手に担ってきたが、民営化により地域毎の会社に分割されて現在に至っている。我が国では、電力は全国10電力会社により発電送電が行われてきたが、1993年にエネルギー業界の規制緩和が総務庁により提言され、電力自由化の流れができた。このため、電力会社以外での発電が可能となり、独立系発電事業者(IPP)が電力会社に対して電気の卸売りがなされてきたが、2016年よりIPPの電気を一般家庭でも購入することが可能となり、特定規模電気事業者(PPS)による電力会社の所有する送配電網を利用した一般家庭への電気の供給が始まった¹⁷⁾。このように、電気の発電と小売りが自由にできることとなったことから、電力会社や蒸気生産会社などのそれぞれの役割が変わってきており、各地域で様々な形態の発電および小売りが行われると考えられる。このような自由化の流れは、消費者にとって安価な電力を購入できる機会が増えたものの、山間部に立地する発電所の多い地熱発電では、送電網の送電可能量という新たな問題も発生している。



図-8 財政的な支援策

4.2 技術開発・調査

1970年代のオイルショックを契機にNEDOが発足し、全国の地熱発電有望地域を調査し地熱開発を促進させる目的で地熱開発促進調査(1980～2009)

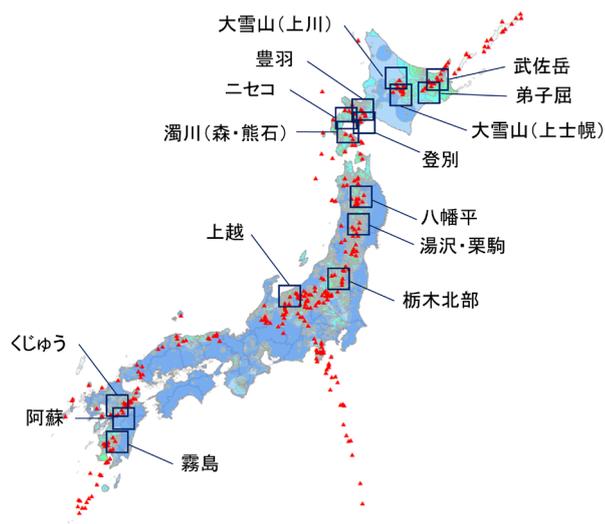


図-9 「空中物理探査実施地域(2017年度末まで)」
全国地熱ポテンシャルマップ²²⁾上に図示

が実施された。この促進調査は、全国67地域で実施されてきたが、途中で調査範囲を3分類(調査A:100~300km²主に高温存在の有無を確認, 調査B:50~70km²主に地熱貯留層の確認, 調査C:5~10km²地熱資源量の把握まで踏み込んだ調査)とするなどいくつかの改革が行われてきた。この促進調査の成果は、柳津西山地熱発電所(福島県)、八丈島地熱発電所(東京都)の開発に結びついている。また、終了後も貴重なデータとして2019年運転開始予定の山葵沢地熱発電所の計画にも生かされている。この全国規模の調査として、JOGMECではヘリコプターによる空中からの物理探査手法を導入し、2013年から実施している。用いる物理探査手法は、主に「空中重力偏差法探査」、「時間領域空中電磁探査」であり、前者が地熱資源を萌芽する断裂などの地熱構造を調査する手法であり、後者が地熱資源を保持する機構としては重要なキャップロックなどの低比抵抗帯を検出するために用いられる。この空中からの物理探査は、2017年度末までに北海道を中心に13地域の計測が終了している(図-9)。なお、「空中重力偏差法探査」は、すべての地域で実施がされているが、「時間領域空中電磁探査」は、測定条件が厳しいために一部の地域での実施に留まっている。JOGMECでは技術開発も実施しており、石油探査で大きな成果を上げてきた弾性波を用いた探査手法による地熱資源探査技術開発、地熱流体を産出する貯留層内への注水による地熱流体の安定的な生産を行う技術、坑井の掘削期間を短縮してコストを抑制するためのPDCビット開発などの掘削技術の開発などを実施している¹⁸⁾。

NEDOにおいても地熱発電に資する技術開発を実施している。JOGMECとの大きな区別では、JOGMECが地下を中心とした技術開発を推進することに対して、NEDOは地上設備などの技術開発と長期的な研究開発を実施している。2018年度のNEDOの研究公募では、地熱エネルギーの更なる高度利用を目指した「地熱発電技術研究開発」として、酸性流体の活用など未利用の地熱エネルギーを活用可能にする技術開発、IoT・AI技術等を用いた発電システムの運転管理等を高度化する技術開発、環境アセスメントにおける高層気象観測の簡略化に関する検討などのテーマを採択している¹⁹⁾。このほか、長期的な研究開発として、超臨界状態にある地熱流体を利用する地熱発電などの研究開発テーマを実施している²⁰⁾。NEDOの研究・技術開発では、1テーマに対して年間5千万円程度の予算規模の公募案件を複数採択しており、JOGMECの1テーマ年間数億円規模とは異なる戦略での研究開発となっている。

4.3 経済的支援

JOGMECでは、地熱開発の促進事業(助成制度、出資、債務保証)を2013年から実施しており、初期の調査費用を補助する助成制度では、2016年の26件(うち、新規は10件)に対して2017年は過去最高となる27件(同9件)となっている(図-10)¹⁸⁾。また、出資は岩手地熱(株)に対して1件、債務保証は湯沢地熱(株)などに対して4件となっている。2019年3月に岩手県八幡平市にて出力7,499kWの発電所の運転を開始する予定である岩手地熱(株)への出資は、日本重化学工業(株)など4社の出資であったが、2015年7月に投資制度を利

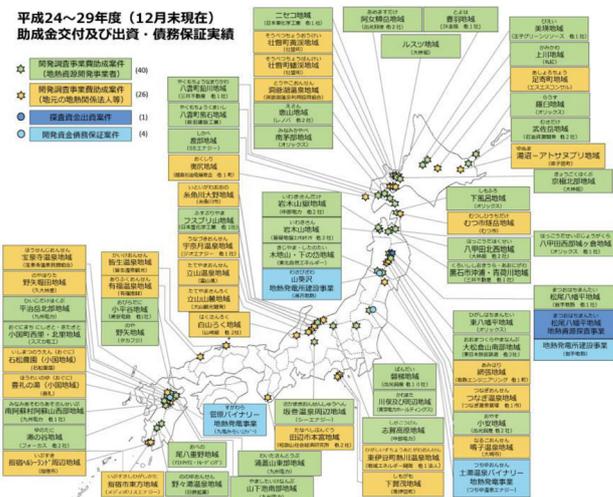


図-10 これまでの経済支援の実績

用することになり、JOGMEC が加わる体制となっている。また、債務保証を行っている湯沢地熱（株）は、秋田県湯沢市にて2019年5月に出力42,000kWの発電を開始する予定である。出力が10,000kWを超える大規模地熱発電所は、1996年の大霧および滝上発電所以来であり、経済産業省が定めた「2030年の長期エネルギー自給見通し」に示された全電源の1.0～1.1%を担う電力（図-1）²⁾としての開発促進に寄与するものと期待されている。

5 おわりに

日本の地熱発電は、別府における蒸気発電の実験から来年で100年を迎え、最初の事業用発電所である松川地熱発電所が運転を開始してからも半世紀を超える歴史を有する。このように長い歴史を有し、かつ資源に恵まれているにもかかわらず、その開発は平坦ではない。自然公園内の開発に当たっても、第1種特別地域では地下への傾斜掘削は認められていなかったが、2015年に地表に影響がないこと等を条件に、地下部への傾斜掘削を認められるなど規制緩和が進められている²¹⁾。また、開発までのかかる時間が長く経済的な損失が大きいこともFITの導入や様々な助成制度により、ある程度の打開がなされてきた。開発を進めるに当たって、なお大きな障害となっているのは、開発周囲の地域での合意形成であろう。地熱発電により懸念されている周囲の温泉や水資源への影響をなくし、熱水の多段階利用により地域にも活性化をもたらす開発が望まれている。かつては、地熱貯留層と温泉帯水層の深さが異なることを理由に挙げて影響がないと言い切っていた時もあったが、地下がつながっていることから、地元の人々の不安を解消するため様々な問題を真摯に受け止めて開発を進めていくという姿勢が強く求められている。

〈参考文献〉

- 1) 警察庁：緊急災害警備本部（2018年9月10日発表）
<https://www.npa.go.jp/news/other/earthquake2011/pdf/higaijokyo.pdf>.（2018年9月15日現在）
- 2) 資源エネルギー庁：2030年エネルギーミックス実現へ向けた対応について～全体整理～、総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（平成30年3月26日）資料、2018.
- 3) 村岡洋文 他：日本の熱水系資源量評価2008、平成20年地熱学会学術講演会要旨集、B-1、2008.
- 4) 火力原子力発電技術協会：地熱発電の現状と動向 2017年、2018.
- 5) 中央電力：プレスリリース、
<https://www.denryoku.co.jp/service/geothermal/waita.html>, 2015.（2018年9月15日現在）

- 6) 九州電力：プレスリリース、
http://www.kyuden.co.jp/press_r_20040218_20040218_100001_1001.html, 2004.（2018年9月15日現在）
- 7) 九電みらいエナジー：プレスリリース、
<https://www.q-mirai.co.jp/news/archives/27>, 2015.（2018年9月15日現在）
- 8) 出光興産：プレスリリース、
http://www.idemitsu.co.jp/company/news/2016/170301_2.html, 2015.（2018年9月15日現在）
- 9) 九州電力：プレスリリース、
http://www.kyuden.co.jp/press_h180223b-1.html, 2018.（2018年9月15日現在）
- 10) Dickson, M.H. and Fanelli, M. : What is geothermal Energy, IGA, 2004（邦文訳 地熱学会, 地熱エネルギー入門, 2008）.
- 11) 太刀川平治：地熱発電の研究, 日本動力協会, 1930.
- 12) 田中耕基：九州の地熱開発を支えたパイオニアたち（その1）, 地熱エネルギー, 1990.
- 13) 佐藤浩：地熱開発の記録-1969年から2001年までの記録-, 自費出版, 2012.
- 14) 別府市：アボイドエリアの指定について, <https://www.city.beppu.oita.jp/sangyou/environment/avoid.html>, 2018.（2018年9月15日現在）
- 15) Geothermal Handbook: Planning and financing power generation, ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program, The World Bank, p.164, 2012.
- 16) 日本地熱開発企業協議会：地熱発電の買い取り価格についての要望, 2012.
- 17) 資源エネルギー庁：電力小売全面自由化
http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/electricity_liberalization/, 2016.（2018年9月15日現在）
- 18) JOGMEC：平成29年度地熱部事業成果報告会, 2018.
- 19) NEDO：地熱発電技術開発
http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100066.html（2018年9月15日現在）
- 20) NEDO：超臨界地熱発電技術研究開発
http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100145.html（2018年9月15日現在）
- 21) 環境省：国立・国定公園内における地熱開発の取扱いについて（お知らせ）, <https://www.env.go.jp/press/101503.html>, 2015.（2018年9月15日現在）
- 22) 地質調査総合センター：全国地熱ポテンシャルマップ CD-ROM 版, 数値地質図 GT-4, 2009

新たな大型地熱発電所 「山葵沢地熱発電所」の建設

なかにし しげたか*
中西 繁隆*

Key Word

地熱発電, 山葵沢, 秋田県, 湯沢市, 環境影響評価, ダブルフラッシュ

1 はじめに

電源開発 (J-Power), 三菱マテリアル (MMC) および三菱ガス化学 (MGC) の3社共同出資で設立された湯沢地熱(株) (当社の出資比率: 50%) は, 現在, 秋田県湯沢市で発電出力 42,000kW の「山葵沢 (わさびざわ) 地熱発電所」を建設中である (図-1)。建設工事は 2015 年 5 月に着工し, 営業運転開始は 2019 年 5 月の計画である。環境影響評価が必要とされる 10,000kW 以上の地熱発電所としては, 1996 年 11 月に営業運転を開始した九州電力(株)滝上発電所 (大分県) 以来, 国内では実に 23 年振りの新規の大型地熱発電所となる。

地熱発電所の開発は, 地下の地熱貯留層の調査に基づいて, 発電出力規模の検討や蒸気生産・熱水還元場所の最適設計等を行う必要がある。そのため, 一般に, 事業化検討の前の地下調査に長期間を要する。山葵沢地熱発電所の場合は, 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が過去に実施した「地熱開発促進調査」の結果を踏まえ, NEDO 調査を引き継ぐ形で 2008 年に企業 (J-Power と MMC 共同) による調査を開始したものであるが, それでも, 事業化検討の為に更なる 2 本の調査井掘削と噴気試験を行った上で, 事業計画を策定し, 環境影響評価を実施した。

本地域は, 栗駒国定公園に隣接しており, また事業用地の大半が国有林野でかつ保安林に指定されている。本稿では, 山葵沢地熱発電所の開発の経緯, 事業計画の概要と特徴及び建設の現況について紹介する。



図-1 発電所計画位置

2 開発の経緯

本地域は, 過去に NEDO が地熱開発促進調査「山葵沢地域」¹⁾、及びその調査範囲の西に隣接して同「秋ノ宮地域」²⁾ を実施した地域であり, 有望な地熱資源が確認されていた。山葵沢地域では 2008 年から当社と三菱マテリアルが, 秋ノ宮地域では 2004 年から三菱マテリアルがそれぞれ事業化に向けて調査を実施していたが, 地下の地熱資源は同一で両地域に跨って賦存していることから, 事業主体を明確化し, 両地域を一元化して事業化検討を進めるために, 両社に三菱ガス化学を加えた 3 社が, 2010 年 4 月に地熱事業会社「湯沢地熱」を設立した。2010 年には, 当社と三菱マテリアルが「山葵沢地域」で掘削した調査井の噴気試験を実施し, 地熱貯留層の発電ポテンシャルの評価を行った。この時期には未だ現在の「固定価格買取 (FIT) 制度」は存在せず, そのためプロジェクトの「経済性」が一つの大きな

*電源開発株式会社 火力建設部 地熱室 室長補佐 (湯沢地熱株式会社 元 取締役社長)

課題であった。地球環境問題に係る社会動向を見据え、CO₂排出が小さい地熱発電の環境価値が将来見直され、評価される時が来るであろう、という見通しの下、事業化検討を進めたものであるが、その中で、「経済性向上」という観点から、出来る限り発電出力を大きく出来る様な、地下開発を検討した。

湯沢地熱(株)は42,000kW級の地熱発電所設置計画を策定し、2011年11月に環境影響評価手続きを開始し、2014年10月、環境保全処置や環境影響に関する予測・評価の妥当性が確認され、同手続きが完了した³⁾。この環境影響評価手続きは、環境影響評価法が施行されて以降、地熱としては初めての環境影響評価であった。

なお、地熱発電事業の推進においては、周辺の温泉を含む地元関係者の理解が重要であるが、本計画においては、地熱調査の初期段階から周辺の温泉モニタリングを継続しており、源泉所有者の方々とデータを共有するとともに、山葵沢地熱発電所の運転が温泉に影響しないと考えられるとした環境アセスの予測・評価の内容について、地元関係者に丁寧に説明して、事業へのご理解を頂いているところである。図-2に地熱調査結果を総合的に解析して構築された当地域の地熱系概念モデルを示すが、これには地熱貯留層と周辺温泉との関係も示している。

3 発電所計画概要

表-1に発電所の設備概要、図-3に事業実施区域

の位置、図-4に発電設備および生産・還元設備の配置計画の概要、図-5に発電所の完成イメージを示す。山葵沢地熱発電所の特徴を列記すると、以下のとおりである。

(1) ダブルフラッシュ方式の採用

従来型の地熱発電は、井戸を通して地下から蒸気・熱水(2相流)を生産し、地上の気水分離器により分離した蒸気を用いてタービンを回して発電するものである。気水分離器で分離した蒸気のみを利用して発電する方式はシングルフラッシュ方式と呼ばれ、気水分離器で分離された熱水は、そのまま還元井で地下の地熱貯留層に還元される。山葵沢地熱発電所では、気水分離器からの一次蒸気利用に加え、気水分離器で分離された熱水を更に減圧気化器により低圧で沸騰させ、その二次蒸気をタービンの中段に導いて利用するダブルフラッシュ方式を採用した(図-6)。これにより、同じ地熱資源を用いて、シングルフラッシュ方式に比べて15~20%程度の出力

表-1 山葵沢地熱発電所の設備概要³⁾

項目		設備概要	
発電方式		汽力発電(地熱)	
発電出力		42,000kW	
生産井	本数	9坑(うち調査井より3坑転用)	
	掘削長	約1,500m~約2,000m	
還元井	本数	7坑(うち調査井より2坑転用)	
	掘削長	約1,500m~約2,000m	
冷却塔	種類	湿式強制通風式	
	硫化水素	排出濃度	4.55ppm
		排出量	42m ³ /h

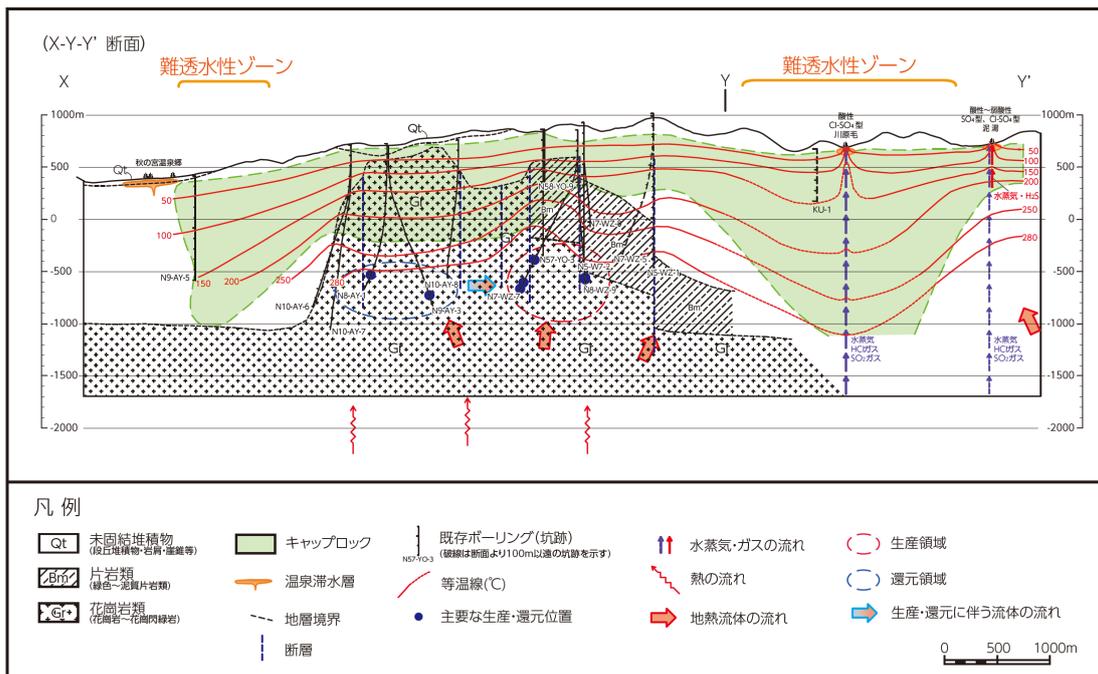


図-2 地熱系概念モデル(南西-北東断面)³⁾



図-3 環境アセスメントに係る対象事業実施区域の位置³⁾



図-4 発電設備および生産・還元設備の配置計画³⁾



図-5 山葵沢地熱発電所の完成イメージ³⁾

増が可能となり、地熱資源の有効利用が可能となる。

(2) 生産域と還元域の設定・離隔

当地域の地熱貯留層の流体温度は280～290℃である。一方減圧気化器を出た余剰熱水は、発電所の熱水ピットで、冷却塔からのオーバーフロー水と合流し、還元井を通して地下の地熱貯留層に還元されるが、還元熱水温度は約80℃である。即ち生産する流体の温度(280～290℃)と比較すると、かな

り低温の水を地下の貯留層に戻すこととなり、還元井の場所が生産井に近ければ、生産井の流体温度を急激に低下させ、蒸気量の急激な減衰を引き起こし、結果的に安定した発電が出来なくなる恐れがある。

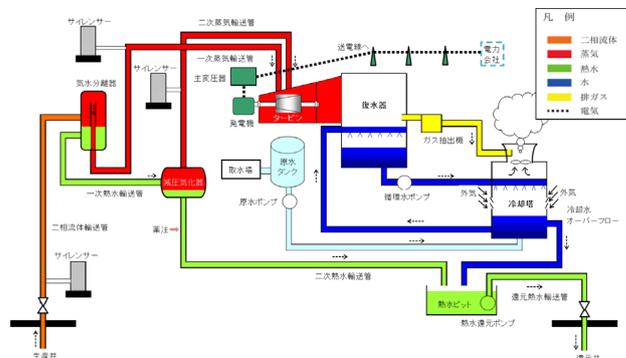


図-6 地熱発電設備の概要(ダブルフラッシュ発電方式)

山葵沢地熱発電所では、生産井は発電所位置周辺に配置し、発電所冷却塔の余剰水および減圧気化器からの熱水は、還元熱水輸送管で約2km離れた還元井まで運んで地下に戻す(図-4)。地下調査データを総合解析して構築した地熱貯留層モデルによる貯留層数値シミュレーションの結果、このような生産域・還元域の設定によって、長期間安定的に42,000kWの発電が可能と予測・評価している⁴⁾。

また、生産井・還元井を傾斜掘りで掘削・設置する各坑井基地は、NEDOの調査時に造成した既設の敷地を拡張して利用する計画であり、結果として敷地造成による地表の改変面積を必要最小限に抑えることとなり、環境への影響も低減することができた。

(3) 軸流排気タービンの採用

山葵沢地熱発電所では、国内の地熱発電設備では初めて、軸流排気型の蒸気タービンを採用している。軸流排気型は、これまで国内で多くの実績がある上方排気型のタービンと比較して天井クレーンの高さを低く抑えることが可能であり、結果的に、一般に自然環境が豊かな場所に建設されることが多い地熱発電所の建屋の高さを出来る限り抑えて、環境と調和する景観対策に寄与することが期待される。

(4) 環境への配慮

本地域は山間部に位置し、周辺には希少動植物を含め豊かな自然が残されている。環境影響評価における環境保全措置も含め、工事計画に当たっては以下のとおり環境に配慮している。

- 希少植物への配慮：計画段階で、確認されている希少植物に対して、計画の変更(たとえば配管ルートの変更による影響回避等)で対応し、どうしても計画を変えられないものに対しては、可能な限り、周辺の類似環境地への移植で対応することとした。
- 希少動物への配慮：周辺での繁殖が確認されている猛禽類(渡り鳥)に対しては、営巣地が工事用地近隣に存在しないことを確認の上、工事を実施することとした。
- 昆虫類への配慮：昼夜作業を行う坑井掘削工事においては、夜間照明に工夫を凝らし、特殊な波長の照明を採用することで、昆虫類が集まってくる事を回避した。
- 吹き付け材等の配慮：敷地造成した法面保護のための吹き付けに当たっては、外来種による植生環境の擾乱を避けるためにあえて種子無しとし、周辺植物の種子が飛来・活着するものとした。
- 周辺環境に調和する色彩の採用：発電所施設の人工的な構造物は、「秋田県の景観を守る条例」に規定する「秋田県届出行為景観保全基準」に示されているとおり、落ち着いた色彩を基調とし、周辺の自然環境との調和に配慮した。具体的には、発電所建屋の色彩については、アースカラーから選定したベージュ系及びブラウン系を採用し(図-5)、主に道路沿いに敷設する還元熱水輸送管の色彩については、アースカラーから選定したブラウン系を採用して、周辺の自然環境との調和を図ることとした。
- 建設工事作業員に対する環境保全意識の啓発：建設工事に従事する全作業員に対して、『自然と共に』という環境啓発手帳(図-7)を配布し、工事

中における周辺環境保全および貴重動植物保護の観点から、意識啓発を行っている。



図-7 環境啓発手帳：『自然と共に』

(5) 工事工程

本地域は豪雪地帯であることから、原則として冬期間は工事を中断せざるを得ない。一方、3年間で合計11本の生産井・還元井を掘削する必要があるので、坑井掘削工事においては、掘削基地内での掘削櫓のスライド移動や、現場内の機材の越冬などの工夫により全体の工期短縮を図っている。

4 建設工事状況

発電所建設工事の計画工程を表-2に示す。2015年4月にアプローチのための県道除雪工事を開始し、同年5月に本格工事に着工した(電気事業法における着工)。工事区域はほとんどの部分が国有林野内にあるが、国有林野貸付および保安林解除などの所要の許認可手続きを経て、同年6月には国有林野内の工事も開始した。表-2の1年目は丁度2015年度に相当する。

表-2 発電所建設工事 計画工程³⁾

工事開始時期：2015年4月		運転開始時期：2019年5月(予定)									
工事開始後の年数	月	1年目		2年目		3年目		4年目		5年目	
項目	月	0	6	12	18	24	30	36	42	48	50
全体工程	工事開始								試運転開始		運転開始
土地造成											
発電所 生産・還元基地		(8)	(8)	(7)	(9)	(9)	(9)	(2)			
道路工事		(3)									
発電設備											
機械基礎 本館建物 機械設備据付 試運転				(7)	(2)	(7)	(7)	(7)	(7)	(6)	
蒸気設備											
坑井掘削 二相流体・蒸気・ 還元熱水輸送管据付		(6)	(7)	(8)	(7)	(7)	(7)	(7)			

注：()内の数値は月数を示します。

これまで、建設工事は概ね計画通り進んでいる。初年度（2015年度）は、発電所や坑井基地等の伐採・敷地造成（図-8）、およびWA基地での生産井掘削（図-9）やAB還元基地での還元井掘削等を実施した。冬期間の休工の後、県道除雪から2016年度の工事を始めたが、生産井・還元井掘削工事において



図-8 発電所およびWC坑井基地（手前）の敷地造成工事状況（2015年11月）



図-9 WA基地における生産井掘削工事（2015年11月）



図-10 生産基地・発電所敷地遠景（2016年11月）



図-11 WB基地の生産井噴気試験（2017年5月）

は、同時に3台の大型掘削機械を各基地に据え付け、3坑の掘削工事を同時並行で行うと共に、WA基地の生産井2坑の噴気試験を行った。2016年11月にドローンで撮影された生産基地・発電所敷地の遠景写真を図-10に示す。

2017年度は、生産井・還元井掘削工事を継続実施すると共に、WB基地やWC基地の生産井の噴気試験を実施した（図-11）。生産井・還元井掘削工事においては、豪雪地帯にもかかわらず3年間で合計11坑掘削という、あまり前例のない集中した工事を実施したものであるが、想定していた割れ目に逢着せずサイドトラック（枝掘り）を行う等の様々な困難を克服して、最終的には所要の蒸気生産能力・還元能力を確保することができた。また、発電所敷地では、造成時に多くの巨石が出てきたが（図-12）、本館建屋建築の基礎工事において、敷地下に存在する巨石の為に基礎の杭打ち工事に難航した。2017年10月末時点の発電所敷地の遠景を図-13に示す。



図-12 敷地造成時の巨石（砕いて他の工事に再利用）



図-13 生産基地・発電所敷地遠景（2017年10月24日）

2018年度は、本館建屋も完成し、現在タービン・発電機などの発電設備設置工事の最盛期を迎えている（図-14）。発電所から約2km離れた還元基地まで熱水を輸送する、還元熱水輸送管の敷設工事（図-15）では、熱水を自然流下させるため、全ての区間で下り勾配に設計していることから、途中カルバートによる県道下横断等があり、また発電所敷地と還元基地の標高差が最大250mもあることから、途中で急傾斜部もあり、比較的大規模な工事となった。現地では、本年末にも始まる予定の試運転に向けた準備も含めて、最終年度の建設工事を鋭意進めているところである。



図-14 生産基地・発電所敷地遠景（2018年5月31日）



図-15 還元熱水輸送管設置（2018年8月）

5 地域との共生

地熱開発に当たっては、周辺の温泉事業者の方を含めた地域の理解が大切であり、温泉モニタリングについては先に述べたとおりであるが、湯沢地熱株では、それ以外でも、様々な場面・機会地元と密にコミュニケーションを図ることを大事にしている。例えば、毎年、年度末に、工事の進捗状況と次年度の工事内容について地元説明会を開催しており、また、雪まつりなど地元行事への積極的な参加

や、地域の要望に応じて地域住民の方々の建設現場見学会を催す（図-16）等、地元との密接なコミュニケーションに努めているところである。



図-16 地元の方々の建設現場見学会（2017年10月）
（説明者：湯沢地熱株大泉社長、手塚建設部長）

6 おわりに

本稿では、国内の大型の地熱発電所新設では23年振りとなる、山葵沢地熱発電所の建設概要を紹介した。地熱発電開発は、周辺の温泉事業者様を含めて「地域との共生」が重要な課題であるが、ここに至るまで地域理解を進めていくことができたのは、秋田県、湯沢市を始め、秋田森林管理署湯沢支署等の関係機関、および地元の方々の本事業へのご理解とご支援の賜物であり、深く感謝申し上げる次第である。

山葵沢地熱発電所は、当社にとって、1975年運転開始の鬼首地熱発電所（宮城県大崎市、現在設備更新計画（14,900kW）の環境影響評価手続き中）に次ぐ2番目の地熱発電所となる。当社は今後も、安定的な発電が可能な優れた再生可能エネルギーである地熱発電の開発を推進していく計画である。

〈参考文献〉

- 1) 齋藤徹：「地熱開発促進調査の地域レポート[C-2]山葵沢地域」, 地熱エネルギー, Vol.27, No.3, pp.13-37, 2002
- 2) 佐々木茂：「地熱開発促進調査の地域レポート[C-3]秋ノ宮地域」, 地熱エネルギー, Vol.27, No.4, pp.73-95, 2002
- 3) 湯沢地熱株式会社：「山葵沢地熱発電所設置計画 環境影響評価書のあらまし」（2014年10月）
<http://yuzawa-geothermal.com/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/aramashi.pdf>
- 4) Nakanishi, S., Pritchett, J.W., Garg, K.S., Akasaka, C., Tezuka, S. and Kitao, K.: 「A Numerical Simulation Study of the Wasabizawa - Akinomiya Geothermal Field, Akita Prefecture, Japan」, Geothermal Resources Council Transactions, Vol.41, pp.2811-2825, 2017

地熱発電開発における理解促進と地域共生の現状と課題

くぼた
窪田 ひろみ*

Key Word

地熱発電, 熱水活用, 理解促進, 地域共生, 対話の場, 自治体

1 はじめに

発電事業だけでなく公共事業等の開発の際、「地元の理解を得る」という言葉がよく使われている。この言葉からは、事業者が計画通りに事業を実施すべく、事業内容を地元を理解して頂いて同意を得たいという意図が感じられる。地元にとっては、地域振興への高い期待を抱く人もいる一方、外部企業が地域資源を使って利益を得る事業に直接的な便益を感じ難く、リスクだけ背負うのは納得できないと思う人もいる。また、地元説明会に出席すれば同意したと見なされることを懸念する人もいる。このように多様な考えを持つ人々が意思決定に関わる場合もあるため、地域の文脈を知らずして「地元の理解を得る」ことは難しい。これまで様々な事業分野において、事業者の一方的・形式的な説明や稚拙なコミュニケーションにより、その後の事業に悪影響を及ぼした例は少なくない。

事業者は、地域の人々をパートナーとして対等に接し、まずは地域の文化・慣習・自然環境など「地元を理解する」必要がある。その上で、互いに誤解や齟齬がないかを確認しながら、コミュニケーションのPDCAを回し、「地域共生」に資する活動に繋がっていくことが求められる。従って、「理解促進」は、事業内容や関連する科学的・技術的情報だけでなく、互いの意見や価値観といった心理的な相互理解も含むものと位置づけたい。そのような関係者間の相互理解に基づき、周辺環境のリスクマネジメントや地域貢献を実践していくことが「地域共生」の成功要件となるであろう。

本稿では、地熱発電開発における「理解促進」と「地域共生」の現状と課題について述べる。

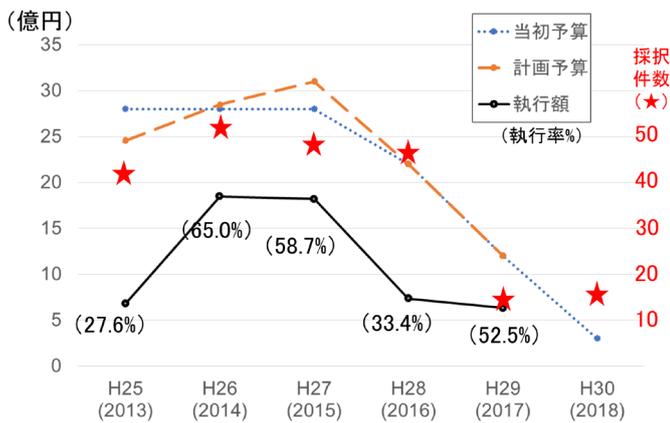
2 理解促進の現状と課題

2-1 理解促進に資する活動状況

近年、マスメディア、学校での環境エネルギー教育、国・自治体・関連団体によるセミナーやシンポジウム等の広報活動により、地熱発電に関する情報提供の機会は増えてきた。固定価格買取制度(FIT)制定以降、小規模地熱発電や熱水活用に対する温泉事業者の関心も高まっている。一方、地熱発電所は点在・偏在しているため、人々が実際に目にする機会は極めて少なく、他の発電技術に比べて地熱発電の認知度は低い¹⁾。温泉事業者の中には、「地熱=発電」と認識して用語を使っている人もおり、地熱に対するイメージや保有している知識は様々である。従って、関係者間で対話を進めるには、土台となる基本情報や言葉の定義等の情報共有と共通理解を深める必要がある。

例えば、経産省では、地熱資源開発に対する地域住民等への理解を促進し、開発推進に資すること等を目的として、2013年度から「地熱開発理解促進関連事業支援補助金」(2017年度より「地熱発電に対する理解促進事業費補助金」に名称変更)を実施している。そこでは、勉強会、先進地域の視察、協議会の運営等のソフト事業、および農業ハウスなど熱水活用に関連したハード事業を支援している。地熱資源に関する理解だけでなく、参加者同士の相互理解の向上、地域のエネルギー政策や地域振興に資する地熱資源の利活用方策を検討するきっかけとする地域も少なくない。近年、公募条件の変更や予算削減により採択数は減少傾向にあるが(図1)²⁴⁾、このような実践的な理解促進活動事業をもっと有効に活用していく必要がある。

* (一財) 電力中央研究所 環境化学領域 上席研究員



出典: 経済産業省行政事業レビューシート3)より作成

図1 地熱に関する理解促進事業（経産省）の予算推移⁴⁾

2-2 開発候補地における理解促進の課題

地熱発電開発の候補地においては、資源量や利用可能量を詳細に評価するため、様々な科学的調査を実施する。しかしながら、国立・国定公園内や温泉地では、自然環境や温泉への悪影響を懸念する関係者の承諾が得られず、初期調査や掘削調査ができない地域も少なくない。事業者としては、調査を実施しないと環境への影響評価もできないというジレンマが生じ、開発を検討するために必要な調査の同意を得ることが課題の一つとなっている。

開発に伴う地域の便益に関しても、詳細な調査をしないと発電所からの熱水活用事業等の見通しが立てられない。掘削調査まで進んだとしても、想定する蒸気や熱水が得られなければ事業性を判断する段階で断念もありうる。調査前の段階から便益に対する地域の期待が盛り上がりすぎてしまうと、残念な結果の場合は落胆が大きい。事業者が説明する際は、関係者に過剰な期待を抱かせないよう留意する必要がある。

このように、（地熱発電に限ったことではないが）将来の不確実性は完全にゼロにできないため、リスクと便益の不確実性に関する説明のさじ加減は至難の技である。事業者は、まずは地域の方々の心情や価値観を理解した上で、地域が重視する環境リスク対策への配慮、および何か問題が生じた際は真摯かつ臨機応変に対処できる体制を構築する等、相互理解と信頼構築に向けた取り組みに努めることが求められる（図2）⁵⁾。

3 地域共生の現状と課題

3-1 地域共生の現状

地熱発電事業を通じた地域共生の例として、地元企業との協働事業による新たな産業や雇用の創出、

地熱発電所の開発工程

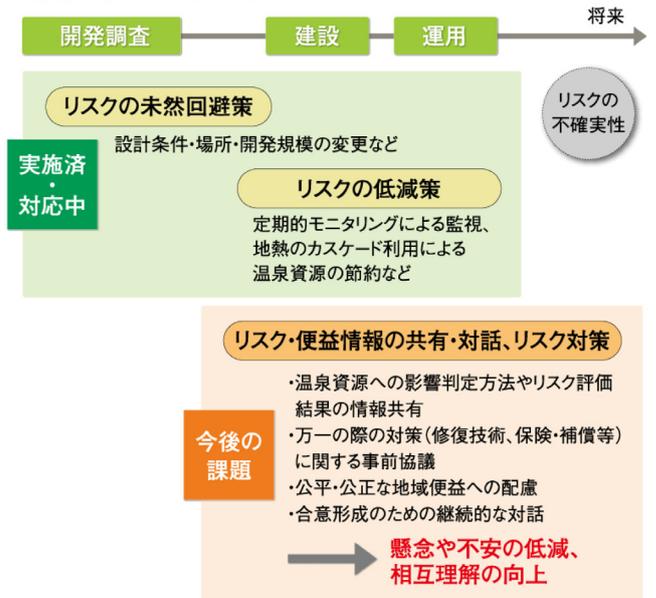


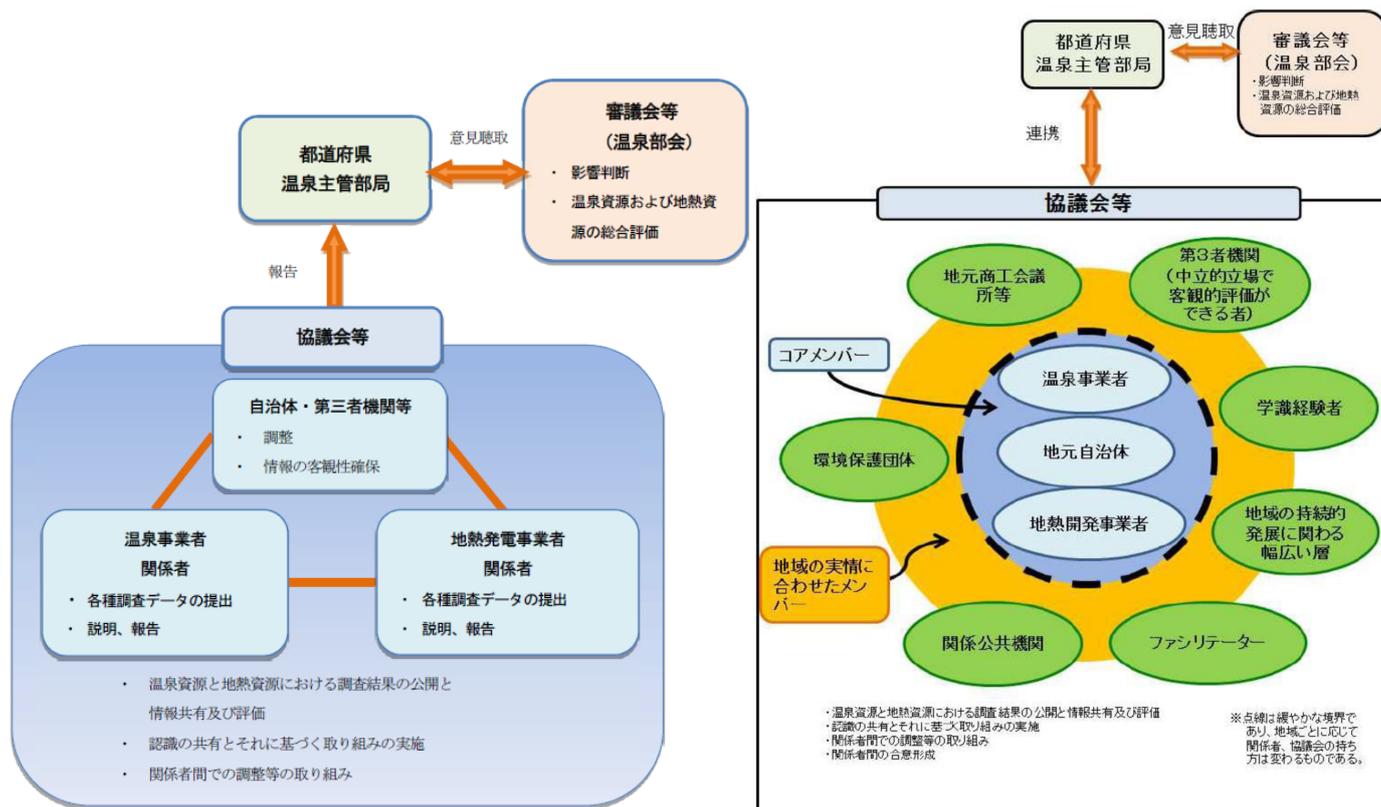
図2 地熱開発における環境リスクマネジメントの留意点⁵⁾

固定資産税やFITによる地域経済活性化、観光資源として地域振興への貢献等が挙げられる。

従来型の大規模地熱発電は、地域の人々にとって直接的な便益を感じにくい面も多かったが、近年の中小規模地熱発電は、地域の温泉事業者や自治体が発電事業者となってFITによる利益を享受できるようになった。地域の多様なメンバーが発電や熱水活用事業に参画することで、地域共生に資する様々な事業が展開されつつある。

一方、新たな課題も生じている。例えば、環境アセスメント対象外の中小規模発電所が立地する場合、既存の温泉井や地熱井との相互干渉リスクが懸念されている。このため、乱開発や地域内トラブルの防止、温泉・自然環境保護対策として、自治体による要綱・条例化が進んでいる²⁾。経産省の「地熱発電の推進に関する検討会」では、秩序ある地熱資源開発の実施に向けて、市町村の定める「地熱発電条例」の雛形およびその様式集や手引きを作成しており⁶⁾、今後の活用が望まれる。

このように、地熱発電や温泉の取り扱いに慣れていない事業者の参入も増えているため、もしも地熱事業の失敗事例が増えることがあれば、国内の地熱発電開発にも影響を及ぼしかねない。従って、専門家・技術者の助言・協力を得ながら、入念な地下資源調査や地下構造のリスク管理を実施し、慎重な開発に留意すべきである。また、熱利用事業を伴う場合には、継続的な市場や事業性に詳しい適切な企業の協力が不可欠である²⁾。



出典8) 図7-1, 7-2

図3 協議会体制の構築例（環境省）

3-2 関係者間の対話の場づくり

地熱発電事業が地域と共生していくには、様々な分野や立場の人々との相互理解や信頼構築だけでなく、具体的な協働事業に向けた検討や議論が必要となる。既述の経産省による理解促進関連の補助金事業は一時的なものであるため、対話の継続には関係者の自律的な取り組みが求められる。

経産省では、「事業計画策定ガイドライン（地熱発電）（2017年3月策定, 2018年4月改定）」において、「適切な事業実施のために必要な措置（第2章）」として、地域との関係構築に必要な以下の3項目を挙げている（以下、引用）⁷⁾。

- ① 事業計画作成の初期段階から地域住民、温泉事業者等の関係者と適切なコミュニケーションを図るとともに、地域住民、温泉事業者等の関係者に十分配慮して事業を実施するように努めること。
- ② 地域住民、温泉事業者等の関係者とのコミュニケーションを図るに当たり、配慮すべき関係者の範囲や、説明会の開催や戸別訪問など具体的なコミュニケーションの方法について、自治体と相談するように努めること。環境アセスメント手続きの必要がない規模の発電設備の設置計画についても自治体と相談の上、事業の概要や環境・景観への影響等について、関係者への説

明会を開催するなど、事業について理解を得られるように努めること。

- ③ 運転開始後も、自治体、地域住民、温泉事業者等の関係者に情報を共有しつつ、継続的にコミュニケーションを図るように努めること。

また、環境省自然環境局でも、「温泉資源の保護に関するガイドライン（地熱発電関係）改訂（2017年10月）」において、「関係者に求められる取り組み等（第四章）」として関係者間の合意形成（協議会等の設置）を挙げている（図3）⁸⁾。そこでは、協議会等の合意形成の仕組みは、地熱資源開発のなるべく早い段階から設置することが望ましく、地元自治体の果たす役割が大きいと示唆している。

このように、持続可能な事業に資する対話の場づくりに向けた基本的なガイドラインは整備されており、実際に協議会を設置する地域も増えてきた²⁾。ただし、協議会等の運営に係る予算や人員、公平性や公正性の確保、責任の所在など、実際には具体的な実務の継続が困難な部分も多い。また、熱水活用も含めた協働事業等に発展させるには、計画の早い段階から地域関係者の関与が適切ではあるものの、事業化が決定する前の段階で協議会等を運営することは難しい場合も多く、その設置タイミングも課題の一つとなっている。

