

特集

【寄稿】エネルギーを支える現場から

～能代火力発電所、能代風力発電所、上の岱地熱発電所を訪ねて～

●東嶋 和子 (科学ジャーナリスト)



◆はじめに

「多様性」と「適材適所」。日本のエネルギーのあり方を考えるうえで、私が重きを置いている二つの視点である。エネルギーの大部分を輸入に頼る「島国日本」では、多様なエネルギー源を適材適所で利用する工夫が欠かせない。

そこで2017年初夏、秋田県にある石炭火力、風力、地熱の各発電所をじっくり見て歩いた。

◆「風の松原」についても

秋田県の北西部に位置する能代市は、日本海を眼前にのぞみ、後ろには、手つかずの原生林で知られる世界自然遺産「白神山地」を背負う。出羽の緑したたる森林から、その恵みを集めて日本海に注ぐ米代川の河口に向けて、市街地が広がっている。

人口は約5万5000人。春には、全市をあげての凧揚げ大会

が催され、「アッカカンベー」と舌を出した顔
をデザインした「能代凧（別名べらぼう凧）」
など、各地の自慢の凧が青空を勢いよく舞う。
畳十枚分の大凧が揚がる光景は、圧巻である
(写真①・3ページ)。

能代公園では、花の季節にあわせて「さくらまつり」や「つつじまつり」が開かれ、約700本のソメイヨシノ、約3400株の色とりどりのツツジを愛でる市民や観光客でにぎわう。

夏には、江戸時代からの歴史を伝える壮麗な山車が御輿とともに運行する日吉神社「御神幸祭」(写真②・3ページ)、秋田県北地域の玄関港である能代港国際ターミナルを舞台にした「能代みなと祭り」、十数メートルも



写真①



写真②



写真③

の高さの灯籠が通りを練り歩いたあと、巨大な鯨を米代川へ焼き流す「能代ねぶながし」(写真③)……と、祭り気分が一気に盛り上がる。

夏祭りのフィナーレを飾る「おなごりフェスティバル」には、東北各地の夏祭りや東京・浅草のカーニバルなど、有名な祭りが一堂に会し、郷土芸能や花火の競演に、能代市全体が熱くなる。

ハタハタをはじめ八竜メロンや松山納豆、工芸では春慶塗や秋田杉細工が全国的に有名だ。

【能代火力発電所】

そんな能代市を語るとき、忘れてならない

のが、日本海から吹きつける荒々しい風から街を守っている「風の松原」である。約400年前に植林された日本最大の防砂林は、「日本五大松原」の一つに数えられている。

「広さは約760ヘクタール、松の本数は約700万本。どちらも日本一なんですよ！」誇らしげに「郷土自慢」をするのは、「東北電力能代火力発電所」(総出力120万kW)の小野雅毅・能代火力発電所建設所副所長(現・本店ネットワーク土木建築部課長)。能代火力発電所は、米代川河口にある能代港の南側、「風の松原」から日本海に突き出たように建つ。約109万㎡の埋立地を造成して、出力60万kWの石炭火力発電所が2基、日々休みなく電気を送り出している。

ここでつくられた電気は、27万5000ボルトでいったん能代変電所へ送られたあと、能代とその周辺地域で使われるほか、青森県内や秋田県内の変電所へも送電され、東北各地で使われる。

このほど新たに、1、2号機と同じ出力60万kWの3号機をつくることになった。2016(平成28)年2月から建設工事が始まり、順調に進捗中ということで、私自身3度目となる能代火力発電所訪問とあいなった。

◆クリーンコール技術で二酸化炭素排出を少なく

能代火力発電所の歴史は、1977（昭和52）年に能代市、能代市議会、能代商工会議所の3者が、秋田県に誘致を要請したことから始まる。

いうまでもなく当時から「風の松原」は能代市の重要な防砂林であり、有名な景勝地であったので、大気、海域、植物などの環境調査を尽くしたうえで、1981（昭和56）年3月に電源開発基本計画に組み入れが承認された。

同年11月、秋田県が発電所用地の埋立てに着手。1983（昭和58）年5月には、日本海中部地震を経験した。幸い大過なく、1985（昭和60）年5月、埋立工事を完了した。同年7月、秋田県、能代市と東北電力が公害防止協定を結び、10月に1号機の建設、1991（平成3）年10月には2号機の建設が始まった。

1号機が運転を開始したのが1993（平成5）年5月、2号機の運転開始が1994（平成6）年12月。以来、いずれも20年以上にわたり、この地で安定的に電気をつくりつけてきたことになる。2006（平成18）年末には、発電電力量1000億kWhを達成した。

太田卓造・能代火力発電所副所長によると、3号機は当初から敷地内に建設する予定であった。しかし、長期需要や国の二酸化炭素（CO₂）対策動向などを見極めるため、計画が繰り延べされていたのだという。

たしかに、2011（平成23）年の東日本大震災で太平洋沿岸が津波により壊滅状態になったこと、その後の復興需要や原子力発電所の長期停止、電力小売りの自由化、世界的には地球温暖化防止に向けての「パリ協定」締結と「脱・化石燃料」の動き、安全保障情勢の緊迫化など、予測の難しい種々の要因が複雑に絡み合っている。

震災後、国内で原子力発電所の再稼働が遅々として進まないなか、安定的かつ安価なベースロード電源として脚光を浴びたのが、石炭火力発電だった。現在稼働中の石炭火力は国内に約150基あるが、読売新聞によると、石炭火力の新增設計画は、2017年7月末時点で41基に上る。

一方で、地球温暖化対策の世界的な枠組みとしてパリ協定が発効したことを受け、欧州を中心に「脱石炭」の流れが加速している。フランスは2023年までに、カナダは2030年までに、英国は2025年までに石炭火力発電所を全廃する目標や方針を表明した。読売新聞によると、英国では、2015年10～12月に石炭火力が電源構成の19.4%を

占めていたが、2016年同期には9・3%に減った。2017年4月には、石炭火力をまる一日稼働させないことを実現したという。

逆に米国は、石炭火力発電所の新設に厳しい規制を課したオバマ前政権から一転、パリ協定からの離脱を表明したトランプ大統領が、炭鉱労働者の雇用確保もふまえ、規制の見直しを進めるとみられている。

とはいえ、米国ではシェールガスの生産が増え、発電コストが石炭並みに安くなった天然ガスへの転換がまだ続いており、その流れは今後も止まらないと予測される。

加えて、投資家や金融機関に対し、石炭産業や「化石燃料企業」への投融资を引き上げるよう呼びかける運動が草の根的に広がっている。

こうした国際潮流を背景に、日本では環境省が、石炭火力発電所の新設に「待った」をかけた。

日本政府は、2014年時点で電源構成割合の31%を占める石炭を、2030年度には26%に減らすことを目標に掲げている。しかし、計画通り41基が新增設されれば、CO₂排出量削減どころか、目標を約3割超過してしまうという。

