

地熱開発に関するモニタリングを考える

野田 徹郎

1

本日のお話

- イン트로ダクション
- モニタリングに関する様々な規程
 - 温泉資源の保護に関するガイドライン(改訂)(環境省自然保護局, 2014)
 - 温泉モニタリングマニュアル(環境省自然保護局, 2015)
 - 小規模地熱発電プラント設計ガイドライン(JOGMEC, 2015)
 - 事業策定ガイドライン(地熱発電)(資源エネルギー庁, 2017)
 - 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)(環境省自然保護局, 2017)
- あるべきモニタリングの姿を目指して

2

本日のお話

- **イントロダクション**

- **モニタリングに関する様々な規程**

温泉資源の保護に関するガイドライン(改訂)(環境省自然保護局, 2014)

温泉モニタリングマニュアル(環境省自然保護局, 2015)

小規模地熱発電プラント設計ガイドライン(JOGMEC, 2015)

事業策定ガイドライン(地熱発電)(資源エネルギー庁, 2017)

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)(環境省自然保護局, 2017)

- **あるべきモニタリングの姿を目指して**

モニタリング神話

地熱開発事業者, 源泉所有者ともに

(地熱発電の温泉への影響について)

モニタリングをしっかりやっているから大丈夫 → ×

モニタリングはやるだけでは免罪符にならない

役に立つモニタリングを行うことが重要

モニタリングは何の役に立つのか? ⇒ モニタリングの目的

モニタリングの目的

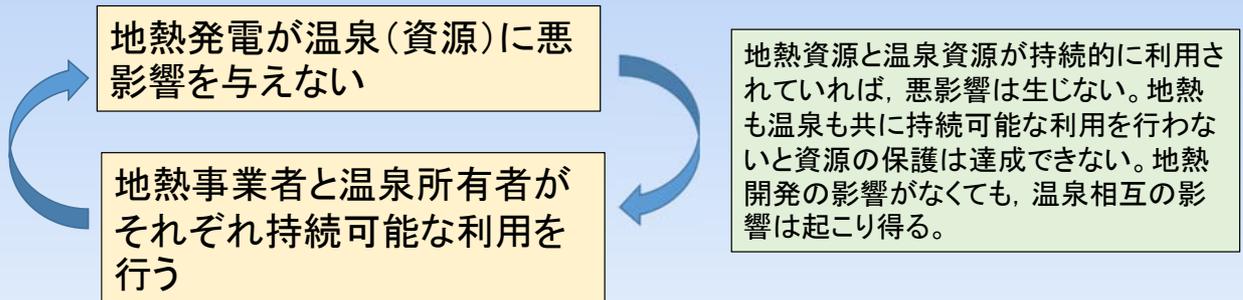
モニタリングの目的は、

地熱発電が温泉資源に悪影響を与えないか

を知るのが目的と思われがちだが、基本的に大事なものは

地熱資源と温泉資源がそれぞれ持続的に利用されているか

を知ることである。



5

本日のお話

- イン트로ダクション

- **モニタリングに関する様々な規程**

温泉資源の保護に関するガイドライン(改訂)(環境省自然保護局, 2014)

温泉モニタリングマニュアル(環境省自然保護局, 2014)

小規模地熱発電プラント設計ガイドライン(JOGMEC, 2015)

事業策定ガイドライン(地熱発電)(資源エネルギー庁, 2017)

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)(環境省自然保護局, 2017)

- あるべきモニタリングの姿を目指して

6

温泉資源の保護に関するガイドライン（改訂）

平成26年4月
環境省自然環境局

温泉資源の保護に関するガイドライン（改訂）（平成26年3月）の背景

温泉資源の保護に関するガイドライン（改訂）（平成26年3月）は温泉資源の保護に関するガイドライン（初版）（平成21年3月）をほぼ踏襲したものである。そこには群馬県水上温泉における温泉掘削不許可処分取消請求訴訟（2003）の判例のような不許可が安易に認められない情勢に危機感を感じた温泉業界から、不許可事由の判断基準に距離規制の正当性を示すよう働きかけがなされた。すなわち**既存温泉事業者（一部）の守旧性、排他性に基づく既得権主義**の考え方が影響している。

群馬県水上温泉における温泉掘削不許可処分取消請求訴訟（2003）

新規掘削申請者が群馬県の温泉掘削不許可処分を不当として訴訟
前橋地裁で、群馬県が不許可処分の理由として示した「温泉の湧出量、温度又は成分に影響を及ぼす」事由は科学的でないとして群馬県敗訴
群馬県が不服として上告した東京高裁で、群馬県が主張した新規掘削事業者が同意書や覚書の取り交わしに応じないことは公益を害するおそれに当たる点も該当しないとして群馬県敗訴

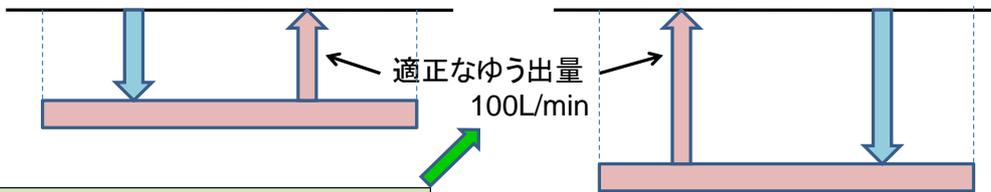
現在も後をひく



「温泉資源の保護に関するガイドライン」（2009）に示されている温泉モデル

深度を限定しない（浅層？）距離規制
369～449mが妥当
日本の年平均地下水涵養量365mm（降水の10%）のすべてが温泉化する（熱は問わない）

大深度掘削泉（1km以深）の距離規制
1.03～1.78kmが妥当
15℃を45℃に加温する熱量を地殻熱量0.5～1.5HFUでまかなう（量は問わない）
降水の3.53%が温泉化



適正な湧出量は地域により違うのでは？

変なモデル

強引な規制距離基準
両方のモデルを
地熱井にも適用

それは残念です

いずれも単層の層状としているが
温泉のあるところには地下水はない？
複数（上下及び水平方向）の帯水層はない？
日本に多い裂隙泉は考慮しない？
大深度掘削泉は低温のものが多いのでは？
大深度掘削泉には涵養のない化石海水が多いのでは？

温泉資源保護のためにやるべきこと

都道府県が温泉資源保護のための条例・要綱等を定めるに当たっての参考となり、対策を円滑に進めることができるよう、新規事業者による掘削や動力装置の許可等の基準の内容や、都道府県における温泉資源保護のための望ましい仕組みについて、国は、温泉は国民共有の資源であるという観点に立って、できるだけ**具体的・科学的なガイドライン**を作成すべきである。

温泉の採取開始後においては、**井戸の水位や採取量等について定期的なモニタリング**を行うことが、地域の温泉資源の状況を把握し、**過剰な採取を抑制し、その保護を図る**上で極めて重要となる。

また、**既存源泉所有者等**にとっては、温泉資源保護のための**モニタリング**を通じて、源泉の状態把握や異常の有無等により、**自己が所有する源泉の健全性の確認や井戸の適切な維持・管理**が可能となる。また併せて、将来、**近傍で新たな温泉掘削等**が行われる場合において、当該温泉掘削等により**所有源泉に影響が生じた際の科学的根拠**となる貴重なデータともなる。

こうしたことから、すべての源泉において水位等のモニタリングを行うことを基本とし、特に水位計等の設置が比較的容易と考えられる**新規掘削源泉**においては、必要な**測定機器の設置**又は**モニタリングの実施**を容易にするような**井戸設計**を行うよう指導すべきである。また、**既存源泉**においても、**観測機器の有無にかかわらず水位等の定期的な測定**を促すとともに、**都道府県**は法に基づいて、報告徴収や立入検査権限を積極的に活用し、**モニタリングデータを収集**することも検討すべきである。

次の望ましい方向はいいね！

科学的思考

既存源泉を含むモニタリングの推進



だが地熱を公平に扱うべきとの言及なし

9

モニタリングの実施方法

いいね！ 観測法、項目、頻度、データの活用

温泉資源の状況を的確に把握するためには、温泉に係る数多くのデータを常時把握しておくことが望ましく、**モニタリング手法の原則は「自動観測(自動測定・自動記録装置による常時観測)」**とする。しかしながら、経済的な理由や源泉の構造上の理由により**これが実現できない場合には「現地観測(人による定期的な観測)」**を実施することも可能である。

モニタリングの項目としては、**温泉の湧出量、温度及び水位(自噴の場合は孔口圧力)**が適当であるが、法第2条の温泉の定義に該当するための成分の基準値と差が小さい場合や有害物質を含む場合には、温泉としての維持管理もしくは健康被害防止のため、温泉の**主要成分やガス成分濃度の確認や電気伝導率の測定**が必要な場合もある。