3-3 先進事例の共有

以上のように、理解促進や地域共生のためには対話の場づくりなど情報共有・交換の仕組み、および関係者が改善しながら継続していく努力が必要である。そのためには、各地の先進事例から学び、少しでもリスクを低減・回避し、良い点は取り入れながら各地域で発展していくことが望ましい。

例えば経産省では、全国各地での地熱開発に関する取り組み事例や、地熱に係る技術動向等の情報共有・交換の推進を図ることを目的として、2014年度から「自治体連絡会」を設置し、全国7ブロック(①北海道経産局、②東北経産局、③関東経産局、④中部経産局、⑤北陸経産支局、⑥近畿経産局・中国経産局・四国経産局、⑦九州経産局・沖縄総合事務所)毎に会議を開催し、地熱発電を活用した地域振興の成功事例や各種予算措置に関する紹介等が実施されている⁹⁾。このような場を通じて、自治体間での人脈形成や先進事例に関する具体的な情報共有が進めば、理解促進と地域共生への発展に繋がることが期待される。

一方、国の担当者と同様に、自治体の担当者は数年おきに人事異動があり、これらの知識共有や人脈交流が担当者変更の度にリセットされ、非効率な状況にある。地元関係者や開発事業者への対応も同様の状況となるため、地熱開発のリードタイムが長いことを鑑みると、自治体担当者の手腕やノウハウの継承が事業のリードタイムに影響を及ぼす可能性も考えられる²⁾。

また、本会合への参加は各自治体の自発的な希望に基づくため、地熱発電開発に反対の意向を示す自治体の一部は参加していない。しかしながら、地熱発電開発に対する地域の意思決定が一旦確定していたとしても、首長の変更や利害関係者の世代交代等、関係者の意識が変われば賛否が変わる可能性もありうるため、地熱資源量の豊富な自治体に対し、参画への働きかけは続けるべきであろう。

4 まとめと今後の留意点

以上のように、地熱発電開発における「理解促進」と「地域共生」には課題も多い。地域から賛同が得られていても、蒸気や熱水が計画通り地下から得られなければ事業撤退もありうるため、開発ありきでなく、対等な関係で情報や意見を交換できる場を作ることが望ましい。

自治体や温泉事業者の中には、観光や農業等で既に潤っていれば、新たに地熱発電所を誘致する積極的な理由はないと思う人も存在する。しかしながら、

温泉資源の保護や管理の点から役立つ技術情報や支援が得られることもあり、発電所からの熱水利活用によって融雪や冷暖房といったインフラ整備など公益に役立つ可能性もある。従って、事業者との対話を頑なに閉じて門前払いするのではなく、まずは話を聴いて頂きたい。

地域に眠る地熱資源の有効活用という点から、発電だけでなく熱水活用も含め、資源量と地域事情に見合った持続可能な協働事業について、ガイドライン等の枠組みを参考に、関係者で工夫しながら相互理解を深めていくことが重要である。現時点では事業としてうまくいっていたとしても、地域共生の好事例であり続けることができるかは、関係者の継続的な努力と改善次第である。

〈参考文献〉

- 1) 窪田ひろみ：「発電技術に対する社会的受容性の現状と課題」, 「電力中央研究所研究報告」, V13022, 2014
- 2) 窪田ひろみ, 丸山真弘：「地熱発電開発に関する社会的動向調査」, 「電力中央研究所研究報告」, V15010, 2016
- 3) 経済産業省：行政事業レビューシート
http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gyoukaku/H27_review/H29_Review_Sheet001/H29_Review_Sheet001.html
(2018年9月21日現在)
- 4) 窪田ひろみ：「地熱開発に対する理解促進関連事業の課題」, 日本地熱学会平成29年学術講演会講演要旨集, A35, 2017
- 5) 窪田ひろみ：「地熱発電開発と温泉事業との相互理解と地域共生に向けた方策」, 「電力中央研究所研究報告」, V11033, 2012
- 6) 地熱発電の推進に関する検討会：「平成29年度報告書」, 2018年3月
http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/society/report_29fy/pdf/report_001.pdf
(2018年9月21日現在)
- 7) 経済産業省資源エネルギー庁：「事業計画策定ガイドライン(地熱発電)」2018年4月改定 https://www.pref.kagoshima.jp/ac10/documents/64843_20180601180650-1.pdf
(2018年9月21日現在)
- 8) 環境省：「温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)(改訂)」, 2017年10月
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_6.pdf
(2018年9月21日現在)
- 9) 経済産業省資源エネルギー庁：「自治体連絡会」
http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/conference/
(2018年9月21日現在)

バイナリー発電と熱水活用事例

おくむら ただひこ
奥村 忠彦*

Key
eey Word

バイナリー発電, 媒体, オーガニックランキンサイクル, FIT, 熱水活用,
温室ハウス栽培, 陸上養殖

1 はじめに

わが国の地熱資源量は世界で第3位であるが、発電量は世界で第10位の位置にある。2011年3月11日の東日本大震災を契機として、わが国の再生可能エネルギー、中でも地熱発電を増大させる気運が高まっている。経済産業省は2030年までに、わが国の地熱発電量を100万kW増大させる方針である。

最近、70～150℃程度の蒸気・熱水で発電するバイナリー発電の技術が進むとともに、固定価格買取制度（FIT）が施行されたこともあって、既存の井戸を利用して小規模なバイナリー発電をする事業者が増えて、2018年3月現在で、全国で70ヶ所以上、約2.5万kWの発電量に達している。これらの小規模なバイナリー発電所は北海道から九州までの全国に建設され、多くの国民の目にとまっている。このことは、地熱発電が国民の身近な所に建設され、かつ、地域の地域振興にも貢献しているため、経済産業省が進める大規模な地熱発電の開発を後押ししていると言える。

発電した後の熱水の温度は、60℃程度以上と高いので、この熱水を温室ハウス栽培、陸上養殖、建物の暖房、道路融雪等に利用して、地域振興に貢献する事業が全国で行われている。経済産業省は2013年から4年間、地熱発電後の熱水を活用する事業に補助金を出したり、地元の理解を促進する学習会・先進地見学会の開催を補助した。

本稿では、わが国で進んでいる小規模なバイナリー発電及び熱水活用事例等を紹介して、地質調査関係者の今後の業務に役に立ていただくことを目標にした。

2 わが国のバイナリー発電の現状

2.1 バイナリー発電機

バイナリー発電は、図-1に示すように、熱交換器（蒸発器）を介して蒸気・熱水（70～150℃）の熱を低沸点の媒体に与えて蒸気を作り、その蒸気でタービンを回転させて発電する仕組みである。低沸点の媒体の種類によって、オーガニックランキンサイクル（媒体：代替フロンを主体とした不活性ガス、ペンタン等の炭化水素）とカーリーナサイクル（媒体：アンモニア水）の2種類がある。

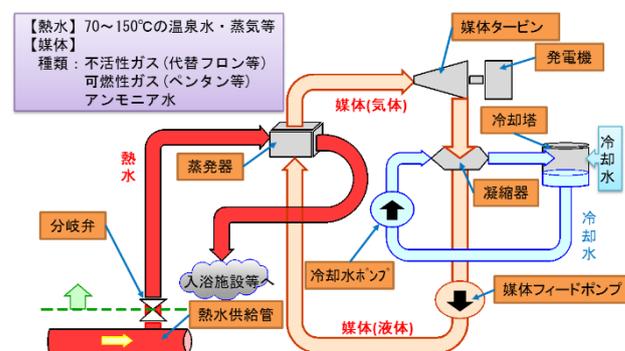


図-1 バイナリー発電の仕組み¹⁾

わが国で稼働している10～2,000kWの小規模なバイナリー発電機のメーカーは以下のようなものである。

(株)神戸製鋼所

発電端出力 72kW, 125kW

媒体：HFC245fa（不活性ガス）

第一実業(株) 米国の Access Energy 社と提携

発電端出力 125kW

媒体：R245fa（不活性ガス）

*一般財団法人 エンジニアリング協会 地熱プロジェクト推進室 室長

(株)IHI 回転機械エンジニアリング

発電端出力 20kW

媒体：HFC245fa（不活性ガス）

JFE エンジニアリング(株) オーマット社と提携

発電端出力 1,580kW, 440kW

媒体：ノルマルペンタン

(株)地熱開発 Electra Therm 社と提携

発電端出力 65kW

媒体：R245fa

これらは、いずれもオーガニックランキンサイクルである。

カーリーナサイクルでは、地熱技術開発(株)が環境省の「平成 22 年度地球温暖化対策技術開発等事業」、 「平成 25 年度 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」を活用して、熱源温度 97℃、定格出力 87kW の発電機を新潟県十日町市松之山温泉に設置して、実証試験を行った実績がある²⁾。

2.2 バイナリー発電事業検討の流れ²⁾

小規模なバイナリー発電の事業形態として、①全量売電方式、②全量自家消費方式、③自家消費で余剰電力が出る場合に売電する方式、の 3 形態がある。

①の場合、発電設備等の導入に国の補助金・助成制度を利用すると、FIT に基づく売電はできない場合がある。県等の自治体の補助金を受ける場合は、この制約はない。②の場合、発電設備の検査、補修、事故等で発電が一時的に停止する場合、電力会社から自家発補給電力を供給してもらう契約を結んでおく必要がある。③の場合、電力会社が管理する電力系統への連系に関して、経済産業省の「電気設備の

技術基準の解釈」、「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」等の基準を満たす必要がある。

バイナリー発電をするための基本条件は以下の 3 条件である。

①は源泉・熱源の温度と量で、これから初期段階での概略発電量と発電事業の事業性が判断できる。年間を通じて源泉・熱源の温度と量を把握することが重要である。蒸気・熱水の成分を調査することで、析出するスケールに関する予測と対策等の検討ができ、運用時のメンテナンス計画、コスト試算に資することができる。

②は冷却水の温度と量で、冷却側の能力を把握することで、源泉・熱源の能力と合わせて発電可能な電力量をより詳細に見積ることができる。さらに、冷却水の年間の温度と量の変動が把握できれば、発電量の年間の変動が予測でき、事業性をより正確に把握できる。

③は系統連系接続点までの距離で、そこまでの送電線の建設は発電事業者の負担になるので、電力会社の送電網へ接続する距離が初期コストに大きく影響する。送電設備が計画した電力量に十分対応できることを確認することが重要である。

バイナリー発電事業検討の流れを図-2 に示す。

2.3 バイナリー発電所の事例

全国で稼働している小規模バイナリー発電所の事例を紹介する。

大分県別府市にある五湯苑地熱発電所は、西日本地熱発電(株)が発電の事業主体で、源泉所有者より蒸気を供給する方式でバイナリー発電所を建設した。

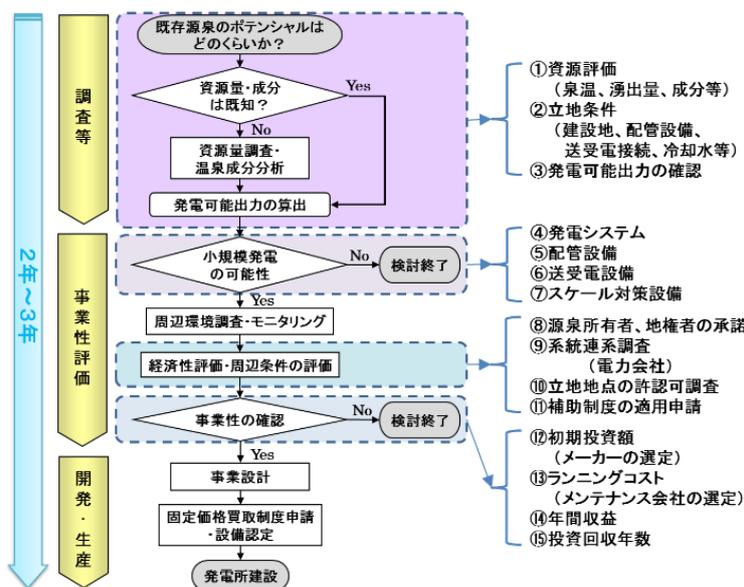


図-2 既存源泉を利用した発電事業検討の流れ²⁾

定格出力 72kW の(株)神戸製鋼所の「マイクロバイナリー」2基を設置し、2014年3月より運転開始し、FITで九州電力に全量売電している。FITで得られた収入から蒸気使用料を還元している新しい事業スキームである。西日本地熱発電(株)は五湯苑地熱発電所が順調に稼働していたため、同じく別府市内に、同規模の湯山地熱発電所を建設し、合計4基のマイクロバイナリーで順調に発電し、売電している(図-3参照)。

宇宙開発を手掛けているコスモテック(株)が、新規事業として、大分県別府市にコスモテック別府バイナリー発電所を建設した。定格出力 125kW の第一実業(株)の「Thermapower125MT」を4基設置し、2014年11月に運転開始し、FITで九州電力に全量売電している。ここも、蒸気は源泉所有者の(株)瀬戸内自然エネルギーから供給を受け、蒸気使用料を還元している。

中国四国地区では初めてのバイナリー発電所が鳥取県湯梨浜町に建設された。事業主体は、鳥根県米子市の建設コンサルタント「協和地建コンサルタント(株)」で、発電所の建設費用の一部は鳥取県、湯梨浜町の補助金を受けている。85℃の熱水は温泉管理組合から供給を受け、FIT収入から熱水使用料を還元している。定格出力 20kW の(株)IHI 回転機械エンジニアリングの「ヒートリカバリー HR20W-20A」を1基設置している(図-4参照)。

福島県土湯温泉町に、東北以北では最大のバイナリー発電所が建設された。2011年の東日本大震災で被害を受けたので、震災復興を目指して、バイナリー発電と熱利用施設で町おこしをするために(株)元気アップつちゆが中心となって事業を開始した。蒸気は土湯温泉観光組合所有の源泉から供給を受け、バイナリー発電所は(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMECと称す)の債務保証を得て建設した。オーマツ社と提携しているJFEエンジニアリング(株)が定格出力 440kW のバイナリー発電所を建設した。2015年11月から運転開始し、FITで全量売電している。全国のバイナリー発電所の中でも、暦日利用率は91%強と最も高い(図-5参照)³⁾。

(株)地熱開発が提携する前に、大分県別府市に三光電機(株)が事業主体で三光地熱開発バイナリー発電所を建設した。ここも、蒸気は源泉所有者から供給を受け、FIT収入から還元している。定格出力 65kW のElectra Therm社の「Power + Generator Power + 4400」を1基設置している。冷却方式は空冷であり、FITで全量売電している。



図-3 湯山地熱発電所
((一財)エンジニアリング協会(ENAA)撮影)



図-4 湯梨浜地熱発電所
(協和地建コンサルタント(株)提供)



図-5 土湯温泉16号源泉バイナリー発電所
(株)元気アップつちゆ提供)

3 熱水活用事例

地熱の温度別による利用例を図-6に示す。200℃以上の高温領域ではフラッシュ発電、100℃前後ではバイナリー発電として地熱発電に利用されている。



図-6 地熱の温度別による利用例⁴⁾

100～200℃の範囲では、製紙、木材乾燥、食品加工、セメント乾燥等に利用されている。

50～100℃の範囲では、熱帯植物園、温室ハウスの暖房、きのこ栽培等、50℃以下では、陸上養殖、温水プール、入浴、道路融雪、建物の暖房等に利用されている。

熱水活用は、地熱発電後の熱水を利用する場合と井戸からの蒸気・熱水を直接利用する場合の2種類ある。わが国では、蒸気・熱水の直接利用は少ない。

本稿では、現在、わが国で熱水を活用している事例の中で、温室ハウス栽培、陸上養殖、その他利用（建物暖房、道路融雪等）について紹介する。

3.1 熱利用事業提案のための検討方針

熱利用事業の提案方針は、①検討する地域の特長に合致した提案で、評価項目を設定する、②地域の活性化への寄与度を検討する、ことである。

評価項目の事例は、①熱水利用でその地域の経済性が向上する事業、②高付加価値な事業、③地域の特性を活かした事業・地域ブランドとなりうる事業、④販売網等を設定しやすい事業、等である。

検討対象の事業は、上述した温室ハウス栽培、陸上養殖、その他利用である。

陸上養殖事業に対する評価例を表-1に示す。

表-1 陸上事業に対する評価例（ENAA作成）

評価項目	トラフグ	バナメイエビ	アワビ
①経済性向上	・25℃程度で管理。温泉水の利用で成長も早く有効	・事例では、加温コスト低減が必要との記述があり、有効	・適温は18～20℃であり、冬季等の加温コスト削減に有効
②高付加価値	・高級食材	・単価は高くはないが、養殖密度・回転率が高く、高収益期待	・高付加価値
③地域特性活用 地域ブランド化	・地域のブランド料理にできる可能性あり ・新規性は乏しい	・地域のブランド料理にできる可能性あり ・新規性有	・地域のブランド料理にできる可能性あり ・新規性有
④販売網等 (売上等)	・温泉旅館や料理店への販路に限定	・温泉旅館や料理店 ・地域市場への販路も期待可能	・温泉旅館や料理店 ・地域市場への販路も期待可能
事業性概略評価	○：事例も多く新規性には欠けるが、高級な人気食材	○：幅広く利用できる食材であり、市場大と想定。新規性有	○：事例が少なく独自性あり。ブランド化が期待できる高級食材

3.2 温室ハウス栽培利用の事例

全国で蒸気・熱水を温室ハウスに利用して栽培している物は、野菜、果物、キノコ、花きで、野菜はトマト、キュウリ、ミツバ、パプリカ、果物はイチゴ、南国フルーツ、マンゴー、バナナ、キノコはクラゲ、菌床シイタケ、花きは胡蝶蘭、シクラメン等が代表的な栽培物である。

野菜の代表的な栽培例は、北海道森町の森地熱発電所（1982年運転開始、定格出力25,000kW）が発電用の蒸気を分離抽出した後に、地下の還元井

へ戻す120℃の熱水の一部を熱交換器に導き、河川水と熱交換することによりできる65℃前後の温水を、近隣の温室団地に配湯している。温室ハウス内では地面に温水の配管を設置して、冬季の外気が-15℃でも室内を25℃以上に暖房して、主としてトマト、キュウリを通年で栽培し、関東圏にも出荷して収益を得ている。

果物の代表的な栽培例は、北海道弟子屈町のマンゴーである。80℃、160L/分の源泉から引湯し、温室ハウス内を23～25℃に通年で温度管理して、完熟マンゴーを栽培している。試験的な栽培を繰り返して、現在では、完熟マンゴーを「摩周湖の夕日」というブランドに仕立てて、東京にも出荷して収益を上げて、地域経済にも貢献している（図-7参照）。



図-7 子屈町のマンゴー栽培状況（ENAA撮影）

果物のもう一つの事例は、岐阜県奥飛騨温泉の「奥飛騨ファーム」で栽培しているバナナ苗・種である。標高800mの高地で、平均65℃、25L/分の温泉水を温室ハウス内の水路に流して、通年で暖房している。食用のバナナは低価格のために、バナナ苗を鑑賞用として直接NET販売して、収益を確保している（図-8参照）。



図-8 奥飛騨ファームのバナナ苗栽培状況（ENAA撮影）

キノコの栽培事例では、大分県別府市堀田温泉地区で「アドニス(株)」が、経済産業省の地熱開発理解促進事業の補助金を得て温室ハウスを建設し、キク

ラゲを栽培して、販売している（図-9参照）。大分県はシイタケが有名な名産であるため、キクラゲは希少価値があり、事業性が高いと評価している。



図-9 アドニス(株)のキクラゲ栽培状況
(ENAA撮影)

花きの栽培事例は、大分県別府市にある大分県花きセンターでの菊等の栽培である。ここも地熱開発理解促進事業の補助金を得て、5棟の温室ハウスを環境制御型の温室ハウスに建替えている。源泉から120℃程度の蒸気を直接温室ハウスに送って、冬季は室内を暖房している。ここで開発した栽培技術を県内の農家に技術指導している。温室ハウスから出てきた温水を全量、無償で、近隣の温泉組合に提供している。ここでは、蒸気による土壤消毒、本館の暖房等も行っている。

3.3 陸上養殖利用の事例

熱水で養殖すると魚類の生育が速く、事業性が向上すると言う評価で、全国で陸上養殖事業が行われている。

養殖している物の例は、ティラピア、トラフグ、ウナギ、スッポン、エビ、アワビ等である。

ティラピアの養殖事例は、北海道弟子屈町川湯温泉の「ホテル パークウェイ」で、1989年頃から、64.2℃、400l/分の温水を養殖場に送り、水温が15℃以下にならないように管理し、常時3万匹前後を育てている（図-10参照）。良質の温泉であるため、ティラピアが活発に活動して餌を食べるため、1年で800gの大きさに育つ。味や姿が鯛に似ていることから「摩周鯛」のブランドで、姿づくりや釜飯等として旅館で提供している。

トラフグの養殖で有名なのは栃木県那珂川町の「(株)夢創造」で、養殖施設は廃校となった小学校を利用した第1プラント（60t）、廃校に隣接するビニールハウスの第2プラント（48t）、温水プールを利用した第3プラント（250t）である。温泉水での養殖の場合、飼育水の加温が図れるので、トラフグが年中高活性に保たれて体重停滞期がないため、海上養



養殖場 内観

ティラピア

図-10 ホテル パークウェイのティラピアの養殖状況（ENAA撮影）

殖では1.5年かかるが、ここでは1年で出荷できる。閉鎖循環養殖施設により、環境汚染及び殺菌処理循環により病害の発生を抑制できるメリットがある。他の地区へのコンサルタントも行っている。

エビの養殖事例は、福島県福島市土湯温泉の(株)元気アップつちゆが2016年度地熱開発理解促進事業の補助金を得て建設した養殖施設で養殖している「オニテナガエビ」の養殖である。バイナリー発電の冷却水が10℃位から21℃程度に上昇するので、これを養殖施設まで送り、熱交換器で25℃程度まで上昇させて、水槽に供給している（図-11参照）。オニテナガエビの養殖は青森県弘前市で行われていたので、技術導入した。成長したオニテナガエビを簡単に造った釣り堀に入れて、観光客に釣りを楽しんでもらい、その場で焼いてもらうサービスをしている。今後、水槽を増やす計画もあり、陸上養殖で地域振興をしている好事例である。



図-11 土湯温泉のオニテナガエビの養殖状況
(ENAA撮影)

3.4 その他利用の事例

蒸気・熱水のおもて利用の例として、建物暖房、道路融雪、乾燥器（野菜、木材等）、乳製品加工場、染色、塩製造等が挙げられる。

建物の暖房では、地熱開発理解促進事業の補助金を得て設置した新潟県十日町市松之山温泉の「地炉」がある。観光用に、建物内部の暖房、床暖房、屋根の融雪を行うのみでなく、調理用にも熱水を利用し、近隣のブランド豚を低温加工して、「湯治豚」としてブランド化し、旅館で「湯治豚丼」として提供している。最近では、大分県別府市鉄輪温泉の黒田やが旅館内部の冷暖房に利用している（図-12 参照）。これも、2014年度地熱開発理解促進事業の補助金を得て設置した。北海道弟子屈町の「医療法人共生会川湯の森病院」でも、病院内部の暖房に熱水利用をしている。



図-12 黒田や 吸収式冷水機
(ENAA 撮影)

道路融雪の事例は、新潟県十日町市松之山温泉で十日町市が地熱理解促進事業の補助金を得て冬季の道路融雪に利用している。

乾燥器は宮城県大崎市鳴子温泉、秋田県湯沢市子安地区等で野菜の乾燥、熊本県小国町では木材の乾燥に利用されている。

異色の利用事例は、岩手県八幡平市で行われている蒸気による染色である（図-13 参照）。

長崎県小浜町では熱水を利用して塩を製造している。昔は事業としても実施していたが、現在は、国内ではここだけである。



図-13 八幡平市における蒸気染色の例
(ENAA 撮影)

4 おわりに

わが国のバイナリー発電の現状、熱水活用事例について紹介した。紙面の都合で、紹介できていない事例もあることをお詫び申し上げる。

全国で、バイナリー発電と熱水活用事業を組合せて地域振興を図る動きが多くあり、地方の競争の時代に入った感がある。

今後も、わが国に豊富に賦存する地熱資源を活用して、地熱発電による電力供給の増大を図るとともに、熱水を活用して地域の雇用を増やし、観光客を増大させて地域経済に貢献することを願っている。

本稿が地質調査関係者の参考になれば、望外の喜びである

〈参考文献〉

- 1) JOGMEC：平成 25 年度小規模地熱発電のうち温泉発電導入促進のための手引き書，2014 年
- 2) 奥村忠彦：「温泉発電導入促進手引書の解説及び小規模地熱発電と熱水・蒸気活用の事例紹介」，地熱技術，pp.29-40，2014 年
- 3) （一社）火力原子力発電技術協会：地熱発電の現状と動向，2017 年
- 4) 奥村忠彦：「バイナリー発電などによる熱水の活用」，技術総合誌「OHM」，pp.18-20，2014 年

土湯温泉町の復興・再生に 温泉発電とエビの養殖で挑む

かとう かついち
加藤 勝一*

Key Word

東日本大震災、原発事故、復興・再生、ピンチはチャンス

1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災と直後の原発事故は、未曾有の大災害となって、この国を途端の淵に追い込んだ。この国が災害列島であることは少なからず承知していて、災害は「忘れたころ」に来て、「備え」があれば「憂い」はないとの教えから、応分の備えは施して来たつもりでいた。ただ、わが身に及ばなければどうしても他人事で、身近な問題であり、しかも、重要なことでもあったが、受け止め切れずにはいなかった。

東日本大震災と原発事故は、規模も経験も未曾有とはいえ、その思いのスキを突かれて甚大な被害となった。特に原発事故は、巷間、流布されていた「安全神話」に疑いの余地を持たなかったし、無条件に安全・安心を受け入れていた。結果として神話もろくも崩れ去り、思いがけない事態に遭遇した途端、一気に危機感、喪失感、不安感に覆われた。

土湯温泉町は、福島県の県北、県都福島市の中心部から西南に約16km、標高450メートルに位置する福島県内でも有数の温泉郷として四季を通じ、全国から大勢のお客様をお迎えしている。周囲を「磐梯朝日国立公園」に囲まれ、豊富な湯量と多様な泉質、施設も整い景観や環境にも優れていることから、環境省の「国民保養温泉地」の指定もいただいている。温泉街の中央を流れる一級河川「荒川」は、国土交通省が実施する清流調査で毎年「日本一の清流」に選定され、榮譽に輝く豊かな自然環境も自慢の一つとなっている。さらに、土湯温泉町は、みちのくを彩る伝統工芸品として名高い「こけし」の産地としても知られ、特に、東北三大発祥地の一つとして「土湯こけし」は愛好者を始めに全国の方々に愛されている。



写真1 土湯温泉町の全景

2 東日本大震災と原発事故の影響

土湯温泉町は東日本大震災と原発事故以来、世帯数180、人口340人、高齢化率52%（H30.1現在）で、少子・高齢、人口減少が加速度的に進んでいる。近年の観光客入込数は、平成15年度（2003）の366千人をピークに減少を続け、震災前の平成22年度（2010）では約26%減の272千人に留まっていた。しかし、震災後の平成24年度（2012）には155千人と震災前の43%減と激減に見舞われたことから、将来の展望に不安を抱える人が続出し、震災前に営業していた16軒の旅館の内、震災後には三分の一にも相当する5軒が廃業する事態となった。

3 復興・再生へ立ち上がる

マグニチュード9.0、震度6弱で襲い掛かった東日本大震災と原発事故は、思いも寄らない事態を引き起こした。建物の崩壊、停電、インフラの損傷、燃料の不足、食料、医薬品、生活関連物資の不足等

*株式会社 元気アップつちゆ 代表取締役社長 土湯温泉町地区まちづくり協議会 会長 70歳

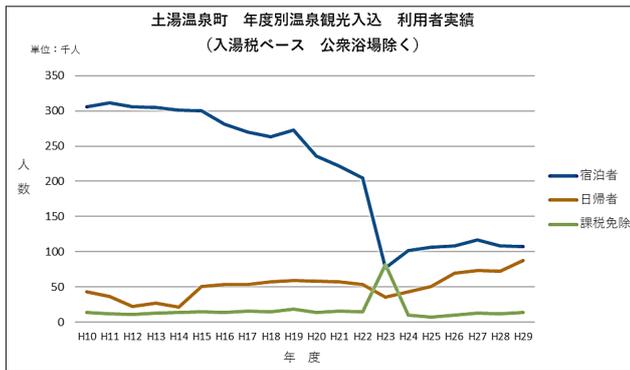


図1 観光入込者数 (土湯温泉観光協会資料)

で日常を直撃した、特に困窮を極めたのはエネルギーである、三日間ほど停電が続いた。震災時、3月はまだ春も浅く小雪もちらつく陽気で何よりも寒さが堪えた。電気がないとストーブも使えない、暖が取れない、オール電化などと最先端を意識していた生活が途端の淵に追いやられた。さらに、原発事故が追い打ちをかけたことから、エネルギーに対するこれまでの考え方が180度変わったことも大きな出来事となった。

入込観光客の激減とともに旅館の廃業が相次ぎ地域を離れる人も始まった。厳しい状況と将来の展望が開けない現状を目の当たりにし、このままでは土湯温泉町が消失しかねないとの危機感でいっぱいになった。

震災と原発事故から半年が過ぎた8月、従来から土湯温泉町のまちづくりを担っていた3人が集い、復興・再生をめざす取り組みへの準備を開始した。疲弊した温泉街を立て直そうとの思いを込めた動きである。2か月後の平成23年10月2日、新しい土湯温泉町をつくるための組織として有志29名を持って「土湯温泉町復興再生協議会」が誕生した。



写真2 土湯温泉町復興再生協議会 総会

復興再生協議会の基本テーマは「訪ね観る 誰もが憩う 光るまち」とした。伝えたいのは、土湯温泉町の物心にわたる復興・再生した姿、すなわち、

土湯温泉町に住む私たちが、誇りを感じられる新たな地域観光を創成し、訪れる誰もが安全と安心とともに憩いに彩られた豊かな空間と時間をお過ごしいただきたいとの思いを込めた。

復興再生のポイントとして五つの視点を掲げた。一つは、「温泉観光地の将来を占うモデル地域の構築」である。これまでも、温泉観光地は決して楽ではなかった。ただ単に元に戻すだけの復興・再生では、じり貧は免れない。その意味では、温泉観光地は「こうして生き残る」という姿を示さなければならないと思った。二つ目は、「少子・高齢、人口減少社会への対応」とした。人口動態から見える減少傾向は危機的と言えることから、交流人口の増加ももちろん大切ではあるが、そもそも、受け入れる私たちがいなくなるとは地域は成り立たない、定住人口の確保は喫緊の課題と感じている。三点目は、「自然再生エネルギーを活用したエコタウンの形成」とした。前述したように、原発事故はエネルギーの在り方に大きな変革をもたらしたことや行政の再エネに懸ける政策も力となり、土湯温泉町の復興・再生事業としても「再エネ」を重要事業の柱にしようと決めた。四点目は、「産・官・学との連携」を掲げた。土湯温泉町を復興・再生させ、震災以前にも増して賑わいを創出するには多様な知恵と力が必要と感じていた。五点目には、「計画を支える組織の確立」をめざした。計画に基づき速やかに事業を成し遂げるには、創意・合意・決意を持ってスピード感を備えた組織の存在が必要であると考えた。その意志に応える形で地元の温泉協同組合とNPO法人が出資し「株式会社元気アップつちゆ」が誕生した。

4 再生可能エネルギーへの取り組み

震災の年には、国も県も、2040年をめざし再エネ100%を打ち出した。折しも、固定価格買い取り制度(FIT)がスタートしたこともあり、早速、再エネに活用できる地域資源について調査を行い、改めて、高温・高圧で多量に排出する温泉の存在と、温泉街を縦横に流れる河川に着目することができた。その結果として、これまでの温泉観光地には見られない独自の産業観光として、さらには、復興・再生の旗じるしとして活性化を担う事業として再エネに大きく踏み出していくことになった。特に、バイナリー方式による地熱発電所の事業化については、計画発表を行った2011年10月の時点ではバイナリー発電に係る国内のメーカーは少なく、発表されている設備も実証や実験段階のものが多く、事例や実績も極めて乏しいものであった。そのため、設

備導入を巡っては、何よりも成功事例としての実績と技術があるかどうかポイントとなった。資源的に見れば、わが国は、米国、インドネシアに次ぐ第三位の資源大国として知られている、したがって、その資源の上にある全国の温泉地の数からすれば、地熱発電所の数が極めて少ないことがわかる。少ないのは、それなりの国内事情があって、思うような普及は進んでいない。むしろ、わが国の地熱発電メーカーは国内を飛び出し、海外での事業を積極的に進めた結果、技術と実績は世界一と謳われている。ただ、フラッシュ式と言われる大深度、大規模の地熱発電にその力は発揮されていることから比較的小規模のバイナリー方式の技術は国内では一部のメーカーにより取り扱われてきた。

その様な事情から、土湯温泉町のバイナリー発電所は慎重に検討を進めた結果、技術的にも事業実績にも優れていた米国メーカーの設備を導入することに決定した。



写真3 バイナリー発電所の建設風景

しかし、建設作業は困難を極めた。参考にできる先例や事例がほとんどなかったことから、導入に係る知識と作業は学習を含めて全て同時進行で行った。プロジェクトをスムーズに進行させるためには、窓口となる輸入代理企業と設備製造を担う米国メーカーに対して全幅の信頼を寄せ信用を持って事に当たるしか手立てはなかったと言える。さらに、許認可に係る手続き、事業を担保する資金の手当て等に奮闘の日々が続いた。その間にも事業の話題性の大きさから問い合わせや視察が全国から相次いだ。ようやく、手続きが済み準備も整い、平成26年7月に関係各位のご臨席の下、起工式を執り行い、1年4ヶ月の工期を経て、平成27年11月、晴れて竣工、完成の時を迎えた。



写真4 土湯温泉16号源泉バイナリー発電所

バイナリー発電所の概要

● 事業者	株式会社元気アップつちゆ
● 計画発表	平成23年10月
● 起工式	平成26年7月
● 竣工式	平成27年11月
● 設計監理	
付帯工事	JFEエンジニアリング(株)
● 発電設備	米国 オーマット社
● 出力	440kW
● 年間発電量	260万kW/h
● 家庭換算	約800世帯分
● FIT売電	40円/kW 15年間
● 総事業費	約700,000円
● 補助金	10%
● 資源量	温度 139℃
	圧力 3.0～3.3hPa
	蒸気 3.3t/h
	熱水 34t/h
	深度 113m 自噴

バイナリーとは、地下資源の温泉や蒸気のエネルギーと沸点の低い有機媒体のエネルギーの二つのエネルギーを使用することからバイサイクル、二つという意味になる。ちなみに、土湯温泉町のバイナリー発電所の有機媒体は、沸点が36度のノルマンペンタンを使用している。このノルマンペンタンを130℃以上の温泉と蒸気で熱交換すると一瞬にして高圧の蒸気になる、その高圧の力で電気をつくるという仕組みである。

5 バイナリー発電所と冷却水

「土湯温泉 16号源泉バイナリー発電所」は、蒸発させた有機媒体を冷却するのに100%、水を使用している。一般的には設置する場所等の条件から、ほとんどがクーリングタワーを置いて水を循環させる空冷式をとっており、土湯温泉の手掛けるケースは世界的にも極めて珍しいと言える。

バイナリー発電所は、土湯温泉街から直線で2kmほど離れた「温泉」を供給する源泉管理施設内にある。従来からこの管理施設の源泉は高温で100度以上あることから、使用する4本の主要源泉の内3本は、噴出する7割近くが蒸気で、残りが熱水の蒸気井である。温泉として供給するにはそのままでは難しいことから、井戸から取り出した蒸気と熱水を近くに設置した増湯タンクに送り込み、同時に水を注入し、量的にも質的にも優れた「温泉」として供給している。

その、増湯するために使用していた水をバイナリー発電所の冷却水として使用することになった。取水地は、バイナリー発電所からさらに標高を重ねて4kmほど離れており、工事は、パイプラインの敷設もさることながら、かかる資金も併せて一大事業となった。取水量は、これまでの温泉増湯用として使用していた毎分1,000Lから、さらに3,000L増の毎分4,000Lを取水し供給を行うこととなった。



写真5 冷却水を取水している黒沢沼

水温は、地下水が湧水してできた沼のため四季を通じて10℃前後と安定していること、地下水特有の清浄な水質であることから安心して使用できる点も他にはない特徴となっている。バイナリー発電所では、この水を全量、毎分4,000L、時間当たり240tを冷却用水として使用している。水温10℃で投入すると21℃の温水になって排出される。三分の一

程度は温泉の増湯用として増湯タンクに入り「温泉」となって使用されるが、余った温水は全て川に放流していた。

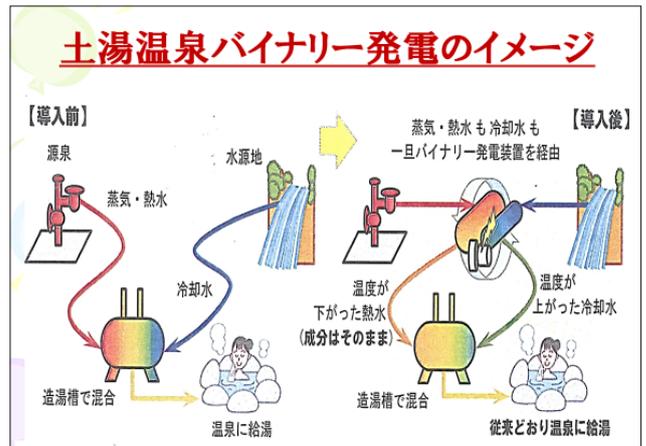


図2 温泉と取水の利用イメージ

6 温泉と冷却水の多段階利用

温泉の利用方法としては、ほとんどが入浴に限られていて、一部に暖房や炊事、地熱発電や融雪等に利用されているが、温泉活用の難しさは、量や温度、場所等の条件とともに、何よりも、泉質に左右される部分が圧倒的に多く、利用する上では付着するスケールにどう対応するかが必要になってくる。

土湯温泉の源泉の泉質はpH8.5のアルカリ性単純泉で、穏やかで優しくしっとりとした肌ざわりは、温泉の恵みを十二分に感じさせてくれる。ただ、この温泉も源泉管理は重要で、管理者は「湯守り」としての役割をしっかりと担っている。源泉の井戸にはスケールの付着を抑えるために抑制剤が投入されている。抑制剤には、ポリ・アクリルリン酸を使用しているが、この製品は食品添加物としても使用されているもので誤って取り込んでも無害なことから使用されている。その、大切に守られてきた温泉と、使用後の余分なために放流していた冷却水を何とか活用できないものかと考えていた。バイナリー発電所も順調に運転を続けていたことから冷却水の活用が急がれていた。一つは、豊富な温泉を使って暖房設備を備えた農業用ハウスをつくり、土湯温泉ならではの果物の栽培はどうかと考えた。福島市は全国でも有数のフルーツのまちとして、桃、梨、リンゴ、さくらんぼ、ブドウ、などを生産している。これらの果物は、いずれも季節があって出荷の時期は限られていることから、温室を使って出荷時期を変えた商品として付加価値を与えれば話題となり、再エネに次ぐ、土湯温泉町の復興・再生の事業になるので

はと考えた。ただ、問題として温泉と冷却水の活用では源泉の管理地から離れて行くわけにはいかないという事情があり、そうすると、利用できる土地の面積に限られてくる、実際、様々な要件によって利用できる面積は最大500㎡とされていた。周辺には温泉管理に必要な事務所や管理施設、倉庫などが置かれていて、すでに300㎡が使用されていた。残りは200㎡となることから大掛かりな施設は作れないことは容易に理解できた。



写真6 養殖場の建設予定地

何よりも価値的で、効率的なふるさと産品となるものを創り出したい、復興・再生と賑わいの創出に繋がるものをめざしたいと考えを巡らせていた。ハウス栽培は、ある程度の面積が必要となることから困難と判断し、改めて発想の転換を試みた。そもそも、21℃の冷却水の活用を考えていたのではなかったか、豊富で綺麗な水と、そこそこに保たれた水温で淡水を活かすために何ができるのかを考えた時、養殖に活かそうとの思いに至った。それでは、淡水の温かい水で養殖できるものは何か、と調べを進めるとウナギはどうか、フグはどうか、スッポンはどうかとアイデアを提供する人も現れるようになり、さらには、ナマズやチョウザメも養殖のまな板上がった。検討したがそれぞれに課題があり、中々、結論にまでたどり着けなかった。自分としてはその間にも密かにエビに注目していた。国内でもエビの陸上完全養殖が行われており、情報もつかんでいた。ただ、コストを含め多くの課題を背負いながら取り組む様子も伺えたことから判断がつかなかった。

様々な情報を得ながら「オニテナガエビ」について知る機会があった。東南アジア原産の淡水のエビで養殖水温は25℃～30℃の範囲、比較的成長も早く食材としても優れているという、さらに、引きつけられたのは、ザリガニと同じように釣りができるという事であった。海外の情報を探ると東南アジア

各国でオニテナガエビの釣り堀の様子を見ることが出来た。さらに、驚いたのは、ニュージーランドのワイラケイバイナリー発電所では、2005年からオニテナガエビの養殖を手掛けていて、釣りはもとより併設するレストランでは様々なエビ料理を提供し大いに賑わっている様子を知ったことで、これまでになく興味を惹かれ、「これだ」と、確信に似た思いに至った。何よりも、日本人はエビが好きである。この一点だけでもやれそうな気がした。

7 オニテナガエビ養殖事業に挑戦

早速、国内のオニテナガエビの情報を探った。すると、青森県弘前市で20年以上も前から養殖を手掛けていることが分かった。連絡先を確かめ電話で問い合わせると視察も受け入れているという。2016年1月、厳寒の積雪の中スタッフを同行し、オニテナガエビの待つ弘前に向かった。



写真7 弘前のエビ養殖場を訪ねて

オニテナガエビの養殖場はJR弘前駅から車で20分ほどの相馬という地域にある。隣には、御所温泉・やすらぎの湯という温泉入浴施設があり、その温泉を活用してエビの養殖を行っていた。施設を訪ねると管理者の山崎隆穂さんが優しく迎えてくれた。折しも、オニテナガエビの魅力に引かれて養殖を学んでいるという東北町に住む、山崎充君とも出会い、彼には土湯温泉町の復興・再生と賑わいの創出へ向けた事業の必要性を訴え、支援をお願いした。折しも、2016年度の「地熱理解促進補助」の公募が開始されたのを機に採択を視野に手続きを進めた。この補助はソフトとハードの二つの分野があり、土湯では養殖場の整備と無散水の融雪設備を備えたバイナリー発電所の見学展望施設を建設するハード分野で申請を行い、希望通り採択の結果をいただいた。

養殖場の建設工事は、2016年の晩秋から始まり年度内の完成をめざし急ピッチで進められた。



写真8 養殖場工事の様子

養殖場の整備面積は200m²と制限されていたことから、水槽は9個配置したが最大容量は50tに留めざるを得なかった。2017年3月、施設は完成し、かねてより支援を仰いでいた山崎充君を招聘し養殖事業は本格的にスタートした。持ち込まれた2匹の親エビとともに泊りがけの45日間、不眠不休の作業を続け、2匹から誕生した稚エビ（ゾエア）は約18,000を数えた。初めは目に見えない姿から順調に育てば、半年後には7～8cmほどに成長することになり、その日を夢見ながらの楽しみの中で作業は続けられた。



写真9 「つちゆ湯愛エビ」

養殖事業のスタートから一年半、生き物を扱う難しさに連日格闘を続けながら飼育数を増やし、現在

では全体で約30,000匹まで育てることが出来た。

そもそも、この事業のきっかけは、再び温泉街に賑わいを取り戻したいとの思いを形にすることと、バイナリー発電所で使用した大量の冷却水の活用が目標だった。オニテナガエビと出会い、少しずつではあるが土湯温泉町の活性化に向けた動きも出始めている。まず、エビの名称を考え「つちゆ湯愛エビ」と命名した。温泉の恵みを受けて土湯温泉町の名物に育て上げ、ブランド化を図りたいと考えている。現在は仮設ではあるが温泉街の空き店舗を使い「釣り堀」を開設した。期間も限定で週末と祝祭日の開催となっているが、マスコミにも積極的に取り上げていただいたことから話題となり賑わいを見せている。



写真10 賑わう「つちゆ湯愛エビ」釣り堀

8 結びに

東日本大震災と原発事故の思わぬ災害から、疲弊した温泉街を何としても復興・再生させ、再び、賑わいの創出を図ろうと全力で取り組んできた。めざすのは、観光の振興である。

中国の易経に、観光とは「国の光を観る」と記されている、土湯温泉町は、ますます光を放し続け全国からお越しただくお客様に土湯温泉ならではの「おもてなし」でお応えしていきたい。