2017年8月には、新任の中川環境相が「経済性の観点のみで、新增設を進めること

は認められない」という考え方を示した。山本前環境相が、中部電力の武豊石炭火力発電所について計画の再検討を求める意見書を世耕経済産業相に出していたことから、その姿勢を踏襲したかたちだ。

石炭火力に吹く風は、「追い風」から「逆風」へとめまぐるしく変化しているようだ。そんななか、これまで延期してきた3号機の建設に踏み切ったのには、どんな理由があったのだろうか。私の問いかけに、小川善広・能代火力発電所建設所副所長は「電力システム改革が進展してきて道筋が見えてきたことと、自社の火力発電設備の経年化が大きな理由です。現在、運転30年以上の発電設備が全体の40%になりますから」と、答えた。

石炭に否定的な流れがあるとはいえ、資源の乏しい日本にとって石炭は、原子力とともにベースロード電源として欠かせない。しかも、石炭は埋蔵量が豊富で世界に広く分布し、供給安定性と経済性に優れた資源として、世界の発電電力量の4割を担っている。今後も新興諸国を中心に需要増が見込まれる。

硫黄酸化物(SOX)、窒素酸化物(NOX)、ばいじん煤塵などの汚染物質除去はもちろん、発電時のCO₂排出を抑える「クリーンコール技術」でトップクラスにある日本の技術を活用してもらえば、日本のみならず「地球大」でCO₂排出を抑制できる可能性がある(資

気温度が600℃にアップすること(資料②)・概要をうかがった。

3号機の主な特徴は三つある。第1に、蒸

之副所長、同建設所の小野雅毅副所長、小川善広副所長に、3号機の特徴や、新設工事の

◆**亜瀝青炭**という未利用資源を利用

あれきせいたん

能代火力発電所の太田卓造副所長、菅野和

世界に貢献する、という解があるのではない

だろうか。

kWhあたりのCO₂排出量が多いから石炭火力発電所を「やめる」という単純な解ではなく、より高効率な石炭火力発電へ置き換えていくことで、クリーンコール技術を磨き、

料①・9ページ)。

資料② 3号機の主な特徴

ポイント1：蒸気温度を600℃に向上させます！

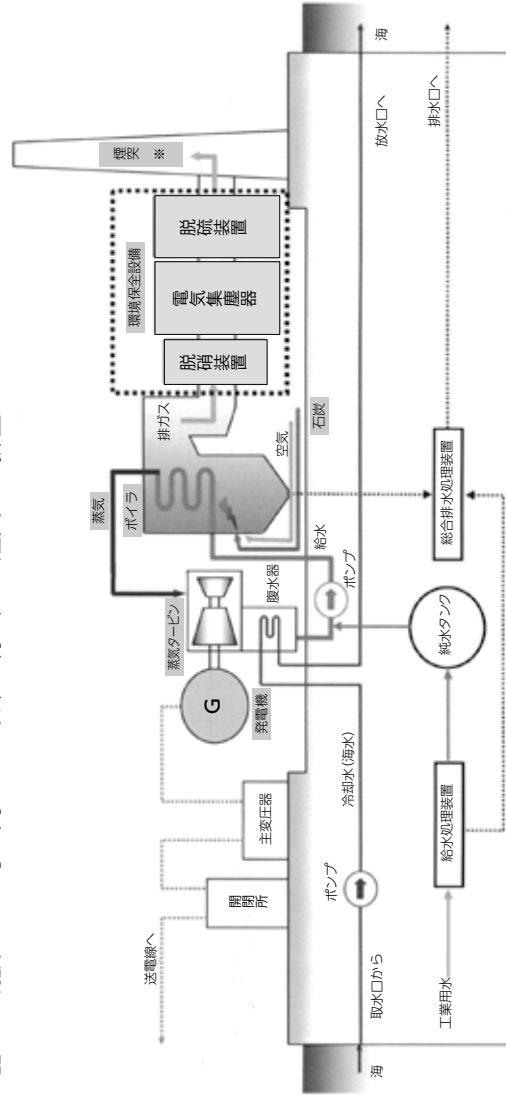
- 熱効率は既設1・2号よりも高い44.8% (LHV：低位発熱量ベース) に達する見込みであり、資源の効率的利用および環境負荷低減の両立を図ります。
- これは、既設1・2号の平均に比べ、燃料使用量、CO₂排出量とも年間約3%程度の減に相当します。

	1号機	2号機	3号機(計画)
発電機出力	60万kW	60万kW	60万kW
主燃料	石炭	石炭	石炭
主蒸気温度(℃)	538	566	600
再熱蒸気温度(℃)	566	593	600
主蒸気圧力(MPa)	24.5	24.1	24.5
熱効率(LHV:%)	約43.5	約44.0	約44.8

出典：東北電力

資料① 能代火力発電所3号機の仕組み

- ボイラにて石炭を燃焼させ、発生した蒸気によりタービン発電機を回転させて発電します。
- 排ガス中の窒素酸化物、硫黄酸化物、硫酸装置、脱硝装置、脱硫装置、電気集塵器にて既設1・2号と同レベル以下に除去し、煙突より排出します。



※：既設1・2号との集合煙突(180m)で計画しています。

出典：東北電力

資料③ 3号機的主要特徴

ポイント2：亜瀝青炭の使用拡大を図ります！

- 亜瀝青炭は、一般に使用される瀝青炭に比べ水分が多く熱量が低いなど、低品位とされていますが、一方で、賦存量が多く、灰分が低いなど有用な面もあり、亜瀝青炭の使用拡大は、資源の有効活用および廃棄物発生量の低減に貢献します。

	発熱量(kcal/kg)	全水分(%)	灰分(%)
瀝青炭	約6,300	約11	約12
亜瀝青炭	約5,000	約25	約3

出典：東北電力（計画使用炭の平均値）

10ページ)。1、2号機と同じ出力60万kWであっても、主蒸気温度と再熱蒸気温度を600℃に上げることで、熱効率が1、2号機より高い約44・8%になる。最新鋭の「超々臨界圧」という高効率発電方式により、1、2号機の平均に比べ、燃料の使用量、CO₂排出量ともに年間約3%減らせるという。

第2に、亜瀝青炭の使用を増やすこと。亜瀝青炭は、石炭火力発電で一般的に使われる瀝青炭に比べ水分が多く、熱量が低いことから、「低品位炭」と呼ばれる。とはいえ、賦存量が多く、含まれる灰分が低いという利点がある（資料③）。

「3号機は亜瀝青炭だけでも焚ける設計になっています」と小川副所長。亜瀝青炭を多

く使うことで、これまで使っていなかった資源の有効活用になる。しかも、廃棄物として出る灰の処理量も減らせるというわけだ。

「石炭を燃やすと、燃えがらとして石炭灰が生じますが、その割合が瀝青炭だと約10%。現在、この発電所では1日約1万トン。年間約300万トンの石炭を燃やすので、約30万トンの石炭灰が出ます。これを敷地南側に隣接した埋立地の土地造成に使ったり、セメントの混和剤などとしてセメント会社に有償で引き取ってもらったりしています。それがだいぶ減らせるので、トータルメリットが出ます」と小川副所長は続けた。