観測の頻度については、**自動観測の場合は原則として1時間に1回、現地観測については、原則として1ヶ月に1回以上測定**し、その結果を定期的に都道府県が独自に制定する条例等により都道府県に報告させる仕組みをつくるのが望ましく、必要に応じ、法に基づく報告徴収又は立入検査の実施も行うべきである。なお、温泉法の一部を改正する法律(平成19年法律第31号)により、定期的に実施されることとなった温泉成分の分析結果についても**温泉資源の状況を把握**する上で極めて貴重なデータであり、他のモニタリング項目とともに**記録が適切に保管・活用されるべき**である。

10

近年の温泉利用形態について

(1) 温泉を用いた発電

温泉発電は、浴用利用等と比較して高温かつ多量の温泉を必要とするため、新規掘削による発電の場合や採取量を増加させる等の場合には**事前の賦存量の把握などの調査及び発電開始前後のモニタリング**等が持続的に利用するために重要となる。地域の特性や実情に沿った温泉資源の保護の観点からも、必要に応じて都道府県は温泉発電に関する知見を収集することが重要である。

温泉発電についての言及 **不十分**



11

小規模地熱発電プラント 設計ガイドライン

概要版

平成27年2月

委託：独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC)
委託：一般財団法人 エンジニアリング協会 (ENAA)

12

小規模地熱発電におけるモニタリング

周辺源泉のモニタリングを計画することを推奨します。



モニタリング実施のメリット

- 1) 観測データを周辺の温泉事業者との合意形成に活用することが可能です。
- 2) 温泉事業者と地熱発電事業者が一緒にモニタリングすることで、温泉事業者が変動要因を理解する一助となります。

【留意点】

地熱発電による影響の有無を確認することができます。

ほんのさわり



モニタリング内容

1. 観測項目
 - a. 水位（自噴では坑口圧力）
 - b. 湧出量
 - c. 温度
2. 観測方式：現地観測
 - ・観測頻度：1日1回～週1回を基本
 - ・観測期間：長期間のモニタリングが重要
 - ・観測機器一式の費用：6～7万円
 - ※ 機器の購入費用が比較的安く、簡単なスキルで実施可能で、温泉事業者によるモニタリングが可能です。

【参考】自動観測で行う場合

- ・観測頻度：1時間に1回程度
- ・観測期間：常時観測
- ・観測機器一式の費用：80万円程度

13

温泉モニタリングマニュアル

平成27年3月

環境省自然環境局

○温泉モニタリングを行う目的

1. モニタリングを行う目的

○モニタリングの基礎と準備

2. 温泉モニタリングに関する基礎知識
3. モニタリングの準備
4. モニタリングに必要な機材

○モニタリングの実際

5. モニタリング項目及び測定方法
6. モニタリング実施時の注意事項
7. モニタリング機器の保守点検、管理、注意点等

○モニタリング結果の活用

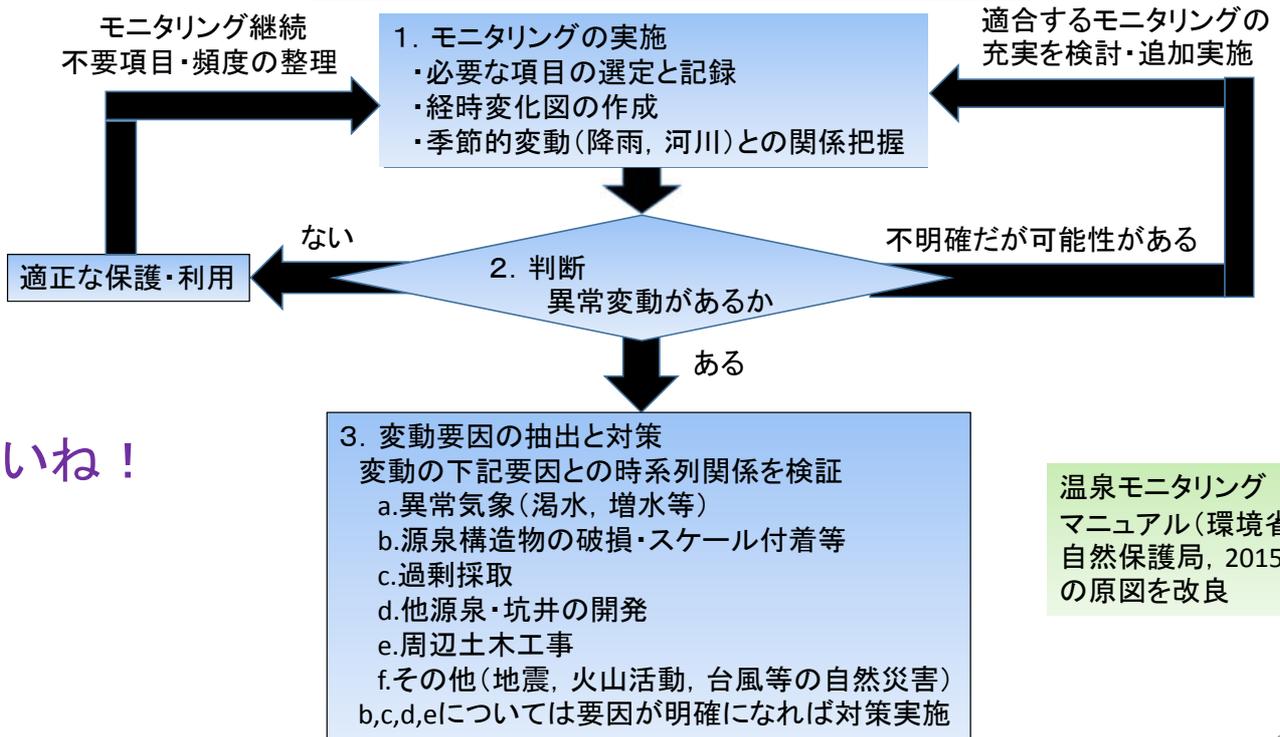
8. モニタリング結果の活用 ⇒モニタリング実施と活用の流れ
9. 温泉の保護（啓発と連携） ⇒温泉保護における啓発と連携
10. 実施主体により想定される温泉モニタリング内容とその活用、注意点

いいね！全体的に非常に参考になる
定量評価に踏み込んでいないなど足りないことを後述



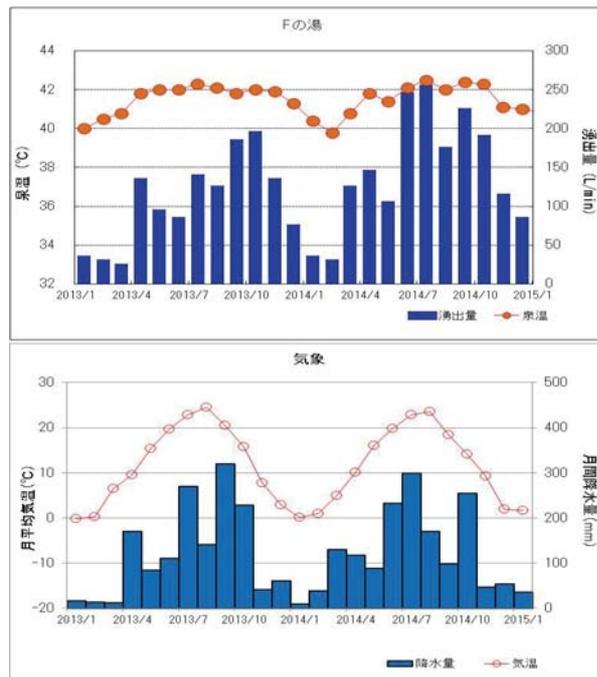
14

モニタリング実施と活用の流れ



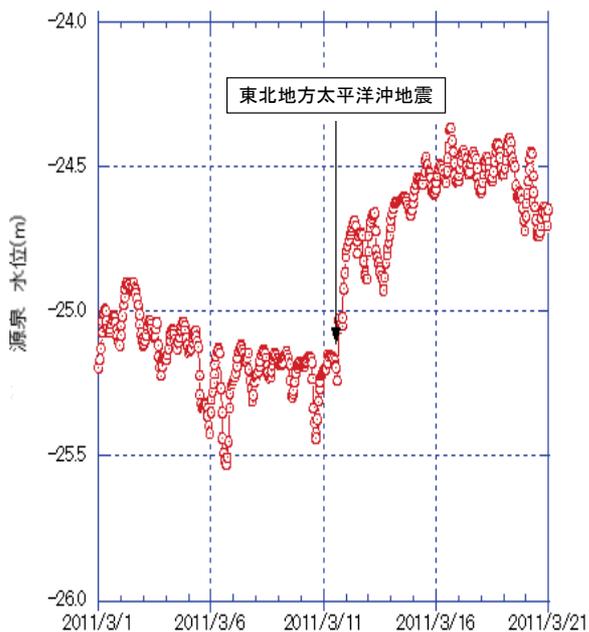
温泉モニタリングマニュアル
(環境省自然保護局, 2015)
に示された変化事例(1)

