

温泉資源の保護に関するガイドライン（改訂）

令和7年12月

環境省自然環境局

目 次

第一 基本的考え方	1
1. 背景	1
2. 本ガイドラインの狙い	4
第二 掘削等の原則禁止区域の設定、既存源泉からの距離規制、温泉の採取量に関する取扱い	6
1. 現状	6
2. 掘削等の原則禁止区域の設定	8
(1) 考え方	8
(2) 具体的な区域の設定の方法	9
3. その他の規制	13
3-1. 距離規制	13
(1) 考え方	13
(2) 都道府県が現に行っている距離規制の妥当性の検証	14
(3) 距離規制の基点となる「既存源泉」と未利用源泉等の関係	17
3-2. 温泉の採取量に関する取扱い	18
(1) 考え方	18
(2) 具体的な設定方法	18
4. その他の掘削等	19
(1) 「代替掘削」について	19
(2) 「集中管理方式」について	19
5. 既存源泉の所有者等の同意書を得る方式の取扱い	21
6. 条件付許可	22
第三 個別的許可判断のための影響調査等	23
1. 影響調査等の実施対象及び実施方法	23
(1) 影響調査等の実施対象	23
(2) 影響調査等の実施手法	24
(3) 影響調査における注意点	24
2. 調査結果の反映	25
第四 温泉資源保護のためのモニタリング	26
1. モニタリングの実施方法	28
2. モニタリング結果の反映	28
第五 公益侵害の防止	30
1. 公益侵害への対応についての考え方	30
(1) 不許可に反映できる公益侵害の範囲	30
(2) 公益侵害への対応についての考え方	30

2. 具体的な公益侵害の類型と対応	31
(1) 騒音・振動	32
(2) 温泉の放流に伴う水質への影響	32
(3) 地盤沈下	33
第六 その他	34
1. 大深度掘削泉について	34
(1) 大深度掘削泉の資源的特性	34
(2) 大深度掘削泉の採取に伴う地盤環境への影響実態	35
(3) 大深度掘削泉における揚湯試験（集湯能力調査）	35
(4) 大深度掘削泉の特性把握等の参考となる科学的資料	35
2. 未利用源泉について	36
(1) 未利用源泉の問題	36
(2) 未利用源泉における指導の在り方	36
3. 近年の温泉利用形態について	37
(1) 温泉の浴用や飲用以外の目的での利用	37
(2) 温泉発電	37
備考	42

■別紙

別紙 1 保護地区の設定事例	45
I. 北海道（倶知安町ひらふ）の保護地域設定事例（令和 2 年）	
II. 大分県（別府市）の保護地域設定事例（令和 4 年）	
別紙 2 距離規制の妥当性について検証するための事例	50
別紙 3 熱収支について	54
別紙 4 経年的な水位低下について	56
I. 湯河原温泉（神奈川県）（1900 年代～1970 年代）	
II. 箱根温泉（神奈川県）（1950 年代～1980 年代）	
別紙 5 温泉の採取量を見直した事例	59
帯広市周辺（北海道）（1960 年～）	
別紙 6 動力装置の際の影響調査実施手法及び揚湯試験実施手法	64
I. 影響調査	
1. 観測源泉の選定	
2. 測定項目	
3. 測定に使用する機器	
4. 影響調査の実施期間	
5. 測定方法	
6. その他特記事項	
II. 揚湯試験（集湯能力調査）	
1. 揚湯試験の種類と目的	

2. 揚湯試験の測定項目と測定方法	
3. 揚湯試験の測定機器	
4. 揚湯試験の測定期間	
5. 揚湯試験の特殊事例	
6. 揚湯試験実施要領事例	
7. 適正揚湯量の検討	
別紙 7 影響調査事例	83
I. 掘削深度の浅い温泉での事例	
II. 大深度掘削泉での事例	
別紙 8 温泉モニタリング実施手法	90
I. 自動観測	
II. 現地観測（観測員による観測）	
別紙 9 温泉モニタリング取組事例	98
I. 源泉所有者主体の温泉モニタリング事例 肘折温泉（山形県）	
II. 市町村主体の温泉モニタリング事例 別府市（大分県）	
III. 長期モニタリングにより地震による湧出状況の変化を捉えた事例	
別紙 10 水質基準について	110
別紙 11 沖縄県宮古島市における塩化物イオン濃度の上昇に係る 原因究明調査事例	115
別紙 12 動力装置許可の審査基準（東京都）	119
別紙 13 大深度掘削泉のモニタリング事例	120
I. 事例①（中部地方の掘削動力泉（掘削深度 1500m））	
II. 事例②（神奈川県掘削動力泉（掘削深度 1000～1200m））	
別紙 14 揚湯試験事例	125
I. 一般的な事例	
II. 特殊事例①（揚湯によって水位が上昇する場合）	
III. 特殊事例②（湧出量が少なく、通常の揚湯試験実施が難しい場合）	
IV. 特殊事例③（源泉が高温・口径が細いため水中ポンプが設置できない場合に用いられるエアリフト揚湯による試験）	
参考資料 温泉の基礎知識	135

■コラム・事例

事 例 科学的な調査に基づく保護地区の設定事例	12
コラム 審議会等における専門技術的な判断のための専門家の活用	13
コラム 掘削時における安全性の確保	20
事 例 温泉モニタリングの取組事例	29
コラム 未来の温泉の保護・管理を担う人材育成・確保	41

第一 基本的考え方

1. 背景

温泉法（昭和 23 年法律第 125 号。以下「法」という。）は、貴重な資源である温泉の保護を図るため、温泉をゆう出させる目的の掘削、増掘及び動力の装置（以下「掘削等」という。）を都道府県知事の許可制としている。掘削等の申請を受けて、都道府県知事は、温泉の湧出量、温度又は成分（以下「湧出量等」という。）に影響を及ぼすときには不許可にすることができる。また、温泉源保護のため必要な場合には都道府県知事が採取の制限を命ずることができるとしている。

本来、これらの不許可及び採取制限命令は、温泉の掘削等が湧出量等に及ぼす影響についての科学的根拠に基づき行うことが必要である。しかし、実際には、温泉の賦存量に関するデータや温泉の採取による湧出量等への影響に関する科学的知見が不足しており、十分な科学的根拠に基づき、不許可及び採取制限命令を行うことは難しい現状にある。

このような限界がある中で、各都道府県は、独自に要綱等により温泉保護地区の設定、既存源泉との距離規制、揚湯量の制限等、近隣源泉への影響に配慮しつつ、地域特性を踏まえた温泉資源の保護の取組を行ってきた。

このような取組は、温泉資源の保護に一定の機能を果たしてきたと考えられるが、温泉の賦存量に関するデータ等が不足している現状において、引き続き資源枯渇のおそれは継続しているとの指摘もある。我が国における動力源泉数と動力湧出量は、それぞれ平成 18 年度、平成 19 年度をピークに減少傾向にあるものの、自噴湧出量も平成 11 年度をピークに減少傾向が続いており、動力湧出量が全体の 7 割を超えている（図 1、図 2 参照）。

その一方で、地域によっては、温泉資源の保護を名目に、新規の温泉の掘削等を過度に制限しているケースがあるとの指摘もある。

また、温泉の掘削工事に伴う騒音・振動、温泉の採取に伴う地盤沈下、温泉の放流に伴う水質への影響等、温泉の利用の拡大が周辺環境に影響を及ぼすおそれも指摘されている。

環境省では、これら温泉資源の保護等に関する様々な課題について検討を行うため、平成 18 年 6 月に「温泉行政の諸課題に関する懇談会」を設置し、同年 10 月に報告書を取りまとめた。そこでは、温泉資源の保護施策に関し「掘削許可等の基準の明確化、データや科学的知見の一層の充実等、さらなる進化が求められる状況にある」との認識を示した上で、温泉資源の保護のための仕組みについて「見直しを行う必要がある」と指摘している。

また、平成 19 年 2 月、環境省の諮問に基づき温泉資源の保護対策及び温泉の成

分に係る情報提供の在り方等について検討を行っていた中央環境審議会（自然環境部会温泉小委員会）は、環境省に対し「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」との答申を行った。この答申を踏まえ、環境省では、温泉を将来の世代においても利用できるよう、持続的な利用を可能とするための資源保護の在り方を示すものとして、「温泉資源の保護に関するガイドライン」を平成 21 年 3 月に策定した。

本ガイドラインは、「少なくとも 5 年ごとにガイドラインの総点検を実施するとともに、随時、その更新を行っていく」としていることを踏まえ、平成 26 年度及び令和元年度に、温泉資源に関する各種調査の結果等を勘案して、ガイドラインの総点検を実施し、その改訂を行い、内容の充実を図ってきた。

令和 2 年に日本国内で初めて感染が確認された新型コロナウイルス感染症の影響等により、温泉利用宿泊施設の利用者数は減少し、温泉の新規掘削等は減少傾向にある。一方で、インバウンド拡大等の要因もあり、一部の地域では温泉開発が急速に進んだことで、温泉資源の枯渇化現象が発生し、温泉資源を保護するための新たな対応を迫られる事態に至った。

このため、令和 7 年度の改訂では、科学的根拠に基づく対応がより一層重要との認識の下、都道府県の担当者の参考資料としてより使いやすいものとするため、科学的知見に基づく新たな保護地区の指定の事例や、関係者の連携による長期を見据えたモニタリングの実施と結果の共有化・見える化といった具体的な事例等の追加等を行った。これらの取組も参考として、科学的な情報の収集と科学的根拠に基づく対応が各地域において進んでいくことが望まれる。

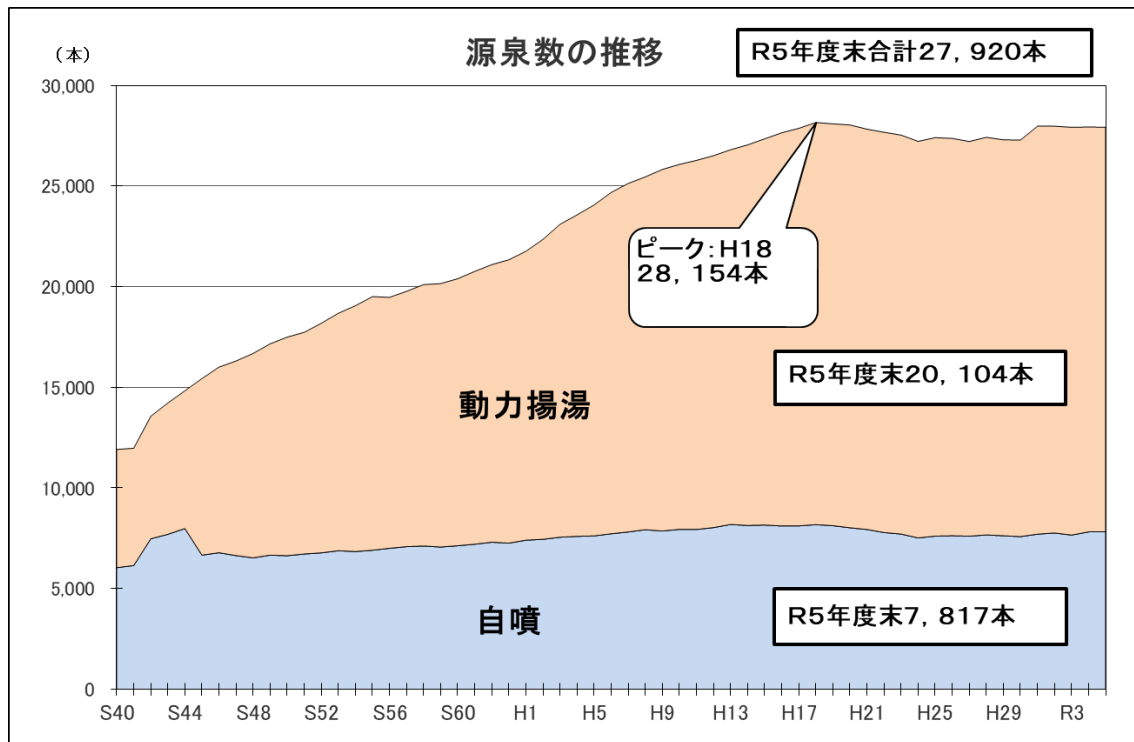


図1 我が国の源泉数の推移

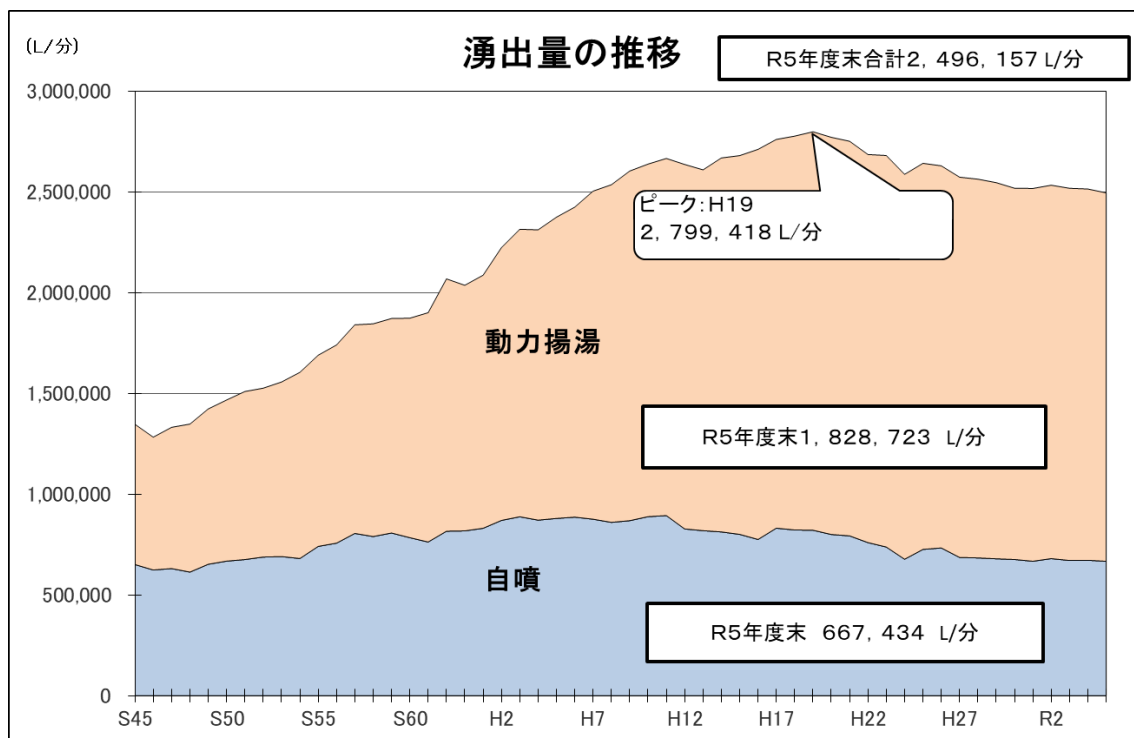


図2 我が国の温泉の湧出量の推移

2. 本ガイドラインの狙い

本ガイドラインの最大の狙いは、温泉の掘削等の不許可事由の判断基準について、一定の考え方を示すことである。その具体的な項目は、地域等による一律規制（制限地域の設定、既存源泉からの距離規制）の在り方、個別判断のための影響調査の手法、公益侵害への該当性の判断等である。

現状として、都道府県における掘削等の許可事務において、人員や予算等の制約により十分な科学的調査の実施ができないために、不許可とするに当たっての科学的根拠が不足しているという課題がある。こういった課題に関して、既存源泉への影響が懸念されるにもかかわらず、不許可とする判断・説明が困難であるという実態があり、これらを踏まえて、許可又は不許可の区分の範囲をできるだけ明確にして「考え方」を示すことが、本ガイドラインの基本的な方針である。しかしながら、完全な科学的根拠を求めることは現時点では技術的に限界があるため、総論的な記述は減らし、現に事務処理の場面で問題になっている部分の詳述、科学的知見や具体的な取組事例を多く盛り込むことで、都道府県の担当者の参考資料として使いやすいものとする 것을目指した。

今後、都道府県において、本ガイドラインを参考に、温泉の掘削等の許可等に関する業務を行うことを期待しているが、参考にするに当たっての留意点が3点ある。

留意点の1点目は、それぞれの地域の温泉資源の特性への配慮が必要という点である。本ガイドラインは、一般的な温泉資源の状況を念頭に記述をしているが、地質の構造、泉脈の状態又は周辺での温泉の開発状況等に応じて、温泉資源の保護のために必要な対策の内容が、地域ごとに異なることは当然である。最終的には、地域の温泉資源の特性を十分に考慮し、許可等の判断に当たる必要がある。

2点目は、本ガイドラインは温泉保護の取組の「標準」を示すものではないという点である。ガイドラインの記述よりも先進的な取組を否定する意図はなく、本ガイドラインの狙いは、あくまで、都道府県がある一定の方法で温泉資源の保護対策を講じようと考えた場合に、有用な参考資料となることである。

3点目は、本ガイドラインは、現時点での限られた知見を基に作成された、暫定的な性格のものであるという点である。環境省では、引き続き、温泉資源に関する各種調査を実施し、また、都道府県の温泉行政担当者等の意見を伺いながら、5年ごとにガイドラインの総点検を実施するとともに、随時、その更新等を行っていく予定である。

本ガイドラインを踏まえ、温泉資源の保護に関する議論が多方面で展開され、我が国の貴重な温泉資源が将来の世代に引き継がれる機運がこれまで以上に高まることを期待したい。

(注：データの取扱いについて)

本ガイドラインで記載している都道府県ごとの規制（要綱等）の内容（表１～５）については、令和６年度温泉法に関する施行状況等調査委託業務において各都道府県の温泉行政担当部署を対象に実施したアンケート調査の回答、任意に提供された資料を基に、集計を行ったものである。

アンケートの調査結果については、規制といえるものかどうか判断の難しいものであっても集計上は規制とみなしている場合がある等、本集計データが必ずしも現在の各都道府県の実情を正確に反映しているとは限らない点に留意された。

第二 掘削等の原則禁止区域の設定、既存源泉からの距離規制、温泉の

採取量に関する取扱い

1. 現状

法では、温泉の掘削等の許可制度について、「温泉の湧出量、温度又は成分に影響を及ぼすと認めるとき」等を除いて許可をしなければならないことのみを定め、その具体的な判断基準は定めていない。

都道府県においては、このような法の趣旨を踏まえ、温泉保護のため掘削等を制限する特別な区域を定める、又は既存源泉から一定距離内での掘削を認めない距離規制を行うことで、審査基準の具体化を図っている例が多い（表1、表2）。

表1 特別な区域等の設定状況

温泉保護のための特別な区域を設定している都道府県の数＝26

（内訳－1）～地域区分の段階数～

（都道府県数）

特別保護地区、保護地区、準保護地区等、3段階以上のカテゴリーを設定	7
保護地区と準保護地区等、2段階のカテゴリーを設定	7
保護地区等、単一のカテゴリーを設定	12

（内訳－2）～特別な区域での主な規制内容～

（都道府県数（重複有））

掘削の原則禁止	19
掘削の全面禁止をせず区域内で規制距離を設ける	13
増掘の禁止	9
掘削口径の規制	7
深度規制	9
工事及び動力申請時の影響調査義務	3
吐出口規制	5
揚湯方式の指定	2
総量規制（揚湯量の規制）	11
大深度掘削を実施する場合の距離規制	5

表 2 既存源泉からの距離規制の実施状況

既存源泉からの距離規制（原則掘削禁止等）を実施している

都道府県の数＝20

（内訳 1）～既存源泉からの距離～

（都道府県数）

1000m	0.5
800m	1.5
700m	0.5
600m	0.5
500m	7
400m	0
300m	3.5
200m	2
150m	1.5
100m	1.5
60m	0.5
50m	0.5
25m	0.5

（注：特別な地域（保護地区等）とその他の地域にカテゴリーを分割した上で異なる規制距離を設けている場合は0.5ずつ計上。また、同一カテゴリー内で複数の規制距離を設けている場合は最も大きな数値を選択している。）

（内訳 2）～大深度掘削を実施する場合の既存源泉からの距離～（都道府県数）

2000m	1
1000m	4

（注：掘削深度が 500m ないし 1000m 以上の場合の規制距離）

それらの特別区域の設定や距離規制の内容は、要綱等として公となっている場合と、内規等として公になっていない場合がある。また、それらの規制の策定の経緯には、科学的な調査の結果を基にしているものや、他の都道府県の例や地域の慣例・経験則を参考に行っているものがみられる（表 3）。

表3 温泉の保護に関する要綱等の策定状況

温泉の保護に関する要綱等を策定している都道府県の数＝41

(内訳1) ～要綱等の種類～

(都道府県数)

要綱	19
要綱と内規を併用	8
内規	14

(注：本表では、実際の取決めの名称にかかわらず、温泉の保護に関する規制の仕組みを公開している場合は「要綱」、原則非公開としている場合は「内規」として取りまとめている。)

(内訳2) ～要綱等の主な策定経緯～

(都道府県数(重複有))

科学的な調査を基に策定	8
審議会委員や専門家の学術的意見を参考に策定	25
他の都道府県の事例を参考に策定	6
地域の慣例や過去の審議会の取決めに明文化	9
調査時点において経緯が不明	15

2. 掘削等の原則禁止区域の設定

「温泉保護のため掘削等を制限する特別な区域」として都道府県が定めているものには、様々な種類のものがある。以下では、その中で最も強い制限である掘削を原則として禁止する区域について、どのような場合にこういった制限が許容されるかの考え方を示すこととする。

(1) 考え方

法では、「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」に、掘削等を不許可とすることを認めている。したがって、ある区域において掘削等を原則として禁止するためには、原則として当該区域内で行われる掘削等の行為により、区域内の既存源泉の温泉の湧出量等に影響を及ぼすことが認められる必要がある。

なお、判例では「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」とは「少しでも既存の温泉井に影響を及ぼす限り、絶対に掘さくを許可してはならない、との趣旨を定めたものと解すべきではない」(昭和33年7月1日最高裁判所判決)とされていることに留意する必要がある。

また、過去の温泉資源の枯渇化現象の発生には、例えば一定の区域内での採取可能な限界量を超える温泉の採取が原因となったものがあることに鑑みれば、「一定の区域内で既に採取可能な限界量の温泉を採取している場合には、その区域内での追加的な温泉の採取量の増加を伴う掘削等は原則として禁止する」という手法は、

法においても、否定されるものではない。(それ以外の手法による原則禁止区域の設定についても否定するものではない。)ただし、こうした区域の設定は、あくまでも法第4条に示す不許可事由について、あらかじめ原則を示しているだけにすぎない。実際の新規の掘削等の判断に際しては、掘削の深度、地質の構造又は泉脈の状態等を踏まえ、温泉の湧出量等に影響を及ぼすか否かについて、個別の掘削等毎に検討を行う余地はあると考えられる。なお、このような場合で、温泉の採取量の増加を伴わない場合には温泉資源へ影響が生じないとする考えに基づき、不許可事由に該当しないとする、いわゆる「代替掘削」及び「集中管理」については、「4.その他の掘削等」で記述する。

(2) 具体的な区域の設定の方法

以下では、「一定の区域内で既に採取可能な限界量の温泉を採取している場合には、その区域内で採取可能な限界量を超える温泉の掘削等は原則として禁止する」という手法をとる場合について、その区域の設定方法の具体例を示す。

① 区域の設定の基準

「既に採取可能な限界量を超える、若しくは限界量の温泉を採取している」区域とは、例えば、以下のような区域が該当すると考えられる。

ア. 現に温泉資源の枯渇化現象が発生している区域

現に発生している「温泉資源の枯渇化現象」については、区域内の複数の源泉の湧出量、水位、温度及び主要成分を数年間以上にわたり測定した上で判断することが適当である。なお、具体的な測定方法については、「第四 温泉資源保護のためのモニタリング」で示すとおりとする。

測定の結果、湧出量、水位、温度又は主要成分のいずれか一項目でも継続的な低下傾向にある場合(成分は塩水化による濃度上昇も含む)は、枯渇化現象が発生していると判断し得る。この判断は、法第2条別表で示す温泉の定義に該当しなくなる、若しくは、温泉の採取・利用が困難となるほどの著しい枯渇化現象である必要はなく、わずかであっても継続的な低下傾向を見逃さないことが必要である。これは、低下傾向が長期的に継続すれば、いずれは具体的な温泉の採取・利用への支障が生じ得るためである。なお、枯渇化現象の判断に当たっては、井戸内に設置された源泉構造物(遮水パッカー、セメンチング、ケーシング管など)(参考資料参照)の劣化等、井戸の障害による低温水浸入による泉温低下などの可能性も含めた検討が必要となる。

イ. 過去に温泉資源の枯渇化現象が発生し、その後の温泉の採取量の抑制により現在では枯渇化現象が収まっている区域

過去に「温泉資源の枯渇化現象」が発生していたか否かについては、アと同様、湧出量、水位、温度又は主要成分のいずれかの継続的な低下の有無により判断すべきであるが、詳細な過去の測定データがない場合には、文献等により判断することも一つの方法である。

具体的には、過去、温泉資源の枯渇化現象が発生し、その後、枯渇化現象の抑制のために地域全体で温泉の集中管理等を行っている温泉地が該当すると考えられる。これは、集中管理の結果、現在の採取量は限界量以下となっても、新たな掘削等により採取量が増加すれば、再び枯渇化現象が発生する可能性が高いためである。

ウ. 採取可能な限界量に達している区域

例として「1 源泉当たり必要と推定される集水域の面積 × 源泉数 ≥ 区域の面積」となっている区域等が考えられる。「1 源泉当たり必要な集水域の面積」の考え方の例については、「3－1 距離規制」にて記述する。

これらの方法にかかわらず、他の知見等に基づき、掘削等の原則禁止区域の設定を行うことも考えられる。例えば、自然湧出泉が密集し、その湧出量や温度の低下傾向等が継続している区域等がこれに当たる。これは、動力揚湯泉に比べ、自然湧出泉は、地下のわずかな圧力(水位)変化等により、著しい影響を受けやすいためである。

② 区域の設定、見直しの手続

掘削等の不許可事由の判断基準として、掘削等の原則禁止区域を設定するに当たっては、都道府県に設置されている審議会その他合議制の機関（以下「審議会等という。」）の意見を聴いた上で実施することが望ましく、また、このような区域を設定した場合には、行政手続法（平成5年法律第88号）第5条第1項の審査基準に該当し、同条第3項の規定により公にしておかなければならない点に留意すべきである（※）。さらに、その設定の根拠についても公にすべきである。

（※「行政手続法（平成5年11月12日法律第88号）」抜粋）

第二章 申請に対する処分

（審査基準）

第五条 行政庁は、審査基準を定めるものとする。

- 2 行政庁は、審査基準を定めるに当たっては、許認可等の性質に照らしてできる限り具体的なものとしなければならない。
- 3 行政庁は、行政上特別の支障があるときを除き、法令により申請の提出先とされている機関の事務所における備付けその他の適当な方法により審査基準を公にしておかなければならない。

都道府県による掘削等の原則禁止区域（保護地区）の新設定・拡大（変更）にあたっては、長期的に蓄積された既存源泉の湧出量、水位、温度及び主要成分等のモニタリングデータに基づき、5年程度の期間にわたる段階的な調査検討が行われている（別紙1参照）。また、保護区域を設定した後も、モニタリング、その他各種調査結果を基に、必要に応じて区域の設定の妥当性について検証を行うべきである。モニタリングの具体的な方法については、「第四 温泉資源保護のためのモニタリング」で記述する。

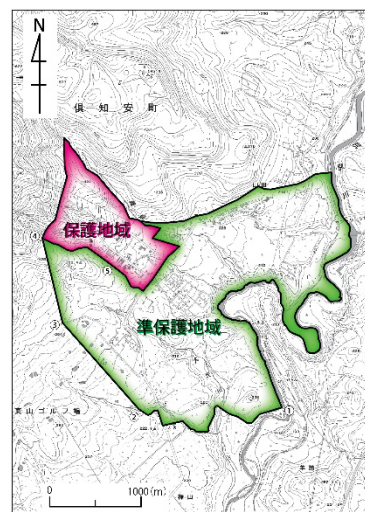
事例 科学的な調査に基づく保護地区の設定事例【別紙1】

北海道倶知安町ひらふ地域の事例

倶知安町ひらふ地域では、近年、インバウンドをはじめとする温泉開発が急速に進展し、源泉数及び揚湯量が増加傾向にありました。

北海道及び北海道立総合研究機構が平成28年から実施している水位モニタリングや水質分析等により、複数の源泉での水位の低下や、源泉間の水位の連動が確認され、同じ帯水層から温泉を汲み上げており、温泉資源が衰退傾向にあることが明らかになりました。

このため、北海道環境審議会において審議が行われ、科学的データに基づく区域の設定により、令和2年10月に新たに保護地域と準保護地域が指定され、令和3年9月から施行されました。



倶知安町ひらふ地域 温泉保護地域

大分県別府市の事例

別府市では、温泉の温度低下や掘削深度の増加、噴気・沸騰泉の減少などが確認されていました。

平成30年度から令和2年度にかけて、大分県と別府市が共同で、別府市内の全源泉を対象に温泉資源量調査を実施し、温泉資源量の将来予測を行った結果、温度の低下が予測されました。

このため、大分県環境審議会温泉部会において審議の上、熱水の流動経路を考慮し、既存源泉への影響が大きい2つの区域について、令和4年4月に、新規の温泉掘削を認めない「特別保護地域」に指定しました。



別府市特別保護地域

なお、科学的な調査結果に基づく保護地区が設定された上記事例では、モニタリングの開始から5年程度の期間を要しています。温泉の水位や温度の低下等の現象に迅速に対応するためにも、日頃からモニタリングを実施し、長期的なデータを蓄積しておくことが望まれます。

コラム 審議会等における専門技術的な判断のための専門家の活用

温泉法においては、都道府県知事が温泉の保護に関連のある一定の処分（許可処分、不許可処分、採取制限命令など）を行うに当たり、審議会等の意見を聴かなければならないとしています。これは、これらの処分がいずれも高度な専門的知識を要するものであり、申請者及び関係者の利害に関するところが大きいいため、処分の適正を期するための措置であるためです。

そのため審議会等においては、従前から、地学、医学、薬学、化学、法律学等の学識経験者を含む適切な委員構成を確保する必要があるとされてきました。加えて、既存の委員のみで審査することが難しい高度な専門的知識を要する申請については、その内容に応じて、技術的・科学的見地から判断できる専門家を新たに委員として任命したり、審議内容によって審議に加わることができる臨時委員や専門委員として任命することも考えられます。

また、掘削許可の審議に当たり、専門技術的な資料を審査する必要がある場合には、必要に応じて有識者からの意見を聴取するといった方法も考えられます。

3. その他の規制

3-1. 距離規制

（１）考え方

新たに温泉の掘削等を行う場所と既存源泉との距離が、既存源泉の湧出量等に影響を及ぼすと科学的根拠に基づき合理的と判断できる距離である場合には、掘削等を不許可とすることが可能である。

なお、こうした距離規制の設定は、あくまでも法第4条に示す不許可事由について、あらかじめ原則を示しているだけにすぎない。実際の新規の掘削等の判断に際しては、掘削の深度、地質の構造又は泉脈の状態等を踏まえ、温泉の湧出量等に影響を及ぼすか否かについて、個別の掘削等毎に検討を行う余地はあると考えられる。

また、大深度掘削を行うことで停滞性の化石水^(※1)を採取しているような場合等、一つの源泉のみによって広範囲の温泉資源の枯渇化現象を招き起こすような場合は、長い距離規制を課すことも認められ得る。

さらに、大深度掘削泉（おおむね1000m以上の掘削。定義はP34参照。）の規定の掘削深度に達しないため、距離規制が適用されないような場合でも、大深度掘削泉と同一の帯水層から温泉を採取することで既存源泉に影響を及ぼすことも考えられることに留意する必要がある。

加えて、距離規制を設定した場合は、周辺における既存源泉等におけるモニタリ

ングを実施し、その調査結果を基に、必要に応じて距離規制等の見直しに活用することが望ましい。

(※1) 地層の堆積時に地層中につつまこまれ、そのまま閉じこめられた水。石油や天然ガスを採取する際に出てくる水等はこれに当たる。海成層は海底で形成されるため、地層中に海底付近の海水が残留している場合には、化石海水と呼ぶ場合もある。しかし、その後の続成作用により成分は変化する（「地下水用語辞典」に一部加筆）。

(2) 都道府県が現に行っている距離規制の妥当性の検証

既存源泉からの距離規制の設定の方法は、地質の構造又は泉脈の状態等によって多種多様なものが考えられる。したがって、本ガイドラインでは、特定の方法を例として推奨はしないこととする。

本ガイドラインでは、全国的・平均的な観点から妥当性を検討したものであり、各地域においては、地質の構造、泉脈の状態及び新たな掘削等による地下からの温泉の採取量で規制される距離は大きく変わってくるのが実態である。そのため、それぞれ異なる地域の温泉資源の特性を各種調査の結果や既存資料から勘案する必要があり、特に温泉の採取量、地質構造によって大きく変わってくことに留意されたい。

① 深度を限定せずに行っている距離規制

都道府県が温泉の掘削深度を限定せずに行っている距離規制は、全 20 例中 7 例が 300～500m の範囲にある。なお、深度を限定しない距離規制は、掘削深度の浅い旧来の温泉地を念頭に置いて設定される場合が多いと考えられる。

そこで、過去に温泉資源の著しい枯渇化現象が発生した 3 つの温泉地を例にとり、枯渇化現象が生じていない時点の採取量と採取面積（＝源泉が分布する面積）の関係を基に源泉間の距離を考察した（別紙 2 参照）。

その結果、現状（資源保護のための対策実施後）又は枯渇化現象発生前の温泉の採取量から、1 源泉^(※2)当たりの所要面積を計算すると 0.119～0.176 km²となる。これが温泉資源の枯渇化現象を抑えるために必要な源泉密度となり、この面積を必要とする源泉を均等に配置するために必要な源泉間の距離^(※3)は 369～449m となる。

(※2) これらの事例で考慮した源泉数は、実際の源泉数ではなく、温泉地全体からの温泉の採取量をまず捉え、その量を全国平均の湧出量（100 L/分）で除した源泉数に置き換えている（全温泉の採取量／100＝源泉数）。

(※3) 距離規制の距離を α km とした場合、最も高い密度で源泉を配置する方法は、一辺 α km の正三角形の各頂点に源泉がある形である。その場合の 1 源泉当たりの面積は、0.866

$\alpha^2 \text{ km}^2 (= \sqrt{3/2} \alpha^2 \text{ km})$ となる。逆に、1 源泉当たりの面積として $\beta \text{ km}^2$ を確保するためには、各源泉の間に $1.07\sqrt{\beta} \text{ km}$ 以上の距離を取れば十分となる。

次に、水収支の均衡の観点からの検討を試みる。我が国の平均地下水涵養量は 1 日 1 mm (年 365 mm) とされており(「地下水学用語辞典」、そのすべてが浅深度の温泉となると仮定すると、 1 km^2 当たり年間 $365,000 \text{ m}^3$ の温泉が生成される。一方、毎分 100 リットルの温泉を常時採取し続けると、年間 $52,600 \text{ m}^3$ を採取することとなる。したがって、1 源泉当たり 0.144 km^2 の面積が必要となる。この密度の源泉を均等に配置するために必要な源泉間の距離は 406 m ($1.07 \times \sqrt{0.144} \text{ km}$) となる。

なお、ここでは、熱収支の均衡の観点からの検討は行わないこととする。これは、火山地域の温泉の熱源は地域に特有のマグマ等であり、熱量が地域によらずおおむね一定である地殻熱ではないことから、試算が困難なためである。

これらは、深度を限定せずに行っている距離規制について、全国的・平均的な観点から妥当性を検討したものであり、各地域においては、地質の構造又は泉脈の状態等、それぞれ異なる地域の温泉資源の特性を勘案する必要がある。

② 大深度掘削泉を対象に行っている距離規制

都道府県が大深度掘削を実施する場合の距離規制は 5 例あるが、うち 4 例が 1,000m、1 例が 2,000m であり(表 2)、最も多い距離は、1,000m といえる。なお、この 5 例のうち 3 例では大深度掘削泉を掘削深度 500m 以上とし、他は 1,000m 以上と定義している。

大深度掘削による温泉に関しては、検証する事例が十分でないことから、熱収支及び水収支の均衡の観点からも検証を行うこととする。

まず、熱収支の均衡の観点からのおおまかな検討を試みる。平均気温 15°C の場所で加温を必要としない 45°C の温泉を毎分 100 リットル採取すると、地下から毎分 3,000kcal の熱量を獲得することとなる。一方、非火山地域における大深度の温泉の熱源はおおむね地殻熱と考えられる。我が国の地殻熱流量は、非火山地域では $0.5 \sim 1.5 \text{ HFU}$ (※4) と推定されており、毎分 3,000kcal の熱量を獲得するには $3.33 \sim 10 \text{ km}^2$ の面積が必要となる。

(※4) HFU (heat flow unit) とは地球の熱流量の単位。 $10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{秒}$ 。1 平方センチメートル当たり 1 秒間に通過する熱量 (cal 単位) を表し、1cal は 1g の水の温度を 1°C 上げるのに必要な熱量をいう。現在、標準的に使用が推奨されている単位は mW/m^2 であり $1 \text{ HFU} = 1 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} = 4.184 \times 10^{-6} \text{ J/cm}^2 \cdot \text{sec} = 41.84 \text{ mW/m}^2$ であるが、ここでは分かりやすさの観点から HFU を用いる。毎分 $\cdot \text{km}^2$ 当たりに換算すると、600kcal (600,000cal) となる。

ここで、大深度掘削泉の距離規制は、一定の区域内に多数の源泉があるという前提ではないとして、周辺の源泉の密度が高くなければ、源泉の集水域同士に重なり

があっても、そのみで問題とはならない。したがって、源泉を中心とする $3.33 \sim 10 \text{ km}^2$ の円内に他の源泉がなければよいという考え方も成り立ち、その場合の距離規制は $1.03 \sim 1.78 \text{ km}$ となる（別紙 3 参照）。

次に、水収支の均衡の観点からの検討を試みる。我が国の年降水量は約 $1,668\text{mm}$ （※5）であるが、そのうちどの程度の割合が大深度の温泉となるかは明らかではない。したがって、逆に、 $1,000\text{m}$ の規制距離を設けることで、降水量の何%が大深度の温泉となることに相当するかを試算し、それが現実のデータに矛盾しないかという観点からの検証を行うこととする。

源泉間の規制距離（ α ）を $1,000\text{m}$ とした場合、一つの源泉が集水し得る面積は 0.866 km^2 となる（ $\sqrt{3/2} \alpha^2$ （※6））。その範囲における 1 年間の降水量は、わが国の年平均降水量 $1,668\text{mm}$ （ $=1.668\text{m}$ ）を用いると、約 $1,444,400\text{m}^3$ となる。 100L/分 （ $=0.1 \text{ m}^3/\text{分}$ ）の揚湯を行う大深度掘削泉が 1 年間に採取する温泉の量は、 $52,560\text{m}^3$ （ $=0.1 \text{ m}^3/\text{分} \times 60 \text{ 分} \times 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日}$ ）であり、規制範囲内の降水量に対する比率は、 $52,560\text{m}^3 \div 1,444,400\text{m}^3 = 0.0364 = 3.64\%$ に相当する。

ここで、温泉の水収支に関するデータとしては、箱根カルデラ及び湯河原カルデラにおいて温泉の水位、温度、成分が経年的に低下していた時期に、降水量のそれぞれ 4.6% 、 5.5% 程度の温泉を採取していたという事例がある（別紙 4 参照）。

（※5）令和 6 年版「日本の水資源の現況」国土交通省水管理・国土保全局水資源部

（※6）多様な視点からの検討を試みるため、ここでは集水域同士の重なりを考慮し、※2 で用いた最も高い密度で源泉を配置する方法で計算することとした。ちなみに、熱収支に関する検討で用いた手法（半径 $1,000\text{m}$ ）をとった場合、規制範囲内の降水量に対する比率は 1% 相当となる。

これらは、大深度掘削泉を対象に行っている距離規制について、全国的・平均的な観点から降水起源の温泉についての妥当性を検討したものであり、各地域においては、地質の構造又は泉脈の状態、新たな掘削等による温泉の採取量等で規制される距離も異なるため、それぞれ異なる地域の温泉資源の特性を勘案する必要がある。

（３）距離規制の基点となる「既存源泉」と未利用源泉等の関係

距離規制の設定に当たっては将来にわたって温泉の採取を行わない源泉は、距離規制の基点となる「既存源泉」として取り扱うべきではない。

①未利用休止源泉

ここで、現時点では温泉の採取を行っていないが、将来採取が再開される可能性が完全には否定できない状態の源泉を「既存源泉」として取り扱うべきか否かが問題となる。

この点については、幾つかの都道府県において、過去の一定期間に採取を行っていなかった場合には、「既存源泉」として取り扱わないという方法で対応している例がある（表４）。

このような方法は、温泉の湧出量等に影響を及ぼすものでない限り許可するという法の原則に整合的であり、法においても、特に問題となるものではない。なお、一定期間の休止後の採取の再開がない場合もあり得るので、都道府県知事は採取の状況等を法に基づく報告徴収又は立入検査を通じて、適時適切に把握することが望ましい。

②未利用放流源泉

なお、全国的な未利用放流源泉に関する精確なデータは、現時点では存在しておらず、各都道府県において、未利用源泉に関する詳細なデータ及び現状を報告徴収や立入検査等を通じて積極的に把握することが必要である。これらのデータを踏まえ、温泉源を保護するため必要があると認めるときは、法第 12 条に基づく採取制限命令を適用する等し、温泉資源の特性等を踏まえた温泉の採取量の調整が実施されるべきである。

表 4 距離規制における未利用源泉の取扱い

距離規制において、一定期間利用していない源泉を
既存源泉とみなさない都道府県の数＝8

(内訳) ～既存源泉とみなさなくなる未利用期間～ (都道府県数)

10 年	1
5 年	2
3 年	1
未利用となった時点	1
その他	3

その他の内容

- ・未利用源泉の定義はなく状況に応じて判断することとしている。
- ・期間の設定はない。
- ・源泉所有者への聞き取り等をもとに個別判断する。

3-2. 温泉の採取量に関する取扱い

(1) 考え方

温泉は自噴、動力装置による揚湯にかかわらず、当該源泉からの温泉の採取量に応じて源泉の水位（孔口圧力）は低下し、その結果、より広範囲から温泉を集水することになるため、その影響は広範囲に及ぶこととなる。

特に動力の装置に際し採取量の制限値を条件とする場合には、地域の温泉の賦存量を把握するとともに、井戸の能力を評価することが重要である。上記を把握するためには、平時から長期を見据えたモニタリングを実施し、その結果を基に温泉資源動向を捉えることも有効な調査項目の一つである。（別紙5参照）。

(2) 具体的な設定方法

動力の装置の条件としての採取量制限の内容は、地域の特性や実情を踏まえ、温泉資源動向等の状況に基づいて評価・検討し判断すべきである。加えて、利用目的に応じた必要量以上の採取は行わないように、事業者に協力を求めること等も考えられる。

4. その他の掘削等

掘削等の原則禁止区域や距離規制は、温泉の採取量の増加に伴い温泉資源の枯渇化現象が発生することを未然に防止するために行われている。したがって、温泉の採取量の増加を伴う掘削等は認めるべきでないことは当然であるが、採取量の増加が生じない掘削等の取扱いが問題となる場合がある。

具体的に検討が必要なケースには、既存源泉の1つを埋め戻してその近くに新たな源泉を掘削するいわゆる「代替掘削」と、一定区域内において、新たな源泉を掘削し、複数の既存源泉を埋め戻してより少数の源泉に集約するいわゆる「集中管理方式」がある。

（１）「代替掘削」について

既存源泉の埋め戻しを行い、その近くに新たな源泉を掘削するいわゆる「代替掘削」については、安定した量の温泉を採取していた井戸が物理的に故障する等、新たな源泉の獲得を認めないことで当該事業者に著しい損失が生じる場合等の際には、従来の採取量を上回らないことを前提に、新規の掘削等として許可等の判断を行う余地はあると考えられる。

（２）「集中管理方式」について

一定区域内において、新たな源泉を掘削し、複数の既存源泉を埋め戻してより少数の源泉に集約するいわゆる「集中管理方式」については、温泉資源の保護を目的として行われる場合には、積極的に認めるべきと考えられる。

なお、従来の採取量を上回っていないこと、区域内の大多数の既存源泉所有者の参加があること等、温泉資源の保護の目的と効果を確認した上で新規の掘削等として許可等の判断を行うことが期待される。

コラム 掘削時における安全性の確保

温泉井戸掘削中に発生した可燃性天然ガスによる事故は、平成 17 年における東京都北区及び大分県大分市の事案以降、新たな報告はありません。このことは、平成 19 年に温泉法が改正され、掘削事業者等による各種対策が行われた一定の成果とも考えられます。

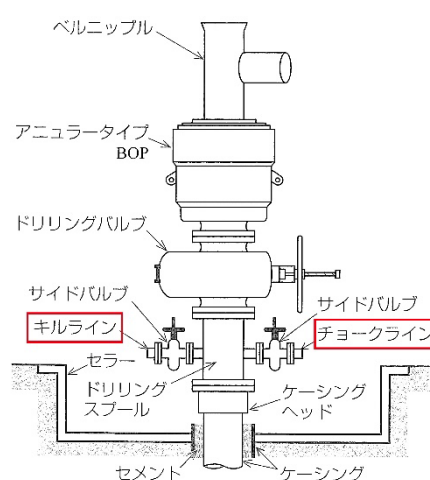
掘削許可処分に当たり、掘削時における噴出事故等を防止する観点から、BOP（噴出防止装置）の設置が必要となる事例もあります。そのような場合においては、可燃性天然ガスの事故防止や、井戸の圧力などから開発対象深度の地層に対して適切なスペックの BOP の設置を検討することが望まれます。また、チョークライン及びキルライン※⁷（抑圧作業を行うための泥水配管）を設けること、BOP の事前動作確認を実施すること、事故時における操作手順を検討しておくことも必要です。

なお、可燃性天然ガスを多く含む温泉付随ガスが発生する温泉は、油田・ガス田の分布地域の近くにみられます。「可燃性天然ガスの噴出のおそれ」の有無については、「日本油田・ガス田」分布図（地質調査所（現・独立行政法人産業技術総合研究所）, 1976）、周辺既存源泉の可燃性天然ガスの測定結果（ガスの発生状況）、近隣地域でのガス噴出事例等を参考にすることが考えられます。

適切なスペックの装置を選択するうえで、圧力（耐圧）が重要なポイントになります。圧力の単位は一般に MPa（メガパスカル）が用いられますが、イメージしやすいように水頭（水の高さ）で考えてみると、100m 掘削した位置で孔内が水で満たされている場合、高さ 100m 分の水の重さの圧力が孔内にかかっていることとなります。100m 分の水の重さ $\approx$ 1MPa であるため、噴出を防止するためには、掘削深度と地層に応じて耐え得るスペックの装置を選択する必要があります。