別府温泉の地学的成り立ち

ゆ さ ゆうき
由佐 悠紀*

K
Key Word

地学, 別府温泉, 地下温度分布, 泉質分布, 熱源, 水源,
水の流路, 温泉生成モデル

1 はじめに

大分県別府市一帯における温泉の存在は、奈良時代の昔から全国的に知られていたようである。鎌倉時代には元寇での傷病兵が療養に訪れ、江戸時代末期には湯治などの旅客のための温泉宿があった。明治初期には、現在の別府市域で31カ所の源泉が数えられている¹⁾。それらは全て自然湧出の温泉であったが、明治12(1879)年4月、わが国で最初の小口径の温泉掘削(約4m深)が行われ、これを契機として掘削が進んだ。特に1960～70年代の高度経済成長期の掘削による温泉開発は目覚ましく、源泉数も流出する温泉水量・熱量も飛躍的に増加した。2016年3月末現在、別府市域における源泉数は2,292、流出する温泉水量は1分間当たり87,346Lと(注1)、それぞれ全国の8.4%および3.4%を占め、わが国で最大規模の温泉地と認められている。加えて、泉温が高く、泉質が多様なことでも、わが国を代表する温泉地として評価されているようである。このように大規模な開発は、資源の劣化傾向を招きながらも、別府温泉を理解する上で有用な各種資料を提供した。本稿では、そうした資料に基づいて、別府地域に展開する温泉系の地球科学的概要を紹介し、その成り立ち(構造)を概観する。

注1: 自噴量 19,941 L/分, 動力揚湯量 67,405 L/分;
動力揚湯の場合、日量など正味の採取量の算定には動力稼働時間を考慮しなければならない。

2 地下温度分布

別府温泉は、標高1375mの鶴見岳を主峰とする活火山「鶴見岳・伽藍岳」の東麓、別府湾に至る東

西5km・南北8kmの扇状地斜面に展開している。源泉のほとんどは掘削井であり、自然湧出泉は限られている。図1には、掘削時の地温測定値から推定された、海面下100m深での地温(地下温泉水温)分布を太い曲線群で示す²⁾。北縁部と南縁部にみられる西(内陸)から東(海岸)に向かって伸び出す等温線は、地下温泉水(Na-Cl型温泉水:後出)の流動方向(図中の矢印)を示唆している。

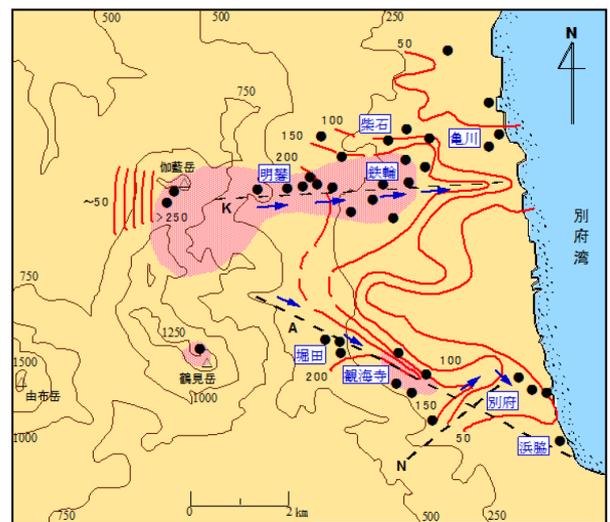


図1 海面下100mにおける地温分布(°C)

矢印は温泉水の流動方向, ●は昔の自然湧出温泉
網掛け部分は熱水と蒸気が共存する範囲

図中の●は、昭和初期に記録された古来の自然湧出泉である³⁾。それらは扇状地の北縁と南縁に沿う高地温域に沿って分布していた。主要な湧出域は北縁部と南縁部にそれぞれ4カ所、合計8カ所あり、別府八湯(べっぷはっとう:注2)と総称されて、市民に親しまれてきた。図1にはそれらの地区を記

*別府温泉地球博物館 代表・館長

入したが、現在の源泉分布は扇状地の全域に広がっているため、別府八湯の区分は不明瞭になっている。

注2：別府八湯

北縁部の明礬温泉・鉄輪温泉・柴石温泉・亀川温泉、および南縁部の堀田温泉・観海寺温泉・別府温泉・浜脇温泉を指す。「別府温泉」は別府八湯全体に対しても使われる呼称であるが、とくに地域名を明瞭にするときは、別府温泉（狭義）とする。また、本文中では“温泉”を省略して、単に“明礬”などとすることもある。

3 流出水量と熱量

別府温泉の源泉は、流出する流体の形態から、噴気（高温蒸気が流出）・沸騰泉（沸騰する蒸気混り高温水が流出）・一般温泉（沸騰点未満の温泉水が流出）の3種に大別される。別府温泉の象徴とされる“湯けむり”は噴気・沸騰泉からの高温蒸気が空中で凝結して霧状になったものである。高度経済成長期には、鉄輪や観海寺などの高地部で噴気・沸騰泉の開発が進展し、湯けむりの数が倍増した。

表1 別府温泉の源泉数と流出する水量 (ton/day)・熱量 (10¹¹cal/day)：1975年頃。

区分	源泉数	水量	熱量
一般温泉	2,240	28,300	15.0
噴気・沸騰泉	197	26,380	55.5
全源泉合計	2,437	54,680	70.5

(自噴泉については、分当たりの量を日量に換算；動力揚湯泉については、稼働時間を考慮して推定。熱量は0℃基準)

表1には、温泉開発が一段落した1975年頃における「源泉数」および流出する「水量」と「熱量」を示した⁴⁾。ただし、噴気と沸騰泉はひとまとめに

した。噴気・沸騰泉の数は全体(2,437：現在よりやや多い)の8%に過ぎないが、それらからの流出水量は約48%、熱量にいたっては約80%を占めている。

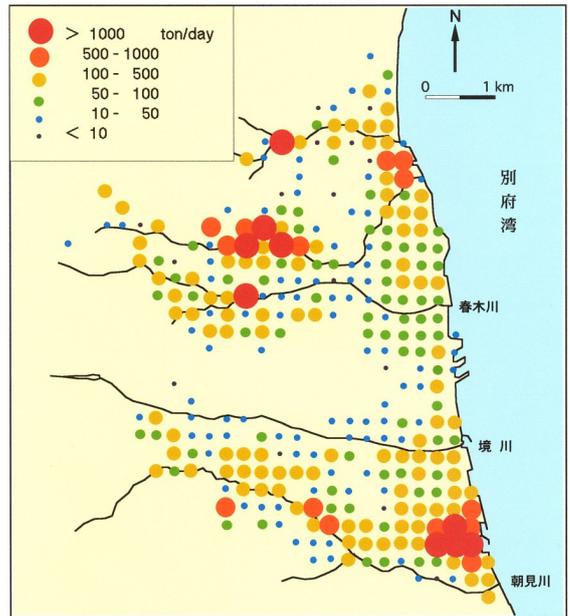


図2 250m 平方からの流出水量分布

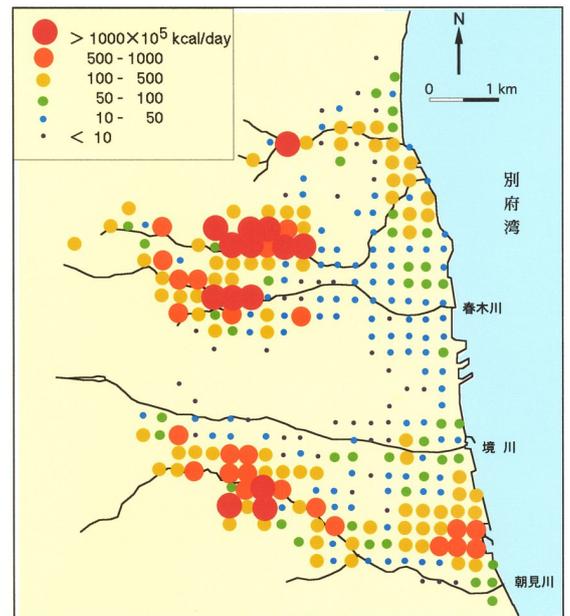


図3 250m 平方からの流出熱量分布

表2 別府における代表的な温泉の化学組成 (mg/kg)

地区	温度℃	pH	Na	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃
明礬	74.4	2.6	20.7	8.3	202.0	3.3	275	0
鉄輪	沸騰	7.5	1173	1.0	44.1	1849	241	35
柴石	81.3	3.7	353.8	11.5	47.1	457	380	0
亀川	51.4	7.4	141.0	6.6	16.7	122	102	115
堀田	88.7	4.8	38.2	24.1	51.1	11.0	377	6.1
観海寺	沸騰	8.5	590	2.7	21.6	934	145	84
別府	47.5	8.0	340	42.0	44.2	135	106	1000
浜脇	42.0	6.6	3013	389.6	362.7	5840	797	243

図2と図3には、250m平方の範囲から流出する温泉水量および熱量を6段階に分けて表した⁵⁾。水量も熱量も北縁と南縁の高温域で大きく、地下の高温蒸気や温泉水がこれらの地域に集中流動していることがうかがわれる。特に噴気・沸騰泉が多い上流部で、熱量の大きさが目立つ。これらの地区は、図1で網を掛けた部分に当たるが、温泉水が二相状態（液相と気相が共存、温泉水が沸騰している）にあると考えられる。

別府全域の流出水量と熱量（表1）および分布状態（図2と図3）を総合的にみて、温泉利用（資源消費）に当たっての噴気・沸騰泉の意義の大きさが注目される。

4 泉質とその分布

温泉水には多種多様な化学成分が含まれ、その濃度・組成は温泉を特徴づける重要な要素である。表2には、別府温泉における代表的な泉質（化学分析値）を掲げた。鉄輪と観海寺に分布する沸騰泉は、陽イオンはNa⁺、陰イオンはCl⁻を主成分とする“ナトリウム-塩化物泉型（Na-Cl型）”であることが大きな特徴である。同様の化学組成は、日本はもとより世界各地の火山地域の熱水に共通したものである。このような熱水は、深部熱水などと呼ばれ、火山地域の本源的な熱水（温泉水）と考えられている。図1中の温泉水の流動方向（矢印）は、Na-Cl型温泉水の分布も勘案して描かれている。

他方、北縁と南縁の最上流部に位置する明礬地区と堀田地区ではCl濃度が低く、酸性から弱酸性のものが存在すること、また、それらのSO₄濃度が大きいこと、すなわち硫酸酸性水であることが特徴である。とくに、明礬地区のpHは低い。

海岸に近い亀川や別府（狭義）でのCl濃度は中間的であるのに対し、SO₄やHCO₃などはある程度の量が含まれている。とくに、別府地区でのHCO₃濃度が大きい。

別府市南東端の浜脇地区の温泉は、低温でありながら、成分濃度は非常に大きい。これは、温泉開発に起因する地下温泉水圧の低下のため、海水が浸入したことによる。

5 熱源と温泉水の流路

別府地域は、活発な変動帯（沈降帯）である別府-島原地溝の北東端に位置している⁶⁾。地域の大部分は第四紀の火山噴出物によって覆われているが、その北縁部（国東半島）と南縁部（佐賀関半島）に

は、この地域の基盤である先第三紀の地層（領家変成岩/花崗岩および三波川変成岩）が露出し、両露頭の間帯は低重力である⁷⁾。このことは、別府湾から西方内陸に続く一帯が基盤の沈降帯（地溝）であることを示している。

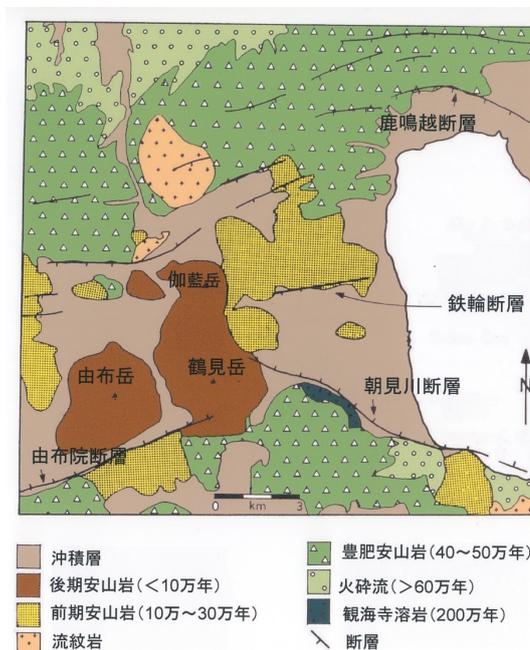


図4 表層地質の概要
〔文献^{7)・8)・9)}などに基いて編集〕

図4は、別府地域における表層地質の概要である^{7)・8)・9)}。一部分を除き、ほとんど全域が第四紀火山噴出物で覆われているが、最古のものでも約200万年前の観海寺熔岩（プロピライト）で、最新のものは10万年前より新しい鶴見岳・伽藍岳の安山岩である。先第三紀基盤の露頭分布と合すると、別府地域では、第四紀を通して、基盤の沈降と新しい火山活動が継続してきたと言える。

このように火山活動が新しいこと、および、鶴見岳・伽藍岳の山頂付近に噴煙活動がみられることから、地下が高温状態にあることは明らかである。これと関連して、両峰の地下には震源の空白域がみられる¹⁰⁾。また、別府地域の地下が日本列島の中でも高温であることは、キュリー点深度（500～600℃）が7～8km程度と浅いことも調和的である¹¹⁾。

さて、図4のように、火山岩は地域の中心部の鶴見岳・伽藍岳で最も若く、周辺部で古い。このことは、この地域が南北に分裂・拡大しているためと解釈される。実際、地震の発震機構は正断層型で、残存する断層も正断層である¹²⁾。図4中の鉄輪断層と朝見川断層が代表的な正断層であり、これらがNa-Cl型温泉水の主要流路（図1）になっている。

6 水源

水分子の水素と酸素の同位体比より、世界中の温泉水のほとんどは天水起源であることが明らかになった。別府温泉の水も天水起源として説明可能であり、マグマ起源の水は検出されていない¹³⁾。しかしこのことは、マグマ起源水の存在を否定するものではなく、圧倒的に多量な天水によってマグマ起源水の信号が消されているか、あるいは、マグマ起源水の大部分も天水起源であるためかもしれない。今後の研究課題である。

7 天水の加温と泉質形成機構

この地域の地下が高温であっても、浸透した天水が昇温するには、地殻熱流だけでは不十分で、高温流体（火山ガス）の混入が必要である。別府温泉においては、伽藍岳近辺の海面下約5kmの狭い範囲で、火山ガスの上昇を思わせる非常に低い比抵抗値が検出されている¹⁴⁾。

表3に大分県の火山ガスの主要成分の例を挙げる。星生山（九重町）のガスは高温でH₂Oが圧倒的に多量であるから、このようなガスの混入によって天水は効率よく昇温する。同時に化学成分も与えられ、温泉水（地熱水）へと変換する。与えられる主要成分はCO₂・SO₂・H₂S・HClであり、これらから酸が生じ、岩石と反応（中和反応）して金属成分を溶出し、さまざまな泉質の温泉水が生成される。

日本列島の火山性温泉の泉質は、前述のような過程で生成されると考えてよいが、より詳細には、地下深部でまずHClとSO₂が溶解し、塩酸と硫酸が混合した強酸性水が生じる（注3）。

次いで、周辺の岩石からNaが選択的に溶出され、硫酸イオンを含有するNa-Cl型の中性の熱水（原温泉水）が生成されることが考えられている。この熱水にはCO₂とH₂Sが遊離ガスとして溶解している。表3に掲げた伽藍岳（別府硫黄山）のガス中にHClとSO₂が含まれていないのは、それらが昇温水に吸収されて、Na-Cl型の原温泉水が形成されるという考えを支持している。

火山地域の温泉水の基本的な泉質として、上述の塩化物泉に加えて硫酸塩泉と炭酸水素塩泉がある（表2参照）。それらも火山ガスの主要成分に由来している。大まかな生成機構は次の(1)～(4)、

図5のようである。【 】は、相当する温泉（地区）である。

- (1) 原温泉水が、断層などを通して上昇すると、圧力低下のため沸騰し、液体と気体に分離して、遊離ガス（H₂S・CO₂）の大部分は気体側に移る。
- (2) 蒸気分離後の原温泉水は、浸透水で希釈されながら流動して湧出する。泉質は塩化物泉型（前出のNa-Cl型）で、熱水希釈型（または熱水性）温泉と呼ぶ。【鉄輪・観海寺】
- (3) 蒸気は上昇し、地表近くで地下水と混合する。H₂Sは酸化されて硫酸酸性泉が生じる。CO₂からは炭酸泉（弱酸性）が生じる。両者は岩石と反応し、硫酸塩泉および炭酸水素塩泉が生じる。これらは、蒸気加熱型（または蒸気性）温泉と総称する。このプロセスにより、岩石は金属成分を失って、シリカ主体の岩石に変質し、地面は灰白色になる。【明礬・堀田】
- (4) 上のプロセスで生じた各種温泉水は、下流への流動道程で混合するとともに地下水で希釈され、また、流路の岩石類と反応して、多種多様な泉質が生じる。【柴石・亀川・別府（狭義）・浜脇】

注3：活火山では、塩酸と硫酸が混合した強酸性温泉水が湧出していることがあり、「火山ガス吹き込み型温泉」と呼ばれる。

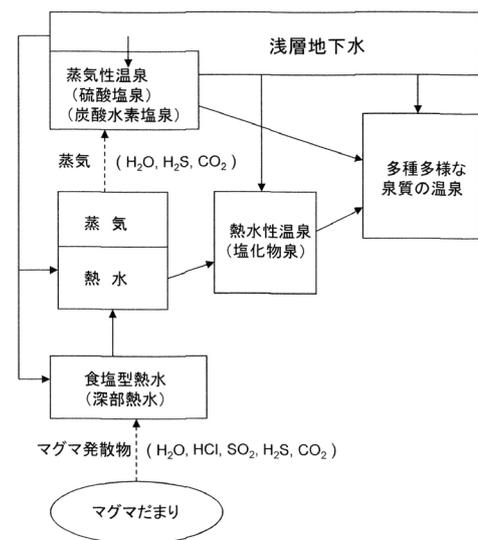


図5 泉質形成機構の模式図

表3 大分県の火山ガスの組成（単位：体積%）

火山	温度℃	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	H ₂ S	HCl
星生山	340	97.6	0.46	1.36	0.33	0.26
伽藍岳	114.7	99.07	0.774	～0	0.148	～0

図6は、本文で紹介した様々な資料に基づいて作成した鉄輪断層に沿う温泉系の模式図である¹⁵⁾。最上流部の「伽藍岳」および「明礬」には強硫酸酸性の蒸気性温泉が湧出し、「地獄」ではNa-Cl型の熱水性温泉が噴出し、海岸部では上流域の温泉と地下水が混合した温泉が湧出している。

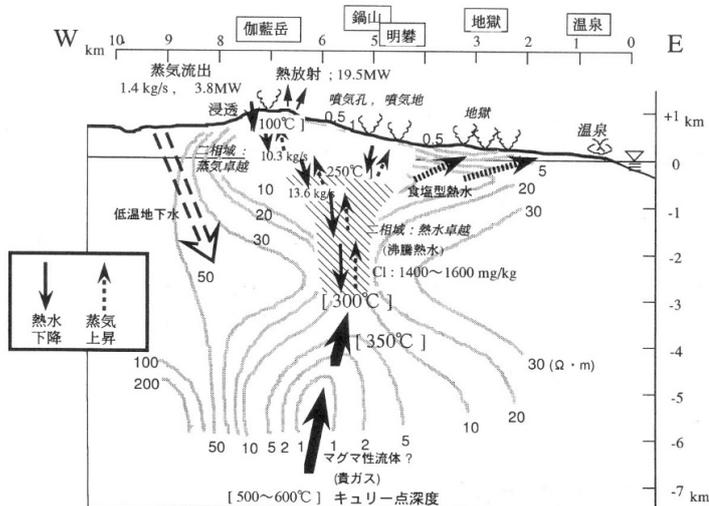


図6 鉄輪断層に沿う温泉系の模式図

この頃から、地下温泉水圧の低下が感知されるようになった。図7に見られるように、総源泉数の増加に伴い、一時的に増加した自噴泉は減少し始め、代わって動力揚湯泉が増加して、1960年代の終わり頃には、その数が逆転した¹⁶⁾。

その後、低地部の別府温泉(狭義)では、塩化物泉型温泉の「温度とCl濃度の低下」および「HCO₃濃度の上昇」が目立つようになった。図8は、その代表的な例である¹⁶⁾。これは、この地区への原温泉水(Cl型)涵養量の減少を意味する(注4)。同様のことは、臨海部の亀川地区でも見られる。

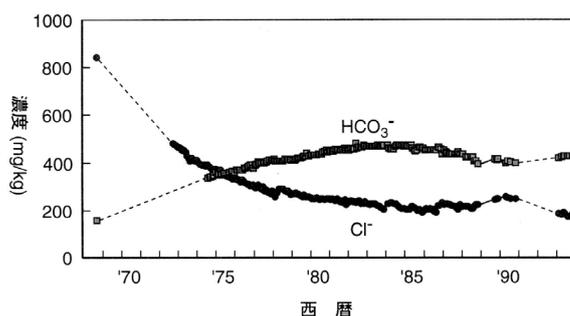


図8 別府温泉(狭義)の一源泉(沸騰泉)におけるCl濃度とHCO₃濃度の経年変化

8 開発の影響

明治時代以来の長年にわたる温泉開発によって、別府温泉はわが国で最大規模の温泉となった。とりわけ1960～70年代を中心に推進された温泉開発は活発で、源泉数も湧出量も飛躍的に増加した。これにより、温泉に関する多様で豊富な資料が集積され、温泉系に対する地学的な理解が進んだ。また、別府市は、得られた豊富な温泉を核にして、わが国を代表する観光地へと発展した。他方、大量の温泉水の流出・採取は、温泉系に何らかのインパクトを及ぼしている。

別府温泉では、高度経済成長期の開発によって、上流部(鉄輪や観海寺)で高温・高Cl濃度の原温泉水に近い温泉水が大量に流出することとなった。

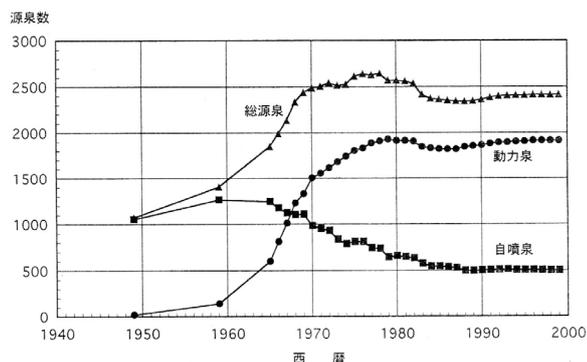


図7 掘削源泉数の推移

以上を総合的にみれば、1960～70年代に進行した上流部での塩化物泉型高温水の開発の影響が、数十年を経て、低地部の温泉に顕在的に現れていると考えざるを得ない。このような状況を直視すれば、別府温泉ではこれまで以上に、温泉資源保護を重視した適正利用を図ることが望まれる。

注4: 図8の源泉の泉質は、1965年の掘削当初、典型的なNa-Cl型であったが、年月の経過につれて、Cl濃度は低下し、HCO₃濃度が増加した。この源泉の周辺域には、浅部にHCO₃型の温泉水(蒸気性温泉水)、深部にCl型の温泉水(熱水性温泉水)が分布する。したがって、両イオン濃度の変化は、深部水(Cl型)の圧力低下(涵養量の減少)を意味する。なお、この源泉は、2006年2月頃に沸騰を停止したため、現在(2018年9月)は動力による揚湯が行われている。

9 おわりに (温泉を通しての海域-陸域の物質循環)

別府温泉では、塩化物泉型温泉水の流路に、温泉水から析出したカリウム鉍物の濃縮が見られ、これより、別府温泉系の年齢(継続時間)が5万年と推

定された¹⁷⁾。この間に別府温泉から流出した物質の量は膨大であり、これを補給する機構の解明が必要である。拠り所となるのは「プレートテクトニクス」に基づく、火山活動（マグマの生成）のメカニズムであろう。その重要な「鍵」は、海溝・トラフにおける海洋性プレートの沈み込みによる「海水や海成堆積物などの引きずり込み」である。

マグマに取り込まれた海水の Cl^- から HCl が、 SO_4^{2-} から SO_2 と H_2S が生じ、また、堆積物中の炭酸カルシウム（サンゴ礁など）から CO_2 が生じ、これらが火山ガスの成分となって、地表に再出現し、温泉となる¹⁸⁾。

火山と温泉を通しての海域と陸域間の物質循環という過程は、具体的なイメージとして描き出されつつある（図9）¹⁹⁾。

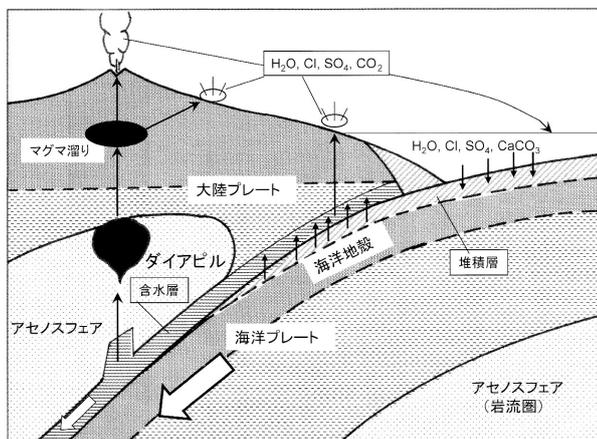


図9 海域—陸域の物質循環

- 10) 由佐悠紀・馬渡秀夫「別府地域の地震（4）」、「大分県温泉調査研究会報告」, 50, pp.1-14, 1999
- 11) 大久保泰邦「全国のキュリー点解析結果」, 「地質ニュース」, 362, 12-17, 1984
- 12) 多田 堯「九州中部地方の地殻変動とテクトニクス—別府-島原地溝の分裂拡大—」, 「地質学論集」, 41, 1-12, 1993
- 13) 北岡豪一・由佐悠紀・神山孝吉・大沢信二・Stewart, M.K.・日下部実「水素と酸素の安定同位体比からみた別府温泉における地熱流体の移動過程」, 「地下水学会誌」, 35, pp.287-305, 1993
- 14) NEDO「昭和63年度全国地熱資源総合調査（第3次）広域熱水流動系調査 鶴見岳地域 比抵抗（MT・CSAMT法）調査報告書 要旨」, 1989
- 15) 由佐悠紀・大沢信二・北岡豪一・福田洋一「伽藍岳の地熱調査（2）—伽藍岳を中心とする地熱構造モデル」, 「大分県温泉調査研究会報告」, 47, pp.7-11, 1996
- 16) 由佐悠紀・大沢信二・北岡豪一「別府温泉における温泉水系の変動」, 「大分県温泉調査研究会報告」, 53, pp.1-11, 2002
- 17) 由佐悠紀・大沢信二「別府温泉の年齢」, 「大分県温泉調査研究会報告」, 51, pp.1-9, 2000
- 18) 野田徹郎「大分県の地熱発電と化学の役割」, 「化学と教育」, 64, pp.400-405, 2016
- 19) 由佐悠紀「温泉の生成過程—中部九州を中心に—」, 「耐火物」, 67, pp.492-502, 2015

（参考文献）

- 1) 別府市：「別府市誌 2003 年版」, 2003
- 2) Allis, R.G. and Yusa, Y. 「Fluid flow processes in the Beppu geothermal system, Japan」, 「Geothermics」, 18, pp.743-759, 1989
- 3) 鈴木政達「別府付近の地史と温泉脈」, 「地球物理」, 1, pp.6-19, 1937
- 4) 由佐悠紀・野田徹郎・北岡豪一「地熱地域を含む温泉地からの流出水量、熱量および化学成分量—別府温泉の場合—」, 「温泉工学会誌」, 10, pp.94-108, 1975
- 5) 吉川恭三・由佐悠紀「別府温泉の現況調査（3）」, 「大分県温泉調査研究会報告」, 27, pp.1-15, 1976
- 6) 松本徹夫「九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題」, 「地質学論集」, 16, pp.127-139, 1979
- 7) 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎「別府地域の地質、5万分の1地質図幅」, 「地質調査所」, p.8, 1988
- 8) 竹村恵二「別府地域の地質」, 「別府の自然（別府市自然環境学術調査報告書）」, pp.33-53, 1995
- 9) 藤沢康弘・小林哲夫「由布・鶴見火山」, 『九州の火山』（築地書館）, pp17-32, 1999

地熱資源を探る ―地熱地質学―

きよさき じゅんこ
清崎 淳子*

Key Word

地熱地質学, 熱水変質, 変質鉱物, 有望性評価, 地熱発電

1 はじめに

世界有数の火山国である我が国では、火山の恵み地熱資源が豊富である。日本列島に並ぶ現在活動中の活火山周辺域だけでなく、過去の熱水活動が及んだ地域ではその流体の特性により有用な鉱床が形成され、また地熱や温泉などの資源が賦存される。地熱系の発達した地域では高温から低温まで利活用の対象となる、とても身近な国産資源である。資源・エネルギーを把握する時、地質学的な時間のスケールでは生成年代の古い方に金をはじめとする鉱物資源、新しい方に温泉・地熱等の資源が並ぶ。さらに人類の時間スケールで見れば、様々な鉱物資源の利用、火山周辺の自然公園、風光明媚な景観や温泉・噴気などの直接利用、地下に賦存する地熱資源を取り出して利用する地熱発電が身近な例として挙げられる(図-1)。

一方で、賦存量は豊富であっても利用率が低い資源として指摘されており、地熱開発特有の課題(開発のリードタイムが長い、開発リスク・コストが大きい等)から有効な利活用が進んでいない面もある。地域資源としての温泉との密接な関係から、共生へ向けての理解促進も進められており、様々な視点から地熱利用が検討されるようになってきた。地域密着の業務に関わることの多い地質調査業関係者へ相談が持ち込まれる例もあり、専門家としての関わり方も、開発調査段階とは違った形が生まれている。

さて、熱水活動に伴う岩石の変質は土木地質面で問題を発生させる素因となり、斜面崩壊や施設・設備の変状に繋がる事例にも多々触れる機会がある。地質と関連する分野では、土木地質学・火山地質学・構造地質学・資源地質学等、あるいはそれらを含む応用地質学という様々な関わり方があり、特に

「地熱地質学」は熱水変質や地熱系の発達過程を扱う。ここでは、これまで地熱開発の初期段階から深く関わってきた地質分野について紹介し、2050年を目指して動き出した次世代地熱発電の展開についても触れてみたいと思う。



図-1 地熱資源の利用(地熱発電)

2 資源としての地熱を探る

地熱資源は、貯留層と呼ばれる賦存する場所(器)と熱と流体が揃って初めて開発が可能になる。発電ができるほど高温の地熱流体が十分な量存在するかどうか、有望地と呼ばれる開発のターゲットを探り、資源量の評価をすることになる。規模が大きいほど調査・探査に時間がかかり、また、ターゲットの絞り込みにリスクが伴う。広域から地域へ絞り込む大きな調査の流れは、概査・精査と段階別に進められ、各段階で解析結果を評価し次の段階へ進級するかどうか判断することになる。

地熱貯留層は断裂構造と密接な関係がある。日本で稼働中の地熱発電所が利用している地熱貯留層の

* CROSS-ENGINEERING

ほとんどが断裂型貯留層とされており、地熱資源開発の初期段階から地質屋の関わる調査において、有望な断裂系を見つけ出すことは重要な使命であるといえる。既存文献調査による情報収集からスタートし、概査段階では机上調査・地表調査、精査段階では坑井調査が加わり地下情報が一気に加わる。

初期の机上調査は広域のリニアメント解析に始まり、地形判読や地質構造・火山構造の把握といった地熱資源を賦存している可能性のある器の存在をあぶり出す作業である。衛星画像や航空写真のデータも精度が上がり、解析手法も表現方法も時代と共に進化が著しい。地表調査としては、地質調査（地表踏査）・変質帯調査・断裂系調査、そして地化学調査、物理探査が並行して進められ、データが集積される。これらのデータは各分野が連携して解析結果を考察することが重要であり、様々な情報を重ね合わせて地熱系モデルを構築する。有望地を絞り込んでいく作業は地熱系全体への理解を進めていくことでもあり、それは対象地域の地質を基本とした総合理解に基づくものであるといえる。

地熱資源の在り処を示す地表に現れる示徴（地表徴候）の一つに温泉・噴気がある。分布の位置関係や性状を調べることによって、様々な有効情報が得られる。さらに、熱水と岩石が反応して起こる熱水変質作用は、変質岩の分布や地形の特徴に現れることがあり、これも地熱資源の有望な示徴として調査時に重要視される。特に熱水変質鉱物の種類によって分布の特徴を押さえ、鉱物組み合わせに基づく変質分帯図を作成すると、過去の熱水活動の優勢な部分や異なる性状の流体により変質を受けた履歴を読み取ることができる場合がある。地熱系の発達過程の把握に欠かせない情報が得られる数少ない解析手法であり、岩石化学や鉱物化学および流体地化学を含めた地球化学的手法が大いに活躍する。有望地を絞り込む評価に不可欠な情報が入手できる手法のひとつである。

地熱資源の賦存に断裂構造が重要な役割を果たすのは、地熱流体の通り道であり、かつ長い年月を経て地熱資源を貯留する場を形成するからである。地熱系の熱源として有望な火山活動は、概ね30万年前という目安が示されている¹⁾が、熱源となる貫入岩等、もっと古い年代まで対象になることもある。熱源として有効だと想定される年代値には地域特性があり、これらの解析には注意が必要であるように、地表徴候にも地域毎に特徴があるため、有望性評価の基準は、項目によって地域の特色を取り込んだものとする必要がある。一口に地熱貯留層といっても、形状・規模・流体の性状と固有のものであり、同じ

ものはないと考えられている。

地下の情報が得られる坑井調査では、コアやカッティングスの形で得られた地質試料を直接分析・解析できる。温度検層や物理検層などの坑井試験をはじめ、格段の精度で地下の情報量が増す。地質試料は岩石の観察や鑑定、化学組成や熱水変質鉱物のデータが集積し、深さ方向への変質分帯も可能になる。地下温度分布、熱源の位置、流体の性状や流体流動など、徐々に地熱構造が把握されていく。様々な調査結果を総合的に解析し構築される地熱構造モデルは、ターゲット選定や資源量評価の基礎となるものである。地熱資源を探る過程において、地質的な手法は様々な形であらゆる場面で関与しており、地熱構造モデルの構築に大きく貢献している。

3 地熱資源の地質的特徴

日本で最初に稼働した岩手県八幡平市の松川地熱発電所は50年の歴史を刻み、平成28年（2016年）には運転を開始した10月8日が「地熱発電の日」として制定された。九州では、大分県九重町にある大岳地熱発電所が50歳を迎えており、隣には国内最大級の出力を誇る八丁原地熱発電所がある。

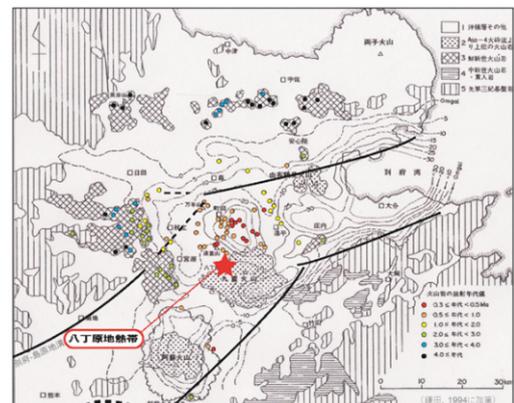


図-2 九州中部 広域地質構造と八丁原地熱帯 (鎌田, 1994 に加筆)

図-2に示した九州中部に位置する八丁原地熱帯には、大岳地熱発電所・八丁原地熱発電所があり、また設備利用率が90%を越える滝上地熱発電所がその東側に並ぶ。いずれも、別府-島原地溝内に位置し、いわゆる断裂型貯留層の地熱有望地である。八丁原地熱帯は地溝帯の中心部にあり、九重火山から北西へ4km程離れて位置しており、猪牟田カルデラと呼ばれる埋没構造の縁に当たる位置に発達している¹⁾。特にこの地域は、九州中部におけるテクトニクスの解釈からプル・アパート構造の発達が有

望な貯留層形成に寄与していると考えられている。地震解析や掘削データから共役系の構造の発達も確認されており、日本の中でも特異な地域として一大地熱有望地「豊肥地熱地域」を形成している。大岳・八丁原地域の活断層と地熱帯については参考文献2) 清崎他 (2003) を参照いただきたい。

八丁原地熱帯の特徴を少し詳細に見て行くと、地表に見られる断裂構造と熱水変質の分布の関係から、大構造の地溝帯の伸びとは斜交する北西-南東の方向性を持つ断裂構造が卓越しているという特徴がある。熱水変質作用の中でも、酸性の条件下で生成する鉱物(明礬石、カオリナイト、パイロフィライトなど)を特徴とする変質帯が、断裂構造沿いに分布していることが把握されているが、特に小松地獄という噴気帯がある地点では深くまで酸性変質が発達しているのが確認された。詳細な変質鉱物の分析結果から、火山性ガスが地下深部から上昇し、直接関与して厚い酸性変質帯を生成していることがわかった³⁾。地表だけでなく、同じ地点で1,000m近く掘削された坑井の地質試料を詳細に観察し、粉末X線回折法を用いて鉱物の同定を行うことによって、さらに特徴的な鉱物組み合わせの情報が得られた。酸性変質帯に特徴的な石英・鱗珪石・明礬石・カオリナイト・デッカイトのほかズニ石・トパーズが見られ、その鉱物組成にフッ素や塩素を有する点で火山性流体の直接関与が示唆された。すなわち、十分に熱水変質帯が発達した、活発な地熱帯の姿が見えてきたのである。

以上のように、有望な地熱資源を探り当てるためには、断裂系と熱水変質の把握が重要であることがわかる。また、地熱流体の温度を知るための流体包有物分析や熱水変質の時期を知るための年代測定など、独特の手法を組み合わせる解析を行う地熱地質学という捉え方が、地熱系をより精度よく把握するために活躍するのである。

4 次世代地熱発電

さて、古くて新しい地熱開発の視点に、耳慣れない「超臨界水」をターゲットとした「創エネルギー」プロジェクトが加わってきた。これが実現すると、設備容量が満たないという課題が一気に解決することになるプロジェクトである。興味の尽きない新しい用語であるが、キーワード検索をすると概要の理解の助けになる資料^{4), 5)}に出会うことができるのでお勧めしたい。

ここ1, 2年の間にマスコミにも幾度か取り上げられた、この「超臨界地熱発電」は、これまでの高

温岩体発電や従来の発電設備とは異なる新しい発想が必要である。それは、従来の開発資源を浅部地熱資源利用と位置付け、新たに深部地熱資源を利用するとされているからである。ただし、地下深部の脆性・延性以深の環境や性状を理解するとなると、その理解を助けるのはテクトニクスや岩石・流体の力学や化学といった様々な物性の基礎的な分野であり、私たち地質屋にはむしろ懐かしい響きを持つ。これらの地球科学分野がさらに進化を遂げて総動員されるのではないかと、期待を込めて眺めている。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)では、これまでも高温岩体発電の研究に取り組んだ経緯がある(1984~2003年)。その当時取組まれた深部への掘削深度は3,700mを越え、流体流動や透水性の実験も行われている。従来型の地熱発電と呼ばれるのは、深さ1km~3km、温度200℃~300℃程度の主に天水を起源とする貯留層の地熱流体を対象とする発電である。断層や周辺の破碎帯が貯留層として発達し、その熱源は第四紀の火山であることが多い。一方で、次世代の地熱発電とされる超臨界地熱発電は、深さ4km~5kmの400℃~500℃の流体を対象としており、海水起源の地熱流体であるとされる。地熱貯留層は脆性-延性遷移部の下、もしくは、弾性-塑性境界に位置している、これまで届かなかった場所である。このターゲットは沈み込み帯ならではの存在であり、日本にとって特徴的な位置付けである。先出の資料によれば、古火山やカルデラの下に推定されている超臨界水を含んだ超臨界岩体の存在は、既存の大深度掘削の成果に続き、貫入岩体周辺の透水性や鉱物の析出の研究⁵⁾により徐々に明らかにされていくと考えられている。特に、膨大なエネルギーが期待できる次世代地熱発電はまだ開発可能性の検証がスタートしたばかりである。

今回紹介した次世代地熱発電は、2050年あるいはこれから30年~50年後を見据えた夢のプロジェクトである。大いなる発想の転換であるが、これまでの地熱資源開発の技術・研究の積み重ねの延長線上に展開するものである。さらに、PCの進化や日本の得意とする素材・機器の技術分野の進化と連動して、日本の地下深くに眠る莫大なエネルギー資源である地熱資源を有効利用できれば、今までとはずいぶん違った将来像が描けるのかもしれない。興味のある方にはぜひ数々の資料に目を通していただきたいと思う。

調査・研究の解析や考察の段階で地球をスライスして断面図や立体図を描くことや、経過時間を加えてシミュレーションという手法も進展が目覚ましい

が、「脆性・延性」などの物性を想像しつつ「超臨界水」の挙動を追いかけられるのは、地質屋の出番ではないだろうか。なぜなら、見えない地下深部の高温高压状態を想定して、資源として抽出する方法を模索するのは、分野次第ではかなり困難な仮想の世界であり、イメージできない致命的な迷路に入り込むことにもなりかねない。夢のような話であった大深度掘削船や海洋底の資源探査は現実のものとして展開中である。「絶対無理」と思っている、強酸性に強い素材や超高温でも自在にコントロールできる機器が開発されるかもしれない。そうすると、夢がまた一歩こちらへ近づいてくるのである。

5 おわりに

日本では古来直接利用の温泉文化があり、地熱開発に伴う温泉や地下水への影響調査は、必ず評価すべき重要項目のひとつである。これまで述べたように断裂構造が地熱流体の通り道であることから、透水・不透水の評価をはじめ、賦存された資源量の評価と共に、限られた範囲で資源を適正量利用することへの配慮が欠かせないことがわかる。早い段階からのモニタリング調査が重視される所以である。地熱開発に伴う地域の理解促進が国の支援事業として進められているのも、技術面の理解だけでなく地域社会に根付いた存在としての温泉資源の保護を含めた理解を進める必要があるからに他ならない。今後の地熱資源開発の大きな柱の一つとしてしっかりと認識しておきたい。

国による支援の一つとして、自治体や地域での体制作りにより専門家によるアドバイスが受けられる手立てが準備された。関係自治体の連絡協議会だけでなく、関連分野の専門家に相談できるシステムである。支援の窓口となり、各種情報提供及び一般へ向けた資料提供は、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の地熱部が行っている。「地熱資源情報ホームページ」（<http://geothermal.jogmec.go.jp>）に詳しいので参考にさせていただければと思う。

地質を学び仕事として関わり続ける中で、他の分野との連携やデータ・解析結果の重ね合わせなど、考察を深める多くの機会に恵まれた。特に地熱開発に関わり始めてからは、地化学分野や地球物理学分野の調査・探査データの解析結果と合わせて総合解析を進め、有望な資源の在り処を地熱系モデル・地熱構造モデルとして組み立てていき評価するという過程に触れる貴重な経験をさせていただいた。実際開発が始まると、設備面や貯留層管理等の手法が加

わり、長い年月に渡って安定供給を継続する技術が投入されていく。長丁場の取組みは、チームワークのなせる業である。

地熱開発に関わるにあたって、身近におられた研究における先輩の方々から断裂系や地下水のことをしっかり学ぶようにと助言をいただいたことを思い出す。基礎として学んだ岩石・鉱物の化学や構造地質、火山など、様々な地球科学関連分野がみんな詰まった興味深い世界であると実感している。境界領域を考察する、見えない部分を想定する、各種データを総括するなど、今後ますます必要とされる視点や発想はまさに地質屋が得意とする領域ではないだろうか。次世代へ繋ぐためにも応援しつつ活躍を期待したい。

〈参考文献〉

- 1) 鎌田浩毅・檀原 徹・林田 明・星住英夫・山下 徹
：中部九州の今市火砕流堆積物と類似火砕流堆積物の対比および噴出源の推定，地質学雑誌，第100巻，第4号，pp.279-291，1994。
- 2) 清崎淳子・吉川美由紀・須藤靖明・田口幸洋：活断層と地熱帯—大岳・八丁原地域—，月刊地球，第24巻，第11号，pp.758-762，2002。
- 3) 清崎淳子・田中佳奈・田口幸洋・千葉 仁・武内浩一・本村慶信：八丁原地熱帯のハイボジーン酸性変質帯—明礬石変質帯からの解明—，日本地熱学会誌，第28巻，第3号，pp.287-297，2006。
- 4) 米倉秀徳：次世代地熱発電技術の全体像とその位置づけ，JOGMEC 平成26年度地熱部事業成果報告会配布資料，pp.1-44，2016。
- 5) 浅沼 宏：次世代地熱発電技術の最新技術開発動向，平成28年度 NEDO『TSC Foresight』セミナー（第1回）発表資料，pp.1-14，2016。
- 6) 最首花恵・岡本 敦・土屋範芳：地熱地域の地殻の透水—不透水境界と水の状態変化にともなう鉱物析出の関係性，地熱学会誌，Vol.38，no.1，pp.17-25，2016。