降水量の変化に伴う自噴 温泉湧出状況の変化例



温泉モニタリングマニュアル
(環境省自然保護局, 2015)
に示された変化事例(2)

地震に伴う温泉水位の変化例(大塚他 2012)

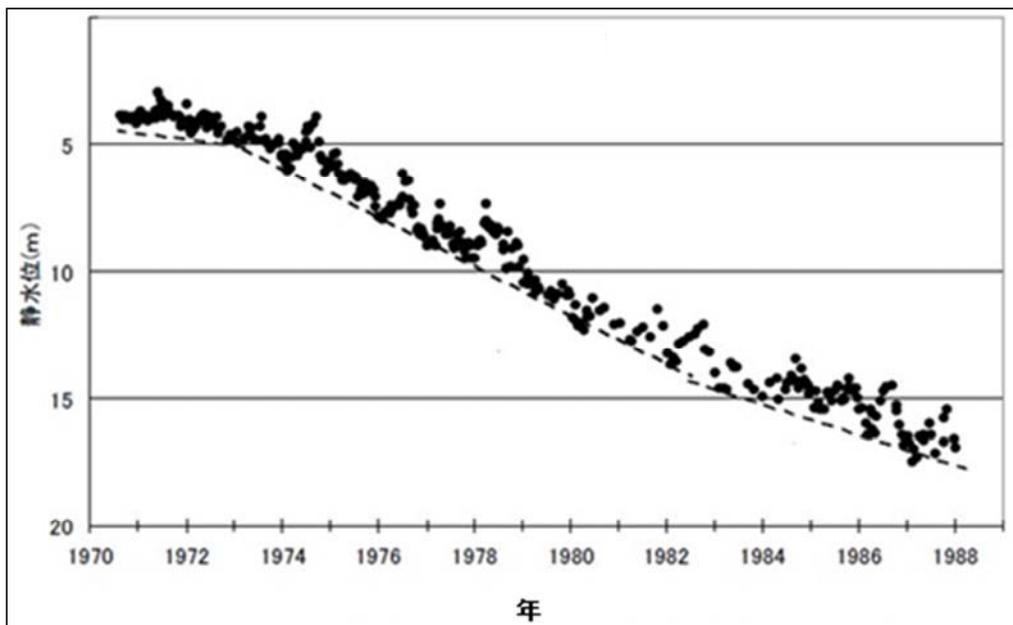


震央より約 1000km 離れた温泉での水位変動事例

観測項目は未利用源泉の静水位で、1時間ごとに自動観測が行われている。毎日の水位における小さな周期的変動は、周辺源泉の揚湯量変動による影響であるが、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震発生後に水位が上昇し、同日の23時30分には0.43m水位が上昇した。

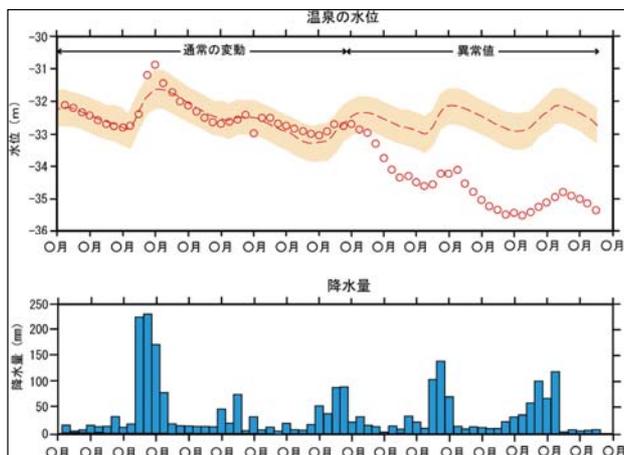
温泉モニタリングマニュアル
(環境省自然保護局, 2015)
に示された変化事例(3)

箱根湯本の温泉水位の経年変化(大山 1989)



周辺の源泉数増加や採取量の増加に伴って、静水位の低下が継続していたことが分かる。

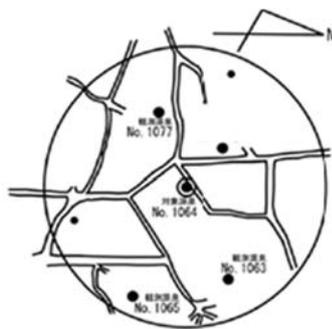
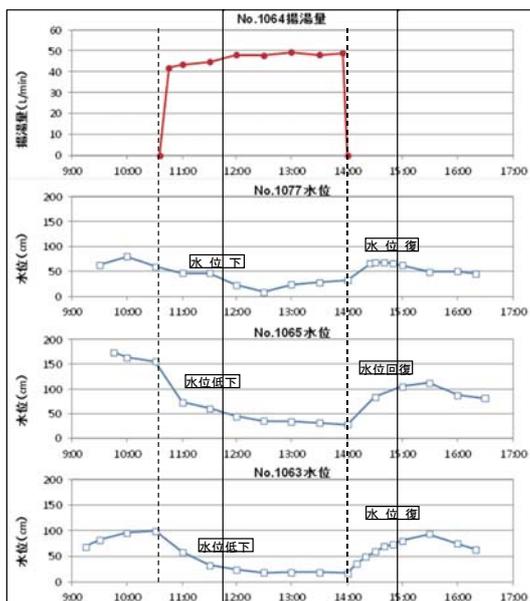
モニタリング結果からの判断



- ①状況把握: 普段からモニタリングにより、通常時の変動幅を把握し、通常時の変動範囲から逸脱した変化がないか判断を行う。
 - ②原因究明: 異常が確認された場合は、その変動時期と原因となる要因の有無について調べる。
 - ③対策の実施: 原因の特定により適切な対策を講じ、モニタリングにより効果を確認する。
 - ④時系列変化から資源動向を評価し、温泉の維持管理や将来計画の参考とすることもできる。
- ※モニタリングを行わず対策が遅れると資源の衰退は進行し、湧出量の減少や水位の低下のみならず、温度の低下、成分濃度の低下といった現象まで招くことになりかねない。

いいね! 定量評価につながる

温泉の揚湯に伴う近隣源泉の水位変化 (山下・由佐 1969 に加筆修正)

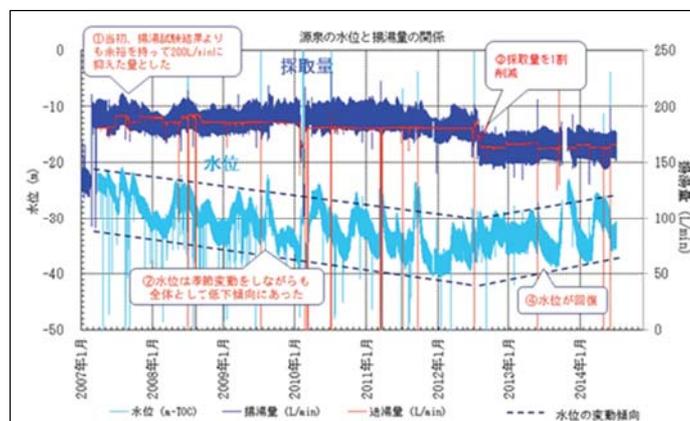


揚湯源泉No.1064からの距離(m)

No.1077	58
No.1065	88
No.1063	74

別府温泉での源泉間影響調査事例。No.1064 源泉を 40~50L/min 揚湯した際の周辺源泉の水位変動を示している。水位低下の現れ方は、各源泉の位置関係でも異なる。

採取量の見直しを行った事例



適正揚湯量以下で控えめの温泉採取を行っていたにもかかわらず、水位低下傾向が長期間にわたり継続したため、揚湯量の減量調整を行い、湧出状況の改善(水位安定)に成功した事例

モニタリング結果に現れる変化と想定される原因の例

原因	変化の様相				備考
	温度	湧出量	水位	成分濃度	
過剰揚湯, 資源量の衰退, 湧出部の埋没, 目詰まり	不変 もしくは 低下	減少	低下	不変 もしくは 低下	徐々に進化していく
周辺源泉の開発による影響	不変 もしくは 低下	減少	低下	不変 もしくは 低下	周辺での温泉採取の開始時期に対応した変化があるか
渇水	不変 もしくは 上昇	減少	低下	不変 もしくは 上昇	源泉により変化の現れ方が異なる
揚湯管などの破損, ポンプの能力低下	不変	減少	上昇	不変	海岸での成分濃度は増加
地震	状況により変化は様々				

実際には源泉の特性により、変化の様相はそれぞれ異なる。モニタリング結果のみでなく、周辺環境や源泉設備の状況についても考慮して、原因について推定し対応する必要がある。

温泉モニタリングマニュアル(環境省自然保護局, 2014)