アニュラータイプ BOP 設置状況



掘削用孔口装置取付状況

出典：学校法人シオパワー学園監修（2021）
掘削技術の知識と実務 スピンドル式掘削編

※⁷ チョークラインは、BOP を閉めた状態で背圧（下流における圧力）をかけながら泥水を排出するための配管。キルラインは、孔内に泥水を送り込むための配管。

5. 既存源泉の所有者等の同意書を得る方式の取扱い

温泉の掘削等の許可の申請に際し、周辺の既存源泉の所有者からの同意書を得よう指導している都道府県が見受けられる（表5）。これには様々な歴史的背景があると考えられるが、判例（平成18年8月31日東京高等裁判所）では、申請者が周辺の既存源泉の所有者との同意書の取り交わしに応じなかったとしても、このことが不許可事由に該当すると解することはできないとされた事例がある。

一方、同意書を得る行為は申請者が温泉資源の保護の必要性を認識する上で重要な契機となり、その結果として、同意書を求める方式が温泉資源の枯渇化現象を招くような過剰な開発の防止に一定の役割を果たしてきたことも否定できない。

したがって、申請時に同意書を得ることを求める場合には、都道府県担当者はあくまで当該行為が行政指導であることを認識した上で、温泉資源の保護等の目的のために有効かつ必要なものか否かを検証するとともに、都道府県における行政手続に関する条例等に定める行政指導に関する規定^(※)を遵守することが求められる。

表5 源泉所有者等の同意書添付指導状況

掘削申請時等に既存源泉所有者等の同意書を添付するよう

求めている都道府県の数＝36

(内訳) ～同意書添付を求める既存源泉からの距離～	(都道府県数)
3000m	1
2000m	1
1000m	14
800m	1
700m	0
500m	16
300m	1
200m	2

(注：特別な地域（保護地区等）とその他の地域にカテゴリーを分割した上で異なる規制設定を設けている場合は最も大きな数値を選択。)

(※ (参考)「東京都行政手続条例」抜粋)

第四章 行政指導

(行政指導の一般原則)

第三十条 行政指導にあつては、行政指導に携わる者は、いやしくも当該都の機関の任務又は所掌事務の範囲を逸脱してはならないこと及び行政指導

の内容があくまでも相手方の任意の協力によってのみ実現されるものであることに留意しなければならない。

- 2 行政指導に携わる者は、その相手方が行政指導に従わなかったことを理由として、不利益な取扱いをしてはならない。

6. 条件付許可

都道府県知事は、法第4条第3項の規定に基づき、温泉の掘削等の許可には、温泉資源の保護、可燃性天然ガスによる災害の防止その他公益上必要な条件を付し、及びこれを変更できるとしている。現在、各都道府県が付している条件には、以下のようなものがある。

① 掘削許可処分に関する条件付けの事例

- ・（掘削行為中に）周辺既存源泉に影響を及ぼさないこと
- ・（掘削行為中に）周辺の水源井戸、湧水へ影響を及ぼさないよう措置すること
- ・（掘削行為中に）周辺の生活環境を害するおそれがないようにすること
- ・（掘削行為中に）河川、農業用水路への水質汚染防止措置を講ずること

② 動力装置許可処分に関する条件付けの事例

- ・観測機器の設置、記録
- ・周辺の生活環境等への影響確認
- ・揚湯量の上限の設定

こういった条件が履行されているかの確認に当たっては、都道府県の温泉担当部局のみならず、必要に応じて部局間の連携を図ることが望まれる。

なお、掘削等の行為が完了した後において、法とは別に各都道府県が条例等により、源泉所有者等がモニタリングを実施すること等を定めることは否定されるものではない。

第三 個別的許可判断のための影響調査等

「第二 掘削等の原則禁止区域の設定、既存源泉からの距離規制、温泉の採取量に関する取扱い」では、掘削等を個別の事情によらず、掘削等を行う位置により一律に制限する手法についての考え方を示した。本項では、個別の事情に応じた制限の手法についての考え方を示すこととする。

ここで、掘削等の許可処分のうち「掘削」及び「増掘」については、特に温泉賦存量等の科学的データが不足している場合において、その実施段階での温泉資源への影響の把握が難しいこと、実施方法においても工夫により影響を軽減する手法が乏しいことという2つの理由により、個別の事情に応じた制限を行うことは難しい。

一方、「動力の装置」については、掘削工事中等に行われる試験的な動力の稼働による調査も可能であり、また、動力の能力や温泉の採取量の制限という手法により影響を軽減することが可能である。

したがって、ここでは、動力の装置に当たっての、温泉資源への影響に関する調査の手法と、その結果を動力装置許可処分に関する条件付けに反映するための考え方を示すこととする。

なお、ここでは、掘削工事中等において行われる動力の装置のための温泉資源への影響調査について述べるが、自噴泉が他の温泉の湧出量等へ及ぼす影響の調査を不要とすることではない。なお、自噴泉に対する影響調査については、水位の代わりに湧出量（自噴量）を測定するか、孔口圧力（静止水頭）を測定することにより、調査することが可能であり、影響回避のためには温泉資源の特性等を踏まえ、自噴量を制限する等の方法も考えられる。

1. 影響調査等の実施対象及び実施方法

（1）影響調査等の実施対象

動力の装置に当たっての温泉資源への影響の調査の手法は、掘削工事中等において、試験的に動力を稼働して温泉を揚湯し、その影響を把握することが一般的である。把握すべき影響の内容により、周辺の既存源泉への影響を把握する「影響調査」と、その源泉自体の集湯能力の限界を把握する「揚湯試験（集湯能力調査）」の二種類に区分される。

このうち「影響調査」については、当然、周辺に既存源泉がある場合に限り行うものである。この「周辺」をどの程度の距離とするかについては、様々な考え方があり得る。具体的な判断においては地域の特性（例えば、地質の構造や泉脈の状態）及び地域における温泉賦存量等を考慮すべきである。

一方、「揚湯試験（集湯能力調査）」については、あらゆる動力揚湯泉に集湯能力の限界があり得ることから、周辺源泉の有無にかかわらず、動力の装置の際にはすべて実施されることが望ましい。

（２）影響調査等の実施手法

影響調査及び揚湯試験（集湯能力調査）の具体的な方法としては、「動力装置の際の影響調査実施手法及び揚湯試験実施手法」に示す手法が考えられる（別紙６参照）。その結果を、動力装置許可申請書（例として法施行規則第６条第２項第５号に基づき都道府県知事が審査するために必要と認める書類として）へ添付させるか否かは個々の事情に応じて判断することが必要である。

なお、周辺源泉への影響調査の実施に当たっては、既存源泉の所有者等の協力が不可欠であり、どのように協力を得るか問題となる場合がある。既存源泉所有者は、このような影響調査を通じて、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、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。なお、既存源泉所有者が調査に協力しない場合に、所有源泉に何らかの影響が生じたことを主張する際、源泉所有者自らが影響関係を科学的に証明しなければならないこともある。

また、影響調査に関する趣旨の説明は、事前に周知するほか、都道府県が既存源泉所有者に協力を依頼する際に個々に説明を実施する方法も考えられ、それらに併せて、説明の経緯や調査への協力の有無を記録しておくこともあり得る。どうしても協力が得られない場合は、例えば、揚湯試験結果から単一井による推定を実施したり、他源泉への影響量から推定を実施したりする等、他の方法により検討を行うことも可能であると考えられる。なお、既存源泉所有者は可能な限り協力することが重要であり、所有源泉をはじめとする地域の温泉資源保護のためにもこうした協力は源泉所有者に求められることである。

（３）影響調査における注意点

透水性が低い場合、既存源泉と温泉の採取層が異なる場合及び井戸の位置関係等によっては、影響の出現まで長時間を要することもある（別紙７参照）。この場合、揚湯試験日数や影響調査日数が通常の源泉と比較して、長期間を必要とする場合があるため、動力装置許可申請者及び影響調査実施者等は対象地域の透水性や採取層を考慮して、影響調査計画を策定する必要がある。

また、調査後の留意点として、調査期間中に影響が現れない場合でも、調査終了後、徐々に影響が出現することもあるので、源泉所有者は定期的に温泉湧出等状況

をモニタリングし記録することが重要である。温泉資源動向に合わせ影響を拡大させないよう、採取量を自主的に調整・管理することが望まれる。

2. 調査結果の反映

前述の影響調査等の結果、動力装置による温泉の採取が温泉の湧出量等に影響を及ぼすと認めるときに、これを不許可とすることはもとより適法である。

また、揚湯試験（集湯能力調査）の結果から適正揚湯量を算出し、当該適正揚湯量の範囲内とする動力の能力や揚湯量の制限を条件に動力装置の許可処分を行っている事例が見受けられる。このうち、動力装置の種類、出力等は許可申請事項そのものであるため、その条件は許可手続により完結する。一方、都道府県知事が揚湯量制限の設定を法に基づく許可条件に付するということは、許可対象である動力の装置完了後の行為を制限するものである。当該許可行為完了後においては、その許可条件違反に対しての許可の取消しが行えるものではないが、条件とした揚湯量制限を超えた採取を行うことは、法第 12 条で規定する温泉の採取の制限に関する命令のひとつの目安ともなることを採取する者にあらかじめ知らせる契機ともなる。この結果として、源泉所有者に対して温泉資源の動向に応じた調整及び管理を自主的に行うことの重要性を認識させるとともに、過度な採取を行わないように促すことができると考えられる。

第四 温泉資源保護のためのモニタリング

「第三 個別的許可判断のための影響調査等」で記述したとおり、特に温泉賦存量等の科学的データが不足している場合には「掘削」や「増掘」について、その実施段階での温泉資源への影響の把握が難しい。また、動力の装置に当たっての温泉資源への影響の調査は、温泉資源への短期的な影響のみを把握するものである。このため、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、インバウンド拡大等の要因による温泉需要の急速な拡大や掘削技術等の進展により、規制区域の外縁付近や、これまで温泉開発の対象となっていなかった地域での開発事例の増加が見込まれるような場合（掘削深度についても同様）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、温度・湧出量・水位等のモニタリングを行うことを基本とし、特にモニタリング機器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。モニタリング機器の設置例を図3に示す。温度計、流量計、水位計の3点を10数万円から購入できるものもあるので、源泉ごとに機器選定を行うことが大切である。また、既存源泉においては、高精度の機器でなくても、実施可能な項目（温度など）を目的に応じた適切な手段でモニタリングを長期に行い、データが蓄積されるのが重要で、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。

さらに、都道府県が、未利用源泉等を観測井として活用する等、自治体と源泉所有者及び研究機関等が協力しながら、地域の温泉資源の保護対策を推進するためのモニタリングデータを長期的に収集することが望ましい。

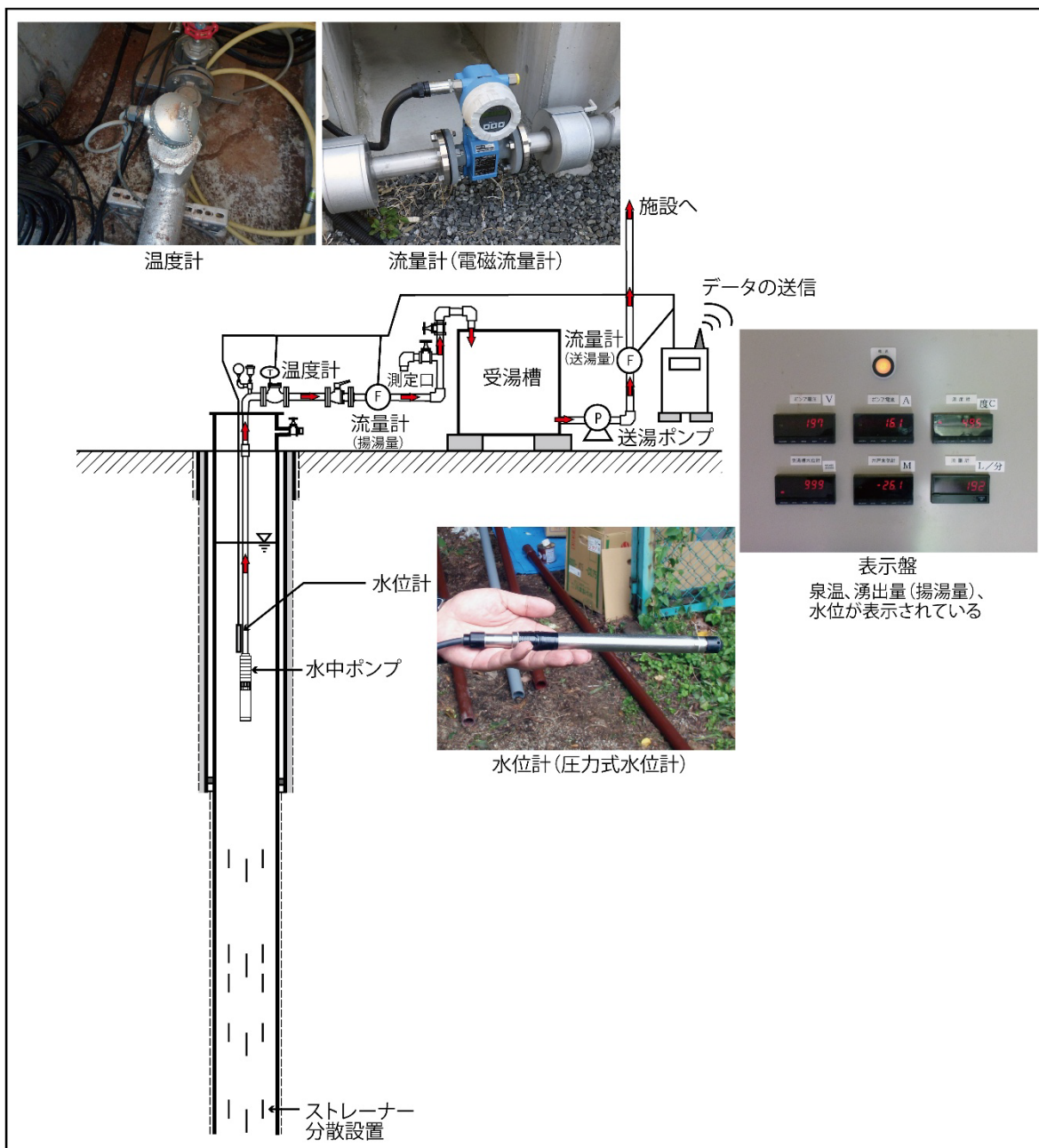


図3 モニタリング機器の設置例(温度計、流量計、水位計)

1. モニタリングの実施方法

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。具体的な実施手法は「温泉モニタリング実施手法」に記載した（別紙8参照）。また、環境省では主に源泉所有者等がモニタリングを行うことができるよう代表的な測定方法と主な注意点等をまとめた「温泉モニタリングマニュアル」を平成27年3月に策定した。

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や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。また、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ことが望ましく、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、定期的を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、これを散逸させることなく他のモニタリング項目とともに適切に保管するとともに、温泉源の現状把握や保護のための規制について検討する際に十分に活用されるべきである。

2. モニタリング結果の反映

温泉の特性上、短期間のモニタリングでは把握することができない事例があるため、実態の把握には長期間のモニタリングが重要である。また、資源動向を捉えるためには、モニタリングデータを記録・整理し、集計・グラフ化する等の解析が必要である。

都道府県は、上記モニタリングの結果等を積み重ねることにより、掘削等の許否の判断、掘削等の原則禁止区域の範囲や規制距離の設定の見直しに活用すべきである。

モニタリングを実施する中で、水位の急激な低下や低下傾向の継続が確認された場合には原因を究明した上で、必要に応じて、法に基づき、温泉源の保護を図るために必要があると認めるときは、温泉の採取制限命令を適時・適切に実施すべきである。

なお、行政のみならず源泉所有者等が自らモニタリングを行いその結果に基づい

て、自ら温泉資源保護に資するような採取量の調整・管理を行うこと及び自ら源泉の維持・管理を行うことの重要性を周知し、自主的に実行されることが強く望まれる（別紙9 参照）。

事例 温泉モニタリングの取組事例【別紙9】

源泉所有者主体の温泉モニタリング事例

山形県肘折温泉では、周辺で高温岩体発電実証試験が開始されたことを契機として、平成3年から肘折温泉組合がモニタリングを開始しました。

月1回のモニタリングでは、源泉所有者が温泉使用量との比較を行い、温泉掘削業者や調査会社の協力を受け、測定精度の向上に努めています。また、開発事業者がモニタリングに同行し、同じデータを利害関係者間で共有することで、温泉への影響回避のための具体的な対応が可能になっています。



肘折温泉の温泉モニタリング

肘折温泉組合では、担い手の育成によりモニタリング体制が維持され、30年以上の長期にわたりデータが蓄積されています。また、蓄積されたデータにより、肘折温泉の湧出の特徴を把握することで、周辺の工事に伴う影響の有無等について、速やかな判断が可能となっています。

温泉利用者主体の温泉モニタリング事例

大分県の別府温泉では、平成28年から別府市や別府温泉地球博物館が中心となり、市民参加型の「せーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査」（一斉調査）を毎年実施しています。

この調査は、市民や温泉愛好家等、別府温泉の利用者に、温泉調査を体験してもらい、資源としての温泉を考えてもらう機会を作ることを目的として実施されており、一斉調査で得られたデータは、基礎的な情報を提供することを目的としてウェブサイトで公開されています。



別府温泉の温泉モニタリング

第五 公益侵害の防止

法では、温泉の湧出量等へ影響を及ぼすと認めるときのほか、「公益を害するおそれがあると認めるとき」は、掘削等を不許可にできるとされ、都道府県により許否の判断が積み重ねられてきた。

温泉の掘削等に伴う公益侵害の類型、発生の様相は個々の状況ごとに様々であり、一律の判断基準を設けることは困難である。そこで、本ガイドラインでは、公益侵害への対応の在り方について、共通する考え方を示すとともに、典型的な類型への対応の具体例を示すこととした。

今後、掘削等の事務処理に当たっては、引き続き本ガイドラインが示す考え方や具体例を参考にしつつ、掘削工事方法等の個々の事情、従来の不許可事由等を総合的に勘案した上での判断がなされることが期待される。なお、公益侵害の有無の確認等に当たっては、都道府県の温泉担当部局のみならず、必要に応じて部局間の連携を図ることが望まれる。

1. 公益侵害への対応についての考え方

(1) 不許可に反映できる公益侵害の範囲

掘削等の不許可に反映できる公益侵害の範囲は、原則として、掘削等に直接に起因するものに限定される。ただし、間接的な事柄であっても密接不可分の関係にあるものは含み得る。なお、「間接的であるが密接不可分の関係にあるもの」に該当する例としては、掘削工事中等に湧出した温泉の放流に伴う公共用水域等の水質への影響等が挙げられる。

(2) 公益侵害への対応についての考え方

① 手続面（不許可又は許可に付する条件）について

公益侵害のおそれがあると認められる場合は、都道府県知事は掘削等を不許可とすることができる。一方で、公益侵害を回避するための条件を付した上で、許可をすることも考えられる。許可に付する条件の例としては、以下のようなものが考えられる。

- ・ 一定の行為（公益侵害発生に対する対策等）を行う旨の条件
- ・ 一定の行為（公益侵害を発生させる行為等）を行わない旨の条件
- ・ 公益侵害の発生の有無を監視（モニタリング） など

これらの条件に違反した場合は、都道府県知事は、法 9 条第 1 項第 4 号に基づき、許可の取消しができる。

ただし、上述の許可の取消し等は、法上、許可の対象となった掘削等の完了後には行うことはできない。掘削等の完了後に実施すべき内容については、各都道府県が独自に定める条例、業者と締結する協定等の手法により、掘削等完了後に法とは別に定められた内容の履行を担保することは可能と考えられる。

なお、許可に付した条件に関するこれらの考え方は、公益侵害の回避のための条件だけでなく、温泉の湧出量等への影響の防止のための条件についても同様である。

② 実体面（公益侵害の判断基準と対策の内容）について

どのような場合が公益侵害に該当するか、また、どのような対策を行わせるべきかは、最終的には個々の事情ごとに判断するほかないが、以下のような例により判断することが考えられる。

- ・他の規制法令の適用を受ける場合に、その法令を遵守しているか否かで判断する。
- ・温泉の掘削等に類似する行為に対する規制がある場合に、その規制基準を援用して、温泉の掘削等がその基準の範囲内に保たれているか否かで判断する。
- ・地域の社会環境、自然環境等に関する目標・基準等が定められている場合に、温泉の掘削等によりその目標・基準等の達成が妨げられないか否かで判断する。

2. 具体的な公益侵害の類型と対応

温泉の掘削等に伴い発生する公益侵害の類型としては、がけ崩れ、溢水、有毒ガスの発生、地盤沈下、近隣の水井戸や湧水の枯渇、水質への影響、騒音・振動等が挙げられる。

以下では、それらの様々な類型の公益侵害のうち、具体的な対応の例がある「騒音・振動」、「温泉の放流に伴う水質への影響」、「地盤沈下」について、公益侵害に該当するか否かの判断基準と対応の具体例を示すこととする。

なお、可燃性天然ガスの発生については、平成 19 年 11 月の法の改正により、温泉の掘削、増掘及び採取は一定の技術基準に従って対応されることとなった。したがって、「公益侵害」の一類型として個々の事情ごとに対応するのではなく、技術基準に適合するか否かで許否を判断することとなる。

（１）騒音・振動

騒音規制法（昭和 43 年法律第 98 号）及び振動規制法（昭和 51 年法律第 64 号）では、著しい騒音・振動を発生する建設工事（特定建設作業）を規制対象として指定し、規制基準を設定して、規制対象地域（生活環境を保全する地域）内ではその遵守を義務付けている。

温泉の掘削工事は、騒音規制法及び振動規制法の規制対象とはなっていないが、削岩機を使用する作業等の規制対象となっている工事と類似した工事であり、また、発生させる騒音・振動の性質も類似している。したがって、温泉の掘削工事についても、これらの規制基準を超える騒音・振動の発生を一律に公益侵害に該当すると解し、法 9 条第 1 項第 1 号に基づく許可の取消しを行うことは可能である。また、騒音・振動の規制基準を法に基づく条件の基準の目安とすることも可能である。

その場合、騒音規制法及び振動規制法は区域ごとに異なる規制基準を適用しているため、その区域ごとの規制基準を超える場合を公益侵害に該当すると解することが原則と考えられる。ただし、個々の掘削工事の場所の事情に応じて、異なる区域の規制基準を適用することも認められる。

具体的な手続は、騒音・振動を一定基準以下にすることを許可条件とし、工事中に基準を超える騒音・振動の発生が判明した場合は、行政指導による改善措置（工事方法の改良、工事時間の変更等）を求める、又は法 9 条第 1 項第 4 号に基づく許可の取消し及び同条第 2 項に基づく措置命令が可能である。

（２）温泉の放流に伴う水質への影響

水質汚濁については、水質汚濁に係る環境上の条件につき人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持することが望ましい基準（以下「環境基準」という。）が定められている。

したがって、掘削工事中等の温泉の放流により、公共用水域等^(※)において、環境基準に定める項目の濃度が相当程度に上昇し、環境基準値超となる場合には、公益侵害に該当すると解することが可能である。

※公共用水域等とは、水質汚濁防止法（昭和 45 年 12 月 25 日法律第 138 号）において定義される公共用水域のほか、水田、農業用ため池及び養魚池等が想定される。

ただし、環境基準では、塩分濃度に関する基準値は定められていない。塩分濃度については、水道法（昭和 32 年法律第 177 号）の水質基準に塩化物イオン濃度の基準値が、農業（水稻）用水基準（昭和 45 年農林省公害研究会、昭和 46 年 10 月 4 日農林水産技術会議）に電気伝導度の基準値が定められている（別紙 10 参照）。このため塩分濃度については、水道法の水質基準や農業（水稻）用水基準を参考に、公益侵害に該当するかどうかを実際に発生する影響の程度に応じて判断すること

が考えられる。

具体的な手続は、動力装置の許可の条件として、掘削工事中等の温泉の放流に関して、公共用水域等への影響がない場所への放流を求めることや、影響のおそれがある場所に放流する場合には継続的な水質のモニタリングと公益侵害となる程度の影響が発生した場合には放流方法の変更を求めること等が考えられる。

なお、類似の例として塩分を含む温泉の放流に伴う水質への影響を調査した例としては、「沖縄県宮古島市における塩化物イオン濃度の上昇に係る原因究明調査事例」がある（別紙 11 参照）。

（３）地盤沈下

地盤沈下については、その発生のおそれがある地域において、工業用水法（昭和 31 年法律第 146 号）及び建築物用地下水の採取の規制に関する法律（昭和 37 年法律第 100 号）により、地下水の採取に対する規制が行われている。規制基準は、ストレーナーの位置及び揚水機の吐出口の断面積により定められている。なお、これらの法律で採取が規制される「地下水」からは、温泉は除かれている。

また、自治体においては独自に条例等による地下水の採取に対する規制が行われている場合も相当数ある。

一般に、温泉は地下水と採取の深度が異なり、採取量の面からも多くはないため、地盤沈下のおそれは小さいと考えられるが、地下水の採取に対する規制が行われている地域では、地盤沈下や地下水採取の状況等を踏まえ、温泉の採取を地下水の採取に類似した行為として捉え、地下水の採取に対する規制基準をそのまま援用することも不当とは言えない。

具体的な手続は、ストレーナーの位置、揚水機の吐出口の断面積、採取量等の何の項目に着目した規制を行うかで異なるが、掘削等の許可に条件を付することが考えられる。いずれにしても、地盤沈下の特性からみて個々の掘削等の事情に応じた対応は不要と考えられるため、事前に審査基準を定め明らかにしておくことが適当である。

地盤沈下の防止を理由に、温泉の採取の規制を行っている例としては、「動力装置許可の審査基準（東京都）」の例（別紙 12 参照）がある。

第六 その他

温泉資源の保護及び公益侵害のおそれに対する的確な対応を図るため、また、関係者や国民に対し所要の対策等について協力を求めるためには、温泉の湧出量、温度及び水位等のモニタリング並びに温泉に関する多種多様なデータの収集・整理及び解析を推進するとともに、こうしたデータの公表を行うことが極めて重要である。

また、科学的なデータだけでなく、法に関する事務処理事例の体系的な収集及び法学的な面からの議論・研究を推進することが、関係者や国民の温泉行政に対する理解を深めることにつながると考える。

他方、都道府県においてもこれまで以上にデータの収集・整理及び解析や法的議論を進める必要がある。

これらを踏まえ、環境省では平成 21 年 3 月に策定した温泉資源の保護に関するガイドラインにおいて示された課題について検討を行った。以下にその検討内容を記載する。

1. 大深度掘削泉について

(1) 大深度掘削泉の資源的特性

大深度掘削泉の定義については、各都道府県の地域の特性や実情により異なっている。ここではおおむね 1000m 以上の掘削を行っているような掘削源泉に対して大深度掘削泉と定義する。

大深度掘削泉に特化した調査事例はまだ少なく温泉の賦存量に関わる詳細な地質・水理データの情報は少ないが、大深度掘削泉では、掘削後数年で湧出量や泉質等の状況が大きく変化する事例が幾つか報告されている(別紙 5 及び別紙 13 参照)。この根本的な原因としては、短期間の揚湯試験や影響調査では、適正揚湯量の判断が正確に行えない場合があり、過剰揚湯となっているケースが多いためである。地層の透水性が低く、停滞性の温泉(化石水等)を採取している場合、水位の安定を得ることが困難な場合もあり、適正揚湯量の判断が難しい特徴がある。

また、大深度掘削泉における揚湯試験(集湯能力調査)及び影響調査については、安定水位を得て影響の確認を行うまでに、大深度掘削泉以外と比較して長期間を要することが多く、試験日数も大深度掘削泉以外と比較して長期の日数を要する。なお、採取開始後においても、温泉資源動向把握のためにモニタリングを実施し、その動向に応じて、温泉資源保護に資するよう採取量の調整・管理を行うことが重要

であり、必要に応じて当初に設定された揚湯量（採取量）を見直すことも求められる（別紙 13 参照）。

（２）大深度掘削泉の採取に伴う地盤環境への影響実態

温泉の採取が地盤沈下を引き起こしたとされる事例はほとんどないと考えられる。しかしながら、温泉の採取量は地上に揚水又は揚湯される地下水全体量のうち 1 割程度を占めていることに鑑みれば、一部では地盤沈下の原因に温泉が関係する可能性もあると指摘されている。地盤沈下が問題となっている地域では、既に地盤沈下に対する条例等も存在するが、広域で過度な水位低下が発生しないよう温泉も対策が必要とされる場合もある。

（３）大深度掘削泉における揚湯試験（集湯能力調査）

特異な水位変化を示す場合、段階・連続揚湯試験結果による解析ができない場合は、「動力装置の際の影響調査実施手法及び揚湯試験実施手法」を参考に試験日数を長くすること、回復試験結果を参照すること、他の規制や基準を活用すること等により総合的に解析することが望ましく、何らかの他の方法で適正揚湯量の検討を行うべきである（別紙 6 及び別紙 14 参照）。調査で明確に判断できない場合には、採取開始後の長期モニタリング結果に基づき、必要に応じて指導を行うことも考えられる。

（４）大深度掘削泉の特性把握等の参考となる科学的資料

大深度掘削泉に関する情報収集は未だ不十分である。地域の大深度掘削泉の特性を捉えるには調査等を実施し、例えば下記のような情報を収集することで、大深度も含めた地域の温泉の賦存量等を把握することが望ましい。

① 地質柱状図、検層図、揚湯試験結果、モニタリングデータ

地質柱状図は作成精度を高める工夫が必要（作成を地質関係技術者に付託すること等）であり、検層図、揚湯試験結果及びモニタリングデータ等各種データは、比較しやすいよう各都道府県において、統一様式を用いる等の整理しやすい形式にして、収集することが重要である。

② その他（必要に応じて行う調査、分析結果等）

温泉の特性を詳細に調べるには下記のような資料も参考となる。

- ・ 水質変化の時系列データ
- ・ 同位体分析等による起源水の推定
- ・ 温泉水の年代測定結果 など

2. 未利用源泉について

(1) 未利用源泉の問題

現在、温泉を利用せずに河川等に放流している事例（未利用放流源泉）が存在する（自然湧出泉は除く）。これは、温泉資源の保護の観点に加えて、含有成分、高温等により河川等の水質、生態系等へも影響があると考えられる。

また、温泉の掘削等許可申請の処分に際して、既存の温泉の湧出量等に影響を及ぼすか否かを考慮する必要があることから、未利用源泉の存在が都道府県知事の可否の判断の際に考慮する事項となる場合もある。

さらに、地域資源である未利用源泉の温泉熱を有効活用することで、二酸化炭素排出量の削減による環境効果、光熱水費の削減による経済効果、地域活性化等への貢献が期待される。

(2) 未利用源泉における指導の在り方

現在、未利用源泉に対する調査は十分ではなく、その対策等の実施に当たっては、その実態を把握する必要があることから、都道府県担当者は、未利用放流源泉の成分や放流状況等を適切に把握することが望ましい。

また、利用されずに長期間放置されている場合は、温泉資源の保護、公共用水域等の汚染防止及び可燃性天然ガス等^(※)による事故の防止等という観点からは、未利用放流源泉は直ちに放流を停止させることが望ましい。

さらに、時間の経過とともに源泉所有者が不明となり問題が複雑化することが考えられるため、将来にわたって温泉の採取を行わない場合は、土地掘削者、温泉の採取者等に対し埋戻しを指導することが望ましい。

加えて、自治体と源泉所有者が連携して、温泉熱や源泉モニタリングの観測井として活用するなど、地域において有効活用していくことも大切である。

なお、未利用源泉の既存源泉としての取扱いに関しては第二 3.3-1 (3) 距離規制の起点となる「既存源泉」と未利用源泉等の関係も参照とすること。

※可燃性天然ガスによる災害を防止するため、温泉の採取の事業廃止の届出に関する規定が設けられている（法第14条の8第1項）が、改正法の施行前（平成20年10月1日）に温泉の採取の事業廃止をしている場合には、本規定は適用されないため、可燃性天然ガスの噴出のおそれがある場合は指導による安全な埋戻し等の早急な対処が必要である。

3. 近年の温泉利用形態について

(1) 温泉の浴用や飲用以外の目的での利用

都道府県における温泉の浴用や飲用以外の目的での利用実態をみると、農業・園芸利用、養殖利用、地熱・バイナリー・ガス発電利用、融雪利用、食品・飲用水利用が主なものであった(図4)。その他としては、湯の花採取、プール、ペット温泉、化粧品の原料等の利用があった。

また、環境省では温泉熱の更なる有効利用が促進され、脱炭素社会実現への機運が高まることを期待し、温泉熱を有効活用するための技術や検討手法等をまとめた「温泉熱の有効利用に関するガイドライン」を平成31年3月に策定した。

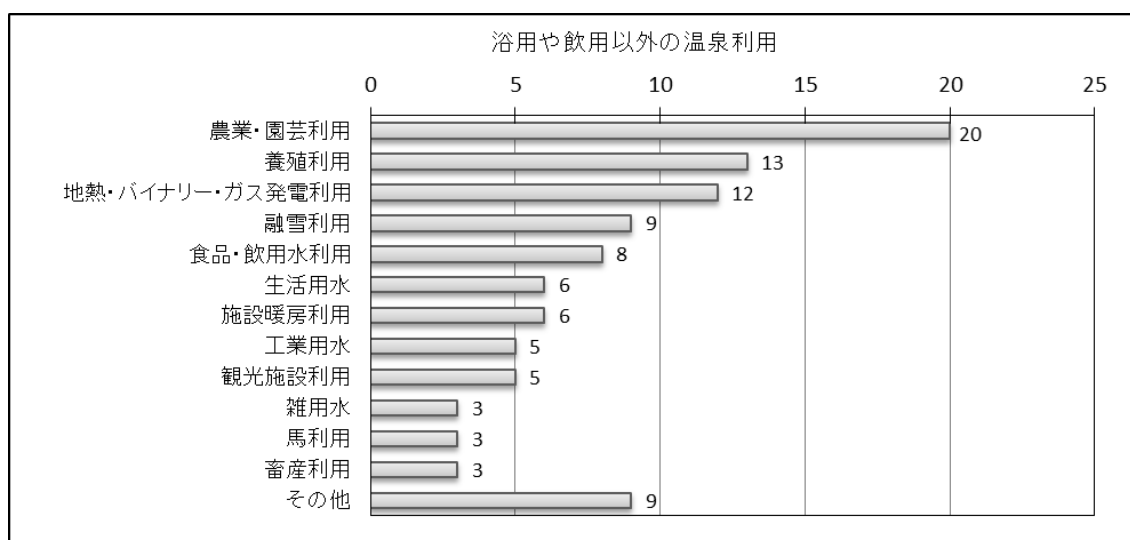


図4 浴用や飲用以外の温泉利用

(2) 温泉発電

環境省では温泉資源の保護を図りながら再生可能エネルギーの導入が促進されるよう、地熱発電の開発のための温泉の掘削等を対象とした「温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)」を平成24年3月に策定した。これは現在稼働している地熱発電所に相当する規模の地熱発電の一般的な開発段階における考え方を示したものであるが、本項目ではそれよりも小規模な温泉を用いた発電(以下「小規模温泉発電」という)について記載する。

小規模温泉発電は既に湧出している温泉を浴用可能な温度(50℃程度)まで冷ます温度差のエネルギーを用いて発電を行う場合もあり、このような場合では既存の温泉を活用し、二酸化炭素排出量の少ない発電を天候等に左右されずに行うことが可能となる。

小規模温泉発電には主に以下の方式がある。

- ・ 蒸気タービン発電（復水式）[図 5 (A)]
- ・ バイナリー発電 [図 5 (B)]

現在、全国で運転されている小規模温泉発電の多くは、バイナリー発電である。バイナリー発電は、温泉井戸から蒸気が湧出しない、あるいは弱い勢いの蒸気のみが湧出するといった蒸気タービン発電ができない場合に用いられる発電方式である。再生可能エネルギーの導入検討は、政府が掲げる 2050 年ネット・ゼロ^(※8)の実現に向けた重要な取組の一つであり、温泉発電も再生可能エネルギー源の一つとして導入検討が行われ、様々な知見が蓄積されていくと考えられる。

(※8) ネット・ゼロとは、温室効果ガスが排出される量と吸収・固定される量の差し引きがゼロになること。

なお、「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書」（独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）（当時）（現 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）以下同じ。））によると、バイナリー発電により高い事業性を確保する観点から経済性のある温泉発電事業を始めようとする場合、温泉井や立地場所として以下の条件が挙げられている。

【経済性のある温泉発電所が可能な条件】

- ① 高温で十分な量の熱水が得られること（80℃以上、300 L/分以上^(※9)）
- ② 十分な量の冷却水があること（熱源（温泉の温度）と冷却水の温度差が 65℃以上）
- ③ 送電線が近くにあること

(※9) 大分ベンチャーキャピタル株式会社の目安。大分ベンチャーキャピタル株式会社とは、1997 年 10 月、大分銀行の関連会社として設立された。その中で、おおいた自然エネルギーファンドは、25 億円の融資枠を持ち、主として大分県内の温泉事業者が保有する泉源を活用した再生エネルギーの発電事業を対象とし、設備投資への融資、SPC への株式出資、調査費の支払い等に投資している。

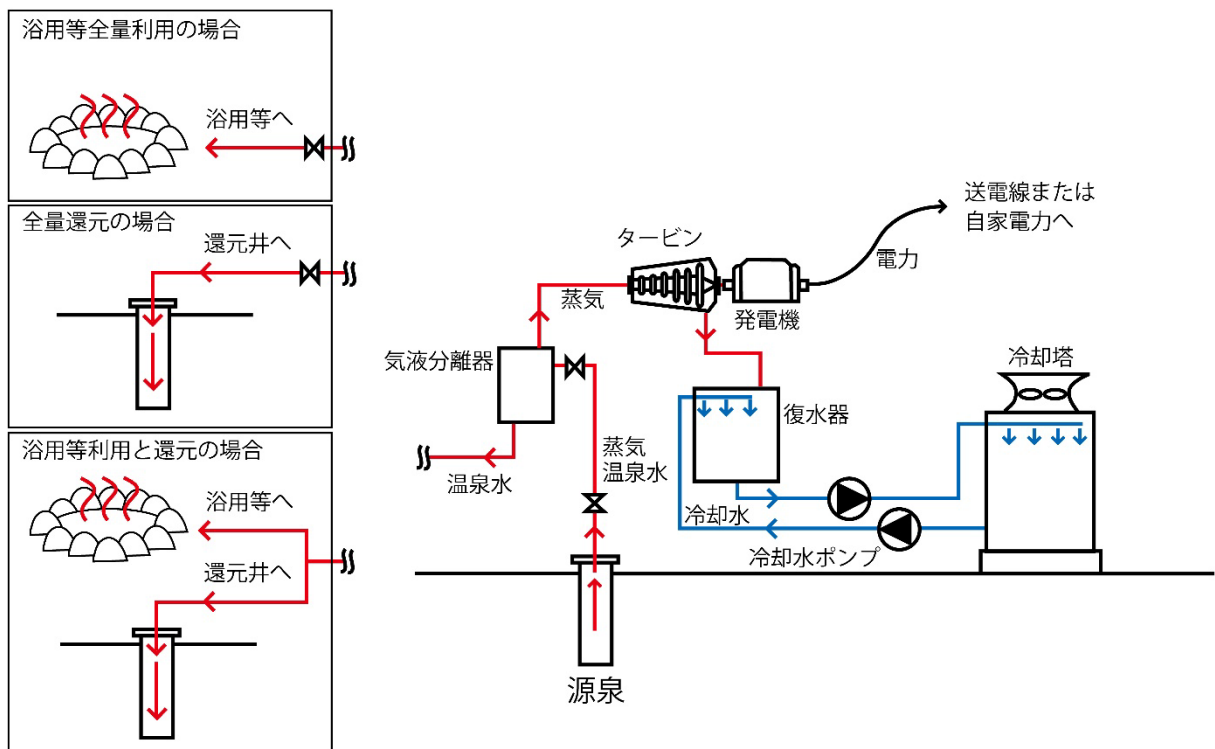


図 5(A) 蒸気タービン発電(復水式)の仕組み(概要)

Dickson and Fanelli 著 日本地熱学会 I G A 専門部会 訳・編 「地熱エネルギー入門」を参考に作成

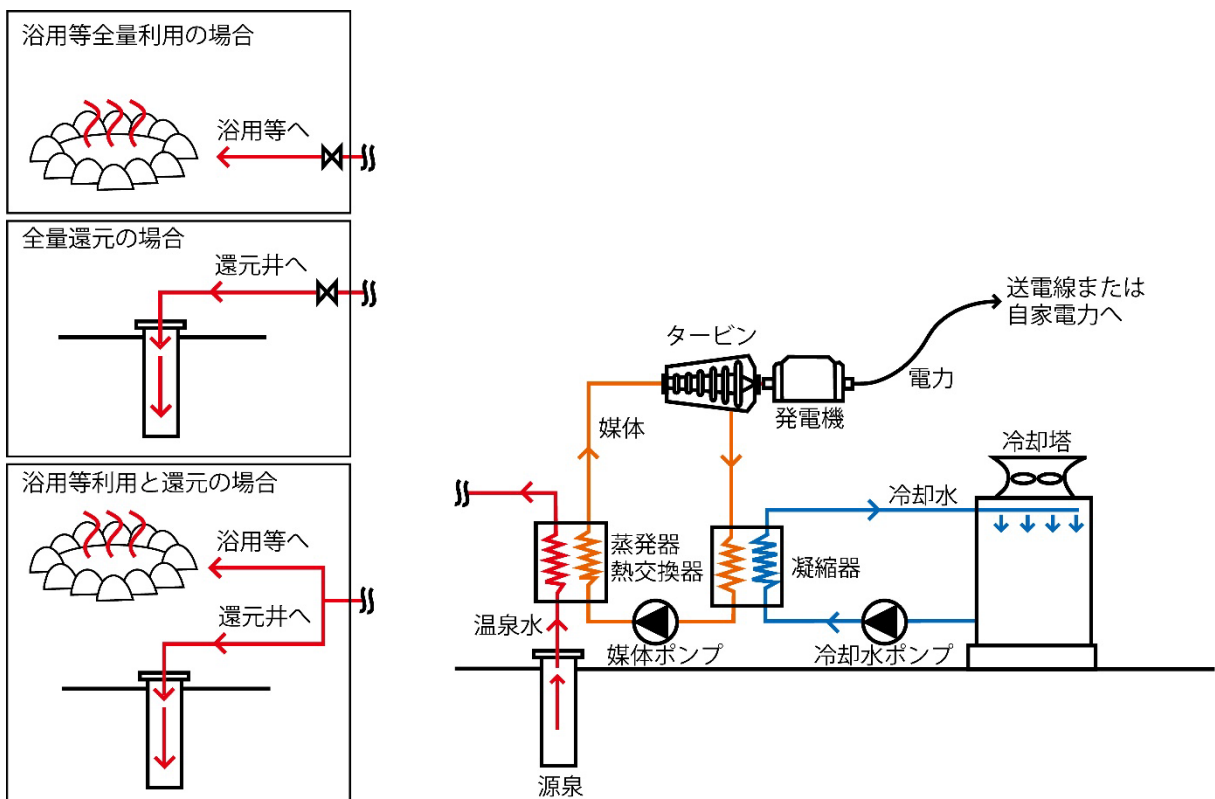


図 5(B) バイナリー発電の仕組み(概要)

Dickson and Fanelli 著 日本地熱学会 I G A 専門部会 訳・編 「地熱エネルギー入門」を参考に作成

「平成 24 年度小規模地熱発電及び地熱水の多段階利用事業の導入課題調査手引書」（独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）（当時））によると、バイナリー発電機の導入、選定に当たっては、熱源温度・流量や冷却温度、設置地点の環境条件、システム配置等様々な要因を検討する必要があるとされている。図 6 に小規模発電での利用が多い出力 200 kW 以下の発電出力毎に熱源（温泉）の温度（℃）と湧出量（L/分）の関係を示す。温泉発電で中心となる出力 50 kW でみると、オーガニックランキンサイクルでは 80℃以下の温度域では必要湧出量が 1,000 L/分を超える。これに対してカーリーナサイクルは、70℃においても 600 L/分の湧出量があれば 50 kW の出力を得ることができるとされている。

また、「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書」（独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）（当時））によると、バイナリー発電では、熱源（温泉の温度）と冷却水の温度差が 65℃以上で経済的な発電が可能とされている。70℃の温泉で経済的な発電をするためには 5℃以下の冷却水が必要となる。

したがって、事業性が高い温泉バイナリー発電を導入するためには、必要な温泉の温度と湧出量に加え、冷却水の温度と必要量、立地条件の項目を十分検討することが望ましい。

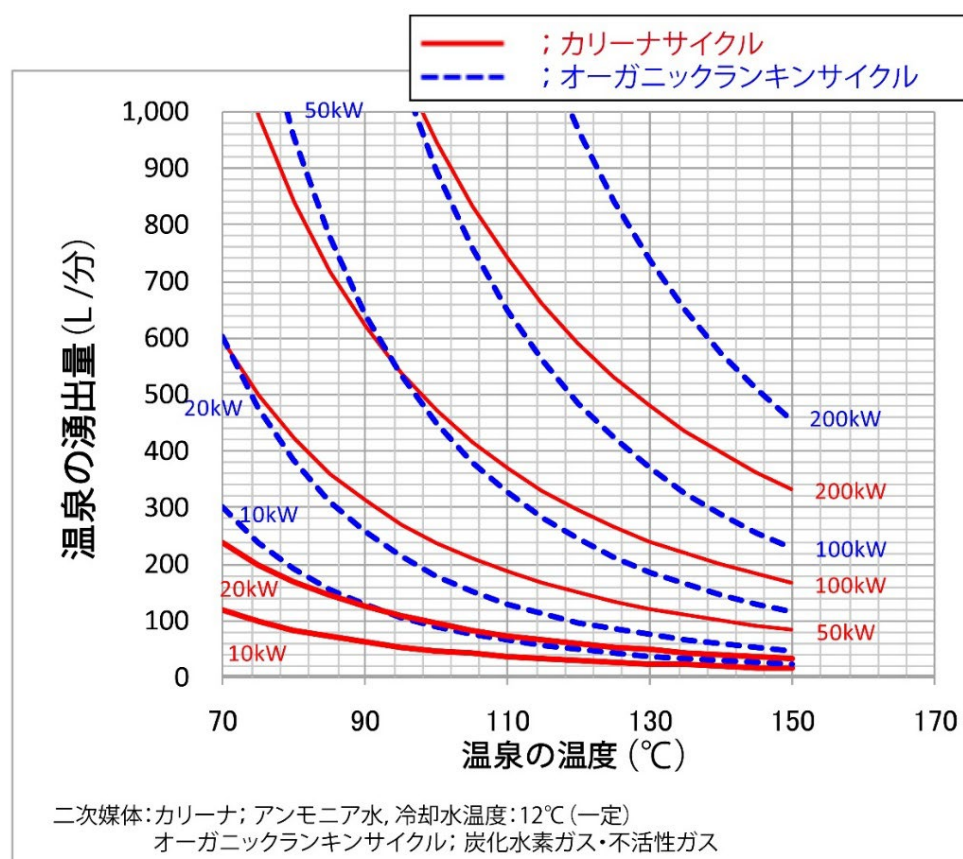


図 6 発電出力毎の温泉温度と湧出量の関係

図中の発電量は送電端出力（データ提供：地熱技術開発株式会社）

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（2013）平成 24 年度 小規模地熱発電及び地熱水の多段階利用事業の導入課題調査手引書より

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、発電開始後の連続的な揚湯により温泉資源の枯渇化現象が発生したり、温泉スケールの付着等により発電機が故障する可能性もある。このため、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等の調査を実施するとともに、発電開始前後のモニタリングや定期的なメンテナンス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小規模温泉発電に関する知見や導入状況・稼働状況等を収集・把握することが重要である。

コラム 未来の温泉の保護・管理を担う人材育成・確保

人口減少・高齢化が進む中、温泉に関わる様々な分野においても人手不足が深刻になりつつあり、次代を担う人材の育成・確保が大きな課題になっています。

例えば、地質調査業に従事する技術者は、若手・中堅を中心に不足傾向にあり、特に温泉井の掘削に携わるボーリング技術者についてその傾向が顕著になっているとされています。そうした状況を受けて、一般社団法人全国地質調査業協会連合会では、男性の技術者に加えて、女性技術者の確保を進めるため、ボーリングマシンの全自動化などにより省力化して、すべての人に作業が可能となることを目指すことなどにより、ダイバーシティの推進に取り組んでいます。

一方、各地で源泉の管理を担う「湯守」の高齢化が指摘されていますが、その後継者の育成には源泉の特徴や温泉施設の詳細に関わる技術・経験の伝承等のため相応の期間を要します。同様に、温泉保護のための自治体の取組を支援する研究者や専門家の育成も一朝一夕にはいきません。さらに、温泉の利用形態はますます多様化していくと見られ、我が国が誇る温泉資源を保護しながら適正に利用し続けるためには、温泉に関わる科学的な視点だけでなく、法律や医学、観光、経済、サイエンス・コミュニケーションなど幅広い分野の知見が必要となると考えられます。未来の温泉の保護・管理を担う人材育成に向けて行政と民間、大学等の研究機関など温泉関係者が連携した取組が望まれます。

備考

平成 19 年度温泉資源保護ガイドライン検討会委員名簿（50 音順）

	池田 茂	東京都環境局自然環境部水環境課 課長
	板寺 一洋	神奈川県温泉地学研究所 主任研究員
	嶋田 純	国立大学法人 熊本大学大学院自然科学研究科 教授
	高橋 保	財団法人 中央温泉研究所 副所長
〈座長〉	田中 正	国立大学法人 筑波大学大学院生命環境科学研究科 教授
	原田 純孝	国立大学法人 東京大学社会科学研究所 教授
	船田 一夫	群馬県健康福祉局薬務課 課長

（役職は平成 19 年度当時）

平成 25 年度温泉資源保護ガイドライン検討会委員名簿（50 音順）

	秋田 藤夫	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部 企画調整部 部長
	阿部 雅弘	秋田県生活環境部自然保護課 課長
	板寺 一洋	神奈川県温泉地学研究所 主任研究員
	交告 尚史	国立大学法人 東京大学大学院法学政治学研究科 教授
	須野原 修	群馬県健康福祉部薬務課 課長
〈座長〉	田中 正	国立大学法人 筑波大学名誉教授
	由佐 悠紀	国立大学法人 京都大学名誉教授

（役職は平成 25 年度当時）

令和 7 年度温泉資源保護ガイドライン検討会委員名簿（50 音順）

	赤上 直人	群馬県健康福祉部薬務課 課長
〈座長〉	板寺 一洋	神奈川県温泉地学研究所 専門研究員
	交告 尚史	学校法人 法政大学専門職大学院法務研究科 教授
	斉藤 雅樹	学校法人 東海大学人文学部 学部長・教授
	清水 恵介	学校法人 日本大学法学部法律学科 教授
	鈴木 隆広	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 産業技術環境研究 本部 エネルギー・環境・地質研究所 資源エネルギー部 部長
	鈴木 秀和	学校法人 駒澤大学文学部地理学科地域環境研究専攻 教授

（役職は令和 7 年度当時）

・引用文献及び参考文献

鈴木隆広・高橋徹哉（2003）坑内検層による温泉水流入深度の推定－小清水町2号井の例－，北海道立地質研究所，第74号，69－75.