海外における地熱発電の動向

か い え だ ひ で し
海江田 秀志*

Key Word

地熱発電, バイナリー発電, 貯留層, 地熱資源, 地熱増産システム, 高温岩体発電

1 はじめに

1904年にイタリアのLarderelloにおいて世界ではじめて地熱蒸気を用いた発電が行われ¹⁾, 1913年には発電所として運転が開始された。その後, 1970年代の石油危機によりニュージーランドやアメリカ合衆国(以下, 米国), 日本などで地熱発電所の建設が精力的に進められ, 世界の地熱発電設備容量も増加した。1990年代から2000年代はじめには景気の低迷などにより, 米国・日本などでは地熱開発も滞ったものの, この間フィリピンやインドネシアで地熱発電所の建設が進んだ。そして, 2000年代後半頃から地球温暖化対策として再び地熱開発が世界的に進められており, 2017年には世界全体で14,305 MWの設備容量を超えるに至っている²⁾。

ここでは, 地熱開発主要国の開発状況について Bertani がまとめた資料³⁾をベースにして, 最近の文献等で得られた情報を追加して述べる。

2 主要な国の地熱開発状況

表-1は1990年から2017年における世界の主要な地熱発電国の発電設備容量(ベスト10)をまとめたものである²⁾。これによると米国が設備容量3,719MWで第1位, その後フィリピン1,928MW, インドネシア1,860MWと続き, 日本は549MWで第10位となっている。最近の地熱開発で注目される国はトルコやケニアで, トルコでは2010年頃から現在までの10年足らずの間に約1,000MWの発電所が建設されている。また, ケニアでも500MW程度の発電設備容量の増大となっている。これらの国の地熱開発には日本も協力しており, 国際協力機構(JICA)による円借款をはじめ発電機やタービンの

納入の他, コンサルタント業務等に参加している。

以下, 米国・中南米, ヨーロッパ, アジア・オセアニア, アフリカに分けて主要な地熱開発国の状況について述べる。

表-1 主要国の地熱発電設備容量 (MW)
BPの資料²⁾を元に作成

	1990年	2000年	2010年	2015年	2017年
アメリカ合衆国	2914	2942	3498	3812	3719
フィリピン	888	1931	1966	1917	1928
インドネシア	145	525	1193	1435	1860
トルコ	21	18	94	624	1064
ニュージーランド	261	365	723	978	978
メキシコ	743	843	965	874	919
イタリア	545	785	883	916	916
アイスランド	45	172	573	663	708
ケニア	45	45	209	605	676
日本	215	533	536	544	549
その他	178	486	753	889	988
世界合計	5998	8645	11393	13258	14305

2.1 米国, 中・南米

米国では1960年にカリフォルニア州のThe Geysersで地熱発電所の運転が開始された。その後急速に開発が進み, 1989年にはThe Geysersだけで総設備容量が2,043MWに達した⁴⁾。ところが, その頃から蒸気生産量が急激に低下し, 発電量も減少した。検討の結果, その原因が貯留層内の熱水量不足と評価されたことから, 人為的に水を注入して貯留層内の熱水量を補給(涵養)する方策が検討された。一方, カリフォルニア州では都市部での排水規制が強化され, 海に放出する前に有機物などの除去などが必要となった。そこで, The Geysersに近いサンタ・ローザ市では処理に困った排水を約60

*一般財団法人電力中央研究所地球工学研究所 首席研究員

kmのパイプラインにより輸送し、図-1に示すようにThe Geysersの貯留層へ注入することにした。このプロジェクトには米国エネルギー省も資金的に協力するなど官民挙げての事業となった。これにより、1日に約5万トンの水がThe Geysersの貯留層に注入され、貯留層内の熱水量および生産蒸気量の回復が図られているほか、生産蒸気中の非凝縮性ガスの濃度も低下して発電効率の向上も図られている⁴⁾。なお、高温の貯留層に注入された排水は有機物などが分解され、浄化されているとのことである。その後、The Geysersでは2015年9月に発電所周辺で発生した山火事により、いくつかの発電所や送電線などが被害を受けたが、最近ようやく復帰しつつある。

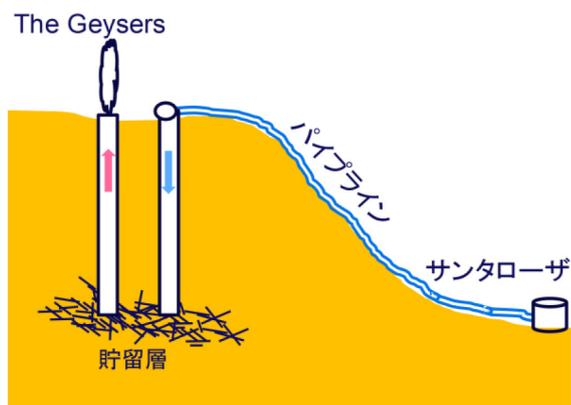


図-1 The Geysersにおける貯留層への都市排水注入の概念

米国ではカリフォルニア州においてThe Geysersをはじめ、Salton Sea, Cosoなどで約2,700MWの設備が、ネバダ州ではSteamboat, Dixie Valley, McGinnes Hillなどで約576MWの発電設備が設置されている³⁾。ネバダ州のSteamboat地域では地下1,000m付近に豊富に存在する熱水を汲み上げて、沸点の低い媒体と熱交換して地下に戻し、媒体の蒸気で発電するバイナリー発電⁵⁾による発電所の建設が進められている。一方、ハワイでは2018年5月にはキラウエア火山から出た溶岩により、Puna発電所(43MW)が被害を受けて発電を停止している⁶⁾。

また、米国では世界に先駆けて人工的に貯留層を造成する高温岩体発電(Hot Dry Rock; HDR, 図-2参照)⁷⁾や、天然の貯留層を改良する地熱増産システム(Enhanced Geothermal Systems; EGS)の技術開発を進めており⁸⁾、2018年にはFORGEと名付けた新たなHDR技術開発のプロジェクトを5年間で140百万ドルの予算で実施すると発表した⁹⁾ほか、地熱発電と他の再生可能エネルギーとのハイブ

リッド発電¹⁰⁾や、電力の熱水を利用した貯蔵、発電出力の需要に応じた調整などの検討も進められている。

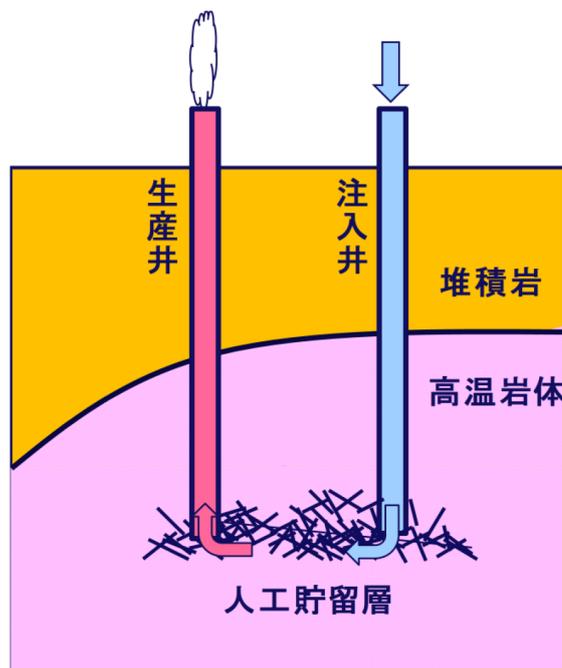


図-2 高温岩体発電(HDR)方式による地熱開発の概念

米国ではトランプ政権となり2018年度のエネルギー省(DOE)の地熱関連予算が大幅に縮小されて提案され¹¹⁾、世界中の地熱開発関係者が心配したが、カリフォルニア州やネバダ州では州政府が地熱関連研究などに予算を付けたほか、連邦議会の下院や上院で予算が増額され、最終的には81百万ドルと2017年度予算より増えており¹²⁾、2019年度の予算も同程度が期待されている。

中米ではメキシコでCerro PrietoやLos Azufresなどで総量1,058 MWの発電が行われている³⁾ほか、コスタリカのMiravallesやエルサルバドルのBerlinなどでそれぞれ207MW、204MWの地熱発電所が運転されている³⁾。これらの発電所では日本の地熱研修コースで学んだ技術者達が活躍している。

2017年9月には南米で初めての地熱発電所(48MW)が標高4,500mのチリのCerro Pabellonで運転を開始し¹³⁾、今後のさらなる開発が期待されている。

2.2 ヨーロッパ

ヨーロッパでは活動している火山が存在するイタリアやアイスランドでの地熱開発が盛んで、発電所も多く建設されている。一方、それ以外の国における地熱開発の主な目的は、地域暖房などに利用する熱水の生産で、高い温度が得られれば発電も行うと

いう計画で地下深部の掘削や調査が行われている。

2015年におけるヨーロッパの地熱発電設備は、8カ国で2,300MWとなっており、イタリア(916MW)、アイスランド(661MW)、トルコ(650.2 MW)、ドイツ(31.4MW)、ポルトガル(23MW)、フランス(18.2MW)、オーストリア(1.25MW)、ルーマニア(0.05MW)となっている¹⁴⁾。また、ヨーロッパにおける地熱水の熱利用については、アイスランドの1,890 MWthをはじめ、トルコの1,033MWth、フランスの456 MWthなど、総計4,517MWthの地域暖房設備が設置されている¹⁴⁾。

イタリアではLarderelloにおいて1913年以降地熱発電所の建設が進められ、1942年には設備容量が120MWに達した¹⁾。第二次世界大戦で発電設備の多くが破壊されたが、その後発電所の建設が進んだ。ところが、1950年代から蒸気の生産量が低下しはじめたため、その原因について検討した結果、貯留層内の熱水量が減少していると評価された。そこで、1970年代から発電後の凝縮水などを注入した結果、蒸気生産量が回復している¹⁵⁾。また、蒸気量の不足で出力が低下したCornia2発電所(20MW)では、バイオマスによる燃焼熱でタービン入り口前の蒸気を過熱化することにより、発電効率を向上させ、出力の回復を図るハイブリッド発電プラントも運転されている¹⁶⁾。さらに、2013年には発電所運開100周年を記念して地熱博物館が建設された。なお、イタリアでは最近熱水の直接利用による地域暖房などの設備も建設が進んでおり、2015年には1,300MWthの設備が設置されている¹⁷⁾。

アイスランドでは国内の電力の7割は水力発電で、残りの3割が地熱発電でまかなっている。地熱発電所で造成された熱水は都市部に輸送し、地域暖房や温水プールなどに活用されている。これにより、国内の1次エネルギーの69%は地熱エネルギーとなっており³⁾、発電後の熱水の利用もエネルギー量としては大きな役割を果たしている。特に、Svartsengi発電所からの熱水による巨大な露天風呂(Blue Lagoon)は世界的にも有名な観光地となっている。

一方、活動的な火山の無い他の国では、HDR方式⁷⁾による地熱開発の検討が1970年代に進められた。イギリス、ドイツ、フランス、スウェーデンなどでは地下深部からの熱抽出の研究開発が各国で独自に実施された。その後、1987年にはこれらの国の関係者が集まり、ヨーロッパ連合の共同実験としてフランスのSoutt-sous-Forets(以下Soutz)において実証プロジェクトが進められた。このプロジェクトでは図-3に示すように、地下5,000m付近に

存在する天然の亀裂系を水圧破砕で刺激して透水性を高め、亀裂内に存在する熱水を1本の坑井(GPK-2: 5,100m)からポンプで汲み上げ、バイナリー発電に使った後、ほぼ同じ深度の亀裂系に2本の坑井(GPK-3: 5,100m, GPK-4: 5,260m)で戻している。そして、これまで1.7MWの発電に成功している¹⁸⁾。

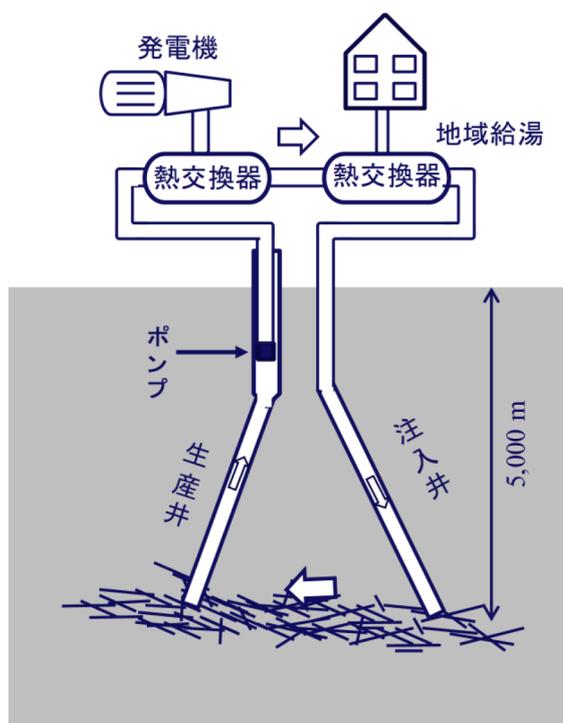


図-3 Soutzにおける地熱発電のイメージ

ドイツではSoutzにおけるプロジェクトの成果を利用して2015年までにDurmhaar(7MW)、Kirchstockach(7MW)、Sauerlach(5MW)、Insheim(4.3MW)などの地熱発電所が建設され、発電設備の総量が34.51 MWとなっている¹⁹⁾。なお、発電後の熱水は地表水と熱交換して地下に戻し、温水となった地表水は地域暖房などに供給している。これにより地熱発電の経済性の向上および二酸化炭素の排出削減に貢献している。また、その他にも熱水の直接利用の設備が建設されており、総設備容量は336.6MWthとなっている¹⁹⁾。

トルコでは近年国の支援により地熱開発が急激に進んでおり、2017年には総発電設備容量が1,000 MWを超えたとされる²⁾。なお、トルコの地熱開発には、国際協力機構(JICA)の円借款をはじめ発電機やタービンの納入など日本の企業も参画している。

その他、ハンガリーでは2017年11月に3MWの地熱発電所が運開し、7MWの熱水供給も行っている²⁰⁾。ほか、フィンランドでは2018年6月には6,400mの坑井を掘削し、水圧破砕による刺激を実施中

で²¹⁾、坑井内を循環させて造成された温水で地域暖房を行うプロジェクトも進められている。

2.3 アジア・オセアニア

ニュージーランドでは1958年にWairakei地熱発電所において熱水と蒸気が混合して生産される貯留層から蒸気のみを分離して6.5MWの発電に成功した。それまでの地熱発電はイタリアのLarderelloのように貯留層から蒸気のみが噴出する蒸気卓越方の地熱地域でのみで発電が行われ、日本のように蒸気と熱水が噴出地域では発電が難しいとされてきた概念を覆し、その後の日本の地熱開発に大きな影響を与えた。ニュージーランドではRotokawa (167MW)、Kawerau (140MW)、Mokai (111MW) など多くの地点で開発が進められ³⁾ており、2017年には総計978MWの発電所が運転されている²⁾。

2000年頃からはオーストラリアでも地熱発電の開発が検討された。現在活動している火山が無いオーストラリアではHDRもしくはEGS方式による地熱開発が必要とされ、2010年頃には国内で10件程度の地熱開発プロジェクトが実施された。その最も大きな実証実験が南オーストラリア州のCooper Basinにおいて実施された。この実験には日本からも電力中央研究所、東北大学、産業技術総合研究所などが協力して、2013年までに1MWの発電が行われた²²⁾。しかし、残念ながら発電コストの問題などから実用化に至らず、その後政府の支援も無くなったことから、ほかのプロジェクトも資金が集まらなくなり、オーストラリアでの地熱開発はクイーンズランド州Birds billにおける2MWの発電に留まっている。

東南アジアではインドネシアとフィリピンにおいて精力的に地熱開発が進められており、2017年現在フィリピンが1,928MW、インドネシアが1,860MWとなっている²⁾。

インドネシアでは国内の地熱資源量が30,000MWあると推定し、1984年頃から地熱発電所の運転が始まり、Gunung Salak (377MW)、Darajat (260MW)、Kamojang (200MW)などで地熱発電所が建設されている。政府は2025年までに7,100MWの地熱発電所建設の目標を立てており²³⁾、今後開発が加速される見込みである。インドネシアでの地熱開発には日本の企業も参加しており、北スマトラ島Sarullaでは総出力330MWにもなる発電所の建設に、九州電力株式会社や伊藤忠商事株式会社などが参画している²⁴⁾。

フィリピンでは1977年に3MWの発電所が建設されて以来Tongonan (726MW)、Mak-Ban (758MW)、

Tiwi (234MW)などで開発が進み³⁾、2007年には総発電設備容量が2,000MWを超えた²⁵⁾が、その後設備の老朽化などや、2015年の大型台風による被害などにより発電所の停止などもあり、総発電設備容量は減少しており、新たな発電所の建設も滞っているようである。

その他、最近では中国、韓国、台湾等でも地熱開発が進められている。韓国ではEGS方式によりPohangにおいて1.5MWの発電システムが建設された²⁶⁾が、2017年11月15日に発電所近傍で発生したマグニチュード5.4の地震により開発は中断している。

中国では雲南省Yangbajainで1980年より28MWの地熱発電が行われている³⁾が、その他の地域では活動的な火山もほとんど無いことから、地熱発電の開発は進んでいなかった。最近、大陸内部の活動的な火山もあまりない地域において、深部掘削によるHDRもしくはEGS方式による地熱開発を目指した調査が進められている。大陸中央部のQinghai provinceでは2017年9月に深さ3,705mの坑井が掘削されており、温度も236℃が得られている²⁷⁾ほか、中国東北部での高温岩体資源調査も進められている²⁸⁾。

台湾でも最近地熱資源の開発が注目されつつあり、地熱開発プロジェクトがいくつか計画されている。2018年3月には南部のTaidongにあるRainbow Hotelに30kWの発電機が設置されたとのことである²⁹⁾。

なお、中国や韓国では地熱水の直接利用が盛んで、最新の情報によれば2017年末に中国の地熱ヒートポンプの設備容量が20,000MWthを超え、世界一になったとのことである³⁰⁾。

2.4 アフリカ

アフリカでは主に東アフリカ大地溝帯(East African rift)周辺に地熱地域が存在し、現在は主にケニアやエチオピアなどで地熱開発が進められている³¹⁾。これらの国では水力発電も行われているが、最近では干ばつなどの影響もあり出力が安定せず、火力発電は石油価格の問題や地球温暖化対策などから導入は進まず、地熱開発に政府が力を入れている。

ケニアには第四紀の火山が14個あり、地熱開発資源量は10,000MWあると推定し、2017年現在の676MWの発電設備を2030年には5,000MWまで拡大させる計画である³¹⁾。地熱開発が進められているのはOlkaria地域で、1950年代より地熱発電所の建設が進められており、この地域でこれまでに300本の坑井を掘削している。また、エチオピアにおいて

も Aluto-Langano において 7.3MW の発電所が建設されている³⁾。これらの地熱開発には JICA による円借款や地熱研修コースでの人材育成をはじめ、発電機などの納入や地熱開発のコンサルタントなど多くの日本企業も参画している。

3 おわりに

地熱開発は石油情勢や地球温暖化対策への国の取り組みや景気などにより進捗の違いはあるが、1913年にイタリアで発電所の運転が始まって以来、着実に開発が進められている。1970年代には世界的な石油危機をきっかけとして、米国、イタリア、ニュージーランド、日本などにおいて開発が進められ、その後1990年代後半にはフィリピンやインドネシアで精力的に進められ、2010年代にはトルコやケニアでの開発が目ざされている。これらの国では活動している火山の周辺において地熱開発が進められており、中南米やアフリカ東部などの火山を有する発展途上国でも地熱開発が進められている。発展途上国における地熱開発には JICA による円借款をはじめ、発電機・タービンメーカー、コンサルタント会社、商社など日本の企業も参画しているほか、日本の国際地熱研修コースなどで学んだ技術者や研究者が自国での地熱開発で活躍しており、日本の技術や知見が世界の地熱開発に貢献している。

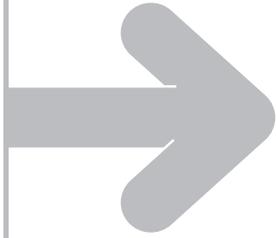
また、地下は活動している火山が近傍になくても深部になれば温度が上昇することから、ヨーロッパや中国などでは地下深部の高温の岩盤に坑井を掘削して、HDR方式やEGS方式による地熱発電や熱水供給のための開発を検討している。日本でもこれらの技術開発は実施してきており、今後日本の技術や経験が活かされる可能性がある。

なお、地熱資源は発電のみならず、地域暖房をはじめとする熱水活用による地域暖房はじめ漁業や農業などにも利用されており、中国では地熱ヒートポンプの設備量が世界一になっている。日本では地熱水の熱利用はまだ少なく、今後の進展が期待されるところである。

(参考文献)

- 1) オーム社, 1-3. 世界の地熱開発の歴史 (江原幸雄), 地熱エネルギーハンドブック (日本地熱学会地熱エネルギーハンドブック刊行委員会), 2014, pp.7-9.
- 2) BP Statistical Review of World Energy - all data, 1965-2017 - BP
- 3) Bertani, R., Geothermal power generation in the world 2010-2014 update report, Geothermics, 60, pp.31-43, 2016.
- 4) Eney, S. L., Update of Augmented Injection Benefit Model of The Geysers, Geothermal Resources Council, Transaction, Vol. 40, pp.893-900, 2016.
- 5) オーム社, 3-1-2 バイナリー式発電 (大里和己), 地熱エネルギーハンドブック (日本地熱学会地熱エネルギーハンドブック刊行委員会), 2014, pp.348-372.
- 6) <https://mashable.com/2018/06/01/hawaii-geothermal-lava-renewable-energy/> (2018/9/21 現在)
- 7) Duchane, D. and Brown, D., Hot Dry Rock (HDR) Geothermal Energy Research and Development at Fenton Hill, New Mexico, Bulletin of Geothermal Resources Council, 2002, pp.13-19.
- 8) 海江田秀志, 地熱増産システム (EGS) 技術開発の動向と課題, 電力中央研究所調査報告 :N14017.
- 9) <http://www.forgeutah.com/> (2018年9月14日現在)
- 10) DiMarzio, G., Angelini, L., Price, W., Chin, C. and Harris, S., The Stillwater Triple Hybrid Power Plant: Integrating Geothermal, Solar Photovoltaic and Solar Thermal Power Generation, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- 11) <http://www.thinkgeoenergy.com/new-2018-budget-cutting-us-geothermal-research-program-to-the-bone/> (2018/9/19 現在)
- 12) <https://www.aip.org/fyi/2018/final-fy18-appropriations-doe-applied-energy-rd> (2018/9/19 現在)
- 13) <http://www.thinkgeoenergy.com/48-mw-cerro-pabellon-geothermal-power-plant-officially-inaugurated-in-chile-first-in-south-america/> (2018年9月14日現在)
- 14) Antics, M., Bertani, R. and Sanner, B., Summary of EGC 2016 Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe, Proceedings of European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, France, 19-24 Sept 2016.
- 15) Cappetti, G., Parisi, L., Ridolfi, A. and Stefani, G., Fifteen Years of Reinjection in The Larderello-Valle Secolo Area: Analysis of The Production Data, Proceedings, World Geothermal Congress, pp.1997-2000, 1995.
- 16) Dal Porto, F., Pasqui, G. and Fedeli, M., Geothermal Power Plant Production Boosting by Biomass Combustion: Cornia2 Case Study, Proceedings of European Geothermal Congress 2016 Strasbourg, France, 19-24 Sept 2016.
- 17) Conti, P., Cei, M., Razzano, F., Geothermal Energy Use, Country Update for Italy (2010-2015), European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, France, 19-24 Sept 2016.
- 18) Mouchot, J., Genter, A., Nicolas Cuenot, N., Seibel, O., Scheiber, J., Bosia, C., Ravier, G., First Year of Operation from EGS Geothermal Plants in Alsace, France: Scaling Issues, Proceedings, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 12-14, 2018, SGP-TR-213.
- 19) Weber, J., Ganz, B., Sanner, B. and Moeck, I., Geothermal Energy Use, Country Update for Germany, European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, France, 19 - 24 Sept 2016
- 20) <http://www.thinkgeoenergy.com/first-geothermal-heat-and-power-plant-of-hungary-starts-operation/> (2018/9/20 現在)
- 21) <https://www.st1.eu/eu-news> (2018年9月14日現在)
- 22) Chen, D. and Wyborn, D., Habanero Field Tests in the Cooper Basin, Australia: A Proof-of-Concept for EGS Australia Geothermal Resources Council Transactions 33, pp. 159-164, 2009.

- 23) Wahjosoedibjo, A. S. and Hasan, M, Indonesia' s Geothermal Development: Where is it Going?, Proceedings, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 12-14, 2018, SGP-TR-213.
- 24) http://www.kyuden.co.jp/press_171010b-1.html
(2018/9/21 現在)
- 25) Ogena, M. S. and Antonio, K. E. S., The Growth of Philippine Geothermal Energy Development, Proceedings 37th New Zealand Geothermal Workshop, 18 – 20 November 2015, Taupo, New Zealand
- 26) Park, S., Xie, L., Kim, K., Kwon, S., Min, K. B., Choi, J., Yoon, W. S., Song, Y., First Hydraulic Stimulation in Fractured Geothermal Reservoir in Pohang PX-2 Well, Proceedings, 42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 13-15, 2017, SGP-TR-212.
- 27) <https://www.yicaiglobal.com/news/chinas-landmark-extraction-hot-dry-rock-could-accelerate-its-geothermal-energy-development> (2018/9/21 現在)
- 28) Zhang, Y., Guo, L., Li, Z., Yu, Z., Jin, X., Xu, T., Feasibility Evaluation of EGS Project in the Xujiaweizi Area: Potential Site in Songliao Basin, Northeastern China, Proceedings of World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- 29) <http://geothermalresourcescouncil.blogspot.com/2018/03/taiwan-geothermal.html> (2018/9/21 現在)
- 30) <https://www.yicaiglobal.com/news/china-leads-geothermal-heat-capacity-power-generation-lags-study-finds>
(2018/9/21 現在)
- 31) Omenda, P. and Mangi, P., Country Update Report for Kenya 2016, Proceedings, 6th African Rift Geothermal Conference Addis Ababa, Ethiopia, 2nd – 4th November 2016.
(2018年9月14日現在)



温泉の定義

（温泉法に基づく温泉の定義や泉質の決め方など）

きくがわ じょうじ
菊川 城司*



温泉法, 温泉の定義, 療養泉, 適応症, 泉質名

1. はじめに

温泉は日本人に古くから親しまれている。環境省が公表している平成 28 年度の集計によれば、全国に温泉場の数は 3038 カ所、源泉の数は 27421 カ所とされている¹⁾。

温泉と聞いて一般にイメージされるのは、「地中から湧き出てくる温かく健康によい成分が溶けているお湯」といったところだろうか。ところが、実際の温泉の定義は、法律においてもっと幅広いものと規定されており、低温の温泉、水の沸点以上である高温の温泉、成分量が非常に少ない温泉、海水以上の成分量を含む温泉など様々なものが存在する。

本稿では、一般に馴染みが深い温泉に関して、温泉法や環境省による通知等に記載されている内容に基づき、温泉とはどんな水を差すのか、適応症（いわゆる効能）があるのはどのような温泉か、温泉の泉質名はどのようにして付けられているのか等について概略を解説する。

2. 温泉とは

温泉の定義は、昭和 23 年 7 月 10 日公布の温泉法^{2), 3)}において定められている。温泉法は、公共の福祉を図るために、温泉の保護、可燃性天然ガスによる災害防止、温泉の適正利用について定めているものである。日本国内の全ての温泉の採取、利用などは、この温泉法に基づいて行われており、温泉の掘削や動力の設置、公共の浴用や飲用に供する際には、法に基づいて都道府県に許可申請を行う必要がある。

温泉法の第 2 条には、「この法律で「温泉」とは、

地中からゆう出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガス（炭化水素を主成分とする天然ガスを除く。）で、別表に掲げる温度又は物質を有するものをいう。」と定められている。別表の内容は表 -1 に示したとおりである。

表 -1 温泉法の別表⁴⁾

1. 温度（温泉源から採取されるとき温度）		25℃以上
2. 物質（以下に掲げるもののうち、いずれか一つ）		
物質名	含有量（1kg中）	
溶存物質（ガス性のものを除く）	総量1000mg以上	
遊離二酸化炭素（CO ₂ ）（遊離炭酸）	250mg以上	
リチウムイオン（Li ⁺ ）	1mg以上	
ストロンチウムイオン（Sr ²⁺ ）	10mg以上	
バリウムイオン（Ba ²⁺ ）	5mg以上	
総鉄イオン（Fe ²⁺ +Fe ³⁺ ）	10mg以上	
マンガン(II)イオン（Mn ²⁺ ）（第一マンガンイオン）	10mg以上	
水素イオン（H ⁺ ）	1mg以上	
臭化物イオン（Br ⁻ ）（臭素イオン）	5mg以上	
よう化物イオン（I ⁻ ）（沃素イオン）	1mg以上	
ふっ化物イオン（F ⁻ ）（ふっ素イオン）	2mg以上	
ひ酸水素イオン（HAsO ₄ ²⁻ ）（ヒドロヒ酸イオン）	1.3mg以上	
メタ亜ひ酸（HAsO ₂ ）	1mg以上	
総硫黄(S) [HS ⁻ +S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ Sに対応するもの]	1mg以上	
メタほう酸（HBO ₂ ）	5mg以上	
メタけい酸（H ₂ SiO ₃ ）	50mg以上	
炭酸水素ナトリウム（NaHCO ₃ ）（重炭酸そうだ）	340mg以上	
ラドン（Rn）	20×10 ⁻¹⁰ Ci=74Bq以上 (5.5マッヘ単位以上)	
ラジウム塩（Raとして）	1×10 ⁻⁸ mg以上	

*神奈川県温泉地学研究所 研究課 主任研究員

3. 温泉法第2条の解釈

温泉法における定義自体は先に示したとおり単純なものではあるが、その内容については注目しておくべき点がいくつかある。

1点目は、「地中からゆう出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガス」の部分である。地中から湧出しないものは温泉ではない。つまり、沢水や河川などの表流水、海岸付近で掘削された井戸から湧出する現世海水は、温度や成分の基準を満たしても温泉とは言えない。また、温水（＝温かい水）や鉱水（＝鉱物を多量に含有する水）に加えて、水蒸気などのガス（炭化水素主体のガスは鉱業法の対象のため除外）も基準を満たせば“温泉”と呼ぶということである。

水蒸気は、液体の水が沸点を超え気体となったものであり、温泉の基準値である25℃以上の「水」であるため、当然温泉として扱われる。例えば、箱根温泉では、地熱地帯で深度数百mまで掘削された蒸気井から取り出された水蒸気に、低温の温泉水や地下水を混合して、70～80℃程度の温泉が造成され、多くの宿泊施設等で利用されている（図-1）。これらは蒸気造成温泉という名称で呼ばれており、人工的に作ったものだという誤解を受けることもある。しかし、先に述べたように蒸気自体が温泉水であり、温泉法に基づいた温泉であることは言うまでもない。ちなみに、マスコミや温泉施設などで天然温泉、人工温泉などという言葉が使われることがあるが、そもそも温泉とは天然のものであり、「天然」、「人工」などと冠詞を付けること自体ナンセンスである。



図-1 箱根温泉大涌谷の蒸気造成温泉調査風景

次に「別表に掲げる温度又は物質を有するもの」の部分に着目すると、温度だけでも成分だけでもどちらかの基準を満たしていれば温泉に該当する

ということであり、温度は高いが成分は基準を満たさない温泉、温度は低い成分のみ基準を満たす温泉もあるということである。例えば、温度が50℃であるが成分が水道水よりも薄い温泉、温度が15℃であるが海水並の濃度の食塩を含む温泉などがある。

続いて、温泉法別表の内容（表-1）について注目すべき点をいくつかあげておく。

温度の基準は、温泉源で採取されるときに温度が25℃以上であることと定められており、地表に湧出した時点で基準値以上であることが求められている。つまり、地中深く井戸を掘削して、井戸の孔底における水温が25℃以上であっても、地上にくみ上げた時点で25℃を下回った場合は温泉の基準を満たしたとは認められない。そのため、くみ上げる際に地表で25℃を確保するため、湯管に保温性の高い素材を利用するなどの工夫をするケースも見られる。もちろん、くみ上げた冷水を浴槽に引く際にボイラーなどで25℃以上に加熱しても温泉の定義を満たしたとは言えない。

定義上25℃という値を下限としたのは、年平均気温を上回る温度を持つ地下水を温泉と定義するためである。東京の年平均気温は16℃ほどで、温泉の定義よりも10℃近く低いが、沖縄県の八重山諸島では年平均気温が23～24℃であり温度の定義は妥当であると考えられる。なお、温泉法策定当時に台湾（昭和20年頃まで日本が統治）の平均気温を参考にしたため25℃としたという説もある。ちなみに、外国に目を向けると、温泉の温度基準は、イギリス、フランス、ドイツなどのヨーロッパ諸国では20℃以上、アメリカでは21.1℃（70°F）以上などとされている。

温泉法別表に示された物質の基準は、いずれか一つでも満たせば温泉となる。

溶存物質（ガス性のものを除く。）が1000mg/kg以上と定められているが、これはどんな物質であれガス以外の成分の合計量が基準を満たせば温泉と見なしてよいということである。溶存物質の基準は後述する療養泉（塩類泉）の定義にも関わる重要な項目となっている。

総硫黄の基準値は、硫化水素イオン、チオ硫酸イオン、硫化水素の合計で判断することになっている。これは、温泉中における硫黄化合物の反応が非常に複雑で、取り得る形態が様々であること、湧出時に変化しうる可能性があることなどを考慮してのものである。

温泉は湧出直後から成分が変化することが多々ある。これは、主に温度や圧力の低下、酸化など

に起因する。変化しやすい成分としては、二酸化炭素、硫化水素、ラドンなどのガス成分のほか、鉄、炭酸水素イオン、メタけい酸などがあげられる。このような成分のみが温泉法の基準を満たしている場合は、源泉から浴槽へ送湯すると基準を満たさなくなるケースや、加温によりガスが揮散して基準値以下になるケースなどがあり、利用時には注意が必要となる。温泉に該当するかどうか、泉質は何であるかの判断は、主に化学分析によって行われるが、これらの変化しやすい成分は湧出直後に試薬を加えて固定する作業や、その場で分析作業を行い濃度を算出するなどの対応を取ることによって正確な値を求めている。

メタけい酸の基準値 50mg/kg（温泉水の密度を 1 と仮定すると 50mg/L に相当）に注目すると、一般的な低温の地下水でもこの基準を満たすものが多々存在する。これは、温泉の基準を作成する際に、日本に比べて地下水のメタけい酸含有量が少ないドイツの温泉の定義を参考にして作成したため、国内では多くの地下水がこの基準を満たす結果となっていると考えられる。

神奈川県内の調査例では、全国有数の温泉地である箱根温泉の浅層地下水中のメタけい酸の平均値は 56.4mg/L であり、調査した 265 地点の地下水中 155 地点（58%）でメタけい酸濃度が 50mg/L 以上となっていた。ちなみに箱根温泉（いずれも 25℃ 以上）の源泉のメタけい酸平均値は 126mg/L であり、地下水の 2 倍以上の濃度である⁵⁾。また、神奈川県全域の地下水 211 地点をピックアップした調査でも、メタけい酸の平均値は 55.5mg/L⁶⁾ であり、温泉地ではない一般的な地域の地下水でも多くが基準値を超えていることがわかる。

このようにメタけい酸の基準を満たして温泉となり得る低温の地下水の大部分は、鉱泉分析法指針（平成 26 年改訂）（環境省自然環境局，2002）⁷⁾ で定められた療養泉（治療の目的に供しうる温泉、詳しくは後述）には該当しない。療養泉に該当しない温泉は、泉質名がつけられないため、便宜的に「温泉法の温泉」、「規定泉」などと呼ばれ、利用時に適応症（いわゆる効能）の掲示ができない。また、入浴のためには加温が必要、溶存成分量が一般的な地下水と大差ない等の理由により、火山性温泉が豊富な温泉地などにおいては、あえて温泉として登録、利用するメリットは小さい。

ところで、法律の公示が昭和 23 年と古いため、温泉法別表中の物質名、イオンの表記法、単位などに現在ではほとんど使用されない当時の表記法が多々見られる。法律の文言改正は簡単にできる

ものではないが、無駄な混乱を防ぎ、判りやすくするためにも、修正が必要と考えられる。修正すべき例としては、ストロンチウムイオンの表記「Sr⁺」は「Sr²⁺」，「フェリまたはフェロイオン」は「鉄（Ⅱ）または鉄（Ⅲ）イオン」，臭素イオンの表記「Br⁺」は「Br⁻」，「重炭酸そうだ」は「炭酸水素ナトリウム」，ラドンの基準値「20（100 億分の一キュリー単位）以上」は「74Bq 以上」などがあげられる。ちなみに、環境省のウェブサイト⁴⁾ や鉱泉分析法指針⁷⁾ では現在の表記法に修正して掲載されている。また、一般の刊行物やウェブサイトなどを確認すると、その多くでも現在の表記法に修正されている。

表-2 療養泉の定義^{4), 7)}

1. 温度（源泉から採取されるとき温度）		25℃以上
2. 物質（以下に掲げるもののうち、いずれか一つ）		
物質名	含有量（1kg中）	
溶存物質（ガス性のものを除く）	総量1000mg以上	
遊離二酸化炭素（CO ₂ ）	1000mg以上	
総鉄イオン（Fe ²⁺ +Fe ³⁺ ）	20mg以上	
水素イオン（H ⁺ ）	1mg以上	
よう化物イオン（I ⁻ ）	10mg以上	
総硫黄(S) [HS ⁻ +S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ Sに対応するもの]	2mg以上	
ラドン（Rn）	30×10 ⁻¹⁰ =111Bq以上 (8.25マッヘ単位以上)	

4. 療養泉とは

温泉のうち、特に治療の目的に供しうるものについては療養泉と定義される。この療養泉の定義は、温泉法ではなく、鉱泉分析法指針⁷⁾ に明記されている。この指針は、温泉法に基づいて温泉の分析を行う際に準拠すべき手順、手法などを解説したものである。

温泉入浴する際に脱衣場等に掲示されている禁忌症や注意事項に関する掲示証には、成分濃度等のデータが記載されている。この内容は、温泉法に基づき都道府県に登録を認められた登録分析機関が、鉱泉分析法指針に則して実施した分析結果によるものである。そして、療養泉になるかどうか、療養泉の泉質は何かということは、この温泉分析結果に基づいて決定されるため、療養泉の定義自体についても、分析法と併せて鉱泉分析法指針に明記されている。

療養泉の定義を表-2に示した。療養泉の8項目

ある基準のうち、温度と溶存物質及び水素イオンの3項目は、温泉法における温泉の定義と同じ値となっているが、遊離二酸化炭素、総鉄イオン、よう化物イオン、総硫黄、ラドンの5項目については、温泉法よりも大きな値が定義されている。この療養泉の基準値は、環境省が鉱泉分析法指針の改定作業のために開催した有識者による検討会において、温泉療養を専門とする医師らによって重ねられた議論の結果を踏まえて、エビデンスに基づく判断により決定されている。

5. 療養泉の適応症掲示について

療養泉に該当する温泉は、温泉法によって義務づけられている掲示証に、適応症（いわゆる効能）を追加して記載することができる。

温泉を、公共の浴用または飲用に供するものは、掲示証を脱衣所などの利用者の目につきやすいところに掲げることが法で求められており、その内容は、温泉の泉質、温度、成分などのほか、禁忌症、入浴または飲用上の注意事項と定められている。さらに、加温や加水、循環利用をしている場合、入浴剤や消毒剤を使用している場合はこれも明記して掲げることになっている。

療養泉の場合は、これらに加えて適応症を掲示することが可能であるとされているが、適応症の掲示は義務ではない。これは、掲示に関する温泉法の趣旨が、公衆衛生を確保し温泉利用者の安全を確保することを目的としているからである。ただ、一般の温泉利用者は、その趣旨とは別に、禁忌症よりも効能が何であるかという部分に興味を持つことが多く、旅館、ホテルやマスコミ等も施設の特別性や効能の宣伝に力を入れているので、療養泉である場合は筆者が知る限り全ての掲示証に適応症が併記されている。

なお、掲示証は、10年に一度は温泉成分の再分析を行い、掲示内容を更新することが義務づけられている。温泉は、源泉によっては季節変化や降水などによる影響を短期的に受けることもある。さらに、地下環境の変動による泉質の変化や、過剰揚湯による温度、量の低下、成分減少などがあり得る。このように、温泉の状態は常に一定であるわけではないことから、短期間の小さな変動はともかく、長期間の変化に対応するため10年というスパンで温泉の変化の有無を把握して、利用者の便宜を図るということが定期的な再分析の趣旨である。

療養泉の適応症、禁忌症などの内容については、

環境省自然環境局長通知（平成26年7月1日付け環自総発第1407012号）⁸⁾に示されており、この通知に基づいて、地方自治体が、それぞれの温泉の適応症や禁忌症を決定することになっている。

この環境省通知では、浴用と飲用のそれぞれについて、療養泉の一般的な適応症、温泉の一般的な禁忌症のほか、泉質ごとの適応症、禁忌症が示されている。つまり、通知に従えば、泉質名が同じ温泉は、泉温や成分含有量などの相違にかかわらず、すべて同じ適応症、禁忌症を掲げることとなる。ただし、通知では伝統的適応症の掲示が認められており、その場合は専門的知識を有する医師の意見を参考とした上で利用許可を行うこととされている。

6. 泉質の決め方

療養泉は、その利用に資する目的で泉質名がつけられる。泉質名は含有する成分等に基づき決定される。泉質名のつけ方には複雑なルールがあり、一筋縄ではいかないケースもあるが、ここでは泉質の命名法について概略を解説する。なお、療養泉の泉質名決定法の詳細については、鉱泉分析法指針に記載されている。

療養泉の泉質は、大きく「塩類泉」、「単純温泉」、「特殊成分を含む療養泉」の3種類のグループに分類できる。それぞれの定義は、「塩類泉」が「溶存物質（ガス状のものを除く）が1000mg/kg以上のもの」、「単純温泉」が「溶存物質（ガス状のものを除く）が1000mg/kgに満たないもので温度が25℃以上のもの」、「特殊成分を含む温泉」が「表-3に示した成分を限界値以上含有するもの」とされている。

表-3 療養泉の特殊成分と限界値⁷⁾

物質名	限界値 (1kg中)
遊離二酸化炭素 (CO ₂)	1000mg以上
総鉄イオン (Fe ²⁺ +Fe ³⁺)	20mg以上
水素イオン (H ⁺)	1mg以上
よう化物イオン (I ⁻)	10mg以上
総硫黄(S) [HS ⁻ +S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ Sに対応するもの]	2mg以上
ラドン (Rn)	30×10 ⁻¹⁰ =111Bq以上 (8.25マッヘ単位以上)

「塩類泉」として分類できる療養泉の泉質名は、含有する陽イオンと陰イオンそれぞれの主成分の

組み合わせで決定される。主成分とは、陽イオン、陰イオンそれぞれのミリバル（ミリグラム当量）が最も多いイオンのことである。泉質名は、主要陽イオンを先に記し、その後ろをハイフンで繋いで主要陰イオンを記することになっている。例えば、陽イオンの主成分がナトリウムイオン、陰イオンの主成分が塩化物イオンである場合、泉質名はナトリウム-塩化物泉となる。また、主成分以外の成分のミリバル%（陽イオンまたは陰イオンに占める対象イオンの百分率）が20.00以上の場合、副成分として陽イオン、陰イオンそれぞれの主成分の後ろにイオン名を併記する。例えばナトリウム-塩化物泉で、さらに副成分としてカルシウムイオン、硫酸イオンを含有する場合の泉質名は、ナトリウム・カルシウム-塩化物・硫酸塩泉となる。

泉質名のつけ方は、昭和53年に大幅に改訂されており、変更前の塩類泉の泉質名は、ナトリウム-塩化物泉は食塩泉、カルシウム-硫酸塩泉は石膏泉など、主要な物質名で表記していた。これら改訂以前の泉質名は旧泉質名と呼ばれるが、化学式で示す現在の泉質名よりも物質名で示す旧泉質名のほうが一般的には判りやすいという意見も根強く、泉質名と併せて括弧書きで旧泉質名を併記してよいことになっている。

「単純温泉」は、溶存物質量が「塩類泉」の基準（1000mg/kg）に満たないものの、温度が25℃以上である温泉につけられる泉質名である。「単純温泉」は、成分が比較的少なめである故に、老若男女誰にでも利用しやすい温泉であると紹介されることが多いが、溶存する主要な成分の種類にかかわらず同一の名称となるため、その成分比率は様々なケースがあり、泉質名からはどんな成分が溶けているのかは判らないことに注意が必要である。「単純温泉」のうち、湧出地でのpHが8.5以上のものは、泉質名が「アルカリ性単純温泉」となる。