ガイドライン制定の趣旨・位置付け

事業計画策定ガイドライン
(地熱発電)

平成29年3月
資源エネルギー庁

FIT制度創設により新規参入した再生可能エネルギー発電事業者の中には、**専門的な知識が不足**したまま事業を開始する者も多く、**安全性の確保や発電能力の維持のための十分な対策が取られない**、**防災・環境上の懸念等をめぐり地域住民との関係が悪化する等**、種々の問題が顕在化した。そこで、適切な事業実施の確保等を図るため、平成28年6月にFIT法を改正し、再生可能エネルギー発電事業計画を認定する新たな認定制度が創設された。

経産局担当者が認定を行いやすいレベル

23

源泉モニタリング

いいね！

- ① 「**源泉モニタリングの要件**」に記載する要件に照らして適切な源泉モニタリングに係る**実施計画**を策定し、計画どおりに実施すること。
- ② **FIT認定申請を行う1年前から源泉モニタリングを実施**すること。また、FIT認定申請に際しては、源泉モニタリングに係る実施計画及び源泉モニタリングの**実績を提出**すること。
- ③ 地熱発電事業者が、当該地熱発電事業者の地熱発電設備に蒸気・熱水を供給する**坑井を所有していない場合**、当該坑井の**所有者**に源泉モニタリングに係る実施計画の策定及び源泉モニタリングの**実施を求める**こと。

24

区分

いいね!

出力1,000kW未満

区分A) 既存井戸を活用した小規模な温泉発電

平成29年3月31日までに、工事完了届のあった井戸を用いた地熱発電
(当該井戸の代替井を発電に用いる場合を含む)

区分B) 新規掘削による小規模な地熱発電

平成29年4月1日以降に、工事完了届のあった井戸を用いた地熱発電

出力1,000kW以上

区分C) 中規模な地熱発電 出力1,000kW以上 7,000kW未満

区分D) 大規模な地熱発電 出力7,500kW以上

25

周辺坑井のモニタリング内容

区分A

測定不要

区分B

測定対象 至近の源泉2か所以上

測定頻度 連続自動観測又は現地観測(四半期に1回以上)

測定項目 湧出量, 泉温, 井戸の水位(自噴泉は坑口圧力), 電気伝導度

区分C

測定対象 半径3km以内の至近の源泉3か所以上

測定頻度 連続自動観測又は現地観測(四半期に1回以上)

測定項目 湧出量, 泉温, 井戸の水位, 電気伝導度, 主要化学分析

区分D

測定対象, 頻度, 項目 環境アセスメントにおける実施内容による

科学的でない 実用的でない 甘い



26

発電用坑井のモニタリング内容

区分A, 区分B

測定対象 当該源泉

測定頻度 連続自動観測又は現地観測(四半期に1回以上)

測定項目 湧出量, 泉温, 井戸の水位(自噴泉は坑口圧力), 電気伝導度

区分C, 区分D

測定対象 すべての生産井

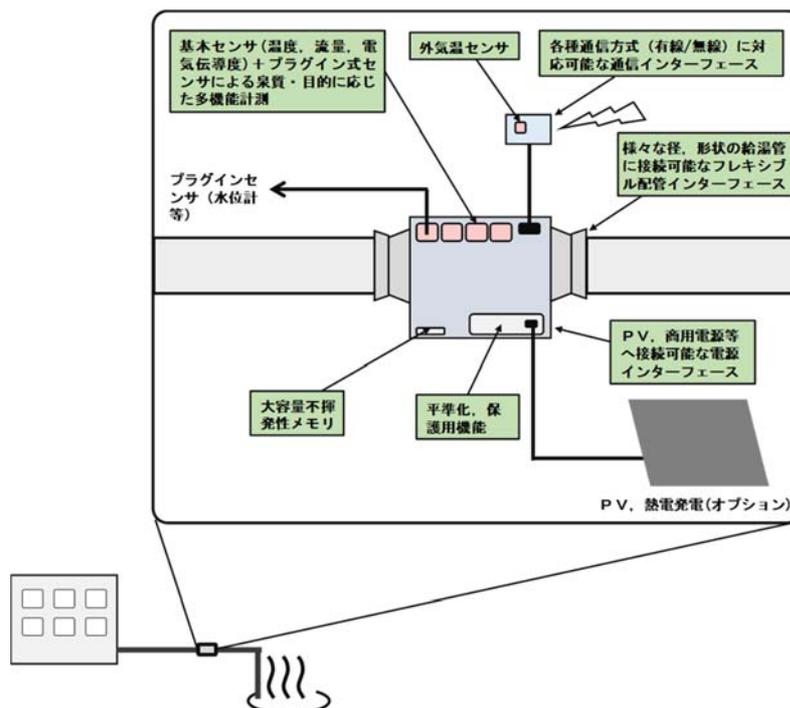
測定頻度 連続自動観測

測定項目 坑口圧力, 蒸気流量, 熱水流量, 生産流体の化学性状, 坑井内検層, 地熱貯留層の圧力, 温度, その他必要な項目

頻度, 項目の整理は いいね!

27

産総研福島再生可能エネルギー研究所で開発中の温泉モニタリング装置



目標

温泉の変動を遠隔モニタリング
 流量, 温度, 電気伝導度
 従来品の組み合わせより小型化
 長さ 1/5 重量 1/10
 基本構成価格 20万円
 平成29年度完成

28

評価

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)(案)

平成29年〇月
環境省自然環境局

「温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)」は、温泉資源の保護を図りながら地熱発電の導入促進に寄与するものとしている。しかるに、ガイドラインは、地熱発電の導入促進につながっていない。その原因として次のことがある。

通常の温泉の掘削許可と地熱開発のための掘削許可についての温泉法の適用は不公平があってはならない。ところが、地熱開発のための掘削許可については、判断に係る情報として多種多様な資料が例示されるなど、申請時に負担の大きい作業が課せられており、また、都道府県の規則が厳しく、科学的でないケースが見られる。さらに、審査を行う温泉部会の構成が片寄っていて地熱発電の知識を有する委員が不在か少ない。

その結果、温泉については、温泉相互の影響により、温泉資源の保護が損なわれている例が数多いのに甘く取り扱われている一方、地熱開発の温泉への影響を示す客観的事実がなく、影響の因果関係が立証されていないにもかかわらず、地熱発電に対し温泉に比べ不公平な厳しい規制が行われ、ガイドラインの公正さが疑われる状況にある。

だが、地熱発電と温泉の取り扱い⇒不公平



構造試錐、還元井、観測井の掘削許可が不要となったのはいいね！

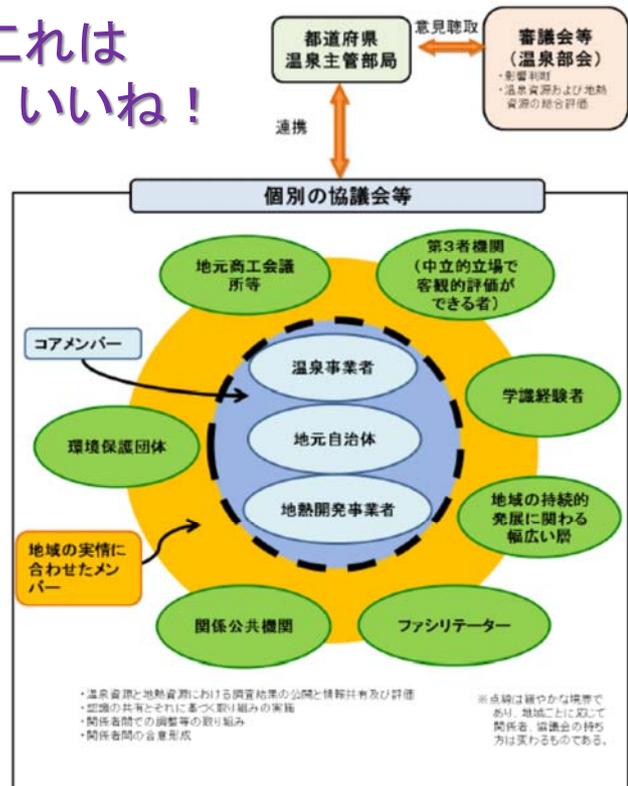
29

モニタリング等の情報に基づく関係者間の合意形成

モニタリング結果および各種調査情報は、温泉事業者、地熱発電事業者等にとって、資源を適正に維持・管理することを可能とする上で不可欠な情報となる。温泉地におけるモニタリングは平時から行い、モニタリング結果の整理と各種調査情報の共有化と公開に努めるべきである。また、必要に応じて、信頼性向上のため、第三者機関等による検証を行うことも考えられる。

こうした情報の共有等を行うために地熱発電事業者、温泉事業者及び関係する市町村等の第三者を加えた場(以下、本ガイドラインでは「協議会等」という。)を設置し、定期的を開催することが考えられる。