第3に、万が一に備えて津波対策を強化したこと。過去の地震や津波を参考に、3号機についても循環水ポンプなどの取水設備や電気制御盤は基礎を約0・5メートル以上かさ上げして、海面からの高さ4・7メートル以上にして設置している。

ほかに、大気環境を守るために、排ガス中の窒素酸化物、硫黄酸化物、煤塵をそれぞれ脱硝装置、脱硫装置、電気集じん器で除去し、1、2号機と同じレベル以下にして、既設の集合煙突から排出することになっている。

スケルトンのように骨組みができ、形が現れつつある3号機を、2号機建屋の屋上から見下ろした（写真④と⑤・13ページ）。

なるほど、当初から計画されていただけあって、煙突や貯炭場、さまざまな配管系統など、既設の設備を生かした合理的な配置が印象的だ。

能代港の棧橋に近い、敷地の北側に三角屋根の屋内貯炭場、黒い帯状に見える屋外貯炭場がある。ここで最大58万トンもの石炭が出番を待つ。その南に1号機、2号機、3号機が順序良く並び、真ん中の2号機の海側に高さ180メートルの集合煙突が立つ（写真⑥／3号機完成後の能代火力発電所全景（予想図））。

煙突は白色を基調に、上中下3か所に青色の帯が巻かれてアクセントになっている。能代市の白砂青松のイメージを象徴するかのよ



写真④



写真⑤



写真⑥



写真⑦



写真⑧

うに、風景に違和感なく溶け込んでいます。

「風の松原」のほうを振り返ると、補助燃料の重油タンク、その隣には、球形ドームが銀色に輝く「能代エナジウムパーク」がある（写真⑦・16ページ）。ここは、発電所の蒸気タービンで仕事を終えた蒸気を利用した熱帯植物園などがあるPR施設だ。

「温室でバナナが鈴なりになっているんですよ！」と、小野副所長はうれしそうに声をあげた。

2020（平成32）年6月の営業運転開始に向け、いま発電所では1、2号機の運転員ら96人に加え、32人が3号機の建設にあたっている。工事関係の作業の方々も入れると、毎日約400人、ピーク時には千人もの人が働いているという。

「どうぞ、ご安全に！」

私は海からの強い風に、声なき祈りをのせて飛ばした。「風の松原」の松たちは400年前と変わらぬ姿で、ひとの祈りを受け止め、ひとの営みを静かに見守っているかのようだった。（写真⑧・16ページ／発電所2号機建屋の屋上から）



写真⑨

【能代風力発電所】

◆能代の風の神を迎えて

「風の松原」の深い緑色の帯を足元に待ら^はせて、銀白色に輝く貴婦人のような風車が整然と立ち並ぶ。かつてカリフォルニアで見たウインドファームにも似たのどかな光景が、目の前に現れた。

能代火力発電所から松林を縫う小道をのたりのたり走ること10分ばかり。飛行機の翼のように巨大な白い羽根が、地上に横たえられている。中ほどに黒々と「能代風力発電所」と大書してある。

迎えてくださったのは、青い帽子に青い作

業着をバッチリきめた2人の男性。東北電力グループで再生可能エネルギー分野を担う「東北自然エネルギー株式会社」(TOUSEC) 能代事業所の工藤隆所長と主査の松橋進さんである(写真⑨・17ページ)。

「羽根の大きさをわかっていただけのように、下ろしてみました」。期待通り、羽根の大きさに度肝を抜かれている私に、工藤所長は説明を始めた。

「風の松原に代表されるように、能代の海岸には防風林が連なっています。このあたりは四季を通じて風が強く、古くから人びとは畏怖をもって、ときに『風の神』として祀りながら、風と共生してきたそうです。この自然の力を最大限活かそうと、能代風力発電所



写真⑩



写真⑩

は2001（平成13）年11月に営業運転を始めました」
 海岸線3kmにわたって24基の風車が、約100メートル間隔で並ぶ。ドイツ製のエネルギーコン機という風車で、各基の発電容量は600kW。合計すると、出力は1万4400kWになる（写真⑩・18ページ／能代風力発電所全景）。

風力発電や太陽光発電は自然任せなので、設置場所によつては年間の利用率が低く、発電量が期待外れになることもあるが、こちらは約27%とのこと。「年間発電量は約3500万kWhになり、能代市のご家庭約1万世帯分を発電しています」と、工藤所長は胸を張った。

風車の足元に寄って見上げる。首が痛くなってきた。それもそのはず、タワーと呼ばれる柱の高さは46メートル、羽根（プロペラ）の先端までを含めると、高さ68メートルになる。ビルでいうと、おおよそ22階の高さだ。航空機などの安全確保には、昼間は羽根先端の赤い塗装で、夜間は航空障害灯で対応しているそうだ。

運転や管制は基本的に自動モードでおこない、24時間遠隔監視している。とはいえ、月に4、5回は担当者が現場の監視室に来て点検する。「定期点検では、命綱を着けてタワーの中を一步一步昇っていきます」と、松橋さんが実演してくださった（写真⑪・20ページ）。

羽根がついている卵型のカプセルのような容器（ナセル）は、高さ4メートルのハッチのようになっていて、発電機や発電機固定子、回転子、ローター主軸、ブレードピッチ駆動モーター、ヨー制御モーターなどが納められている。このハッチに入つて、機器を保守点検するわけだ。

「自動制御・遠隔監視で、スモールパッケージでの運用が可能、すなわちランニングコストの負荷が小さい」というのが風力発電のメリット。とはいえ、やはり効率的かつ安全な運転には、普段の的確で入念な保守管理があつてこそ。

風力発電を担当してそれぞれ6年目、10年目になるといふおふたりの「風車愛」をひし

ひしと感じつつ、容赦なく吹きつける「天空からのエネルギー」にあらためて感謝したのだった。

【上の岱地熱発電所】

◆地中に眠る秘めたるエネルギー

「水・地風・光」。TOUSECの願いは、自然の力を最も効率よいかたちでエネルギーに変えること。美しい地球環境を守りながら、持続可能な社会づくりをめざします。

能代事業所の工藤所長にいただいた東北自然エネルギー株式会社（TOUSEC）の紹介冊子には、こんな言葉があった。

東北自然エネルギー株式会社（TOUSEC）は、水力発電、地熱発電、風力発電、太陽光発電を、先の能代事業所（風力）はじめ6つの事業所で展開し、「自然由来の再生可能エネルギー」を集めて効率よくマネジメントする仕事をしているという。