石川理夫（2007）温泉資源保護をめぐる各都道府県の現状と取り組み，温泉地域研究，第8号.

環境省（2000）平成12年度 温泉の大深度掘さくの基準作成等検討調査，委託先：日本温泉協会.

水収支研究グループ編（1973）地下水資源学－広域地下水開発と保全の科学，共立出版.

水収支研究グループ編（1993）地下水資源・環境論－その理論と実践，共立出版.

農業農村整備事業計画研究会編（2003）農業農村整備事業計画作成便覧，地球社.

山本荘毅（1962）揚水試験と井戸管理，昭晃堂.

山本荘毅（1983）新版 地下水調査法，古今書院.

国土交通省水管理・国土保全局水資源部（2025）令和6年版日本の水資源の現況.

https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_fr2_000062.html（令和7年8月確認）

改訂地下水ハンドブック編集委員会編（1998）改訂地下水ハンドブック，建設産業調査会.

山本荘毅責任編集（1986）地下水学用語辞典，古今書院.

大里和己（2012）温泉発電，第52回温泉保護・管理研修会テキスト，p8-1～p8-40.

Mary H. Dickson, Mario Fanelli 著 日本地熱学会 IGA 専門部会 訳・編（2008）地熱エネルギー入門【第2版】.

<https://grsj.gr.jp/wp-content/uploads/what-is-geothermal-j-2008.pdf>
（令和7年8月確認）

公益社団法人日本地下水学会編（2011）地下水用語集，理工図書.

森 康則（2013）温泉とは何か－温泉資源の保護と活用－，三重大学出版会.

森 康則（2023）はじめて学ぶ ほくたちの温泉化学，三重大学出版会.

環境省自然環境局（2015）温泉モニタリングマニュアル.

https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_7.pdf（令和7年8月確認）

環境省自然環境局（2025）温泉モニタリングマニュアル 別冊 IoTを活用した連続温泉モニタリング編.

<https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/Iotguideline202503.pdf>（令和 7 年 8 月確認）

環境省自然環境局自然環境整備担当参事官室編（2015）逐条解説温泉法.

https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_2.pdf（令和 7 年 8 月確認）

環境省自然環境局（2024）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）.

<https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/chinetu202403.pdf>（令和 7 年 8 月確認）

公益社団法人日本水産資源保護協会（2018）水産用水基準 第 8 版（2018 年版）.

環境省自然環境局（2025）温泉熱有効活用に関するガイドライン【改訂版】.

https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/guideline_2503_1.pdf（令和 7 年 8 月確認）

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（2013）平成 24 年度小規模地熱発電及び地熱水の多段階利用事業の導入課題調査手引書.

<https://geothermal.jogmec.go.jp/report/jogmec/file/019.pdf>（令和 7 年 8 月確認）

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（2015）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書.

<https://geothermal.jogmec.go.jp/report/jogmec/file/033.pdf>（令和 7 年 8 月確認）

杉田倫明・田中正編著 筑波大学水文科学研究室著（2009）水文科学，共立出版.

保護地区の設定事例

I. 北海道の保護地域設定事例

1. 北海道の保護地域等の概要

北海道温泉保護対策要綱（令和 2 年 10 月 12 日食衛第 746 号一部改正）により、温泉を保護すべき地域を次の区分により設定している。

〈保護地域（13 地域）〉

- （1）過去及び現在において、源泉相互間の影響が顕著にあらわれている地域
- （2）近年、温泉の水位、温泉の低下等温泉の衰退現象が著しくみられた地域
- （3）学術的若しくは特別な事由により、温泉を保護しなければならない地域

〈準保護地域（8 地域）〉

- （1）近距離の源泉間では相互影響がみられ、又は予想される地域
- （2）今後、温泉の衰退現象が予想される地域

2. 倶知安町ひらふ地域における事例

① 保護地域の見直し背景

インバウンドをはじめとする温泉開発が急速に進展し、温泉掘削等の許可申請件数が増加傾向にあった。水位の連続モニタリングから水位の低下傾向と源泉間の相互干渉があること、水質分析結果から同じ温泉帯水層より温泉が汲み上げられていることが明らかになったことから、令和 2 年（2020）年に新たに保護地域と準保護地域を設定した（図 1）。

② 見直し過程

温泉部会意見聴取

⇒当該地域の温泉実態調査実施

⇒地元自治体との意見交換

⇒温泉部会報告

⇒環境審議会諮問

⇒ワーキンググループによる検討（3 回）

⇒環境審議会答申

⇒追加指定に係る温泉保護対策要綱の改正

⇒要綱改正の周知（1 年間の経過措置）

⇒改正要綱の施行

③ 専門家への確認

（地独）北海道立総合研究機構へ温泉資源量調査等の協力依頼と調査委託
倶知安町役場へ地域の現状と意向等の確認

北海道環境審議会へ保護対策の必要性等に係る諮問

④ 科学的調査の実施内容

水位モニタリング、水質分析、文献調査 など

⑤ 保護地域等の範囲（境界線）の設定

設定根拠

- 1) 宿泊施設等を規制する都市計画法に基づく準都市計画区域の地区境界線及び自然公園内における建築物及び土地の利用に関する要綱（倶知安町要綱）を活用し、保護地域の境界（対象範囲）を設定した。
- 2) 平成 30（2018）年と令和元（2019）年には水位低下が鈍化しており、その際の周辺での温泉利用状況が毎分 417 L であったことから、適正な温泉の採取量は 1 km^2 あたり毎分 417 L と算出した。1 源泉あたりの採取量を毎分 100 L とした場合、 1 km^2 あたり 4 源泉程度の配置が妥当な配置数となることから、既に過密状態にある地域を保護地域、その周辺地域を準保護地域とした。
- 3) 1)、2) を満たす源泉配置とするには、少なくとも 250m の源泉間距離が必要であることから、準保護地域については、250m の距離制限を設けた。

注意点

- 1) 当該地域においては、宿泊施設等での温泉利用が多いという特徴、今後の開発もこのエリアを中心に行われることが予想されることから、上記境界線を活用することとした。
- 2) 当時存在した比較的規模の大きな温泉施設の利用量が毎分 100 L であったことから、同規模の施設であれば、毎分 100 L 程度の量が確保されれば施設運営上支障ないと思われた。
- 3) 温泉を浴用以外の熱源として利用する場合には、毎分 100 L を超える揚湯が必要となることも想定されることから、資源保護のためには、揚湯量は毎分 100 L で制限しておくことが必要である。

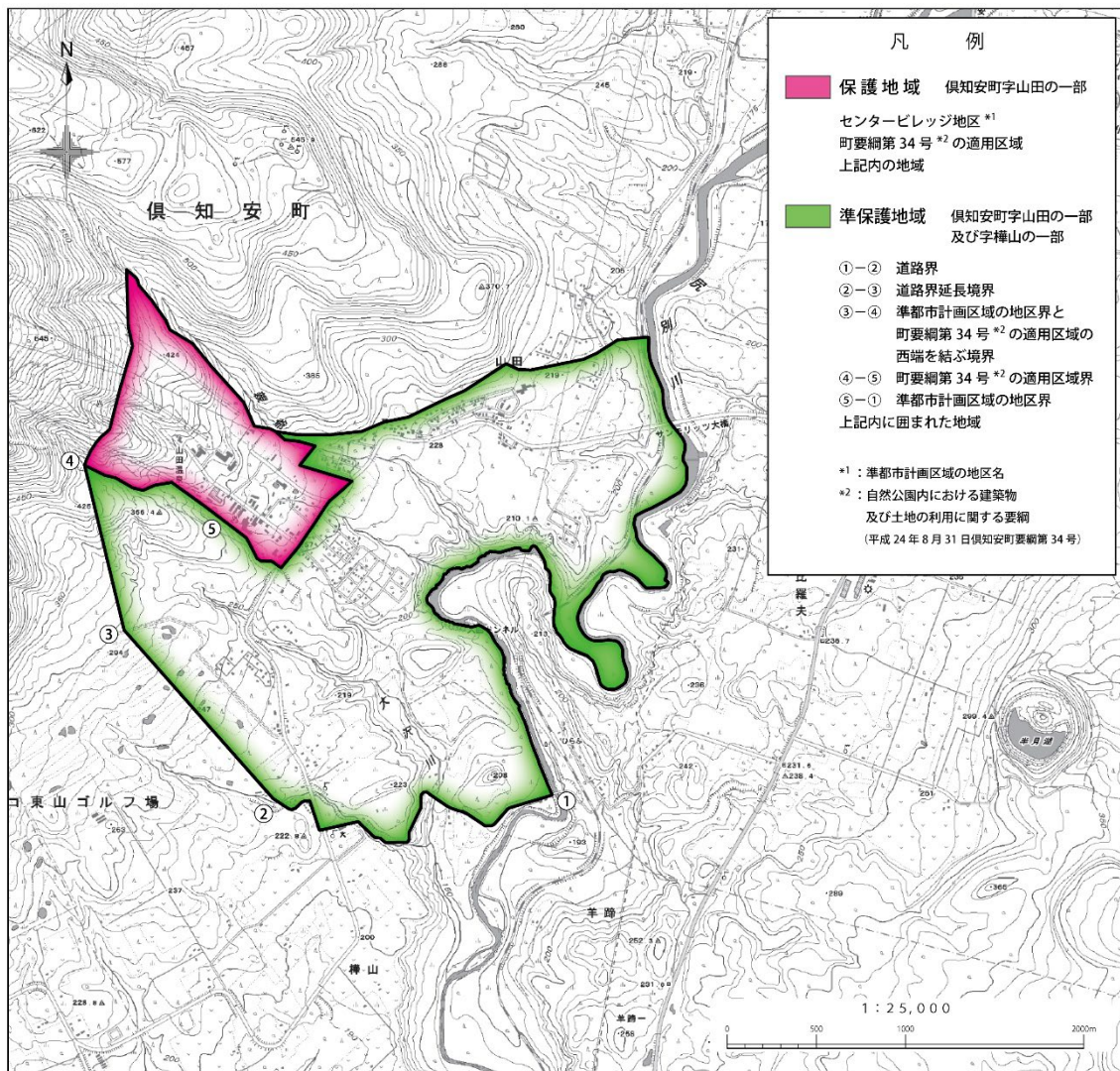
⑥ 保護地域等の指定後の変化

許可申請状況

保護地域の指定にあたって、1 年間の猶予期間を設定した。施行の際限には駆け込みによる掘削申請が多数あった。現在は、保護地域における掘削希望（申請）はないが、準保護地域内における申請は、道内の他地域と比較して多い状況が続いている。

温泉資源の動向

令和 5（2023）年度のデータにおいて、観測を開始した平成 28（2016）年度前と比較すると約 20m 程度の水位低下がみられており、令和 4（2022）年の冬季シーズンにおいては、温泉水位が過去最低となったことも観測された。



国土地理院発行数値地図25000（地図画像）を加工して作成

図1 倶知安町ひらふ地域 温泉保護地域及び準保護地域
北海道ホームページ 令和2年度（2020年度）北海道温泉保護対策要綱の一部改正より
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/hf/kse/sei/youkoukaisei2.html>

Ⅱ. 大分県の保護地域設定事例

1. 大分県の保護地域等の概要

大分県環境審議会温泉部会内規（令和4年4月1日から施行）により、泉源保護のため、特別保護地域及び保護地域を定めている。

〈特別保護地域（8地域）〉

(1) 掘削を認めない。

〈保護地域（8地域）〉

(1) 150m保護地域（5地域）

（既設泉から150m以内の地点では掘削を認めない。）

(2) 100m保護地域（3地域）

（既設泉から100m以内の地点では掘削を認めない。ただし、申請孔または既設泉が噴気、沸騰泉の場合は、既設泉から150m以内の地点では掘削を認めない。）

ただし、温泉を継続して採取し、かつ、利用するために湧出口から1m（噴気、沸騰泉の場合は5m）以内の地点、若しくは公共事業等でやむを得ない理由により適当と認められる地点に代替えの掘削をする場合は、この限りでない。

2. 別府市における事例

① 保護地域の見直し背景

別府市において、温度低下による掘削深度の増加や噴気・沸騰泉の減少等、温泉資源の衰退化の兆候がみられた。地域規制の見直しを行うにあたっては、賦存量予測等に基づいた科学的根拠が必要なため、温泉資源量調査を実施し、令和4年に新たに新規掘削を認めない特別保護地域を2地域（西部特別保護地域、南立石特別保護地域）追加指定した（図2）。

② 見直し過程

温泉事前調査の実施（コンサル会社委託）

⇒温泉現況調査実施（コンサル会社委託）

⇒温泉賦存量調査の実施（コンサル会社委託）

⇒温泉水質分析（京都大学委託）

⇒別府市・温泉部会長等と規制内容の協議と調整

⇒環境審議会温泉部会で審議

⇒報道発表やホームページにて県民に周知

⇒温泉部会内規の施行（特別保護地域2地域を追加）

③ 専門家への確認

各調査委託にかかる公募型提案競技を実施するにあたり、審査委員会を設置し、温泉資源関係に対して知見を有する大学の研究者（地熱流体化学、地質、地球熱学、水質、分析化学）に検討委員に就任いただいた。

温泉資源賦存量調査を実施するにあたり、調査内容等を検討する大分県温泉資源量調査検討委員会を設置した。大学の研究者（地熱流体化学、地質、

距離規制の妥当性について検証するための事例

ここでは、過去に枯渇化現象が生じた3つの温泉地を取り上げ、どのような源泉間の距離でなら枯渇化現象が生じないかを探ることとする。

なお、ここで考える源泉分布域とは、温泉を集水する地域としての性格を考慮していることから、主要な源泉を真円で包含させることができる面積として考えた。また、源泉の温泉湧出能力は地域毎、源泉毎で変化に富むことから、その温泉地内にある源泉数から適正な源泉距離を考察するのではなく、その温泉地からどれほどの温泉を採取していたのかを検証し、これを1源泉当たり湧出量の全国平均である100 L/分で除すことでその地域内の源泉数に換算した。その数値から1源泉が必要とする面積を算出し、また、その数値から源泉間距離を逆算した。その検討結果を以下に示す。

(1) A温泉

枯渇化現象の状況	A温泉は、当初は自噴利用が中心であったのが、昭和31(1956)年以降、動力揚湯が行われ始め、昭和33(1958)年2月には自噴利用から揚湯利用への変更を追認し、昭和36(1961)年10月の審議内規の改正では動力揚湯を正式に認めるに至った。これに伴い、湧出量が増加し、枯渇化現象が出現し始めた。具体的な状況は以下の通りである。 昭和29(1954)年当時のA温泉は利用源泉数が63で、自然水位は0～-1.0m、揚湯水位は-0.10～-3.0m、1井当りの平均湧出量は14.91 L/分、全湧出量は約940 L/分(日量1353m³)であって、自然湧出量の範囲内で需要にできてきた。 ところが、昭和33(1958)年4月の役場の調査によると、総湧出量(1556m³/日)は昭和31(1956)年4月以降、18%の増加を示した。 昭和34(1959)年には利用源泉数が68と微増し、総湧出量は昭和29(1954)年時の940 L/分から1,345 L/分へと43%増加した。 更に昭和39(1964)年の調査時に、利用源泉数が63に減ったものの、総湧出量は1,424 L/分(51.5%増加)に増加している。その結果、揚湯水位は-0.1～-3.0mから-4.7～-9.0mへと低下し、周辺あるいは上部から地下水の浸入を招来し、孔底温度と泉温の低下、溶存成分量の減少となって現れてきた。 以上のような経緯から、A温泉が洪積層の温泉層(第2次温泉源)から採湯している限り、昭和29(1954)年時の湧出量(約940 L/分)に戻らなければ、過剰揚湯といわざるを得ない状況であることが指摘された。
------------------------	--

現在の状況	平成 17 (2005) 年当時の A 温泉の利用源泉数は 44 に減り、総湧出量は 1,100 L/分程度に減じ、平均温度は 37.3℃から 40.5℃へと回復している。温泉水位は昭和 39 (1964) 年当時より若干低下している傾向があるものの、目立った低下ではなく、昭和 39 (1964) 年当時よりも健全化 (回復) しているといえる。しかし、昭和 29 (1954) 年時に比較すれば、平均温度は未だ低く、温泉水位も最大 10m 近く低下しているので、A 温泉の適正湧出量は昭和 29 (1954) 年時の 940 L/分程度として、大きな間違いはないものと考えられる。
源泉分布面積	1.400 km ²
源泉密度と源泉間距離	A 温泉における昭和 29 (1954) 年当時の温泉湧出量 100 L/分当たりの面積は 0.149 km ² となり、その状態での源泉間距離は 413m となる (表 1 参照)。

(2) B 温泉

枯渇化現象の状況	B 温泉は、大正末期頃までは自然湧出あるいは掘削自噴の状態が続いていた。 戦後の高度成長期に入ると、多数の人が競うように新規の掘削を行い、揚湯を行うようになった。昭和 52 (1977) 年当時で合計 137 もの源泉が所在した。その結果、温泉水位は急激に低下し、昭和 26 (1951) 年当時には地表面下 20 m 位であったものが、昭和 35 (1960) 年頃には 100m (利用源泉数は 65、総湧出量は約 2,600 L/分) になり、昭和 50 (1975) 年頃には 200m (利用源泉数は 95、総湧出量は約 3,300 L/分) にまで低下した。これにより、昭和 35 (1960) 年には 1 井当たり 7.94 馬力で足りていた動力が、昭和 50 (1975) 年には 15.78 馬力もの動力が必要となり、1 馬力当たりで揚湯できる量は逆に減少する事態となった。なお、昭和 38 (1963) 年以降、平均温度の低下はほとんどない (おおむね 58℃程度)。
現在の状況	昭和 53 (1978) 年から集中管理による給湯が行われている。これにより、稼働源泉数は 53~55 に減じ、総湧出量も約 2500 L/分程度まで減少させた。その結果、昭和 56 (1981) 年には温泉水位は地表面下 140m 台にまで回復している。
源泉分布面積	4.400 km ²
源泉密度と源泉間距離	昭和 53 (1978) 年の集中管理以後の湧出量 100 L/分当たりの面積は、0.176 km ² で、その状態での源泉間距離は 449m となる (表 1 参照)。

(3) C 温泉

枯渇化現象の状況	C 温泉は、明治 31 (1898) 年の記録では源泉数は 20、昭和 10 (1935) 年代までは自然湧出泉や掘削自噴泉が存在し、昭和 21 (1946) 年までは自然湧出泉と小規模動力揚湯泉とが共存した。しかし、昭和 22 (1947) 年以降乱掘・増掘競争が始まり、昭和 25 (1950) 年には自噴泉が姿を消した。 温泉湧出量や温度、温泉水位の変化状況は以下のとおりである。
----------	--

	年	源泉数	平均温度	温泉の採取量	温泉水位（標高）
	昭和 15 (1940) 年	16	66.0℃	約 540 L/分	約 90m
	昭和 30 (1955) 年	30	60.9℃	約 1,280 L/分	約 70m
	昭和 35 (1960) 年	45	58.2℃	約 2,260 L/分	約 30m
	昭和 44 (1969) 年	58	53.7℃	約 2,000 L/分	約 14m
	昭和 50 (1975) 年	54	54.0℃	約 1,700 L/分	約 18m
現在の状況	昭和 56 (1981) 年から集中管理による給湯が行われ、それまでと比較して総湧出量は約 1,800 L/分であり変わらないものの、稼働源泉数は 34 に減じた。その結果、昭和 57 (1982) 年には温度は 60.8℃に、温泉水位は海拔 80 m 程度に回復した。稼働源泉数の減少にはその後も努力し、平成年代に入ると 22～24 源泉となっている。この間の総湧出量は 1,700～1,900 L/分の範囲で推移し、温泉水位も海拔 70m 程度で安定している。				
源泉分布面積	2.030 km ²				
枯渇化現象発生時の源泉の密度	枯渇化の進行を止めることができた集中管理以後の湧出量 100 L/分当たりの面積は 0.119 km ² で、その状態での源泉間距離は 369m となる（表 1 参照）。				

以上のとおり、現状（資源保護のための対策実施後）又は枯渇化現象発生前の温泉の採取量から、1 源泉当たりの所要面積を計算すると 0.119～0.176 km² となる。これが温泉資源の枯渇化現象を抑えるために必要な源泉密度となり、この密度の源泉を均等に配置するために必要な源泉間の距離は 369～449m となる。

(参考)

最も高い密度で源泉を配置した場合の1源泉あたりの所要面積

$(0.866 \alpha^2 \text{km}^2 (= \sqrt{3}/2 \alpha^2 \text{km}^2))$ の考え方

距離規制の距離を $\alpha \text{ km}$ とした場合、最も高い密度で源泉を配置する方法は、一辺 $\alpha \text{ km}$ の正三角形の各頂点に源泉がある形である。それら正三角形の集合体からなる平面を源泉を中心とする四角形でモザイク状に剥ぎ取ると仮定すると、四角形は (α) と $(\sqrt{3}/2 \alpha)$ を2辺とする長方形となる。ただし、長方形を用いたのは、区域内の空間を隙間なく均等に見積もるためであり、水文学的な考えを反映したものではない。

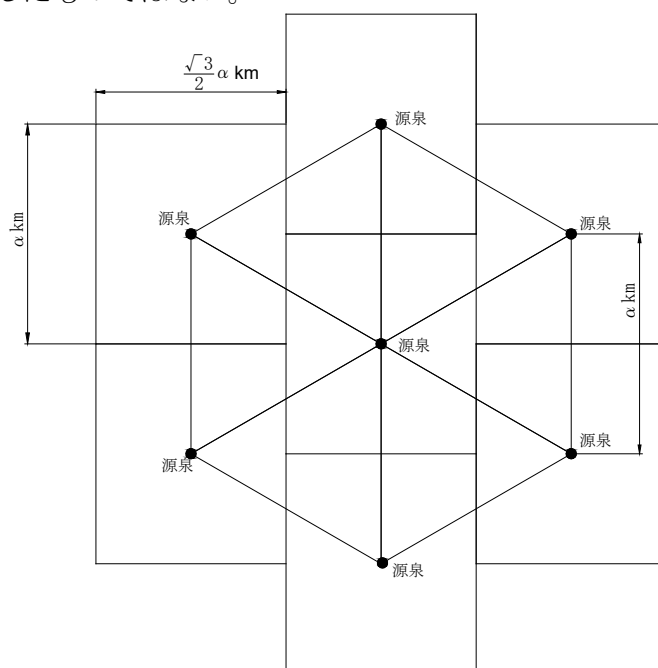


表 1 源泉分布面積と 100L/分当たり所要面積、源泉間距離

	A 温泉	B 温泉	C 温泉
①源泉分布面積(km ²)	1.400	4.400	2.030
②合計温泉湧出量(L/分)	940	2500	1700
③1 源泉 (100L/分) 当たりの所要面積(km ²)	0.149	0.176	0.119
④上記に必要な源泉間距離(=1.07√③, m)	413	449	369

距離規制の距離を $\alpha \text{ km}$ とした場合、最も高い密度で源泉を配置する方法は、一辺 $\alpha \text{ km}$ の正三角形の各頂点に源泉がある形である。その場合の1源泉当たりの面積は、 $0.866 \alpha^2 \text{km}^2 (= \sqrt{3}/2 \alpha^2 \text{km}^2)$ となる。逆に、1源泉当たりの面積として $\beta \text{ km}^2$ を確保するためには、各源泉の間に $1.07\sqrt{\beta} \text{ km}$ 以上の距離を取れば十分となる。

熱収支について

熱収支の考えは、温泉を採取することで地下から奪われる熱量と、地球内部からの熱伝導で獲得できる熱量とを比較し、両者が釣り合うことで熱量的な均衡を取ることができる面積を検討したものである。

計算条件として、温泉の温度は 45℃、当該地域の気温は 15℃とし、1 源泉当たりの湧出量の全国平均である 100L/分（≒100,000g/min）を採取したとすると、地下から採取する熱量（ Q_s とする）は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} Q_s &= ((45 [^{\circ}\text{C}] - 15 [^{\circ}\text{C}]) \times 100000 [\text{g}/\text{min}]) / 60 \\ &= 50,000 \text{ cal/sec} \end{aligned}$$

一方、地球内部から熱伝導によって運ばれる熱量は、地殻熱流量^(※1)と呼ばれる。日本における地殻熱流量は様々な文献等で公表・紹介されているが、ここでは地質調査所（1980）による「日本温泉放熱量分布図」にコンターマップとして表現されているので、参照とされたい。

※1：地殻熱流量（ Q ：cal/cm²・sec、mW/m²）とは、地球内部から地表へ単位面積・単位時間あたりに流れ出る熱量を意味する。地表付近ではほとんどの熱が伝導で運ばれていると考えられるので、ある場所で地温勾配（dT/dZ、 T ：温度、 Z ：深さ）と熱伝導率 K を測れば、熱流量 Q は次式により求められる。

$$Q = K \cdot (dT/dZ)$$

（最新地学事典：2024 による）

なお、1cal は常用的には 1g（≒1mL）の水の温度を 1℃上げるのに必要な熱量を指す。1cal=4.184 J、1 W=1 J/s であり、

$$1 \text{ HFU} = 1 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} = 4.184 \times 10^{-6} \text{ J/cm}^2 \cdot \text{sec} = 41.84 \text{ mW/m}^2 \text{ となる。}$$

これによると、我が国の非火山地域における地殻熱流量は 0.5～1.5HFU の範囲にある。仮に、上記の温泉採取地点の地殻熱流量が 1.0HFU の地域であるとする、そこで獲得できる熱量（ Q_e ）は $1 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ であり、1km² 当たりに換算すると 10,000cal/km²・sec となる。したがって、上記の温泉採取によって奪われる熱量（ Q_s ）を、熱伝導によって運ばれる熱量（ Q_e ）で補填するには、 $Q_s/Q_e=5\text{km}^2$ の面積が必要となる。これは半径 1.26km の円に相当する。

同様の計算を、幾つかの HFU 値に対応して試算した結果を表 1 に示しておく。

表 1 熱収支による集水必要面積試算例

地殻熱流量	HFU	0.5	1	1.5	2
同上（単位換算）	cal/cm ² ・sec	0.0000005	0.000001	0.0000015	0.000002
同上（1km ² 当たり）	cal/km ² ・sec	5,000	10,000	15,000	20,000
必要面積	km ²	10	5	3.33	2.50
半径	km	1.78	1.26	1.03	0.89

注：温泉の温度は 45℃、当該地域の気温は 15℃とし、湧出量は 100L/分（＝100,000g/min）としたので、温泉の熱量は 50,000cal/sec となる。

引用文献及び参考文献

地質調査所（1980）日本温泉放熱量分布図，200 万分の 1 地質編集図．

地学団体研究会編（2024）最新地学事典，平凡社．

経年的な水位低下について

以下の報告から、箱根カルデラと湯河原カルデラでは、1950 年代後半から 70 年代にかけて著しい水位・温度・成分の低下が生じていたと考えられる。大山(1984)^{*1}、神奈川県衛生部(1985)^{*2}は、両カルデラにおける水がそれぞれ閉じた循環系を形成しているとみなし、当時の温泉総採取量と降水量の比を、箱根で 2.3%、湯河原で 5.5%と見積もっている。同報告によれば、カルデラへの平均降水量は箱根で 2,830mm(箱根カルデラ面積^(*) 108km²)、湯河原で 2,200mm(湯河原カルデラ面積^(*) 30km²)である。一方、1979 年度の温泉総湧出量は箱根で約 27,000 L/分、湯河原で約 7,000 L/分(いずれも神奈川県統計資料による)であり、温泉湧出量が降水量に占める割合は、箱根で 4.6%、湯河原で 5.5%となる。

*1：大山正雄・広田 茂・迫 茂樹・栗屋 徹(1984) 湯河原温泉の水位(1982 年)，神奈川県温泉地学研究所報告，第 15 巻，第 5 号，35-43.

*2：神奈川県衛生部(1985) 箱根の地下水とその利用状況 昭和 60 年度，29p.

*3：箱根水質調査団(1975) 箱根カルデラ河川流出水の溶存成分に対する温泉の影響について，神奈川県温泉研究所報告，第 6 巻，第 2 号，87-116.

*4：大山正雄・平野富雄・栗屋 徹・横山尚秀(1987) 湯河原火山カルデラの河川流量と流域地質との関係について，神奈川県温泉地学研究所報告，第 18 巻，第 2 号，1-16.

I. 湯河原温泉

- ① 大山正雄・大木靖衛(1974) 湯河原温泉の水位の変遷，神奈川県温泉研究所報告，第 6 巻，第 1 号，31-46.

湯河原温泉の沿革を整理するとともに、1900 年代初頭から 1970 年代までの、源泉総数、総湧出量の推移と静水位の低下について検討した。

湯河原温泉の開発が顕著だったのは昭和 10(1935) 年～昭和 15(1940) 年頃と、昭和 25(1950) 年以降の 2 時期であった。昭和 10(1935) 年頃の開発により、それまで自噴していた掘抜井戸が動力揚湯への切替えを余儀なくされる事態が発生したが、特に急激な水位低下が始まったのは昭和 25(1950) 年以降であり、総湧出量は昭和 33(1958) 年の 5,400 L/分(利用源泉数 67)から、昭和 53(1978) 年の 7,000 L/分(利用源泉数 103)まで増加している。これに伴う温泉井の水位低下は、昭和 35(1960) 年までは、温泉の揚湯が集中している地域を中心に水位低下が顕著であったが、その後も続いた温泉の掘削・利用の増加により、水位の低下範囲は湯河原温泉全体に拡大していった。昭和 32(1957) 年と昭和 47(1972) 年とで比較すると、水位低下の最大量は中心部で 70m 以上、周辺部でも 40m 程度であった。以上の結果から、湯河原温泉の総湧出量は、著しい水位低下が起きる前の毎分 4,500～5,000 L/分程度が適当であるとしている。

- ② 平野富雄・栗屋 徹・大山正雄・大木靖衛（1976）湯河原温泉の地下水位低下と温泉の冷地下水化 ―こごめ橋周辺の古い源泉の場合―，神奈川県温泉研究所報告，第7巻，第2号，53-68.

湯河原温泉の中心部（こごめ橋周辺）で古くから利用されている源泉について、井戸の深さ、温泉温度と湧出量、化学組成の推移や揚湯装置の変遷について検討した。

各源泉とも、水位の低下にともない、揚湯装置の設置、増掘、揚湯能力の強化といった経過をたどることで源泉の維持に努めてきているが、昭和 35（1960）年以降は、水位・温度の低下だけでなく、溶存成分の減少、成分比率(Cl/SO_4 比)の変化が観測されるなど、温泉の冷地下水化（浅層地下水の混入割合増加）が進行していることが明らかになった。

II. 箱根温泉

- ③ 大山正雄・伊東 博・大木靖衛（1985）箱根温泉の温度と湧出量の観測 昭和 57-58 年（1982-1983），神奈川県温泉地学研究所報告，第16巻，第5号，41-52.

箱根を代表する湯本・塔ノ沢、蛇骨、姥子、芦ノ湯の各温泉地で、温度・湧出量の連続観測を行った結果について検討した。

このうち、湯本・塔ノ沢地域では、地域の総温泉湧出量の約8%を湧出する竪穴湧泉において、昭和 33（1958）年から昭和 45（1970）年にかけて泉温の低下が著しかった。また、蛇骨湧泉では、箱根の火山活動活発化の影響による温度上昇が観測されたものの、昭和 43（1968）年以降、湧出量の減少傾向が続いていた。

- ④ 大山正雄・久保寺公正・小鷹滋郎・伊東 博・迫 茂樹（1985）箱根火山中央火口丘東麓の温泉水位，神奈川県温泉地学研究所報告，第16巻，第5号，53-62.

箱根中央地区で昭和 53（1978）年から行っている観測井の水位観測結果と、過去の水位の記録のある温泉井のデータについて検討した。

昭和 35（1960）年から昭和 55（1980）年にかけての温泉水位の低下速度を、箱根中央部で 0.3~0.5m/年、山麓周辺で 0.8~1.0m/年、基盤岩中で 0.7~0.8 m/年と見積もった。

- ⑤ 平野富雄・広田 茂・小鷹滋郎・栗屋 徹・大木靖衛（1976）箱根塔ノ沢温泉の温度と化学成分，神奈川県温泉研究所報告，第7巻，第2号，85-92.
- ⑥ 平野富雄・広田 茂・大木靖衛（1977）箱根湯本，下茶屋地区の温泉の湧出量と溶存成分の減少について，神奈川県温泉研究所報告，第8巻，第2号，51-66.

湯本・塔ノ沢温泉では、温泉総湧出量が、昭和28（1953）年の毎分2,810 Lから、昭和58（1983）年には、その2倍以上にあたる6,023 L/分に増加したのにもない、自然湧泉の枯渇、温泉の水位、温度、湧出量、溶存成分の低下が進行していることを報告している。

温泉の採取量を見直した事例

帯広周辺地域では、掘削当初は大量に自噴する温泉が多くあった。しかし、源泉数及びそれに伴う温泉の採取量の増加と共に水位(圧力)が低下し動力揚湯泉が多くなり、資源が急速に衰退していった。そのため、行政により資源動向調査と、モニタリングが行われ、現在は地域の温泉の採取量を制限することで水位低下傾向を抑えることに成功している。なお、資源動向調査とモニタリングについては現在も実施されている。

1. 温泉資源動向

本地域の地下構造は平野全体が1つの大きな構造盆地を構成しており、この構造盆地が地下水盆として機能を果たしている。温泉は構造盆地に層状に賦存する(図1)。浴用以外にもハウス暖房等の農業利用も行われている。

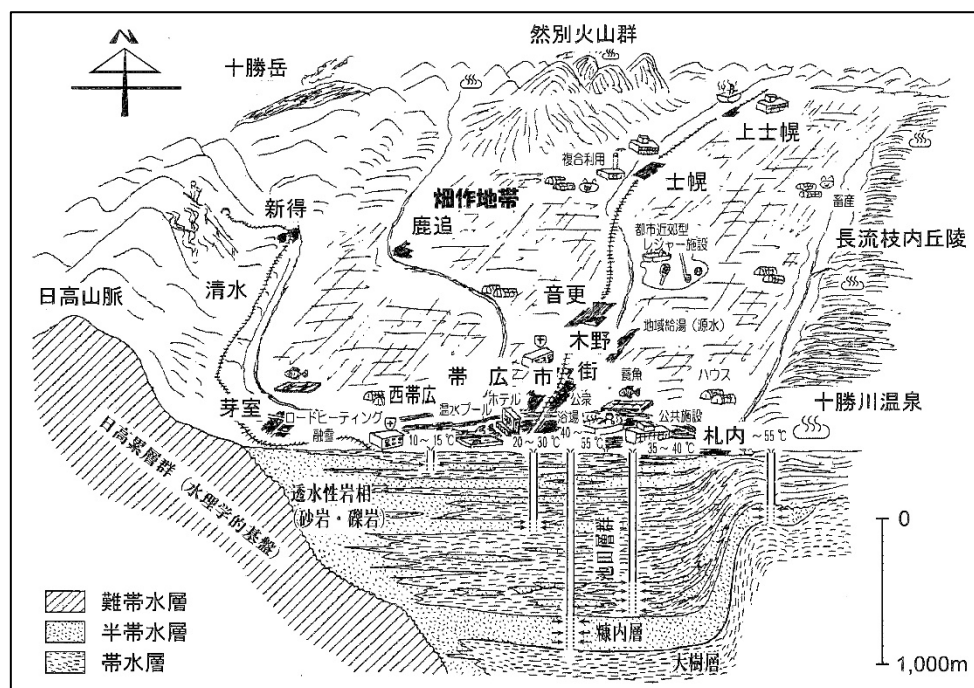


図1 十勝平野の地下水盆概念図(高清水・岡, 2007)

帯広市周辺では昭和35(1960)年～昭和48(1973)年にかけて、深度300m～600m級のボーリングによる温泉開発が始まった。昭和49(1974)年と昭和51(1976)年には掘削深度850mと935mの掘削が行われ、湧出量600～800 L/

分、40℃弱の温度で自噴が確認された。これが帯広市付近での本格的な温泉開発の先駆けである。その後は開発ラッシュとなり、昭和59（1984）年には掘削深度が1617mに達した。温泉の開発は昭和56（1981）年までの開発開始時期、昭和57（1982）年～昭和61（1986）年の開発ラッシュ時期、昭和62（1987）年～平成16（2004）年の温泉保護時期、平成17（2005）年以降の採取制限時期に区分される。平成6（1994）年時における源泉総数は帯広市内で31源泉、周辺地域で32源泉となっている。温泉開発は昭和57（1982）年～昭和61（1986）年の5年間に集中している（図2）。

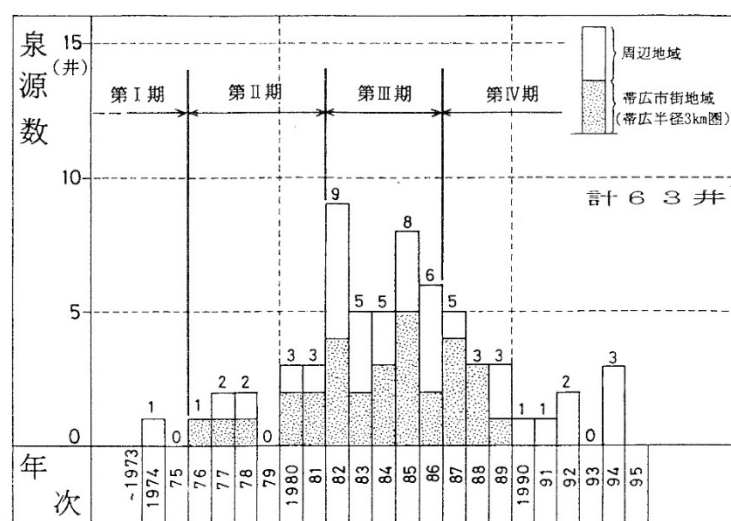


図2 掘削深度800m以上の源泉数の推移（北海道立地下資源調査所，1995）

水位変動に関しては長期に渡る詳細な水位モニタリングデータが存在し、温泉地の総採取量と水位の関係は図3に示される。

帯広市内地域の総湧出量は、昭和57（1982）年に4056 L/分であった。その後は増加し、昭和59（1984）年には9156 L/分のピークに達したが、それ以降は、動力泉数が増えるとともに湧出量は減少傾向となる。平成4（1992）年以降はほぼ6000 L/分前後で横ばい状態となっている。その後、自噴源泉数とその湧出量は少なくなりほとんどの源泉が動力による揚湯を行っている。

自然水位分布は、1980年代に著しい低下を示している。各観測源泉では、昭和62（1987）年以後の保護地域設定が行われるまでに20m以上にも及ぶ著しい低下が認められる。その後の1990年代に入ってから、保護地域・準保護地域指定により一時的に水位の低下傾向が緩やかとなるも1990年代後半からは保護地域（帯広市）周辺での掘削が増加したため再び低下傾向を示すこととなる。近年は、準保護地域の拡大とともに、保護地域は1源泉あたりの揚湯量を最大

150 L/分、準保護地域は300 L/分に制限したことによる効果で徐々に低下速度が緩やかとなっている。

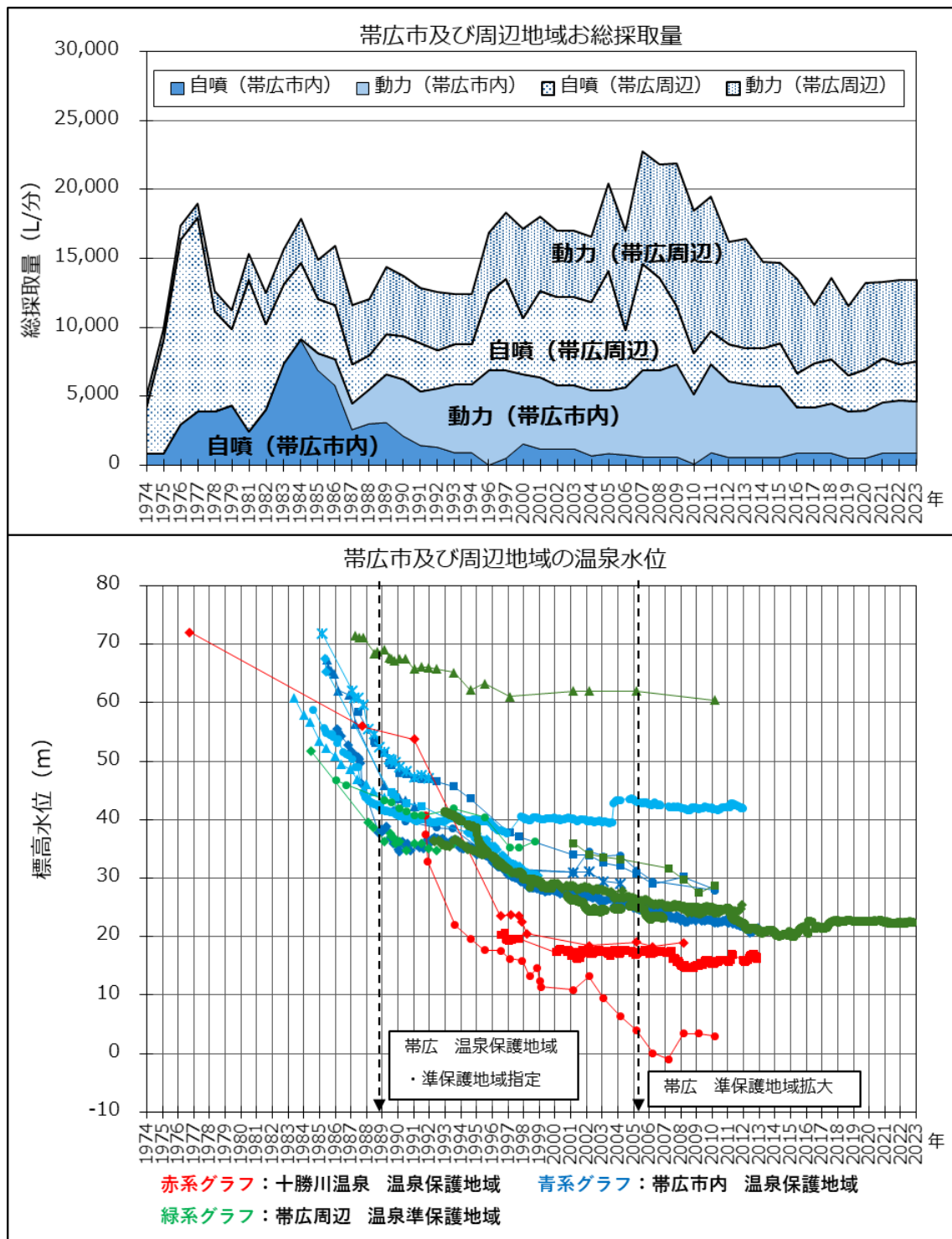


図3 帯広市及び周辺地域の温泉水位と総採取量の経年変化

北海道庁温泉利用状況データ及び水位モニタリングデータより

2. 当地域における温泉賦存状況とこれまでの行政対応

温泉の量的評価を行う場合、温泉胚胎層に流入する量と流出する量のバランスを考える必要がある。バランスが崩れると地下水位の変動となって現れ、各源泉間の相互干渉などを発生させる原因となる。

道は、昭和60（1985）年以降地域の温泉資源が衰退を示したことから、源泉群全体が互いに影響しあう相互干渉状態を示すものと判断した。昭和61

（1986）年12月より帯広市街地域について、温泉保護対策を実施し、引き続き監視を強めるとともに水位観測等のモニタリングを開始した。昭和63（1988）年12月からは帯広市街地域を保護地域（原則として、新規掘削を禁止等）、隣接する西帯広地域については、準保護地域の措置（制限距離500m内は原則として新規掘削を禁止等）がとられている。

その結果、水位については帯広市街では、昭和 58（1983）年、昭和 59（1984）年に年間 5 m の低下を記録した後は、徐々に緩やかな低下傾向となり昭和 63（1988）年には年間 2 m、平成 3（1991）年～平成 6（1994）年には年間 0.5 m 程度でほぼ横ばい状態となり、保護対策の効果が現れている。その後も、周辺部での開発により、水位低下傾向が続いたため、平成 17（2005）年 5 月に準保護地域（音更町、幕別町の一部）を拡大するとともに、揚湯量の制限も実施した。

昭和51(1976)年 十勝川温泉温泉保護地域指定

昭和63(1988)年 帯広市中心部保護地域
西帯広準保護地域指定

平成17(2005)年 音更町、幕別町準保護地域指定

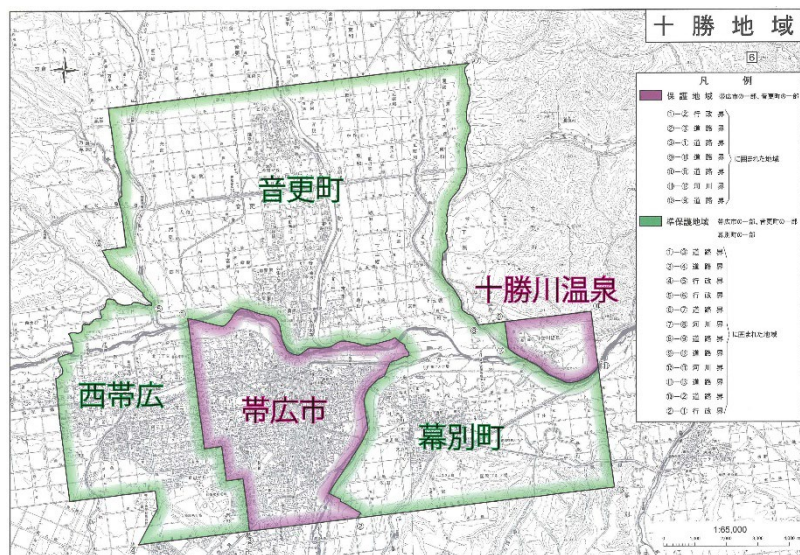


図4 保護地域の設定区域

北海道ホームページ 令和2年度（2020年度）北海道温泉保護対策要綱の一部改正より
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/hf/kse/sei/youkoukaisei2.html>

3. 引用文献及び参考文献

北海道立地下資源調査所（1995）地質資源調査所ニュース 北海道立地下資源調査所広報誌，vol. 11，No4，4p.