これはいいね！



30

本日のお話

- イン트로ダクション

- モニタリングに関する様々な規程

温泉資源の保護に関するガイドライン(改訂)(環境省自然保護局, 1914)

小規模地熱発電プラント設計ガイドライン(JOGMEC, 1915)

温泉モニタリングマニュアル(環境省自然保護局, 1915)

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)(環境省自然保護局, 1917)

事業策定ガイドライン(地熱発電)(資源エネルギー庁, 1917)

- あるべきモニタリングの姿を目指して

31

モニタリングの三つのポイント

1. モニタリング対象地点の選定

2. モニタリングの項目と頻度

3. モニタリング結果の解析

1. どこでモニタリングをやればよいか(どこはやらなくてよいか)という視点を導入した。

地熱貯留層ー温泉帯水層のつながり具合と距離を基に検討した。

温泉だけではなく、湧水、地下水も視野に入れた。

2. 温泉水, 熱水だけでなく蒸気試料も対象にした。

3. 定量的解析に踏み込み, 時系列統計解析による基準値を設け, 影響を判断し将来予測を可能にした。

⇒霧島市による地熱発電事業者向けに提示する源泉等モニタリング基準

32

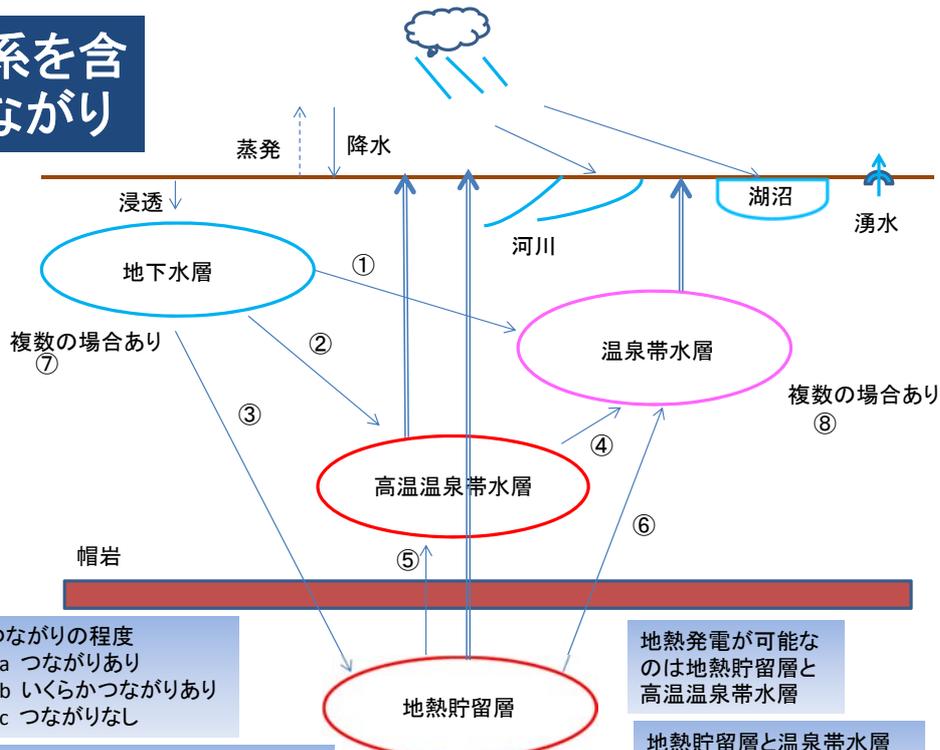
モニタリング対象地点の選定

対象種別	選定ランク	選定方法	順応的管理
湧水・地下水	基本	事業用開発源泉に関連すると考えられる半径1km以内の湧水・地下水。各地下水帯水層を代表する湧水・地下水の見当がつけば絞り込み可。	モニタリングの経過で対象地点が不足であれば増強し、省略できるようであれば縮小。また、モニタリング項目と実施頻度についても不十分であれば増強し、省略できるようであれば縮小。
	推奨	地下水系モデルを引用あるいは作成し※1、事業用開発源泉に関連すると思われるできるだけ多くの湧水・地下水。各地下水帯水層を代表する温泉の見当がつけば絞り込み可。	
	代用	適当な湧水・地下水が見当たらなければ、近隣のアメダスデータで代用。	
温泉	基本	発電用地熱流体を含む温泉帯水層(地熱貯留層)につながる※2と考えられる半径1km以内の温泉。各温泉帯水層を代表する温泉の見当がつけば絞り込み可。	モニタリングの経過で対象地点が不足であれば増強し、省略できるようであれば縮小。また、モニタリング項目と実施頻度についても不十分であれば増強し、省略できるようであれば縮小。
	推奨	地下水系モデルを引用あるいは作成し※1、事業用開発源泉の属する温泉帯水層(地熱貯留層)につながる※2と考えられるできるだけ多くの温泉。各温泉帯水層を代表する温泉の見当がつけば絞り込み可。	
事業者開発井	必須		

※1 既存の妥当な温泉帯水層(地熱貯留層を含む)、地下水帯水層を含む地下水系モデルがあれば引用するが、引用できるモデルがなければ、既存データを収集あるいは一斉調査によりデータを収集してモデルを作成する。

※2 発電用地熱流体を含む温泉帯水層(地熱貯留層)とつながりがあると考えられる温泉帯水層のタイプは同一熱水型、熱水滲出型、蒸気加熱型(別表参照)

地熱-温泉系を含む水系のつながり



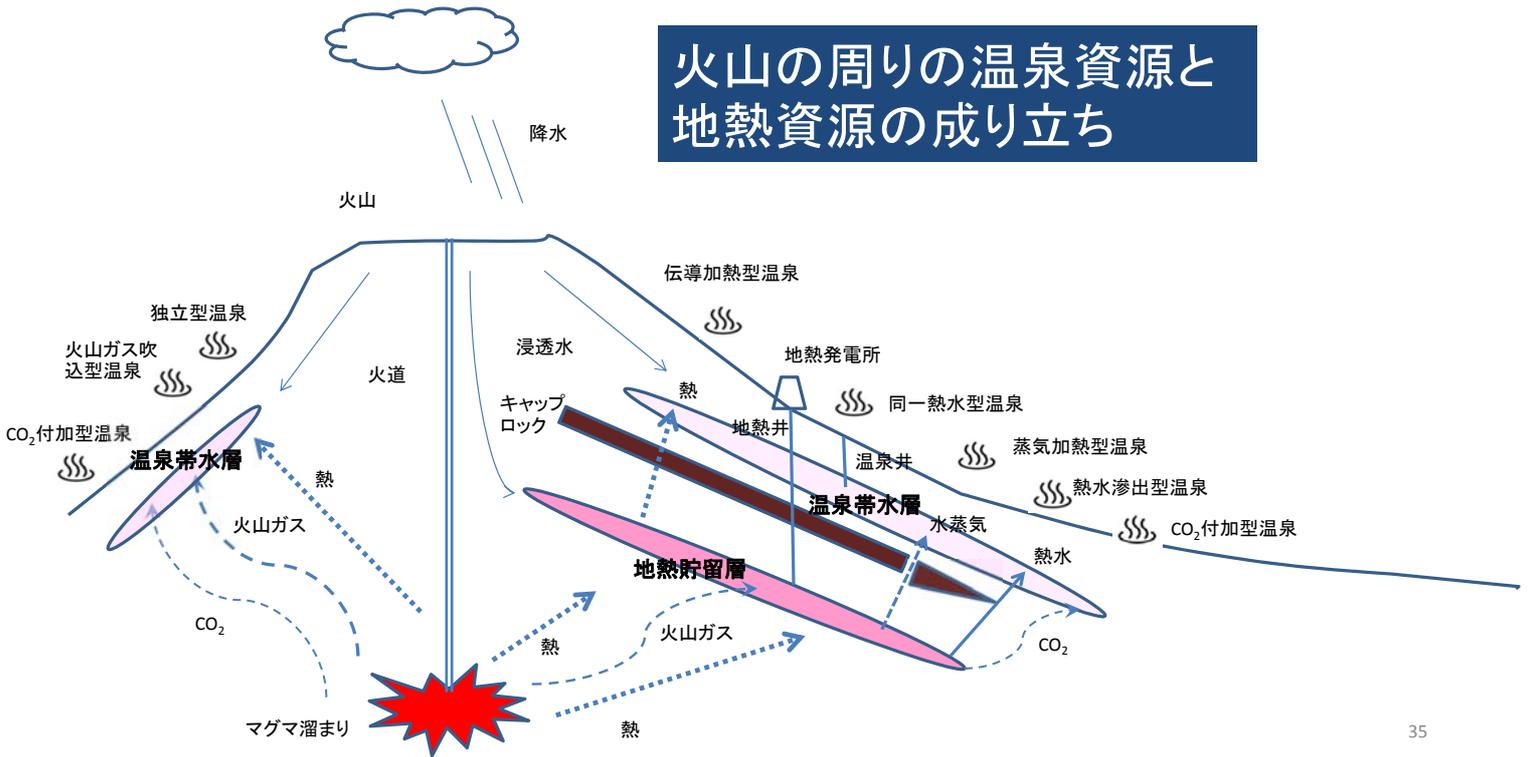
つながりの程度
 a つながりあり
 b いくらかつながりあり
 c つながりなし