ならば、「風」の次は「地」のエネルギーを見よう。というわけで向かった先は、秋田県湯沢市。能代市から秋田県内を南へ、宮城県、山形県と境を接する人口約4万7000

人の市である。

その名のとおりに、「いで湯の里」として知られる湯沢市には、小安峡温泉、秋の宮温泉郷、泥湯温泉などの秘湯、名湯が点在する。ぬくもりのある鄙びた風情とともに、溪谷の谷底から熱湯と蒸気が噴出する「小安峡大噴湯」や、恐山・立山と並ぶ日本三大霊地の一つ「川原毛地獄」などでは、地下に眠るエネルギーの威力を体感できる。

実は、湯沢市が位置する西栗駒一帯は国内でも有数の地熱地帯。発電のみならず、産業や観光に地熱を積極的に活用していることで知られている。地球（ジオ）に親しむ「ジオツーリズム」を楽しむ場所として、「ゆざわジオパーク」を売り込んでいる。

この地で1994（平成6）年3月に営業運転を開始した「上の岱地熱発電所」（認可出力2万8800kW）を訪ねることにした。

◆ジュール・ヴェルヌの『地底旅行』へ

「あった！ たしかに見つけたぞ。前進だ、友よ。地球の内部に向かって進むのだ」

1864年、ジュール・ヴェルヌは小説『地底旅行』で、地球内部への空想の旅をした。16世紀の錬金術師が残した暗号をたよりに、鉱物学者のリンデンブロック教授ら一行がア

イスラランドの火山の噴火口から地球の中心を目指して下降する。

それから約1500年。私たちの地球観は大きく変わった。私たちは、地球内部についての新たな知識を手に入れた。地球の恩恵を計画的に利用できるようにすらなった。

「地熱発電」である。

地球の中心へ、6000kmのトンネルを掘って降りていくとすると（実際は、太陽の表面ほどの高温や、地表の350万倍もの高圧に耐えねばならないので不可能のだが）、地殻、マントル、液体鉄（外核）を通過する。やがて、約5000℃以上の鉄の固まり（内核）に到達する。

この熱で溶けたマントルの岩石がマグマとなつてのたうちまわり、地殻を破つて地表に噴火し、火山が形成される。火山帯の地下数km〜20kmには「マグマ溜まり」があり、その温度は約1000℃にも達する。

地熱発電は、火山の下の「マグマ溜まり」の熱を利用して発電をおこなう方法である。それには、次の四つの条件がそろふ必要がある。

第1に、周囲の岩盤を熱するマグマ溜まりがあること。

第2に、雨や河川による水の供給があること。雨水や河川水が地下に浸透し、マグマ溜

まりの周囲にある岩盤の熱によって高温の蒸気や熱水になるのだ。

第3に、「キャップロック」があること。高温の蒸気や熱水を地下に閉じ込めておく蓋の役割をする難浸透性の地層である。

第4に、地熱貯留層があること。キャップロックの下に高温の蒸気や熱水が溜まり、地熱貯留層が形成される。

これらの条件を満たしていれば、地熱貯留層に井戸を掘り下げて蒸気を取り出し、タービンを回して発電できる。要するに、火力発電所のボイラーの役目を、地球にやっってもらふというわけだ。

資料④（25ページ）をご覧ください。地熱貯留層を見つけたら、地下1kmから数kmのところを広がる貯留層に向かって井戸（生産井）を掘り、高温・高圧の蒸気を取り出して、気水分離器で蒸気と熱水に分離する。蒸気は勢いよくタービンを回して発電し、熱水は別の井戸（還元井）から地下へ返す。

蒸気タービンで仕事を終えた低温の蒸気は、復水器で冷却されて凝縮し、圧力が急減する。これにより、タービンを回す蒸気の効率を高める。凝縮して復水器にたまった温水は、冷却塔を通つてさらに温度が下がり、冷却水として蒸気の凝縮に再利用されるか、地下へ

地熱発電所が広がる端緒となったという。

一方、第二次世界大戦中にラルデレロに駐留していたニュージールランド兵が、地熱発電の経験を持ち帰り、1956年にニュージールランドのワイラケイで地熱発電所を操業した。こちらは世界初の熱水卓越型地熱発電所。気水分離器の開発に成功したことで、世界中に地熱発電所が広がる端緒となったという。

世界で初めて地熱発電の実験が成功したのは1904年、イタリアのラルデレロ地方においてであった。早くも1913年には、世界初の蒸気卓越型地熱発電所（250kW）が操業を開始した。この発電所は第二次世界大戦で被災したものの、再建され、現在も電力と熱を供給している。

◆地熱発電の歴史

地熱貯留層から取り出せる蒸気が少なく熱水が多い場合は蒸気発電に適さないため、「バイナリー発電」と呼ばれる発電方法を採用することもある。これは、生産井からの蒸気や熱水で水より沸点の低い媒体を沸騰させてタービンに送り発電する方法。タービンを回した後媒体は、凝縮器で再び液体に戻され、繰り返し利用される。

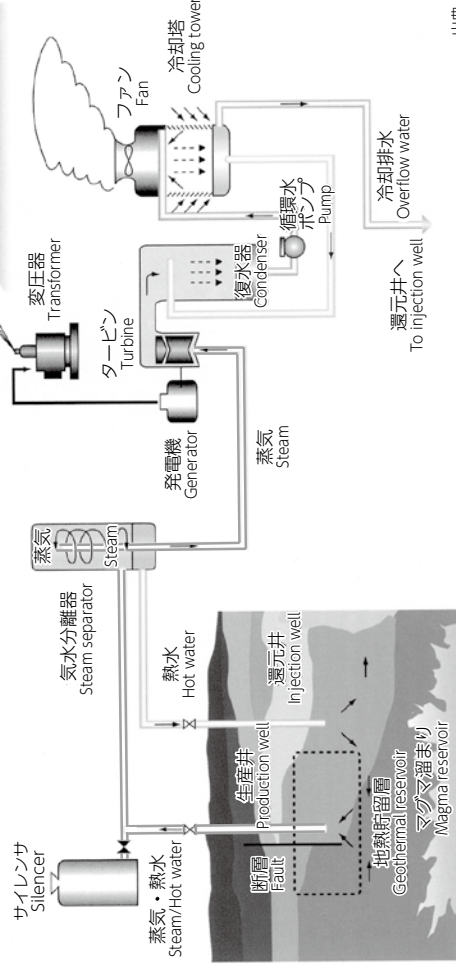
返される。

資料④ 地熱発電の仕組み

- 地下より取り出した蒸気タービンを使い蒸気タービンを回して発電している。
- 蒸気タービンで仕事を終えた低温の蒸気は、復水器で凝縮水となり、還元井から地下に戻している。

●地熱発電の仕組み

Geothermal Power Generation



出典：東北電力

日本では、1919（大正8）年に大分県別府市で海軍中將・山内万寿治が噴気孔の掘削に初めて成功した。事業を引き継いだ東京電燈株式会社の太刀川平治研究所長が1925（大正14）年、日本初の地熱発電（出力1・12kW）に成功した。