高清水康博・岡 孝雄（2007）十勝平野の下部更新統の堆積相と水理地質．地質学雑誌，113，65-79.

表1 帯広市を中心とした温泉開発の変遷と資源動向及び行政対応

年代	開発動向	資源状況	資源動向モニタリングの取り組み	行政の取り組み
～1975 年	1970 年頃から1000m以浅の開発が行われる。	～40℃の温泉が大量自噴（毎分数千リットル規模）	開発当初から現在まで、地下資源調査所（現 地質研究所）は資源状況のモニタリングを様々な形で継続した。	
1976 年～1981 年	帯広市内で本格的な温泉開発が始まり、計 11 源泉が掘削される。	開発深度 1000m前後で 40～48℃の温泉が大量自噴（毎分数千リットル規模）		1980 年頃から地元自治体等で深層熱水への関心が高まり、調査掘削等が行われる。
1982 年～1986 年	帯広市内及び周辺地域での開発ラッシュ。計 33 源泉の掘削が行われる。	開発深度は最深 1600mに達するようになり、掘削当初は大量に自噴する。最高温度は 58℃を示した。その後、自噴量は徐々に減少し、既存源泉は徐々に水位低下した。	1986 年 5 月、1 源泉で水位観測を開始した。	1982 年頃から帯広市内での水位低下・資源枯渇問題について道衛生部・温泉審議会での検討を開始。1986 年 12 月より、市内中心部半径 3km圏について準保護地域に指定する。
1987 年～2003 年	1988 年の保護対策施行後は開発地域が保護地域・準保護地域に隣接する場所で活発に開発が行われるようになった。1996 年までに 11 源泉の開発が行われた。	自噴源泉の自噴量は減少し動力揚湯への切り替え、水位低下が継続する。保護対策施行後、一時的に水位低下の鈍化傾向が現れたが 1996 年頃から再び水位低下率が大きくなる。	1987 年 10 月、1 源泉で水位測定開始。1987 年 12 月衛生部、温泉保護対策調査開始（薬務課・帯広保健所、地下資源調査所共同）、1988 年 10 月以後、市で 2 源泉水位測定開始、以降 2 源泉でも水位の測定が始まる。1992 年 6 月には地下資源調査所、1 源泉で水位測定を開始する。	1987 年 7 月、市の温泉保護対策懇話会発足、1988 年 12 月より市中心部を保護地域指定、隣接する西帯広地域について準保護地域指定が行われる。
2004 年～	2004 年以降は、準保護地域で若干掘削されているが、源泉総数はほとんど増加していない。	化石燃料価格の高騰等により、温泉熱利用が積極的に行われている地区もあり、汲み上げ量は減っていないようである。	温泉水位 2 箇所、泉温 3 箇所の観測が行われている。	2005 年 5 月より準保護地域が拡大、保護地域は 1 源泉当たりの揚湯量を最大 150L/分、準保護地域は 300L/分に制限する。

動力装置の際の影響調査実施手法及び揚湯試験実施手法

I. 影響調査

1. 観測源泉の選定

動力の装置が「温泉のゆう出量、温度又は成分に影響を及ぼす」か否かを判断するため、動力を装置しようとする源泉（以下「対象源泉」）の周辺の既存源泉を「観測源泉」として、当該観測源泉における影響の程度を調査する。

観測源泉の選定に当たっては、対象源泉からの距離、温泉の採取深度、地質の構造、泉質の類似性等を考慮した上での位置関係、予測される影響範囲、測定 of 難易度等を踏まえ、抽出することが適当である。なお、観測源泉数については、地域の特性や予想される影響の範囲を考慮し、設定すべきである。

2. 測定項目

2-1 観測源泉

源泉間の影響関係で最も鋭敏に反応するのは水位（自噴の場合には湧出量と孔口圧力（静止水頭））であり、温泉の温度や成分等への影響は、一般的に上記の項目に次いで変化が現れる。

このため、影響調査で必須の測定項目は、水位（自噴では孔口圧力）、湧出量、次いで温度となる。温泉法に基づく温泉成分分析は状況に応じて適宜測定すべき項目となるが、観測源泉の温度や成分濃度の変化が問題となることが予測される場合は、重要な成分項目を把握することが必要となる。なお、主要な成分分析のほかに、電気伝導率（EC）の測定が簡易的な状況把握の方法として挙げられる。

2-2 対象源泉

対象源泉においても、観測源泉との影響関係を検討するために、原則として観測源泉と同一の項目を測定する必要がある。

3. 測定に使用する機器

測定に使用する機器は例として以下のような機器があり、現場の状況に応じて、自動記録方式、機器の指示値の読み取り、現地測定を組み合わせた観測体制をとること

になる。電気伝導率は携帯型測定器を用いて測定することが可能である。

なお、観測源泉において、これらの機器の設置ができない場合、あるいは複数の項目が測定困難な場合は、測定可能な項目をもって影響の有無を判断せざるを得ない。しかし、水位、湧出量がともに測定できない場合は、観測源泉としては不向きであるので別の周辺源泉を観測源泉とする等の対応も考えられる。なお、他に測定に適した源泉が存在しない場合は、単一井（対象源泉のみ）による影響調査を行うことも考えられる。

3-1 機器による測定

測定項目	主な機種等	規格
水位	圧力式、静電容量式、音波式、気泡式等	±0.1% FS（フルスケール）程度
湧出量	電磁式、超音波式、面積式等	±2%指示値
孔口圧力	圧力発信器等	測定精度±1% FS
温度	熱電対、サーミスタ等	分解能 0.1℃
記録方式	アナログ記録、デジタル記録、表示値の読み取り等	連続記録、定時での記録

3-2 観測員による定時測定

測定項目	主な機種等	測定
水位	触針式（ロープ式）等	1cm 単位以下で読み取り
湧出量	容積法、ノッチ法等	L/分単位で有効数字三桁程度
孔口圧力	ブルドン管式等（測定精度±1.6% FS 程度）	機器の指示値
温度	デジタル温度計等（分解能 0.1℃）と標準温度計の併用	0.1℃単位で現地測定
記録方式	—	現地測定・記録

4. 影響調査の実施期間

影響調査に当たっては、対象源泉を揚湯しない状態での測定（事前調査）、対象源泉を揚湯した状態での測定（本調査）、対象源泉の揚湯を停止した後の状態での測定（事後調査）の3つの期間を設定する。以下に実施期間の目処を記すが、温泉の採取層の特性や実情（距離、地質の構造、採取深度等）により、必要とされる日数は、大きく変わること留意し、影響による変動が継続し安定しない等、影響の程度を把握することが困難な場合は、調査期間を延長する、若しくは対象源泉の採取量を変更する等の対応が必要である。

4-1 事前調査

観測源泉の通常期（対象源泉による揚湯が行われていない状態）の湧出状況を把握するためのものである。測定に必要とする期間は源泉の特性によるが、変動が少なく安定している源泉であれば3日間程度^(※1)を目処とする。変動が大きい場合には、調査前の状況を詳細に把握するために、より長い期間を要することに留意する。この調査期間の測定内容は以下のとおりとする（重要な項目から順に記す）。

a) 対象源泉での測定

水位（静水位）

b) 観測源泉での測定

揚湯の場合：水位（静水位、動水位）、湧出量、温度、
その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

自噴の場合：孔口圧力（静止水頭）、湧出量、温度、
その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

※1：ここで、3日間程度としたのは、気象条件や潮汐による変動のほか、観測源泉の稼働状況による変動を把握するためである。顕著な変動が認められる場合、観測期間の延長が考えられる。なお、観測源泉が自噴泉の場合や動力揚湯泉で連続揚湯をしている場合には、観測値の安定を確認した上で日数の短縮も考えられる。

4-2 本調査（1段階で1日程度^(※2)、5段階を目処）

観測源泉において、対象源泉の湧出量に応じた影響の有無とその程度を確認するため、対象源泉の湧出量を段階的に増やす方式を推奨する。湧出量の設定は、動力揚湯の場合、下限は使用するポンプで制限可能な最小揚湯量、上限は採取制限量が定められている場合には許可制限量、若しくは対象源泉の適正揚湯量又は計画採取量とし、5段階程度に区分する。1段階の揚湯期間は1日程度を目安とするが、最終的な影響の程度の確認が重要となるので状況により調整する。この間での揚湯時間（例えば、終日運転か昼間のみの運転か等）については、温泉の採取状況等を勘案して決定する。

対象源泉の5段階以上の揚湯量の設定が困難な場合は、状況に応じて段階を設定することとし、調査期間はその段階設定に対応することになる。

なお、この調査期間の測定内容は以下のとおりとする（対象源泉・観測源泉ともに共通であり、重要な項目から順に記す）。

・水位（自噴の場合は孔口圧力（静止水頭））

- ・湧出量
- ・温度
- ・その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

※2：ここで、1日程度としたのは、浴槽清掃や湯張りに伴う観測源泉の汲み上げ量の日変動と対象源泉による影響を判断するためである。湧出状況がすぐに安定する場合は、観測値の安定を確認した上で日数の短縮が考えられる。逆に観測値に安定がみられない場合は観測期間を延長する必要も考えられる。

4-3 事後調査

影響調査時に出現した変動が対象源泉によるものか否か（影響要因となるか否か）を再確認するものであり、対象源泉揚湯停止後の変動を測定する。測定に必要とする期間は源泉の特性により異なるが、本調査の結果を目処に判断する（3日間程度を目処）。本調査時に明確な変動がなければ、事後調査の実施は省略することもできる。この調査期間の測定内容は以下のとおりとする（重要な項目から順に記す）。

a) 対象源泉での測定

水位（静水位）

b) 観測源泉での測定

揚湯の場合：水位（静水位、動水位）、湧出量、温度、その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

自噴の場合：湧出量又は孔口圧力（静止水頭）、温度、その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

5. 測定方法

5-1 自動記録

アナログ記録計（ペン式又は打点式）では連続記録、デジタル記録計による場合のデータサンプリング間隔は10分程度を目安とし、前者の場合は連続記録をそのまま図化するか若しくは10分間隔程度でデータを読み取る。

5-2 観測員による定時測定

a) 水位又は孔口圧力（静止水頭）（対象源泉・観測源泉ともに共通）

対象源泉の揚湯開始又は停止を起点として、最初は短い間隔で測定し、変動が小さくなるに従い徐々に測定間隔を長くすることが考えられる。測定例を以下に示す。

《測定例》

経過時間	測定間隔
0 ～30 分	: 1～5 分
30～60 分	: 5～10 分
60～120 分	: 10～30 分
120 分～	: 30～60 分（より長期の場合も 60 分を目処とする）

b) 湧出量・温度（対象源泉・観測源泉ともに共通）

原則 60 分間隔を目安とする。

c) 上記の実施が困難な場合

夜間の観測員による定時測定が場所や利用状態によっては困難となることもある。そのため、測定間隔は柔軟に対処し、これに応じて測定の実施期間も変更すべきである。

5-3 影響調査時の観測源泉の状態

影響調査時の観測源泉は、未利用休止状態で水位（静水位）や孔口圧力（静止水頭）を測定するのが理想であるが、実際は温泉を利用しているために水位等の測定が困難なケースが多い。利用している源泉では、長期にわたり揚湯（自噴）を休止することは困難であるので、影響調査期間中は観測源泉および周辺源泉の揚湯（自噴）状態をできる限り一定とすることが望ましい。

特に間欠揚湯を行っている源泉の場合は、対象源泉の影響を誤認しないように、調査期間中はできれば一定の揚湯状態を維持すること。これが実現困難な場合は、通常状態における運転状況を観察・記録し、その影響の程度を把握することが考えられる。

6. その他特記事項

6-1 関連データの収集

一般的に浅深度で湧出する温泉は、降水量や潮汐等の自然的要因を含む周辺環境の影響を受け、常に変化するものである。影響調査時には、直近の気象観測点の気象データ（降水量、気温、気圧等）とともに、付近の河川水位や潮位等のデータも収集・整理し参考とする（国土交通省、気象庁等の公表データ等を活用する）。

また、温泉の湧出状況は、地下水位の影響も受けていることがある。源泉分布域

の中に水井戸が存在している場合、その揚水量や揚水時間、水位等を測定して参考資料とすることが考えられる。大深度掘削泉の場合は、事前調査の状況から上記した項目から必要な資料を判断する。

6-2 測定間隔や揚湯期間の変更

対象源泉、観測源泉の水位は、揚湯後速やかに安定する場合と、安定しない場合とがある。影響調査での揚湯期間は1段階につき1日程度としたが、早期に水位が安定する場合は、これよりも短い揚湯期間で影響判断が可能なこともある。一方で、水位が低下し続け安定しない場合は、揚湯期間を延長する必要もあり得る。

要は、状況に応じた適切な方法を採用し、影響量を確認することが重要であり、測定間隔をより短くしたり、測定期間をより長くしたりすることは差し支えない。

6-3 調査の協力が得られない場合について

既存源泉所有者等にとっては、温泉資源への影響調査を通じて、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。

また、既存源泉所有者は調査に協力しない場合、所有源泉に何らかの影響が生じたことを主張する際には、源泉所有者自身が影響関係を科学的に証明しなければならないこともある。影響調査に関する趣旨の説明は、事前に周知するほか、既存源泉所有者に協力を依頼する際に都道府県から個々に説明をするといった方法も考えられる。それらに併せて説明の経緯や調査への協力の有無を記録しておくこともあり得る。どうしても協力が得られない場合は、例えば揚湯試験結果から単一井による影響の推定を実施したり、他源泉への影響量から推定したりする等、他の方法により推定を行うことも考えられる。なお、既存源泉所有者は影響調査に可能な限り協力することが重要であり、所有源泉をはじめとする地域の温泉資源保護のためにも、調査協力は源泉所有者に求められることである。

Ⅱ. 揚湯試験（集湯能力調査）

1. 揚湯試験の種類と目的

段階揚湯試験による限界揚湯量とその結果から判断する当該井戸における適正揚湯量の検討は、その後の連続揚湯試験での設定揚湯量を調べるため必要であり、連続揚湯試験により過度な水位低下を招くことのない水位の安定を確認し、持続的に安定して採取できる温泉の量に調整することで、温泉資源の保護を図ることが主目的である。ただし、個々の源泉における揚湯試験で適正と判断した適正揚湯量の総計が、必ずしも地域の適正揚湯量ではなく、過大となることがあることにも注意が必要である。そのため、適正揚湯量の検討には、揚湯試験結果だけではなく前述した影響調査結果やモニタリングによる温泉資源動向も考慮しての判断が必要とされることがある。また、ポンプの設置深度については揚程、ガス発泡の有無等を考慮した適切な設置深度を検討することが必要である。

1-1 予備揚湯試験

孔内洗浄の後、実際にポンプを使用して揚湯を行って揚湯量と水位との関係を確認し、段階揚湯試験等の計画を立てるための基礎資料を得るのが予備揚湯試験である。調査期間は1日程度を目処とする。このため予備揚湯試験の結果を踏まえて、段階揚湯試験、連続揚湯試験においては、それぞれの試験に適合する能力のポンプを準備する必要がある。なお、孔内洗浄が不十分であったり、試験の条件に適合しないポンプでは揚湯試験が適切に行えない。揚湯試験用のポンプの選定は慎重に行うべきであり、孔内洗浄でエアリフトを行っている場合には、その湧出状況（湧出量と水位）から試験用のポンプを選定するといったことが考えられる。

1-2 段階揚湯試験

この試験は、揚湯量を段階的に変えて、その段階ごとの揚湯量と水位（水位降下量）との関係の調査であり、5段階以上で実施することを基本とする。設定する最大揚湯量は、湧出量に関する採取制限量が定められている場合にはその制限量を、採取制限量が定められていない場合は使用するポンプの能力又はその源泉から採取可能な量とし、最小揚湯量は使用するポンプで制限可能な量とする。

1段階の揚湯時間は、最低1時間とするが、調査時間を延長しても水位が安定しない場合は、およそその水位の安定をもって次の段階に移行せざるを得ない場合もある。なお、採取可能な量が少ないときは、その採取量の範囲内で可能な段

階を設定するものとし、更に少なければ、次の連続揚湯試験のみを実施することになる。

両対数グラフで各段階における揚湯量を横軸に、自然水位からの水位降下量を縦軸にとり、揚湯量－水位降下量検討図を作成し、限界揚湯量を見出す。その限界揚湯量に安全率（80 %程度）を乗じて適正揚湯量を求める。

1-3 連続揚湯試験

段階揚湯試験で得られたデータを基に、湧出量に関する採取制限量が定められている場合では、その制限量の範囲内で、試験実施者がその源泉で適正と算出した適正揚湯量または将来的に採取することになる計画採取量に設定して、一定の量で長期間の揚湯を行う試験である。ここで、温泉資源保護の観点から考えれば、計画採取量は適正揚湯量以下となる（計画採取量 $\leq$ 適正揚湯量）。この試験の所要日数は、水位が安定化するまでを基本とし、3～7日間程度を目処に安定を確認する。

揚湯試験におけるおおよその安定の目安は段階揚湯試験では、1時間当たりの水位変動量が全体水位変動量のおおむね0.2 %以内となるまでとする。連続揚湯試験では、6時間当たりの水位変化量が全体水位変化量のおおむね0.2 %以内となるまでを目安とする（なお、平成21年3月策定のガイドラインでは、全体水位変化量の0.1 %以内と示していたが、温泉では一般的な地下水と異なり様々なケースが考えられるため目安を0.2 %以内と変更した）。

ただし、このような数値は目標値であり、例えばガスを多く含むような温泉では、測定が難しくどうしても安定しないことがある。また、0.2 %以内でも継続的に水位が低下しているような場合は、完全に安定しているとは言えない。水位が安定しない場合は、試験期間を延長したり、使用する機器の精度や温泉の特性、水位変化の様相も考慮しての総合的な判断が重要となる。

1-4 回復試験

連続揚湯試験から引き続く試験であり、揚湯を停止した後の水位回復状況を測定するものである。測定期間は1日以上とする。

2. 揚湯試験の測定項目と測定方法

揚湯試験で測定すべき項目と測定間隔は、「I 影響調査 5. 測定方法 5-2 観測員による定時測定」と同様に実施すること。

3. 揚湯試験の測定機器

揚湯試験に使用する測定機器は、「I 影響調査」の項で記した測定機器を用いることが望ましい。

4. 揚湯試験の測定期間

対象源泉の水位は、試験開始後速やかに安定する場合と、安定しない場合とがある。速やかに水位が安定する場合は、上記に示したよりも短い揚湯期間で影響判断が可能なのこともある。一方で水位が安定しない場合は、揚湯期間を延長する必要もあり得る。

5. 揚湯試験の特殊事例

揚湯に伴い水位が上昇する、湧出量が少なく上記した通常の揚湯試験が行えない等の特殊事例については、水位が安定する適正揚湯量を何らかの方法で判断する必要がある。参考として事例を紹介する（別紙 14 参照）。

6. 揚湯試験実施要領事例

都道府県によっては揚湯試験に関する実施要領を作成し申請手続きの円滑化を図っている。以下に、神奈川県の揚湯試験実施要領と揚湯試験実施結果記載例を紹介する。

揚 湯 試 験 実 施 要 領

1 目的

源泉の適正揚湯量を把握して、温泉資源の保護を図ることを目的とする。

2 実施方法

揚湯試験は、段階揚湯試験、連続揚湯試験及び水位回復試験とし、この順で実施する。

（1）測定値の記述について

泉温（℃）：小数点以下第 1 位まで測定する。

水位（m）：地表面を基準とし、小数点以下第 2 位まで測定する。

揚湯量（L/分）：整数で表示する。

(2) 揚湯試験を行う前に、事前準備として孔内洗浄及び予備揚湯を行い、動力や源泉井戸の揚湯特性の概要を把握する。

(3) 段階揚湯試験

① 自然水位（揚湯していない状態での水位）を測定する。自噴泉の場合も可能な限り測定する。

ア 自噴していない源泉の場合

動力を用いて揚湯している温泉などは温泉水頭が地表下に位置しているの
で、その静水位を測定して自然水位とする。

イ 自噴している源泉の場合

自噴状態の泉温及び湧出量を測定する。測定後、湧出口を地表よりも高く
していくと自噴量が減少し、ある高さになると全く停止する。このときの
高さを自然水位とする。

② 5段階以上の揚湯量を決定する。利用計画に基づいた必要な揚湯量を基準に
して、それよりも少ない揚湯量、多い揚湯量をそれぞれ2～3段階設定す
る。あるいは揚湯試験に用いる動力装置による最大揚湯可能量を5等分して
基準にする方法などがある。

③ ②で設定した揚湯量について、最小揚湯量から順に各段階の揚湯量で継続し
て揚湯しながら、時間の経過と共に動水位及び水温の変化を測定する。各段
階の試験は動水位が安定するまで（目安としては水位の低下速度が1時間に
0.1m以下となるまで）行う。

④ 測定により得られた結果から、各段階における揚湯量（Q）を横軸に、自然
水位からの水位降下量（S）を縦軸に取った揚湯量－水位降下量図（Q－S
図）を作成する。揚湯量－水位降下量図は両対数グラフで作成し、縦軸と横
軸の目盛りは等倍であることが望ましい。

⑤ 揚湯量－水位降下量図において、揚湯量と水位降下量の関係を示す線が、両
対数グラフの対角線（傾き1の直線）よりも急になる最初の点の揚湯量が限
界揚湯量となり、その80%を適正揚湯量とする。揚湯量－水位降下量図によ
り限界揚湯量が見出せない場合、段階揚湯試験を実施した最大の揚湯量を限
界揚湯量とみなすこととする。

(4) 連続揚湯試験

段階揚湯試験により設定した適正揚湯量で連続して揚湯し、時間の経過と共に
動水位及び泉温の変化を測定する。連続揚湯試験は動水位が安定するまで（水
位の低下速度が1時間に0.1m以下となるまで）行う。

(5) 水位回復試験

連続揚湯試験の終了と共に揚湯を停止し、時間と共に水位、温度がどのように回復するかを測定する。水位が自然水位まで回復し、安定（水位の上昇速度が1時間に0.1m以下となるまで）した時点で終了する。

3 結果のまとめ

揚湯試験の結果は以下のように整理する。（2）～（4）については記載例を参考に作成すること。

- (1) 揚湯試験結果表 (別紙①)
- (2) 段階揚湯試験結果 (記載例1-1、1-2)
- (3) 連続揚湯試験・水位回復試験結果 (記載例2)
- (4) 揚湯量－水位降下量図（Q－S図） (記載例3)

4 その他

(1) 上記の規定により試験を実施することが困難な場合は、個別に指導するものとする。

(2) 試験においては排水、騒音など周辺環境に配慮して行うこと。

(3) 水位、温度の測定間隔の目安

各試験の測定時間の間隔は、開始直後はできるだけ細かく測定し、間隔を開けるのは水位の変化が緩やかになってからにすること。

例) 開始後10分までは1分間隔、10分から30分までは5分間隔、30分から60分までは10分間隔、60分以降は30分、60分間隔など。

神奈川県 揚湯試験実施要領

<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/5549/2994.pdf> (令和7年8月確認)

場	湯	試	驗	結	果	表
---	---	---	---	---	---	---

[illegible]

(記載例 1－1)

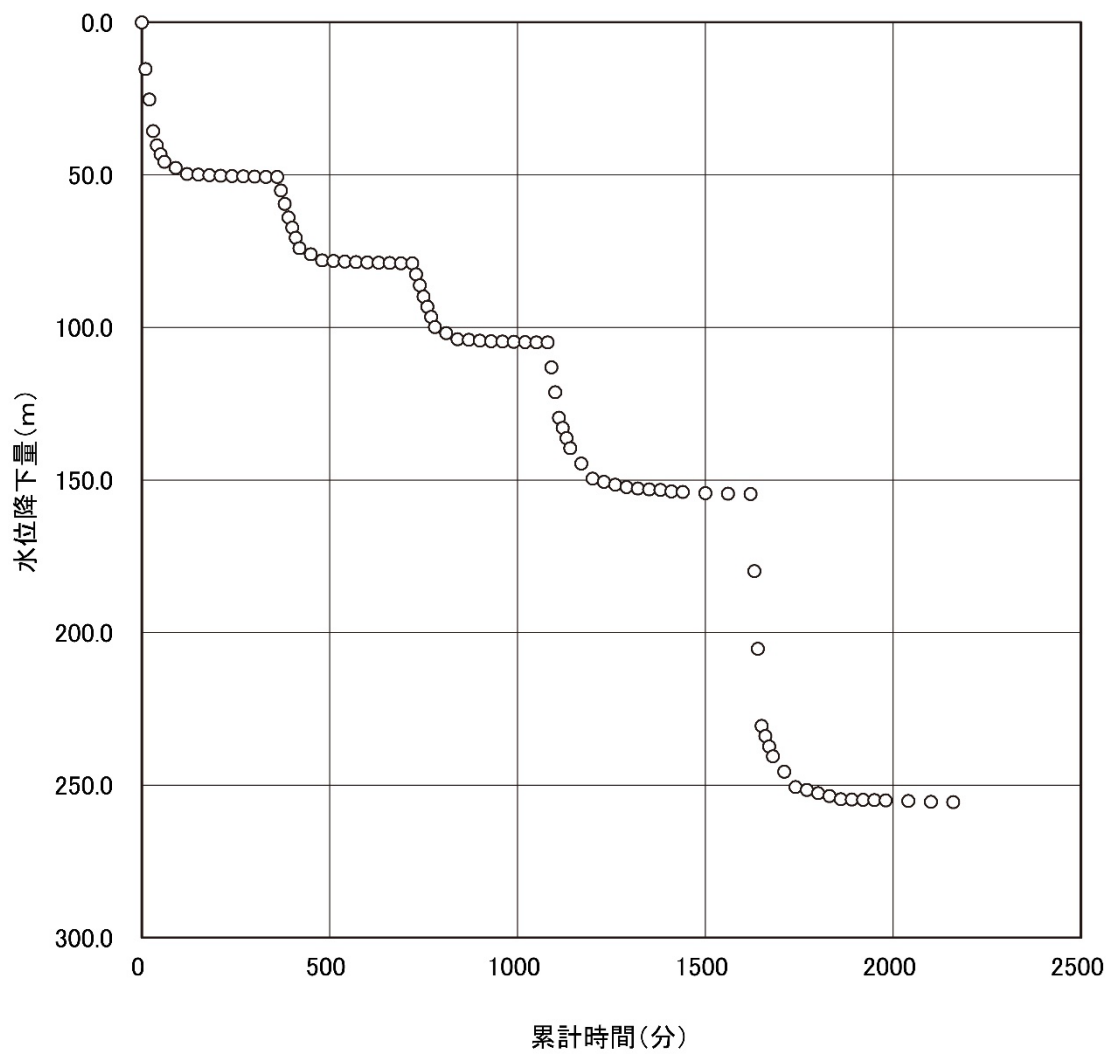
段階揚湯試験結果

(令和 年 月 日 ～ 令和 年 月 日)

時間 (分)	累計時間 (分)	水位 (m)	水位 降下量 (m)	泉温 (℃)	揚湯量 (L/分)	時間 (分)	累計時間 (分)	水位 (m)	水位 降下量 (m)	泉温 (℃)	揚湯量 (L/分)
0	0	77.7	0.0		0	10	1090	190.8	113.1		130
10	10	93.0	15.3		50	20	1100	199.0	121.3		130
20	20	103.0	25.3		50	30	1110	207.3	129.6		130
30	30	113.4	35.7		50	40	1120	210.6	132.9		130
40	40	118.0	40.3		50	50	1130	214.0	136.3		130
50	50	121.0	43.3		50	60	1140	217.3	139.6		130
60	60	123.4	45.7		50	90	1170	222.3	144.6		130
90	90	125.4	47.7		50	120	1200	227.3	149.6		130
120	120	127.4	49.7		50	150	1230	228.3	150.6		130
150	150	127.6	49.9		50	180	1260	229.3	151.6	31.2	130
180	180	127.8	50.1	27.8	50	210	1290	230.0	152.3		130
210	210	128.0	50.3		50	240	1320	230.5	152.8		130
240	240	128.1	50.4		50	270	1350	230.8	153.1		130
270	270	128.2	50.5		50	300	1380	231.0	153.3		130
300	300	128.3	50.6		50	330	1410	231.4	153.7		130
330	330	128.4	50.7		50	360	1440	231.6	153.9	31.3	130
360	360	128.4	50.7	28.0	50	420	1500	232.0	154.3		130
10	370	132.8	55.1		80	480	1560	232.2	154.5		130
20	380	137.2	59.5		80	540	1620	232.3	154.6	31.5	130
30	390	141.7	64.0		80	10	1630	257.6	179.9		160
40	400	145.0	67.3		80	20	1640	283.0	205.3		160
50	410	148.3	70.6		80	30	1650	308.3	230.6		160
60	420	151.7	74.0		80	40	1660	311.6	233.9		160
90	450	153.7	76.0		80	50	1670	315.0	237.3		160
120	480	155.7	78.0		80	60	1680	318.3	240.6		160
150	510	155.9	78.2		80	90	1710	323.3	245.6		160
180	540	156.1	78.4	28.3	80	120	1740	328.3	250.6		160
210	570	156.3	78.6		80	150	1770	329.3	251.6		160
240	600	156.4	78.7		80	180	1800	330.3	252.6	33.5	160
270	630	156.5	78.8		80	210	1830	331.3	253.6		160
300	660	156.6	78.9		80	240	1860	332.3	254.6		160
330	690	156.7	79.0		80	270	1890	332.4	254.7		160
360	720	156.7	79.0	28.5	80	300	1920	332.5	254.8		160
10	730	160.3	82.6		110	330	1950	332.6	254.9		160
20	740	163.9	86.2		110	360	1980	332.7	255.0	33.6	160
30	750	167.6	89.9		110	420	2040	332.9	255.2		160
40	760	170.9	93.2		110	480	2100	333.2	255.5		160
50	770	174.3	96.6		110	540	2160	333.3	255.6	33.8	160
60	780	177.6	99.9		110						
90	810	179.6	101.9		110						
120	840	181.6	103.9		110						
150	870	181.8	104.1		110						
180	900	182.0	104.3	29.3	110						
210	930	182.2	104.5		110						
240	960	182.3	104.6		110						
270	990	182.4	104.7		110						
300	1020	182.5	104.8		110						
330	1050	182.6	104.9		110						
360	1080	182.6	104.9	29.5	110						

(記載例 1－2)

段階揚湯試験結果



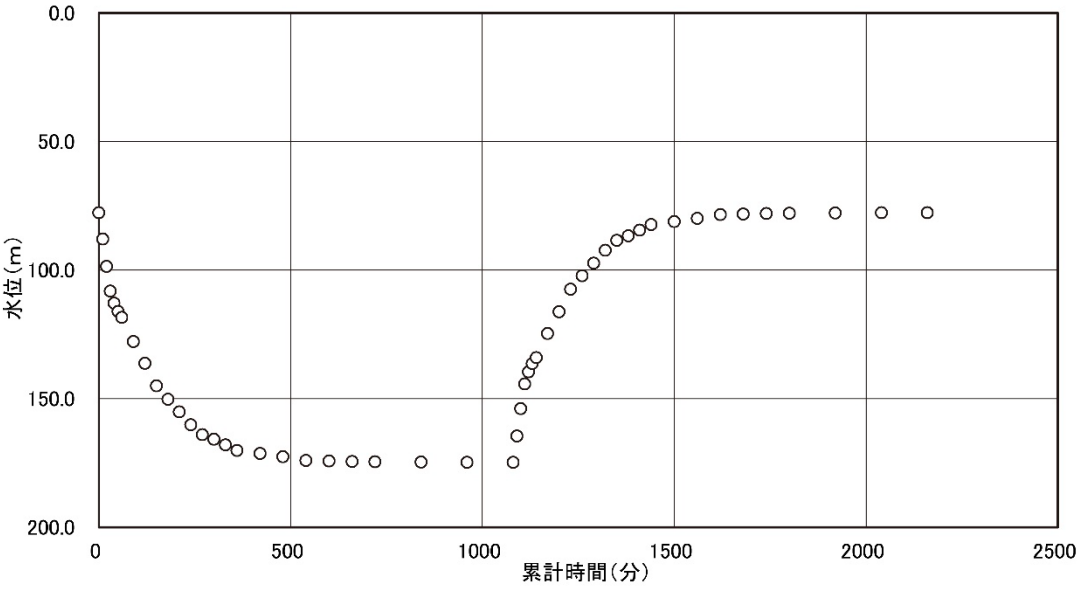
(記載例2)

連続揚湯試験・水位回復試験結果

(令和 年 月 日 ~ 令和 年 月 日)

時間 (分)	累計時間 (分)	水位 (m)	水位 降下量 (m)	泉温 (℃)	揚湯量 (L/分)	時間 (分)	累計時間 (分)	水位 (m)	水位 降下量 (m)	泉温 (℃)	揚湯量 (L/分)
0	0	77.7	0.0		100	10	1090	164.5	86.8		-
10	10	87.9	10.2		100	20	1100	153.9	76.2		-
20	20	98.5	20.8		100	30	1110	144.3	66.6		-
30	30	108.1	30.4		100	40	1120	139.6	61.9		-
40	40	112.8	35.1		100	50	1130	136.3	58.6		-
50	50	116.1	38.4		100	60	1140	134.0	56.3		-
60	60	118.4	40.7		100	90	1170	124.6	46.9		-
90	90	127.8	50.1		100	120	1200	116.2	38.5		-
120	120	136.2	58.5		100	150	1230	107.4	29.7		-
150	150	145.0	67.3		100	180	1260	102.2	24.5		-
180	180	150.2	72.5	28.8	100	210	1290	97.3	19.6		-
210	210	155.1	77.4		100	240	1320	92.3	14.6		-
240	240	160.1	82.4		100	270	1350	88.4	10.7		-
270	270	164.0	86.3		100	300	1380	86.6	8.9		-
300	300	165.8	88.1		100	330	1410	84.4	6.7		-
330	330	168.0	90.3		100	360	1440	82.3	4.6		-
360	360	170.1	92.4	29.0	100	420	1500	81.1	3.4		-
420	420	171.3	93.6		100	480	1560	79.8	2.1		-
480	480	172.6	94.9		100	540	1620	78.4	0.7		-
540	540	174.0	96.3		100	600	1680	78.2	0.5		-
600	600	174.2	96.5		100	660	1740	78.0	0.3		-
660	660	174.4	96.7		100	720	1800	77.9	0.2		-
720	720	174.5	96.8		100	840	1920	77.8	0.1		-
840	840	174.6	96.9		100	960	2040	77.7	0.0		-
960	960	174.7	97.0		100	1080	2160	77.7	0.0		-
1080	1080	174.7	97.0	29.1	100						

連続揚湯試験、回復試験結果



(記載例3)

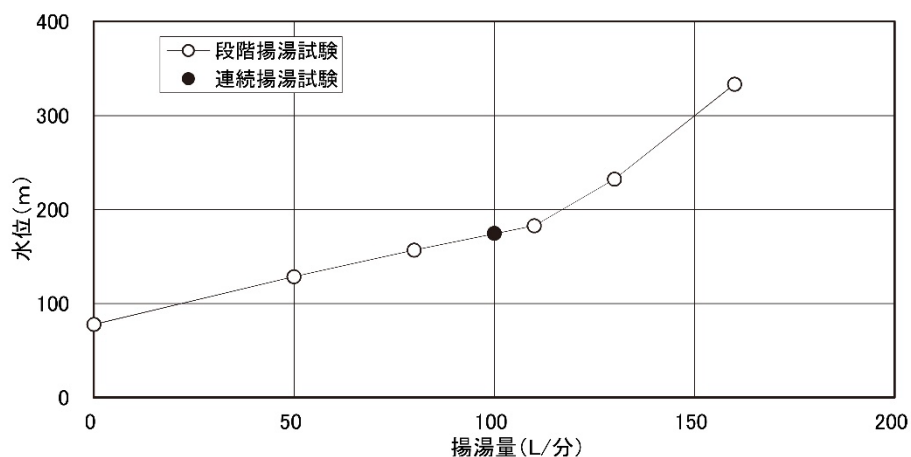
揚湯量－水位降下量図

段階揚湯試験結果

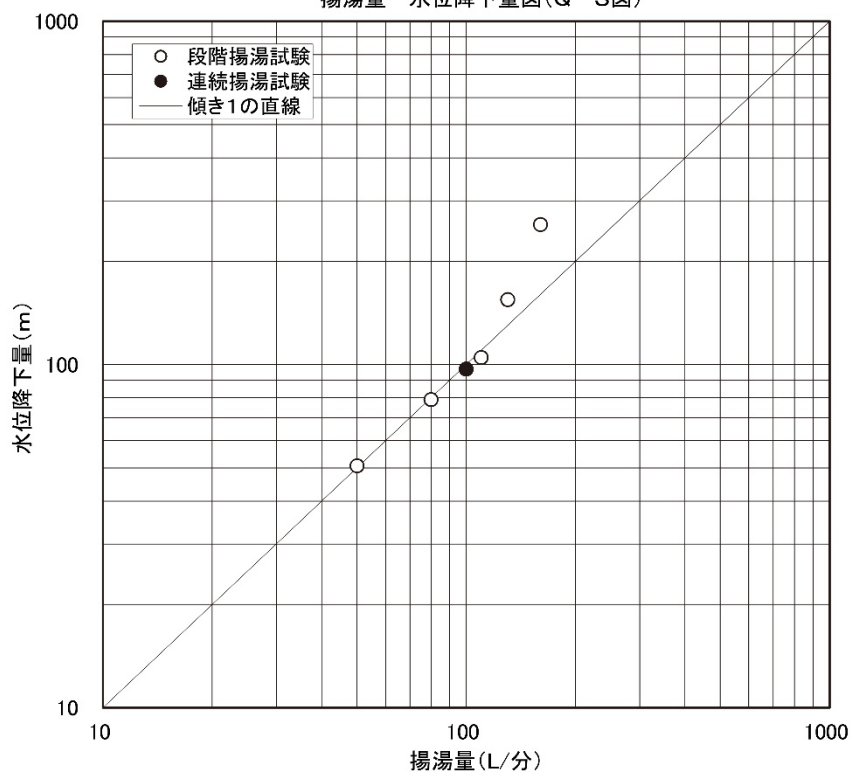
揚湯量 (L/分)	水位 (m)	水位降下量 (m)	経過時間 (分)	泉温 (℃)
0	77.7	－	－	－
50	128.4	50.7	360	28.0
80	156.7	79.0	360	28.5
110	182.6	104.9	360	29.5
130	232.3	154.6	540	31.5
160	333.3	255.6	540	33.8

連続揚湯試験結果

揚湯量 (L/分)	水位 (m)	水位降下量 (m)	経過時間 (分)	泉温 (℃)
0	77.7	－	－	－
100	174.7	97.0	1080	29.1



揚湯量－水位降下量図 (Q-S図)

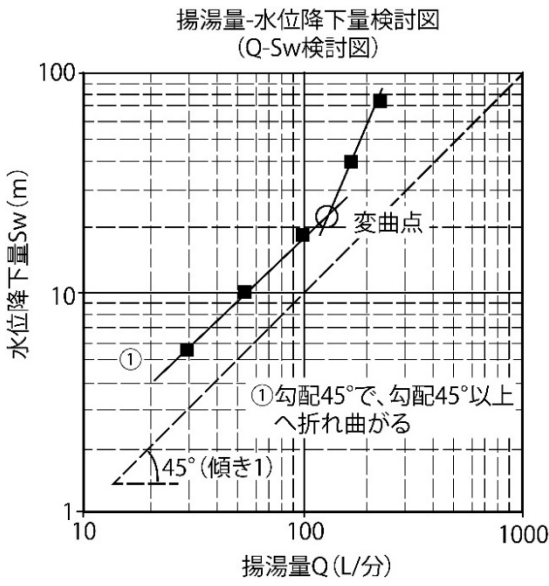
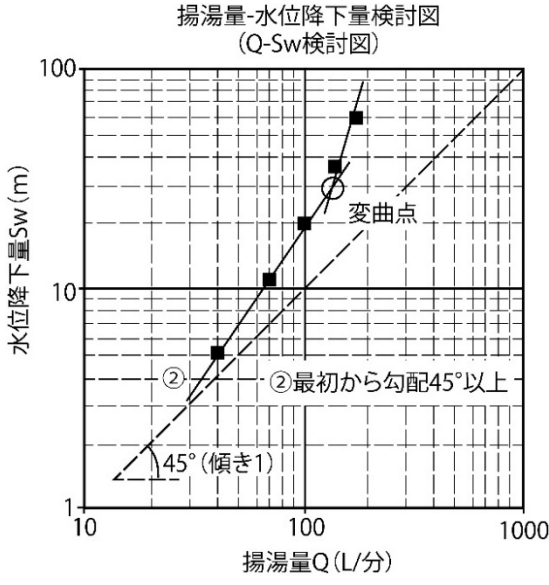


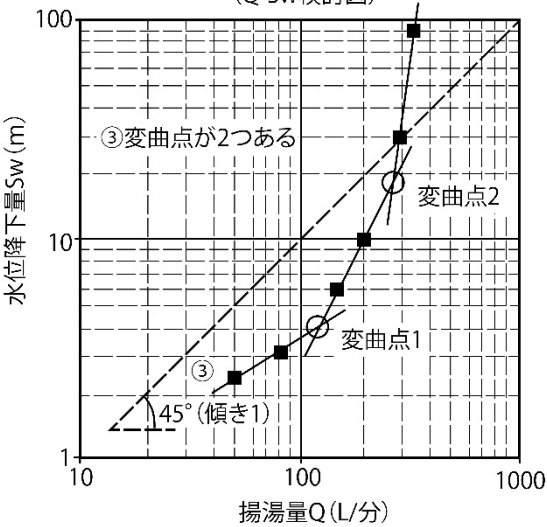
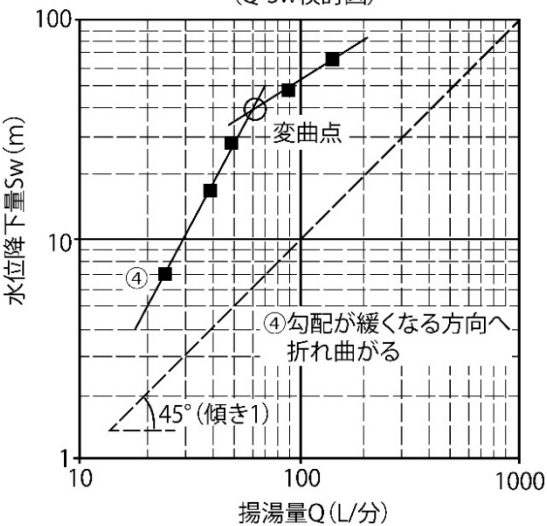
神奈川県小田原保健福祉事務所ホームページ 温泉関係の手続きについて（新規の手続き）温泉動力装置許可申請 揚湯試験実施結果記載例

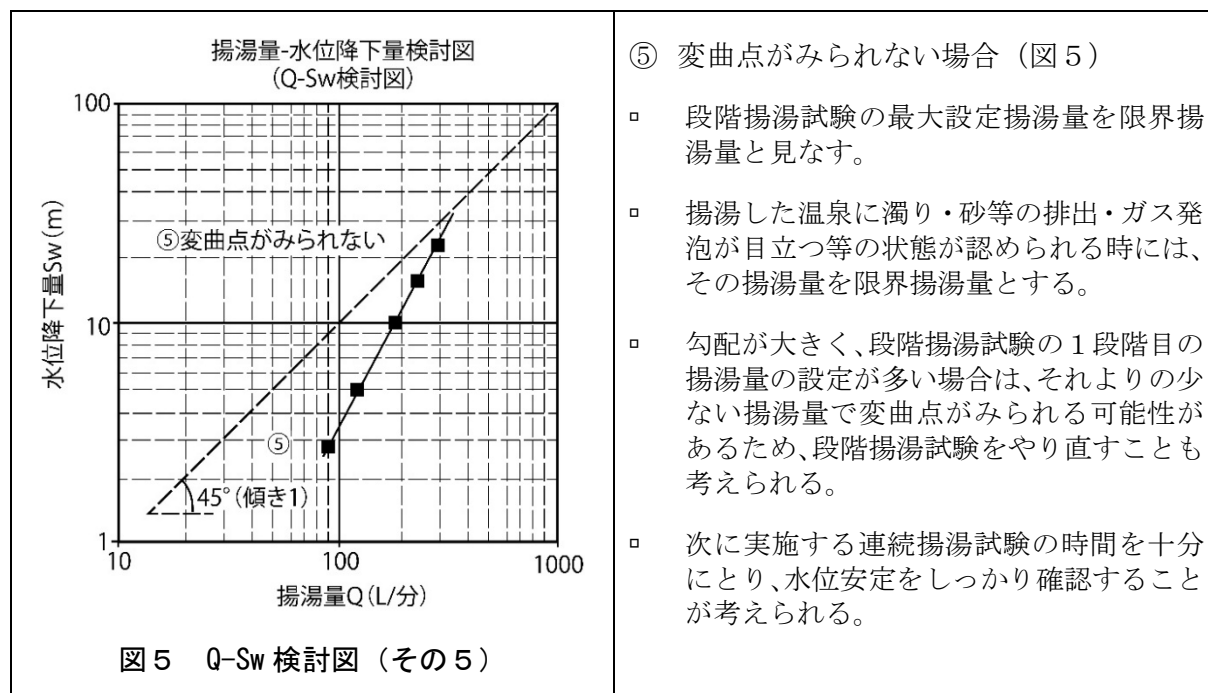
<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/m7k/onsen/p2116.html>（令和7年8月確認）

7. 適正揚湯量の検討

適正揚湯量の検討は、段階揚湯試験の結果である各段階の揚湯量（ Q ）と水位降下量（ S_w ）の関係を、縦軸に水位降下量、横軸に揚湯量をとった両対数グラフにプロットして行う。このグラフは揚湯量-水位降下量検討図（ Q - S_w 検討図）と呼ばれる。揚湯量と水位降下量の関係は直線状にプロットされるが、その傾き（勾配）が大きくなることがある。点を結んだ直線に折れ曲がりが見られ、この変曲点を限界揚湯量とする。その限界揚湯量に安全率（80%程度）を乗じて適正揚湯量を求める。この方法は勾配変化点法と呼ばれる（森ほか，2014）。以下に揚湯量-水位降下量検討図の解釈について、一考察を整理する（根岸，1998、高橋・進士，2021 及び高橋，2023）。

 揚湯量-水位降下量検討図 (Q-S_w検討図) ① 最初は勾配 45° で、勾配 45° 以上へ折れ曲がる場合 (図 1) 変曲点 ① 勾配 45° で、勾配 45° 以上へ折れ曲がる 45° (傾き1) 水位降下量 S_w (m) 揚湯量 Q (L/分)	① 最初は勾配 45° で、勾配 45° 以上へ折れ曲がる場合 (図 1) - 変曲点を限界揚湯量とする。 - 次に実施する連続揚湯試験の時間を十分にとり、水位安定をしっかりと確認することが考えられる。
 揚湯量-水位降下量検討図 (Q-S_w検討図) ② 最初から勾配 45° 以上の場合 (図 2) 変曲点 ② 最初から勾配 45° 以上 45° (傾き1) 水位降下量 S_w (m) 揚湯量 Q (L/分)	② 最初から勾配 45° 以上の場合 (図 2) - 変曲点を限界揚湯量とする。 - 勾配が大きく、段階揚湯試験の1段階目の揚湯量の設定が多い場合は、それよりの少ない揚湯量で変曲点が見られる可能性があるため、段階揚湯試験をやり直すことも考えられる。 - 次に実施する連続揚湯試験の時間を十分にとり、水位安定をしっかりと確認することが考えられる。

揚湯量-水位降下量検討図 (Q-Sw検討図)  図 3 Q-Sw 検討図 (その 3)	③ 変曲点が 2 つある場合 (図 3) □ 勾配 45° を超えた変曲点 1 を限界揚湯量とする。 □ 最初から勾配が 45° を超えている場合は、最初の変曲点 1 を限界揚湯量とする。 □ 勾配が大きく、段階揚湯試験の 1 段階目の揚湯量の設定が多い場合は、それよりの少ない揚湯量で変曲点がみられる可能性があるため、段階揚湯試験をやり直すことも考えられる。 □ 次に実施する連続揚湯試験の時間を十分にとり、水位安定をしっかりと確認することが考えられる。
揚湯量-水位降下量検討図 (Q-Sw検討図)  図 4 Q-Sw 検討図 (その 4)	④ 勾配が緩くなる方向へ折れ曲がる場合 (図 4) □ 段階揚湯試験の途中で温泉帯水層の目詰まりが解消された可能性があるため、段階揚湯試験をやり直すことが考えられる。 □ 変曲点で湧出状態が変わったということに鑑みれば、変曲点を限界揚湯量と見なすことも考えられる。 □ 次に実施する連続揚湯試験の時間を十分にとり、水位安定をしっかりと確認することが考えられる。



各試験に共通することであるが、水位の安定をしっかりと確認することが重要で、揚湯時間を十分にとることが重要となる。

引用文献及び参考文献

根岸基治 (1998) 水井戸の設計, 地下水技術, vol. 40, No. 11, 23-35.