「特殊成分を含む温泉」は、表-3に示された特殊成分の種類によって泉質名がつけられることになっており、二酸化炭素が基準値以上の場合には二酸化炭素泉、総鉄イオンが基準値以上の場合には鉄泉、水素イオンが基準値以上の場合には酸性泉、よう化物イオンが基準値以上の場合にはよう素泉、総硫黄が基準値以上の場合には硫黄泉、ラドンが基準値以上の場合には放射能泉となる。そして、「塩類泉」や「単純温泉」でさらに特殊成分を含む温泉の場合はこれらと組み合わせた泉質名で表記される。

例：・単純酸性温泉
（水素イオンを限界値以上含む単純温泉）

- ・単純硫黄冷鉱泉
（総硫黄のみ療養泉の基準を満たす温泉）
- ・含硫黄-カルシウム-硫酸塩温泉
（総硫黄を限界値以上含む塩類泉）

なお、療養泉の泉質名末尾は、温度が25℃未満の場合は「冷鉱泉」（例えばナトリウム-塩化物冷鉱泉）、25℃以上の場合には「温泉」（例えばカルシウム-硫酸塩温泉）と記するのが正式である。ただし、一般的に泉質名を呼ぶ場合は省略されて「泉」のみとなる場合が多々ある。

温泉の分類を考える際の参考として、分類表を表-4に示した。また、分析データから、温泉に該当するか否か、療養泉に該当するか否か、療養泉であればどのグループに該当するかの判断に利用できる簡易なフローチャートを図-2に示したので参考にしていただきたい。

表-4 温泉の分類

療養泉	塩類泉	溶存物質1000mg/kg以上 主要なイオンの組み合わせで泉質名を決定 例：ナトリウム-塩化物泉、カルシウム・ナトリウム-硫酸塩泉など
	単純温泉	温度25℃以上、溶存物質1000mg/kg未満 含有する成分の種類は問わない
	特殊成分を含む温泉	基準値以上の特殊成分を含む 例：pH3未満……酸性泉、硫黄2mg/kg以上……硫黄泉など
療養泉ではない温泉 （=温泉法の温泉、規定泉）		温度25℃未満、溶存物質1000mg/kg未満、特殊成分を含まない

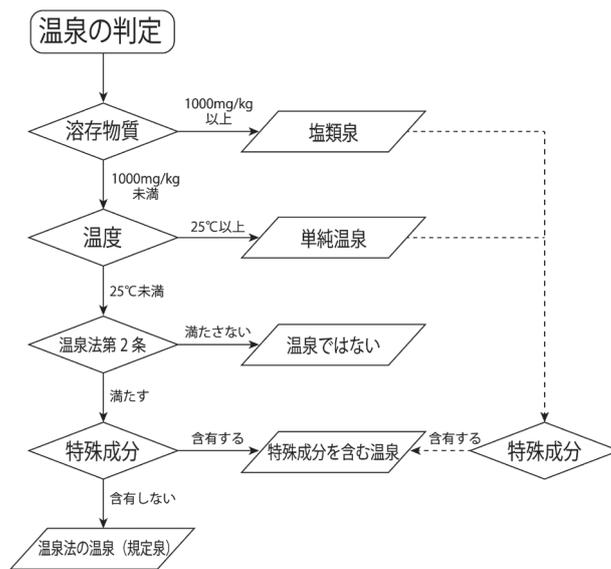


図-2 温泉の分類フローチャート

7. おわりに

温泉は、日本中で広く愛され利用されているが、その定義や泉質名のつけ方などはあまり一般には認知されていない。しかし、自分の利用する温泉がどのような種類の化学成分を含有し、その量はどのくらい入っているのか、またそこからくる入浴感や適応症、禁忌症の違いは何かなどを知るとは、健康管理、安全な利用という観点でも有益である。また、温泉成分の詳細を読み解くことで、その温泉がどのような地学的バックグラウンドを持っているかも考察することが可能である。

本稿を参考に、科学的な目を持って温泉利用を進めていただければ幸いである。

さらに温泉法の詳細な解説に興味がある方は、環境省が公開している温泉法逐条解説⁹⁾を一読いただきたい。

〈参考文献〉

- 1) 環境省自然環境局：平成 28 年度温泉利用状況
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-4_p_1.pdf
(2018 年 9 月 20 日現在)
- 2) 環境省自然環境局：温泉法（法律、政令、省令）
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_1.pdf
(2018 年 9 月 20 日現在)
- 3) 総務省：温泉法（E-Gov 法令検索）
http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=323AC0000000125&openerCode=1
(2018 年 9 月 20 日現在)
- 4) 環境省自然環境局：温泉の定義
<https://www.env.go.jp/nature/onsen/point/>
(2018 年 9 月 20 日現在)
- 5) 菊川城司, 板寺一洋, 久保寺公正, 鈴木秀和：「箱根カルデラに湧出する地下水の特徴～2008-2012 年実態調査結果から～」, 「神奈川温泉地学研究所報告」, vol.45, pp.35-48, 2013.
- 6) 石坂信之, 栗屋徹, 平野富雄：「神奈川県の地下水の主要成分について」, 「神奈川温泉地学研究所報告」, vol.24, no.2, pp27-48, 1993.
- 7) 環境省自然環境局：鉱泉分析法指針（平成 26 年改訂）
https://www.env.go.jp/nature/onsen/docs/shishin_bunseki.html
(2018 年 9 月 20 日現在)
- 8) 環境省自然環境局：温泉法第 18 条第 1 項の規定に基づく禁忌症及び入浴又は飲用上の注意の掲示等の基準（自然環境局長通知）（平成 26 年改訂）
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_11.pdf
(2018 年 9 月 20 日現在)
- 9) 環境省自然環境局：逐条解説温泉法（2015）
https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_2.pdf
(2018 年 9 月 20 日現在)

やさしい
知識

地熱と地中熱

ささだまさかつ
笹田 政克*Key
ey Word地中熱, 地下水, ヒートポンプ, 空調, 熱交換器, ボアホール, 杭,
地球温暖化, CO₂, ヒートアイランド

1. はじめに

地熱と地中熱, このよく似た言葉の違いを説明できる人は極めて少数であろう。地熱という言葉は国民の大多数が知っており, 地中熱という言葉は国民の大多数はまだ知らない。

地中熱は比較的新しい言葉である。1990年代の文献に「地中熱を熱源とするヒートポンプシステム」など地中熱という用語が見られるが, 当時は同じ意味の言葉として地熱, 土壤熱, 地下熱がより多く使われていた。地中熱が一般的に使われ始めるようになったのは, 「地中熱利用ヒートポンプ協会」(「NPO 法人地中熱利用促進協会」の前身) が設立された2000年以降である。その後, 2007年に北海道大学地中熱利用システム講座の著作「地中熱ヒートポンプシステム」が刊行され, 地中熱という言葉が次第に使われるようになった。

わが国の地熱発電は1919年に試みられ, 石油危機以降は国の「サンシャイン計画」で技術開発が行われてきた長い歴史がある。これに対して地中熱が国の基本文書に初めて取り上げられたのは2010年の「第3次エネルギー基本計画」である。その後, 資源エネルギー庁のホームページにも掲載されるようになり, 2011年には「現代用語の基礎知識」に「地中熱空調システム」が採録された。このようにして地下浅部の熱エネルギーを表す言葉「地中熱」は, 次第に社会に浸透してきている。最近では環境・エネルギーに関心をもっている人たちの間では地中熱の認知度はかなり高くなってきており, また, 全国の自治体でエネルギービジョンや地球温暖化対策の実行計画にはかなりの数の自治体が地中熱を取り上げるに至っている。国民の認知度が低い状況は変わらないが, この10年間

で関係者の認知度はかなり高くなってきている。

2. 地中熱とは

地中熱は地表近くの地中に賦存する熱エネルギーである。地表は太陽からの熱を受けて, 昼夜間および季節間でその温度が変化するが, 地下深くなるにつれ温度変化の幅が小さくなり, 10m程度の深さで年間を通じてほぼ一定の温度となる(図1)。その温度は火山活動や温泉のある地域を除けば, その地域の年平均気温にほぼ等しい。また, 地下10m以深の帯水層中の地下水も, 多少の季節変動はあるもののその温度はほぼ一定している。地中熱は, このように年間通じて温度が一定しているエネルギーである。従って, 季節により地上との温度差が活用できる。

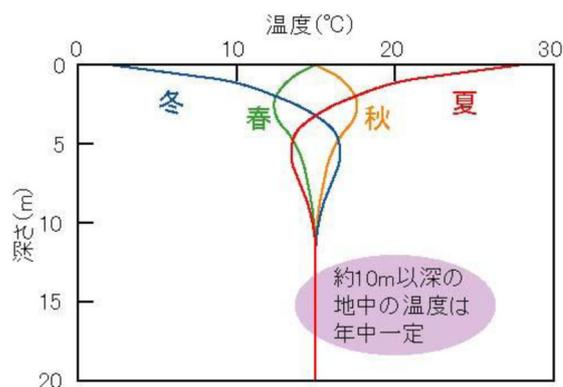


図1 季節ごとの地中温度
(地中熱利用促進協会原図)

地中熱利用の対象となる地下浅部の構造は, 概略次のようになっている。地表付近には植生を支えている土壌が数cmから数mの厚さあり, その

*特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会 理事長

下は未固結あるいは固結した地層、岩石になる。わが国の平野部では土壌の下に河川の氾濫により形成された沖積層と呼ばれる粘土・シルト・砂・砂礫からなる未固結の地層や、火山灰に由来する地層が分布することが多い。それらの地層の下部には基盤と呼ばれる固結した地層や岩石が分布する。また、平野や扇状地の砂礫層には豊富な地下水が胚胎している。一方、山岳地では固結した地層（堆積岩）や花崗岩などの堅硬な岩石などが土壌のすぐ下に分布している。

地中熱を利用するには、このような地下浅部の熱特性を把握することが重要である。地下浅部の地層や岩石の熱物性をみると、それぞれ異なる熱伝導率（金属とくらべて1～2桁程度低い）をもっている。また、砂礫層などには熱の移流効果をもたらす地下水流が存在することがある。

地中のこのような熱特性を巧みに利用するのが地中熱利用である。地中熱は、冬は外気より温度が高く、夏は外気より温度が低いので、温熱としても冷熱としても利用できるエネルギーである。また、地中は熱を蓄える機能を持っているので、地中熱は季節間蓄熱などエネルギーの循環的に活用できる。なお、地中熱の利用深度は利用方法により異なるが、日本では通常100m程度の深さまでの利用が一般的である。

3. 地熱と地中熱

「地熱は地球内部に保有されている熱の総称である」と定義されているので、地中熱は地熱の一部である。しかし、地中熱は地熱と呼ばれている高温のエネルギーとは、温度および深度が異なるのみならず、エネルギーの起源および利用の仕方が異なる。火山周辺等に賦存する地熱が地球内部のエネルギーに由来するのに対して、地中熱はそのほとんどが太陽エネルギーに由来し、地球内部からのエネルギーの寄与はごくわずかである。また、エネルギーの利用法では、地熱が発電利用と温熱の利用であるのに対し、地中熱は温熱と冷熱の熱利用であり、発電は現実的でない。

以上のことから、地表近くにある熱エネルギーは、地熱と表現しても誤りではないが、現在では地表付近の温度が高い地熱地帯を除き、地中熱という表現が一般的となっている。

4. 地中熱の利用形態

地中熱は自然のままの形で昔から利用されてい

る。縄文時代の竪穴式住居は、熱伝導により地中熱を利用したものである。畑に掘られた室（むろ）は、地温変化が小さい地中を利用した野菜の保存施設である。また、ヨーロッパでは石材を切り出した跡などの地下空間が、ワインの貯蔵に使われている。これらは年間通して温度が一定となっている地中熱を、自然のままの形で利用したものといえる。

一方、現代においては、地中に熱交換器を埋設するなどして、より効率的に地中熱が利用されている。地中熱利用の用途も住宅・オフィスの冷暖房、病院・福祉・宿泊施設等の冷暖房・給湯、道路融雪、プール加温、施設園芸、食品加工など多岐にわたる。

地中熱の利用方法を利用原理および利用機器に基づき区分すると、ヒートポンプを用いる方法（地中熱ヒートポンプシステム）、熱伝導で利用する方法、空気循環により地中で熱交換を行う方法、水循環により地中熱を利用する方法、ヒートパイプを用いる方法に大別される（図2）。

地中熱ヒートポンプシステムは、他の4つの利用方法と比べ、地中熱を冷暖房、給湯等で必要な温度のエネルギーに変換できることが大きな特徴である。もっとも利用範囲の広い地中熱の利用方法といえる。地中熱ヒートポンプシステムには、地中熱交換器を用いるクローズドループと地下水の熱を利用するオープンループとがある。

クローズドループは、地中から熱を取り出すために地中熱交換器内に流体を循環させ、汲み上げた熱をヒートポンプで必要な温度領域の熱に変換する地中熱利用システムである。地中熱交換器内を循環させる流体には、通常は不凍液または水を用いるが、ヒートポンプ内の冷媒を直接用いる方式も開発されてきている。

地中熱交換器には、垂直型、水平型、傾斜型があり、垂直型のものには掘削孔を利用するボアホール方式と杭（基礎杭・採熱専用杭）を利用する杭方式とがある。通常はUチューブと呼ばれる高密度ポリエチレン製の採放熱管が挿入されるが、杭方式では内部にはった水の循環で熱交換するタイプのものなどもある。一方、水平型は垂直型と比べて広い場所が必要なため、わが国ではまだ普及が進んでいないが、米国ではスリンキーと呼ばれるスパイラル状の採放熱管を水平に設置する方式も普及している。

このクローズドループの地中熱ヒートポンプシステムは、メンテナンスがほとんど不要いため適用範囲が広く、住宅・建築物・プール・融雪施設等に適用されている。システムの設計では地中での熱交換可能量を求める必要があり、設置する場所での地層の有効熱伝導率の値が必要となる。地層の有効熱

伝導率はボアホール等を用いた熱応答試験で求めることができるが、小規模なシステムの設計では文献値で代用することが多い。このようにして求めた地層の有効熱伝導率のほか建物の熱負荷、利用時間、ヒートポンプの性能等から、設計ツールを用いて必要な地中熱交換器の総延長を求めることができる。

オープンループは、揚水した地下水の熱を地表にあるヒートポンプで取り出す方式であり、地下水(井水)利用ヒートポンプシステムとも呼ばれている。ヒートポンプで熱交換した後の地下水の扱いにはいくつかの方法があり、地下の帯水層に注入する方法、地下に戻さず地表で放流する方法等がある。オープンループはクローズドループと比べ、ボアホール1本あたりの採熱量が大きくなることから、経済性に優れているが、井戸の日詰まり等が生じることがあるため、システムのメンテナンスが必要となる場合がある。また、大規模なシステムの導入にあたっては地盤沈下への影響も含め地質環境へ与える影響についての検討も行う必要がある。オープンループを設計する場合は、地下水の揚水可能量や水質等のデータが必要となる。なお、地下水利用に揚水規制がかかっている地域では、オープンループの適用は困難である。

熱伝導による地中熱の利用は、堅穴式住居にその原型をみることができ、アイヌのチセと呼ばれる住居も同様の原理で地中熱を利用している。パッシブともいえるこの利用方法は現代においても住宅・建築物に適用されており、床が直接地面と接する土間床工法を基本にして、いくつかのバリエーションがある。

空気循環と区分したものは、空気を地中を通して地盤との間で熱交換するシステムで、住宅・建築物の換気システムの一環として、地中熱を利用している。このシステムでは、空気を循環させるパイプを地中に垂直に埋設したり、あるいは空気を通すチューブを水平に埋めたりして、熱交換を行う。空気の移送にはファンが用いられている。このシステムで夏は冷風、冬は温風を得ることができる。

水循環として区分したものは、地中と地表とを結ぶ単純な水循環のシステムあるいは地下水をパイプに通すシステムで、わが国では主に融雪に用いられている。ポンプによる水の循環が閉じた系で行われるクローズドループのタイプと、地下水をポンプでくみ上げてパイプ中を通すオープンループの2つのタイプがある。このシステムは気温がそれほど低い地域での融雪に向いている。また、融雪以外の利用の仕方として、地下水と熱交換した水を室内のパネルに循環させ、放射冷房を行うシステムも近年注目を集めている。

ヒートパイプは、冷媒の蒸発と凝縮で熱を搬送するシステムで、全く動力を必要としない。冬に地中の温度が地表に比べて高いと、地中での熱交換でヒートパイプ内部の冷媒が蒸発し、軽い気体となった冷媒は地表に向かって管内を移動する。一方、温度の低い地表環境では、冷媒は周辺に熱を与えることにより凝縮する。この凝縮した冷媒は重力により管内を下降する。ヒートパイプでの熱の搬送はこの繰り返しであり、融雪等に利用できる。

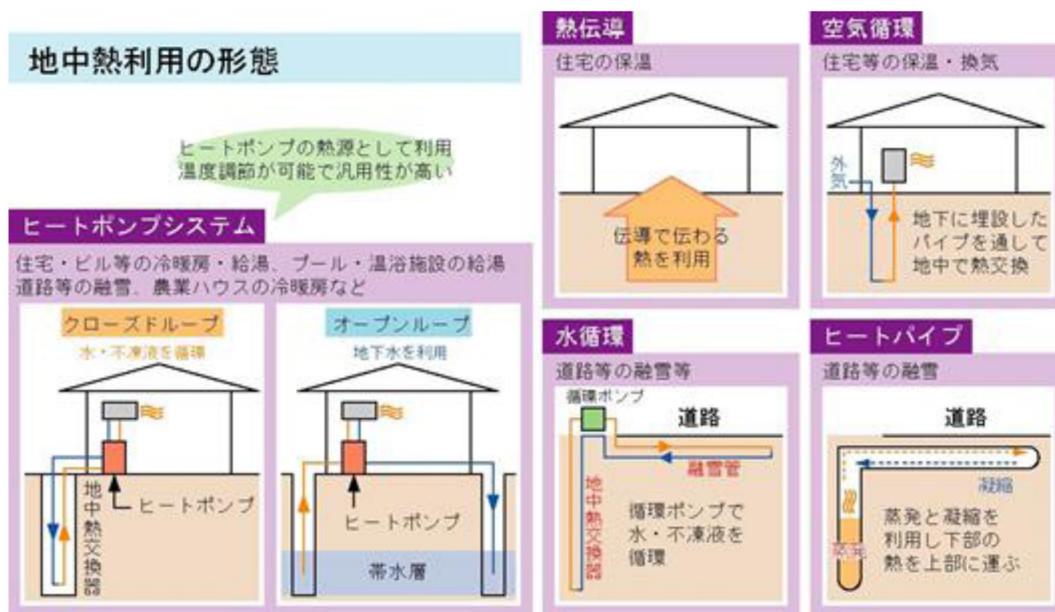


図2 地中熱の利用形態 (地中熱利用促進協会原図)

5. 地中熱利用の優れた点

再生可能エネルギーというと、利用できる時間帯や場所に制約があるものが多いが、地中熱はいつでもどこでも、しかも安定的に利用できる再生可能エネルギーである。再生可能エネルギーの利用が、省エネ性、環境性（CO₂削減効果）に優れていることは言うまでもないことであるが、さらに地中熱利用ならではの優れた点として、空調利用での夏の節電効果（ピーク削減効果）が大きいことや、大都市圏で問題となっているヒートアイランド現象の緩和に役立つことが挙げられる。

空調についてみると、地中熱ヒートポンプは化石燃料を用いた灯油ボイラーなどの暖房システムと比較して、大きな省エネ効果とCO₂削減効果がある。また、地中熱ヒートポンプの冷暖房では、空気熱ヒートポンプ（通常のエアコン）と比較しても、気温と地温の温度差が利用できるため、夏の冷房と冬の暖房で消費電力が削減できる。特に、夏の冷房時での効果は大きい。ヒートポンプの利用においては熱源温度と利用温度の温度差が小さい方が、圧縮機の消費電力が少なく済むので、特に夏の暑い日では放熱先が大気である通常のエアコンに比べて、地中熱ヒートポンプが大きな節電効果を発揮する。また、冬に降雪がある場合、通常のエアコンが十分に機能しなくなるケースが出てきているが、地中熱ヒートポンプシステムは雪にかかわりなく、安定的な暖房が行える。

地中熱利用が環境性に優れているもう一つの点として、ヒートアイランド現象の抑制効果がある。大都市圏において顕著なヒートアイランド現象の主な要因は、アスファルトやコンクリートのような建造物への熱の吸収と、建物等からの排熱であるが、地中熱ヒートポンプは通常のエアコンのように排熱を大気中に放出しないので、ヒートアイランド対策に効果がある。地中熱ヒートポンプでは、夏季の冷房排熱は地中に放熱されるが、冬季にはその地中から採熱する。放熱と採熱のバランスのとれた持続的運転がされていけば、エネルギーの利用に伴う環境負荷は、最小限に抑えることができる。

6. 地中熱利用の普及状況

欧米諸国では地中熱ヒートポンプは石油危機以降に石油代替エネルギーの利用法として注目され、1980年頃から導入が始まっている。わが国でも件数は少ないものの同じ頃に北海道で導入された。その後、欧米諸国では国あるいは電力会社等からの導入支援策に助けられ、着実に設置件数を増やしてい

く。そして21世紀にはいると、切実となった地球温暖化対策の手段のひとつとしても注目され、再生可能エネルギーである地中熱の利用は大きく伸びていく。2015年時点での地中熱ヒートポンプの設備容量は世界全体で見ると50GW¹⁾ある。2017年の全世界の地熱発電の設備容量が14.3GW²⁾であることを考えると、熱利用と発電の施設規模を同列に比較はできないものの、世界的に見ると地中熱ヒートポンプは地熱発電より大きな規模で普及しているといえる。

わが国でも近年、地中熱ヒートポンプへの関心が高まってきているが、2015年での設備容量は0.137GWであり、欧米諸国のほか中国・韓国にも大きな遅れをとっているのが現状である。わが国における地中熱ヒートポンプの普及状況については、2年ごとに環境省による調査が実施され、2015年までの設置件数が公表されている。それによると地中熱ヒートポンプの導入施設が累計2230件あり、うちクローズドループ1946件、オープンループ270件、併用14件となっている。都道府県別にみると、寒冷地である北海道と東北、人口の多い首都圏が件数を伸ばしている。施設別にみると、住宅の件数が一番多く、次いで事務所、庁舎等、店舗となっている。

7. おわりに

地熱と地中熱の違いについて説明するとともに、地中熱の利用状況について概説した。地熱発電だけでなく地中熱利用についても関心をもって頂ければ幸いである。

〈参考文献〉

- 1) Lund et al. : Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. Proc. WGC 2015.
- 2) BP Statistical Review of World Energy <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (2018年9月24日現在)

基礎技術 講座

地質リスクマネジメント（前編）

いわさき きみとし*
岩崎 公俊*

K
ey Word

地質リスク，地質リスクマネジメント，地質リスク調査検討業務，
リスク管理表，リスクスコア

1. はじめに

全地連では平成 17 年度から地質リスク WG の活動を行っている。そして平成 22 年度には地質リスク学会が設立され，全地連はこの学会との強い連携のもとに，地質リスクマネジメントの体系化，事例研究に基づく効果の評価方法，会員への啓蒙活動，発注者への PR 活動などを実施してきた。

一方，国土交通省においては「地質リスク調査検討業務」を数年前から発注し始めた。この業務は，地質・地盤状況の把握不足による工事中の事故発生や膨大な設計変更増額などに対する対応策のひとつとして，地質リスクを抽出・分析し設計・施工に反映させることを主目的としたものである。

このように地質リスクに関する実務がいよいよスタートしたが，地質リスクマネジメントの手法が必ずしも確立されているわけではない。

全地連においては，地質リスク調査検討業務の発注の際に役立つ資料として 2016 年に「地質リスク調査検討業務発注ガイド(改訂版)」¹⁾を公表した。また近畿地方整備局においては「地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案)」²⁾を 2018 年 3 月に公表した。そして，リスクマネジメントの基本方針については今後国土交通省と土木研究所が検討する予定であり³⁾，国としても今後積極的に取り組む姿勢である。

このような状況のなかで，地質リスクマネジメントの基本的な考え方を 2 回に分けてできるだけ分かりやすく解説したい。まず今回は，地質リスクマネジメントの基本と地質リスク調査検討業務の内容について述べるものとする。

なお，本稿でいう地質は広義の立場より地質のみならず地盤も含むものとしている。

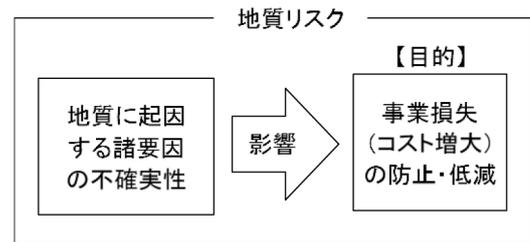


図-1 地質リスクの概念図

2. 地質リスクマネジメントとは

2.1 地質リスクとは

これまで漠然と使っていた「リスク」という用語について，その基本を押さえておく必要がある。リスクという用語の定義は JIS Q 3100⁴⁾において「目的に対して不確さが与える影響」とされている。必ずしもマイナス面だけがリスクでないことに留意して頂きたい。

これに対し，全地連においては地質リスクの定義を「地質に起因する事業リスクで事業損失とその不確実性」としている。これは，上記 JIS でいう目的を事業損失すなわちコスト増大を抑えることとしてとらえている(図-1)。言い換えれば，地質リスクは建設事業において地質，土質，地下水などの不確実性が建設コストに及ぼす影響のことを意味している。このリスクを減ずることは建設コスト縮減に直結することであり，国土交通省が進めてきたコスト構造改革に即したものである。

2.2 地質リスクの要因

我々が直面する地質リスクとなる事象には何があるだろうか。表-1 は新規の建設事業において対

* 全国地質調査業協会連合会 技術委員長

象構造物ごとに考えられる主な事象を列挙したものである。そして、これらの地質リスクの発生に影響する要因には以下のような素因と誘因がある。

素因：地形、地質、破碎帯、地下水状況、地盤特性、岩盤性状、汚染物質・ガス等の存在、構造物の劣化

誘因：気象、地震、地形の人工改変、構造物築造による外力変化等

また、他に影響する要因として、地層断面の誤り、設計モデルの誤り、解析モデルの誤り、設計・解析パラメーターの誤りなどの人的判断の誤りもあるが、これらは一般的な品質管理の問題として取り扱われるため、ここでは除外する。

表-1 地質リスクの主な事象例¹⁾

建設事業		地質リスクの発現に直結する事象の例
道路・鉄道	切土のり面	すべり破壊、落石、豪雨時表層崩壊、のり面保護工の劣化・背面空洞化、掘削土の重金属汚染
	盛土	すべり破壊、材料劣化、基礎地盤沈下、基礎地盤・盛土材料の液状化、路面不陸、長期沈下、周辺施設の沈下・傾斜
	橋梁	橋脚・橋台基礎の沈下・傾斜、側方流動、基礎地盤の液状化、仮設構造物の沈下・破壊
	山岳トンネル	異常出水、破碎帯の存在誤認、覆工亀裂、坑口斜面崩壊、周辺井戸の枯渇、ずりの重金属汚染、ガス発生
	都市トンネル	地層変化、地表面沈下、建築物の沈下・傾斜、メタンガス発生
	開削	周辺地下水位低下、近接構造物の沈下・傾斜、土留壁の変形・破壊、掘削底面の盤膨れ・パイピング
河川・海岸	堤防	沈下、すべり破壊、浸透破壊、地震時崩壊、漏水、堤体及び基礎地盤の液状化
	河川・海岸施設	沈下・傾斜、漏水、地震時損傷
	ダム	亀裂、沈下・傾斜、漏水、地震時損傷、ダム貯水池周辺地すべり
砂防	地すべり	すべり面誤認、対策工の変状、水抜き工の不良、地すべり範囲の誤認
	がけ地	降雨時崩壊、危険度ランク評価の誤り、のり面保護工の劣化・背面空洞化
	土石流	土石流土砂量・崩壊規模想定誤り、範囲誤認、砂防堰堤の沈下・傾斜
建築	宅地	降雨時の沈下、基礎地盤の液状化、盛土部の基礎変状、のり面の崩壊、道路路面の不陸
	建築基礎	建物の不同沈下、支持層の急変、軟弱層の存在、地盤の液状化
	地下掘削	山留め壁の変形・破壊、周辺地下水位の低下、近接構造物の沈下・傾斜、掘削底面の盤膨れ・パイピング

2.3 地質リスクマネジメントとは

地質リスクのマネジメントは、JIS Q31000で示されている図-2のようなプロセスを実行することである。詳細は後述するが、地質リスクの特定・分析・評価を行うリスクアセスメントを実施した

後リスクへの対応を検討する流れで、モニタリング及びレビューは地質調査とその結果の考察を意味し、コミュニケーション及び協議は発注者を含む関係者との情報共有と協議に相当する。そして、事業の進捗段階に応じて繰返し実施されることが必要である。

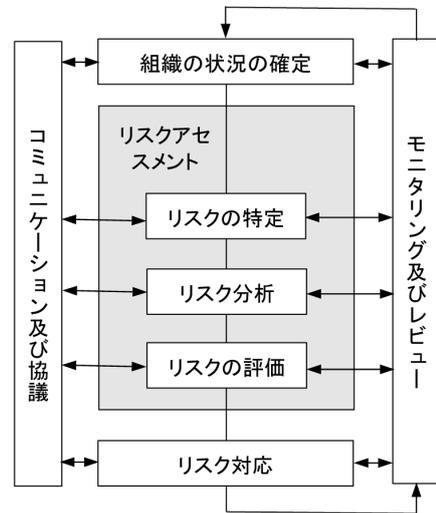


図-2 リスクマネジメントプロセス⁴⁾

3. 地質リスクマネジメントの意義

地質リスクマネジメントの必要性が認識され始めてきたのは比較的最近ことであるが、その大きなきっかけとなった代表的な事例を紹介する。

① 横浜マンション問題

2015年に発覚した横浜市都築区のマンションの基礎杭問題が社会を揺るがせた。施工管理におけるデータ偽装が問題視された事案であったが、地盤や支持層に関する情報取得や評価に関しても注目された。

事故後の対策委員会で原因や対策に関する議論が行われると同時に、中央建設業審議会・社会資本整備審議会の基本問題小委員会においても議論が行われ、それを受けて民間工事指針⁵⁾が公表された。この指針では施工リスクを低減させるために、事前の地盤調査と専門的知見を重視し、その情報を共有することや適切な協議を行うべきことを指摘している。これは、地盤に関するリスクの特定・評価を行い、関係者間でリスクコミュニケーションを図ることであり、まさに地質リスクマネジメントの基本を示唆している。

② 博多駅前陥没事故

2016年に発生したこの事故は複雑な地盤への対応が課題となった。国土交通省が設置した「地下

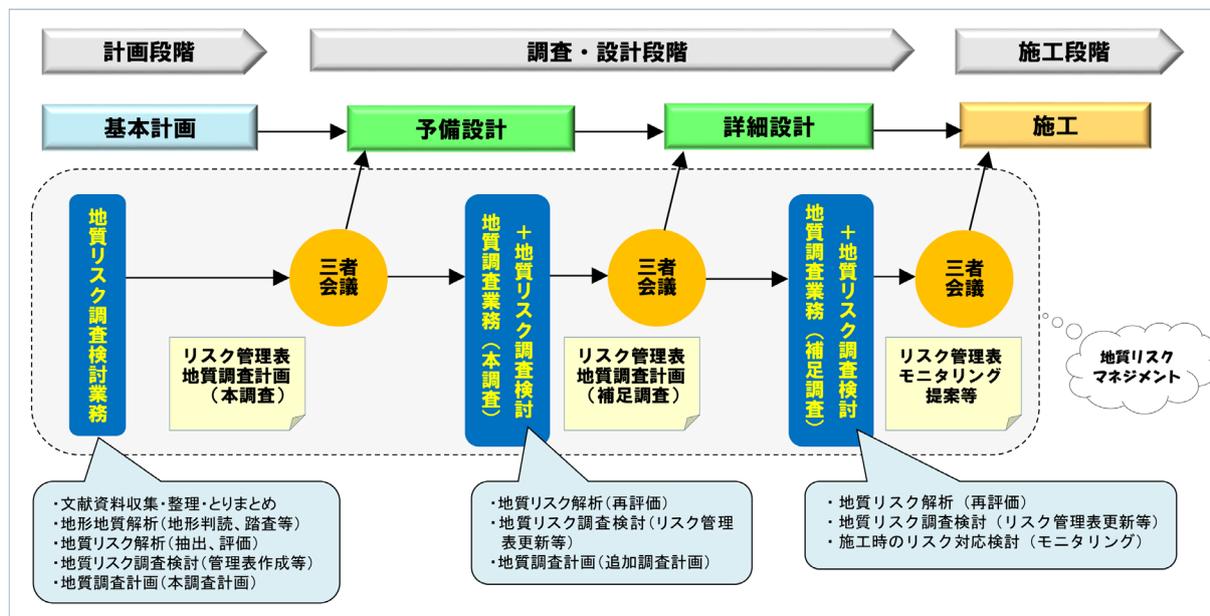


図-3 地質リスク調査検討業務と合同会議を組み合わせた地質リスクマネジメント

空間の利活用に関する安全技術の確立に関する委員会」は、官民の地盤情報の共有化と、その情報を活用した計画・設計・施工の各段階における地盤リスク（地質リスク）のアセスメントが重要であることを国土交通大臣への答申のなかで提言した。なお、地盤情報の共有化に関しては、2018年4月に設立された国土地盤情報センターが全国の地盤情報を集約する場として期待されている。

上記のような事故を防ぐため、事前に地形・地質や既往地盤情報などをできるだけ収集し、地質工学、地盤工学等の知見に基づくリスクの評価を行う必要があることが改めて認識されてきたと言える。これは、事故防止のみならず各種の地質リスク発現に伴う工費増大に対しても必要である。

このような考えを一般的な建設事業に当てはめると、図-3に示すような取組みが必要と考えられる。

すなわち、地質リスクを抽出（特定）し、分析・評価する地質リスク調査検討業務をできるだけ早い段階で実施する。その結果に基づき、発注者など関係者との協議（三者会議）を行いリスク情報の共有化を図るとともに、それらのリスクをより明確にするための地質調査計画も策定する。次の設計前段階においては、上記で計画された地質調査結果に基づき地質リスクの検討（特定・分析・評価）が行われ、設計に引き渡す条件としてのリスク対応を検討され、三者会議で情報の共有化を行う。さらに、施工前段階においては施工時に残されている地質リスクの程度（残存リスク）が

最も問題となる。必要に応じて追加調査が行われ地質リスクが再評価される。施工者は、残存リスクを意識してモニタリングなどを行い安全な施工に努めることができる。

以上のような流れは、事業のすべての段階を通じて地質リスクマネジメントを行うことであり、一貫通貫の地質リスクマネジメントと言えよう。

なお、三者会議は通常は設計や施工条件の確認が主目的であったが、地質リスクに関する情報を共有化することはリスクコミュニケーションとして極めて有意義であると考えられる。そのため、国土交通省において平成29年度に試行的に地質技術者の三者会議への参加を実施したところ、実施者からの良好な評価が得られた⁷⁾。今後の継続運用が期待できるところである。

建設段階ごとに地質リスクマネジメントを繰り返していけば、全体の地質リスクを低減させることができる。図-4は、そのイメージを示したもので、地質リスクマネジメントの効果を示している。

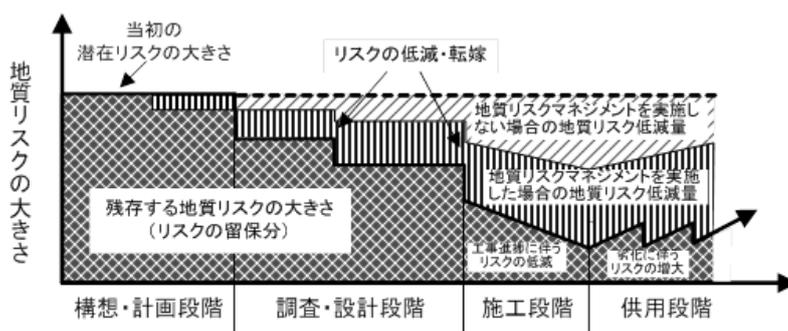


図-4 建設段階に応じた地質リスクの低減¹⁾

事業が進むにつれて当初懸念された地質リスクが調査の結果解消されてくることもあり、地質リスクマネジメントを実施しなくても地質リスクが低減することはある。そして初期の段階から地質リスクマネジメントを開始していれば、そのリスクへの対応（対策による低減やルート変更による転嫁など）ができるため、さらにリスクが低減する。逆に地質リスクマネジメントを行わない場合には、地質リスクが施工途中に発現し、予想外の対策工が必要になり予算超過に至るケースも多い。このように、的確に地質リスクマネジメントを行えばトータルコストを下げる事が可能となる。

4. 地質リスク調査検討業務の手順

4.1 地質リスク調査検討業務発注ガイド

全地連では、地質リスク調査検討業務について、発注に際して必要な基本的な考え方をまとめた「地質リスク調査検討業務発注ガイド」を2014年に作成し、その後大幅に加筆した改訂版¹⁾を2016年に公表した。これは、国土交通省がプロポーザル業務で発注すべき業務の例の一つとして地質リスク調査検討業務を示したこと⁶⁾に対応したものである。

この発注ガイドにおいて重要となる事項について以下に述べる。

4.2 検討内容

地質リスク調査検討業務の一般的な手順と内容は図-5に示す通りである。これらの作業は、この業務の適用段階によって取捨選択することになる。すなわち、事前に本検討業務あるいはそれに類した業務が行われていれば、その確認程度でよい場合もある。また、非常に早い段階（構想・計画段階）では、地質リスク解析はその検討に必要な情報が得られない可能性があり概略検討になるであろう。この場合、対策の検討は省略してもよい場合もある。

「地質リスクの対応方針策定」は、構造物の重要度、工期の制約、コストと安全性の相反関係をどのように考えるかなど事業の特性を考慮して検討しなければならない。

「地質リスク情報抽出」は、既往資料に基づく地質リスク要因の机上調査である。技術者の経験も加味して当該地域の地質的な課題を的確に洗い出す必要がある。

「地質リスク現場踏査」は、机上調査でイメージされた注意箇所を確認することも含め、極めて重要な作業となる。場合によってはドローンを活用することも必要であろう。

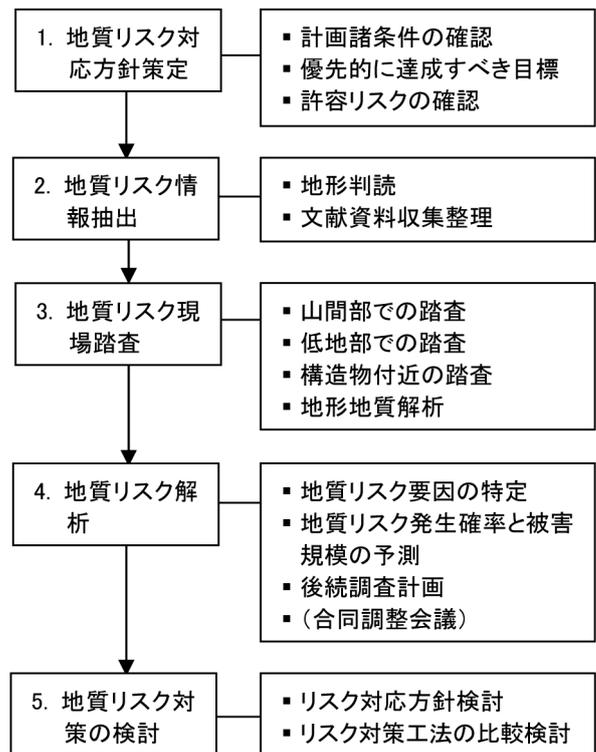


図-5 地質リスクの検討手順と内容

「地質リスク解析」は、上記の調査結果に基づき、地質リスクの素因と誘因を抽出し、各地質リスクの発生確率や被害程度の大きさを判定する。リスク管理表（登録表）を作成し、必要に応じて追加調査の計画を策定する。

「地質リスク対策の検討」は、優先度の高い（リスクスコアが高い）リスクに対して、その対応方針を検討し、リスク管理表（措置計画表）を作成する。なお、対策工の検討においては設計業務との調整が必要である。

4.3 リスク管理表

上述のリスク管理表の一例を図-6に示す。この例は文献8)で紹介された海外の例であり、当該事業に適するものを提案すべきである。英国では、業務を実施する会社が独自のものを作成しており、それを売り物にしている。

このような管理表と合わせて地質リスクを平面図上で標記するなどの工夫が望ましい。

4.4 リスクスコアの考え方

地質リスクへの対応を検討するうえでリスクの程度の大きさが重要となる。そのため何らかの定量化が必要であるが、一般にリスクの程度は以下のように表される。

$$\text{リスク程度 } R = \text{影響度 } E \times \text{可能性の高さ } L$$

登録表

活動内容				分析者氏名							
登録番号				審査者氏名							
日付				情報源							
番号	名称	詳述	状況	危機ある いは好機	既存の 手法	影響度(重大さ) 詳述 評価点	発生確率 詳述 評価点	点数 C×L	先進的アプローチによる 分析結果の記述	対応計画概要	優先度
1	杭基礎下の予想外な地盤状況	杭打設時に杭地盤の地耐力不足が生じ、No.1～No.16の杭長を長くする必要が生じた。	L	T	該当なし	損失200万(NZD) 70	可能性が高い 5	350	必要な杭長は0～10m(20%の安全率を含む)である。延長する長さはリスクの発生をポアソン分布によってモデル化することによって決定する。	杭打設位置で最小限の試験を行う。	1
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">独自の認識番号</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">短い説明的な表題</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">成果の中で不確実性に結びついている特定の事象を詳述すること</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">危機を最小限にするかあるいは好機を増加するための詳細な既存プロセス、計画、実行および管理。どのような影響を及ぼすかも記述</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">事象の結果</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">事象が起こりそうな程度</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">時間リスク分析およびコストリスク分析の両方で使用されるべきアプローチに関する詳細な説明</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">提案あるいは実行した措置計画と現状の概要</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">リスクスコアあるいは感度分析および先進的アプローチに基づくリスクの優先度</div> </div>											
(例外の記述)											

< 凡例 >

- L: リスクが発生し、その程度が特定された状態
- E: リスクが発生しているが、どの程度なのか特定されていない状態
- P: リスクが取り除かれた状態
- G: リスクではない状態
- T: 危機
- O: 好機

(点数によるリスク区分)

	きわめて高い >350
	非常に高い 200～350
	高い 70～200
	中位 30～70
	低い 4～30
	無視できる 1～3

措置計画表

活動内容				分析者氏名							
登録番号				審査者氏名							
日付				情報源							
番号	名称	危険ある いは好機	措置の 種類	措置の 進捗 状況	措置対策	責任者	時期	資源	観察(モニタリ ング)および報告	措置のコスト (NZD)	リスク低減
1	杭基礎下の予想外な地盤状況	危機	最小化	完了	(1.1)杭2本ごとに該当位置で調査ボーリングを実施すること	〇〇主任	2004.6.30 までに行う	ボーリング機 械仮設に3日 必要		15,000	該当なし
				着手	(1.2)上述1.1を考慮した杭システムの妥当性の再評価を行うこと	〇〇課長	2004.6.30の会議 で設計変更に関 する合意を得る	コンサルタント により準備され た設計レビュー と概要報告		5,000	支持強度不足の発生確率は50%低減されるが、追加された杭のコストを可能な限り低減することにより、30万(NZD)のコスト削減が可能となる。
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">リスクを扱う際に取り入れるアプローチの種類(リスクの許容、移転、最大あるいは最小化、会費、緩和)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">措置計画の現時点での簡潔な表示</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">リスク措置を完了させるために措置リストが要求される</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">措置を完了するための個別の責任者</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">措置完了のデッドライン</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">措置を完了させるために要求されている資源についての要約</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">措置の総コスト(予想あるいは実績)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">措置完了に続いて期待されているレベルでのリスクについての低減予測</div> </div>											

図-6 リスク管理表の一例⁸⁾

表-2はこの考えを導入して文献1)で示されたリスクスコアを修正したものである。すなわち、影響度と可能性の高さの5段階に1～5の評点を与え、それらをかけ合わせたリスク程度の大きさによって表-2の注に示した範囲でリスクスコアのランク(C, B, A, AA)を決めている。

ただし、あくまでもこの方法は試案であり、対象とする事業特性や地域の地質特性などを考慮して発注者と入念な打合せで決定すべきものである。なお、図-6の管理表の例において、「点数」がリスク程度、「優先度」がリスクスコアに相当する。