第二次大戦後、電力の安定供給という課題を抱えた日本は、水力や大規模火力発電所の建設を急ピッチで進めるとともに、地熱発電の実用化に向けた調査研究にも邁進した。

1966（昭和41）年10月には、日本初の地熱発電所として岩手県八幡平市の松川発電所（認可出力2万3500kW）が運転を開始した。翌年には、大分県九重町の大岳発電所（同1万2500kW）が続ぎ、この二つの発電所の成功によって地熱資源開発は大きく進展していった。

1970年代の二度にわたる石油ショックを契機に、石油代替エネルギー政策（サンシャイン計画）が推進され、地熱資源開発も急速に拡大した。東北地方、九州地方を中心に発電所の建設が相次ぎ、1996（平成8）年には、地熱設備の認可出力が50万kWを達成した。「地熱隆盛時代」である。

しかし、その後は、石油価格の安定と日本のエネルギー政策の転換などにより、地熱発電は横ばいの時代を迎えた。

一方、石油ショックを契機に、世界有数の「地熱大国」に成長した国が、アイスランドである。1977年のスヴァルスエインギ地熱発電所に始まり、計7か所の地熱発電所を建設した。アイスランドは現在、電源のほぼ100%を再生可能エネルギーで、うち約30%を地熱発電でまかなっている。

世界最大規模のザ・ガイザーズ地熱地帯を有するアメリカでも、1960年にガイザーズ地熱発電所ができて以来、順調に地熱発電を増やしてきた。ところが、ガイザーズでは1980年代半ばから蒸気量が減衰し、発電量が下がり始めた。

その解決策として導入されたのが、「リチャージ」と呼ばれる貯留層再生技術。生活排水の処理水を地熱貯留層に注入することで、発電能力が回復したのである。貯留層の再生技術が確立したことで、地熱発電はさらに「持続可能で、安定供給できる再生可能エネルギー」として注目されることになった。

とくに近年、温室効果ガス対策が喫緊の課題となるなか、二酸化炭素を出さず、天候にも左右されず、電力を安定して供給できるベースロード電源として、世界の熱い視線が注がれている。

対し、自国の豊富な地熱資源を背景に、国の政策として地熱発電を積極的に推進しているという。今後も地熱発電は、世界でますます増えていくとみられる。

では、資源量はどうか。国別に地熱資源量をくくると、アメリカ、インドネシア、日本、ケニア、フィリピン……などの順となっている（資料⑥）。日本は、世界3位の地熱資源量（2347万kW）があるにもかかわらず、発電設備容量は544MW（メガワット）（2015年）。地熱資源量のわずか2%しか開発されていない。まさに「宝の持ち腐れ」である。

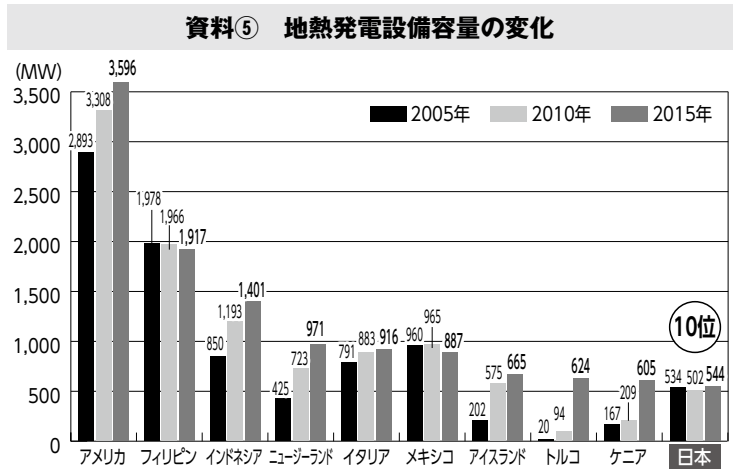
その理由として、地熱資源の多くが国立・国定公園に指定された地域にあるため、地熱

資料⑥ 世界各国の主な地熱資源量

順位	国名	資源量(万kW)
1	アメリカ	3,000
2	インドネシア	2,779
3	日本	2,347
4	ケニア	700
5	フィリピン	600
6	メキシコ	600
7	アイスランド	580
8	ニュージーランド	365

※1万kW=10MW

出典：資源エネルギー庁（総合資源エネルギー調査会資料 2016年6月）をもとに作成



出典：BP Statistical Review of World Energy, June 2016

◆世界3位の地熱資源量なのに2%しか活用していない

石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）によると、2015年、世界の地熱発電設備容量は1200万kWを突破した。2020年には2100万kWを超えると試算される。国別ではアメリカ、フィリピン、インドネシア、ニュージーランド、イタリア、メキシコ、アイスランド、トルコ、ケニアの順で、日本は2015年、ケニアに抜かれて10位になった（資料⑤）。

近年は、インドネシア、トルコ、ケニアで地熱発電が著しく伸びている。これらの国々では、経済成長にともなう電力需要の増加に

開発が長らく規制されてきたことがあげられる。また、ポテンシャルが高い地域には温泉地や自然公園が多くあるため、地域の温泉資源や観光資源との共生を前提に進める必要があり、調査から操業まで10年以上の時間がかかることもネックになっていた。

地熱資源の約8割が国立・国定公園などの自然公園内にあることから、環境省は2012（平成24）年、国立・国定公園内での地熱開発について、第二種、第三種特別地域内でも条件を満たせば開発できるとした。

続いて、2015（平成27）年10月の追加緩和により、第一種地域でも地表の噴気帯、地獄現象などに影響を与えないと考えられる計画を策定することを条件に、第一種地域外からの傾斜掘りを認可するとした。

こうした規制緩和によって、従来、資源量の26%であった地熱資源開発の検討対象が70%に広がった。

再生可能エネルギーの固定価格買取制度も、地熱を後押しする。地熱発電では、出力1・5万kW以上の場合26円/kWh（税抜き）、1・5万kW未満の場合40円/kWh（税抜き）と設定され、調達期間はいずれも15年と定められた。

地熱発電に再び追い風が吹き始めたのだ。

九州大学の江原幸雄名誉教授によると、2030年度には地熱発電を現在の3倍の150万kWにする目標を国が定め、支援策を打ち出した。これにともない、全国50か所以上で地熱発電所建設に向けた調査が、事業者や自治体により実施されている。2014年ごろからは、各地で小規模（数十〜数百kW級）、中規模（数千kW級）の地熱発電所の運転が始まった。

さらに、大規模（数万kW級）な地熱発電所としては実に23年ぶりとなる山葵沢地熱発電所（秋田県湯沢市）、八幡平地熱発電所（岩手県八幡平市）の建設が始まり、2019年以降、順次運転開始という状況になっている。