森 一司・阿部栄一・飯塚康太・段階揚水試験における s-Q 曲線に関する検討事例, 応用地質, Vol. 55, No. 4, 177-184.

高橋直人・進士喜英 (2021) 原位置地下水調査法の留意点と建設現場での活用 6. 段階揚水試験および影響圏半径, 地下水学会誌, 第 63 巻, 第 3 号, 159-171.

高橋孝行 (2023) 揚湯試験の基礎, ゆけむり 公益財団法人中央温泉研究所報, 第 6 号, 49-65.

影響調査事例

I. 掘削深度の浅い温泉での事例

1. 影響調査の背景及び源泉状況

別府温泉の事例を紹介する。各源泉の掘削深度はおおむね 100～200m であり、狭い範囲に数多く分布している。当時、別府温泉及びその周辺では揚湯泉の増加と共に自噴泉の数や湧出量が減じたことから揚湯に伴う既存源泉への影響調査が行われている。ここでは、昭和 43（1968）年から昭和 44（1969）年に北石垣地区と鉄輪地区で実施された調査結果事例の一部を抜粋する。

2. 調査の方法

ある源泉で揚湯を行い、揚湯源泉から半径 100m 以内にある既存源泉の水位変化、湧出量変化を測定している（図中の円の半径は 100m）。

当時は、自噴源泉数が減少し、代わりにエアリフトポンプによる揚湯泉が増加していた。影響調査中に周辺で不定期的な揚湯があれば、その影響が測定結果に現れて解析を困難にするおそれがあるため、温泉が揚湯停止状態にあると考えられる 9 時から 17 時の間を選び、揚湯源泉から半径 100m 以内の温泉は停止状態にあることを確かめて調査が行われている。

3. 調査の結果

3-1. 北石垣地区温泉

No. 1064 源泉の揚湯試験では、No. 1064 の 50 L/分程度の揚湯開始及び揚湯停止に伴って、No. 1077、No. 1065、No. 1063 源泉に水位の低下と回復という反応が認められたが、揚湯源泉に最も近い No. 1062 では明確な反応が認められなかった（図 1）。これは、No. 1062 源泉はケーシング管が傷んでおり、湧出温度も他の温泉に比べ低いことから、浅い層からも温泉水を採取していることが考えられる。

3-2. 鉄輪地区温泉

No. 237 源泉の揚湯試験では、No. 237 の 40 L/分程度の揚湯開始及び揚湯停止

に伴い、白垣、河野、原、林田源泉には、水位の低下と回復という反応が認められる。一方、揚湯源泉の北東方向に位置する No221、村田の湧出量の変動は不明瞭なものとなっており、影響量は小さいことがわかる（図 2）。

4. まとめ

影響による水位降下量は、揚湯泉に近いほど大きい傾向があるが、方向性が認められ、中には揚湯泉よりも離れている場所でかえって大きい水位低下がみられることがある。このような結果は、測定法の問題があるかもしれないが、各源泉の採取層の違いや、地質構造の不均一性等にも由来するところが多いと考えられる。

5. 引用文献及び参考文献

山下幸三郎・由佐悠紀（1969）別府温泉の源泉保護について（Ⅲ）北石垣、鉄輪地区温泉の揚水影響，大分県温泉調査研究会報告，20，9 - 32.

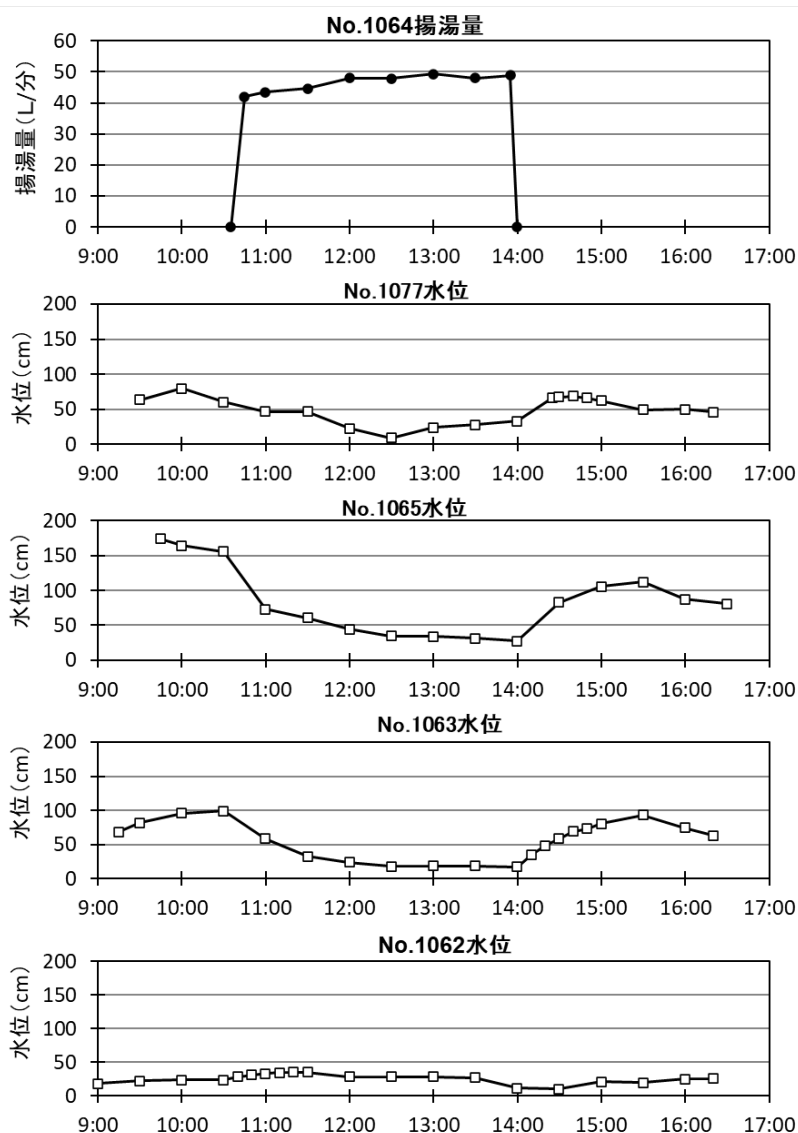


図 1 (1) 北石垣 No. 1064 の揚湯に伴う周辺温泉水位変化

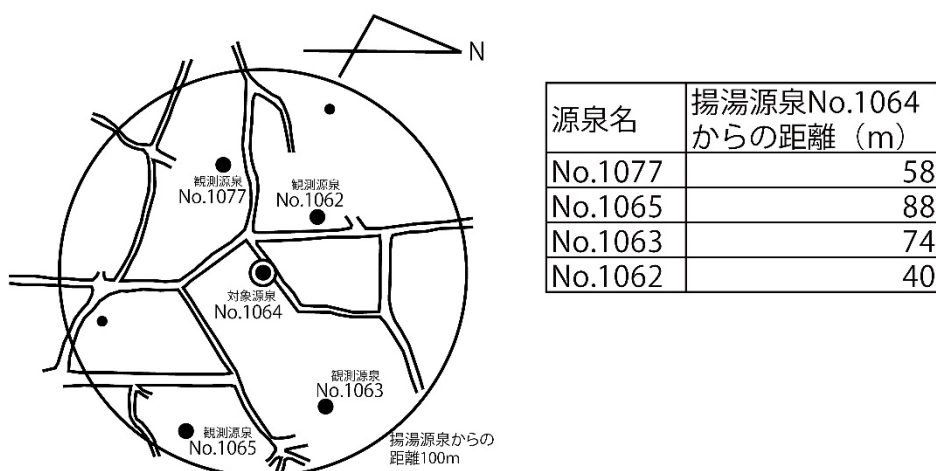


図 1 (2) 北石垣 No. 1064 周辺源泉位置と距離関係

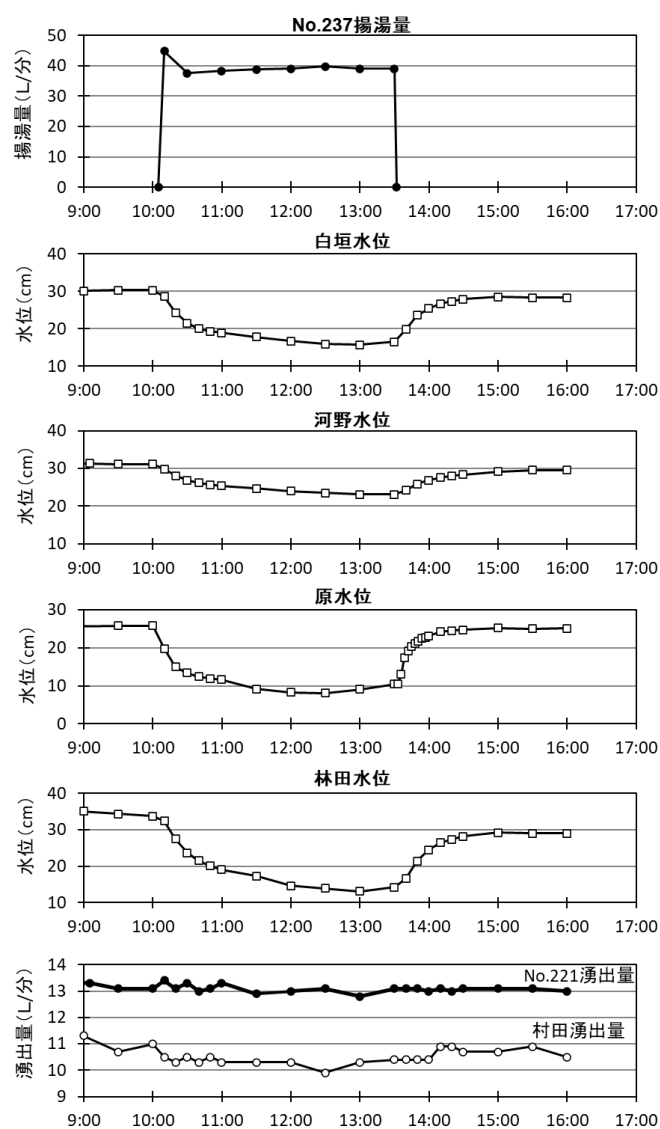


図 2 (1) 鉄輪 No. 237 の揚湯に伴う周辺温泉水位又は湧出量変化

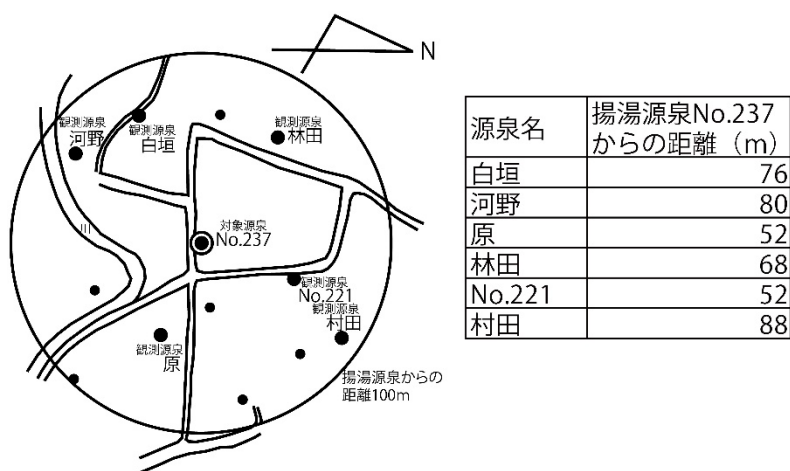


図 2 (2) 鉄輪 No. 237 周辺源泉位置と距離関係

Ⅱ．大深度掘削泉での事例

1．影響調査の背景及び源泉状況

当該温泉地では掘削深度約 1400m の 1 本の源泉（既存源泉）を複数の利用施設で分湯し利用がなされていた。そこから約 550m 離れた場所に掘削深度約 1300 m の新たな温泉掘削（対象源泉）が行われ、予備揚湯及び揚湯試験時に影響調査が実施された。

既存源泉では普段から、温度、水位の機器モニタリングが行われており、間欠揚湯のため、1 日の最高値と最低値が各々記録されている。調査期間中はできるだけ一定周期での間欠揚湯利用とし揚湯量をできるだけ変えないようにはしている。

2．調査方法と結果

源泉の利用状況に関しては稼働と停止を約 10 分おきに繰り返す間欠揚湯利用である。毎日の最高温度が揚湯時の温度、毎日の最低水位は揚湯時に記録されたものと考えて良い。この揚湯量に関してはモニタリングされていないが、利用施設への送湯状況から揚湯量はおおむね 200～220 L/分程度とされている。事前のモニタリング結果から浅層から低温水が侵入していることは判明しているので判断には注意を必要とした。

対象源泉の孔内洗浄、予備揚湯開始に伴い既存源泉の水位、水温（毎日の最高・最低値）はいずれも低下傾向を示しており、連続揚湯試験②中に最低値を示した後、対象源泉の揚湯停止後、回復傾向を示している。毎日の水位最低値の変化を見ると対象源泉の揚湯期間において、既存源泉水位には最大で 2 m 以上の水位低下が認められる（図 3）。このことから、対象源泉の揚湯量に応じて既存源泉の水位は変動していると判断され、両源泉間は相互に干渉している可能性が高いと考えられた。既存源泉の毎日の温度最高値（揚湯時水温）に 4～5℃もの変化が生じた原因は定かではないが、影響による水位の低下に伴い低温水混入量が増加したためではないかと推定された。

3．調査結果の判断とその後の対応

対象源泉の連続揚湯試験で設定した揚湯量 390 L/分では、既存源泉へ影響していると判断された。本件の場合は、影響による水位低下も問題だが、温度が低下すると加温の必要が生じるため、低温化がより深刻な問題となった。また、揚湯試験期間中における影響は拡大を続け、対象源泉の揚湯に伴い水位低下傾向、温度低下傾向が継続している。短期間の調査では安定しないため、この揚湯量で

の影響量は十分に把握できていない。このようなことから、既存源泉に影響を与えない、若しくは許容できる範囲に収まる対象源泉の採取可能量を調べるために、より長期間の影響調査が必要とされ、本調査による揚湯試験に伴う影響調査の後に、再度、影響調査が実施された。

再調査における具体的内容は、対象源泉の揚湯量を大幅に制限し、かつ段階的(50 L/分－150 L/分)に変化させて、揚湯量と影響量の関係についての調査を実施した。影響量を確認するには、既存源泉の影響による変動が収まり安定するまで、より長期の調査が必要となり、調査は3週間以上行われることとなった。なお、再調査にあたっては既存源泉の温泉の採取量(揚湯量)も観測を行うこととし、再調査期間中は、間欠揚湯をせず、連続揚湯で一定量に保つように調整がなされ、正確な影響量の把握に努めた。その後、再調査結果に基づき対象源泉の揚湯量の調整が行われた。

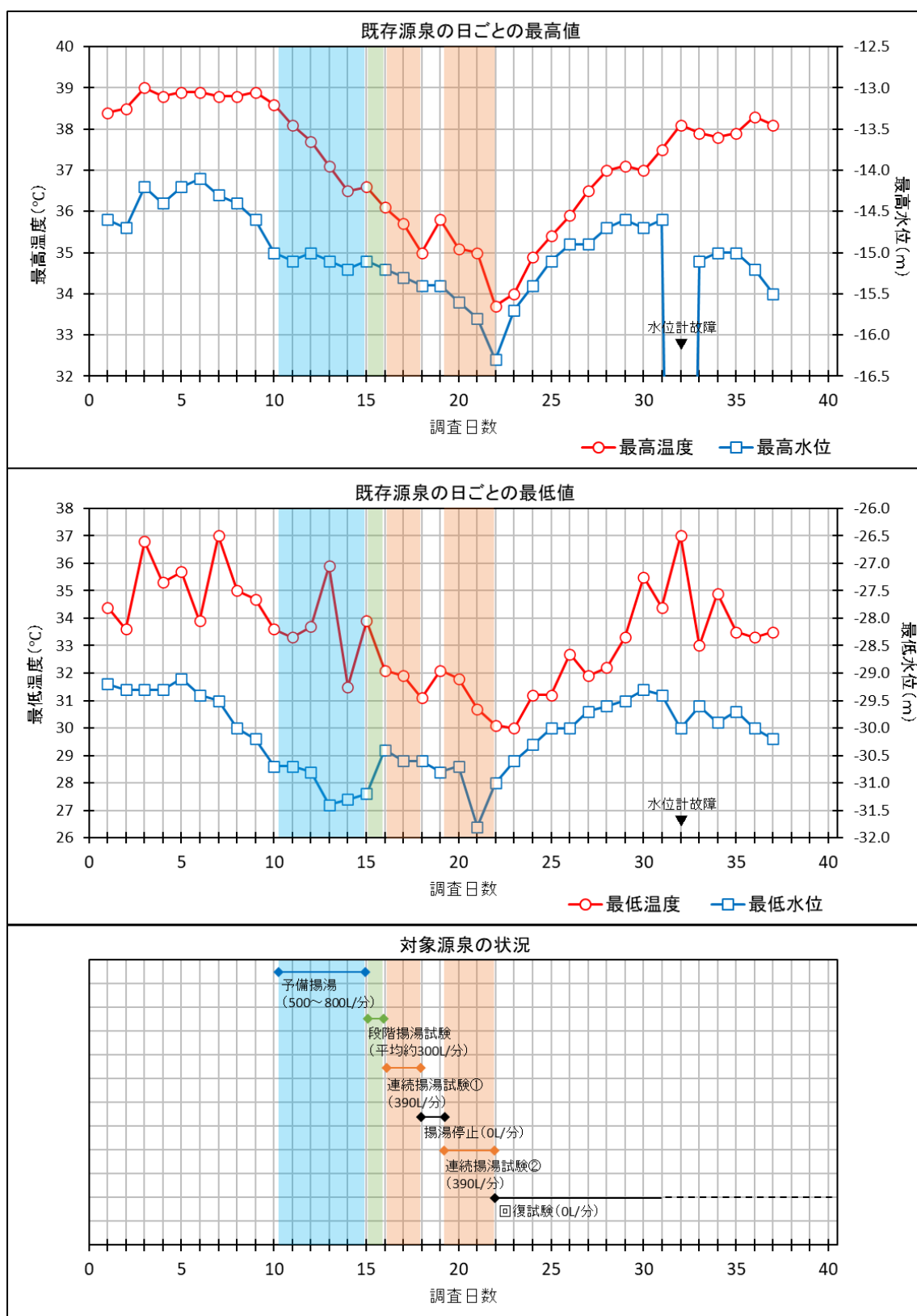


図3 揚湯試験に伴う影響調査

温泉モニタリング実施手法

I. 自動観測

1. 観測源泉の選定

自動観測における観測機器の具体例は、次のとおりである（別紙 6 の「I 影響調査 3. 測定に使用する機器 3-1 機器による測定」に記した機器と基本的に同一である）。観測機器の設置場所、測定項目や方法については、「温泉モニタリングマニュアル」と「温泉モニタリングマニュアル 別冊 IoT を活用した連続温泉モニタリング編」が参考となる。

測定項目	主な機種等	規格
温泉水位	圧力式、静電容量式、音波式、気泡式等	±0.1% FS（フルスケール）程度
湧出量	電磁式、超音波式、面積式等	±2%指示値
孔口圧力	圧力発信器等	測定精度±1% FS
温度	熱電対、サーミスタ等	分解能 0.1℃
記録方式	アナログ記録、デジタル記録、表示値の読み取り等	連続記録、定時での記録

表示器・記録計の配置例を図 1 に示す。なお、配置例において、流量計・温度計の前後にバイパス管を配置したのは、機材のメンテナンスや交換が容易に行えるように留意したものである（図 2）。また、バイパス管にドレーンを設けたのは、この形式であれば通常状態時にはバイパス管に水が滞留するので、排除するためである。排除する必要性がない場合は、バイパス管ドレーンの設置は必要ない。

流量計の下流側（図の右側）には温泉採水・湧出量測定用の測定口を設けており、これは、できるだけ源泉に近い所で温泉を採取できるようにすることと、実測して流量計の指示値を確認できるようにする二つの目的がある（図 3）。

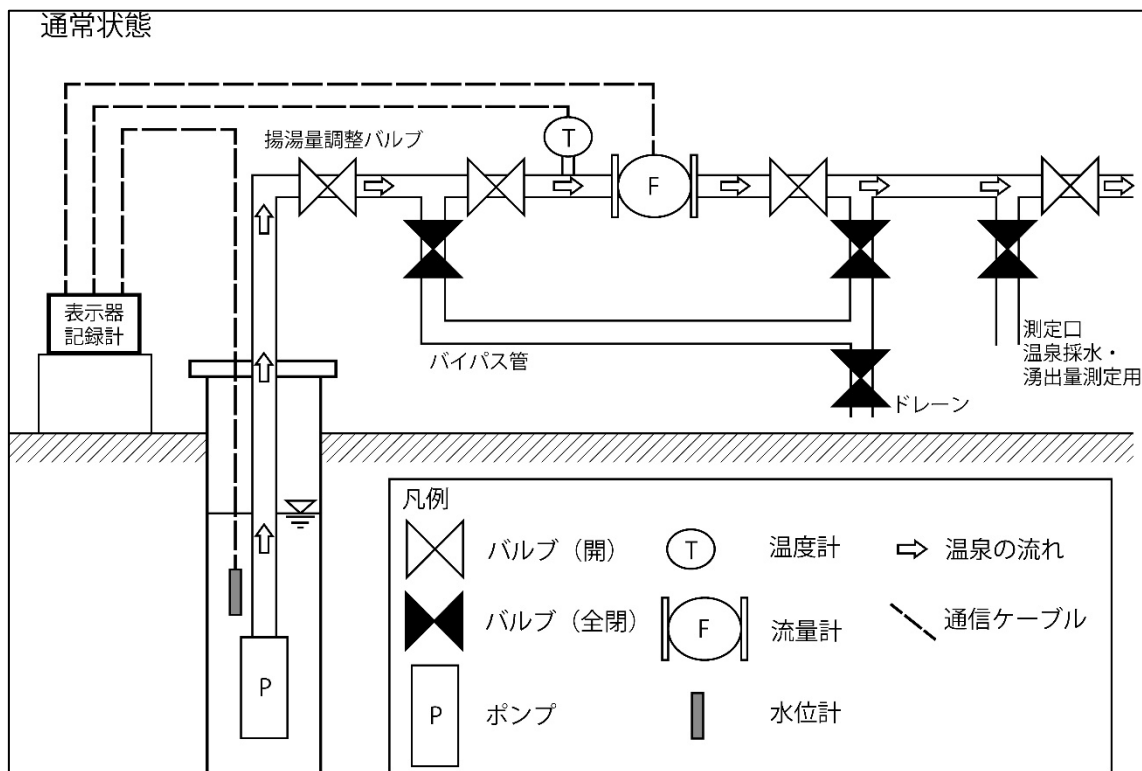


図 1 観測機器設置事例（通常状態）

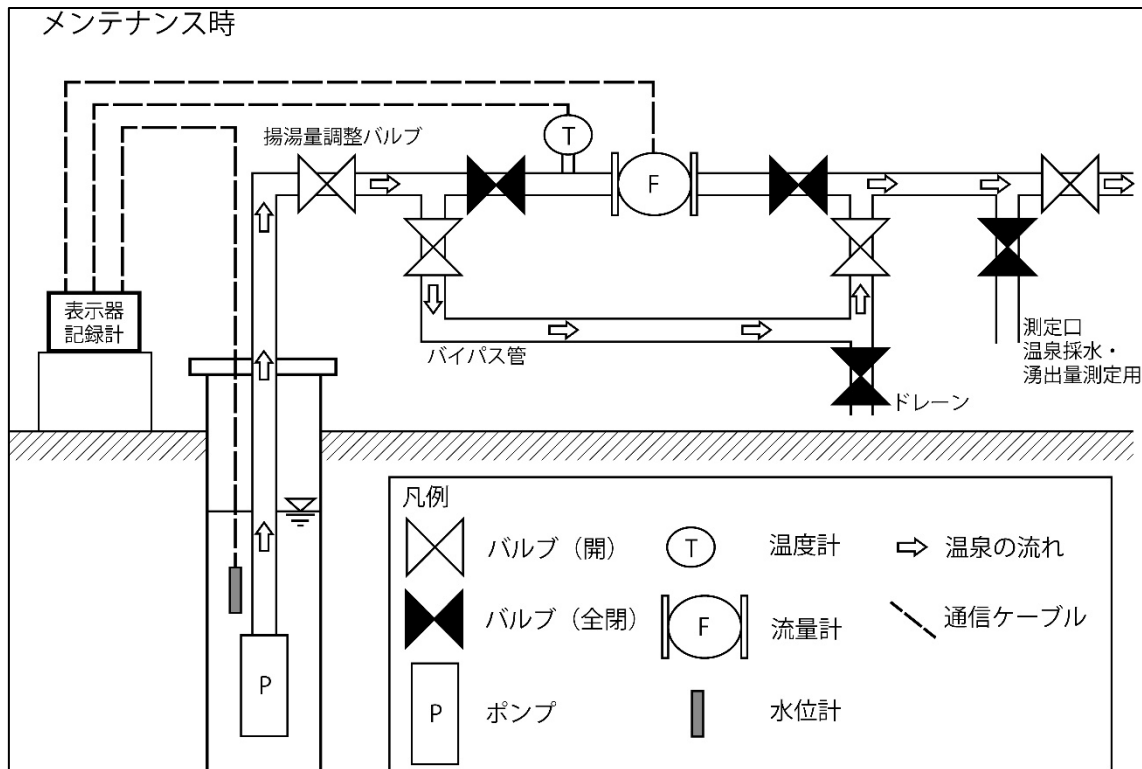


図 2 観測機器設置事例（メンテナンス時）

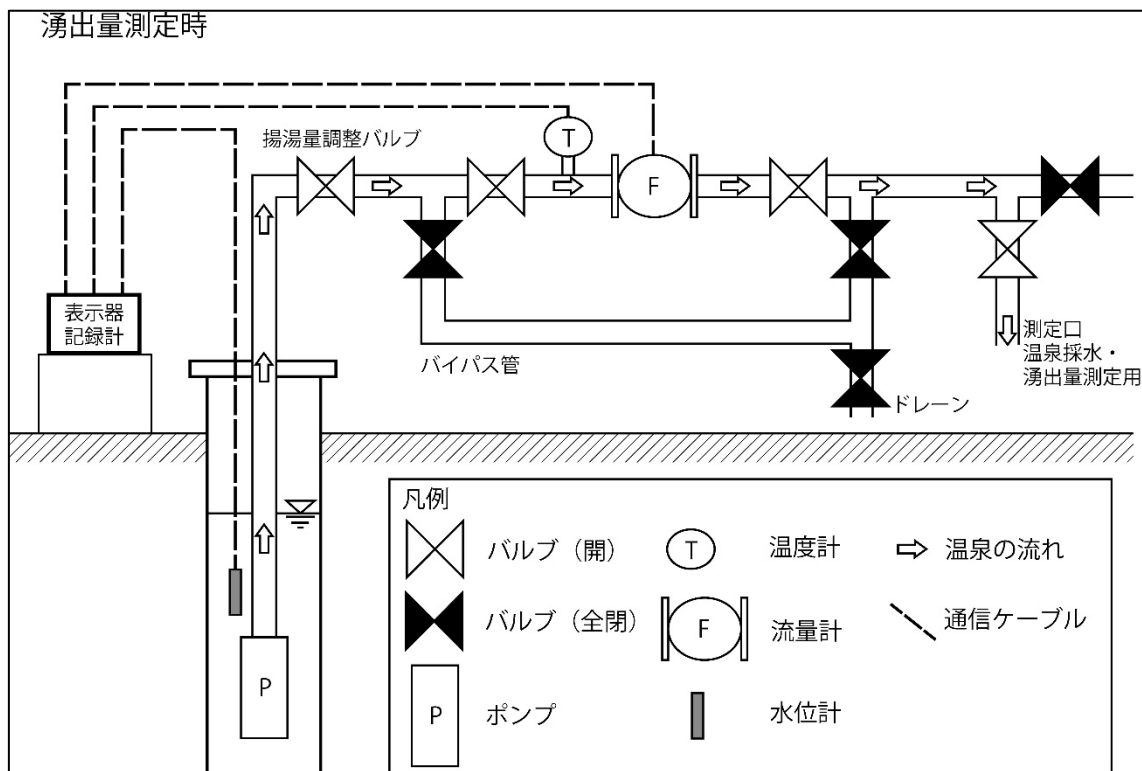


図 3 観測機器設置事例（湧出量測定時）

自動記録方式には、大きく分けるとアナログ記録（ペン式または打点式レコーダーによる）とデジタル記録（自動記録計またはパソコン管理）があり、両者の特徴を併せ持つハイブリッド式の記録計もある。

アナログ記録は連続的な波形記録が行われ、あるイベントに対する変化が忠実に再現される点がメリットだが、データ（記録紙）の読み取りが必要な場合があることと、その管理が悪いと後からの資料整理に支障がでる点がデメリットである。ペン式または打点式レコーダーによる記録間隔は、記録紙の送り速度によって決められる。

デジタル記録は記録間隔が任意に決められ、データをパソコンに直接取り込むこともでき、データの管理も容易である。しかし、データの記録間隔よりも短い時間単位での変化は記録されないのがデメリットとなる。

記録間隔は、目的とする観測内容によって異なるが、標準的には1時間に1データの取得で十分である。ある限られた期間において、短い時間間隔で変化を把握したければ、更に短い時間間隔でのデータ取得を行う必要がある。自動記録計やパソコンの記録容量、データ通信量等に余裕があれば、1分間隔での測定も考えられるが、通常の観測であればその必要性は小さい。

2. 測定項目

a) 湧出量

湧出量の自動計測は、自動観測に対応した配管用の流量計（電磁流量計や超音波流量計等）による。

エアリフトによる源泉では、揚湯管内は空気と温泉との混合体で満たされるため、正確な流量が測定できない。そうした源泉では、温泉をタンク（気液分離槽）等に貯めて、一旦空気を抜き、そこからの配管（タンクからの送湯管）に流量計を設置するか、気液分離槽にノッチ箱の機能を持たせ、その溢流水深を自記水位計（圧力式、静電容量式、音波式等）で記録する。ただし、後者の場合には、水位測定値を流量に換算する演算機能が必要である。

可燃性天然ガスを含む温泉も、基本的にはエアリフト源泉と同様の処置が必要だが、可燃性天然ガスに対する所定の災害防止対策を施すことが求められる。

なお、スケールが生成しやすい温泉、腐食の激しい温泉、高温の温泉等では、観測機器は耐久性に乏しく、実用的ではないこともあるので注意が必要である。

b) 温度

温度の自動記録は、配管に温度センサーを設置して行う。後述する水位計には、測温機能が付帯されているものもあり、そうした水位計を用いていれば、地上部に温度センサーを配置する必要性はあえてない。ただし、測温機能付き水位計は、設置場所によっては湧出温度とは異なる温度を測定してしまう場合があるので、注意が必要である。

c) 水位・孔口圧力

水位の測定機器には、センサーを水中に浸すことなく測定する機器（超音波式やレーダー式等の隔測式水位計）がある。ノッチ箱で水位測定する場合や、自然湧出泉等で広い水面を持つ場合や、地表から水面までの深さが浅い場合には、隔測式水位計も適用可能である。

しかし、一般の源泉は口径が細く、温泉水位も深いために、隔測式水位計は使用できないことが多い。一般的な源泉では、圧力式等のセンサーを水没させる機器を用いる。設置深度が深い場合、センサーを後から挿入することは容易

ではなく、通常はポンプ挿入時に水位センサーを揚湯管に併設し、ポンプと同時に設置することになる。このため、センサーが故障した場合でも、それを交換するにはポンプの昇降作業が必要になる。また、温泉であるが故に、高温、ガスを含む、スケールが生成するといった特徴があり、これらが水位計の耐用を短くする。こうした温泉では、温泉水中に高価な機器が浸らない気泡式水位計を用いるのも一方法である。

なお、可燃性天然ガスを付随する温泉では、地上部の水位計ケーブルが通る部分に隙間ができると、そこからガスが地表に漏出する可能性があるので、所定の災害防止対策を施すこと。

自噴源泉の場合の孔口圧力は、源泉孔口に圧力センサーを設置して自動観測化する。圧力計の選定に当たっては、当該源泉の最大圧力又は通常状態における圧力を考慮すべきである。

Ⅱ. 現地観測（観測員による観測）

1. 観測機器

現地観測における観測機器の具体例は、次のとおりである。これは別紙6の「Ⅰ 影響調査 3. 測定に使用する機器 3-2 観測員による定時測定」に記した機器と基本的に同一であり、機器の指示値の読み取りであっても構わない。観測機器、測定項目や測定方法については、「温泉モニタリングマニュアル」が参考となる。

測定項目	主な機種等	測定
温泉水位	触針式（ロープ式）等	1cm 単位以下で読み取り
湧出量	容積法、ノッチ法等	L/分単位で有効数字三桁程度
孔口圧力	ブルドン管式等（測定精度±1.6% FS 程度）	機器の指示値
温度	デジタル温度計等（分解能 0.1℃）と標準温度計の併用	0.1℃単位で現地測定
記録方式	—	現地測定・記録

※ 湧出量と温度を測定するために、源泉井戸近くに採取した温泉の全湧出量を吐き出すことのできるバイパス管を設置する必要がある。

※ 湧出量の実測が困難な場合は、現地の状況に応じて工夫する（例：タンクからの流出を止め、タンク内の水位上昇速度を測定して量に換算する等）

測定記録の間隔は、目的とする観測内容によって異なる。現地観測では自動観測よりも頻繁な測定はできないが、1日1回～週1回程度の測定が望まれる。これが困難な場合であっても、月1回の測定頻度は確保すべきである。なお、測定は定時観測（毎回、ほぼ同一時刻で測定すること）、同一条件下（例えば、ポンプを自動運転している場合等、ポンプの運転中か休止中かのいずれかに統一する）での測定を基本とする。また、高温の温泉や有害ガスを含む温泉では、専門機関に相談等、安全を確認した上で測定を行い、事故がないよう注意すること。

2. 測定項目

a) 湧出量

現地での湧出量の測定方法は、容積法を基本とする。これは、測定口を計測しやすい場所に設け容量既知の容器が満杯になるまで（あるいはある一定の容量に達するまで）の時間を計測し、【容量（L）÷時間（秒）×60（毎分への

換算)】で湧出量を計算するものである。なお、測定ミスや湧出量の脈動等に対処するため、測定は複数回行い、その平均値を採用する。容積法による測定を行うには、図1～3に示した測定口が必要である。

こうした測定口がない場合には、タンク流入部で測定したり、水道水等が混じらないようにして浴槽への流入口で測定したりする。タンクからの流出を止め、タンク内の水位上昇速度から湧出量を求めることも可能だが、タンク容量(断面積)が正確に把握できていないと精度が落ちるので、注意が必要である。

蒸気量の測定に関しては、蒸気圧計や温度計、ガス流量計等を用いて計測する方法があるが、源泉の形状によっては、蒸気圧計やガス流量計を設置できない場合がある。自然噴気を温泉として利用している場合は、熱量や凝縮水の量を測定する等の対応が考えられるが、対応が困難な場合、定点で撮影等を行うことも考えられる。なお、蒸気量の測定は、危険を伴うので測定には専門機関等への相談が必要である。

また、自動計測ではないが、現地指示又は遠隔指示の流量計を用いることも有用である。特に、温泉の採取が断続的である場合、上記の容積法では測定時間内の瞬間的な量しか把握できないことから、現地指示型であっても、積算機能がある流量計であれば、より実態に即した湧出量が把握できる。

スケールが生成しやすい温泉、腐食の激しい温泉等では、観測機器は耐久性に乏しく、実用的ではないこともある。実態に即した観測態勢を整えることが重要である。

b) 温度

温度の測定は、上記の測定口があれば、デジタル温度計等により容易に測定できる。

c) 温泉水位・孔口圧力

高温、ガスを含む、スケールが生成するといった源泉で、水位計の耐久性に問題がある温泉では、触針式(ロープ式)等の水位計によって、地上部から温泉水位を測定する。源泉孔内には動力ケーブル等があり、水位計の挿入を困難とするので、水位測定用の小口径のパイプ(水位測定管)を、水中ポンプ等の挿入時に同時設置することが望ましい。源泉孔内にスペースが無ければ、あらかじめエアチューブを源泉に設置し、チューブから空気を送りその圧力から

水位に換算する方法もある。

なお、可燃性天然ガスを付随する温泉では、ポンプ地上部に水位測定管から可燃性天然ガスが地表に漏出する可能性があるので、所定の災害防止対策を施すことが求められる。

自噴源泉の孔口圧力は、源泉孔口に圧力計（ブルドン管式等）を設置し、その指示値を記録する。圧力計の選定に当たっては、当該源泉の最大圧力若しくは通常状態における圧力を考慮すべきである。

引用文献及び参考文献

環境省自然環境局（2015）温泉モニタリングマニュアル，43p.

環境省自然環境局（2025）温泉モニタリングマニュアル 別冊 IoTを活用した連続温泉モニタリング編，111p.

温泉モニタリング取組事例

温泉モニタリングマニュアル（平成 27（2015）年 3 月環境省自然環境局）において「温泉事業者」、「給湯事業を行う温泉施設管理者」、「地方公共団体（行政・専門機関との連携を含む）」が行う温泉モニタリングの一例を紹介している。温泉事業者が行う温泉モニタリングは、温泉の保護・維持管理には、利用している温泉の状態等を事業者が理解して管理することが大切で、定期的な測定を実施することが基本となり、その結果を記録し、解析することとしている。

また、開発行為に対する温泉モニタリングは、開発側が行うことが多く、その結果は説明会等において共有が行われるが、温泉事業者（源泉所有者）が自身の源泉の状態を把握していないと、その内容を理解することが困難となる。そのような事態への対処としても開発側だけでなく源泉所有者等が自ら行う温泉モニタリングは有益なものと考えられる。

I. 源泉所有者主体の温泉モニタリング事例 肘折温泉（山形県）

1. 肘折温泉における温泉モニタリング

山形県最上郡大蔵村の肘折温泉では、源泉所有者主体の温泉モニタリングが行われている。以下に概要を紹介する。

（1）モニタリング実施の背景

肘折温泉周辺では、1970 年代半ばから通商産業省（当時）の委託を受けた財団法人日本地熱資源開発促進センターによる地熱開発精密調査（構造試錐及び調査工事）が実施され、環境調査（植生概査、噴出蒸気・熱水調査）が実施された。1978 年には、資源エネルギー庁の地熱熱水有効利用調査として大蔵村地域の熱需要調査、水文地質調査が行われ、山形県は、大蔵村地域の地熱熱水有効利用検討委員会を組織し、地熱発電所稼働時の地熱水の他目的利用の可能性調査を行った。1982 年度には、肘折温泉地内での河川改修に伴い東北地方建設局による工事影響調査が実施された。1981 年以降地熱発電計画が米国 Fenton Hill, New Mexico での事例を参考に高温岩体発電実証試験へと移行したことに伴い、影響を懸念した肘折温泉組合が自らモニタリングを開始した。

（２）実施理由と過程

高温岩体発電実証試験に伴い、開発業者による温泉モニタリングが実施されたが、肘折温泉は高温で多量の湧出量があり、正確な湧出量測定には、旅館施設への給湯の遮断などが必要なことから、開発側のモニタリングのみで十分な湧出量把握ができるか懸念が生じた。また、地元住民から、開発事業者のみではなく、複数の主体によるモニタリングデータに基づく確認の要望があったため、1991 年から肘折温泉組合が測定方法の検討と主力源泉のモニタリング（月 1 回）を開始した。

（３）測定の精度管理

肘折温泉組合のモニタリングは、源泉所有者（旅館経営者）が自ら実施し、実際の使用量との比較を行い、温泉掘削業者や調査会社の協力を受け、測定方法を改良し、測定精度の向上に努めた。

（４）データ共有と信頼性の向上

1990 年代、山形県により温泉街中心部に大規模な橋梁工事を実施し温泉街を横断する道路整備計画が計画された。道路整備が行われれば、大型バスによる通行が可能になり観光振興面のメリットが考えられたが、同時に橋脚工事が温泉湧出経路に影響し、温泉の枯渇化を招くのではないかと懸念があった。山形県は、道路整備工事に先立ち、詳細な影響調査と工事前モニタリングを実施したが、温泉湧出状況については、山形県独自にモニタリングを行うのではなく、肘折温泉組合による泉温、湧出量のモニタリングに同行し、同じデータを利用することで、信頼性を確保した。

また、2000 年から 2002 年に行われた肘折高温岩体発電長期噴気試験における開発業者による温泉影響モニタリングの際にも、肘折温泉組合の実施するモニタリングに同行し、同じデータを使用した。

（５）長期モニタリングの実施

モニタリングデータは、肘折温泉に複数ある源泉の保守管理の計画策定や、保守管理時の安定供給（バックアップ体制）の策定に役立てられている。

また、東日本大震災の際に、肘折温泉も少なからず影響を受けたが、各源泉の長期間モニタリングデータを活用することで、源泉の周期的な変化によるものか地震による影響かを正確に判断することが可能となった。

さらに、モニタリング体制は肘折温泉組合の若手へと引き継がれている（若手育成）。近年では、SNS を用いてモニタリングデータを関係者間で共有するこ

とや、モニタリングの自動化を検討するなど、時代の変化に対応した取組が進められている。

2. 肘折温泉における温泉モニタリングの成果

肘折温泉では、モニタリングを源泉所有者が自ら行い、利害関係者間でデータを共有することで、温泉への影響回避のための具体的な提案や影響発生時の迅速な対応が可能となっている。モニタリングは、30年以上にわたり実施され、データが蓄積されている（写真1及び写真2）。

源泉保護と安定利用のための取組みの状況は、表1のとおりである（令和7年（2025）11月現在、組合3号及び4号源泉が廃止され、組合5号源泉が観測対象として追加された）。

表1 肘折温泉での温泉保護と安定利用のための取組

源泉	取組	実施主体	実施年度
組合2号	温度、湧出量の計測を毎月行い、変化を見ながらデータを蓄積。	源泉所有者	平成2（1990）年度～
	高温でスケールがつきやすい源泉のため、毎月井戸のクリーニングを実施。	源泉所有者	昭和35（1960）年度～
組合3号、4号	温度、湧出量の計測を毎月行い、変化を見ながらデータを蓄積。	源泉所有者	平成2（1990）年度～
	スケール除去のため、年2回のクリーニングを実施。	源泉所有者	昭和35（1960）年度～
上記以外 肘折源泉	温度、湧出量の計測を毎月行い、変化を見ながらデータを蓄積。	源泉所有者	平成2（1990）年度～
	現状を見ながらクリーニングを行い、源泉の保護に努めている。	源泉所有者	昭和35（1960）年度～
黄金温泉 組合1号、6号、 7号	年4回温度、湧出量の計測を行い、年1回のスケール除去のための、クリーニングを実施。	源泉所有者	昭和45（1970）年度～
石抱温泉	降雪期を除き、温度の計測を行い、変化を見ながらデータを蓄積。	源泉所有者	平成2（1990）年度～

肘折温泉郷国民保養温泉地計画書（令和5（2023）年3月）より



写真1 温度計測の様子



写真2 温度・湧出量計測の様子

（１）肘折温泉の湧出の特徴

肘折温泉は、多量の二酸化炭素ガスを伴い、二酸化炭素ガスの圧力により自噴する温泉である。二酸化炭素ガスは、自噴現象をもたらしてくれるものの、地表付近で起きる二酸化炭素の沸騰によりスケールを生成する。また、ガス圧が自噴現象をもたらすため、工事等により地層に亀裂を作ると、二酸化炭素ガスの漏出により、自噴量の低下が起きることがある。このため、肘折温泉では、土木工事（地下室の建設や雪崩防止柵の設置等）により近隣源泉の湧出量が減少することが以前から起きていたとされているが、その因果関係については明確な判断がされてこなかった。モニタリング開始後は、スケール生成による源泉の周期的な変動や、工事実施時期と湯量減少時期との比較を総合的に判断することにより、因果関係を推測することができるようになった。

（２）データ共有のメリット

開発事業者とデータを共有することにより、影響発生時における開発行為の即時停止や、温泉への影響を避けるように能動的・具体的に提案を行えるメリットがある。これまで肘折温泉では、そのような事例が起きていないが、影響発生時には、工事停止等速やかな対応を求めることができるうえ、早期の補償を求める際の客観的な根拠となる。

３．引用文献及び参考文献

環境省（2023）肘折温泉郷国民保養温泉地計画書，26p.

https://www.env.go.jp/nature/onsen/area/pdf/hoyo_012.pdf（令和7年8月確認）

財団法人日本地熱資源開発促進センター（1976）昭和50年度地熱井開発精密調査報告書 No.6 肘折，110p.