このリスクスコアの考え方に関しては、地域ご

表-2 リスクスコアの一例（文献1）を加筆修正）

			可能性の高さ(発生確率) L				
			非常に低い (1)	低い (2)	中程度 (3)	高い (4)	非常に高い (5)
影響度 E	非常に低い (1)	事業の継続に影響を与えない	C	C	C	C	B
	低い (2)	軽微な修復で事業継続可能となる影響	C	B	B	B	A
	中程度 (3)	大きな損失を受けるが事業は継続可能で、遅延がある	C	B	B	A	A
	高い (4)	事業が中断または大幅な遅延となる影響	C	B	A	A	AA
	非常に高い (5)	事業の継続不能となる影響	B	A	A	AA	AA
(注)リスクスコア(リスク程度 R=E×L) AA：リスクを回避することが望ましいリスク事象(R=20~25) A：詳細な地質調査を実施して、完全なリスク低減対策を講じるべきリスク事象(R=10~19) B：地質調査を行い、調査結果に応じた適切なリスク低減対策を講じるべきリスク事象(R=5~9) C：リスク回避や低減対策を必要とせず、施工段階へリスクを留保することが可能な事象(R=1~4) ※ 発生確率のランクは当該事業ごとに、事業や工事の特性を考慮して定義							

との事例に基づきレベルアップを図るべきと考えている。また、文献9)では英国におけるリスク管理表やリスク程度の考え方が述べられているので参考にして頂きたい。

4.5 積算の考え方

地質リスク調査検討業務の積算に関しては、全国標準積算資料（通称赤本）の平成30年度改訂歩掛版¹⁰⁾に初めて歩掛の構成が記載された。基本的には図-5に示した項目の詳細が示されているが、実際に採用すべき項目や歩掛は対象プロジェクトによって大きく異なる。そのため、できる限り提案・見積を徴集したうえでプロポーザル方式の発注を行うことが望まれる。

5. おわりに

今後、地質リスク調査検討業務の実績を積重ね、より詳細なガイドラインに発展していくことを期待している。

次回の後編では、地質リスクマネジメントの新たな展開として、地質技術顧問制度、GBR（ジオテクニカル・ベースライン・レポート）⁸⁾などについて解説するとともに、今後の課題を提示する予定である。

〈参考文献〉

- 1) (一社)全国地質調査業協会連合会：2016年改訂版 地質リスク調査検討業務発注ガイドー建設事業の生産性向上と品質向上のためにー，2016.10
- 2) 国土交通省近畿地方整備局：地質リスク低減のための調査・設計マニュアル（案），2018.3
- 3) 佐々木靖人：地質の不均一性とリスクー過去の経験，今の動向，全地連「技術フォーラム2018」高松，特別セッション講演集，pp.24~26，2018.9
- 4) 日本工業規格：ISO Q 31000：2010「リスクマネジメントー原則及び指針」，2010.9
- 5) 国土交通省：民間建設工事の適正な品質を確保するための指針（民間工事指針），2016
- 6) 国土交通省：建設コンサルタント業務等におけるプロポーザル方式及び総合評価落札方式の運用ガイドライン，2015.11
- 7) 国土交通省：調査・設計等分野における品質確保に関する懇談会 平成29年度第2回参考資料，2018.2
- 8) 地質リスク学会・(一社)全国地質調査業協会連合会：「地質リスクマネジメント入門」，オーム社，2010.4
- 9) C.R.I. Clayton, 英国土木学会編，全国地質調査業協会連合会訳：ジオリスクマネジメント，古今書院，2016.12
- 10) (一社)全国地質調査業協会連合会：全国標準積算資料（土質調査・地質調査）平成30年度改訂歩掛版，2018.9

若手技術者への技術伝承 活動事例

かつき ひろのぶ
香月 裕宣*

K
ey Word

技術伝承, 若手技術者の育成, 官民協働, 現地踏査, 体験, 環境

1. はじめに

近年の地質調査業を取り巻く環境の中、大きな課題の一つに若手技術者の育成がある。これは民間にとどまらず、官庁においても聞くところであり、例年、福岡県地質調査業協会（福地協）が実施している福岡県県土整備部との意見交換会においても共通の課題として取り上げられている。

そのため、福地協ではこの課題解決に向けた取り組みとして「若手技術者のための現地勉強会（現地勉強会）」を平成26年度より実施している。

以下に、平成26～28年度の3年間の実施状況について報告する。なお、平成29年度は九州北部豪雨災害の対応に追われ、官民ともに実施不可であった。今年度は現在準備しているところである。

2. 現地勉強会の概要

この現地勉強会の概要は、参加条件として県職員は年齢30歳前後の技術者、民間は年齢30歳以下の技術者。参加人数は各10名の計20名を募集し、それを4～5人の官民混合班体制に編成し、リーダー、書記、発表者などの役割を決める。行程的には、現地へ向かう大型バス車中で当日の概要と課題の説明、現地到着後すぐに現地踏査や作業を4時間程度経験した後（その間に昼食弁当）、室内に移動、データに関する討論と整理、最後に各班に課題を発表していただく。ティーチングスタッフ（TS）として福地協技術委員10数名が各所に対応、アドバイスをを行う仕組みである。

3. これまでの現地勉強会の実施状況

3.1 平成26年度 第一回現地勉強会

技術テーマは「地すべり」、参加は県職員13名、民間11名の計24名で、6班編成。TSは8名。

課題は、現在、地すべり末端部切土による道路拡幅に伴う対策工事が進んでいるヤードにおいて、現地踏査により地すべり外形を読み取ること。ヒントとして、調査ボーリングコア、柱状図、孔内傾斜計観測データなどを提供して現地踏査に挑んでもらった。その他に、孔内傾斜計による地すべり観測、湧水ポイントでのpH、ECの簡易水質観測、周辺露頭の構造観察などTSを通して体験するプログラムとした（写真-1）。



写真-1 (1) 地すべり地を前に現地踏査に挑む様子

現地踏査のスタート時、各班ともに他の班に影響されことなく独自に地形図やその他のデータを持ち寄り踏査ルートを設定し、山の中へと消え

*株式会社 ジオテック技術士事務所 代表取締役
九州地質調査業協会 理事 技術委員長 (一社)福岡県地質調査業協会 副理事長 技術委員長

私の経験した現場

ていった。山の中では「明瞭に観察できる頭部滑落崖のさらに上方を確認したい。このすべりが拡大傾向にあるかの確認をしたい。」との声を多く聞いた。安全管理上、今回はTSを配置し、これ以上の踏査は断念させたが、各班でのディスカッション



写真-1 (2) 孔内傾斜計観測の指導を受けている様子



写真-1 (3) 地すべり周辺の岩盤露頭の観察指導を受けている様子



写真-2 (1) 各班でデータを整理しディスカッションしている様子



写真-2 (2) 各班の発表担当が班でまとめた地すべり外形について発表している様子

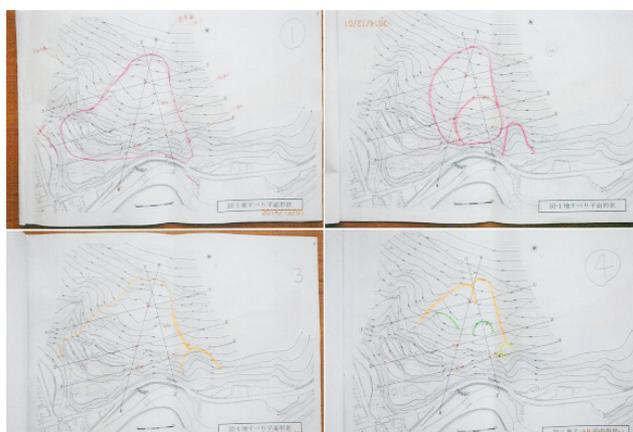


写真-3 各班ともに同じ地すべり外形は見られなかった

ンの結果としては、受け入れたい面もあった。さらに、各班とも昼食時間もあまり取らずに準備しておいたコアの観察を行い、再び山中へ消えていたりもした。そのため、現地を出発する時間が押してしまった。

現地踏査後室内に移動、直ちにデータを持ち寄り、各班はリーダーを中心にディスカッションを行い、整理、発表会に挑んだ(写真-2)。発表の結果は、予想通り見事に各班の地すべり外形はそれぞれで同じものは見受けられなかった(写真-3)。

3.2 平成27年度 第二回現地勉強会

技術テーマは「道路防災点検」、参加は県職員17名、民間12名の計29名で、6班編成。TSは9名。

課題は、道路法面とその上方の自然斜面を道路防災点検要領に則って点検を実施し、その理由を添えて評価を行うこと。ヒントとして、各要点箇所にはTSを配置し、質問に関しては簡単に対応する形をとって、地形や変状等の解釈の手助けを行っ



写真-4 (1) 自然斜面内でTSに助言を受けている様子



写真-4 (2) 地形図を見ながら班の仲間と斜面をさまよっている様子

た(写真-4)。また、自然斜面のここまでは見てほしいポイントにTSを配置し、そこまで到達した班は記念写真を撮ってもらおうといったアトラクションも組み込み、このときの写真は後日各参加者へ配った。「こんなに山の上の方まで点検するのですね。」との驚きの声も聞こえた。この会も参加者全員熱心で、なかなか山から出てきてくれなく、やはり現地を出発する時間が遅れてしまった。

ようやく室内に移動し、直ちにデータを持ち寄りディスカッション、整理し、発表会に挑んだ(写真-5)。各班が発表した点検結果は様々であり、一様な点検結果がどうしても出ないのか疑問に感じたところでこの会は終了した。

3.3 平成28年度 第三回現地勉強会

技術テーマは「調査ボーリング～コア観察～地質断面図が出来るまで」、参加は県職員10名、民間8名の計18名で、5班編成。TSは12名。

課題は、橋梁の基礎調査に関することで、すで



写真-5 各班の発表担当が班でまとめた評価について発表している様子

に調査ボーリング各1孔がある橋脚の間で新規調査ボーリングを実施、そのコア観察を行い計3孔を用いて地質断面図を作成すること。その他に、九州の特殊土である有明粘土やマサ土、砂や砂礫、第三紀層や結晶片岩のコアを準備し、TSによる観察指導を体験するプログラムとした。また、実際に目の前でコアリングした土質試料コアをコアチューブから取り出すところや標準貫入試験とそのサンプラー開放、コアパックを切り開いてコア観察するまでなどを体験してもらった(写真-6)。

ここでも全員熱心でコア箱からなかなか離れてくれない状態が続いた。粘土か、シルトか、または砂でも細粒か中粒か、礫混じりか砂混じりかなど、議論が白熱し、その反面一向に地質柱状図への記載が進まない人が多く見られた。どうして同じものを見ているのに、違う記載になるのか？不思議に思う人もいた。



写真-6 (1) コアパックを切り開いてコア観察に臨む様子



写真-6 (2) コアチューブからコアを取り出すところの説明を聞く様子

現地でのコア観察を終え、室内に移動、直ちにデータを持ち寄りディスカッション、地質断面図の作成を行い、発表会に挑んだ。これまた見事に各班が発表した地質断面は様々で同じものは見受けられなかった(写真-7)。

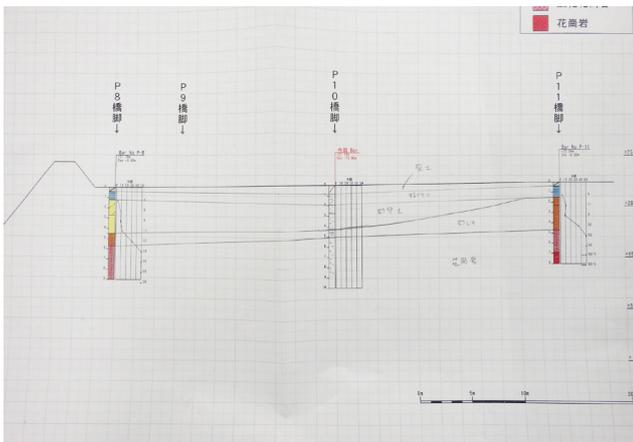


写真-7 ある班が示した地質断面図, 各班ともにさまざまであった

4. アンケート調査結果

各現地勉強会の最後にアンケートを取っている。その結果を以下に述べる。

4.1 平成26年度 第一回現地勉強会

現場に行くと、すごくわかりやすかったように感じました。／非常に楽しくためになりました。ありがとうございました。／貴重な体験をさせていただき、ありがとうございました。／とてもよい勉強になりました。ありがとうございました。

／初めて参加させていただいて大変興味深いものとなりました。現場の見方など、もう一度確認していきたいと思います。／時間がもう少しあれば、ヒントなしのまっさらな図面から踏査し、地すべり地形を把握するという研修ができたように思う。／現地での解説は、非常にためになりました。

4.2 平成27年度 第二回現地勉強会

大変勉強になりました。今度は、現場写真の有効な撮り方を教えていただきたい。／現地踏査を行い、各班で結果を出した後、専門家の結果説明を聞くという流れは、とても勉強になりました。「解答」に当たる結果を頂けると、今後の復習もできるので、可能ならいただけるようにしてほしい。／道路防災点検について、今まで学ぶ機会がなかったので、今回の現地勉強会で学ぶことができよかったです。／今回のような現地踏査はとても勉強になりました。ただ、私は斜面等に関しては全く業務に携わっておらず、現地の見方もよくわからない状態です。おそらく行政の方も同じだと思います。踏査する中で1班に1人技術者をつけて踏査するとよりいいと思いました。／もう少し全体的に時間がほしかった。現地に入る前の説明がもう少し詳しいと何を見れば良いかわかるので、改善できるとよい。色々書きましたが、非常に勉強になりました。お疲れ様でした。／判断するのに経験も必要だが、基準がいまいちわからないと思いました。／実際に現地を歩く作業を行う事で、マニュアルを読むだけでは理解できないことも概ね理解できたと思う。地形の判断がなかなか難しかった。／現地調査の大変さを身をもって感じる事ができました。なかなか勉強する機会がありませんので今後も続けていただきたいと思います。ありがとうございました。／勉強になりました。ありがとうございました。／防災点検をこれから進めていく上でのポイントを学ぶことができたので、とても有意義な勉強会でした。／今回の研修が素晴しかったので、また同じ内容でお願いします。／今後、原位置試験についてくわしく知りたいです。／専門家の方と現地を歩き着目点を教えていただきたい。／勉強会の内容は大変良かったと思われまます。／こういった勉強会はドシドシ行ってほしい。／頑張ってください。よかったら各班に指導者がいてほしい。／業務の中でこれまで斜面に登るといった経験がなかったため、非常に貴重な経験となり、今後さらに勉強をしていく意欲がわきました。

4.3 平成 28 年度 第三回現地勉強会

私たちは成果しか見ないので今回のような、そこに至る過程を勉強できるような研修をまた受けてみたいと思います。いざ自分で書こうとすると、中々どう書いてあったか思い出せないことに驚きと少しの恥ずかしさもありました。／各種試験の現場を見てみたいです。今回はN値を測るところを見ることができて良かったです。／コアを間近で見たことがなかったので、非常に貴重な経験になりました。／今後に繋がる勉強会だったと思います。／時間が少し短かったような気もしたのですが、有意義な時間を過ごすことができて良かったです。／勉強になりました。ありがとうございました。／せっかくの研修でしたので参加者がもっと多ければ良かったと思いました。次回があればPRに努めます。／普段はあまり見られないような作業を見ることができ、また実際に自分たちで管理表を作ってみていい体験ができたと思います。／普段の業務では完成されたデータを読むだけですが、実際にデータ（柱状図）を作成する過程を体験することは初めてで貴重な体験でした。これから先は、柱状図を見る目も変わってくると思います。

5. まとめ

若手技術者への技術伝承、そして育成を目的に官民協働で実施しているこの「現地勉強会の成果」として、「現地を見て歩くことの大切さ」、「現場での体験が如何に情報の整理や解析に重要か」を実感していただいた一方、「解答」や「How to」を簡単に望んでしまう風潮も見えてきた。

現場に行き、はじめは何がわからないのかもわからない状態から、現場と書籍や論文とのにらめっこ、そして同僚や先輩とのディスカッションを積み重ね、少しずつ見えてくるものがある。その情報を共有する仲間がいる。こんな環境を作ることが「若手技術者への技術伝承、そして育成」につながるように感じる。

自然災害の多発する中、官民一体となって迅速に災害に対応することこそが市民への安心安全につながる中、継続的に官民が立場を超え、同じ方向を見据え、お互いに切磋琢磨して技術力の向上に努める環境を作り出すことが大切だ。

最後に、福地協として今後とも、この活動を継続し、「若手技術者への技術伝承、そして育成」に貢献していきたいと考えている。

各地の博物館巡り

国立大学法人

琉球大学博物館

ふうじゅかん
風樹館



正面

はじめに

沖縄は、東西約 1,000km、南北約 400km の範囲に 100 以上の島々からなる島嶼群であり、日本で数少ない亜熱帯気候を示している。また、その島々の大きさや地質、気候や島の成り立ち等により微妙に異なる独自の自然環境がある。

今回紹介する博物館は、琉球大学（1950 年開学）内にあり、「風樹館」と呼ばれている。これは県内企業経営者「金城キク：女性篤志家」による建物の寄贈を受け農業資料館として旧首里城にあったキャンパスに全国の大学に先駆けて設置された。1974 年に琉球大学が西原町に移転した際に沖縄の有名建築家により沖縄らしい様式で設計された風樹館が建設された。

展示内容

博物館全体は、資料数約 17 万点が収蔵されており、民俗資料、美術工芸資料、考古資料、動植物資料、地学資料、文献資料等が収められている。

博物館は、建物内が①自然系展示室（動物標本、貝やサンゴ標本、岩石標本等）、②文科系展示室（伝統工芸、民俗資料、首里城関連資料等）であり、野外に③ビオトープ（植物や昆虫観察）が設置されている。

博物館に入るとヒメハブ（写真 1）やヤエヤマセマルハコカメ（写真 2）が飼育されている。また、中央スペースにはジュゴンの骨格標本（写真 3）、イリオモテヤマネコやヤンバルクイナなどの希少生物の剥製標本をはじめ等も展示されており独特のニオイがする。



写真 1 ヒメハブ



写真 2 ヤエヤマセマルハコカメ



写真 3 ジュゴンの標本



写真4 岩石展示例



写真5 レインボーストーン



写真6 サング標本

地学関係資料の展示

これらのうち地学関係資料として、琉球大学職員や学生による現地収集、購入などによって、沖縄や奄美諸島を含む南西諸島をはじめ日本全国及び海外（南極やアメリカ等）の岩石資料が収集されており、火山岩 339 点、半深成岩 155 点、深成岩 303 点、火砕岩 75 点、碎屑性石灰岩 132 点、生

物化学的堆積岩 118 点、接触変成岩 41 点、広域変成岩 263 点、破碎変成岩 2 点、鉱物 304 点、化石 180 点、未固結物 945 点、その他 20 点等合計 2,774 点の標本を展示してある。

代表的なものとして、写真 4～6 に示す。

※写真 4. 岩石の展示状況

※写真 5. レインボーストーン

古大東石灰岩の割れ目に赤土や貝化石、有孔虫、ウニの破片などが入り込み、赤、青、黄、白などの色彩が虹のようにきれいな縞模様を作っている。

※写真 6. パラオ・グアム産のサンゴ類

収録目録

風樹館の収蔵品目録は 2009 年より整理されて出版されており、下記 HP より PDF を閲覧もしくはダウンロードできる。

○資料館収蔵タイプ 標本目録

- 二枚貝類 標本目録
- 甲殻類 標本目録
- 岩石・鉱物 標本目録
- 哺乳類・鳥類・爬虫類・両生類 標本目録
- 多板網・腹足網、堀足網・頭足網 標本目録
- 考古・民族・美術工芸 資料目録
- 沖縄産化石 標本目録 野原朝秀コレクション
- 中城湾サンゴ類 標本目録
- 棘皮動物 標本目録
- 甲殻類 標本
- パラオ・グアム産サンゴ 標本目録
- トンボ目 標本目録

風樹館利用御案内

●開館時間

- 10:00～16:00

●休館日

- 年末年始、土、日、祝日

●入館料 ●無料

●所在地

- 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地
TEL. / FAX : 098-895-8841
E-mail : fujukan@agr.u-ryukyu.ac.jp

●ホームページ

- <http://fujukan.lib.u-ryukyu.ac.jp/>

[日本物理探鑛(株) 沖縄事務所 所長 高久 和彦]

大地の恵み

大谷石・大谷層

1. 大谷石の歴史

大谷地域は、栃木県宇都宮市の中心市街地から北西約7kmに位置している。

新生代新第三紀中新世、関東平野の大半が海に覆われていた頃、活発な火山の噴火活動により火山碎屑物が海底に堆積して『大谷層』が形成された。大谷層の構成岩石は、流紋岩質の火山礫凝灰岩を主体とし、軟質で加工しやすい特性から、石材に多用され、産地名から『大谷石』と呼ばれる。

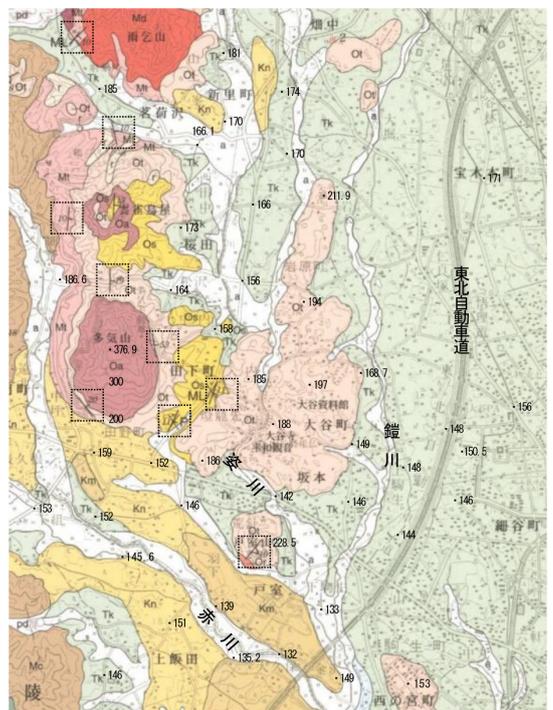
大谷石は、古くは縄文時代からその利用の記録が残されており、江戸時代の初めに行われた宇都宮城修築や、明治以降の交通機関の発達に伴い、その生産と利用が活発になった。1923年の関東大震災では、大谷石造りの旧帝国ホテルが震災を免れたことから、大谷石の耐震・耐火性が注目され、石垣や石塀等に大量に利用されるようになった。1960年頃には採石の機械化に伴い生産量が大幅に増加して、1973年には年間出荷量が最大の89万tに達した。しかし、採石コストの増大等を理由に、2013年には1.6万tに減少している¹⁾。

なお大谷石は、2016年に日本地質学会によって『栃木県の岩石』に選定されている²⁾。

2. 大谷地域の地形と地質

大谷地域の地形は、東北自動車道の西側に広がる標高130～210mの丘陵地と低地からなる(図1参照)。丘陵地では、浸食・風化により小丘状となった凝灰岩が露岩し、独特の景観を呈する。低地は大谷地域の主要河川である姿川、鍔川および赤川沿いに段丘面と沖積面が顕著である。

大谷地域の地質は、下位より古生代ジュラ紀の足尾帯の堆積岩コンプレックス、中生代後期の流紋岩質酸性火砕岩類、新生代新第三紀中新世の火山碎屑岩類、第四紀の段丘堆積物および河床堆積



(凡例) r: 埋立地 a: 後背湿地及び谷底堆積物(砂、礫及び泥)
pd: 山麓緩斜面堆積物(礫、砂、シルト及び風成堆積物)
Tk: 宝木段丘堆積物 Kn: 鹿沼段丘堆積物 Km: 上欠段丘堆積物
(いずれも礫、砂及び被覆風成堆積物)
Or: 大谷層(流紋岩溶岩及び貫入岩)
Oa: 大谷層(普通角閃石輝石安山岩・デイサイト)
Os: 大谷層(凝灰質砂岩・シルト岩)
Ot: 大谷層(流紋岩火山礫凝灰岩・凝灰岩および凝灰角礫岩(凝灰質砂岩及び礫岩を伴う))
Mt: 茗荷沢層(デイサイト凝灰岩・火山礫凝灰岩・凝灰質砂岩及び泥岩)
Md: 茗荷沢層(普通角閃石デイサイト溶岩及び貫入岩)
Mc: 茗荷沢層(礫岩、角礫岩及び砂岩)
※図中の斜字以外の数値は標高(m)
※内の記号は地層または火砕岩面構造の走向・傾斜を示す

図1 大谷地域の地質 参考文献3)の大谷地域付近を抜粋、一部加筆

物からなる。大谷地域の地表には、グリーンタフ活動に伴う大量の火山碎屑岩類(緑色凝灰岩)が広く分布し、一部には軽石や岩片を伴う溶結凝灰岩が見られる。

大谷地域における地層の走向・傾斜は、大局的には北-南から北東-南西走向であり、概ね20°以

下で緩やかな南側から東側への傾斜を示す。そのため、西から東に向かい、新しい地層となる。鎧川の東側では、地層が緩く西に傾斜した構造が認められ、鎧川沿いの南北方向を軸とする向斜構造が推定されている。表1には、大谷地域（特に大谷層）の地質層序について示し、表2には、岩相としてボーリングコア写真を示す。

表1の層の特徴として、記載されている『ミソ』とは、軽石がスメクタイト化したもので、火山灰中の鉄苦土鉱物（黒雲母・輝石・角閃石）の成分が結晶作用、溶結過程で移動・濃集したものと考えられている。このミソは側方へ連続することから、その濃集部を『通り』と称して採石位置の目安とされている。大谷石が良質の石材とされる細目・中目は、ミソの大きさが小さく均質に入った

Ⅲ層とⅣ層の採石であり、その風合いから高価とされている⁴⁾。

[川崎地質株式会社 大村 猛]

〈参考文献〉

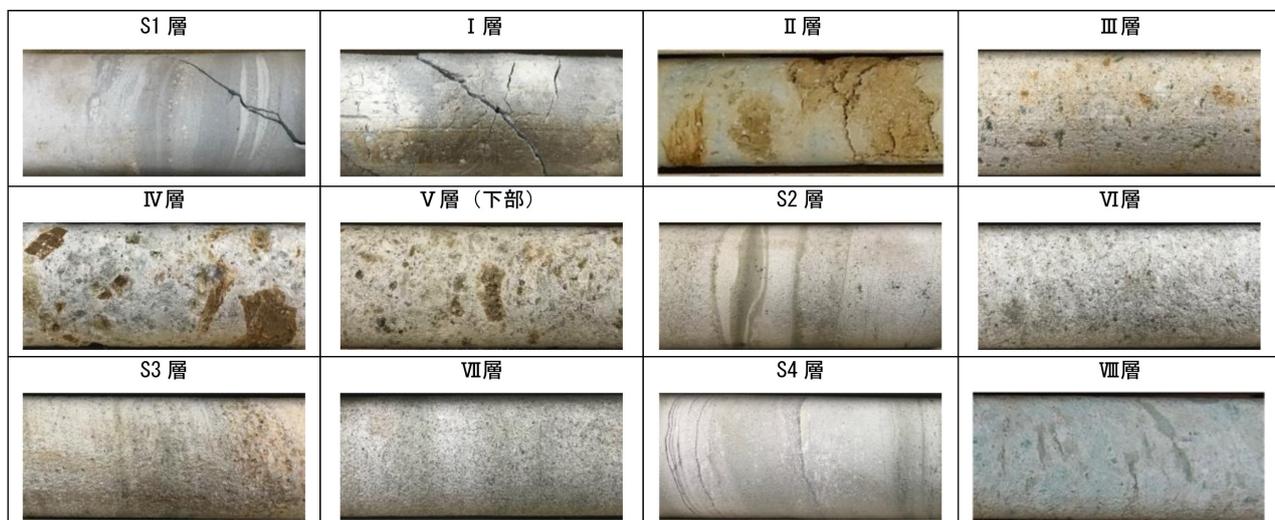
- 1) 井上俊邦：歴史的建造物の保存・活用とその方策に関する調査研究—大谷石建造物を事例に—平成26年度市政研究センター研究報告 pp27-36 2014
- 2) 一般社団法人日本地質学会：「県の石」：関東
http://www.geosociety.jp/name/content0149.html
- 3) 吉川敏之・山元孝広・中江 訓：5万分の1地質図幅「宇都宮」産業技術総合研究所 地質調査総合センター 2010
- 4) 松居誠一郎・山本高司・柏村勇二・布川嘉英・青島陸治：栃木の新第三系：荒川層群中部の層序と化石および大谷地域の応用地質学 地質学雑誌 Vol.117 補遺 pp.S89-S102 2011
- 5) 相田吉昭・酒井豊三郎：大谷石の作る景観と地質 大谷層の成り立ちを探访する 宇都宮美術館開館20周年・市制施行120周年記念 石の町うつのみや 大谷石をめぐる近代建築と地域文化 pp.14-25 2017

表1 大谷層の地質層序 注1) 参考文献5) を一部編集、加筆

時代	地層名	層準名	岩石名	層の特徴	層厚 (m) ^{注2)}	用途・産出化石等	太田(1949)による分類			
新第三紀 中新世	大谷層	S1層 ^{注3)}	S1	泥岩、細粒砂岩、凝灰質砂岩	上部に円磨された白色軽石層(I層)の二次堆積物。泥岩主体で生物擾乱構造あり	80+				
		I層	I	細粒凝灰岩、軽石凝灰岩	白色軽石を多数混入。全体にガラス質。下部にミソを含む	5~50	地表に分布しない			
		II層	II	軽石凝灰岩	細粒均質層とミソゾーンが互層をなす。ミソ周辺に硬質ガラス質部あり	17~70	一部石材に利用	大谷 上部層	上部	
		III層	III	軽石凝灰岩	ミソ、軽石が小さく均質に入る	9~29	最上質な石材		下部	
		IV層	IV	軽石凝灰岩	ミソは中~大、基質は中~粗粒、2mm程度の岩片入る。10~20mmの軽石多い	9~70	石堀、舗道用一般の石材	大谷 中部層	上部	
		V層	上部	V up	軽石凝灰岩	岩片を多く混入。ミソは全体に硬質。弱い成層構造あり	40		石堀、舗道用一般の石材	中部
			下部	V lo	軽石凝灰岩、火山礫凝灰岩、凝灰質礫岩	2~5mm、稀に数mの岩片や岩塊が入る。無層理でミソゾーン少ない	30		石材としては不良	下部
		S2層	S2	泥岩、砂岩泥岩互層、砂質凝灰岩	タービダイト起源。砂岩は非常に硬質。泥岩に生物擾乱の生痕あり	70	二枚貝、巻貝、貝化石	砂岩泥岩互層		
		VI層	VI	砂質凝灰岩	火山ガラス、軽石、砂を含む。弱い層理あり	57	石材には不適	大谷下部層		
		S3層	S3	泥岩、泥岩・砂質凝灰岩互層	泥岩に生物擾乱の生痕あり。砂質凝灰岩は級化している。砂質凝灰岩が優勢	11	石材には不適			
		VII層	VII	砂質凝灰岩、溶結凝灰岩、凝灰質砂岩	緑色の扁平な軽石を多く含む。軽石は2~40mm。下部で葉理発達し級化を示す	21	一部は田下石等として採掘			
		S4層	S4	泥岩、泥岩・凝灰質砂岩互層	泥岩に生物擾乱の生痕あり。単層の厚さ5~10cm。平行・コンポリユート葉理	30	石材には不適			
		VIII層	VIII	溶結凝灰岩	火山ガラス5~40mm、軽石2~5mm、岩片1~2mmを含む。火山ガラスは暗緑色で扁平	6+				

注1) 凝灰岩、砂岩、泥岩のみ記載（貫入岩除く） 注2) ボーリングによって確認された調査地点における厚さ 注3) 大谷層として扱う文献もあり

表2 大谷層の岩相（ボーリングコア試料写真）



各地の残すべき

地形・地質

むかつく

向津具半島の地形と地質 (山口県)

1. はじめに

「向津具半島」は、山口県の北西部に位置し、「北長門海岸国定公園」の一部をなします。元は「向かつ国」=向こうの国と言われていました。向こうの国とは、中国の事を指すと言われていました。中国からの文化や情報が最初に入ってくる場所と言う意味でつけられました。もう一つの説は、中国は変わりませんが、この場所には世界三大美人の楊貴妃が辿り着いたと言う伝説からと言う説があります。今回は東部の油谷半島も含め、一括向津具半島とします。



図-1 向津具半島の位置図

2. 向津具半島の地形・地質

向津具半島は、日本海に突き出た半島です。半島は、東より矢ヶ浦山、千畳敷、雨乞岳、妙見山、道元山等の山々がほぼ東西に連なり、これら脊梁部は厚さ70～100mの後期中新世の天津玄武岩からなります。油谷湾層群川尻層などを覆って分布するこれら天津玄武岩は、キャップロックとして作用し、下位の川尻層などとの不整合面より天津玄武岩の厚さ分だけ急な山地を形成しています。これら天津玄武岩周辺に発達する緩斜面地から海岸へは、比較的急な崖を挟んで海域へと至ります。

一方、天津玄武岩が分布せず、関門層群下関亜

層群及び津黄安山岩等からなる半島東部は、その日本海海岸沿いでは、高さ200m以上に達するほどの海食崖が発達します。図-2に向津具半島の地質図を示します。

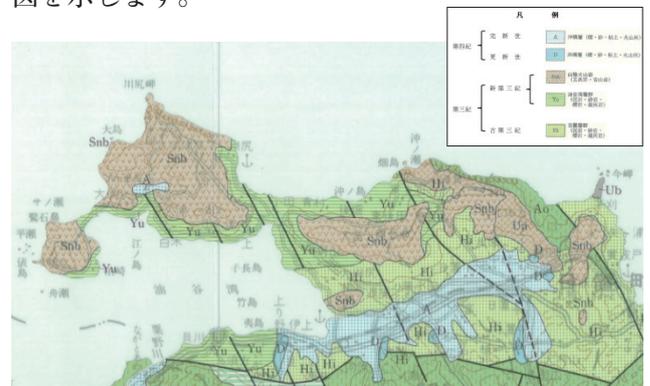


図-2 向津具半島の地質図

3. 向津具半島の地すべりについて

前述の様に、向津具半島の地形・地質的要因により、キャップロック構造による地すべりが多く発生しています。図-3に地すべり模式断面図を示します。

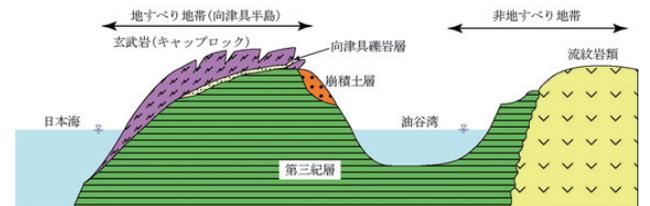


図-3 向津具半島の地すべり模式断面図

このため、向津具半島は地すべり地域として全国的に有名であり、昭和33年以降に国土交通省・農林水産省・林野庁がそれぞれ27箇所、22箇所、1箇所の地すべり防止区域を指定し所管しています。図-4に向津具半島の地すべり防止区域図を示すが、これらの総面積は20km²を越えており、同半島の1/3を占めていることとなります。



図-4 向津具半島の地すべり防止区域

4. 向津具半島の名所

向津具半島には、その独特な地形・地質によって、名所があります。図-5にその位置図を示すと共に、各箇所を紹介します。



図-5 向津具半島内名所位置図

①俵島

俵島は、半島の西端に位置し、向津具半島の地すべりに深い関わりをもつ玄武岩で構成される岩島で、玄武岩の生成上、柱状節理構造が発達しています(写真-1)。

②川尻岬

俵島の北側には、やはり玄武岩で構成される川尻岬があり、本州の最北西端です(写真-2)。地形的に「海食崖」が見事です。



写真-1 俵島



写真-2 川尻岬

③楊貴妃の里

楊貴妃の里は、久津地区の「二尊院」にあります。楊貴妃は、当地に西暦756年に流れ着いて、間もなく亡くなったとされています(写真-3)。楊貴妃の墓は、地すべりによって移動した玄武岩(分離小丘)の近辺に存在しています。

④東後畑棚田

棚田地形の形成は、地すべりによって斜面が繰返し断裂されてきた過程のものが多く含まれており、山口県下で最大面積の地すべり地帯をなしていま

す。平成12年に農林水産省により全国134箇所の「棚田百選」にも認定されています(写真-4)。



写真-3 楊貴妃の里



写真-4 東後畑棚田

⑤元乃隅稻成神社・竜宮の潮吹

昭和62年から10年間かけて奉納された123基の鳥居が、竜宮の潮吹側から100m以上にわたって並ぶ景色は圧巻です(写真-5)。古第三紀の噴出物である津黄安山岩で構成される竜宮の潮吹です(写真-6)。潮吹とは、打ち寄せる波が絶壁下海面近くの穴に突入し、奥の空洞に圧縮された空気が海水を激しく外に出そうとして、上方に海水を噴出させる噴潮現象のことで



写真-5 元乃隅稻成神社



写真-6 竜宮の潮吹

⑥千畳敷

新第三紀の噴出物である大津玄武岩で構成され、標高約330mの台地が形成されています(写真-7)。千畳敷より日本海を望んだ風景では、萩六島や見島が見渡せます(写真-8)。



写真-7 千畳敷



写真-8 日本海を望む

5. おわりに

山口県の日本海側は、日本海の荒々しい波に地形が浸食され、独特な風景を創り出しています。日本海側は、一帯が「北長門海岸国定公園」に指定されており、向津具半島もその一部です。向津具半島独特の地形は、その地質構造にも由来しており、日本の最も美しい場所にも選ばれていることから、是非一度、お立ち寄り下さい。

図-1:「長門土木建築事務所管内図」県土木建築部
図-2:「山口県地質図第3版」山口地学会(H24.12)
図-3:「向津具半島の地すべり模式断面図」山口地学会
図-4:「油谷地区の地すべり防止区域図」県農林水産部
図-5:「向津具半島名所図」長門観光に森岡加筆
写真-1~8:長門観光ナビ「ななび」より引用

[宇部興産コンサルタント株式会社 森岡 研三]

森林総合研究所における 環境観測研究について

だいまる ひろむ
大丸 裕武*

K

Key Word 森林水文, 流域試験, 酸性雨, 渓流水質, フラックス, 二酸化炭素吸収量,
温暖化, 雪氷観測, 雪崩, 雪氷防災

1. はじめに

近年、豪雨による土砂災害が起こるたびに山地の気象情報の重要性が指摘されるが、じつは日本の防災政策にとって山地の観測データの取得は古くて新しい問題である。近代的な治山治水政策が始まった明治期に、当時の政府はすでに山地の気象や小流域の流出データが治山治水の推進に不可欠であることを認識し、農商務省の所管として全国41カ所に森林測候所を設置した¹⁾。この森林測候所の業務が現在の森林総合研究所の環境観測研究のルーツとなっている。森林総合研究所では、このような古くからの観測業務の一部を研究業務の中で継承するとともに、観測研究の過程で得られたデータを公開してきた。そもそも林業自体が植林から伐採まで数十年のサイクルを繰り返す息の長い産業であり、ハゲ山に森林をよみがえらせる治山計画にも長期的な視点が必要である。もともと森林の研究には長期データの蓄積は不可欠であるが、温暖化による気候変化が危惧される中で、防災面においても山地の長期観測データの重要性は増している。以下では、森林総合研究所の観測研究のうち、地質分野に関連の深い山地環境のモニタリングに関する研究とデータの公開について紹介したい。

2. 主要な環境観測研究

2.1 森林理水試験地

森林理水試験地は前述した森林測候所（1936年に廃止）を引き継ぐものであり、全国5カ所（北海道定山溪、山形県釜淵、群馬県宝川、岡山県竜ノ口山、宮崎県去川）の流域試験地にコンクリー

ト製の量水堰堤を設置して流量観測を行っている（図1、図2、表1）。国内の大河川の水文データについては、国土交通省の水文水質データベースによって充実したデータが提供されているが、森林総合研究所の観測データは、植生の影響が表れやすい小流域の流出特性を研究する上で貴重なデータベースとなっている。森林理水試験では森林が流出に与える影響を検証するため、地形地質条件が類似した複数の小流域を試験地として設定し、その一部で伐採などの植生改変を行って比較する“対象流域法”による比較研究が行われることが多い。図3は、類似した2流域の一つに50%の間伐を行い、間伐前後の水流出（単位は流出量を流域面積で除した水高）を比較したものである²⁾。これによると、間伐を行った流域では間伐後2年間にわたって、間伐前と比べて流出量の明らかな増大が見られた。これは、間伐によって樹木からの蒸発散量が減少したためと考えられるが、不思議なのは伐採後3年目になると流量の増加ははっきりしない点である。このように樹木伐採の直後に現れる顕著な流出量の増大現象は、森林理水試験が始まった明治期の試験においても認められており非常に興味深い¹⁾。同様の流域試験は他の試験流域でも行われており、多雪地域の流域では伐採が融雪流出に与える影響を分析するなど、個々の流域の特性を生かした研究を行っている。

これらの理水試験地の流量データは森林総合研究所研究報告（旧林業試験場研究報告）に掲載されているほか、電子メールで登録申請することでデジタル化したデータベース（FWDB；表1）を利用できる。なお、図3で間伐の影響を分析した常陸大宮試験地は純粹に研究用の試験地であり

*国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 研究ディレクター

FWDB の収録対象となっていない。

2.2 森林域の降水溪流の水質

酸性雨の問題にみられるように、人間活動が降雨の水質に与える影響は古くから環境問題上の主要な研究テーマであった。近年では越境大気による窒素等の栄養塩類の負荷の増大やPM2.5等の県境や国境をまたぐ大気汚染による問題が浮上している。これらの解決には、広域にわたる大気・降雨・河川水を通じた物質移動プロセスを理解することが重要であり、多数の観測地点が連携したネットワーク観測による研究が重要となっている。森林総合研究所では、気候条件の異なる6か所の森林流域（定山溪：北海道札幌市，釜淵：山形県真室川町，桂：茨城県城里町，山城：京都府木津川市，鷹取：高知県梺原町，鹿北：熊本県山鹿市；表1）と1カ所の降水観測点（大滝：長野県大滝村）において、降雨と渓流水の水質のモニタリングを行っている（図4）。計測項目は、各モニタリングサイトにおける降水（林外雨，林内雨，樹幹流）および渓流水中のpH，EC，Na，K，Ca，Mg，NH₄，Cl，NO₃，PO₄，SO₄イオン濃度で、成分毎の起源や動態について分析している（大滝試験地は林外雨のみを計測）。

森林には人間活動で汚染された降雨に対する一定の浄化機能を持つことが知られているが、そのメカニズムには不明の点が多い。森林総合研究所の水質モニタリングでは森林土壌の持つ浄化作用解明の基礎データを取得することが重要な目的となっており、物質ごとに動態を詳しく調べる必要があるため、近年では地下水や土壌水の分析も行っている。図5は九州の鹿北試験地における渓流水のケイ酸塩濃度の時間変化を示したものである⁴⁾。渓流水中のケイ酸塩濃度は、基盤岩から湧出する地下水の変動傾向と同調しており、窒素やリンなどとは異なり渓流水中のケイ酸塩の多くが基盤岩の溶出でもたらされていることを示唆している。観測結果は森林総合研究所研究報告を通じて出版されているほか、メールで申請することで森林降水水質データベース（FASC-DB）のデジタルデータの利用が可能となる（表1）。

2.3 フラックス観測ネットワークデータベース (FFPRI Flux Net Database)

1997年の京都におけるCOP3以降、森林による二酸化炭素の吸収が地球温暖化の緩和策として注目されるようになった。しかし、森林の二酸化炭素吸収量やプロセスは極めて多様であり、これを



図1 森林総合研究所の主要な環境観測地点の位置



図2 宝川森林理水試験地の領水堰堤（森林総合研究所 HP）

吸収量に算入するには科学的な実証データの整備が不可欠である。森林総合研究所では、全国各地にCO₂フラックスを計測するためのタワー（図6）を設置し、渦相関法によって大気からの二酸化炭素吸収量と、それに関連する気温や日射量などの微気象要素について30分データを収録している。図7は森林総研のタワーサイトにおける年間のCO₂吸収量のパターンを比較したもので、森林のタイプや気候によって吸収量や吸収期間が大きく異なることを示している³⁾。このような、フラック

表1 環境観測項目とデータベース

名称(図1の名称)	観測点	データベース名称	備考	参照サイト
森林理水試験地データベース(理水)	5流域(北海道定山溪、山形県釜淵、群馬県宝川、岡山県竜ノ口山、宮崎県去川)	FWDB	電子メールで利用申請必要	http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/fwdb/guide/for_users.htm
森林降水渓流水質データベース(水質)	5流域(定山溪:北海道札幌市、釜淵:山形県真室川町、桂:茨城県城里町、山城:京都府木津川市、鷹取:高知県梺原町、鹿北:熊本県山鹿市)及び1地点(長野県大滝村)	FASC-DB	電子メールで利用申請必要	http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/fasc/0outline.html
森林総合研究所フラックス観測ネットワーク(CO ₂)	札幌:北海道札幌市、安比:岩手県八幡平市、川越:埼玉県川越市、富士吉田:山梨県富士吉田市、山城:京都府木津川市、鹿北:熊本県山鹿市)	FluxNet	利用条件に同意してアクセス可	http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/flux/data_j.html
十日町試験地における降積雪・気象データ(降積雪)	新潟県十日町市		冬季気象データ、積雪断面データを公開	http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/tkmc/

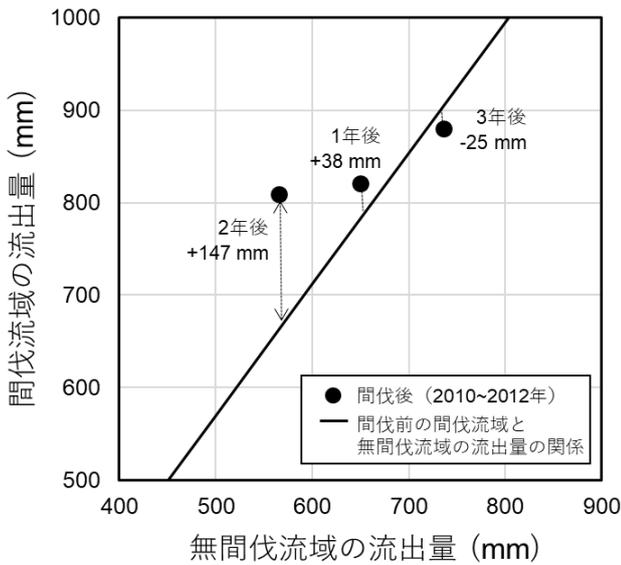


図3 常陸太田試験地における間伐による流出量の変化²⁾
(森林総合研究所 HP)

実線は間伐前の間伐流域と無間伐流域の流出量から求めた関係で間伐後の間伐流域の流出量(黒丸(●))と実線との差が間伐による流出量の増加量を示す。

スタワーのネットワークは現在では世界各地で構築されているが、当研究所が観測に着手した1990年代の段階では、観測地点の多くは北米と欧州に立地が集中しており、森林総研のネットワークは希少なアジア域の森林サイトとして注目され、アジア地域におけるフラックス観測の拡大においても先導的な役割を果たした。観測結果は森林総合



図4 水質観測点における降雨・渓流水の採取(左)と樹幹流の採取(右)(森林総合研究所 HP)

研究所のFFNETDBで公開されており、利用条件への同意を条件に世界各地の研究者によって利用されている(表1)。

2.4 十日町試験地における降積雪・気象データ

十日町試験地の前身は、1917年に設立された森林測候所十日町試験地にまでさかのぼり、現存し

ている森林測候所の系譜を引いた試験地の中では職員が常駐する試験地としては唯一の試験地である(図8)。近年では防災科学技術研究所の積雪観測点が山岳域に拡大するなど、積雪に関する気象データは充実しつつあるが、温暖化のような長期的な気候の変化を議論するうえで、十日町試験地のような百年以上に及ぶ古い観測点のデータは重要な意味を持つ。研究以外にも、十日町試験地の観測データは屋根の雪おろしのために地元住民に提供されるなど、地域にとっても不可欠な存在となっている。また、定常的な観測データだけでなく、構内の露場や実験斜面で得られた積雪移動圧に関する実験データ(図9)は、雪崩防止施設や雪食防止工の基礎データとして活用されている。

3. 今後の課題

森林測候所の時代とは異なり、現在の森林総合研究所には観測を専任とする職員はいないため現在のデータ公開は、あくまで研究の過程で得られたデータの再利用を通じて社会に貢献することを目的としている。研究予算が縮小する中で、このような地道な観測の維持は年々難しくなっているが、IoT技術などを活用しながら効率的に観測を継続する方法を模索し続けている。近年の自然災害の頻発にみられるように温暖化の顕在化が危惧される中で、長期観測データの重要性は今後ますます高まることが予想される。このような観測研究にはデータの解釈を後の世代に委ねる利他的な側面があり、個人の業績評価が重視される研究者集団において長期観測研究を維持するには、科学研究を支える長期観測の継続そ

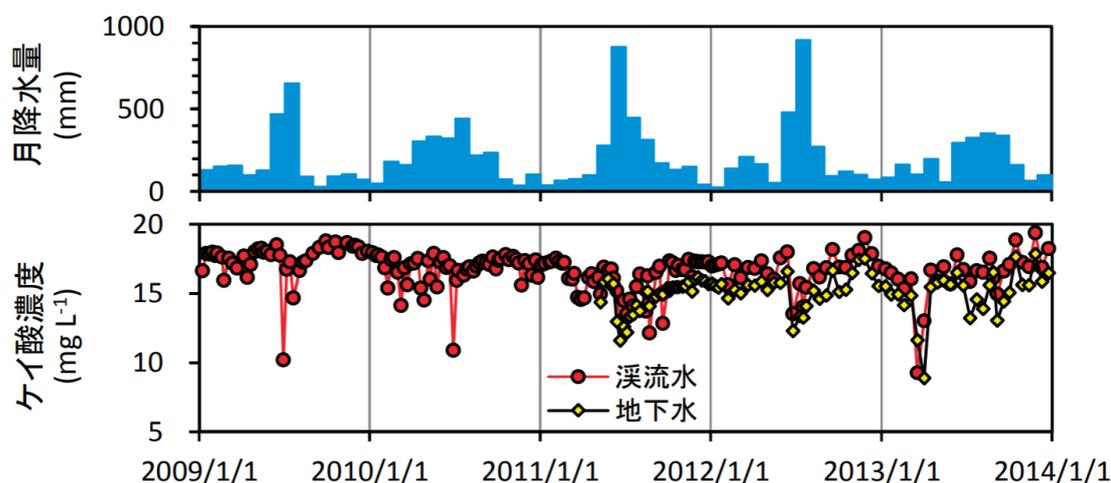


図5 九州の鹿北試験地における降水量分布(上)と地下水及び渓流水のケイ酸濃度の季節変動(下)⁴⁾



図6 CO₂フラックス計測のための観測タワー(森林総合研究所HP)

のものに大きな価値があることを研究者が自覚するとともに、周囲のコミュニティがそれに正当な評価を与える価値観の醸成も重要であると考えている。AIによるビッグデータの解析が脚光を浴びる時代に重要となるのは、データの量と質であり、それを支えるのは現場の技術者や研究者の使命感であることを忘れてはなるまい。

〈参考文献〉

- 1) 遠藤泰造 (2006) 森林測候所 (I) - その開設と廃止の小史 - 水利科学, 50 (5), 70-97.
- 2) 久保田多余子・坪山良夫・延廣竜彦 (2017) 常陸太田試験地内の源頭部小流域における間伐が樹冠遮断量, 蒸発散量および流出量に与える影響. 森林総合研究所研究報告 17 (1) ,61-71.
- 3) 溝口康子・山野井克己・大谷義一・森林総合研究所フラックス観測ネットワーク (2010) タワーフラックス観測によるフラックス・気象データの公開. 森林総合研究所平成 22 年版研究成果選集, 56-57.
- 4) 釣田竜也・大貫靖浩・壁谷直記 (2016) 渓流水のケイ酸濃度が季節によって変わる仕組み. 森林総合研究所平成 28 年版研究成果選集, 46-47.