湯沢地熱（株）が湯沢市で建設中の山葵沢地熱発電所の出力は、4万2000kW。2019（平成31）年5月の運転開始を目指して工事が進められている。1993（平成5）年にNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）がここで事前調査に着手してからやはり23年が経っており、地元は再びの「地熱」熱に沸いているという。

そんな地元の「地熱」熱を支えているのが、上の岱地熱発電所をはじめとしたさまざまな地熱利用の長年の実績なのである。

湯沢市の齊藤光喜・前市長は、市民に地熱をPRする冊子『もっと知ろう！湯沢のイ

イとところ 地熱ってスゴイ！」で、次のように語っている。

「地熱発電は、再生可能エネルギーの中でも、安定という点でも有効な発電方法です。しかし、地熱発電所をつくることだけを考えるのではなく、地熱発電所と周辺の温泉地との共存共栄や、電力を地域内で消費するなど、地熱発電と地域を切り離すことなく活用していくことが理想です。地熱発電には、今後の地域活性化への起爆剤になる要素があると思っています」

「上の岱地熱発電所の建設にあたっては、地域の方々のコミュニケーションを大事にし、十分な説明をしていたら良いでしょう。上の岱地熱発電所での経験が、現在の開発においても、地元からの理解に活かされていると思います。大事なことは、開発事業者と地域の方々の信頼関係だと思っています。地域の方が不安に思うことがあれば、しっかりと手順で調査、説明を行い、地域と調和した開発をすることが重要だと思います」

◆20年以上安定供給を続ける優等生

湯沢市南部にある小安峽温泉。片足にけがをした鶴が、湯で傷を癒していたところから発見されたと伝えられる、江戸初期からの温泉場である。こんこんと湧き出る豊かな温泉、

そして、川底の「三途川層」から高温の蒸気と熱水が轟音とともに噴き出る「小安峽大噴湯」が名物という。

小安峽は、皆瀬川の急流が長年にわたり兩岸を深く浸食してきた落差60メートル、長さ8 kmものV字谷。「地獄窯」とも呼ばれる大噴湯は、渓谷にかかる川原湯橋から見下ろすか、もしくは、温泉街を貫いて走る国道から400段の石段を下りて体感するか……。

ここは地熱の威力を目の当たりにしなくては。意を決して、ぬるりと濡れた石段を下っていくと、うつそうとした渓谷の緑を湿らせて熱気が立ち上ってくる。サングラスが曇って何も見えない。谷底では、複数の噴出口から凄まじい勢いで白い蒸気が襲いかかってくる。サウナのように蒸し暑い。見上げると、白い蒸気は、青い空を背景にした赤い橋のたもとまでごうごうと上っていった(写真⑫と⑬・35ページ/小安峽大噴湯)。

小安峽大噴湯、川原毛地獄、川原毛大湯滝、三途川渓谷……。地熱パワーを堪能できる「ジオサイト」エリアの真ん中に、上の岱地熱発電所は位置する。湯沢市街からは東南へ約33 km、高松地区に位置した国有林のなかにある。

急カーブの続く細い林道に車を走らせ、山を登っていく。やがて、パッと視界が開けた一角に、山小屋風の建物とログハウス、白い円筒状の冷却塔などが立ち並ぶのが見えた。

門柱の看板に気づかなければ、登山者のための休憩施設にしか見えないが、ここが目的の上の岱地熱発電所である。

青い作業着に身を包んだ相内全所長と、東北自然エネルギー（TOUSEC）湯沢事業所の芳村仁調査役が出迎えてくださった。芳村調査役は6年間、上の岱地熱発電所長を務めた方だ（写真⑭）。

上の岱地熱発電所は、TOUSECが蒸気を生産し、その蒸気を東北電力が購入して発電する共同開発方式を採っている。1981（昭和56）年に東北電力と同和鉱業が共同調査を開始、1992（平成4）年に建設工事に着工、1994（平成6）年に営業運転を開始した。その後、1997（平成9）年に



写真⑭



写真⑮



写真⑭



写真⑮



写真⑯

認可出力を2万7500kWから現在の出力に変更した。

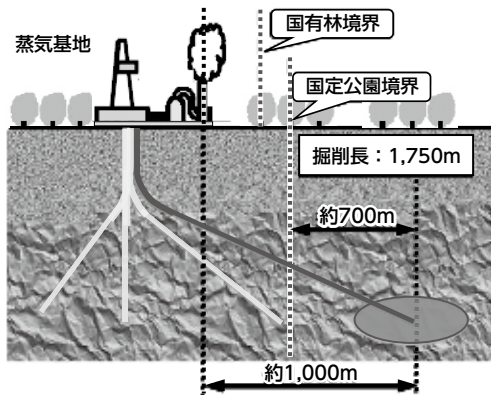
運転開始以来20年以上にわたり、平均8割を超す発電設備利用率で安定的に電気をつくりだしている優等生である。

「約6万世帯分の電気にあたります」。上の岱地熱発電所の相内所長は温厚そうな目尻を下げた(写真⑮と⑯・38ページ)。

山間に点在する総面積約18万2000㎡の敷地の一角に発電所があり、離れた4地点に生産井13本、還元井4本がある。井戸の深さは約1200〜2200メートル。約300℃の蒸気が地表で170℃になり、蒸気輸送管を通って、発電所には161・3℃、0・54メガパスカルの蒸気として届けられる。

上の岱地熱発電所の特徴は三つ。第1は、世界で初めて蒸気への清水注入方式によるタービンスケール付着抑止装置を実用化したこと。地熱発電では蒸気に硫黄分などの不純物が含まれるので、パイプやタービンなどに「スケール」という泥のようなものが付着しやすい。4年に一度の定期点検に加え、年に1度はスケールを取り除く作業が必要なのだ。近年蒸気の性状が変わり、スケール付着抑止装置を稼働させなくてもタービンノズルには、スケールがほとんど付着していないという。

資料⑦ 自然公園内への傾斜掘削井(T-56)



出典：東北電力



写真⑩

にも配慮した。

第3に、遠方監視制御方式を採用しているのも大きな特徴だ。発電所には保守管理要員が3人いるが、所長を含む5人の所員は、車で約40分の湯沢市街にある事務所から遠方監視している。積雪が3メートルにもなる冬場には1時間かかるというから、遠方監視は合理的だ。

加えて、秋田市にある秋田火力発電所からも、澄川（秋田県鹿角市）、葛根田（岩手県栗石町）、柳津西山（福島県柳津町）、上の岱の4か所5基の地熱発電設備を集中監視している。地熱発電所は火力発電所にくらべるとボイラーなどがなく、シンプルな構造になっているので、発電所から10〜30km離れた監視

第2は、小型多セル型（12セル）を採用し、冷却塔の高さを低く抑えたこと。栗駒国定公園に隣接することから、周囲との景観調和を図って山小屋風の発電所本館、ログハウスのPR館とともに、背の低い冷却塔を配置したそうだ（写真⑩／上の岱地熱発電所全景）。