地熱発電が可能なのは地熱貯留層と高温温泉帯水層

地熱貯留層と温泉帯水層は両方あるかどちらかしかないか両方ない場合あり

- ① a変動影響あることが多い ② a変動影響ある場合もある
- ③ a長期間を要する涵養なので変動影響なし
- ④ b/c ⑤ b/c ⑥ b/c ⑦ 複数相互にb/c ⑧ 複数 相互にb/c

火山の周りの温泉資源と地熱資源の成り立ち



35

地熱井と温泉とのつながり具合による影響可能性の判別

次に温泉が地熱貯留層とつながりがあるかの見当をつけるには、温泉の地熱貯留層との関係を示す七つのタイプ分け(説明図1)を使用する。温泉がどのタイプに属するかは温泉タイプの判別フロー図(説明図2)を用いて判断する。

影響可能圏にある温泉は、すべての温泉を地熱井からの影響の可能性のあるものとして扱う。影響検討圏にある温泉のうち、タイプが①同一熱水型、②熱水浸出型、③蒸気加熱型(CO₂付加型の一部を含む)であり、それが影響可能圏からの連続性が認められるものは地熱井からの影響の可能性のあるものとして扱う。非影響圏にある温泉は、すべて地熱井からの影響の可能性はないものとして扱う。(以上、説明図3, 4)

この判別は、地熱井による温泉への影響を把握するための温泉モニタリング地点の決定に役立つ。実際には、この判別を基本として、地域の状況に詳しい専門家の意見を反映していけばよい。

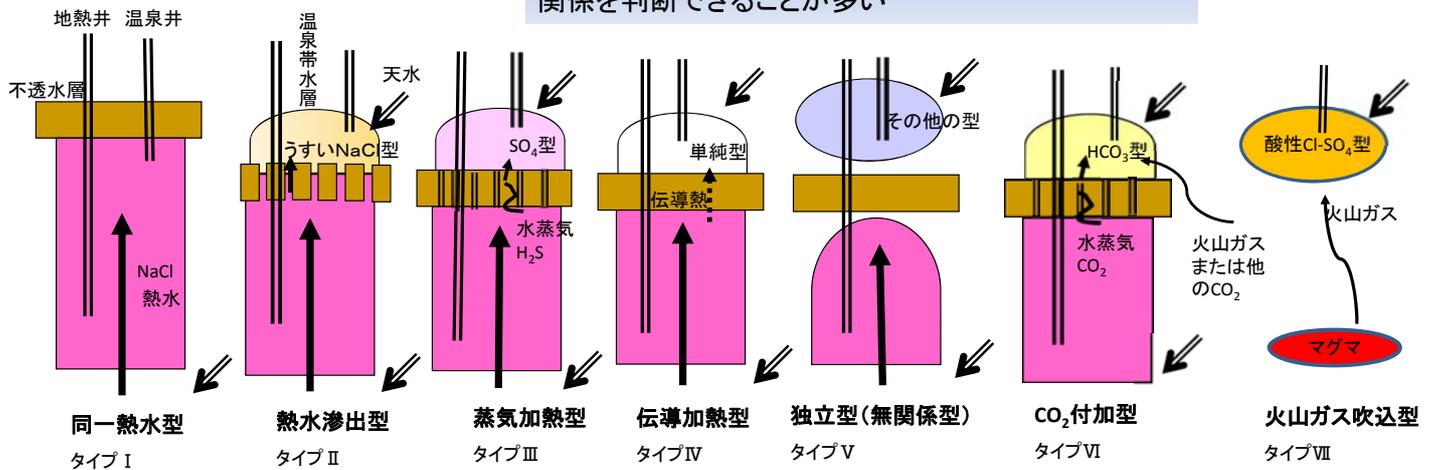
この判別は、影響可能性のある最大範囲での地熱井と温泉の関係付けを意図したものである。該当する地点でモニタリングを継続的に実行する中で、真に影響出現を把握するのにふさわしい温泉が確認できる。その状況により順応的にモニタリング地点を絞り重点化していくことが望ましい。

36

説明図1

地熱貯留層と温泉帯水層の関係

両者の温度、水位、泉質、位置(深度、水平距離)で関係を判断できることが多い

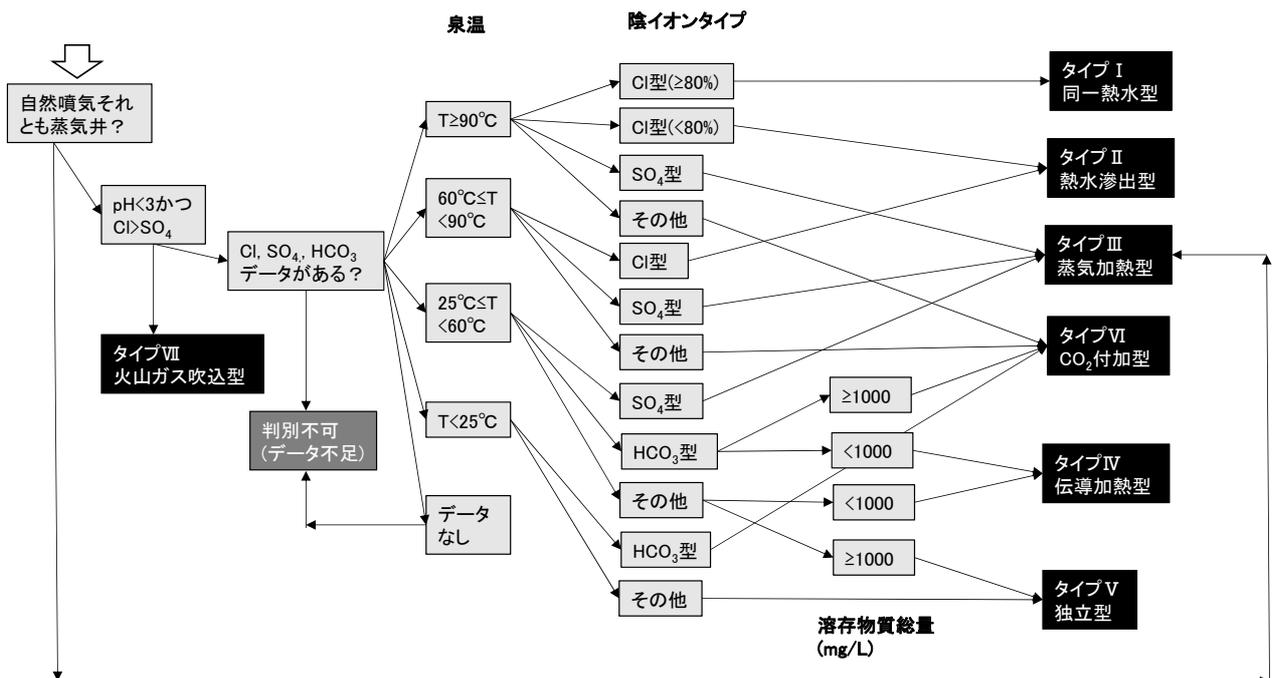


熱水の取り過ぎにより熱水貯留層の圧力が低下する場合に影響が生じる。熱水貯留層の収支バランスがとれていれば影響は生じない。また、温泉相互の関係と、他の人為的、自然的影響があり得るので判断には注意を要する。

安川・野田(2017)

説明図2

温泉タイプの判別フロー図



安川・野田(2017)

温泉タイプ別の地熱開発影響可能性と重要なモニタリング項目

温泉タイプ	地熱開発の影響可能性*	重要なモニタリング項目**
同一熱水型	大	流量（温度・化学成分）
熱水滲出型	中	流量・化学成分（温度）
蒸気加熱型	小	化学成分（温度・流量）
伝導加熱型	極めて小	（温度）
独立型	不明	すべて
CO ₂ 付加型	無または小	化学成分（温度・流量）
火山ガス吹込型	無	無

*地熱開発の影響可能性は温泉タイプに対する相対的な目安

**重要なモニタリング項目で（ ）で示したのは副次的に参考となる項目

安川・野田（2017）

39

地熱井からの距離による温泉への影響可能性の判別

これまでの経験から、水平距離に関し、影響可能圏、影響検討圏、非影響圏の3種類をおおよそ次のように分けた。

- ・Ⅰ **影響可能圏**:地熱井と温泉井の水平距離が**1km未満** †を参照
- ・Ⅱ **影響検討圏**:地熱井と温泉井の水平距離が**1～5km未満** ‡を参照
- ・Ⅲ **非影響圏**:地熱井と温泉井の水平距離が**5km以上**

