

## 第四 温泉の採取による影響のモニタリング

「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、「掘削」「増掘」については、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できるものである。このため、温泉の採取開始後においては、井戸の水位や揚湯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確認し、その保護を図る上で極めて重要となる。

また、源泉所有者にとっては、自らの源泉を適正に維持・管理することを可能とするとともに、将来、近傍で新たな温泉掘削等が行われる場合にその影響を主張する根拠とすることが可能な貴重なデータとなる。

こうしたことから、すべての源泉において水位等のモニタリングを行うことを基本とし、殊に水位計等の設置が比較的容易と考えられる新規掘削源泉においては、必要な測定機器の設置又はモニタリングの実施を容易にするような井戸の仕上げを行うよう指導すべきである。また、機器の設置が容易ではないことが考えられる既存源泉においては、水位等の定期的な測定を促すとともに、立入検査権限を積極的に活用したモニタリングについても検討すべきである。

さらには、都道府県自らが、未利用源泉を観測井として活用するなど、自治体と源泉管理者等が協力し合いながら、地域の温泉資源保護対策を推進するためのデータ収集を実施することが望ましい。

### 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・源泉構造的な理由によりこれが実現できない場合には「現地観測（人の手による定期的な観測）」を実施することとする（具体的な実施手法は別紙5を参照）。

モニタリングの項目としては、温泉のゆう出量、温度及び井戸の水位（自噴の場合は孔口圧力）が適当である。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1ヶ月に一度程度の割合で測定し、その結果を定期的に都道府県に報告させるよう、許可の際の条件付けや行政指導を行うとともに、必要に応じ、法に基づく報告徴収の実施も検討すべきである。

なお、温泉法の一部改正（平成19年法律第31号）により、定期的実施されることとなった温泉成分の分析結果についても温泉資源の状況を把握する上で極めて貴重なデータであり、他のモニタリング項目とともに記録が適切に保管・活用されるべきである。

## 2. モニタリング結果の反映

都道府県は、上記モニタリングの結果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。

また、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、温泉源の保護を図るために必要な温泉の採取制限命令を適時・適切に実施すべきである。

## 第五 公益侵害の防止

温泉法では、従来より、温泉のゆう出量、温度又は成分への影響を及ぼすと認めるときのほか<sup>(※)</sup>、「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こととされ、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、発生の態様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、掘削等の許可に当たっては、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、従来からの許可の運用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。

(※) 温泉のゆう出量等への影響も公益侵害の一部と解されているが、本項目（第五：公益侵害の防止）では、その他の公益侵害のみを対象にしている。

### 1. 公益侵害への対応についての考え方

#### (1) 許可に反映できる公益侵害の範囲

掘削等の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。

「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、ゆう出した温泉の放流に伴う公共用水域等の水質への影響、温泉の採取に伴う地盤沈下が挙げられる。すなわち、温泉の掘削等を行えば必然的に採取、放流も行うこととなるため、温泉である「水」の取扱いに関わる公益侵害は、温泉の掘削等の許可に反映できることとなるものである。

#### (2) 公益侵害への対応についての考え方

##### ① 手続面（不許可、条件の付加）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。また、公益侵害を回避するための条件を付加した上で、許可をすることもできる。許可に付加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（公益侵害への対策等）を行い、又は一定の行為（公益侵害を招く行為等）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）し、発生した場合には一定の行為（公益侵害への対策等）を行う旨の条件

これらの条件に違反した場合や、条件の付加の有無にかかわらず許可後に実際に公益侵害のおそれが生じた場合は、都道府県知事は、温泉法に基づき、許可の取消し、公益上必要な措置の命令、条件の変更（追加）ができることとなる。

ただし、上述の許可の取消し等は、温泉法上、許可の対象となった掘削等の完了後には行うことができない。一方で、許可に付する条件の内容を、掘削等の完了後に実施すべき内容とすることは、温泉法上も可能である。その結果、掘削等の完了後に条件違反があっても、許可の取消し等の温泉法上の強制力を伴う措置をとることはできないこととなるが、許可に際して条件の履行に関する協定を事業者と締結する等の手法により、条件の履行を担保することは可能と考えられる。

なお、条件の付加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、温泉のゆう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どう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月の温泉法の改正により、温泉の掘削及び採取は一定の技術基準に従って行われることとなった。したがって、今後は「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どうかで許否を判断することとなる。