さらに、「上の岱蒸気基地は国有林の中にあります。地熱貯留層は栗駒国定公園の地下に存在するので、施設敷地内から斜めに生産井を掘って、国定公園内の自然環境に影響を与えずに蒸気を確認できるようにしました」と、芳村調査役。（資料⑦・40ページ）

栗駒国定公園内での調査工事においては、掘削基地までの道路に植生をしたり、やぐらなどの掘削機器を茶色く塗ったりして、眺望



写真⑱

室から制御する運転方式を採用しているのだという。

生産井、還元井、蒸気輸送管、熱水輸送管の面倒を見るのは、TOUSECの社員らの仕事だ。配管の直径は70cm〜80cm弱。長さは1kmにもなる（写真⑱）。

「内部にスケールが付着すると蒸気の出が悪くなるので、検査しているところですよ」。100℃の蒸気が青空へまっすぐに立ち上る生産井を指差して、芳村調査役が説明する。配管は触れないほど熱い。炎天下での野外作業は、さぞかし大変だろう。

人里離れた山中での、こうした丁寧な維持管理の作業があつてこそその安定供給だと、あらためて頭が下がる思いがした。

「ゆざわジオパーク」

◆地熱で未来を切り拓く

上の岱地熱発電所を辞して北へ、高松地区の湯沢市郷土学習資料展示施設へ向かった。

途中、川原毛地獄の入口に三途川渓谷がある。三途川橋から約40メートル下を見下ろすと、断崖絶壁に足がすくんだ。500万年前〜300万年前、この一帯に大きなカルデラ湖があり、泥や砂や火山噴出物が堆積して三途川層が形成された。その層が水の力で削られて、眼下の深い渓谷となったのだという。三途川橋の両端には、閻魔大王、泰山大王、延命地藏、合掌地藏の4体の石像が鎮座する。



写真⑲

ここで立ち止まったのは、三途川を渡って閻魔大王にお目通り願いたいからではなく、渓谷の駐車場に建つ碑を拝むためだ。「拓」という一文字を大きく刻んだ赤い石には、「環境にもやさしかりにし地熱の光 未来を照らす発電の市」とある(写真⑱・42ページ)。

実はこの碑、地熱利用を推進しようという市民が1981(昭和56)年に結成した「湯沢市地熱開発促進協議会」によって1994(平成6)年に建立された。目標の一つとしてきた上の岱発電所が営業運転を始めたのを記念した、いわば湯沢市民によるエールの象徴ともいべき碑なのである。

湯沢市地熱開発促進協議会は、地熱を含めたエネルギー関連施設の見学会や講演会など、独自の活動を続けている。また、湯沢市議会でも2010(平成22)年9月に湯沢市議会地熱利用調査促進議員連盟を発足させ、国や県に対しての要望活動や地熱利用についての勉強会をおこなっているという。

さて、湯沢市郷土学習資料展示施設は、廃校となった旧高松小学校を転用した高松地区センターの2階にある。2016(平成28)年に民俗資料室や埋蔵文化財資料室、地熱温泉資料室、湯沢の鉱山と石材資料室などが増設され、「ゆざわジオパーク」の全体像がわかるようになった。郷土の歴史や自然遺産ジオパークを楽しく勉強できる場所であってほ

しい、という願いを込め、「ジオスタ☆ゆざわ」という愛称で呼ばれている(写真⑳)。

〈ゆざわジオパークは約9700万年前の神室山花崗岩類を基盤としています。太古の火山噴火の痕跡や、長い年月をかけて大地を侵食した水のはたらきなど、湯沢市の大地の成り立ちを克明に刻み込んだジオサイトがたくさんあります。〉

〈地中深く息づく火山活動は、豪雪がもたらす豊富な水と出会い、「湯沢」の名が示す通りの豊富な温泉や、小安峡大噴湯といった自然の驚異として地上に姿を現します。それはまさに、「見えない火山」を体感する瞬間です。〉

〈そして、その大地のうえで生活する人々



写真⑳

「湯沢の大地の歴史室」には、湯沢市の土地の基礎となっている約1万年前の岩石から現在までの地層や岩石が展示されている。恐竜時代、湯沢市のほとんどが海底にあった時代の、大きな火山活動が群発していた時代などの説明を伺うと、地球のダイナミックな活動の凄まじさを実感した。

「押切伸三・遠川化石資料室」には、カルデラ湖から採集された化石の数々が並ぶ。翅まできれいに見える昆虫の化石は、先ほどまで生きていたかのように生き生きと古代のようすを伝えてくれる。

「院内銀山」に代表される鉱山の歴史を伝える史料や、掘り出された鉱石、石材なども展示されている。火山の噴火でできた火山灰



写真②



写真①

の暮らしや文化、歴史に触れられることも大きな魅力です。「銀」などの鉱物資源や「湧水」といった大地の恵みは、日本酒や稲庭うどんなどの湯沢市の産業に結実し、さらに未来に向けて「地熱」という大きな可能性を与えてくれています。」

湯沢市ジオパーク推進協議会の「ジオサイトマップ」には、ゆざわジオパークの特徴がこう記してある。「ジオスタ☆ゆざわ」ではこれらの特徴を、展示物を通して見たり触ったりできるというわけだ。

湯沢市総務部企画課の小山貢主査、ゆざわジオパークガイドの会の認定ジオガイドである佐藤昭男さん、菅勇悦さん、小田嶋秋一さんらにガイドをしていただいた（写真①）。

が固まってきた「院内石」、温泉成分からできた小さな球状の沈殿物が集まってできた鮎状珪石（じじょうけいせき）、別名プリコ石（国指定天然記念物）なども珍しい（写真②・46ページ）。

「地熱温泉資料室」には上の岱地熱発電所をはじめ、建設中の山葵沢地熱発電所、小安地域および木地山・下の岱地域での地熱資源開発調査、地熱活用事例などのカラーパネルや実物展示品が並べられており、地熱利用の現状を学ぶことができる。

◆地熱資源の多段階利用

「湯沢市では発電以外にも、乳製品や乾燥野菜の製造など、地熱を大いに利用しているんですよ」。パネルを指差しながら、小山主査やガイドの皆さんが口々に解説してくださる。（写真③・48ページ）。

たとえば、皆瀬村地熱利用温室組合では、水耕ミツバに温泉井からの熱水を活用し、低コストで周年栽培を実現したという。ミツバ栽培団地には温泉熱を利用したビニールハウスが18棟あり、約80℃の温泉が小安峡温泉から国道沿いのパイプラインで運ばれている。地熱水活用トマト実証事業、パクチーやミントといった香草類の水耕栽培の実証事業にも

のりでした。

皆瀬地熱利用農産加工所では、切り干し大根や乾燥野菜の製造、山菜の煮沸などに温泉を利用してはいる。大根、カボチャなどを細かく切って約90℃の温泉で湯がき、50～60℃の熱風で6～8時間かけて乾燥させる。