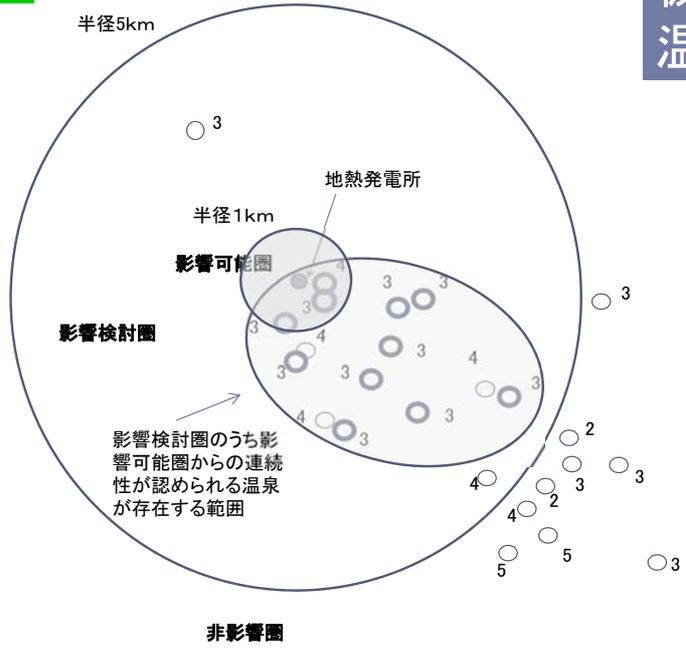
† 距離規制の基準を設けた都道府県のうち最も多くが採用した1kmとしている蓋然性

‡ 地質調査所による50万分の1地熱資源図では、火山岩分布域及びその周囲5kmの地域を、地熱発電の候補となり得る地熱貯留層の賦存が見込まれる地域の最大範囲としている。

40

説明図3

仮想地熱発電所における 温泉モニタリング範囲の検討

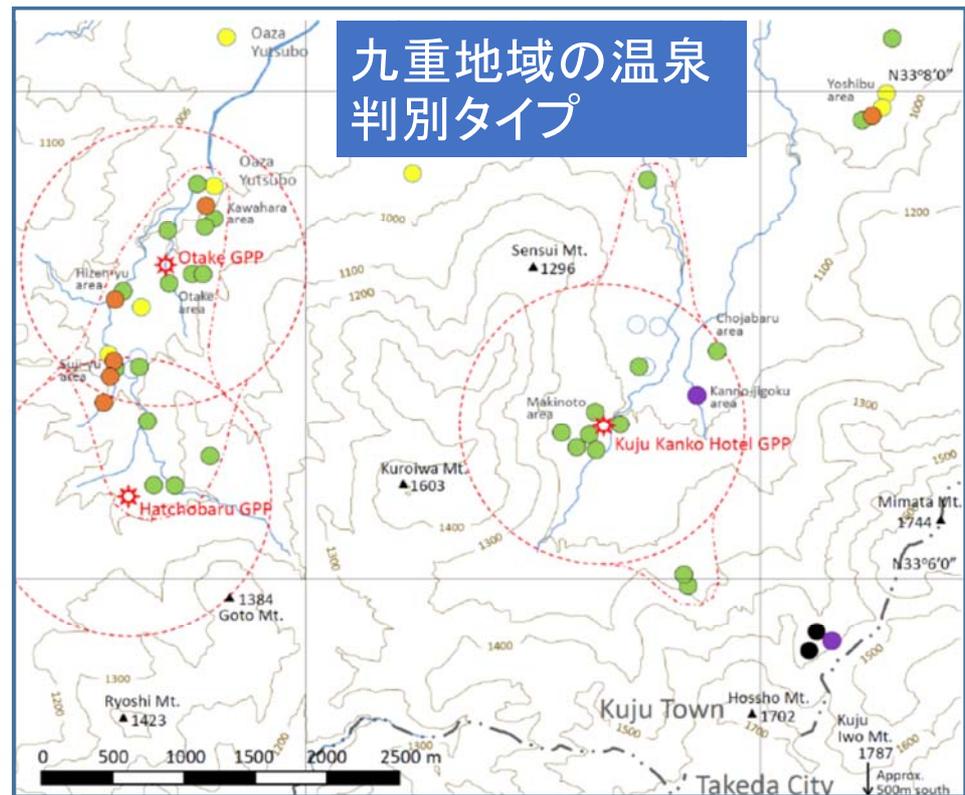


- 凡例
- 2 タイプIIの温泉
 - 3 タイプIIIの温泉
 - 4 タイプIVの温泉
 - 5 タイプVの温泉
 - 影響可能性のある温泉
 - 影響可能性のない温泉

説明図4

九重地域の温泉 判別タイプ

- 温泉判別タイプ
- I 同一熱水型
 - II 熱水滲出型
 - III 蒸気加熱型
 - IV 伝導加熱型
 - V 独立型
 - VI CO2付加型
 - VII 火山ガス吹込型



安川・野田(2017)

測定項目・検定書									
対象区分	対象種別	測定項目	検定	測定項目	測定項目	測定項目	測定項目	測定項目	測定項目
陸水	湧水、地下水等	温度	温度	湧出量	湧出量	湧出量	湧出量	湧出量	湧出量
		濁度							
温泉井	温泉水	温度	温度	湧出量	湧出量	湧出量	湧出量	湧出量	湧出量
		成分							
沸騰泉	分離熱水	温度	温度	湧出量	湧出量	湧出量	湧出量	湧出量	湧出量
		成分							
沸騰泉	分離蒸気	温度	温度	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量
		坑口圧力							
沸騰泉	二相流体	温度	温度	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量
		坑口圧力							
蒸気井	蒸気	温度	温度	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量
		坑口圧力							
事業者開発井	分離熱水、分離蒸気、二相流体	温度	温度	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量	蒸気量
		坑口圧力							

01 温度センサーの精度と信頼性を確認する。

02 湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

03 湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

04 湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

05 湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

06 湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

07 湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

08 湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

09 湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

10 湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

湧水、温泉、蒸気等の測定には、湧水、温泉、蒸気等の測定に使用するセンサーの精度を確認する。

モニタリング対象地点と測定項目の分類

対象区分	対象種別	測定項目
陸水	湧水, 地下水等	温度, 湧出量, 水位(計測可能井), 濁度
温泉井	温泉水	温度, 湧出量, 成分
沸騰泉	分離熱水	温度, 湧出量, 成分
	分離蒸気	温度, 蒸気量(計測可能井), 坑口圧力(計測可能井), 成分
	二相流体	温度, 蒸気量(計測可能井), 坑口圧力(計測可能井)
蒸気井	蒸気	温度, 蒸気量(計測可能井), 坑口圧力(計測可能井)
事業者開発井	分離熱水, 分離蒸気, 二相流体	温度, 蒸気量(計測可能井), 坑口圧力(計測可能井), 成分, 環境分析

測定項目別のモニタリング時期と頻度の分類

測定項目	モニタリング頻度	
	掘削前, 掘削工事中, 掘削後の噴出試験中, 噴出試験後から生産開始まで, 生産開始後の各時期に分ける	
温度, 湧出量, (水位), 濁度	基本	1回/週～1回/年
	推奨	1回/日～1回/四半期
温度, 蒸気量, (坑口圧力)	基本	1回/週～1回/年
	推奨	毎時連続測定
成分	基本	重要成分2回/月以上～重要成分1回/四半期
	推奨	重要成分1回/月～重要成分1回/年
環境成分	基本	少なくとも1回～1回/年