## (1) 騒音・振動

騒音規制法及び振動規制法では、著しい騒音・振動を発する建設工事（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、これらの法律の規制対象とはなっていないが、規制対象の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、騒音規制法及び振動規制法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、騒音・振動をその規制基準以下に抑えることを求めることは可能である。

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得る。

手続的には、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、改善措置（工事方法の改良、工事時間の変更等）の実施を求めることが考えられる。

## (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うえ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（別紙6）。

したがって、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。

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6）。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。

手続的には、動力装置の許可の条件として、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、影響があり得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の放流方法の変更を求めることが考えられる。なお、これらの条件は、許可の対象である動力の装置の完了後に行うものであるため、条件違反があっても許可の取消し等の温泉法上の強制力を伴う措置

はできないことに留意が必要である。

なお、温泉が自噴して動力を装置しない可能性がある場合や、動力の装置の時点での放流方法の変更が困難と見込まれる場合には、未だ温泉の成分が不明である掘削の許可の段階であっても、条件を付したり、動力装置の許可の時点で条件を付する可能性がある旨を明らかにしておくことが望ましい。

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、別紙7の宮古島の例がある。

### (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、工業用水法及び建築物用地下水の採取の規制に関する法律により、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、地方公共団体の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ある。

一般に、地盤沈下のおそれがある地域では、地下水と温泉は採取の深度が異なり、温泉の採取による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。

手続的には、ストレーナーの位置、揚水機の吐出口、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、掘削又は動力装置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、別紙8の東京都の例がある。

## 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、温泉のゆう出量、温度及び井戸の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・解析を推進するとともに、こうしたデータそれらの結果を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、温泉法に関する運用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、本ガイドラインの更新に向けて、当面、以下のような課題があり、また、課題の解決に向け、様々なデータの収集や法的な議論を進める必要があると認識していることから、都道府県においても、こうした項目を参考にしつつ、これまで以上に精力的なデータ収集等が行われることが望まれる。

～当面の課題と課題解決に向けて必要なデータ・法的な議論等～

### (課題1) 大深度掘削泉

- ・大深度の地下にある温泉資源（地下水）の賦存量に係る地質・水理データ
- ・大深度からの温泉資源（地下水）の汲み上げに伴う地盤環境への影響実態
- ・工業用水法等に基づく規制と温泉法に基づく規制の効果的な組み合わせ
- ・掘削深度に着目した規制の在り方

### (課題2) 未利用源泉

- ・未利用源泉における動力による汲み上げ量と放流の実態
- ・未利用源泉から汲み上げられている温泉による周辺環境への影響実態
- ・未利用源泉に係る財産権としての取引の実態
- ・未利用であることに着目した規制の在り方

### (課題3) 温泉の利用形態等

- ・利用形態（公共的利用（公衆浴場、旅館等）、個人利用（温泉付マンション、別荘等）別の汲み上げ量の実態
- ・利用形態や、汲み上げを開始した時期の先後関係に着目した規制の在り方

## 備考

- ・ 温泉資源保護のためのガイドライン案作成業務請負：財団法人中央温泉研究所
- ・ 同請負業務における有識者会議（温泉資源保護ガイドライン検討会）委員

池田	茂	東京都環境局自然環境部水環境課長
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長

### ・ 参考文献

- 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：(社) 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, 共立出版株式会社. (絶版)
- 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, 共立出版株式会社.
- 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. (絶版)
- 山本荘毅 (1983) 新版 地下水調査法, 古今書院. (絶版)
- 平成16年版「日本の水資源」(概要版), 国土交通省.
- 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, 株式会社建設産業調査会.
- 山本荘毅責任編集 (1986), 地下水学用語辞典, 株式会社古今書院. (絶版)



## 距離規制の妥当性について検証検討するための事例

ここでは、過去に枯渇現象が生じた三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、源泉の温泉ゆう出能力は地域毎、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源泉当たりゆう出量の全国平均である100L/分で除すことでその地域内の源泉数に換算。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