「湯沢翔北高校の高校生が考案し、販売している温泉熱利用の乾燥サクランボ（ミツチエリー）も大好評なんですよ」と、ガイドさんたちは目を細める。

湯沢翔北高校では、授業で学んだ商業の知識や技術を活かし、高校生ならではの視点で「地熱のまち・湯沢」プロジェクトに取り組んでいるという。商品開発のほか、地熱PRキャラクター「ポチねつ」の制作、地熱スポッ



写真③

トをめぐる地熱観光ツアーなど、行政や地元企業、農商工関係者らも巻き込んだの活動には、地元の大きな期待が寄せられている。

小安峡温泉に程近い「栗駒フーズ」は、地熱エネルギー開発利用モデル事業として認定を受け、1988（昭和63）年4月に営業を開始した。温泉を使った低温殺菌牛乳と乳製品の製造販売をおこなっている国内初のビジネスモデルという。経産省「新エネルギー百選」、環境省「地熱エネルギー優秀賞」、秋田県地球温暖化防止部門「環境大賞」など、数々の賞を得ている。

「ぜひ温泉利用の低温殺菌牛乳を飲みたい！」というわけで、栗駒フーズに足をのびした。『釣りキチ三平』で知られる秋田県出身の漫画家・矢口高雄さんが描いた愛嬌のあるクマの看板が目印である（写真②4・50ページ）。

「小安4号井から98℃のお湯を1時間あたり10トン、パイプラインで引き込み、飲用牛乳は65℃、その他の加工乳は75℃で低温殺菌処理をしています」とのこと。牛乳本来の成分と風味を壊さないようにしているという牛乳は、ほんのり甘く優しい風味がした。

ヨーグルトは、低温殺菌牛乳をやはり温泉熱でじっくりと乳酸発酵させる。牛乳びんの洗浄、乾燥にも温泉熱を利用しているという徹底ぶりには驚いた（写真②5・51ページ）。

レンコン、ハニーなど、さまざまな味のヨーグルト、ソフトクリーム、ジェラート、コーヒー牛乳など、バラエティ豊かな商品ラインナップに、栗駒フーズのみなさんのやる気かじみ出ている。あれもこれも試してみたくて迷ってしまった。自然の恵みを味わいに、また何度でも来たいと思った（写真②6・51ページ）。

◆地域と共存共栄する地熱発電

このように地熱は発電のみならず、温度帯に応じて多段階にさまざまな用途で活用できるエネルギーだ。200～300℃の熱水・蒸気を発電所で利用した後、温度に応じて段階的に2次利用、3次利用していく「カスケー



写真②4

「ド利用」で、未利用エネルギーを有効活用できる。

「浴用の温泉が代表的ですが、そのまま暖房に使うことも可能で、ヒートポンプの熱源とすれば給湯や冷房まで活用できます。発電用の井戸から出た熱水は、ヒ素などの有害物質を含む場合もあるので直接利用はできず、地下に還元しなければなりません。真水と熱交換して給湯ラインをつなぐことができれば、さまざまな利用が可能となります。農作物の温室栽培や養殖、木材乾燥、乾燥野菜やドライフルーツの加工、温水プールや造成熱水の供給、道路融雪などに活用されています」と、湯沢市企画課の出前講座資料にある。

TOUSECが蒸気供給から発電まで一貫して運営する松川地熱発電所（岩手県八幡平市、認可出力2万3500kW）は、1966（昭和41）年10月に運転開始した国内初の商用地熱発電所だが、ここでは運開以来、地域の温泉旅館に暖房用として地熱蒸気の一部を供給してきた。

JOGMECによると、1971（昭和46）年には、金沢観光団地のホテル八幡平ハイツへ6kmの引湯管を敷設し、蒸気凝縮水を加温した温水の有償供給を始めた。この成功を受けてホテルや別荘が相次いで建設され、八幡平温泉郷の形成につながったという。現在は、保養所や福祉施設、農業用ハウスなど、約800施設で温水が利用されている。



写真㉔



写真㉕

また、地熱蒸気を使った「地熱染め」をはじめ、地熱を利用した馬糞堆肥作り、マッシュルーム栽培、大手コンビニチェーンとタイアップしたピーマンのハウス栽培・販売などにも地熱が貢献しているそうだ。

私はこれまで、日本最大の八丁原（大分県九重町）をはじめ、鬼首（宮城県大崎市）、八丈島（東京都八丈町）の地熱発電所も見たことがある。上の岱地熱発電所同様、いずれも既存の温泉に影響を与えた例はなく、むしろ温水を活用して光熱費の削減や産業の活性化に役立てたり観光資源にしたりと、積極的に活用していた。こうした地域へのメリットも、広く知ってもらう必要があるだろう。

湯沢市では、小中学校や町内会への出前講座や親子見学会を催して、地熱エネルギーの理解促進に努めている。さらに、「湯沢市地熱開発アドバイザー」の任命、「地熱エキスポ」や日本地熱学会の開催、国内最大の八丁原地熱発電所の視察活動などもおこなっている。

こうして、地域と共存共栄する地熱発電の好事例が増え、地熱への関心が高まってきたことで、これまでネックとされてきた開発リスクやリードタイムなどの課題についても、改善への取り組みが始まった。

たとえば、環境アセスメントの期間短縮に役立つ技術開発や、エコロジカル・ランドス

ケープデザイン手法を活用した景観設計手法の開発などが、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）によって進められている。

日本にとって地熱発電とは、①純国産エネルギー、②発電時に二酸化炭素をほとんど出さない、③年間を通じて安定的に発電できるベースロード電源、④地域振興に貢献できる——という四つの大きな価値をもたらしてくれる「宝」である。自然環境や地域と共存しつつ、地熱という宝のさまざまな価値を地球からお裾分けしていただく余地が、日本には大いにある。

「多様性」と「適材適所」。日本のエネルギーを支える「ひとのパワー」と「自然のパワー」を肌で感じた貴重な旅であった。

著者略歴



東嶋 和子（とうじま わこ）

【現 職】

科学ジャーナリスト
筑波大学非常勤講師
青山学院大学非常勤講師

【略 歴】

1985年筑波大学比較文化学類卒業（在学中、米国カンザス大学へ文部省交換留学）、読売新聞社入社。
本社科学部記者などをへて91年退社後、フリーランス・ジャーナリストとして科学分野を中心に取材・執筆。

とくに医療、生命科学、環境、エネルギー、科学技術分野で「いのち」をキーワードに、科学と社会の関わりを追っている。

月刊文藝春秋に11年間連載したコラムをまとめた『水も過ぎれば毒になる 新・養生訓』をはじめ、『人体再生に挑む』『死因事典』『放射線利用の基礎知識』など、著書多数。

外務省外交フォーラム外務大臣賞、日本原子力学会優秀活動賞受賞。国の各委員等も数多く務める。

以上