山形県（1979）昭和53年度大蔵村地域熱水有効利用調査報告書.

US.DOE Report ; Massachusetts Institute of Technology (2006)

The Future of Geothermal Energy. -Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century-.

https://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/future_geo_energy.pdf（令和7年8月確認）

Ⅱ. 市町村主体の温泉モニタリング事例 別府市（大分県）

1. 別府市における温泉モニタリング

大分県別府市の別府温泉では、別府市主体の温泉モニタリングとして、市民参加型の「せーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査」（以下「一斉調査」という）が行われている。以下に概要を紹介する。

（１）モニタリングの概要

一斉調査は、別府市民の方々や温泉愛好家等、普段から別府の温泉を利用している人に、温泉調査（泉温観測）を体験してもらい、温泉に科学の側面から触れてもらうこと、資源としての温泉を考えてもらえる機会を作ることを目的としている。また、毎年実施することで、温泉資源の現況モニタリングとしての役割を担うことも目的の一つとしている。なお、この事業には、温泉資源の保護、確保等を目的とした入湯税の超過課税分の財源が充当されている。

（２）実施状況

これまでに、2016年11月13日、2017年11月18日、2018年9月29日、2019年11月16日、2020年11月24日～12月8日、2021年12月6日～12月16日（2020年度と2021年度は別府市温泉課職員のみでの実施）に実施した。

この取り組みは、2016年度に別府市・別府 ONSEN アカデミア・別府市旅館ホテル組合連合会・別府温泉地球博物館・京都大学地球熱学研究施設・総合地球環境学研究所の6つの組織の共催で実施され、その後、別府市温泉課と別府温泉地球博物館が中心となり毎年実施している。

（３）令和6年度調査内容

午前に行われた温泉調査では、研究者、温泉マイスター、市民等約40名が参加し、10グループに分かれて市内全域を回り、温泉水のサンプル採取、温泉水の温度及び電気伝導率測定の実施した（写真3）。訪問施設は78施設、採取した泉源は99ヶ所で、事前及び事後採取含む。

午後の部では、体験イベントとワークショップを実施した（写真4）。体験イベントでは、参加者に別府温泉や泉質に関する知識など興味を深めていただくことを目的に、大学研究者による別府の7泉質を含む温泉の泉質についての講演、また、別府市に存在する7泉質を集め、参加者が手湯で泉質の違いを体験できるイベントを実施した。ワークショップでは、「アナタもできる温泉資源保護！未来へつなぐデータの収集・蓄積・活用」の題目で、これまで蓄積された泉源のデータをもとに、温度や成分等の推移について班ごとに評価し、参

加者全体で共有することで、別府温泉の温泉資源の変化について意見交換を実施した。



写真3 一斉調査の様子



写真4 体験イベント・ワークショップ

2. 別府市における温泉モニタリングの成果

一斉調査は、継続して温泉調査を行うことで温泉資源の変化の有無を確認することや、市民参加型で実施することの大切さを実感できる温泉モニタリングの実施例であり、調査結果（データ）を地図上の分布図または時系列グラフで公開している。

（1）データの共有と信頼性の向上

一斉調査で得られたデータは、基礎的な情報を提供することを目的としてウェブサイトで公開され、データを地図上の分布図または時系列グラフとして表示ができるようになっている。

せーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査 Web マップ

<https://www.wefn.net/beppu/>（令和7年8月確認）

（2）データの公開状況

地図上に色の濃淡で観測結果の分布図が表示できるような仕組みで公開されている。表示できる観測結果は、水温と溶存イオン量（ナトリウム・カリウム・マグネシウム・カルシウム・塩化物・硫酸・炭酸水素）で、過去2年分を並べて表示でき、比較が行える（図1）。

時系列グラフで観測結果が表示できるような仕組みで公開されている。表示できる観測結果は、水温、電気伝導率、総溶存イオン量及び各溶存イオン量（ナトリウム・カリウム・マグネシウム・カルシウム・塩化物・硫酸・炭酸水素）で、任意で4源泉または4項目分の観測結果の時系列グラフが表示できる（図2）。

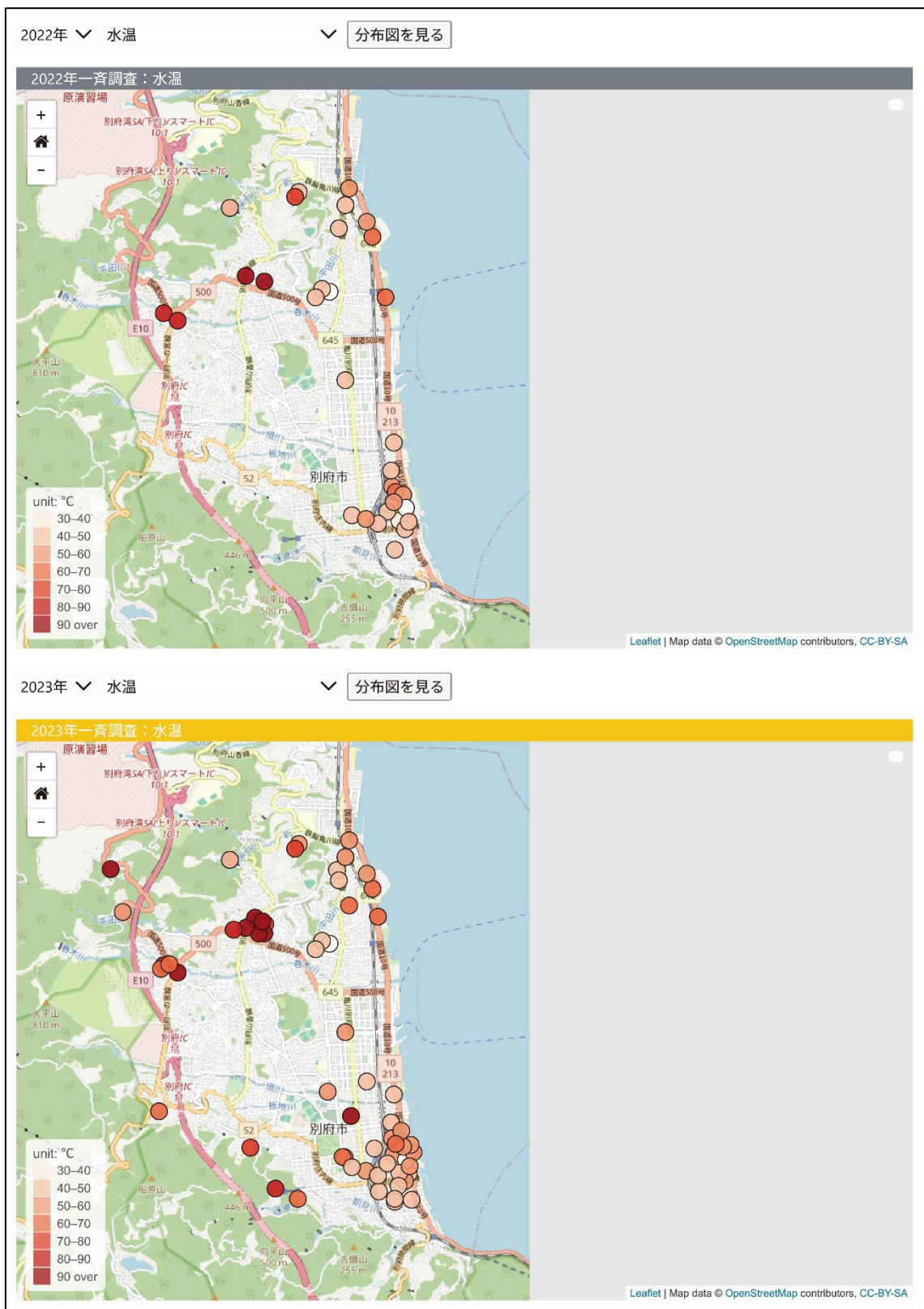


図1 セーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査の水質マップ（水温）

セーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査 Web マップより

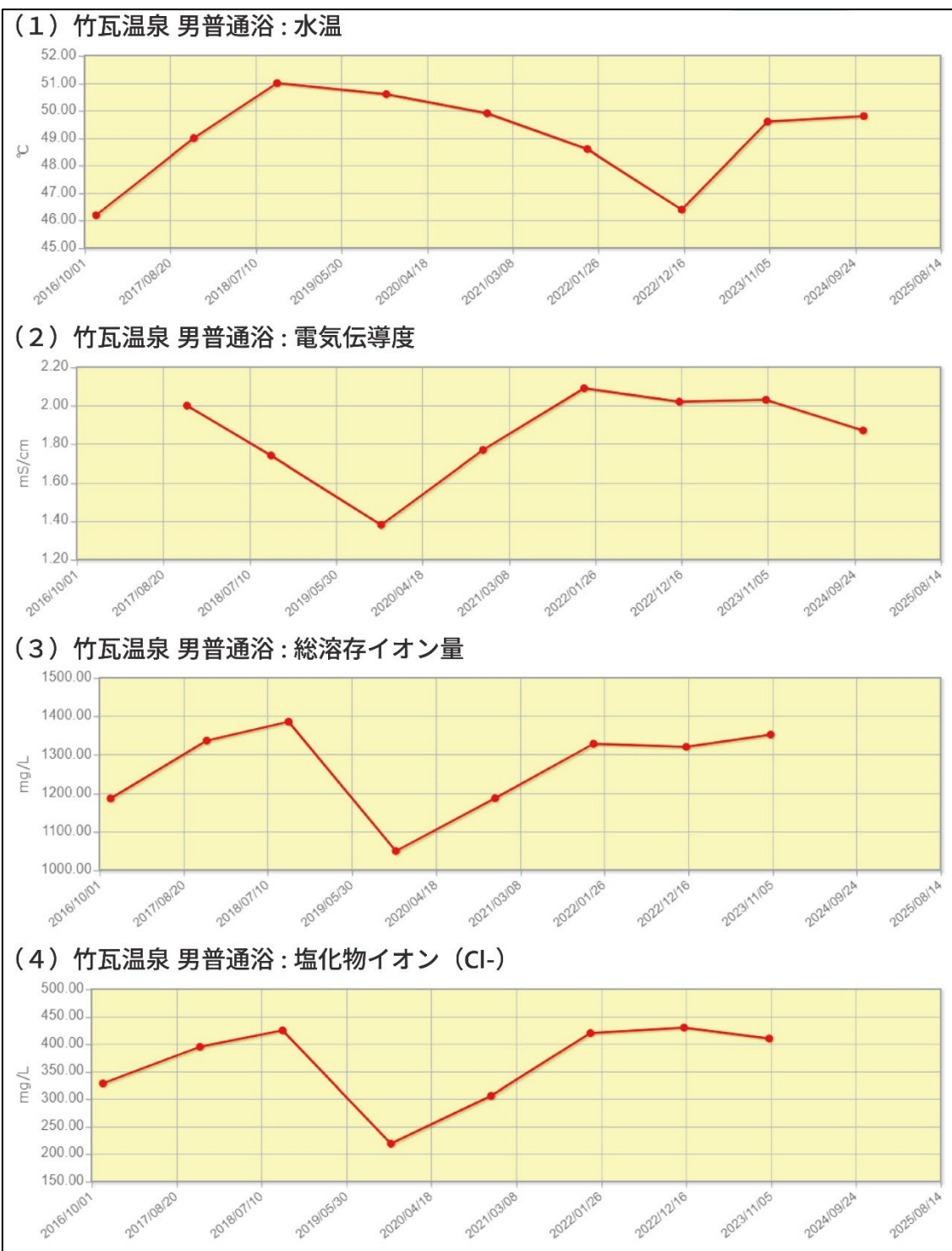


図2 セーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査の時系列グラフ

セーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査 Web マップより

3. 引用文献及び参考文献

別府市ホームページ セーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査
https://www.city.beppu.oita.jp/sangyou/onsen/seno_isseichosa.html（令和7年8月確認）

別府市ホームページ セーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査過去の調査概要
https://www.city.beppu.oita.jp/sangyou/onsen/seno_isseichosa2.html
（令和7年8月確認）

セーので測ろう！別府市全域温泉一斉調査 Web マップ
<https://www.wefn.net/beppu/>（令和7年8月確認）

Ⅲ. 長期モニタリングにより地震による湧出状況の変化を捉えた事例

1. 掘削深度の浅い温泉における温泉モニタリング

当事例の源泉は、中部地方にある自然湧出泉であり、源泉自体が浴槽となっている。温泉地で新たな温泉掘削が行われることになり、モニタリングが行われた。以下に概要を紹介する。

（１）モニタリングの概要

温度、水位（水深）、電気伝導率（EC）の項目について自動観測機器を用いた長期の詳細モニタリングによる資源動向の監視が実施された。自動観測機器のモニタリングデータは１時間ごとに記録されている。湧出量については源泉の構造上、連続監視が行えず、現地観測（観測員による観測）を行った。

2. 温泉モニタリングの成果

継続して温泉調査を行うことで影響監視に加えて、温泉資源の変化の有無を確認することができる。モニタリングの結果は、気温及び降水量と合わせて整理した（図３）。

（１）データの検討

泉温は、源泉湯だまり（浴槽）が形成されているので、気温の影響を受けて季節変化がみられる。自噴量と水位には、豊水期（梅雨、秋雨前線、台風シーズン）に増加・上昇し、渇水期（冬期）に減少・低下する季節変化がみられる。また、同源泉では地震による湧出状況変化が捉えられた。モニタリングを行っていることで、湧出状況に変化があった時に前後の変動状況から原因究明が行える。地震発生後に泉温と水位が上昇し、湧出量の増加もみられた（図４）。電気伝導率（EC）については、地震発生後から緩やかに上昇し始め、およそ２０日間かけて上昇した。地震発生時に源泉湯だまりに濁りがみられたことから、温泉湧出流路の沈殿物（泥や温泉沈殿物）が地震動によって排出されたことが考えられた。

（２）長期モニタリングの実施

長期モニタリングを実施したことで、自然湧出泉である当該源泉の温泉湧出状況は、気象（気温や降水量）の影響を受けていること、地震のような突発的に発生する事象による湧出状況変化を捉えることができた。

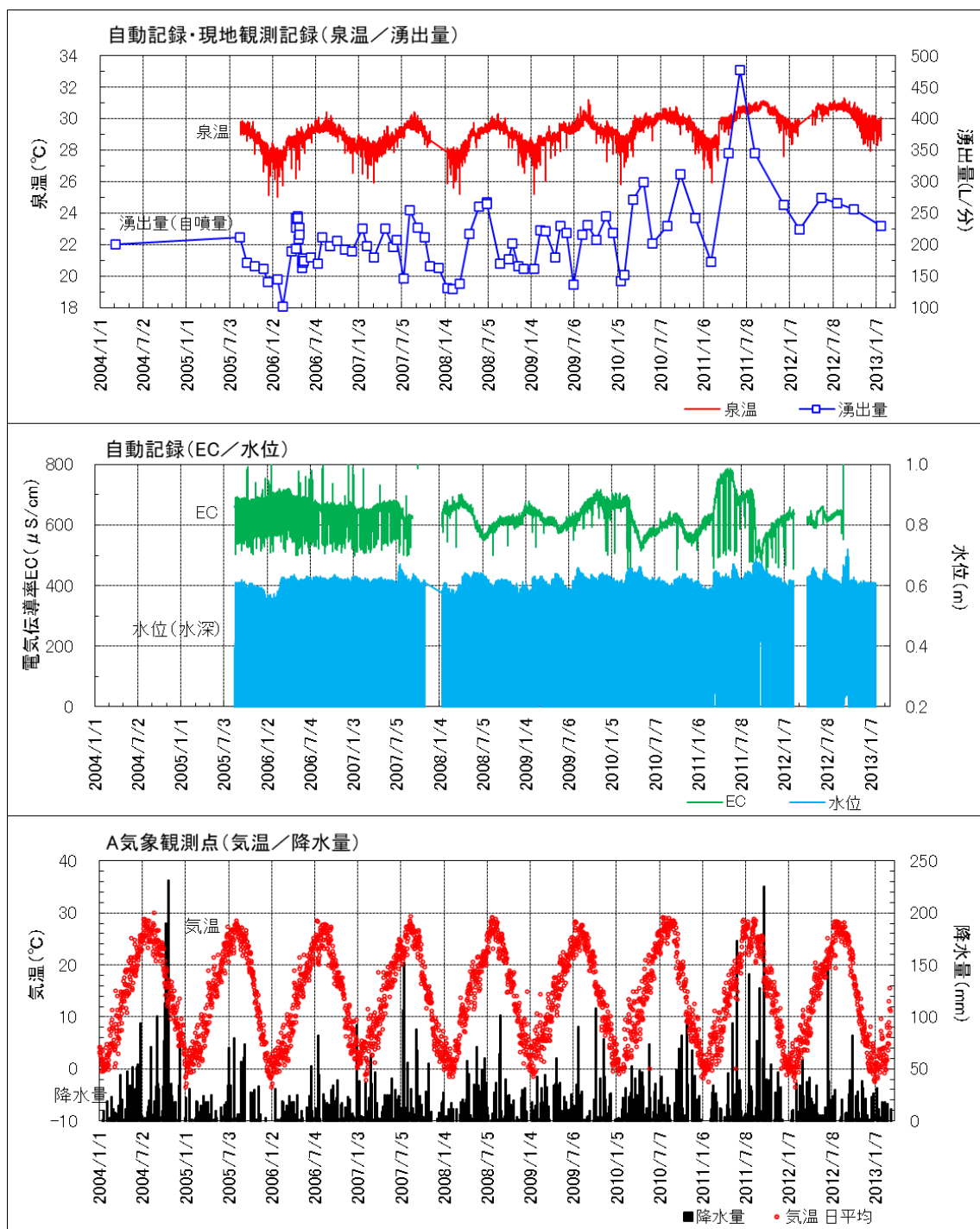


図3 深度の浅い源泉の長期モニタリング結果（自然湧出泉）

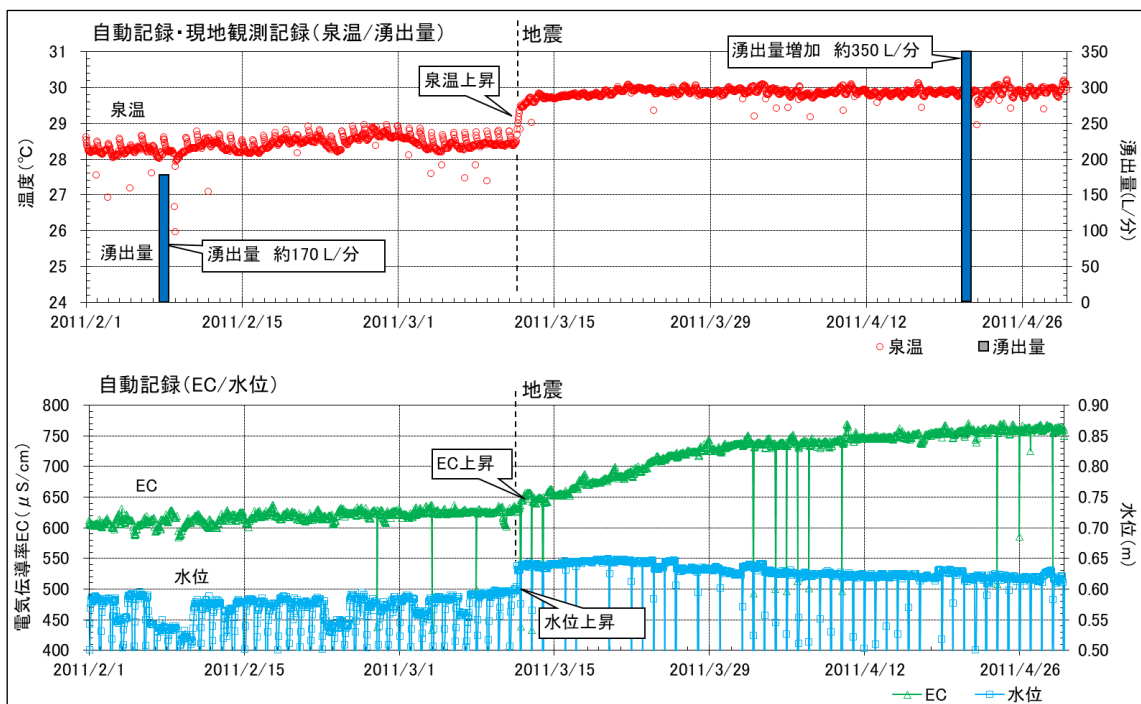


図4 深度の浅い源泉の地震発生前後の湧出状況変化

水質基準について

1. 水質汚濁に係る環境基準について(昭和46年12月28日 環境庁告示第59号)

最終改正：令和7年2月14日環境省告示第5号

別表1 人の健康の保護に関する環境基準より一部抜粋

項目	基準値
カドミウム	0.003mg/L 以下
全シアン	検出されないこと。
鉛	0.01mg/L 以下
六価クロム	0.02mg/L 以下
砒素	0.01mg/L 以下
総水銀	0.0005mg/L 以下
アルキル水銀	検出されないこと。
PCB	検出されないこと。
ジクロロメタン	0.02mg/L 以下
四塩化炭素	0.002mg/L 以下
1,2-ジクロロエタン	0.004mg/L 以下
1,1-ジクロロエチレン	0.1mg/L 以下
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04mg/L 以下
1,1,1-トリクロロエタン	1mg/L 以下
1,1,2-トリクロロエタン	0.006mg/L 以下
トリクロロエチレン	0.01mg/L 以下
テトラクロロエチレン	0.01mg/L 以下
1,3-ジクロロプロペン	0.002mg/L 以下
チウラム	0.006mg/L 以下
シマジン	0.003mg/L 以下
チオベンカルブ	0.02mg/L 以下
ベンゼン	0.01mg/L 以下
セレン	0.01mg/L 以下

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10mg/L 以下
ふっ素	0.8mg/L 以下
ほう素	1mg/L 以下
1, 4-ジオキサン	0.05mg/L 以下

備考

- 1 基準値は年間平均値とする。ただし、全シアンに係る基準値については、最高値とする。
- 2 「検出されないこと」とは、測定方法の項に掲げる方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう。別表2において同じ。
- 3 海域については、ふっ素及びほう素の基準値は適用しない。
- 4 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の濃度は、規格 43.2.1、43.2.3、43.2.5 又は 43.2.6 により測定された硝酸イオンの濃度に換算係数 0.2259 を乗じたものと規格 43.1 により測定された亜硝酸イオンの濃度に換算係数 0.3045 を乗じたものの和とする。

2. 水質基準に関する省令（平成 15 年 5 月 30 日厚生労働省令第 101 号）

最終改正：令和 7 年 6 月 30 日環境省令第 19 号（令和 8 年 4 月 1 日施行）より抜粋
水道法（昭和 32 年法律第 177 号）第 4 条第 2 項の規定に基づき、水質基準に関する省令を次のように定める。

項目名		基準値
1	一般細菌	1mL の検水で形成される集落数が 100 以下であること。
2	大腸菌	検出されないこと。
3	カドミウム及びその化合物	カドミウムの量に関して、0.003mg/L 以下であること。
4	水銀及びその化合物	水銀の量に関して、0.0005mg/L 以下であること。
5	セレン及びその化合物	セレンの量に関して、0.01mg/L 以下であること。
6	鉛及びその化合物	鉛の量に関して、0.01mg/L 以下であること。
7	ヒ素及びその化合物	ヒ素の量に関して、0.01mg/L 以下であること。
8	六価クロム化合物	六価クロムの量に関して、0.02mg/L 以下であること。
9	亜硝酸態窒素	0.04mg/L 以下であること。
10	シアン化物イオン及び塩化シアン	シアンの量に関して、0.01mg/L 以下であること。
11	硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10mg/L 以下であること。
12	フッ素及びその化合物	フッ素の量に関して、0.8mg/L 以下であること。
13	ホウ素及びその化合物	ホウ素の量に関して、1.0mg/L 以下であること。
14	四塩化炭素	0.002mg/L 以下であること。
15	1,4-ジオキサン	0.05mg/L 以下であること。
16	シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン	0.04mg/L 以下であること。
17	ジクロロメタン	0.02mg/L 以下であること。
18	テトラクロロエチレン	0.01mg/L 以下であること。
19	トリクロロエチレン	0.01mg/L 以下であること。
20	ペルフルオロ(オクタン—スルホン酸)(別名 PFOS)及びペルフルオロオクタン酸(別名 PFOA)	0.00005mg/L 以下であること。
21	ベンゼン	0.01mg/L 以下であること。
22	塩素酸	0.6mg/L 以下であること。
23	クロロ酢酸	0.02mg/L 以下であること。
24	クロロホルム	0.06mg/L 以下であること。
25	ジクロロ酢酸	0.03mg/L 以下であること。
26	ジブロモクロロメタン	0.1mg/L 以下であること。
27	臭素酸	0.01mg/L 以下であること。
28	総トリハロメタン(クロロホルム,ジブロモクロロメタン,ブロモジクロロメタン及びブロモホルムのそれぞれの濃度の総和)	0.1mg/L 以下であること。
29	トリクロロ酢酸	0.03mg/L 以下であること。
30	ブロモジクロロメタン	0.03mg/L 以下であること。
31	ブロモホルム	0.09mg/L 以下であること。

32 以降、次項

項目名		基準値
32	ホルムアルデヒド	0.08mg/L 以下であること。
33	亜鉛及びその化合物	亜鉛の量に関して、1.0mg/L 以下であること。
34	アルミニウム及びその化合物	アルミニウムの量に関して、0.2mg/L 以下であること。
35	鉄及びその化合物	鉄の量に関して、0.3mg/L 以下であること。
36	銅及びその化合物	銅の量に関して、1.0mg/L 以下であること。
37	ナトリウム及びその化合物	ナトリウムの量に関して、200mg/L 以下であること。
38	マンガン及びその化合物	マンガンの量に関して、0.05mg/L 以下であること。
39	塩化物イオン	200mg/L 以下であること。
40	カルシウム、マグネシウム等(硬度)	300mg/L 以下であること。
41	蒸発残留物	500mg/L 以下であること。
42	陰イオン界面活性剤	0.2mg/L 以下であること。
43	(4S,4aS,8aR)-オクタヒドロ-4,8a-ジメチルナフタレン-4a(2H)-オール(別名ジェオスミン)	0.00001mg/L 以下であること。
44	1,2,7,7,-テトラメチルビシクロ[2.2.1]ヘプタン-2-オール(別名 2-メチルイソボルネオール)	0.00001mg/L 以下であること。
45	非イオン界面活性剤	0.02mg/L 以下であること。
46	フェノール類	フェノールの量に換算して、0.005mg/L 以下であること。
47	有機物等(全有機炭素(TOC)の量)	3mg/L 以下であること。
48	pH 値	5.8 以上 8.6 以下であること。
49	味	異常でないこと。
50	臭気	異常でないこと。
51	色度	5 度以下であること。
52	濁度	2 度以下であること。

3. 農業用水基準

(昭和 45 年農林省公害研究会作成：農業農村整備事業計画研究会編、農業農村整備事業計画作成便覧より表：「農業（水稻）用水基準」及び文章：「本基準の取扱い」を抜粋、表については加筆を行った。)

「本基準の取扱い」

農業（水稻）用水基準は、公害対策基本法第 9 条の環境基準策定時に、基礎資料とするため当時の各種調査成績に基づく科学的判断から、昭和 45 年 5 月農林省公害研究会（会長技術審議官（現技術総括審議官））が学識経験者、研究者等の協力を得て作成したものである。

したがって、法令に基づく環境基準と同列には位置づけられないものの、本基準の内容、作成時の検討経過等は環境基準に反映されており、農政の展開の場においては環境基準とともに準拠すべき基本的要件の 1 つとなっている。

農業（水稻）用水基準

項 目	基 準 値
pH(水素イオン濃度)	6.0～7.5
COD(化学的酸素要求量)	6mg/L 以下
SS(無機浮遊物質)	100mg/L 以下
DO(溶存酸素)	5mg/L 以下
T-N(全窒素濃度)	1mg/L 以下
EC(電気伝導度)*	0.3mS/cm 以下
As(ヒ素)	0.05mg/L 以下
Zn(亜鉛)	0.5mg/L 以下
Cu(銅)	0.02mg/L 以下

*：現在 EC については「電気伝導率」という呼び方が一般的で、単位についても[S/m]が使われることが一般的である。0.3mS/cmは、30mS/mに相当する。

沖縄県宮古島市における塩化物イオン濃度の上昇に係る原因究明調査事例
(平成19年度宮古島市地下水保全対策学術委員会報告書より抜粋)

1. 2 調査・研究の目的および方針

1.2.1 目的

宮古島最大の水道水源となっている白川田流域において、2004年8月より認められている地下水中の塩化物イオン濃度上昇の原因究明とその対策方針について調査・検討を行うことを目的とする。

1.2.2 原因究明の方針

上記目的、および既存資料整理の結果を受けて、当地の水理地質的特徴及び地下水質から原因究明の方針を3つに定め、それぞれの方針に対する調査・解析を以下のように設定した。

【第1】更竹地区に負荷された塩化物イオンが、白川田水源等の水源地に、最終的に到達するかどうか。

- ① 地下水流動に関する調査
既存資料整理調査
井戸台帳作成調査
地表面質調査、水露頭調査
土壌塩化物イオン含有量調査
ボーリング調査（現場透水試験、伝導率測定、自記計設置）
定期地下水水位観測調査

【第2】塩化物イオン濃度が上昇した2003年8月以降に白川田流域の地下水質がどのように変化したかを解析すること。

- ② 地下水イオン組成・濃度に関する調査
- ③ 地下水同位体に関する調査

【第3】白川田流域に負荷される塩化物イオンの起源と各起源の寄与度をできるだけ精度よく推定すること。

- ④ 大気・降水由来の塩化物イオン濃度に関する調査
大気中塩化物イオン量調査
降水量調査
- ⑤ 原単位に関する調査
既存資料による肥料等使用量調査
土地利用実態調査及び原単位塩素負荷量調査
- ⑥ 温泉排水に関する調査
井戸構造、排水箇所および揚水量等に関する資料収集調査
温泉水の水質・同位体調査
- ⑦ 地下水イオン混合による影響度解析
- ⑧ マグネシウムイオン・塩化物イオンに関する影響度・寄与率解析
- ⑨ 塩素安定同位体比による寄与率解析

- ⑩ 原単位による起源別負荷量および寄与率解析
- ⑪ 統計解析による寄与率解析

表1. 2. 1に、本検討で実施した調査項目および数量一覧を示す。

表1.2.1 調査項目一覧

項 目	数 量
①地下水流動に関する調査	
既存資料整理調査	1式
井戸台帳作成調査（水準測量含む）	85箇所
地表面質調査、水露頭調査	1.5km ² （更竹付所）
土壌塩化物イオン含有量調査	8試料
ボーリング調査	3箇所
現場透水試験、電気伝導率測定	5深度
自記計（水位、EC）設置	3箇所
定期地下水水位観測	37～38箇所／月回、計12回
②地下水イオン組成・濃度に関する調査	
モニタリング（井戸等）	30～31箇所／月回、計12回
モニタリング（海水）	1箇所
③地下水同位体に関する調査	
地下水中の塩素安定同位体比・放射性トリチウム	23検体
化学肥料の塩素安定同位体比	1検体
④大気・降水由来の塩化物イオン濃度に関する調査	
大気中塩化物イオン量調査	6箇所
降水量調査	1箇所
⑤原単位に関する調査	
既存資料による肥料等使用量調査	1式
土地利用実態調査及び原単位塩素負荷量調査	白川田流域
⑥温泉排水に関する調査	
井戸構造、揚水量等資料収集	1式
温泉水の水質、同位体調査	1式
⑦地下水イオン混合による影響度解析	1式
⑧マグネシウム・塩化物イオン相関による影響度・寄与度解析	1式
⑨塩素安定同位体比による寄与率解析	1式
⑩原単位による起源別負荷量および寄与率解析	1式
⑪統計解析による寄与率解析	1式

1. 2. 3 調査方法と検討フロー

前述の方針に従い、検討フローは以下のとおりとした。

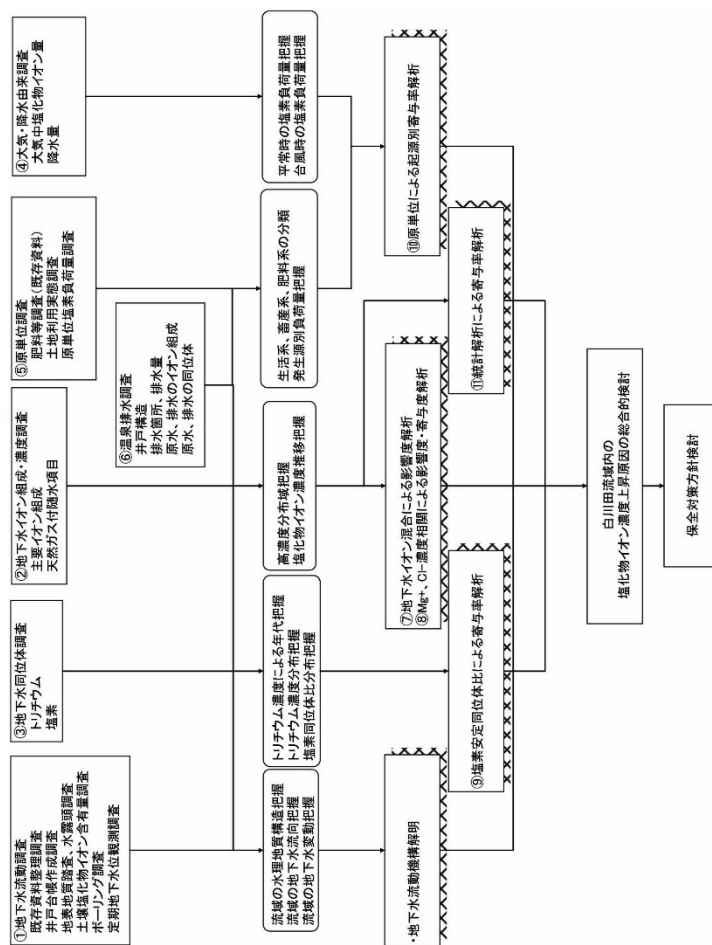


図1. 2. 1 検討フロー

6.3 結論

宮古島において大半の水道原水が採取される最も重要な地下水流域である白川田流域では、2003年10月以降、地下水の塩化物イオン濃度が顕著に上昇してきていることが認められている。本報告は、その原因を究明することを目的とした平成18および19年度の調査・研究成果をまとめたものである。ここでは、本成果の集約として、総括的な結論を示す。なお、結論を導き出す視点として、白川田流域における地下水流動方向とイオン組成の特徴および塩化物イオンの起源別寄与率推定に関する調査・研究結果に焦点を当てた。

6.3.1 白川田流域の地下水流動

白川田流域内の地下水は、同流域における定期的な地下水位測定結果および水理地質構造から判断すると、最終的に流域北東部の湧水口、すなわち白川田水源およびその近辺に収束され流出していることが確認された。従って、更竹地区において浸透した水も、南東―北西方向に形成された不透水性基盤の凹状の溝に沿い、地下水としてI-64（C井戸）、高野水源、大野水源を経て白川田水源方向に向かうことが確認された。【6.1 白川田流域における地下水流動 参照】（図6.3.1）。

6.3.2 白川田流域の地下水イオン組成

白川田流域内の地下水観測孔および東添道水道水源における地下水のイオン組成、ならびに温泉原水とその排水のイオン組成を調べた。その結果、地下水塩化物イオンが高濃度を示す更竹地区のI-64（C井戸）等の地下水は、温泉原水とその排水に特徴的に含まれるホウ酸イオンと臭化物イオンを含有しているなど、流域外の地点の地下水イオン組成と比べて明らかに異なった。【5.1.3 イオン組成解析、5.1.4 天然ガス付随水のイオン濃度 参照】

温泉排水前（2002年10月）の白川田水源の地下水に、温泉排水を混合した場合に構成される水質に関するシミュレーションを行った。その結果、温泉排水を温泉排水前の白川田水源地下水で10倍希釈すると2004年12月時点のI-64（C井戸）の地下水イオン組成に酷似した。同様に20倍希釈すると2006年11月時点のI-64（C井戸）の地下水イオン組成に、50倍希釈すると2004年12月時点のI井戸と2006年11月時点のI-60の地下水イオン組成に酷似した。【5.1.5 地下水イオン混合解析 参照】

白川田流域地下水の塩化物イオン濃度上昇における海水由来と温泉排水由来の塩化物イオンの寄与度を検討するため、マグネシウムイオン（海水の濃度が温泉排水よりも10倍以上高い）に着目し、地下水の塩化物イオン濃度とマグネシウムイオン濃度との関係（ Mg^{2+}/Cl^{-} 濃度比）と、その経時的変化を調べた。その結果、I-64（C井戸）、I-38（I井戸）、高野水源、大野水源の地下水における Mg^{2+}/Cl^{-} 濃度比は、塩化物イオン濃度が高い時期ほど、温泉排水時期以前における白川田水源地下水の原型的な水質と温泉排水とが混合した場合に形成される Mg^{2+}/Cl^{-} 濃度比に相似した。【5.1.6 マグネシウムイオン・塩化物イオン濃度相関法 参照】

また、地下水塩化物イオン濃度を上昇させる原因として、台風が陸上にもたらす海水起

源の塩化物イオンが考えられるため、白川田流域内の高野水源と大野水源を対象に、流域外の海岸沿い湧水の塩化物イオン濃度を比較した。その結果、2003年9月の台風14号が直撃した以降、高野水源・大野水源の塩化物イオン濃度最高値は、より海岸に近い山川湧水（ウブカー）、新城湧水および保良ガーの最高値より高かった。

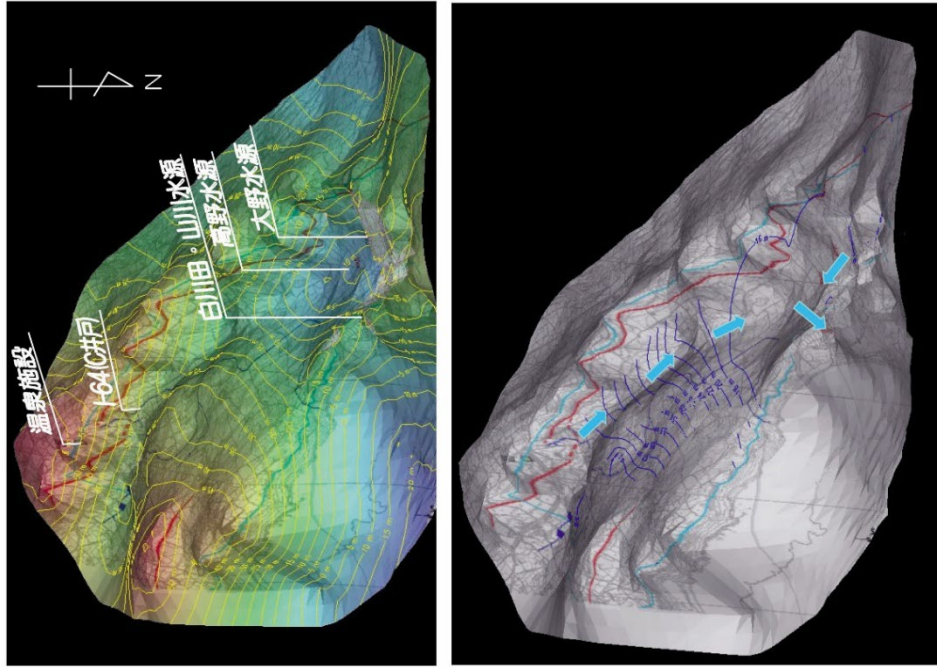


図6.3.1 白川田流域の不透水性基盤上面コンター（上図）と平常時（2006年2月）における地下水コンター（下図）

注：標高方向は20倍に強調して示した。また、青矢印は地下水の流動方向を示す。

6. 3. 3 白川田流域地下水の塩化物イオンの起源別寄与率

塩素安定同位体比法および $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ 濃度相関法を用い、I-64 (C井戸)における地下水の塩化物イオン起源別寄与率を推定した。その結果、2006年を対象とすると、温泉排水の寄与率は前者で97.3%、後者で92.1%以上（一部は台風等で負荷された分も含む）と、同地点の地下水塩化物イオンの大半が温泉排水に由来すると推定された。

原単位法を用い、白川田流域全域を対象とした2005年当時における地下水塩化物イオンの起源別寄与率を推定した。その結果、1日に92.85 m^3 、304日間(2004年7月～2005年4月)、温泉施設から更竹地区に排水されたとした場合、白川田流域に負荷された塩化物イオン年間量の寄与率は、温泉排水由来が39.9%、大気・降水由来が47.4%、その他(肥料・生活排水・家畜ふん尿)由来が12.8%と推定された。また同様に、温泉施設からの排水量が30 m^3 /日（排水期間は同じく304日間）であった場合の推定結果は、それぞれ17.6%、64.9%および17.5%であった【5.3原単位法による塩化物イオンの起源別負荷量参照】。

統計解析手法を用い、白川田水源地下水を対象とした2005年当時の地下水塩化物イオンの起源別寄与率を算出した。その結果、温泉排水由来が17%、大気・降水由来のうち台風影響による上昇分が30%、その他（平常降雨・肥料・生活排水・家畜ふん尿）由来が53%となった。この結果を用い、白川田水源における地下水塩化物イオン濃度の年平均値(2005年、67.8 mg/L)の内訳を求めると、温泉排水由来が11.5 mg/L 、大気・降水由来のうち台風影響による上昇分が20.3 mg/L 、その他（平常降雨・肥料・生活排水・家畜ふん尿）由来が36.0 mg/L となった。同様に、2006年（年平均値88.2 mg/L ）を対象とした推定結果は、それぞれ40% (35.8 mg/L)、21% (17.6 mg/L) および39% (34.8 mg/L) で、2005年に比べ2006年における温泉排水の寄与率が高かった【5.4統計解析法参照】。

6. 3. 4 白川田流域における地下水塩化物イオン濃度の上昇原因に関する総合的考察

台風の常襲する小さな島嶼で、沿岸に位置する白川田流域のような地域の地下水に含まれる塩化物イオン濃度が異常に上昇した場合、その原因は通常、台風により陸域へもたらされた海水に帰されるであろうことは容易に推測できる。事実、近年稀な勢力を有し、2003年9月11日に宮古島を直撃した台風14号は、その後、宮古島の各地の地下水塩化物イオン濃度を上昇させた（第1の事実）。しかしながら一方で、本台風による影響が宮古島に生じたであろうと考えられる時期に重なり、白川田流域地下水の塩化物イオン濃度を上昇させる可能性を有する人為行為があったことも事実である。すなわち、海水の半分程の塩化物イオン濃度を含む温泉が掘削され、その排水が少なくとも2003年10月から2005年4月まで、白川田流域の南西端に位置する更竹地区に行われた（第2の事実）。そして第3の事実として、白川田流域地下水の塩化物イオン濃度は、2003年10月以降、顕著な上昇を示してきた。

このような状況において、本委員会が、白川田流域地下水の塩化物イオン濃度上昇の原因を究明することを目的とした調査・研究を行ってきた。その主な命題は次の3点である。

第1は、更竹地区に負荷された塩化物イオンが宮古島の大半の水道原水を採水する白川田水源等の水源地に、最終的に到達するか否かである。第2は、ここで問題とする時期、すなわち2003年10月以降において、白川田流域地下水の水質組成はどのように変化したかを解析することである。第3は、白川田流域に負荷される塩化物イオンの起源と各起源の寄与率をできるだけ精度良く推定することであり、簡潔には、台風影響と温泉排水影響の寄与率を求めることである。

その結果、第1の命題に関しては、上述の6.3.3.1でまとめを示したように、更竹地区において浸透した水は、最終的に白川田流域の水源地に到達することが確認された。したがって水溶された塩化物イオンも同様に、更竹地区から水源地に移動することは自明である。第2の命題に関しては、上述の6.3.3.2に示したように、温泉排水とその排水は硫酸イオンをほとんど含まず、また海水に比べマグネシウムイオン濃度がきわめて低いという特性を利用した解析の結果、温泉排水が行われた後のI-64 (C井戸)の水質組成は、温泉排水を混合した場合に形成される水質組成に酷似することが判明した。この解析結果から、温泉排水に含まれる塩化物イオンが、I-64 (C井戸)に混入し、その濃度を上昇させる一因になったと結論できる。