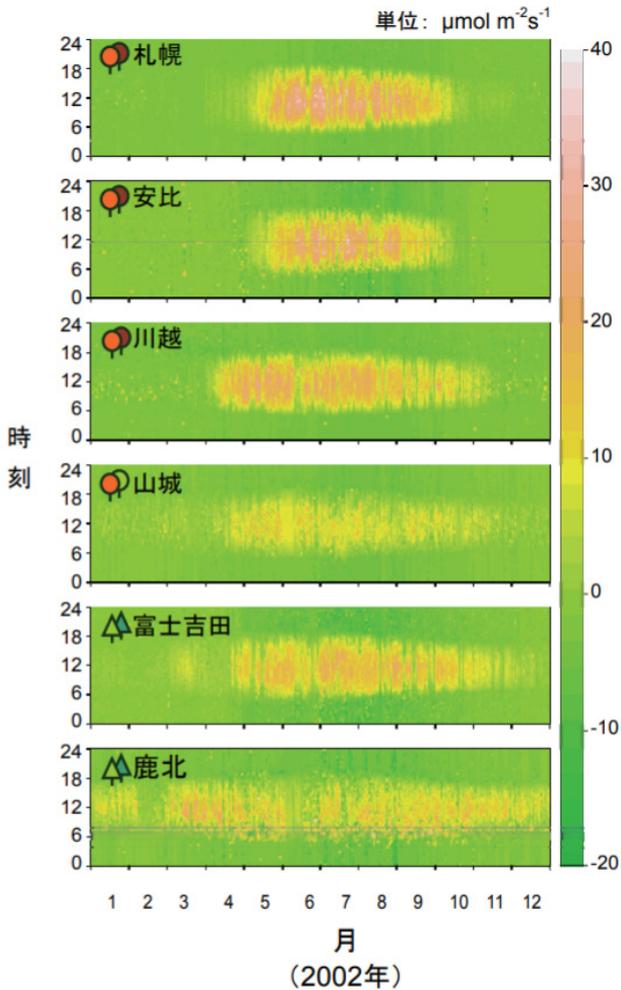


図7 各タワーサイトにおける CO₂ 吸収量の季節変化³⁾
 森林の二酸化炭素吸収量の日変化(縦軸)と季節変化(横軸)を示す。オレンジ色が濃いほど吸収量が多く、オレンジ色の期間が長いほど二酸化炭素の吸収期間が長いことを示す。川越サイトは現在では廃止されている。試験地名の左側のマークは植生タイプを示し、札幌、安比、川越は落葉広葉樹林、山城は落葉広葉樹と常緑広葉樹の混交林、富士吉田と鹿北は常緑針葉樹林からなる。



図8 100年以上にわたり多雪地の降積雪の観測を続けている十日町試験地の庁舎(森林総合研究所 HP)



図9 十日町試験地において積雪降力の観察のために作成された積雪断面(森林総合研究所十日町試験地 HP) 観察のために積雪断面を青色のインクで着色している。

長崎県西彼杵郡長与町における 小規模建築物の地質調査

よしたに たけし*
葭谷 武司*

K
ey Word

小規模建築物, マグマ溜り, まさ土, 赤土, 表層崩壊,
スウェーデン式サウンディング

はじめに

長崎県西彼杵郡長与町は、旧長崎市の北部に位置する。人口はおよそ 42,000 人¹⁾ を有する。町全体が緑に覆われる中、新しい住宅地が目につき旧長崎市のベッドタウンとなっている。ところで同町は、1982 年長崎大水害時に 1 時間 187mm の降水量²⁾ を記録している。記憶に新しい 2018 年 7 月豪雨での 1 時間雨量がおよそ 100mm からすると 2 倍近い降水量である。長崎大水害により長与町に発生した土砂災害を示したのが図 1 である。高田川周辺と調査地の東を南流する小河川沿いに、土砂災害を記録しているが、本調査地では地盤はしっかりしている。このような優れた住環境のもと長与町では、土地区画整理事業を行っている（受託者長崎県）。同事業は、ミニ開発による無秩序な市街化の拡大を防ぎ、公共施設の整備改善による土地利用の有効化を進め、優良な住宅地を造成し、町人口の増加と計画的な町づくりを行うことを目的としている。
(<https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/machidukuri/toshikeikaku-kokudoriyo/koudaminami/>)。

本書は、当社が長崎県から受注した地質調査業務（切土部）を紹介したものである。

1 地形地質概要

調査地は、浦上水源地上流 300 m に位置する北西－南東に長い尾根部周辺である。尾根の標高は 100～110 m をなし比較的なだらかな丘となっている。調査地の地質は、古第三紀長与層群と長崎市一帯に広く分布する長崎火山岩類である。長崎火山岩類は、閃緑岩と変質安山岩からなる。花崗岩の多くは、浸

食によって地上に現れたマグマ溜りである（火山噴火、BLUE BACKSp.87）。旧長崎市一帯は、この閃緑岩を取り囲むように火山岩類が分布している。閃緑岩を花崗岩とほぼ同じものとすれば、長崎火山岩類のマグマ溜りの可能性がある。マグマ溜りで、マグマが冷却するとマグマと接触した地下水は熱水になる。この熱水によって角閃石安山岩が、プロピライト化したものが変質安山岩である。長与層群泥岩の一部は閃緑岩の熱によってホルンフェルス化している。

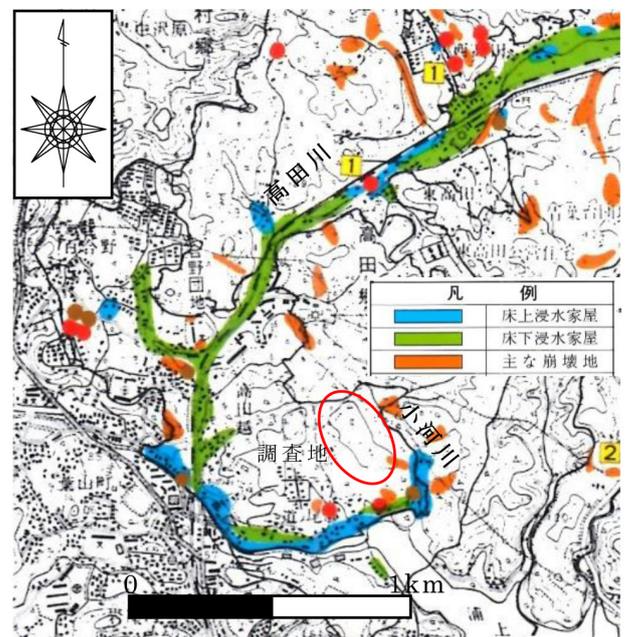


図 1 調査位置と崩壊地³⁾ (参考文献 3) に加筆

*株式会社親和テクノ技術部 調査設計課 主幹技師

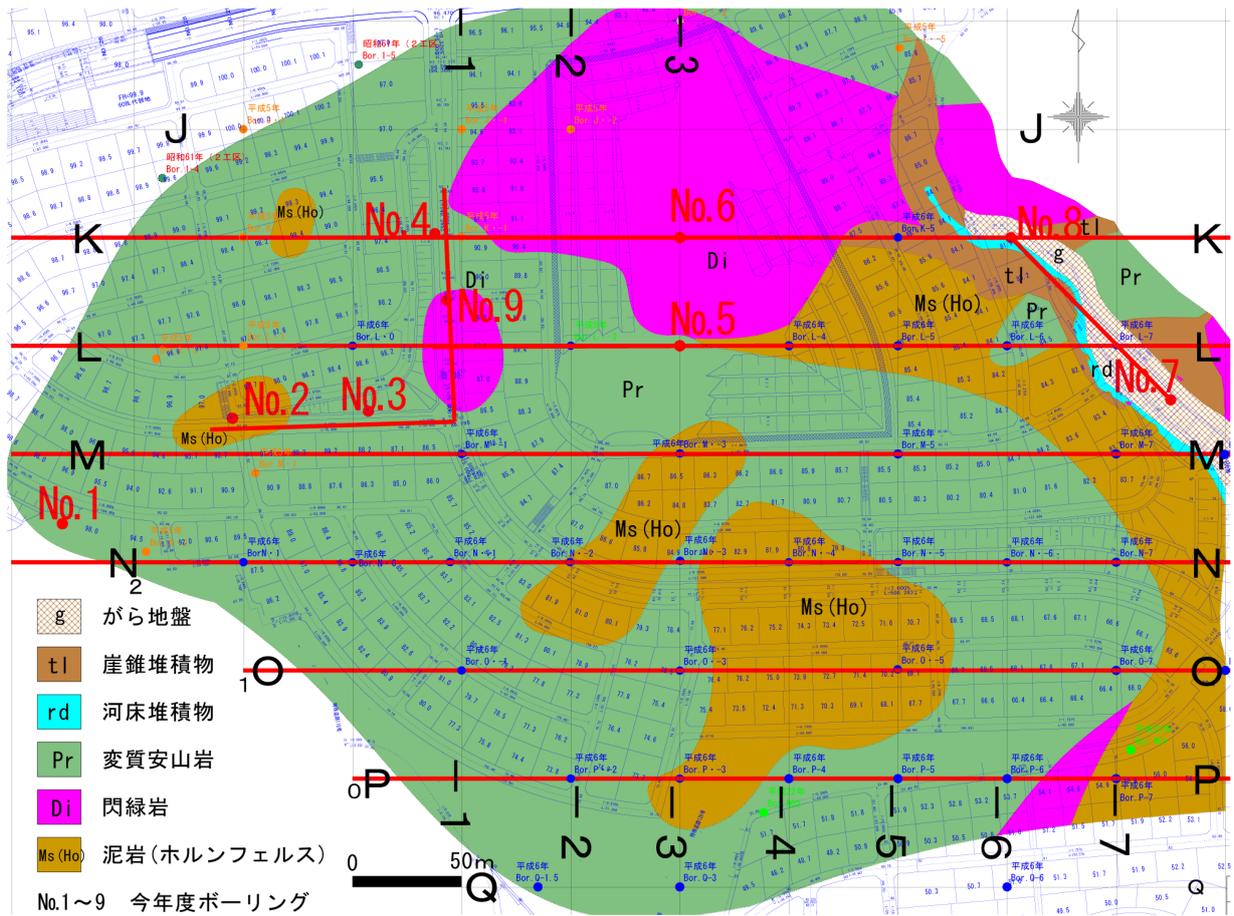


図2 調査位置地質平面図

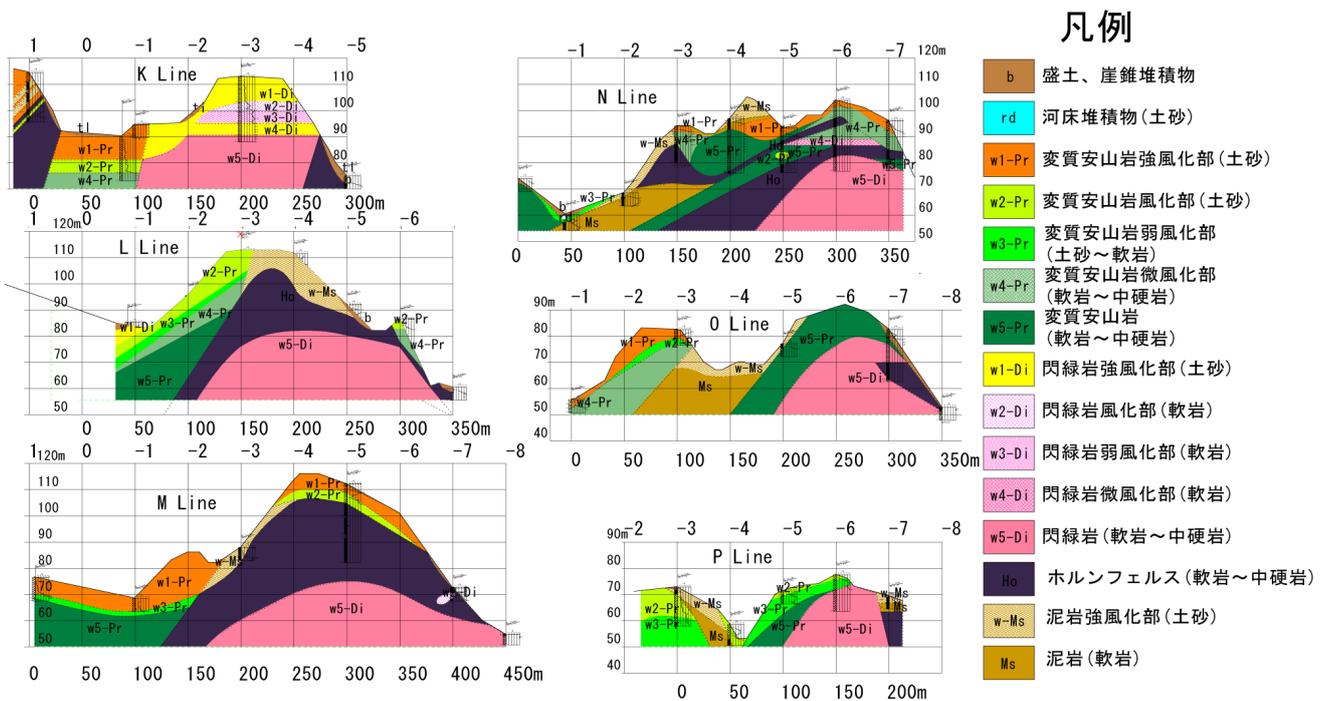


図3 地質横断面図（閃緑岩岩体の中心がグリッドの右・南東に移動している）

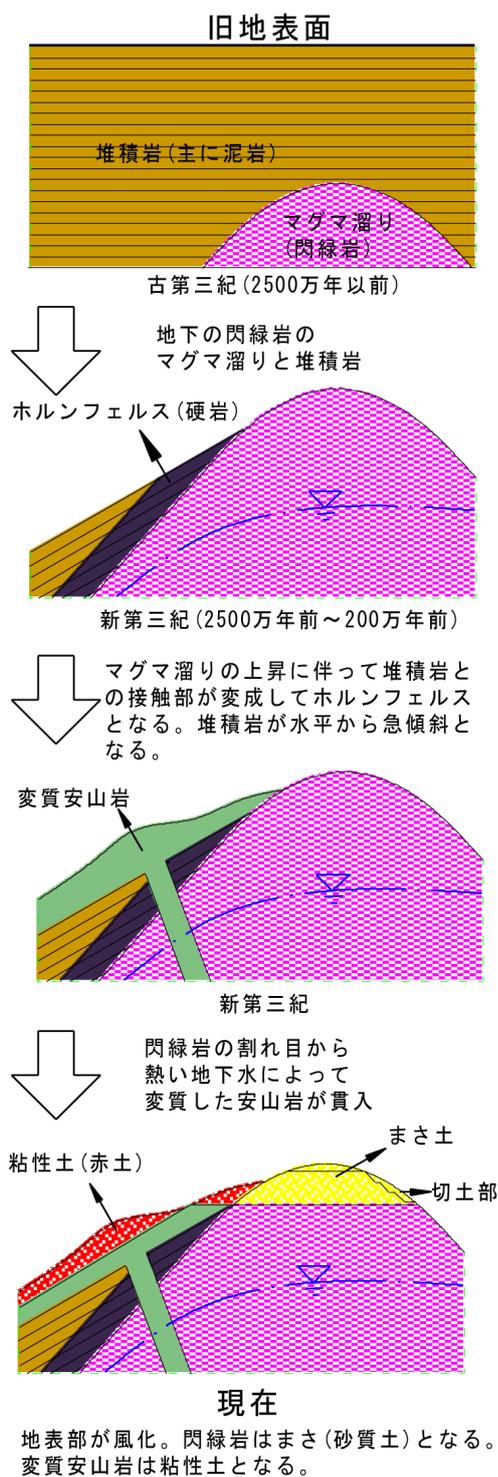


図4 基盤岩の成立

2 地質構造

基盤地質は、閃緑岩、変質安山岩および泥質ホルンフェルスである。K・-3(図2)を中心に南北150m東西200mに渡って閃緑岩が露出し、周辺にホルンフェルスと変質安山岩が分布する。地表で、楕円状に露出する閃緑岩岩体は地下では、南東部に向いている(図3閃緑岩岩体の中心がK断面では-3、L断面では-4、M断面では-5)。閃緑岩岩

体は、北西-南東方向の尾根を形成している(図1)。さらに、この尾根は閃緑岩(マグマ溜り)が上昇してつくられたものであることもわかる(図4)。



写真1 Q・-3～Q・-7の切土面
下に閃緑岩(白)その上部にホルンフェルス(黒)

3 まさ土と赤土

図2のJ・-2～L・-2の南北に延びる切土面には、風化した閃緑岩と変質安山岩が露出する(写真2)。造岩鉱物の違いで同じ強風化部であっても閃緑岩は、白っぽく(石英と長石の色)変質安山岩は、鉄分が酸化して赤っぽくなっている(写真3)。



写真2 切土面(左がまさ土、右が赤土)



新鮮な閃緑岩
等粒状
風化すると



(変質)安山岩(粒が大きいのが斑晶、それ以外の黒い部分が石基)
風化すると



閃緑岩強風化部



変質安山岩強風化部
ガラス質の石基が粘土化する

写真3 閃緑岩と変質安山岩の風化

3-1 粒度と土粒子の密度

ボーリングコアを使って、まさ土と赤土について粒度試験と土粒子の密度試験を実施した（図5）。まさ土は赤土と比較して若干砂分が多い。それよりより大きな差異は、土粒子の密度である。土粒子の密度は赤土が2.750、まさ土が2.700となった。閃緑岩は密度が小さいがゆえに地下深部から上昇したものであり、変質安山岩には重鉱物が多く含まれる。土粒子の密度は、源岩の性質を表したものである。

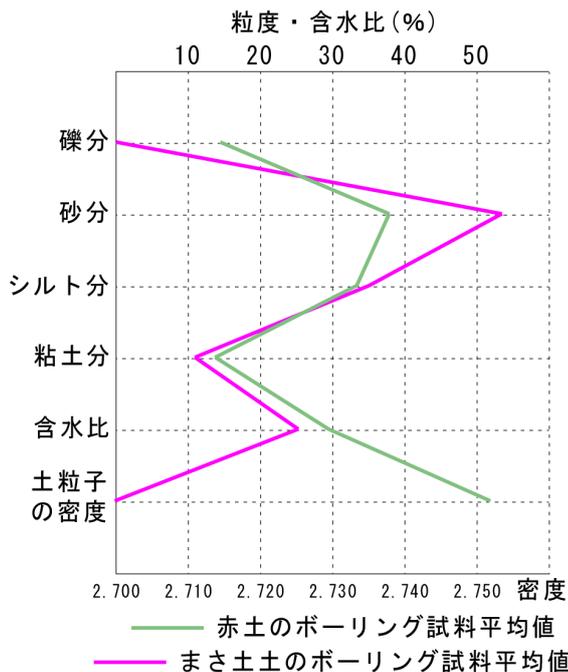


図5 土質試験結果の平均値

3-2 突固め試験（盛土材への流用）

切土をすると土がでる。切土材を盛土材に流用した場合、それが可能かどうかを調べる目的で突固め試験を実施した。

・試験方法

本試験は、盛土の施工管理基準となる乾燥密度及び最適含水比を求めることを目的としている。本試験は、A～Eの5種類の突固め方法とa～cの3種類の試料の準備方法と使用方法からなる（表1、2）。

表1 試験方法の種類

呼び名	ランマー質量(kg)	ランマー落下高(cm)	モールド内径(cm)	モールド容積(cm ³)	突固め層数	各層の突固め回数	許容最大粒径(mm)
A	2.5	30	10	1000	3	25	19
B	2.5	30	15	2209	3	55	37.5
C	4.5	45	10	1000	5	25	19
D	4.5	45	15	2209	5	55	19
E	4.5	45	15	2209	5	92	37.5

表2 試料の準備と使用方法

組合せの呼び名	試料の準備—使用方法
a	乾燥法—繰返し法
b	乾燥法—非繰返し法
c	湿潤法—非繰返し法

・試料の準備方法

試料の準備における含水比調整は、試料を乾燥させた場合、①締固め試験結果に影響する土には湿潤法を、それ以外の土には乾燥法を適用する。

・試料の使用方法

②突固めによって土粒子が破碎しやすい土、加水後に水となじむのに時間を要する土には非繰返し法を、それ以外の土には繰返し法を適用する。以上 JIS A1210 : 2009

A, B 試料ともに上記①②が懸念されるため、湿潤—非繰返し法とした。さらに目立った大礫がないことから試験方法の種類は A とした。今回の突固め試験は A-c 法で実施した。



A試料(まさ土)

B試料(赤土)

写真4 突固め試験試料

・試験結果

試験結果を以下に示す。

表3 突固め試験結果

試料	自然含水比(%)	最適含水比(%)	最大乾燥密度	均等係数
A	29.3	26.3	1.404	22
B	28.5	26.1	1.470	28

・判定

切土材を宅地の盛土材に流用した場合、要求される性能として以下の二つが必要となる⁴⁾。

①安定した支持力

②体積変化しない変形特性

安定した支持力を確保するには、粒度分布がよく締固めやすい材料が適している。粒度分布の良し悪しを示す指標に均等係数がある。均等係数とは「粒径加積曲線において、質量通過百分率が10%の点の粒径D10と同じく60%の粒径D60との比である」。均等係数が1に近いほど粒径がそろっており（粒度分布が悪い）、10より大きくなると粒度分布が良い

とされている。今回試験対象とした土の均等係数は全て10を上回る。A, Bどちらも締固めやすい粒度分布である。したがって①の条件はクリアしている。

次に②の条件である。土のほとんどは、体積変化しない。逆に体積変化しやすい土で無ければ②をクリアする。体積変化する代表的な土が泥岩である。泥岩起源の土はスレーキング（乾燥、吸水を繰り返すことにより、細かくばらばらに崩壊する現象）しやすい土である。今回の土は、変質安山岩と閃緑岩である。泥岩のような性質は、有しないので体積変化はほぼない。したがって盛土材として使用可能と考える。ただし、本調査地では泥岩が分布しており、その泥岩は使用しないことが賢明である。さらに変質安山岩の中には、強く変質し温泉余土化したものがある。ボーリングではこのような変質安山岩は確認されていないが、掘削により出現した場合は泥岩同様、盛土材としては使用すべきではない。

表4 均等係数の工学的な意味

	クイックサンド	斜面	締固め
$U_c < 5$	おこしやすい	不安定	不良
$5 < U_c < 10$	ややおこしやすい	やや不安定	やや不良
$10 < U_c$	おこしにくい	安定	良

土質調査の基礎知識（鹿島出版会）



写真5 強変質した変質安山岩 (No.1 孔付近)

3-3 崩壊

(1) まさ土

花崗岩は、風化が始まると特定の元素が溶脱し構成鉱物が粘土鉱物に置換されて、岩石の強度が低下する。このような化学的な風化作用が働き花崗岩はまさ土となる。まさ土は浸透水により細粒分が流失し空隙率が増大する。その結果、ゆるみが大きくなり崩壊が助長されることになる。通常まさ土の崩壊深度は、50cm前後で1mを超えることはないと言われる。まさ土は、基本的に水平構造であるため斜面

とは斜交する。その一方で表層の強風化部は斜面と平行をなす。これが自然斜面において風化が、進んだ表層部が崩壊する理由である（以上、応用地質学会、斜面地質学 1999, p.33）。

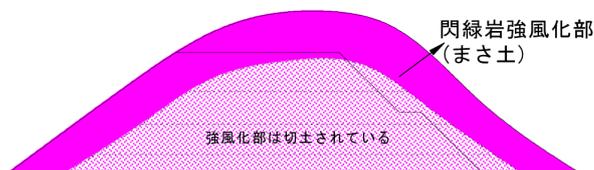


図6 まさ土の風化構造

現切土のり面は、表層の強風化部を切り取っているため特に強風化した部分は見当たらない。したがって、花崗岩特有の表層崩壊は起こりにくいと考えられる（図6）。また、切土部で実施したボーリング No.5, 6は地表から22~25m掘進したものの、水位が皆無であった。降雨があってもすぐに地下浸透するのであろう。そのため強風化部に水が滞留しないので、崩壊が発生しにくいものと考えられる。しかしながら、切土のり面は時間の経過とともにガリー浸食を伴う風化劣化が進行するので、そこから崩壊が、発生する可能性は十分に考えられる。



写真6 まさ土のガリー浸食

(2) 赤土

切土面向かって、右側の赤土の斜面が後ろに後退している（写真2）。豪雨時の崩壊跡地の可能性がある。まさ土と異なり透水性が小さいので地下浸透がなされなかった結果と考える。

3-4 透水性

まさ土はおよそ半分が砂（図5）である。まさ土と赤土とでは、まさ土の透水性が良好であると推定した。それを現地を確認してみることにした。それは、降雨後の地盤を直接観察して見ることである。

その結果が写真7である。想定した調査位置地質平面図どおりに、まさ土（閃緑岩）と赤土（変質安山岩）が分布し、それらの透水性の違いも表している。



写真7 降雨直後（図2J・-2付近）
赤土に水たまり

3-5 期許容応力度

宅地面の長期許容応力度を把握するため、ボーリング No.4 地点においてスウェーデン式サウンディングを実施した。結果を図7に示す。



写真8 スウェーデン式サウンディング

表5 長期許容地耐力 (qa)

地盤	長期許容地耐力 ^{※4} (t/m ²)	備考	
		N値	Nsw値
土丹盤	30	30以上	
礫層	密実なもの	60	50以上
	密実でないもの	30	30以上
砂質地盤	密実なもの	30	400以上
	中位	20	250~400
		10	125~250
	ゆるい ^{※1}	5	50~125
	非常にゆるい ^{※1}	3以下	50以下
粘土質地盤	非常に硬い	20	250以上
	硬い	10	100~250
	中位	5	40~100
	軟らかい ^{※2}	3	0~40
	非常に軟らかい ^{※2}	2以下	2以下
	Wsw100以下		
関東ローム	硬い	15	50以上
	やや硬い	10	0~50
	軟らかい	5以下	3以下
			Wsw100以下

※1液状化の検討を要す
 ※2過大な沈下に注意を要す
 ※3二次堆積では長期許容地耐力2t/m²以下のこともある
 ※4短期許容地耐力は長期の1.5~2.0倍をとることができる
 日本建築学会・小規模建築物基礎設計の手引きp.36

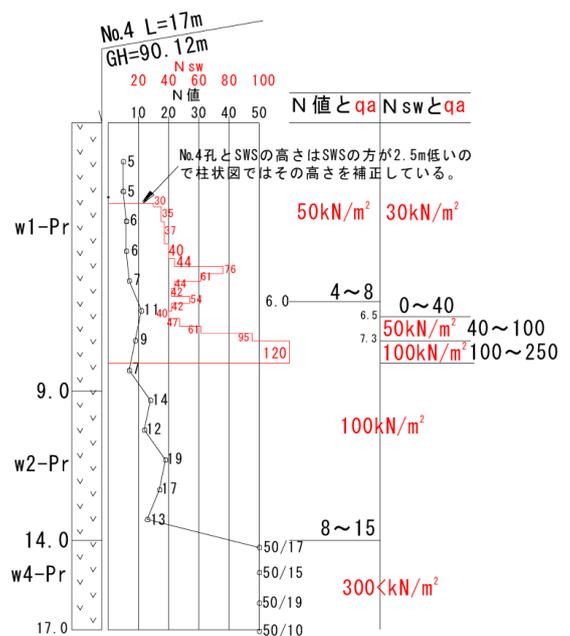


図7 No.4孔のN値とNsw

が実施されている。それらを取りまとめた成果が図3である。ところで図3を作成するにあたり、過去の柱状図を使ったところ地質が繋がらなかった。そこで今回実施したコアと比較しながら見直しを行った。全体的な地質構造を念頭に、以下の仮説をたてて断面図を作成した。①尾根を形成したのは閃緑岩の上昇によるもの②閃緑岩に接する硬質岩はホルンフェルス③赤土は変質安山岩。私は過去の柱状図に疑問があった場合、見直すことにしている。コアが保管されていれば、保管場所に向いて確認を行う（これは私が社会人成り立ての頃、当時の上司に指導して頂いた方法）。過去の柱状図をそのまま使用するのは楽である。しかしながら、そうした成果は果たして、顧客の満足が得られるだろうか。真の地質構造を表現するのが地質調査業である。それまでの流れを変えるは大変であるが、長い目で見れば自ずとよい結果となる。

最後に、本誌をまとめるにあたり、長崎県長崎振興局長与都市開発事業所の皆様には親しくご指導頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 長与町ホームページ: <http://webtown.nagayo.jp/> (確認日: 2018年9月26日)
- 2) 長与町防災会議: 長与町地域防災計画 資料編, 平成30年6月
http://webtown.nagayo.jp/kurashi/anshinanzen/bousai/pdf/bousaikaikaku_shiryu.pdf (確認日: 2018年9月26日)
- 3) 長与町総務部企画調整課: 7・23長崎大水害復興誌, 1985
- 4) 藤井衛他: 「住宅地盤がわかる本 安全な地盤の基礎・設計の考え方」, オーム社, 2014

おわりに

本地区では、これまでに50本程度のボーリング

全地連「技術フォーラム2018」について

第29回技術フォーラムが、9月6日(木)～7日(金)の2日間、高松市で開催された(行事の具体的な内容は、表1参照)。

今回のフォーラムでは、「地質調査業の新たな役割ー地質技術顧問としてー」をメインテーマに、地元「四国地質調査業協会」の全面的な協力と国土交通省四国地方整備局、香川県、高松市の後援および国立研究開発法人土木研究所、日本情報地質学会、NPO地質情報整備活用機構、地質リスク学会に協賛いただいた。

初日の特別講演会は、長谷川 修一氏(香川大学創造工学部教授・学部長)に「愛される地質技術者をめざして」というテーマでご講演いただいた。

技術発表会には、若手技術者を中心に全国から166編(表2参照)の発表があり、活発な質疑が行われた。

なお、今回の優秀技術発表者賞には、各セッションから選抜された24名が受賞された(表3参照)。

2日間の総入場者数は、約600名となった。

平成31年度の技術フォーラムは、中国地区(岡山市)で開催する予定である。

表1 行事内容

エリア1 → 入場無料

第1日目 9月6日(木) [受付開始] 9:00～ [開場] 9:30～

会場：タワー棟6F [国際会議場]	
開会式 10:00～10:30	開会挨拶 (一社)全国地質調査業協会連合会 会長 成田 賢 来賓挨拶
特別講演会 10:30～12:00	「愛される地質技術者をめざして」 講師：長谷川 修一氏 香川大学創造工学部教授・学部長

同時開催展示会(フォーラム会場内で開催されます。)

展示会(入場無料) 第1日目 9月6日 12:00～17:00
ホール棟1階 市民ギャラリー 第2日目 9月7日 9:00～15:00

▼ 出展者一覧

出展者名	展示内容
システム関連コーナー	
株式会社北陸	ウェブモニタリングシステム、ソーラー式無線警報システム、パイプひずみ計、孔内傾斜計用アルミガイドパイプ
中央開発株式会社	K ² System (ケースリーシステム：減災支援サービス)
応用地質株式会社	Boring Cloud (地盤情報データベースシステム)、Report Map (日本全国の地盤情報と地理情報を集約したWEB-GIS)、Report SS.NET ADVANCE (住宅地盤調査報告書作成システム)、Report PAD (現場野帳入力システム)
調査・探査機器関連コーナー	
応用地質株式会社	Geo-CRW (三次元地質解析システム)、OCTAS (地盤リスク情報ビュー)、Hi-OPV プローブ(孔内展開画像カメラシステム)、McSEB-AT (微動探査機器)
応用計測サービス株式会社	多目的透水試験装置、AUTOLLT3・AUTO エラスト (自動孔内載荷試験装置)
株式会社ジオファイブ	TFT(トンネルフェーステスター)、コロージョンドクター、3次元地中レーダー (3d Radar)
アース・スキャンニング研究会	BIP システム (ボーリング孔壁撮影システム)
株式会社高知地質調査	FIAX 3D ボーリング工法、小法師定方位ボーリング工法
株式会社藤井基礎設計事務所・有限会社シンク・フジイ	土石流警報システム、勘太「かんだ」(標準購入試験自動記録装置)、土木模型実験装置
明治コンサルタント株式会社	Dr.Clip (パイプ傾斜計)
リーブルジャパン株式会社	VZ-400i (地上型3Dレーザースキャナー)、VUX-LUAV (UAVレーザースキャニングシステム)
株式会社ワイビーエム	CRS-12-2 (全自動 動的コーン貫入試験機)、土壌試料採取器 ハイパー土壌すくい、パイロドリル ECO シリーズ
新マーケット創出・提案型事業コーナー	
3次元地盤解析技術コンソーシアム	コンソーシアムの活動内容と成果の紹介
路面下空洞探査車の探査技術・解析の品質確保コンソーシアム	路面下空洞調査の技術紹介
その他関連技術コーナー	
東昇商事株式会社	瞬間吸水材 セルドロン
東北ボーリング株式会社	スマート洗浄 (マイクロナノバブルによる地下水観測孔洗浄方法)
株式会社扶桑工業	標準購入試験用新型ガイドロッド SWT、安全デッキ
産総研 地質調査総合センター	できます！ボーリングコア試料の3次元解析、年代測定
ジオラボネットワーク	ジオ・ラボネットワーク (土質試験協同組合のネットワーク) の紹介

エリア2 → 有料

第1日目 9月6日(木)

会場：ホール棟 1階・5階 5会場(9セッション 59編)	
技術発表会 13:00～17:30	室内試験I・II、自然災害、空間計測技術、物理探査・検層I・II 現場技術I、アウトリーチ、オペレーターセッション

会場：ホール棟 5階 [第2小ホール(発表会D会場)]	
テーマ「地質リスクマネジメント」	
講演1 14:45～15:30	「横浜市のかけ地総合対策(まとめ)」 講師：清野 修氏 横浜市建築局宅地審査課 齊藤 匠氏 横浜市建築局建築防災課
特別セッション 14:45～17:30	講演2 15:30～16:15 「地質の不均質性とリスク-過去の経験、今の動向」 講師：佐々木 靖人氏 国立研究開発法人土木研究所 地質研究監
	講演3 16:25～17:25 「地質リスクマネジメントと地質技術者の生きがい」 講師：渡邊 法美氏 地質リスク学会 会長/高知工科大学 教授

会場：JRホテルクレメント高松 3F 「飛天」の間

技術者交流懇親会 [受付開始] 17:30～ [懇親会] 18:00～20:00

第2日目 9月7日(金)

会場：ホール棟 1階・5階 5会場(15セッション 108編)	
技術発表会 8:45～16:00	メンテナンス、堤防/堤体、地域地盤特性、斜面調査I・II・III ケーススタディ、環境調査、地下水調査、現場技術II・III、 原位置試験、サウンディング、トンネル調査、評価・解析