45

モニタリングデータの解析

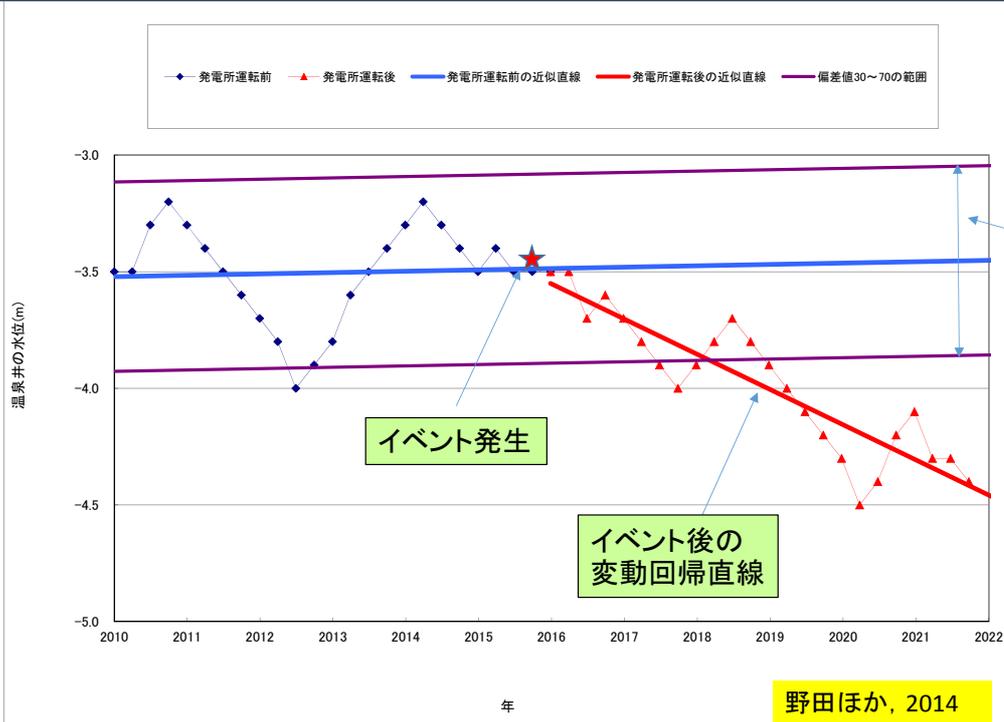
解析ランク	解析法	解析法概要
基本	解析図による方法	温泉モニタリングマニュアル(環境省自然環境局, 2014)に解説されているような図化(グラフ化)による解析法を行う
推奨	解析ソフトによる方法	例えば地熱-温泉共生型貯留層管理アドバンスシステム(野田ほか2014)のような数値解析法による定量的解析を行う。

環境省自然環境局, 2014: モニタリングマニュアル, 43pp.

野田ほか, 2014: 地熱-温泉共生型貯留層管理アドバンスシステムの開発, 日本地熱学会平成26年学術講演会講演要旨集, ポスターセッションp22.

46

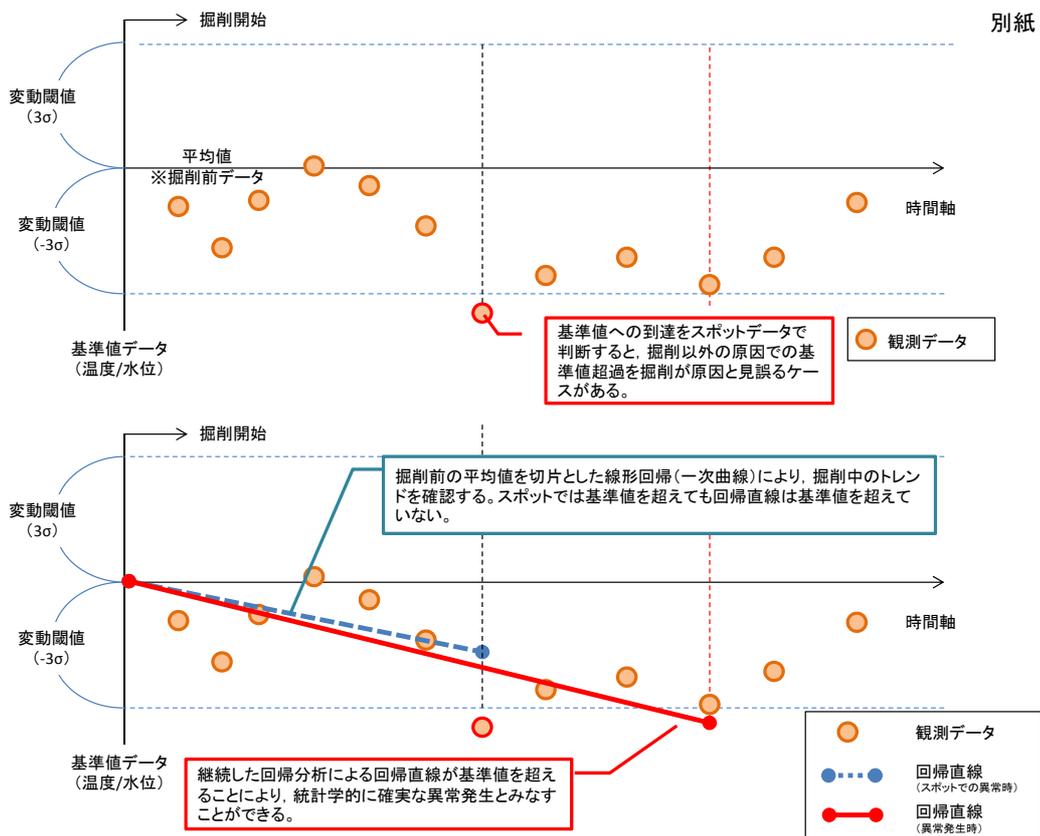
発電の影響がある場合の温泉井の水位変化データ



統計解析により
求められる平時
の変動範囲(基
準値)

イベント発生

イベント後の
変動回帰直線



影響に関する数値解析の手順とポイント

- (1) これまでの集積データから**平時の変動範囲**を求める。
- (2) 変動の要因と変動の様子との関係が既知であれば、変動幅を差し引いて**平時の変動の様子を精緻化**することができる。
- (3) **変動の要因**としては、雨季－乾季のような**周期的なもの**と、地震活動のような**偶発的なもの**がある。
- (4) **地熱開発に伴うイベント**としては、**掘削、噴出試験、長期生産**などがある。
- (5) **時系列の数値解析**では、**イベント後の変動**のほか、**将来予測も可能**である。

49

これまでのモニタリングに関する規定は一長一短

事業策定ガイドライン(地熱発電)(資源エネルギー庁, 1917)が示すモニタリングは、事業者がFITに適合するために備えなければならない最低の要件であり**実用的でない**

温泉資源の保護に関するガイドライン(改訂)(環境省自然保護局, 1914)は、温泉のモニタリングについて述べているが、**地熱資源への適用は含まれない**

温泉モニタリングマニュアル(環境省自然保護局, 1915)は温泉のモニタリングについて良くまとまっているが、**定量評価には踏み込んでいない**

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)(環境省自然保護局, 1917)は、協議会等の設置による合意形成を述べているが、**地熱資源に関するモニタリングについては不十分**

⇒霧島市による地熱発電事業者向けに提示する源泉等モニタリング基準ではこれらの点を満足させている。

50

注意しなければならない点

(許可の取消し等)

第九条 都道府県知事は、次に掲げる場合には、第三条第一項の許可(掘削許可)を取り消すことができる。

- 一 当該申請に係る掘削が温泉のゆう出量、温度又は成分に影響を及ぼすと認めるとき。

(温泉の採取の制限に関する命令)

第十二条 都道府県知事は、温泉源を保護するため必要があると認めるときは、温泉源から温泉を採取する者に対して、温泉の採取の制限を命ずることができる。

(報告徴収)

第三十四条 都道府県知事は、この法律の施行に必要な限度において、温泉をゆう出させる目的で土地を掘削する者に対し、土地の掘削の実施状況、可燃性天然ガスの発生状況その他必要な事項について報告を求め、又は温泉源から温泉を採取する者若しくは温泉利用施設の管理者に対し、温泉の採取の実施状況、温泉のゆう出量、温度、成分又は利用状況、可燃性天然ガスの発生状況その他必要な事項について報告を求めることができる。

このようにモニタリングについて報告を求め、その結果に基づき措置や命令を行うことができるのは都道府県に限られ、協議会等から「霧島市による地熱発電事業者向けに提示する源泉等モニタリング基準」等を示すのは助言に留まる。

51

どうしたらよいか(おわりに)

温泉への影響は地熱発電だけでなく温泉相互の影響もあり、そのいずれもモニタリングによってしか把握できない。影響の解消は、温泉資源、地熱資源がそれぞれ自然の生成速度(供給流量)を上回らない採取を行い、持続的に利用されることにより実現される。このことを理解してもらい実行することは、地域での合意形成の重要なポイントである。

このようにモニタリングを有効に役立てるには、都道府県と協議してモニタリングの方法と目的を理解してもらい、都道府県に取り入れてもらうことが重要である(多くの都道府県は一般にモニタリングについては及び腰で、地熱発電を含むとますます疎遠である)。

温泉資源も地熱資源も地球が恵んでくれるものであり、自然の摂理を守る限り(過剰に採取しないかぎり)、温泉帯水層、地熱貯留層内及びつながりのある相互間の影響が発生する原因はなくなり、資源保護が持続される。温泉資源も、地熱資源もこの関係は同様である。地熱資源は高温であり、一般温泉よりも大規模な開発となることには、警戒感がある。このことさえ注意すれば、温泉法のルールは同じ次元で適用することができる。地熱発電だけでなく一般温泉も同じレベルでモニタリングするようになることが望まれる。

52