第3の命題に関しては、上述の6.3.3に示したように、4つの手法を用い、起源別の塩化物イオン寄与率を推定した。その結果、温泉排水地点に近いC井戸（地下水）への温泉排水の寄与率は2004～2006年において90%を超えたと考えられ、また同様に、白川田水源地の地下水への寄与率は、2006年でおおよそ20～40%（この数値の幅は、温泉排水量が正確に把握できないことに起因する）と推定された。

以上の結果から、近年における白川田流域地下水の塩化物イオン濃度の顕著な上昇に関し、温泉排水の影響は排水地点近傍の地下水に直接的に強い影響を受けたと判断された。白川田水源地における地下水塩化物イオン濃度への温泉排水の寄与率は、上述のように約2～4割であると推定され、排水地点近傍より温泉排水の寄与率が低いと推定された。このことは、温泉排水地点が白川田流域の南西端上流域に位置するため、下流の水源地に至る過程で、流域の他地域から集まる地下水により希釈されるためと考えられる。

また、台風による塩化物イオンの負荷はいわゆる面源であるのに対し、温泉排水は点源である。このため、温泉排水地点における塩化物イオンの負荷は、水源地に至るまで、その距離に応じた時間差が生じることになる。事実、6.3.3で示したように、統計解析法によると、白川田水源地下水に対する温泉排水由来塩化物イオンの寄与率は、温泉排水が行われた直後の2005年よりも2006年の方が高いと推定された。このことは、今回のような点源での地下水負荷の影響が、その直後に水源地で顕在化することは限らないことを示している。したがって、水道水源流域における地域網羅的な水質監視体制が必要であることもさることながら、地域公共財産である水道原水を保全するため、人為的な負荷を極力生じさせないといったモラルを、全ての住民が堅持することの重要性を示したと考える。

動力装置許可の審査基準（東京都）

平成 10 年 7 月 1 日（東京都告示 第 724 号）
最終改正 平成 20 年 10 月 24 日（東京都告示第 1339 号）

地盤沈下防止の観点から、温泉法(昭和 23 年法律第 125 号)第 11 条第 3 項により準用する同法第 4 条第 1 項の規定に基づく動力の装置の許可に係る審査基準を次のように定める。

指定地域		吐出口 断面積	一日の 揚湯量
1	墨田区 江東区 北区 荒川区 板橋区 足立区 葛飾区 江戸川区	6 平方センチメートル以下	50 立方メートル以下
2	東京都の区域のうち、1 に掲げる区域、八王子市の一部（一般国道 411 号線との交点以北の都道檜原あきる野線、その交点から一般国道 20 号線との交点（八王子市高尾町）までの都道八王子あきる野線、その交点から都道八王子町田線との交点までの一般国道 20 号線及びその交点以南の都道八王子町田線以西の区域）、青梅市、あきる野市、西多摩郡日の出町、同郡檜原村、同郡奥多摩町及び島しょ地区を除く区域	21 平方センチメートル以下	150 立法メートル以下

備考 揚湯の状況について、水量測定器及び水位計により確認できること。

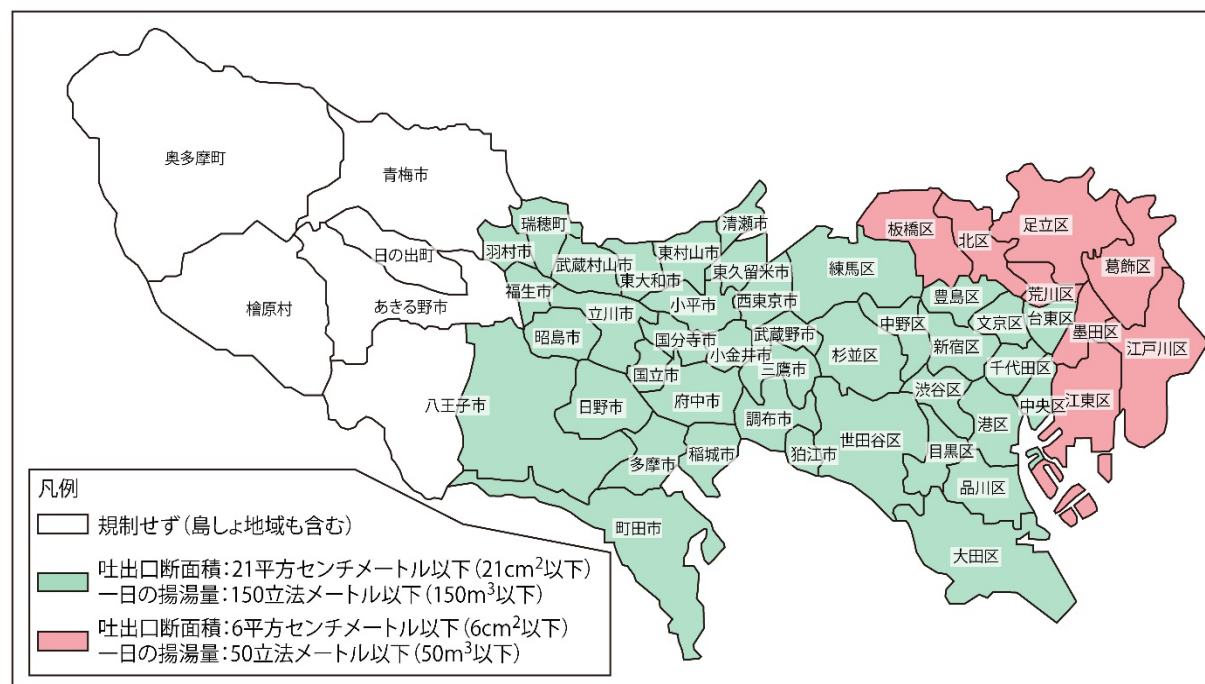


図 1 動力の装置指定地域の地図（東京都）

東京都環境局ホームページをもとに作成（令和 7 年 8 月現在）

https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/water/hot_springs/documents/screening_criterion/

大深度掘削泉のモニタリング事例

I. 事例①（中部地方の掘削動力泉（掘削深度 1500m））

1. 調査の概要

当事例の源泉は、中部地方にある掘削深度 1500m、水中ポンプ利用の掘削動力泉である。約 1100m離れた場所に自然湧出泉が分布することから、温度、揚湯量、水位の自動観測機器を用いた長期の詳細モニタリングによる資源動向の監視が実施されている。モニタリングデータは 1 時間ごとに記録されている。

2. モニタリング結果

当初の揚湯試験結果により、400 L/分程度の温泉が適正揚湯量と判断されていたが、同地域の揚湯量規制の上限 200 L/分に制限し、かつインバーター制御による揚湯利用が行われていた。このように、余裕をもった揚湯利用が行われていたにもかかわらず、水位に経年的な低下傾向がみられたため、掘削から 6 年経過した平成 24（2012）年 7 月から平均 160 L/分程度に減量した。その後、水位は回復傾向に転じ、安定することとなった（図 1）。また、この源泉では大深度掘削泉では珍しく降雨に伴う水位変動がモニタリングにより確認された。一般に掘削深度の浅い温泉の方が降雨の影響を受けやすい特徴がある（参考 掘削深度の浅い温泉での事例を参照）。

温泉モニタリングを実施していたことで、掘削当初の揚湯試験結果からは想定されなかった温泉水位の低下傾向が明らかとなり、揚湯量を抑えることで地域の持続的な温泉利用を目指している。なお、当該源泉では引き続きモニタリング調査が実施されており、周辺の既存源泉への影響は現在も確認されていない。

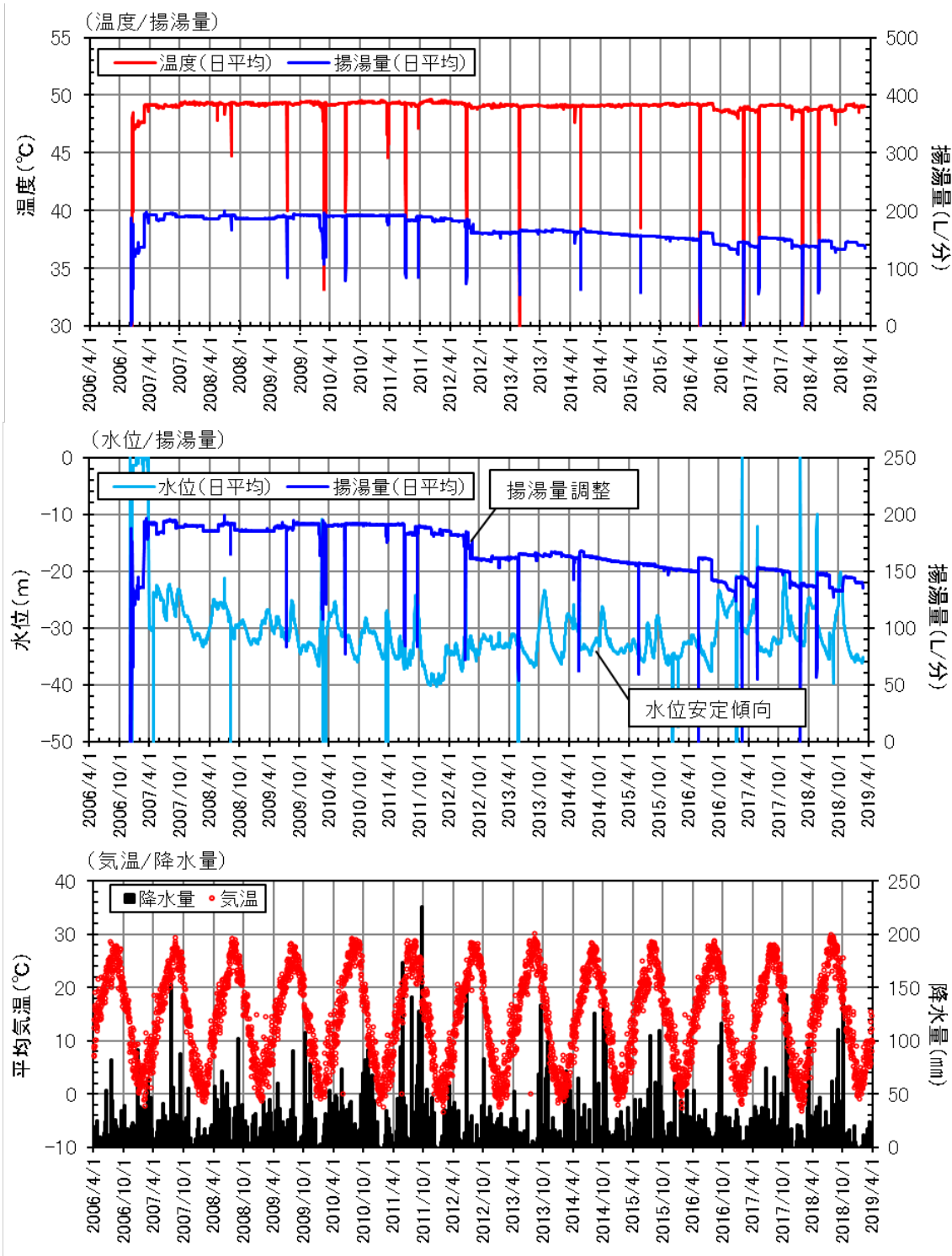


図1 大深度掘削泉における長期モニタリング結果（掘削揚湯泉）

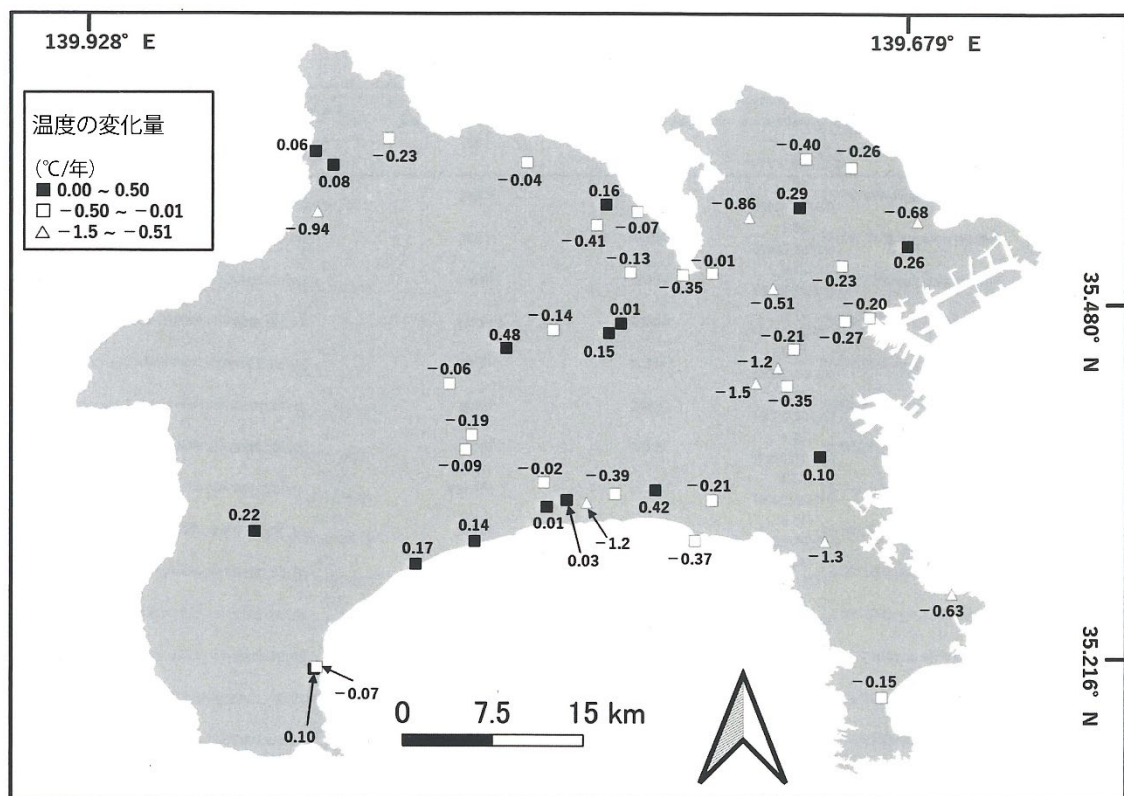
Ⅱ. 事例②（神奈川県掘削動力泉（掘削深度 1000～1200m））

1. 調査の概要

当事例は、外山ほか（2024）による神奈川県の非火山性地域における掘削深度 1000～1200m の大深度掘削泉の温度や電気伝導率（EC）の昭和 62（1987）年から令和 4（2022）年までの経年変化を調査したものである。具体的には、調査対象 49 源泉の基本情報（源泉名、動力許可申請時の温泉の温度、孔底深度、水止（パッカー）深度、揚湯のための動力の種類とその装置許可日、泉質名）の整理に加えて、実態調査や温泉分析書のデータ（モニタリングデータ）をもとに、温度に加えて水質（電気伝導率）の経年変化について定量化し、現状を把握するとともに長期的な変化の要因について検討が行われた。

2. モニタリング結果

各源泉の温度の経年変化を整理し、温度の経年変化を最小二乗法により近似し、その傾きから 1 年あたりの平均的な温度の変化量を求め、その分布図を図 2 に示した。



49 源泉中 33 源泉の温度が低下傾向にあり、そのうち 9 源泉が $0.5^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 以上の割合で低下していた。一方で、温度が $0.5^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 以上の割合で上昇していた源泉は確認できなかった。経年的な温度変化の地域的（地理的）な特徴として、温度低下の著しい（ $0.5^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 以上）源泉が県中・西部と比べて県東部に多く分布することがわかった。特に注目すべきなのは、動力の装置許可の申請以前には 25°C 以上であった 47 源泉について、16 源泉が直近数年のデータにおいて 25°C を下回っており、そのうちの 9 源泉は、動力の装置許可日から 5 年以内に 25°C を下回っていた。

温度の経年的な低下の原因として、温泉を採取している深部温泉源に対し浅部地下水が新たに関与すると仮定すると、温度の低下だけではなく泉質にも影響が及ぶと考えられることから、温度と水質の経年変化の関係を調査した。温泉の化学組成のデータは多くないため、水質の指標として電気伝導率を用いた。電気伝導率は各源泉で値が大きく異なり、変化量を単純に比較できないため、経年変化の最小二乗法による近似式から傾きを求め、対象期間の最初の測定値に対する 1 年あたりの変化率（%）を算出した。温度の変化量と電気伝導率の変化率の関係を図 3 に示した。温度の変化量と電気伝導率の変化率の関係は、おおむね正の相関を示し、両結果とも顕著な減少を示す源泉（YH77、YH81、YH100、KW35 及び TS5 等）は、浅部地下水の寄与を反映している可能性がある。

実測値の経年変化をもとにして、簡易的なモデルを作成し、経年的な温度変化に関与した地下水の温度と電気伝導率及びその寄与率の推定を試みた。このような手法を用いることで、長期的に蓄積された温泉水の温度と電気伝導率データをもとに、温泉源の現況について大まかな定量的な評価・検討が可能になると考えられる。

井戸内に設置された遮水パッカー、セメンチング、ケーシング管の劣化など井戸の障害（坑井障害（鈴木・高橋、2003 参照））による低温水浸入により起こる可能性も含めて検討する必要があるが、そのような場合には温泉の枯渇化が進行していると言えるので、その後の推移を注視する必要がある。化学成分等の詳細なデータではなくとも、簡便に測定可能な温度、pH、電気伝導率を定期的にモニタリングし、蓄積したデータを解析することが、温泉源の現況把握に有効である。

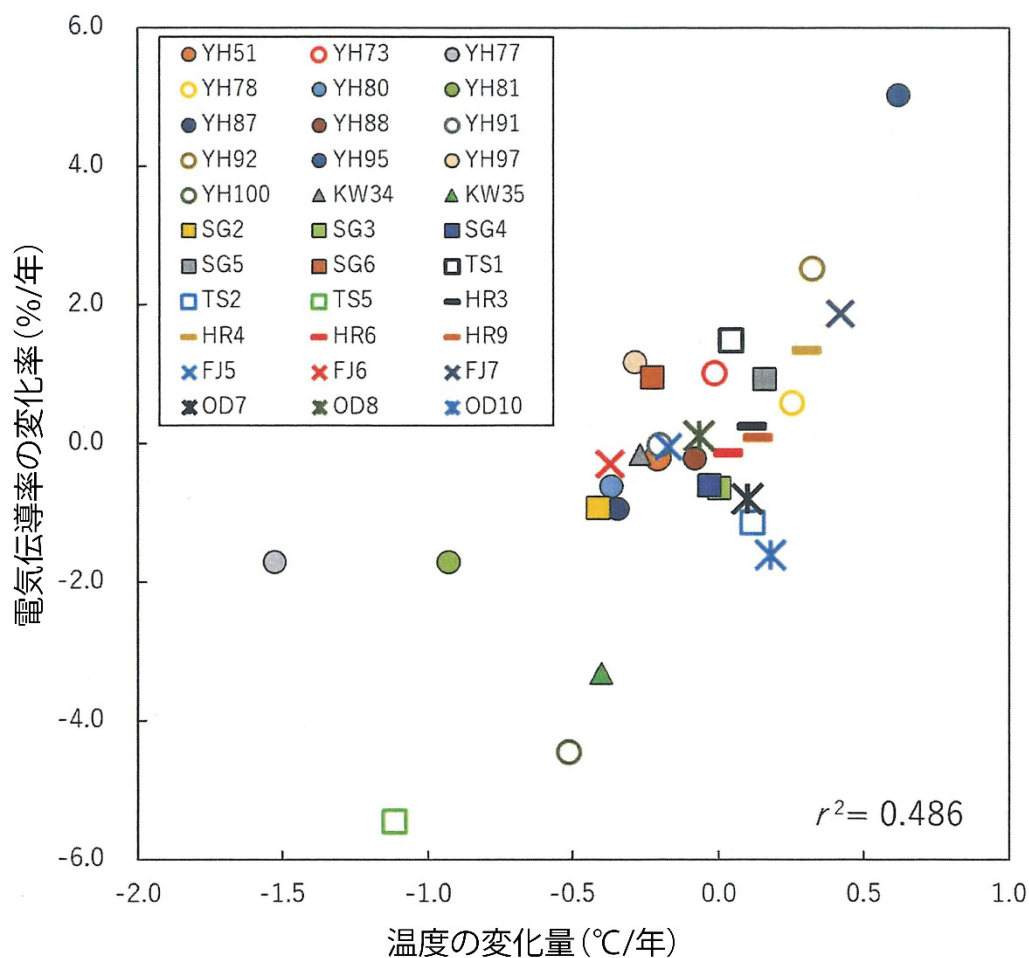


図3 温度の変化量と電気伝導率の変化率の関係

図中の温度の変化量と電気伝導率の変化率は、各源泉で温度と電気伝導率の両結果が得られた期間の値である。r は相関係数を示す。

3. 引用文献及び参考文献

外山浩太郎・板寺一洋・二宮良太・菊川城司 (2024) 神奈川県の新火山性地域に分布する大深度温泉の経年変化, 温泉化学, 第 74 巻, 第 1 号, 3-17.

鈴木隆広・高橋徹哉 (2003) 坑内検層による温泉水流入深度の推定—小清水町 2 号井の例—, 北海道立地質研究所報告, 第 74 号, 69-75.

揚湯試験事例

I. 一般的な事例

段階揚湯試験では限界揚湯量を調査し、安全率を考慮してその何割かを適正揚湯量と設定する。その後、適正揚湯量を検証するために連続揚湯試験を実施し、過度な水位低下を招くことなく水位の安定を確認することが重要である。

1. 概要

本事例では、6段階の段階揚湯試験を実施し、揚湯量 - 水位降下量の関係から限界揚湯量を求め、そこから適正揚湯量を設定した。次に設定した適正揚湯量で連続揚湯試験を実施し、その後、回復試験で水位の回復状況の確認を行った。

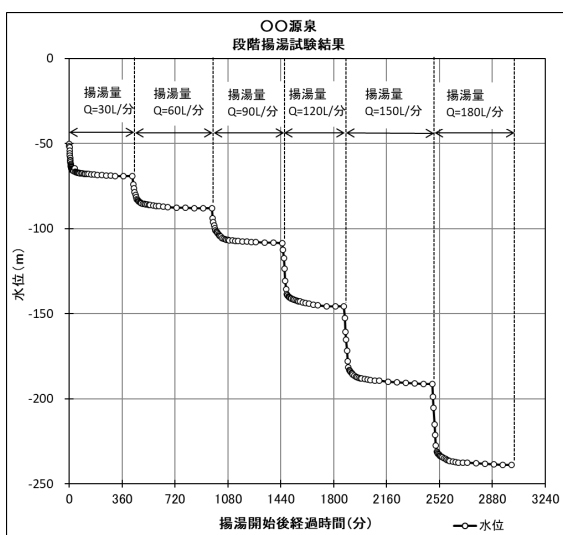


図1 段階揚湯試験結果

図1における段階揚湯試験は、30 L/分、60 L/分、90 L/分、120 L/分、150 L/分、180 L/分の6段階で水位の測定を実施した。この結果を表1に、揚湯量 - 水位降下量の関係を図2に示す

(図は両対数グラフで作成し、両軸の桁の変わり目を結んだ45°傾斜の破線を記入した)。

表1 段階試験結果

	揚湯量 Q (L/分)	水位 (m)	水位降下量 Sw (m)
	0	-50.2	
1	30	-69.1	18.9
2	60	-87.9	37.7
3	90	-108.4	58.2
4	120	-145.8	95.6
5	150	-191.3	141.1
6	180	-238.9	188.7

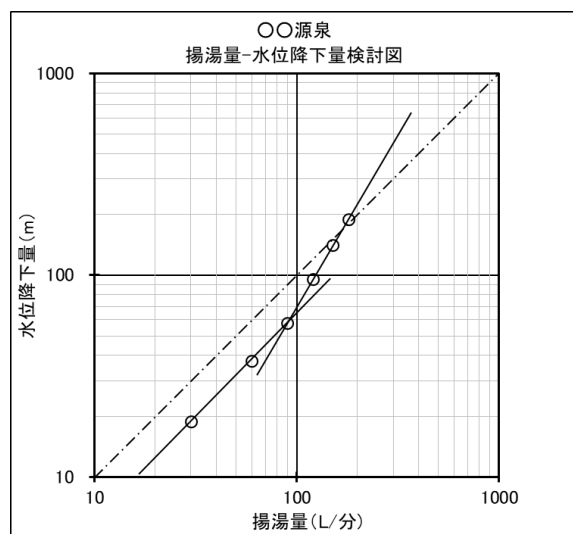


図2 揚湯量-水位降下量の関係検討図

図3は、段階揚湯試験結果より求めた適正揚湯量 72 L/分で実施した連続揚湯試験結果である。図4は、その後実施した回復試験の結果である。

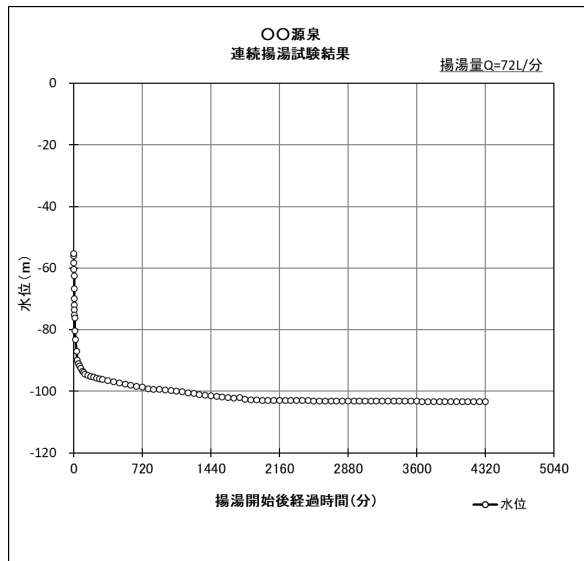


図3 連続揚湯試験結果

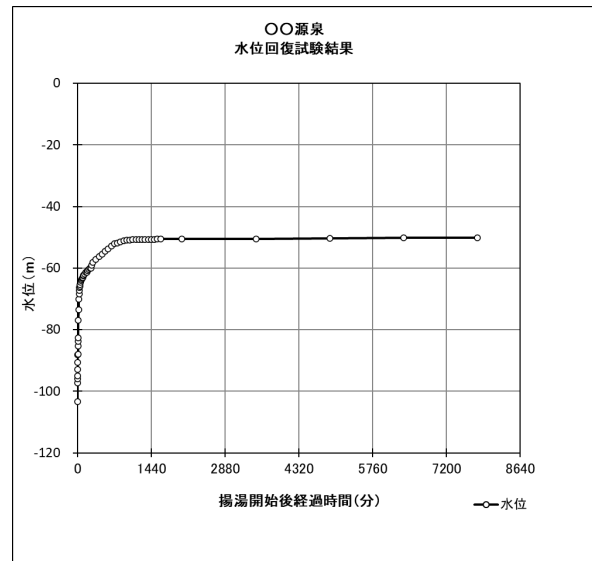


図4 回復試験結果

2. 揚湯試験結果の判断について

- ・ 図2 揚湯量-水位降下量の関係検討図をみると、3段階目の 90 L/分で変曲点 [両対数グラフ上で傾きが1 (縦軸、横軸でそれぞれ一桁ずつの変わり目を結んだ線) より急となる変曲点でもある] が確認でき、これを限界揚湯量と判断し、この限界揚湯量の80%である 72 L/分を適正揚湯量と設定した。
- ・ 適正揚湯量 72 L/分で実施した連続揚湯試験においても、ほぼ2日で安定水位が得られた。
- ・ 回復試験においても、ほぼ2日で水位は回復し、試験前の静水位に戻ることが確認できた。

以上のことから、72 L/分が適正揚湯量に相当すると判断された。

Ⅱ. 特殊事例①（揚湯によって水位が上昇する場合）

1. 概要

本事例では、段階揚湯試験と連続揚湯試験実施時に水位が上昇する特殊な現象が報告されている。図5の段階揚湯試験結果をみると各段階の揚湯開始直後に一旦水位は低下するが、その後、上昇に転じる変化が認められた。

表2 段階揚湯試験結果（1回目）

	揚湯量 (L/分)	水位 (m)	最終 降下量 (m)	最大 降下量 (m)
	0	4.44		
1	21	4.58	0.14	0.33
2	30	4.61	0.17	0.30
3	39	4.68	0.24	0.33
4	45	4.71	0.27	0.34

表3 段階揚湯試験結果（2回目）

	揚湯量 (L/分)	水位 (m)	最終 降下量 (m)	最大 降下量 (m)
	0	4.36		
1	14	4.42	0.06	0.21
2	21	4.43	0.07	0.17
3	31	4.50	0.14	0.24
4	41	4.58	0.22	0.29
5	46	4.65	0.29	0.34

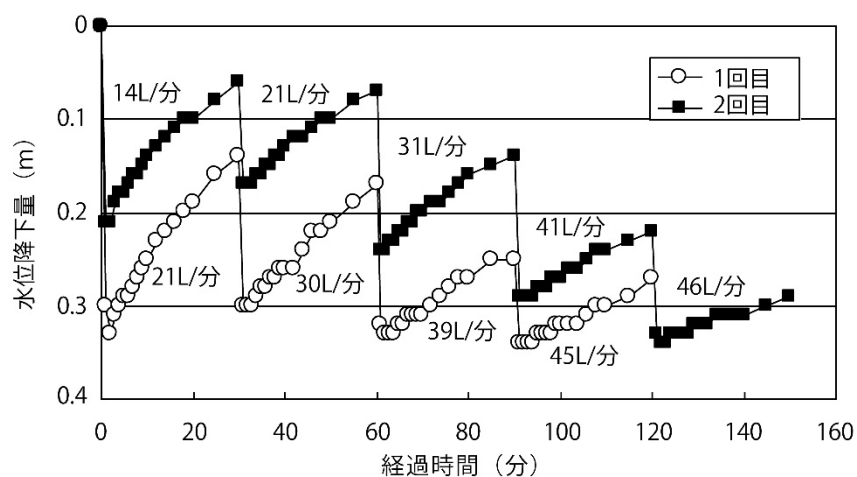


図5 段階揚湯試験結果

2. 揚湯試験結果の判断について

揚湯によって水位が上昇する源泉では、温泉付随ガスの分離による気泡の発生や他の帯水層からの温泉水の流入、使用するポンプの問題等、様々な要因が推定される。上記のような現象は比較的湧出能力が高い源泉に多くみられ、通常の揚湯試験で行う解析手法を適用するのが困難な場合がある。その場合、適正揚湯量が揚湯試験から求められた設定揚湯量を上回っていることが考えられ、連続揚湯試験結果や段階揚湯試験における最大揚湯量等から適正揚湯量を再検討することが考えられる。

Ⅲ. 特殊事例②（湧出量が少なく、通常の揚湯試験実施が難しい場合）

1. 概要

本事例は、水位低下が大きく揚湯可能量が極めて少ないため、連続揚湯が行えず、通常実施する段階揚湯試験と連続揚湯試験ができない事例である。また、間欠揚湯による揚湯試験後、試験用ポンプを変更し、更に一部の温泉を温泉井戸内に戻すことで少量揚湯による段階試験が可能となり、再度試験を実施し適正揚湯量の再検証が行われ、同様の結論が得られた。

図6の間欠揚湯に伴う水位の変化は、期間①（30分オン、210分オフの繰り返し）では、最低水位、最高水位ともに上昇傾向にあった。期間②（60分オン、180分オフの繰り返し）では最低水位、最高水位ともにやや低下若しくはほぼ安定傾向を示した。このことから、期間①を適正揚湯量と判断した。

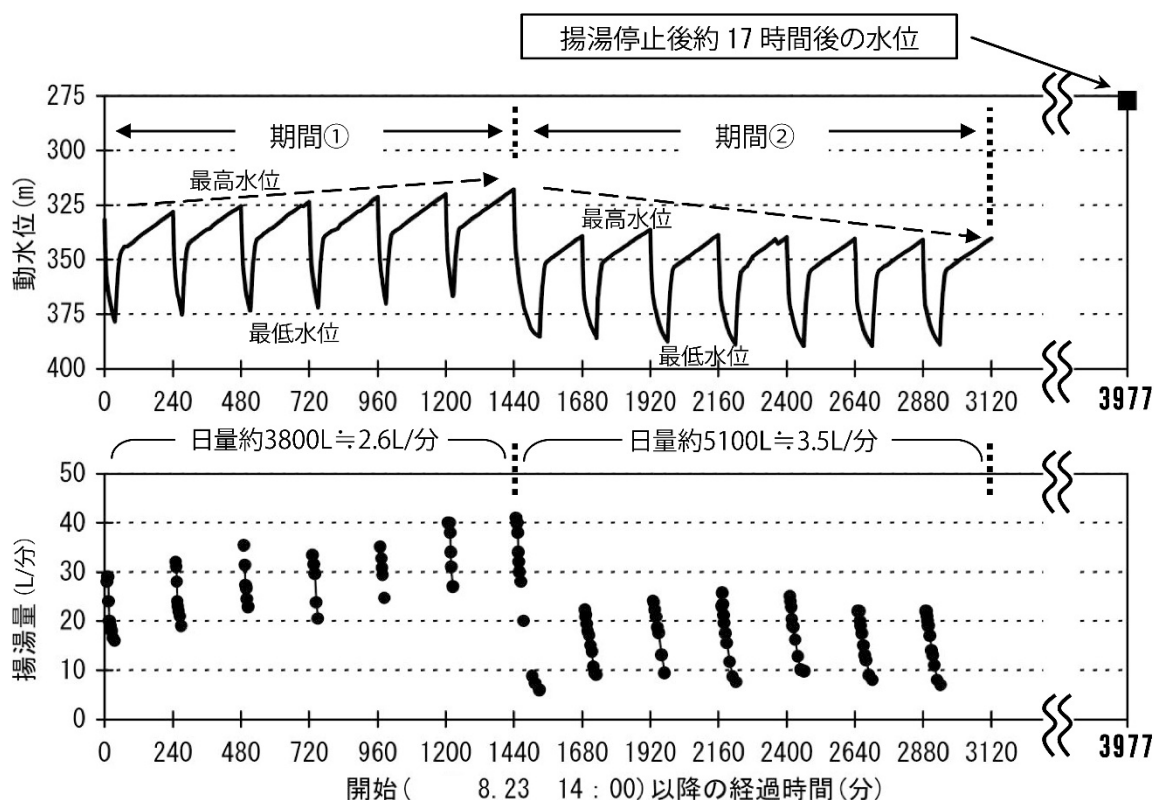


図6 水位と揚湯量の推移

次の事例は、ガス発泡がみられ、自然水位は井戸の管頭よりも上にあるものの水位低下が非常に大きく、揚湯量と水位が安定しない源泉の事例である。

図7の段階試験では、平均揚湯量が第1段階で4.8 L/分、第2段階で3.9 L/分、第3段階で2.9 L/分と揚湯量を段階的に減じる方法で試験が行われ、段階揚湯試験の最大4.8 L/分で405mまで大きく水位が低下した。また、最後に回復試験が行われているが、試験期間内に当初の静水位にまで回復はしていない。

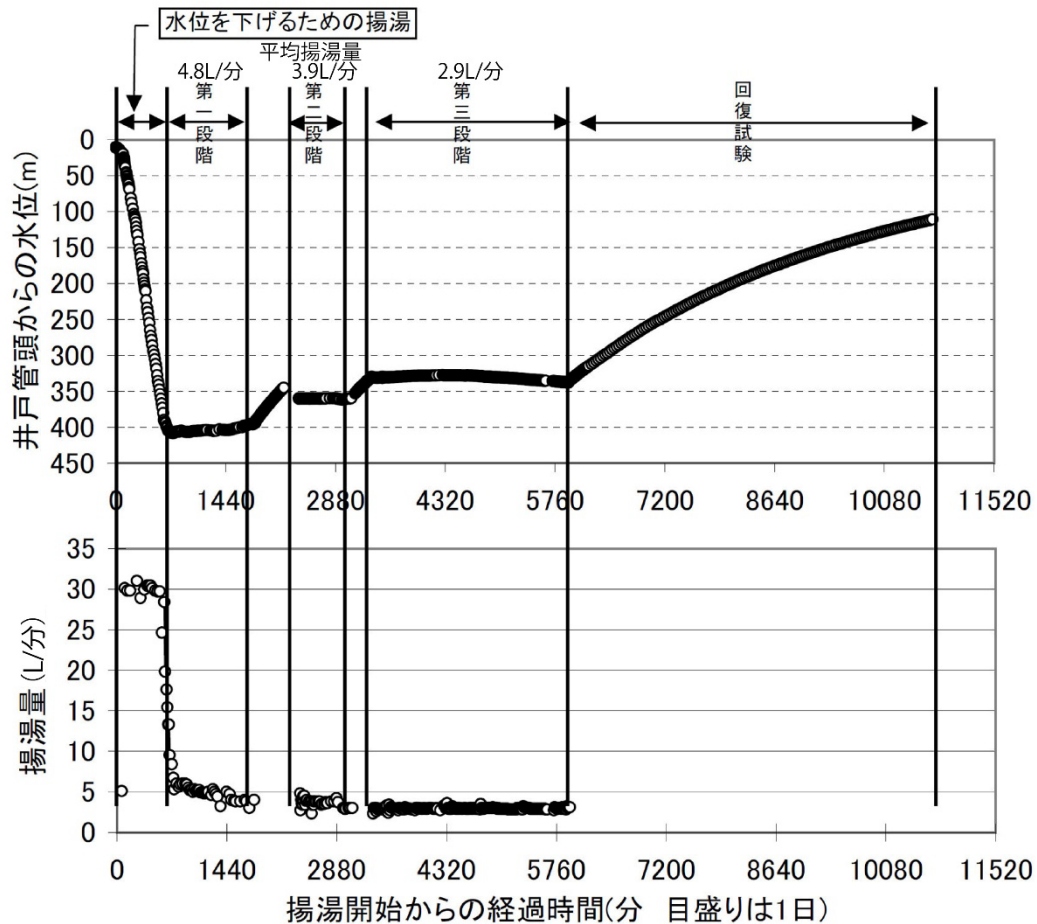


図7 段階揚湯試験結果図

回復試験のデータを用いてポンプ停止後の時間経過に伴う水位回復の状況をグラフ化すると図8のとおりとなる。

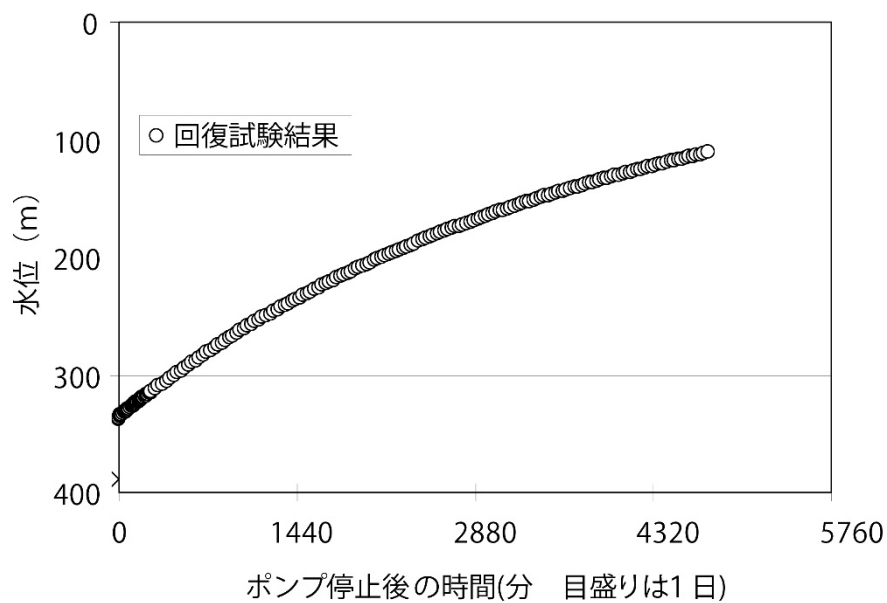


図8 回復試験時の水位回復の状況

回復試験の最後の水位は 110m まで回復しており、この傾向を外挿すると、数日後には水位が 0 m に近いところまで上昇すると推定された。実際に揚湯試験開始時には源泉の水位は井戸の管頭以上であることが確認されている。したがって自然水位は 0 m 付近と考えられる。

そこで自然水位を 0 m として、各段階で求めた平均揚湯量と平均水位から平均水位降下量を計算し（表 4）、平均揚湯量と平均水位降下量の関係図（図 9）を作成した。3 点を結ぶ線には、3.9 L/分に変曲点がみられ、そこを限界揚湯量と見なし、その 80% の 3.1 L/分を適正揚湯量と判断した。

表 4 段階揚湯試験結果

平均揚湯量 リットル/分	平均水位 m	平均水位 降下量(m)
	0	
2.9	331.0	331.0
3.9	360.1	360.1
4.8	405.0	405.0

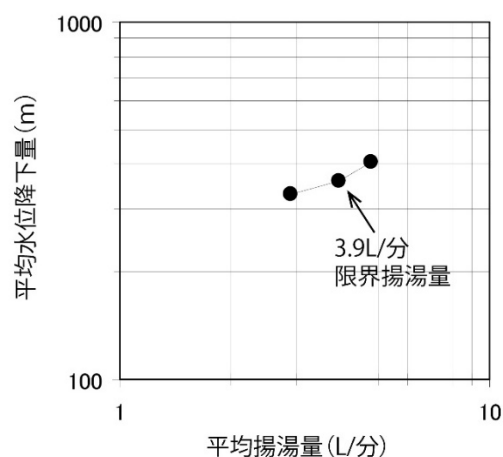


図 9 平均揚湯量と平均水位降下量関係図

2. 揚湯試験結果の判断について

揚湯可能量が非常に少ない源泉や水位降下量が大きく通常の揚湯試験が行えない源泉では、何らかの方法で動水位の安定が可能な適正揚湯量を検討することが考えられる。水位の低下が顕著などの理由で期待できる揚湯量が著しく少ない状況においては、揚湯した温泉の一部を井戸に戻すことにより、正味（差し引き）の揚湯量を少なく設定することで試験が可能になる場合がある。それが不可能な場合は、回復試験結果を参考とし判断する等の方法が考えられる。このような場合で想定されうる対応例を以下に示す。

（対応例）

- ・ 揚湯試験実施に適し、かつ過度に水位低下を招かないポンプを選定して試験を実施する。
- ・ 一定間隔で間欠揚湯を繰り返し行い、水位の安定化を確認する。
- ・ ポンプの最低揚湯量を下回る場合、温泉の一部を温泉井戸内に戻して量の調整を行い段階揚湯試験、連続揚湯試験を実施する。
- ・ 平均揚湯量と平均水位降下量の関係から適正揚湯量を推定する。
- ・ 回復試験を実施し、水位の回復速度から湧出量を推定する。

$$[\text{水位上昇速度 (m/分)} \times \text{井戸面積 (m}^2\text{)} = \text{湧出量 (m}^3\text{/分)}]$$

IV. 特殊事例③（源泉が高温・口径が細いため水中ポンプが設置できない場合に用いられるエアリフト揚湯による試験）

1. 概要

エアリフトは、高温や口径が細いことで水中ポンプが設置できない場合に用いられる揚湯方式である。源泉の口径が大きく、揚湯管とエア管が設置されている場合には、ケーシング管と揚湯管の隙間に水位計の設置が可能であり（図 10）、一般的な揚湯試験と同じように水位の測定ができる。

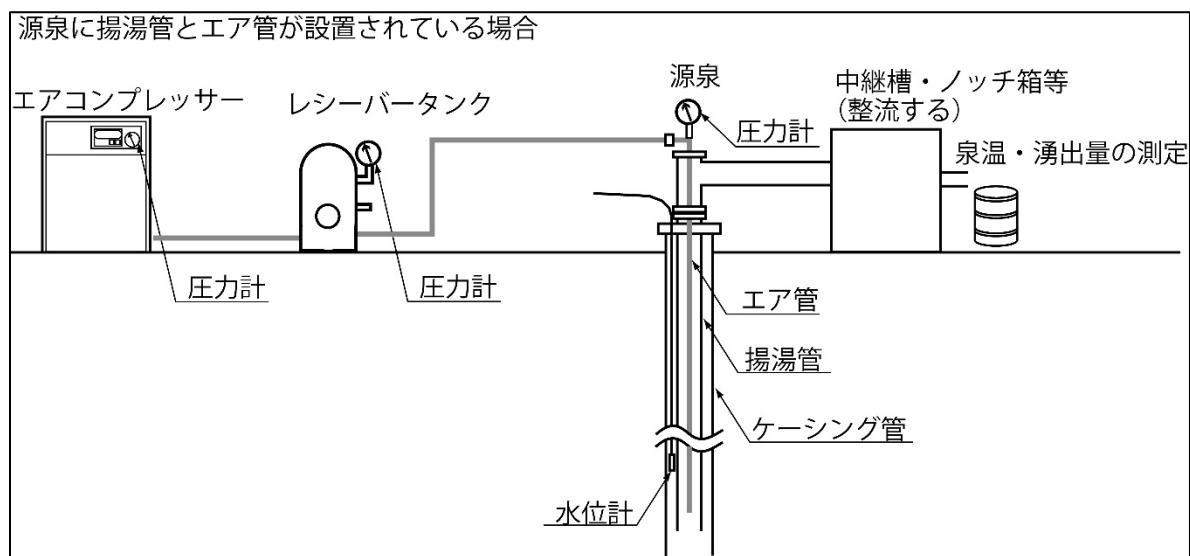


図 10 エアリフト揚湯源泉の概略図（揚湯管設置あり）

しかし、源泉の口径が細く、揚湯管の設置ができない場合は、ケーシング管を揚湯管として用いる場合がある（図 11）。

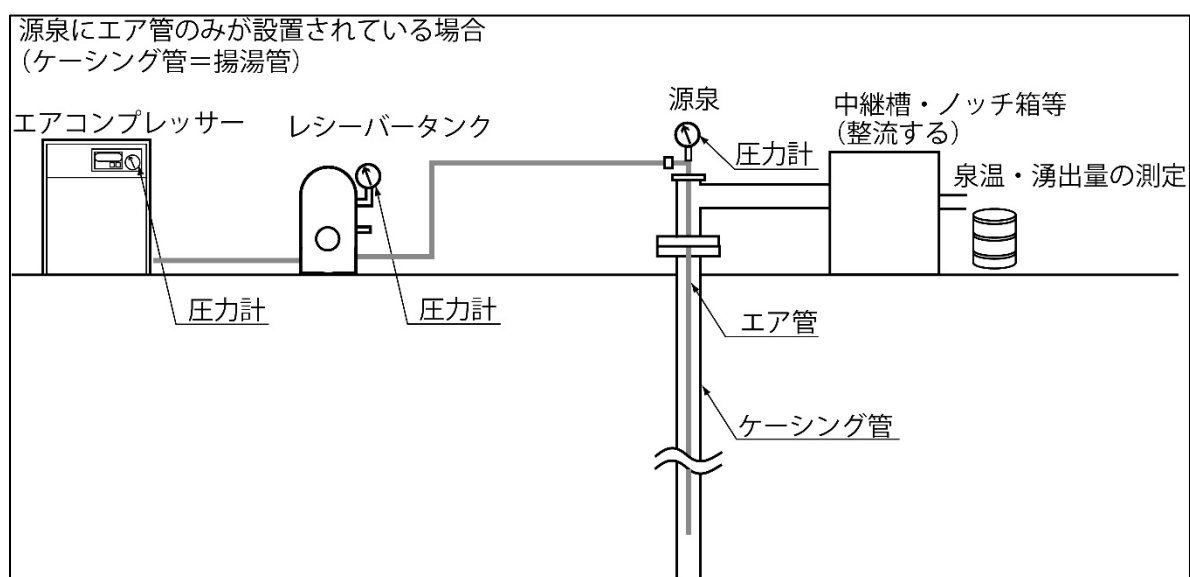


図 11 エアリフト揚湯源泉の概略図（揚湯管設置なし）

以下に揚湯管の設置のない源泉でのエアリフト揚湯試験における水位測定のかえ方と揚湯試験実施の方法について整理する。

エアリフトの揚湯量の調整は、エア管の長さを変更して行う。事例は、エア管を 320m から 480m に延ばしながら行った揚湯試験結果である（表 5）。

表 5 エアリフトによる段階揚湯試験結果

段階	エア管長さ L (m)	揚湯量 Q (L/分)	圧力 P (MPa)	備考
1	320	30	1.1	不安定
2	360	48	1.5	
3	400	57	1.8	
4	440	66	2.2	
5	460	66	2.3	
6	480	68	2.5	