特別展示コーナー	
四国地質調査業協会	協会活動紹介
一般財団法人国土地盤情報センター	地質情報の収集と活用について
書籍販売コーナー	
樹古今書院	書籍販売

表2 全地連「技術フォーラム2018」高松 技術発表内容一覧

セッション/発表時間	論文No.	発表者氏名	所属機関名	地区	題目
A-1 室内試験Ⅰ 9月6日 13:00~14:30 展示場 1/2	1	藤村 亮	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	粒度(沈降分析)試験の測定方法の検討
	2	竹内 啓介	中部土質試験協同組合	中部	作製時含水比と乾燥密度の違いが透水試験結果に及ぼす影響
	3	三好 功季	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	礫分粒度調整の違いが三軸試験結果に与える影響
	4	大和田 明穂	北海道土質試験協同組合	北海道	骨材のアルカリシリカ反応性試験(化学法)における試料調製の影響について
	5	大堀 亮	青葉工業株式会社	四国	マサ土系砂質土材料の試料準備方法の違いによる締固特性の相違
	6	菅 秀哉	株式会社ナイバ	四国	PS灰の物理的・力学的特性について
A-2 室内試験Ⅱ 9月6日 14:45~17:30 展示場 1/2	7	寺井 詩織	株式会社増田地質工業	四国	建設発生土における単位体積重量と固化材添加量の関係について
	8	瀬川 一雄	新栄地研株式会社	九州	地盤改良(固結工法)における現場と室内の強度比について
	9	栗林 正樹	川崎地質株式会社	北陸	発現強度が極めて小さい砂質土への対応事例
	10	渡邊 征司	上山試験工業株式会社	北海道	泥炭の物性値が安定処理土の一軸圧縮強さに及ぼす影響について(その2)
	11	小川 尚之	株式会社ダイヤコンサルタント	北陸	固化処理した浚渫土の材料特性
	12	社城 信弘	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関西	繰返し荷重により体積ひずみが生じた砂質土の液化強度に関する考察
	13	山田 透	株式会社荒谷建設コンサルタント	中国	岩石力学試験から得られる岩盤強度特性
	14	山田 賢治	関東土質試験協同組合	関東	花崗岩におけるひずみゲージ長さが、変形係数及びポアソン比にどのような影響をもたらすか
A-3 メンテナンス 9月7日 8:45~10:00 展示場 1/2	15	舛田 登威	中央開発株式会社	関東	傾斜センサーの多分野における利活用の展望
	16	岡村 洋	株式会社地研	四国	地すべり地におけるアンカー残存引張力と温度
	17	山本 温	株式会社愛媛建設コンサルタント	四国	グラウンドアンカーの延命化と残存引張り力の低下要因について
	18	山縣 宏紀	宇部興産コンサルタント株式会社	中国	集水井工の概査点検における全天球カメラの活用事例
	19	河合 浩二	株式会社ジオファイブ	関東	超音波による道路付属物地際部腐食診断技術
A-4 堤防/堤体 9月7日 10:15~11:45 展示場 1/2	20	蔵座 拓磨	株式会社ダイヤコンサルタント	中部	レベル2地震動における海岸堤防の耐震検討事例
	21	上野 佑基	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関西	詳細ニューマークD法と簡易ニューマークD法による地震時滑動量の比較
	22	中川 翔太	川崎地質株式会社	東北	ため池耐震性能照査の解析と手法について
	23	寺橋 淳史	株式会社ビュー設計	四国	河川堤防変状が耐浸透機能に及ぼす影響評価に関する基礎的研究
	24	佐藤 信宏	日本工営株式会社	東北	円弧すべり解析における非排水条件下での盛土強度パラメータ設定等に関する一考察
	25	石井 篤志	日本工営株式会社	東北	常時的な堤防裏法尻部からの浸み出し水現象と原因検討事例について
A-5 地域地盤特性 9月7日 13:00~16:00 展示場 1/2	26	山田 司	株式会社ドーコン	北海道	寒冷地における長大切土のり面検討について 一火山灰質土の検討例一
	27	菊地 真	東北ボーリング株式会社	東北	小規模河谷における地質モデル作成事例
	28	高橋 友啓	新協地水株式会社	東北	ボーリングコアのテフラ記載と実業務への活用事例
	29	于 銘威	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	関東ロームの工学的及び地域的な特性
	30	神田 淳	中央開発株式会社	関東	常陸台地および下総台地における工学的基盤の調査事例
	31	高橋 晋也	株式会社東建ジオテック	関西	淀川河口の上部洪積粘性土層(Ma12層)の圧密特性
	32	坂 耕多	株式会社増田地質工業	四国	高松平野における完新世の地層分布について
	33	岡野 奨	株式会社相愛	四国	地下水取水による地盤沈下に対する考察
	34	前原 開斗	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	九州	有明粘土上における圃場整備後の旧水路部の位置推定方法
	35	星野 笑美子	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	九州	有明粘土上における圃場整備後の旧水路部の地盤特性
B-1 自然災害 9月6日 13:00~14:30 展示場 1/2	36	宮林 周平	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	兵庫県養父市域における崩壊地発生場の特徴
	37	謝 建明	応用地質株式会社	関東	堤体漏水の発生機構解明のための現地調査と検証計算
	38	越智 義和	川崎地質株式会社	九州	平成29年7月九州北部豪雨における斜面災害の一事例
	39	森田 祥子	中央開発株式会社	九州	九州北部豪雨による崩壊斜面の地質調査事例
B-2 空間計測技術 9月6日 14:45~17:30 展示場 1/2	40	渡邊 絵美	応用地質株式会社	関東	十勝岳大正泥流の流下痕と林相の構成に関する考察
	41	篠原 貴紀	株式会社相愛	四国	地上型レーザーキャナによる土質判定手法の研究
	42	小林 優起	川崎地質株式会社	関東	3次元レーザー測量データを活用した坑道内安全対策施設の検討
	43	岡林 真姫	株式会社エス・ビー・シー	四国	3Dレーザーキャナを用いた暗渠調査事例
	44	小林 秀斗	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	3Dレーザー計測による空洞形状調査
	45	大沼 巧	株式会社地球科学総合研究所	関東	衛星SAR差分干渉による地表変位監視
	46	山本 真弘	株式会社相愛	四国	UAVによる海岸地形の経年変化解析の可能性
	47	有留 千博	株式会社ダイヤコンサルタント	九州	UAV測量およびLPデータを用いた被災状況の判読
B-3 斜面調査Ⅰ 9月7日 8:45~10:00 展示場 1/2	48	鮑 沁	株式会社日さく	関東	堤防開削調査における写真測量技術の活用事例
	49	久木 一磨	株式会社ウエスコ	中国	熱赤外線画像を活用した老朽モルタル吹付法面の調査事例
	50	松場 康二	株式会社ダイヤコンサルタント	四国	ドローンによる吹付けのり面の変状状況の把握とその変形機構について
	51	中島 昇	株式会社地研	四国	切土のり面末端部部の仮設切土に対する課題と対応
	52	長谷川 勝喜	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	中国	関門群岸の特性と切土法面に関する一考察
B-4 斜面調査Ⅱ 9月7日 10:15~11:45 展示場 1/2	53	三田 明寛	中央開発株式会社	九州	琉球石灰岩地盤における切土法面の勾配検討事例
	54	谷田 佑太	株式会社エイト日本技術開発	中国	全国の3次メッシュを対象とした土砂災害発生の特徴
	55	岳 孝太郎	川崎地質株式会社	関東	UAVレーザー測量・ポアホールカメラ・地表踏査による亀裂判読の試み
	56	宮澤 駿太郎	奥山ボーリング株式会社	東北	融雪期に発生した雪上滑走を伴う地すべり災害対応事例
	57	藤井 勇	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	層理面と断面面によるくさびすべり崩壊の事例紹介
	58	酒井 一宏	株式会社荒谷建設コンサルタント	四国	砂防堰堤施工中に発生した斜面崩壊の機構
	59	大木 郁也	株式会社ダイヤコンサルタント	北海道	国道への落石とそれを受けた類似斜面のスクリーニング事例

セッション／発表時間	論文No.	発表者氏名	所属機関名	地区	題目
B-5 斜面調査Ⅲ 9月7日 13:00～16:00 展示場 1/2	60	中川 裕二	株式会社東建ジオテック	四国	地中伸縮計を11年間継続観測してみた
	61	神谷 知佳	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	中部	集中降雨により再活動した地すべりの調査事例
	62	瀧岡 修二	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	中国	山腹崩壊地における動態観測事例
	63	和田 佳記	株式会社エイト日本技術開発	四国	御荷鈴帯地すべり地の地下水伝導度変動特性
	64	山本 逸輝	応用地質株式会社	四国	地すべりの地下水観測孔設置深度の検討
	65	穴戸 拓磨	川崎地質株式会社	東北	地すべり地における加熱式地下水検層の適用と帯水層把握の精度検証事例
	66	近藤 謙介	株式会社基礎建設コンサルタント	四国	複合地すべり地における地すべり観測結果と対策工検討
	67	阿久津 優太	株式会社興和	北陸	蛇紋岩地帯における地すべり調査と機構解析
	68	三谷 康博	株式会社ウエスコ	四国	香川県内の和泉層群で発生した地すべり性崩壊の発生機構
	69	平岡 一明	株式会社ファルコン	四国	排土工により新たに発生した地すべり事例
	70	下元 強志	株式会社四国トライ	四国	四万十帯における地すべり災害調査事例
C-1 物理探査・検層Ⅰ 9月6日 13:00～14:30 54会議室	71	太田 雄三	株式会社構研エンジニアリング	北海道	トンネル掘削の影響を受ける可能性がある岩盤すべりの評価事例
	72	岩下 昂	日本物理探査株式会社	関西	P波検層と磁気検層による杭長探査
	73	林田 彩	日本物理探査株式会社	関東	鉛直磁気探査によるアースアンカー調査
	74	大西 俊輝	日本物理探査株式会社	中国	強磁性体移動法による埋設管調査
	75	松尾 宣明	興亜開発株式会社	中部	磁気探査解析式の適用性に対する検証実験報告
	76	河野 秀紀	日本物理探査株式会社	関東	構造物近傍における不発弾探査の鉛直磁気探査に関する検討ー探査有効距離ー
	77	小坂 信尋	興亜開発株式会社	関東	1周波RTKを用いた測線誘導による水平磁気探査の適用性
C-2 物理探査・検層Ⅱ 9月6日 14:45～17:30 54会議室	78	渡邊 貴之	株式会社シアテック	四国	PS検層におけるノイズ発生原因とその対策事例
	79	齋藤 全史郎	応用地質株式会社	関西	大規模盛土安定性照査への微動アレイ探査の適用
	80	佐々木 政和	川崎地質株式会社	九州	感潮区間における樋門の空洞化調査設計事例
	81	瀬瀬口 輝浩	日本物理探査株式会社	関西	表面波探査による岩盤形状の把握事例
	82	加賀 匠	中央開発株式会社	関東	地中レーダー探査を用いた活断層調査事例ー地質編ー
	83	平井 孝明	中央開発株式会社	関東	地中レーダー探査を用いた活断層調査事例ー物理探査編ー
	84	加藤 雅信	明治コンサルタント株式会社	東北	地下埋設物調査において地中レーダー探査結果による試掘確認を行った事例
	85	伊藤 吉宏	日本物理探査株式会社	九州	複数の周波数を用いた地中レーダーの比較事例
C-3 ケーススタディ 9月7日 8:45～10:00 54会議室	86	安藤 潤	川崎地質株式会社	関東	地中レーダーデータに対するAI技術適用の試み
	87	成迫 法之	株式会社アテック吉村	関西	大阪狭山市の茱萸木新池の起源について
	88	遠藤 彰博	中央開発株式会社	中部	既存構造物の床傾斜の原因追究調査事例
	89	早川 哲也	東邦地水株式会社	中部	採掘場跡地における埋戻土層確認調査事例
C-4 環境調査 9月7日 10:15～11:45 54会議室	90	樹井 俊昭	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	中国	内部拘束型大型特殊土のを用いた埋設管の液状化(浮上り)対策事例について
	91	大久保 幸倫	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	中部	三成分コン貫入試験結果を用いた液状化時の地下埋設物の浮上がり検討事例
	92	西山 依子	中央開発株式会社	関東	簡易分析法による有害重金属類の土壌調査事例
	93	松村 陽介	田村ボーリング株式会社	四国	土壌汚染調査における地下ピット直下の試料採取事例
	94	安陪 光敏	応用地質株式会社	中部	揚水による地下水汚染の流出防止対策に関する評価
	95	木村 裕貴	中央復建コンサルタンツ株式会社	関西	地下水汚染調査手法の適用とその対策事例
C-5 地下水調査 9月7日 13:00～16:00 54会議室	96	辻本 浩志	田村ボーリング株式会社	四国	香川県における水源調査事例の紹介
	97	大石 洋平	株式会社雄新地質コンサルタント	四国	岩盤地下水の開発事例
	98	向井 和行	株式会社レアックス	北海道	メッシュ年平値2010を用いた広域水収支の把握
	99	花木 勇太	株式会社エイト日本技術開発	四国	突効雨量解析による工事影響評価の事例紹介
	100	花川 和宏	日本物理探査株式会社	関東	タンクモデルによる流出解析
	101	斉藤 龍太	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	機械学習を用いた地すべりの地下水解析の事例紹介と今後の課題
	102	福岡 航治	株式会社地圏総合コンサルタント	関東	低透水岩盤への地下水検層適用事例
	103	能城 悠	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	地下研究施設における原位置拡散試験装置の開発
	104	星野 泰士	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	地下水流向流速計を用いた測定事例
	105	牛見 龍也	株式会社四電技術コンサルタント	四国	一般的な既存技術を用いた低地部の地下水流向調査事例
	106	岩村 尚樹	明治コンサルタント株式会社	九州	干拓地の水理特性
D-1 現場技術Ⅰ 9月6日 13:00～14:30 第2小ホール 2/3	107	富山 恵介	興亜開発株式会社	関西	転炉系製鋼スラグによる改質浚渫土に対するサンプリング方法の検証
	108	佐藤根 彰	興亜開発株式会社	中国	岸壁裏込材として用いた転炉系製鋼スラグによる改質浚渫土に対する一軸圧縮試験
	109	関口 絢子	応用地質株式会社	四国	高品質ボーリングコアの取扱い例
	110	戸嶋 優太	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	東北	高品質コアボーリングにより得られたデータ整理事例
D-3 現場技術Ⅱ 9月7日 8:45～10:00 第2小ホール 2/3	111	谷垣 勝久	関西地質調査業協会 技術委員会	関西	ボーリングコアの評価手法の研究と課題(その3)
	112	小川 直人	応用地質株式会社	関東	市街地での路面下空洞探査の安全対策
	113	小島 幹生	株式会社ダイヤコンサルタント	関西	既設ため池におけるラジコンボートによる水深調査事例
	114	武田 伸二	ハイテック株式会社	関西	ボーリング掘進中の地下水検出技術
	115	櫻井 麻依人	応用地質株式会社	関東	磁性体の磁気の影響を受けるボーリング孔での孔曲り測定結果の評価
	116	尾方 裕介	日本地研株式会社	九州	層別沈下計に作用する負の摩擦力低減対策(スライド機構)の紹介
D-4 現場技術Ⅲ 9月7日 10:15～11:45 第2小ホール 2/3	117	本橋 拓也	千葉エンジニアリング株式会社	関東	打設30年後のSCP地盤改良の状況の調査事例
	118	高橋 宏文	明治コンサルタント株式会社	関西	支持層の不陸が想定される渡河橋梁の調査事例
	119	赤井 一行	株式会社日さく	関西	琉球石灰岩地帯における空洞調査事例
	120	濱田 康太	日本物理探査株式会社	関東	FL法及びPL法を用いた液状化の危険度予測
	121	五十嵐 慎久	キタイ設計株式会社	関西	観測孔仕上げに関する実態調査[2017]の結果報告(その1)
	122	足立 直樹	ハイテック株式会社	関西	観測孔仕上げに関する実態調査[2017]の結果報告(その2)

セッション／発表時間	論文No.	発表者氏名	所属機関名	地区	題目
D-5 原位試験 9月7日 13:00～16:00 第2小ホール 2/3	123	宮下 卓弥	株式会社地研	四国	高知平野の沖積層における変形係数EとN値の関係
	124	高橋 慎一	株式会社地盤調査事務所	関東	首都圏内の地盤を対象とした変形係数EとN値に関する一考察
	125	越前 賢哉	大地コンサルタント株式会社	北海道	孔内載荷試験の結果にボーリング孔が与える影響について
	126	福田 幸一郎	応用計測サービス株式会社	関東	現場透水試験装置の少流量領域の改良と実用化(その1)
	127	北村 徹	応用計測サービス株式会社	関東	現場透水試験装置の少流量領域の改良と実用化(その2)
	128	平野 嘉久	株式会社ファルコン	四国	河川堤防に関する調査での不飽和地盤における透水試験実施事例
	129	福本 崇大	応用地質株式会社	九州	丁寧な透水試験によるダム基礎岩盤透水性の調査・検討事例
	130	栗原 弘光	青葉工業株式会社	四国	ため池耐震補強工事における水置換法を用いた盛土管理
	131	澤田 喬彰	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	原位置岩盤三軸試験法の中硬岩への適用
	132	宮澤 忠明	株式会社レアックス	関東	魚眼カメラを用いたボアホールの孔径計測の試み
E-1 アウトリーチ 9月6日 13:00～14:30 第2小ホール 1/3	133	八野 祐二	アース・スキミング研究会	関東	ボアホールのキャラクタリゼーションのための試み(その2)
	134	吉岡 崇	株式会社愛媛建設コンサルタント	四国	地質調査業の普及に向けた小学校理科出前授業の実践事例
	135	嘉茂 美佐子	(一社)四国地質調査業協会高知支部	四国	小中学生を対象とした防災学習支援活動
	136	藤井 俊逸	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	陥石に係る道路防災技術力向上研修及び動画コンテンツ作成
E-2 オペレータセッション 9月6日 14:45～17:30 第2小ホール 1/3	137	仲間 真紀	四国建設コンサルタント株式会社	四国	徳島県の地質調査業における女性技術者の動向
	OP-1	尾方 誠	株式会社エス・ビー・シー	四国	ボーリングマシンによる事故防止対策について
	OP-2	森田 翔也	北海道土質コンサルタント株式会社	北海道	ボーリング作業における防音シートの効果について
	OP-3	山田 政道	田村ボーリング株式会社	四国	自動記録装置を使用した標準貫入試験の実施事例
	OP-4	藤長 登	田村ボーリング株式会社	四国	断層破砕帯を対象とした岩盤トリプルサンプリング事例
	OP-5	藤中 仁史	株式会社基礎建設コンサルタント	四国	小規模ボーリングにおける泥水管理と調査孔閉塞について
	OP-6	木村 雄策	株式会社雄新地質コンサルタント	四国	スライムが原因したボーリング事故事例
	OP-7	山田 千尋	青葉工業株式会社	中部	鉛直精度を伴う大口径ボーリングの施工事例
E-3 サウンディング 9月7日 8:45～10:00 第2小ホール 1/3	OP-8	鴨志田 尚志	株式会社地盤試験所	関東	電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入方法について
	138	山下 隆之	株式会社アバンス	九州	トルク計測を加えた新しいスウェーデン式サウンディングを用いた地盤調査事例
	139	辻 浩平	ジャパンホームシールド株式会社	関東	トルク計測を加えた新しいスウェーデン式サウンディングの土木用途への適用について
	140	会田 結亮	株式会社ダイヤコンサルタント	東北	浚渫土におけるピエゾドライブコーンによる液状化判定
E-4 トンネル調査 9月7日 10:15～11:45 第2小ホール 1/3	141	堺田 佳人	株式会社日さく	関東	電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入事例
	142	佐々木 貴	大地コンサルタント株式会社	北海道	火山灰質土を対象とした土層強度検査棒と室内土質試験の比較
	143	岡 弘	興亜開発株式会社	中国	トンネル継目計の測定結果に与える影響について
	144	岡谷 智一	株式会社 ジオファイブ	関東	新概念に基づくトンネル切羽前方探査装置の概要と適用例
	145	根岸 拓真	基礎地盤コンサルタント株式会社	東北	トンネル事前調査における電気探査の活用事例
E-5 評価・解析 9月7日 13:00～16:00 第2小ホール 1/3	146	村岡 諭	株式会社エイト日本技術開発	中国	弾性波速度とRQDの関係を用いたトンネル地山評価
	147	久保 健一	玉野総合コンサルタント株式会社	中部	宅地造成における事前調査から対策後の地盤評価まで
	148	三上 啓太	川崎地質株式会社	東北	電気式コーン貫入試験を用いた軟弱地盤評価事例
	149	北村 友依	川崎地質株式会社	関東	小規模構造物を埋立地盤に支持させる際の評価事例
	150	石幡 和也	新協地水株式会社	東北	高有機質土盤における道路沈下対策としてのEPS施工事例
	151	三好 学	ニタコンサルタント株式会社	四国	ため池下流域の浸水想定における微地形とハイドログラフの影響について
	152	上野 真実	中央復建コンサルタント株式会社	関西	雪解け水等を考慮した道路盛土の安定検討事例
	153	藤原 靖史	新協地水株式会社	東北	地下情報データベースの「平均有効熱伝導率分布図」作成への応用例
	154	石指 翔平	田村ボーリング株式会社	四国	ボアホールカメラを使用した石灰岩溶食空洞の確認と解析
	155	若山 大斗	株式会社エーティック	北海道	3次元地盤モデルの活用と表現方法に関する事例紹介
	156	永海 飛鳥	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	3次元地盤解析による地盤調査の課題と活用方法
	157	大嶋 篤	株式会社エイト日本技術開発	関西	3次元地層モデルの作成事例
	158	西山 昭一	3次元地質解析技術コンソーシアム	関東	3次元地質解析技術コンソーシアムの活動報告(その2)

表3 優秀技術発表者賞 受賞者一覧

セッション名	論文 No.	発表者	所属	地区	題 目
A-1 室内試験Ⅰ	2	竹内 啓介	中部土質試験協同組合	中部	作製時含水比と乾燥密度の違いが透水試験結果に及ぼす影響
A-2 室内試験Ⅱ	11	小川 尚之	株式会社ダイヤコンサルタント	北陸	固化処理した浚渫土の材料特性
A-3 メンテナンス	18	山縣 宏紀	宇部興産コンサルタント株式会社	中国	集水井工の概査点検における全地球カメラの活用事例
A-4 堤防ノ堤体	25	石井 篤志	日本工営株式会社	東北	常時的な堤防裏法尻部からの浸み出し水現象と原因検討事例について
A-5 地域地盤特性	28	高橋 友啓	新協地水株式会社	東北	ボーリングコアのテフラ記載と実業務への活用事例
B-1 自然災害	40	渡邊 絵美	応用地質株式会社	関東	十勝岳大正泥流の流下痕と林相の構成に関する考察
B-2 空間計測技術	45	大沼 巧	株式会社地球科学総合研究所	関東	衛星 SAR 差分干渉による地表変位監視
B-3 斜面調査Ⅰ	50	松場 康二	株式会社ダイヤコンサルタント	四国	ドローンによる吹付けのり面の変状状況の把握とその変形機構について
B-4 斜面調査Ⅱ	59	大木 郁也	株式会社ダイヤコンサルタント	北海道	国道への落石とそれを受けた類似斜面のスクリーニング事例
B-5 斜面調査Ⅲ	64	山本 逸輝	応用地質株式会社		地すべりの地下水観測孔設置深度の検討
C-1 物理探査・検層Ⅰ	77	小坂 信尋	興亜開発株式会社	関東	1 周波 RTK を用いた測線誘導による水平磁気探査の適用性
C-2 物理探査・検層Ⅱ	79	齋藤 全史郎	応用地質株式会社	関西	大規模盛土安定性照査への微動アレイ探査の適用
C-3 ケーススタディ	88	遠藤 彰博	中央開発株式会社	中部	既存構造物の床傾斜の原因追究調査事例
C-4 環境調査	92	西山 依子	中央開発株式会社	関東	簡易分析法による有害重金属類の土壌調査事例
C-5 地下水調査	104	星野 泰士	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	地下水流向流速計を用いた測定事例
D-1 現場技術Ⅰ	110	戸嶋 優太	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	東北	高品質コアボーリングにより得られたデータ整理事例
D-3 現場技術Ⅱ	113	小島 幹生	株式会社ダイヤコンサルタント	関西	既設ため池におけるラジコンボートによる水深調査事例
D-4 現場技術Ⅲ	118	高橋 宏文	明治コンサルタント株式会社	関西	支持層の不陸が想定される渡河橋梁の調査事例
D-5 原位置試験	131	澤田 喬彰	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	原位置岩盤三軸試験法の中硬岩への適用
E-1 アウトリーチ	134	吉岡 崇	株式会社愛媛建設コンサルタント	四国	地質調査業の普及に向けた小学校理科出前授業の実践事例
E-2 オペレータセッション	OP-1	尾方 誠	株式会社エス・ピー・シー	四国	ボーリングマシンによる事故防止対策について
E-3 サウンディング	142	佐々木 貴	大地コンサルタント株式会社	北海道	火山灰質土を対象とした土層強度検査棒と室内土質試験の比較
E-4 トンネル調査	145	根岸 拓真	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	東北	トンネル事前調査における電気探査の活用事例
E-5 評価・解析	150	石幡 和也	新協地水株式会社	東北	高有機質土地盤における道路沈下対策としての EPS 施工事例

平成 30 年度 全地連資格検定試験の実施結果について

全地連で実施しております 3 つの資格検定試験（地質調査技士，応用地形判読士，地質情報管理士）につきまして，平成 30 年度は 7 月 14 日（土）に全国 10 会場で検定試験を実施し，また 9 月に合格発表を行いました。

各資格検定試験の実施結果は下記の通りです。合格者の皆さまには，取得された資格を活かして頂き，今後のさらなるご活躍を期待しております。

全地連資格検定試験 実施結果 概要

■試験日：平成 30 年 7 月 14 日（土）

■試験会場：全国 10 会場 札幌，仙台，新潟，東京，名古屋，大阪，広島，高松，福岡，沖縄

■受験者数及び合格者数：

資格検定試験		受験申込者数 / 受験完了者数	合格者数
①地質調査技士	現場調査部門	358 名 / 349 名	135 名
	現場技術・管理部門	799 名 / 708 名	229 名
	土壌・地下水汚染部門	47 名 / 45 名	15 名
	(合計)	1,204 名 / 1,102 名	379 名
②応用地形判読士〈一次試験〉		122 名 / 108 名	29 名 ^{※1}
			22 名 ^{※2}
③地質情報管理士		125 名 / 113 名	39 名

※1 応用地形マスターⅠ級 ※2 応用地形マスターⅡ級

(ご参考：今後の試験日程)

- ・平成 30 年度 応用地形判読士資格検定試験〈二次試験〉 12 月 1 日（土）東京会場にて実施予定
- ・平成 31 年度 全地連資格検定試験 7 月 13 日（土）全国 10 会場にて実施予定

全地連「技術フォーラム2018」の開催結果について

毎年、多くの方々にご参加を頂いております全地連技術フォーラムにつきまして、平成30年度は下記のとおり開催いたしました。

(第29回) 全地連「技術フォーラム2018」高松 開催概要

- 主 催：一般社団法人全国地質調査業協会連合会
- 協 力：四国地質調査業協会
- 開催日程：平成30年9月6日（木）～9月7日（金） 2日間
- 開催場所：サンポートホール高松（香川県高松市）

今回のフォーラムでは、「地質調査業の新たな役割－地質技術顧問として－」をメインテーマに、地元「四国地質調査業協会」の全面的な協力と国土交通省四国地方整備局、香川県、高松市の後援および国立研究開発法人土木研究所、日本情報地質学会、NPO地質情報整備活用機構、地質リスク学会に協賛いただきました。2日間の総入場者数は、約600名となりました。

技術発表会には、若手技術者を中心に全国から166編の発表があり、活発な質疑が行われました。また、優秀技術発表者賞には、各セッションから選抜された次の24名の方々が受賞されました。

全地連「技術フォーラム2018」高松 優秀技術発表者賞 受賞者一覧

セッション名	論文 No.	発表者	所 属	地区	題 目
A-1 室内試験Ⅰ	2	竹内 啓介	中部土質試験協同組合	中部	作製時含水比と乾燥密度の違いが透水試験結果に及ぼす影響
A-2 室内試験Ⅱ	11	小川 尚之	株式会社ダイヤコンサルタント	北陸	固化処理した浚渫土の材料特性
A-3 メンテナンス	18	山縣 宏紀	宇部興産コンサルタント株式会社	中国	集水井工の概査点検における全天球カメラの活用事例
A-4 堤防/堤体	25	石井 篤志	日本工営株式会社	東北	常時な堤防裏法尻部からの浸み出し水現象と原因検討事例について
A-5 地域地盤特性	28	高橋 友啓	新協地水株式会社	東北	ボーリングコアのテフラ記載と実業務への活用事例
B-1 自然災害	40	渡邊 絵美	応用地質株式会社	関東	十勝岳大正泥流の流下痕と林相の構成に関する考察
B-2 空間計測技術	45	大沼 巧	株式会社地球科学総合研究所	関東	衛星 SAR 差分干渉による地表変位監視
B-3 斜面調査Ⅰ	50	松場 康二	株式会社ダイヤコンサルタント	四国	ドローンによる吹付けのり面の変状状況の把握とその変形機構について
B-4 斜面調査Ⅱ	59	大木 郁也	株式会社ダイヤコンサルタント	北海道	国道への落石とそれを受けた類似斜面のスクリーニング事例
B-5 斜面調査Ⅲ	64	山本 逸輝	応用地質株式会社	四国	地すべりの地下水観測孔設置深度の検討
C-1 物理探査・検層Ⅰ	77	小坂 信尋	興垂開発株式会社	関東	1周波 RTK を用いた測線誘導による水平磁気探査の適用性
C-2 物理探査・検層Ⅱ	79	齋藤 全史郎	応用地質株式会社	関西	大規模盛土安定性照査への微動アレイ探査の適用
C-3 ケーススタディ	88	遠藤 彰博	中央開発株式会社	中部	既存建造物の床傾斜の原因追究調査事例
C-4 環境調査	92	西山 依子	中央開発株式会社	関東	簡易分析法による有害重金属類の土壌調査事例
C-5 地下水調査	104	星野 泰士	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	地下水流向流速計を用いた測定事例
D-1 現場技術Ⅰ	110	戸嶋 優太	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	東北	高品質コアボーリングにより得られたデータ整理事例
D-3 現場技術Ⅱ	113	小島 幹生	株式会社ダイヤコンサルタント	関西	既設ため池におけるラジコンボートによる水深調査事例
D-4 現場技術Ⅲ	118	高橋 宏文	明治コンサルタント株式会社	関西	支持層の不陸が想定される渡河橋梁の調査事例
D-5 原位置試験	131	澤田 喬彰	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	原位置岩盤三軸試験法の中硬岩への適用
E-1 アウトリーチ	134	吉岡 崇	株式会社愛媛建設コンサルタント	四国	地質調査業の普及に向けた小学校理科出前授業の実践事例
E-2 オペレータセッション	OP-1	尾方 誠	株式会社エス・ピー・シー	四国	ボーリングマシンによる事故防止対策について
E-3 サウンディング	142	佐々木 貴	大地コンサルタント株式会社	北海道	火山灰質土を対象とした土層強度検査棒と室内土質試験の比較
E-4 トンネル調査	145	根岸 拓真	基礎地盤コンサルタント株式会社	東北	トンネル事前調査における電気探査の活用事例
E-5 評価・解析	150	石幡 和也	新協地水株式会社	東北	高有機質土地盤における道路沈下対策としての EPS 施工事例

(ご参考：次年度の開催予定)

技術フォーラム2019 開催地：岡山県岡山市 開催日：2019年9月12日～13日

地質リスクマネジメント事例研究発表会（開催報告）

11月2日に開催いたしました標記発表会は、今年で9回目の開催となりました。

当日は、地質調査業界の関係者をはじめ、公共機関の方にも多数のご参加を頂きました。当日の開催結果と講演論文集を下記のホームページに掲載しておりますので、是非ご覧下さい。

▶▶▶ http://www.georisk.jp/?page_id=725（地質リスク学会ホームページ）

第9回地質リスクマネジメント事例研究発表会 開催概要

【開催要領】

- 開催日：平成30年11月2日（金）
- 場所：飯田橋レインボービル（東京都新宿区市谷船河原町11番地）
- 共催：地質リスク学会，一般社団法人全国地質調査業協会連合会
- 協力：特定非営利活動法人地質情報整備活用機構
- 後援：国土交通省国土技術政策総合研究所
- 賛助：国立研究開発法人土木研究所
- プログラム

第1部 全体会（10:00～12:00）

- 開場：9:30
- 開会：10:00～
- 開会挨拶：10:05～10:15
地質リスク学会 副会長 小笠原 正継
（国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質情報研究部門 客員研究員）
- 特別講演：10:15～11:45
「地質リスクマネジメントと地質技術者の生きがい」
地質リスク学会 会長 渡邊 法美（高知工科大学 教授）
- 表彰式 11:50～12:00 第2部事例研究発表会 優秀論文賞授与式

第2部 事例研究発表会（13:15～16:30）16編

論文No	発表者	所属先	題目	事例種類
1	宮本 浩二	応用地質(株)	トンネル坑口急崖斜面における岩盤崩壊リスク低減の取り組み	D型
2	塚本 将康	川崎地質(株)	段階施工を実施した大規模盛土における湿潤化調査の事例	B型
3	渡邊 陽介	応用地質(株)	道路トンネル坑口部における施工技術者による地質リスクマネジメント事例	C型
4	高橋 浩之	(株)興和 東北支店	不均質な軟弱地盤上の道路盛土に対する対策工検討事例	A型
5	山下 隆之	(株)アバンス	雨水調整池整備計画における地質リスク検討事例	A型
6	吉田 健司	(株)建設技術研究所	最終処分場建設事業に対する地質リスクマネジメント事例	D型
7	宮原 仁	(株)セイコー	礫地盤を支持層とした杭基礎のリスク回避事例	A型
8	梅崎 基考	(株)アバンス	施工中の岩判定・地質判定における地質リスクの回避	A型
9	寺地 啓人	東邦地水(株)	地質リスクマネジメントによる地すべり災害回避事例	A型
10	田中 敏行	(株)ダイヤコンサルタント	台風豪雨による地すべり災害の再発について	B型
11	徳留 亮	(株)地圏総合コンサルタント	比抵抗分布による地すべり評価	D型
12	村井 政徳	川崎地質(株)	新設バイパス切土区間において潜在地すべりの滑動という地質リスクを回避した事例	A型
13	本間 宏樹	応用地質(株)	高速道路の施工中に顕在化した地すべりに対するマネジメント事例	D型
14	津田 義則	(株)五星	台風により発生した斜面崩壊に対するマネジメント事例	C型
15	斉藤 慶一郎	(株)興和	河道掘削に伴う掘削のり面の崩壊リスク回避事例	A型
16	井原 拓二	応用地質(株)	地表地質踏査を主体とした切土のり面のリスク検討事例	A型

懇親会（17:00～18:30）

平成 30 年度 全地連資格制度 登録更新の手続きについて

全地連で運営しております3つの資格制度（地質調査技士、応用地形判読士、地質情報管理士）につきまして、平成30年度は下記の通り登録更新の手続きを実施いたします。

平成 30 年度 全地連資格制度 登録更新の実施概要

資格制度	登録更新の対象者	更新申込期間・締切	更新形態
地質調査技士	(1) 平成 25 年度（2013 年度）の登録更新講習会を受講した方 (2) 平成 25 年度（2013 年度）の第 48 回地質調査技士資格検定試験に合格し、登録した方	平成 30 年 9 月 10 日～ 平成 30 年 10 月 12 日 ※ CPD 報告形式による 申込締切は平成 30 年 12 月 14 日	講習会受講形式 または CPD 報告形式
応用地形判読士	平成 25 年度（2013 年度）の応用地形判読士資格検定試験〔二次試験〕に合格し、応用地形判読士資格に登録した方	平成 30 年 12 月 1 日～ 平成 31 年 1 月 15 日	CPD 報告形式
地質情報管理士	(1) 平成 27 年度（2015 年度）地質情報管理士資格検定試験に合格し、資格登録した方 (2) 平成 27 年度（2015 年度）地質情報管理士登録更新の手続きが完了した方	平成 30 年 12 月 1 日～ 平成 31 年 1 月 31 日	CPD 報告形式

詳しくは、全地連のホームページをご覧ください。

▶▶▶ <https://www.zenchiren.or.jp/>（全地連ホームページ）

平成 30 年度 「道路防災点検技術講習会」 について

現在募集中の標記講習会につきましては、道路法等の一部改正に伴い、9月21日開催の仙台会場から講習プログラムに「法律施行に伴う留意点」を追加し、国土交通省の担当者が講義を担当することになりました。該当する法案の概要は、次の通りです。

<該当する法案の概要>

○道路区域外からの落石等を防ぐため、現行制度を拡充し、沿道区域内の土地管理者への損失補償を前提とした措置命令権限を規定

本講習会の開催地および日程は、下記の通りです。参加ご希望の方は、お早めにお申込み下さい。

平成 30 年度 道路防災点検技術講習会 開催概要

■主 催：一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

■後 援：国立研究開発法人 土木研究所

■開催地／開催日：東京 1 ■平成 30 年 6 月 29 日（金）【終了しました】

仙 台 ■平成 30 年 9 月 21 日（金）【終了しました】

広 島 ■平成 30 年 10 月 5 日（金）【終了しました】

大 阪 ■平成 30 年 10 月 26 日（金）【終了しました】

東京 2 ■平成 30 年 11 月 16 日（金）【終了しました】

名古屋 ■平成 31 年 1 月 25 日（金）ポートメッセなごや 会議ホール

福 岡 ■平成 31 年 2 月 8 日（金）福岡県中小企業振興センター 大ホール

講習会の詳細やお申込みは、次の URL をご覧ください。

▶▶▶ <https://www.zenchiren.or.jp/event/detail/137>

本小特集では、近年、再生可能エネルギーとして注目されている「地熱」を取り上げました。

日本は、世界第3位の資源ポテンシャルを持ちながら、エネルギーとしての利用率が低いと言われています。東日本大震災を受け、国立公園等における地熱開発の緩和などが行われた結果、新たな開発が行われている一方で、様々な問題により、予定通り進んでいないのも現状のようです。

本小特集では、まず「東日本大震災以降の国内における地熱開発の動向」を受けて、地熱開発を進めるにあたっての問題点、相互理解の方法や解決策を探ります。更に、地熱開発でも養殖やバイナリー発電など、低温の熱源の

利用が進んでいることについても触れています。一方で、海外の開発事例や国内の代表的な温泉地、別府における、泉質の詳細分析結果より、今後の地熱（温泉）開発の在り方についても考察します。

このように、本小特集を一通り読んで頂ければ、近年の地熱開発の動向と問題点が分かるような構成となっています。

最後になりましたが、今号においては、「マグマ」の著者で、地熱に関して造詣が深い、作家の真山仁氏をはじめ、様々な方に執筆を受け入れて頂きました。執筆者の方々には心から感謝の意を表します。

(2018年11月 細矢記)

機関誌「地質と調査」編集委員会

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

委員長 鹿野 浩司

委員 尾高 潤一郎、加藤 猛士、佐護 浩一、谷川 正志、細矢 卓志、土屋 彰義、須見 徹太郎、池田 俊雄、高橋 暁、中川 直。

各地区地質調査業協会

委員 北海道：鈴木 孝雄 東北：昆 孝広 北陸：津嶋 春秋 関東：藤本 泰史 中部：成瀬 文宏
関西：東原 純 中国：向井 雅司 四国：大岡 和俊 九州：永尾 一彦 沖縄県：長堂 嘉光

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階 TEL. (03) 3518-8873 FAX. (03) 3518-8876

北海道地質調査業協会	〒060-0003	北海道札幌市中央区北 3 条西 2 丁目 1 (カミヤマビル)	TEL. (011) 251-5766
東北地質調査業協会	〒983-0852	宮城県仙台市宮城野区榴岡 4-1-8 (パルシティ仙台 1 階)	TEL. (022) 299-9470
北陸地質調査業協会	〒951-8051	新潟県新潟市中央区新潟町通 1 ノ町 1977 番地 2 (ロイヤル礎 406)	TEL. (025) 225-8360
関東地質調査業協会	〒101-0047	東京都千代田区内神田 2-6-8 (内神田クレストビル)	TEL. (03) 3252-2961
中部地質調査業協会	〒461-0004	愛知県名古屋市東区葵 3-25-20 (ニューコーポ千種橋 403)	TEL. (052) 937-4606
関西地質調査業協会	〒550-0004	大阪府大阪市西区鞆本町 1-14-15 (本町クィーパービル)	TEL. (06) 6441-0056
中国地質調査業協会	〒730-0017	広島県広島市中区鉄砲町 1-18 (佐々木ビル)	TEL. (082) 221-2666
四国地質調査業協会	〒761-8056	香川県高松市上天神町 231-1 (マリッチ F1 101)	TEL. (087) 899-5410
九州地質調査業協会	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東 2-4-30 (いわきビル)	TEL. (092) 471-0059
沖縄県地質調査業協会	〒903-0128	沖縄県中頭郡西原町森川 143-2 (森川 106)	TEL. (098) 988-8350

機関誌「地質と調査」'18年2号 No.152

平成 30 年 11 月 15 日 印刷

平成 30 年 11 月 20 日 発行

編集 一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階

発行所 株式会社ジェイスパーク

〒102-0082 東京都千代田区一番町 9-8 ノザワビル 7 階 TEL. (03) 3264-7781 FAX. (03) 3264-7782

株式会社ワコー

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-7 TEL. (03) 3295-8011 FAX. (03) 3230-2511

印刷所 株式会社 高山

無断転載厳禁

印刷物・Web 上等に本誌記事を掲載する場合は、一般社団法人全国地質調査業協会連合会に許可を受けてください。

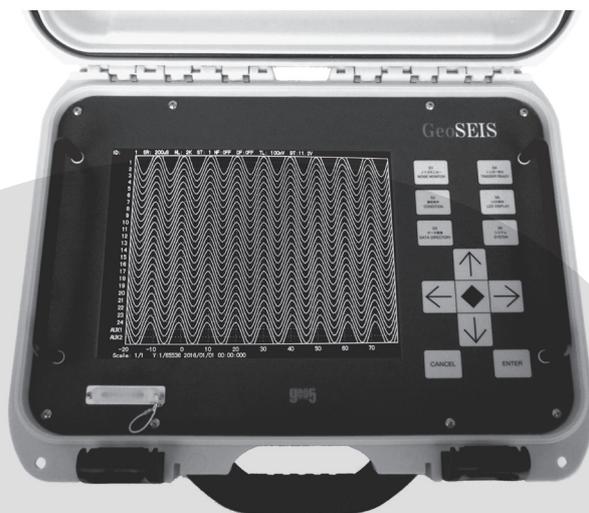
物探技術者待望の New Seismograph!

GeoSEIS-24 & GeoSEIS-48

geo5

操作性と機動性を追求した all in one 構造の土木物探用サイスマググラフ

- 24bit、20 μ sec の高速・高分解能サンプリング
- リアルタイム感覚の高速性を実現したノイズモニター
- 業界初、ショットマーク信号無線伝送機能
- 直射日光下でも見易い高輝度カラー LCD 搭載
- 小型軽量・低消費電力（48 成分で 4.3Kg、待機時 0.6A）
- 24 成分 +2Aux を 48 成分 +2Aux に増設可能な柔軟設計
- データ収録は、取扱の容易な SD カード
- 各種ソフトウェアに対応可能な SEG-1、SEG-2 標準 format



*本装置は、株式会社日本地下探査との共同開発品です。

株式会社 ジオファイブ

URL <http://www.geo5.co.jp/>

〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山 1-12-1

TEL 048-871-3511 FAX 048-871-3512

Email sales@geo5.co.jp

■業務内容■

計測機器販売 : 地質調査機器・土木計測機器・工業計測機器

計測機器レンタル : 地質調査機器及びその他計測機器レンタル

計測業務 : 現場計測業務・測定機器設置・3D 計測業務

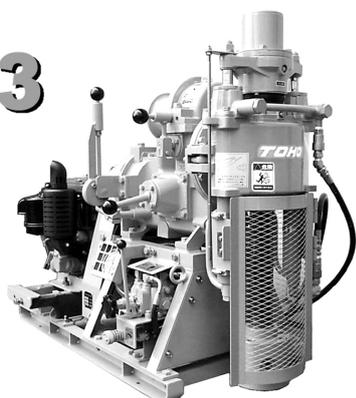
計測機器設計製作 : 各種地盤計測機器の設計製作



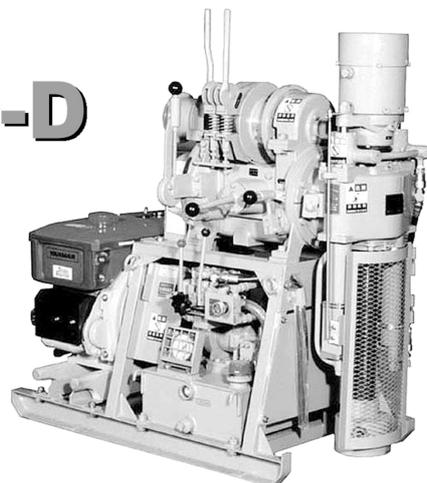
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

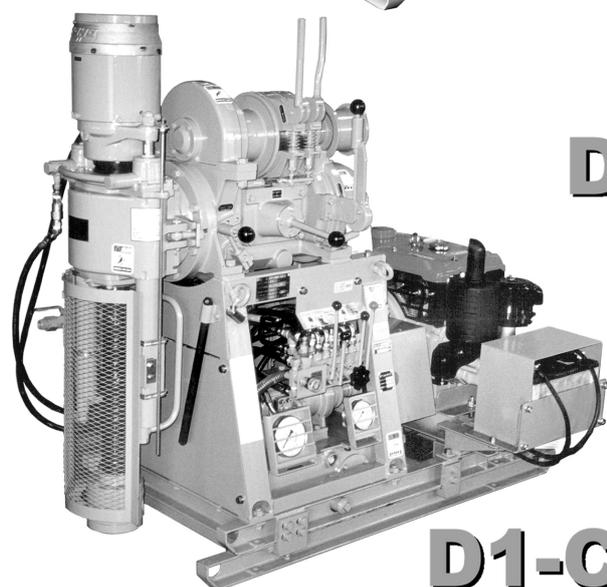
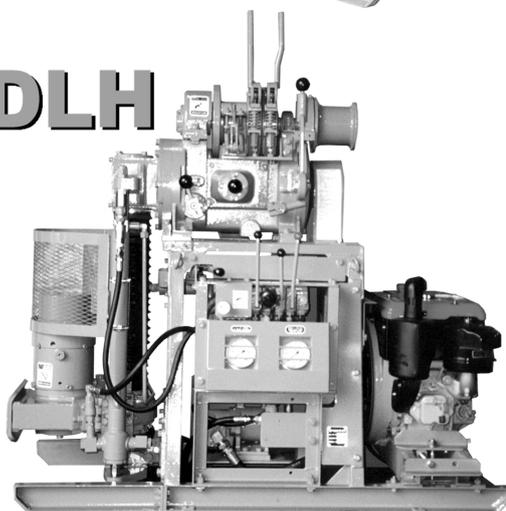
DM-03



D0-D



D0-DLH



D1-C

試錐機には小型ボーリングポンプが内蔵できます。(DM-03を除く)

機種名		DM-03	D0-D	D0-DLH	D1-C
穿孔能力	m	30	100	100	280
回転数	min ⁻¹	65,125,370	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)65,130,170,370 (B)90,170,320,490※
スピンドル内径	mm	47	43	43	48,58
ストローク	mm	300	400,500※	500	500
巻上げ力	kN(kgf)	3.9(400)	5.9(600)	5.9(600)	10.8(1100)
スライド	mm		油圧式300※	油圧式300※	油圧式300
動力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質量	kg	180	315	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1200×660×1180	1440×890×1415	1390×735×1580

右操作、左操作をご用意しております。 ※はオプションです。



東邦地下工機株式会社

東京都品川区東品川 3-15-8 TEL 03(3474)4141
福岡市博多区西月隈 5-19-53 TEL 092(581)3031
URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

福岡 092(581)3031
東京 03(3474)4141
札幌 011(376)1156
仙台 022(235)0821
新潟 025(284)5164
金沢 076(235)3235

名古屋 052(798)6667
大阪 072(924)5022
山松 089(953)2301
広島 082(533)7377
山口 083(973)0161
熊本 096(232)4763

地質調査

通巻152号

●発行所

株式会社ジェイスパーク／株式会社ワコー