※ここで圧力 P は、エア管頂部の圧力もしくはレシーバータンクの圧力

大山（1977）によれば、エアリフトによる揚湯量はエア管長さ(L)と揚程(=動水位 h)の関数として、次（1）で表される。

$$Q = A \sqrt{B - \left(\frac{h}{L}\right)} \cdots \cdots (1)$$

（1）式を変形すると、以下の式になる。

$$Q^2 = A^2 \cdot B - A^2 \cdot \frac{h}{L} \cdots \cdots (2)$$

圧力 P の 100 倍の値が、エア管下端（L）からの水位（かぶり水位）を示すと近似すれば、動水位 h は、 $h = L - 100 \cdot P$ で計算できる（1MPa $\approx$ 100m）。

表 5 に示した結果のうち、最大揚湯量の 6 段階目と、不安定であった 1 段階目を除く最小の揚湯量の 2 段階目の結果によれば、 Q^2 と (h/L) の値は表 6 のとおりとなり、その結果を図 12 に示す。

表 6 段階揚湯試験 2 段階目と 6 段階目の結果による計算値

段階	エア管長さ L (m)	揚湯量 Q (L/分)	圧力 P (MPa)	動水位 $h = L - 10 \cdot P$	h/L	Q^2
2	360	48	1.5	210	0.58	2304
6	480	68	2.5	230	0.48	4624

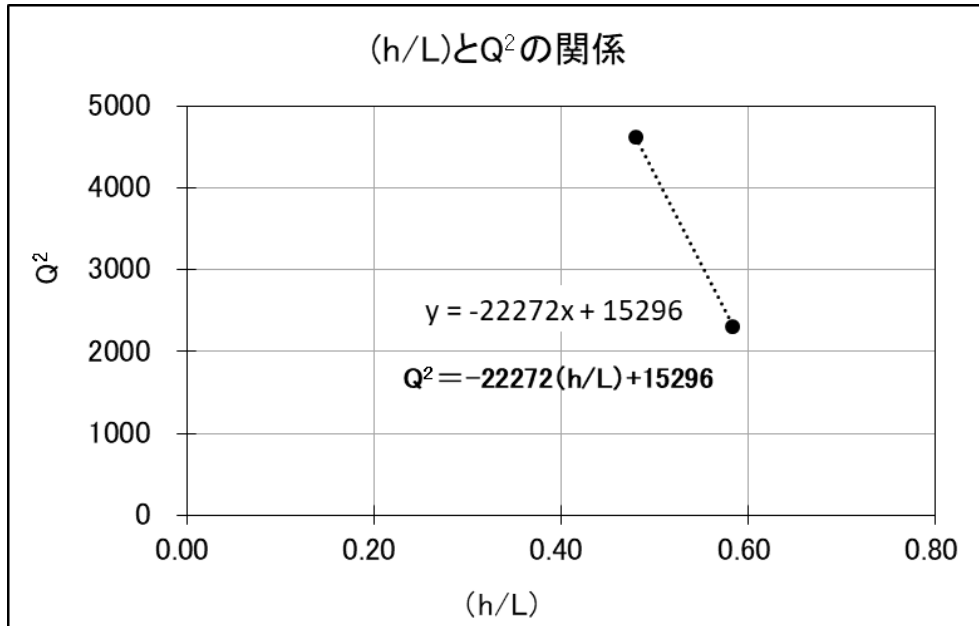


図 12 段階揚湯試験 2 段階抽出による (h/L) と Q^2 の関係

図 12 に示した点の相関関係を示す式と (2) 式の比較より

$A^2=22272$ 、 $A^2 \cdot B=15296$ が得られ、 $A=149.24$ 、 $B=0.69$ となる。

(2) 式を変形し、これらの値を代入すると次 (3) が得られる。

$$\frac{h}{L} = B - \left(\frac{Q^2}{A^2} \right) = 0.69 - \left(\frac{Q^2}{22272} \right) \cdot \cdot \cdot (3)$$

(3) 式と表 5 の結果から、各段階の動水位を算出した結果は表 7 のとおりである。

表 7 (3) 式による動水位計算結果

段階	揚湯量 Q (L/分)	エア管長さ L (m)	h/L (3)式による	水位 (m)	水位降下量 (m)
	0			203.7	← 静水位
1	30	320	0.646	206.7	3.0
2	48	360	0.583	209.9	6.2
3	57	400	0.541	216.4	12.7
4	66	440	0.491	216.0	12.3
5	66	460	0.491	225.9	22.2
6	68	480	0.479	229.9	26.2

※(h/L)は、小数点第3位までの数値で計算している

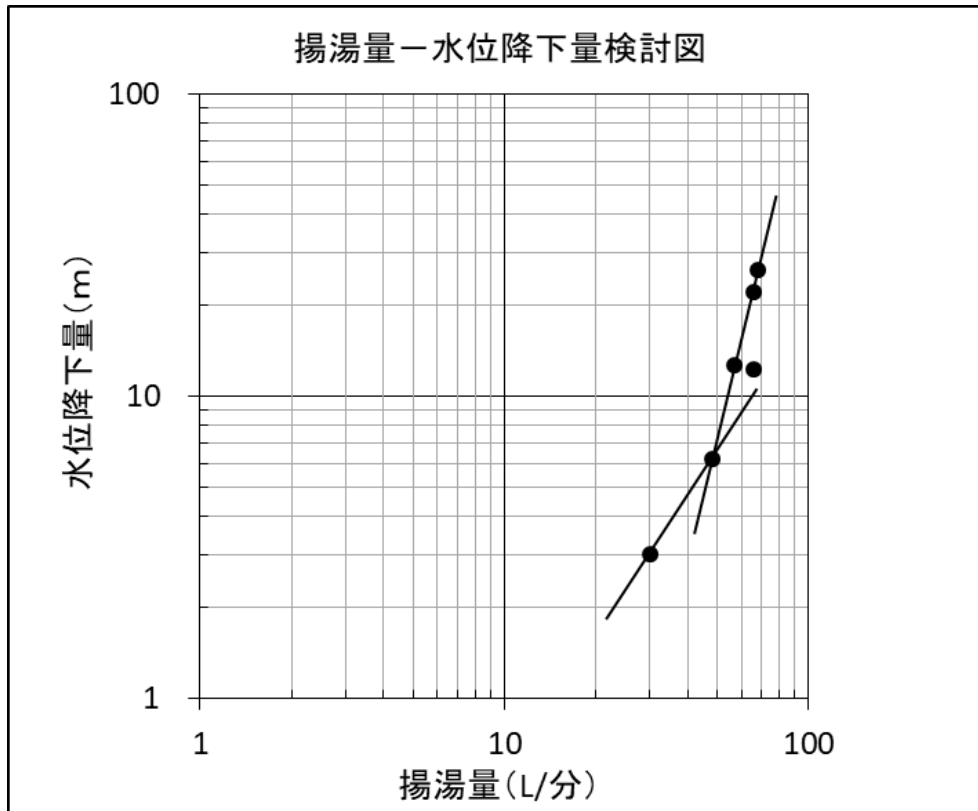


図 13 計算結果による揚湯量-水位降下量検討図

2. 揚湯試験結果の判断について

- ・ 図 13 に示した結果において、水位降下量は計算による動水位の推定値によるものであることに注意する必要があるが、2段階目の 48 L/分が限界揚湯量に相当すると考えられる。この限界揚湯量の 80%である 38 L/分を適正揚湯量と判断できる。
- ・ このように、エアリフトによる揚湯試験も、水中ポンプによる揚湯試験と同様に、限界揚湯量が判断できる。

3. 引用文献及び参考文献

大山正雄（1977）エアリフト・ポンプによる揚水試験について，神奈川県温泉地学研究所報告，第 8 巻，第 2 号，67-80.

温泉の基礎知識

温泉湧出機構イメージ

温泉はその多くが天水（降水）を起源とするが、一部には海水や化石水等を起源とするものがある。地球規模の大きな水循環の中にあり、気象、河川、海洋、火山等の影響を受け、その湧出状況は変動する。

温泉湧出機構のイメージを図1に示す。温泉湧出機構は、大きく「火山性温泉」と「非火山性温泉」に分けることができ、非火山性温泉は、更に深層地下水型と化石水型等に分類できる。

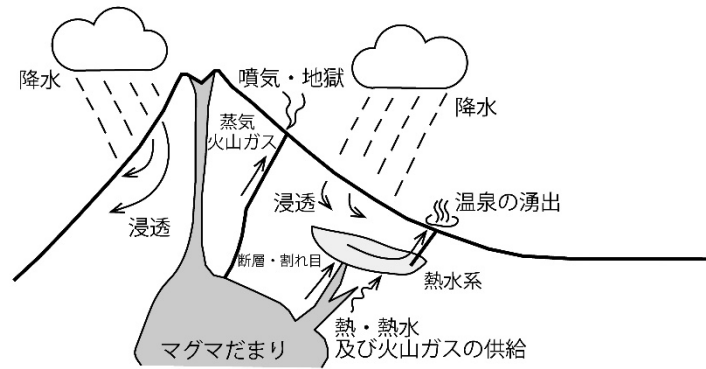
火山性温泉は、火山地域に位置し、降水が浸透した地下水がマグマだまりの熱で温められて湧き出した温泉のことである。大規模な温泉地のほとんどは比較的新しい地質時代の火山地域に分布しているが、火山活動との関係が強く、その影響が湧出状況に及ぶことがある。また、高温であることや、火山ガスに由来する温泉ガスに注意が必要である。

非火山性温泉は、火山活動とは関係なく形成された温泉のことである。地温（地温勾配）によって温められたものは深層地下水型と呼ばれ、地殻変動によって古い海水が地層中に閉じ込められ地温に温められたものは化石水型と呼ばれる。

地下水の基本概念（図2）によると、比較的浅層で地表に最も近い透水性の低い地層（難透水層）の上に存在する温泉は不圧水と呼ばれる。これらは、降水量浸透により敏感に変化する。一方、非火山性の温泉は地下深部より温泉を汲み上げるものが多く、それらは難透水層よりも深い位置にあったり、そのような地層に挟まれて存在することがある。それらは被圧水と呼ばれ加圧されているが、降水が浸透してくるまでには時間がかかる（涵養量が少ない）。化石水型に至っては、ほぼ涵養されていない。つまり、地下深部より温泉を汲み上げている源泉では、温泉を過剰に汲み上げると温泉資源の枯渇化のおそれがあることに注意が必要である。

温泉には、三つの要素があり、それは「温度」と「成分」と「水」である。また、それらを混ぜ込み蓄える器（うつわ）や流路として地層、岩石、断層、割れ目等が温泉の湧出にかかわる（図3）。

《火山性温泉》



《非火山性温泉》

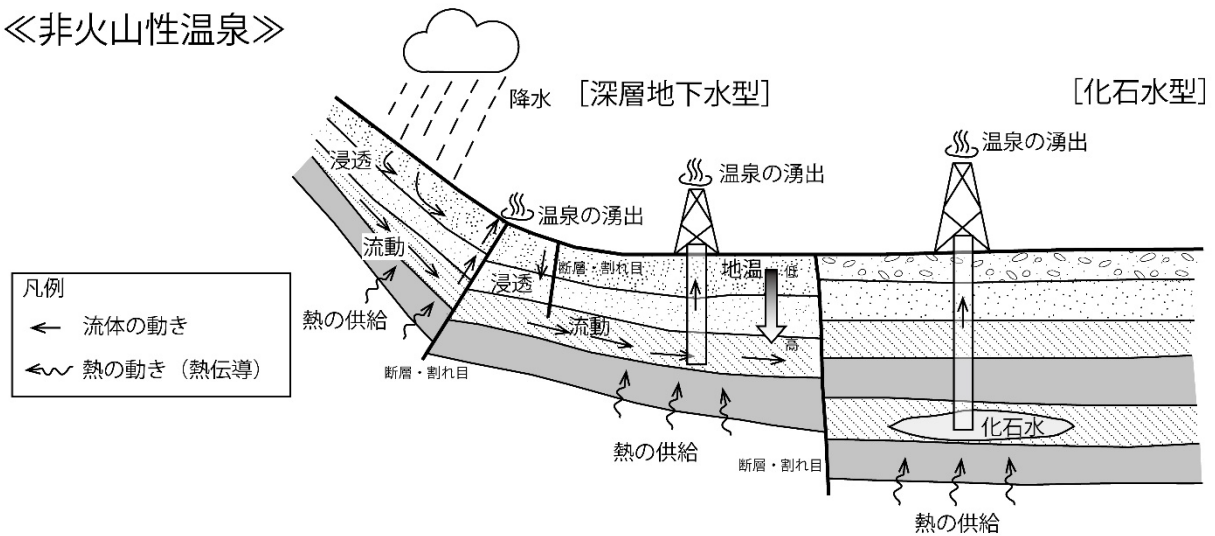


図1 温泉湧出機構のイメージ

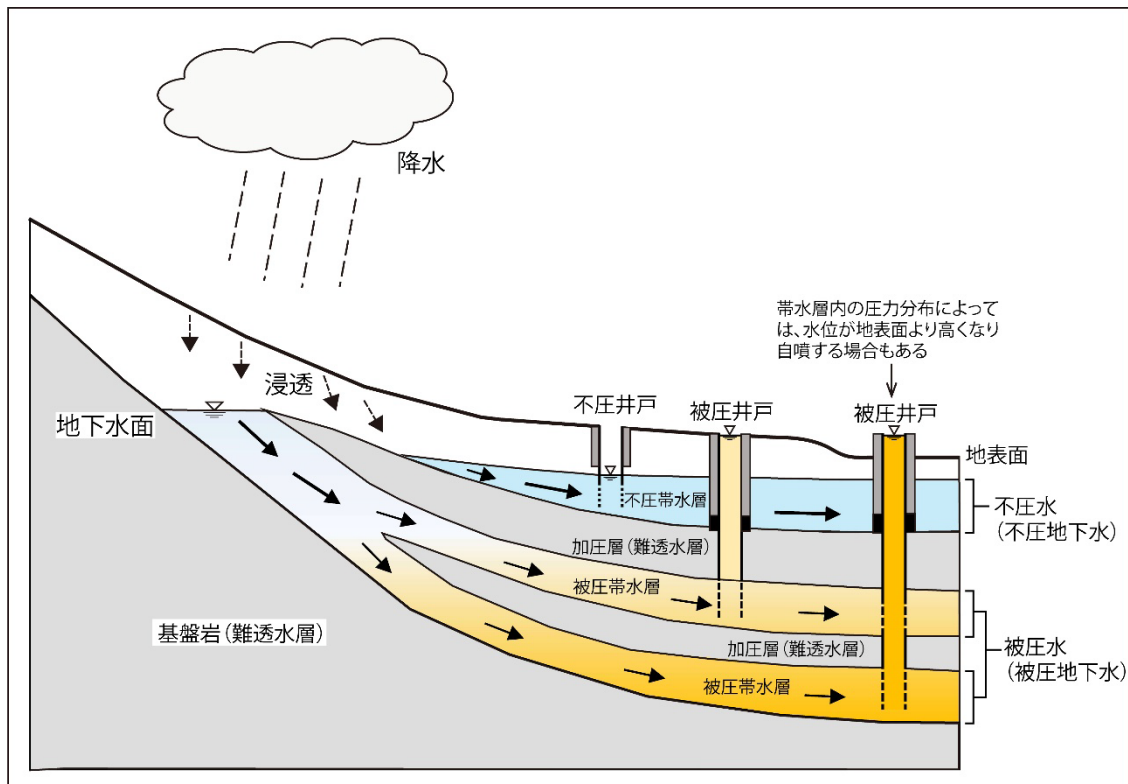


図2 地下水の基本概念図（不圧水・被圧水の概略）

杉田・田中・筑波大学水文科学研究室（2009）をもとに作成

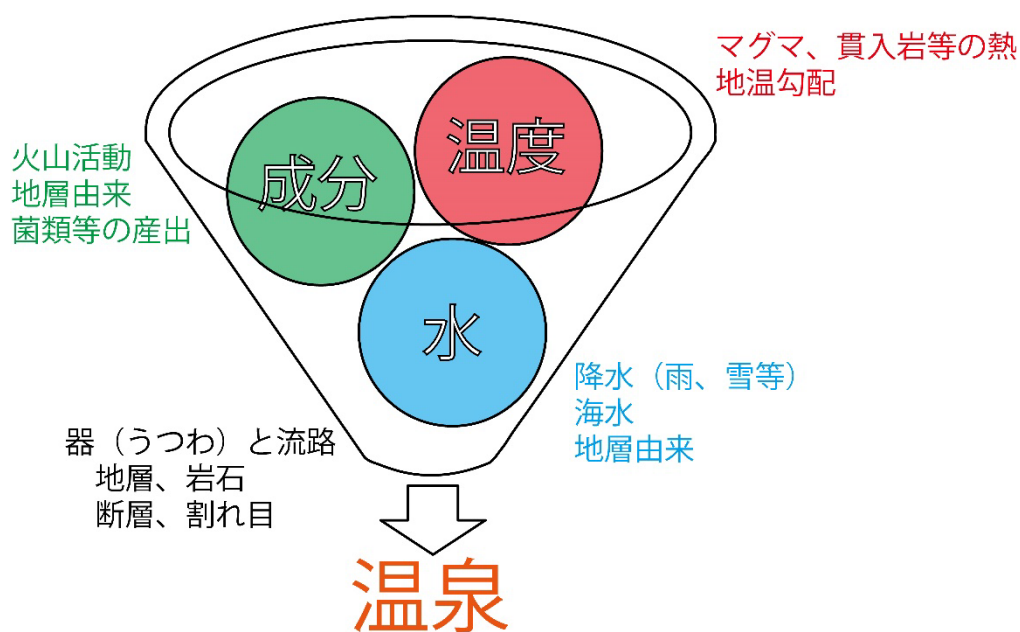


図3 温泉の三要素

温泉用語集

影響【えいきょう】

温泉においては、温度、湧出量、水位、化学組成等が外的要因により変動を受けること。原因の例としては、近隣での温泉掘削や温泉の採取量の増加のほか土木工事や自然災害等の様々な要因がある。

温泉【おんせん】

温泉とは地中から湧出する 25℃以上の温水若しくは温泉法に規定する特定成分を基準値以上含むもの。なお、水蒸気やその他のガス（炭化水素を主成分とする天然ガスを除く）も温泉に定義される。

温泉スケール【おんせんすけーる】

温泉中の成分が過飽和となり析出した沈殿物で、湯の花とも呼ばれている。スケールの析出は源泉孔内や揚湯管等を詰まらせたり、測定器の誤差原因となることがあり、定期的に除去する必要がある。

温泉成分分析【おんせんせいぶんぶんせき】

温泉に含まれる成分と含有量を調べること。分析は鉱泉分析法指針に基づいて実施する。温泉成分は、溶存成分と非解離成分、ガス成分に分けられる。公共の利用に供する者は、登録分析機関による温泉成分分析（10 年に一度の定期的な分析）を行う必要がある。

温泉帯水層【おんせんたいすいそう】

空隙のある堆積層のほか亀裂に富む岩盤など温泉水が貯留されている地層。温泉帯水層から持続的に採取可能な温泉水の量は、地層の透水性や貯留性、涵養源の安定性などにより変わる。

温泉探査【おんせんたんさ】

温泉湧出の可能性を高めるため、掘削地点の選定のために実施される調査。主な内容は、既存資料調査、地表地質調査、物理探査（電気探査、電磁探査、自然放射能探査）等がある。数種類の調査を行って結果を総合的に解析することで、より多くの地下情報が得られ、掘削地点、掘削深度及び温泉の採取深度の決定根拠を示すことができる。

・既存資料調査【きぞんしりょうちょうさ】

調査対象地周辺の地質、温泉等に関する資料を調査し、周辺の地質や断層を確認し、周辺源泉の湧出状況から温泉帯水層について検討する。

・自然放射能探査【しぜんほうしゃのうたんさ】

地中の地層や岩石に含まれる放射性同位元素から放出されるガンマー線を検出し、その強度（単位時間あたりの放射線の数）やエネルギーを測定し、断層や割れ目で放射能強度が上昇することを利用して、断層や割れ目の発達状況を推定する。

・地表地質調査【ちひょうちしつちょうさ】

地表にある露頭（道路等の法面、崖部、河川沿や沢沿いで岩盤や地層が露出した箇所）を観察し記載する。地質やその分布、割れ目の方向性から断層とそれに付随する割れ目に注目して調査を行う。また、湧水や温泉兆候の有無もあわせて確認する。

・電気探査【でんきたんさ】

地中に電気を流し、電気の流れにくさ（比抵抗）を測定し、比抵抗の分布から、地質、断層や割れ目の発達状況を推定する。電気探査には、垂直探査、比抵抗二次元探査、比抵抗三次元探査等がある。温泉探査では、比較的掘削深度の浅い温泉開発が目的の場合に用いられる。探査深度は、電気を流す電極をつないだ測線の長さによるが、おおよそ 300m 程度までである。

・電磁探査【でんじたんさ】

地中の地層や岩石の電磁波（電波）に対する反応の違いから比抵抗を測定し、比抵抗の分布から、地質、断層や割れ目の発達状況を推定する。電磁探査には、MT 法（Magneto-Telluric）、AMT 法（Audio-frequency Magneto-Telluric）、CSAMT 法（Controlled Source Audio-frequency Magneto-Telluric）がある。AMT 法と MT 法は自然の地磁気と地電流を用いて観測を行うが、CSAMT 法は人工的な電磁波を利用する。温泉探査では、比較的掘削深度の深い温泉開発が目的の場合に用いられる。探査深度は、電磁波の周波数帯や電磁ノイズの影響によるが、おおよそ 2000m 程度までである。

温泉付随ガス【おんせんふずいがす】

温泉の採取に伴い発生するガス。メタン、二酸化炭素、窒素を主成分とする。メタンは可燃性で、着火源があると爆発・火災を起こす。また、酸素が含まれていない上、硫化水素が含まれることがあり、爆発事故だけでなく酸欠事故及び硫化水素中毒事故に注意が必要である。

温度【おんど】

温泉の場合、地上での湧出温度を測定する。この地上での湧出温度は、泉温とも称される。

火山性温泉【かざんせいおんせん】

火山地域から湧出する温泉。マグマによる熱源の影響を受け、高温泉が大規模に湧出しているものがある。

ガスロック【がすろっく】

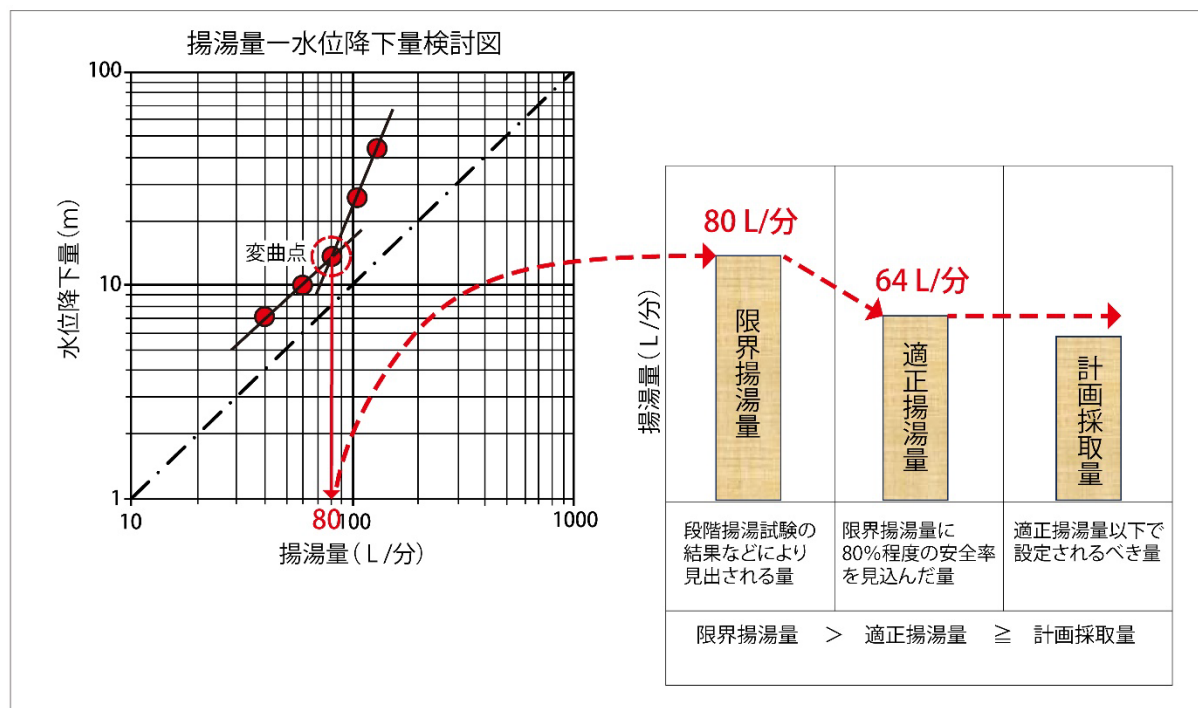
温泉に溶存するガス（メタン、二酸化炭素等）が発泡し気泡を発生することにより、動力装置による揚水ができなくなる現象。溶存するガスの発泡は、温泉の圧力、温度及び溶存分量に依存する。メタンや二酸化炭素は、井戸内で上昇する際、水頭圧の低下による圧力低下により発泡する。ガスロックを防ぐため水中モーターポンプは、溶存するガスの発泡深度よりも水頭圧が高まる深い深度に設置される。

化石水【かせきすい】

地層の堆積時に地層中に包み込まれ、そのまま閉じこめられた水。海成層は海底で形成されるため、地層中に海底付近の海水が残留する。それら海水起源のものを化石海水と呼ぶことがある。その後の続成作用により化学組成は変化する。

計画採取量【けいかくさいしゅりょう】

計画採取量とは、施設の運営のために必要とする揚湯量のこと。計画揚湯量とも呼ばれる。施設規模と形態、配管設備の保温状況、循環ろ過設備の使用の有無等により変わる。温泉掘削の結果、計画していた温度や湧出量が確保できなかった場合は、計画採取量を見直す必要がある。



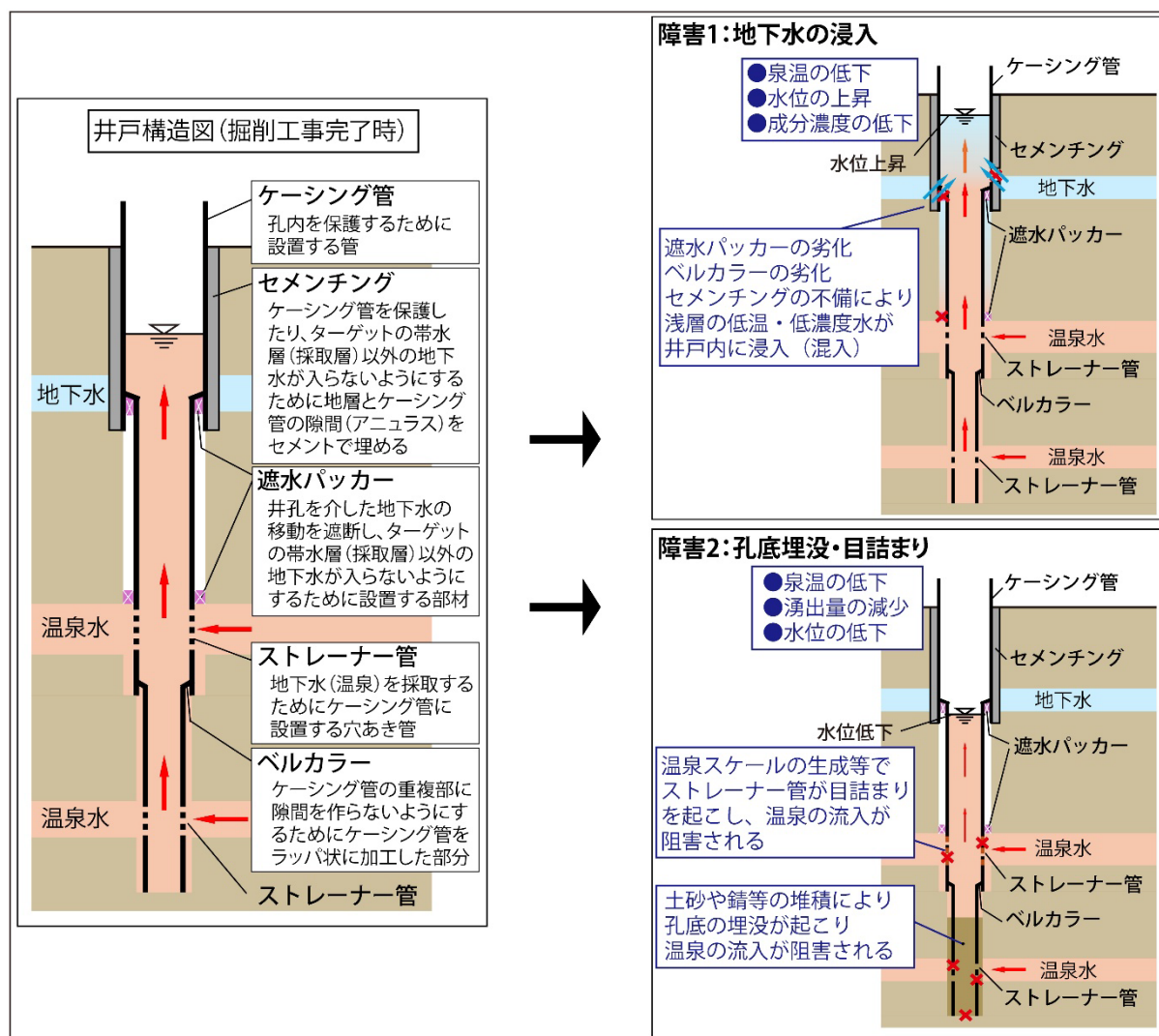
計画採取量（計画揚湯量）のイメージ図

源泉【げんせん】

温泉の湧出口。自然に温泉が湧出する源泉もあれば、掘削し、動力（ポンプ等）により温泉を採取している源泉もある（＝温泉井戸）。

源泉構造物【げんせんこうぞうぶつ】

ケーシング管、セメンチング、遮水パッカー等の温泉井戸を維持構成する人工物のこと。これらが劣化すること（井戸の障害）により、浅層の低温・低濃度水が井戸内に浸入し、泉温の低下等を招くことがある。



井戸構造図と井戸の障害のイメージ図

検層【けんそう】

温泉の掘削孔に測定器を降下させ、地下の状態を測定する調査。温度や電気伝導率、口径等、様々な測定項目がある。目的に応じて項目を選択し源泉の診断を行う。

水位【すいゐ】

地表面若しくは源泉孔口から水面までの距離で表すことが多い。

・水位計【すいゐけい】

水位を測るための測定器。ロープ式、圧力式など様々な種類がある。

・水位測定管【すいゐそくていかん】

水位測定のため、源泉孔内にセンサーを水面まで安全に降下させるため揚湯管等に併設したガイド管のこと。

・静水位【せいすいゐ】

温泉を採取しない状態での自然状態での水面の高さ。揚湯泉の場合は地表からの深さとなり、自噴泉の場合は地表より上に位置する水面の高さとなる。

・動水位【どうすいい】

ポンプ等を運転して、温泉を汲み上げているときの水位。揚湯量に応じて変化し、一般には揚湯量を増やすと低下する。

断層【だんそう】

地層の不連続面。付随する割れ目に温泉が流動したり、断層面は粘土化することがあり、そこが遮水の役割を果たす。地下深部から地表への温泉の流路として機能することがある。

地温勾配【ちおんこうばい】

地下深度に対する温度の上昇率。国内の非火山性地域の一般的な地温勾配は 2.5～3℃/100m 程度である。

電気伝導率【でんきでんどうりつ】

電気伝導率は、検水の電気の通りやすさを示す指標で、溶存物質量の多少により増減する。現地で温泉中の溶存成分変化について、おおよその推定ができる。

天然ガス田【てんねんがすでん】

天然ガス鉱床を賦存する地層又は地域。可燃性天然ガス鉱床は、水溶性天然ガス鉱床と構造的天然ガス鉱床に分けられる。水溶性天然ガス鉱床は、地層中の「付随水」と呼ばれる地下水にガスが溶け込み貯留層を形成する。この付随水は、日本国内の平野部の大深度掘削泉で温泉として利用されている。一方、構造的天然ガス鉱床は、キャップロックや断層等の地質構造により高压の貯留層を形成する。構造的天然ガス鉱床の貯留層圧力は、水溶性天然ガス鉱床に比べて高く暴噴事故の原因となる。国内で一定規模の構造的天然ガス鉱床は、油田や炭田地帯に分布するが、小規模なものは油田や炭田地帯に限らず分布する。

動力【どうりょく】

温泉法第 11 条に規定される温泉のゆう出量を増加させるための装置。ここで動力は、人力であるものと、機械力によるものであることを問わない。電動機の外、手押しポンプ装置、サイフォン式装置等も該当する。一般的には、水中モーターポンプ、陸上ポンプ、エアリフト揚湯を行うための装置が該当する。

・エアリフト【えありふと】

地表に設置したエアコンプレッサーから高压空気をエア管で井戸内に供給し、井戸内の温泉水面下で温泉と空気を混合することで比重を下げ地表に温泉を汲み上げる揚湯方法。ケーシング管を揚湯管のかわりに利用できるため、井戸内にはエア管を設置するのみでも揚湯が可能。小口径の井戸や高温の井戸に使用される外、井戸洗浄に用いられる。

- ・ **水中モーターポンプ【すいちゅうもーたーぽんぷ】**

水中（井戸内）に動力部と羽根車（エンペラ）を設置し、地表からケーブルにより電力を供給するポンプ。渦巻ポンプと異なり温泉を地下から地表に押上げるため、揚程を大きくできるメリットがある。揚程（温泉用語集：「揚程」参照）が大きな深井戸用水中モーターポンプの普及により温泉井戸で多く利用されている。井戸口径や設置場所の温度による使用制約があるが、近年小型化や高温対策などが進んでいる。水中モーターポンプの設置に関しては、揚程及び計画採取量等からポンプ性能曲線を用いて適正な設置深度を決定する必要がある（温泉用語集：「揚程」「計画採取量」「ポンプ性能曲線」「ポンプ設置深度」参照）。

- ・ **PC ポンプ【ピーシーぽんぷ】**

プログレッシブキャビティポンプ（Progressive Cavity Pump）の略称、水中モーターポンプとは構造が異なり、ガスを含む水や高揚程の揚水が可能となる。

- ・ **陸上ポンプ【りくじょうぽんぷ】**

地表に動力部と羽根車（エンペラ）を設置するポンプの総称で、温泉では渦巻ポンプが多く利用される。渦巻ポンプのような温泉を吸込むポンプは、地表に動力部があり管理がしやすく高温温泉でも使用できるが、汲上可能水位が小さい欠点がある（地表下 6m～8m）。採取深度が 6mを超える場合、吸込み深度が比較的浅く、低温の井戸では、ベンチュリ効果を利用したジェットポンプが使用されることがある。

登録分析機関【とうろくぶんせききかん】

温泉法第 19 条第 1 項の登録を受けた機関。温泉の成分等の揭示を行うための水質分析を行える機関。

バイナリー発電【ばいなりーはつでん】

温泉水と水より低い沸点をもつ媒体（二次媒体）との間で熱交換器（蒸発器）により熱交換を行って、二次媒体を沸騰させて作った蒸気でタービンを回転させて発電する発電方式。

被圧水【ひあつすい】

上部と下部に難透水層を有した加圧層によって被圧されている地下水。被圧地下水とも呼ばれる。大気圧より高い圧力を有する。

BOP【ビーおーピー】

噴出防止装置（Blow Out Preventer）の略で暴噴防止装置や防噴装置ともいわれる。掘削中又は仕上げ作業中に、暴噴の徴候があった場合、井戸を密閉し噴出防止作業を行うために孔口の上に取り付ける装置をいう。アニューラー型 BOP とラム型 BOP があり、組み合わせて使用することもある。

不圧水【ふあつすい】

水圧が大気圧と等しい状態にある地下水。不圧地下水とも呼ばれる。一般に水位は、地表からの降水浸透により敏感に変化する。

非火山性温泉【ひかざんせいおんせん】

火山地域に該当しない平野部等から湧出する温泉。ボーリング技術の進歩によって、非火山性温泉の割合は増加傾向にある。

賦存【ふぞん】

鉱物や温泉等、資源的価値を有するものが地下に存在すること。

不透水層【ふとうすいそう】

地層を構成する粒子間の間隙が小さく透水性の低い地層。粘土層やシルト層を主体とする難透水層と岩盤を主体とし水をほとんど通さない非透水層を含む。

・難透水層【なんとうすいそう】

透水性が低く、地下水流動を阻害したり、帯水層の境界となると考えられる地層。泥層（粘土層やシルト層）、極細粒の砂層等がある。

・非透水層【ひとうすいそう】

透水性が非常に低く、地下水がほとんど流れないとみなされる地層。連続性があり固結度の高い泥質地層や間隙率が非常に小さく割れ目も少ない火成岩体等がある。

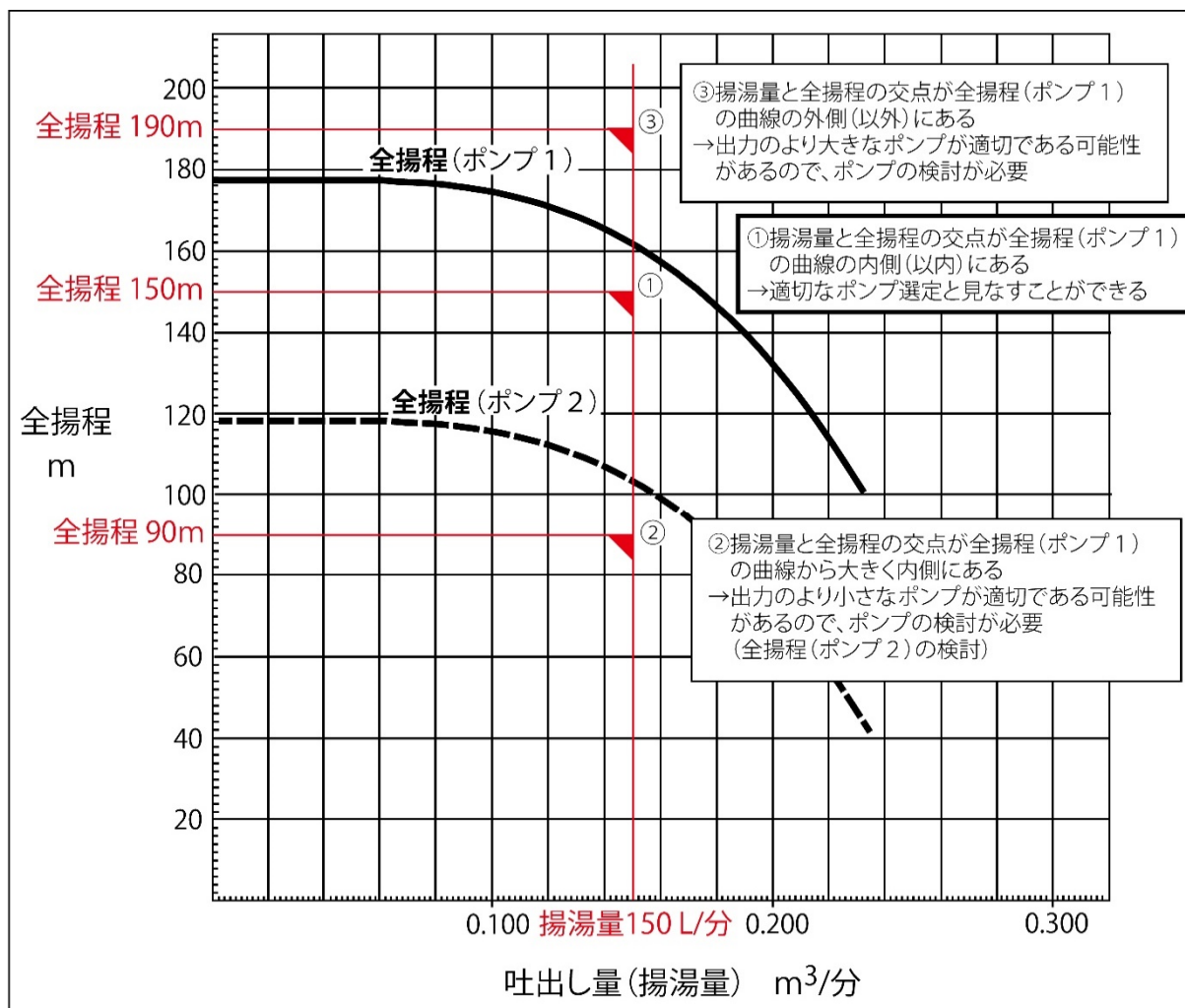
保護地区【ほごちく】

温泉の密集地域や温泉の枯渇リスクが高い地域、温泉資源保護が必要とされる地域など行政によって指定された地域をいう。特別温泉保護地域、温泉保護地域、温泉準保護地域等の名称で設定されることがある。

ポンプ性能曲線【ぼんぷせいのうきょくせん】

ポンプの最大吐出し量（一般的には $[m^3/min]$ ）と全揚程（ $[m]$ ）の関係を示す曲線で、動力装置の選定時に使用される。ポンプの最大吐出し量は、モーター出力や羽根車の数により変化する値である。一方、全揚程は、ポンプ設置深度や揚湯設備の設置状況により決定する値であり、申請者が過剰な全揚程を設定した場合、資源枯渇化を招くおそれがある。

ポンプ性能曲線に揚湯量と全揚程の交点をプロットし、交点が全揚程の曲線の内側（以内）にある場合は、適正がポンプ選定と見なすことができる。交点が全揚程の曲線の大きく内側にある場合、もしくは外側にある場合は、別の仕様（別の出力）のポンプの方が適正であるのでポンプの検討が必要である。



ポンプ性能曲線の見方イメージ図

ポンプ設置深度【ぼんぷせっちしんど】

水中モーターポンプを設置する深度のこと。ポンプ設置深度は、全揚程により決定される。ガス発生のある井戸では、ガスロックを防ぐため、ガス発泡深度よりも深い深度に設置され、その場合全揚程は、ガス発生のある井戸の方が大きくなる。ポンプ設置深度を深くし、高出力のポンプを使用すれば、より多くの温泉を採取できる。資源枯渇を防ぐためには、ポンプの出力だけでなく設置深度の管理も重要である。エアリフトの場合、エア管挿入深度が水中モーターポンプの設置深度に相当する。

湧出量【ゆうしゅつりょう】

定常的に採取している温泉の量。自噴源泉では、日常安定して長期間、溢流している水量である。動力源泉では、日常安定した動水位で汲み上げている水量である。断続的な自噴又は動力源泉ではその平均水量である。温泉では1分あたりに湧き出る量(リットル)に換算し比較をすることが多い。自然に地中より湧き出る量を自噴量、ポンプ等の動力を用いて人為的に汲み上げる量を揚湯量と記すことがある。

- ・三角堰法【さんかくせきほう】

流出口に三角堰を設け、越流水深を測定し流量を求める方法。ノッチ箱等で利用される。

- ・容積法【ようせきほう】

定量容器で温泉を受けて、満水になる時間を測定することで単位時間あたりの量を求める測定方法。

- ・流量計法【りゅうりょうけいほう】

流量を測定する計器を用いる方法。送湯配管に計器を設置して測定を行う。温泉で使用する場合は、温泉スケールやガスが精度低下の原因となる。温泉の水質や特性に応じて適したものを選び定期的にメンテナンスを行う必要がある。

揚程【ようてい】

温泉の動力装置の場合、ポンプが水をどれだけ高く、あるいは遠くへ汲上げられるかを示す量で、通常[m]で示される。ポンプの吸込み水面から吐出し水面までの垂直距離は実揚程、実際に温泉を汲み上げる際の配管抵抗等を考慮した揚程は全揚程と呼ばれる。

揚湯試験【ようとうしけん】

源泉の温泉湧出能力の評価のための試験。揚湯量を段階的に変えて、その水位変化を測定し限界揚湯量を検証する段階揚湯試験と段階揚湯試験結果から求めた限界揚湯量に安全係数を乗じて適正揚湯量を推定し、連続的に揚湯する連続揚湯試験がある。

- ・回復試験【かいふくしけん】

連続揚湯により低下した動水位から、揚湯停止により揚湯試験前の水位まで回復するか否かを確認する試験。

- ・限界揚湯量【げんかいようとうりょう】

動水位を著しく下げることなく揚湯可能な最大量。限界揚湯量を超えて揚湯を続けると、動水位が継続的に低下する。段階揚湯試験で求めることができる。

- ・段階揚湯試験【だんかいようとうしけん】

動力装置にて段階的に揚湯量を変えて、動水位の変化を観測することで、温泉井戸の限界揚湯量を求める試験。

- ・適正揚湯量【てきせいようとうりょう】

持続的に安定して採取可能な温泉の量。限界揚湯量に安全係数を乗じて算出され、一般に安全係数は 0.8 が多く用いられているが、温泉密集地域等、温泉枯渇リスクの高い場合には安全のため係数を低く定めていることがある。動力許可申請では、適正揚湯量は許可揚湯量の判断基準とされることが多い。

- ・揚湯量-水位降下量関係図【ようとうりょう-すいはいこうかりょうかんけいず】

横軸を揚湯量（Q）、縦軸を水位降下量（S）とそれぞれ対数表示としたプロット図。Q-S 関係図とも呼ばれる。段階揚湯試験の結果を基に作成し、限界揚湯

量の推定、適正揚湯量の算出に用いる。

- ・**連続揚湯試験【れんぞくようとうしけん】**

段階揚湯試験の結果から推定された適正揚湯量が、実際の連続揚湯に耐え得るか確認するための試験。