枯渇現象の状況	<p>A温泉は、当初は自噴利用が中心であったのが、昭和31年以降、動力揚湯が行われ始め、昭和33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、ゆう出量が増加し、枯渇現象が出現し始めた。具体的な状況は以下のとおりである。</p> <p>昭和29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井当たりの平均ゆう出量は14.91L/分、全ゆう出量は約940L/分（日量1,353m<sup>3</sup>）であって、自然ゆう出量の範囲内で需要に応じてきた。</p> <p>ところが、昭和33年4月の役場の調査によると、総ゆう出量（1,556m<sup>3</sup>/日）は昭和31（1956）年4月以降、18%の増加を示した。</p> <p>昭和34年には利用源泉数が68と微増し、総ゆう出量は昭和29年時の940L/分から1,345L/分へと43%増加した。</p> <p>さらに昭和39年の調査時に、利用源泉数が63に減ったものの、総ゆう出量は1,424L/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～-9.02m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。</p> <p>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年時のゆう出量（約940L/分）にもどらなければ、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。</p>
現在の状況	<p>平成17年当時のA温泉の利用源泉数は44に減り、総ゆう出量は1,100L/分台に減じ、平均泉温は37.3℃から40.5℃へと回復している。温泉水位は昭和</p>

	39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年時に比較すれば、平均泉温は未だ低く、温泉水位も最大10m近く低下しているので、A温泉の適正ゆう出量は昭和29年時の940L/分程度として、大きな間違いはないものと思われる。
源泉分布面積	1.400km <sup>2</sup>
源泉密度と源泉間距離	A温泉における昭和29年当時の温泉ゆう出量100L/分当たりの面積は0.149km <sup>2</sup> となり、その状態での源泉間距離は413mとなる（別表参照）。

## (2) B温泉

枯渇現象の状況	B温泉は、大正末期頃までは自然ゆう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年当時には地表面下20m位であったものが、35年頃には100m（利用源泉数は65、総ゆう出量は約2,600L/分）になり、50年頃には200m（利用源泉数は95、総ゆう出量は約3,300L/分）にまで低下した。これにより、昭和35年には1井当たり7.94馬力で足りていた動力が、昭和50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55～53に減じ、総ゆう出量も約2,500L/分程度まで減少させた。その結果、昭和56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	4.400km <sup>2</sup>
源泉密度と源泉間距離	昭和53年の集中管理以後のゆう出量100L/分当たりの面積は0.176km <sup>2</sup> で、その状態での源泉間距離は449mとなる（別表参照）。

## (3) C温泉

枯渇現象の状況	C温泉は、明治31年の記録では源泉数は20、昭和10年代までは自然ゆう出泉や掘削自噴泉が存在し、昭和21年までは自然ゆう出泉と小規模揚湯泉とが共存した。しかし、昭和22年以降乱掘・増掘競争が始まり、昭和25年には自噴泉が姿を消した。 これまでの温泉ゆう出量や温度、温泉水位の変化状況は以下のとおりである。																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>年</th> <th>源泉数</th> <th>平均温度</th> <th>温泉採取量</th> <th>温泉水位（標高）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>昭和15年</td> <td>16</td> <td>66.0℃</td> <td>約540L/分</td> <td>約90m</td> </tr> <tr> <td>昭和30年</td> <td>30</td> <td>60.9℃</td> <td>約1,280L/分</td> <td>約70m</td> </tr> <tr> <td>昭和35年</td> <td>45</td> <td>58.2℃</td> <td>約2,260L/分</td> <td>約30m</td> </tr> </tbody> </table>	年	源泉数	平均温度	温泉採取量	温泉水位（標高）	昭和15年	16	66.0℃	約540L/分	約90m	昭和30年	30	60.9℃	約1,280L/分	約70m	昭和35年	45	58.2℃	約2,260L/分	約30m
年	源泉数	平均温度	温泉採取量	温泉水位（標高）																	
昭和15年	16	66.0℃	約540L/分	約90m																	
昭和30年	30	60.9℃	約1,280L/分	約70m																	
昭和35年	45	58.2℃	約2,260L/分	約30m																	

	昭和 44 年	58	53.7℃	約 2,000L/分	約 14m
	昭和 50 年	54	54.0℃	約 1,700L/分	約 18m
現在の状況	昭和 56 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ゆづ出量は約 1,800L/分でありあま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 年には温度は 60.8℃に、温泉水位は海拔 80m 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 井となっている。この間の総ゆづ出量は 1,700~1,900L/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	2.030km <sup>2</sup>				
源泉密度と源泉間距離	枯渇化の進行を止めることができた集中管理以後のゆづ出量 100L/分当たりの面積は 0.119km <sup>2</sup> で、その状態での源泉間距離は 369m となる (別表参照)。				

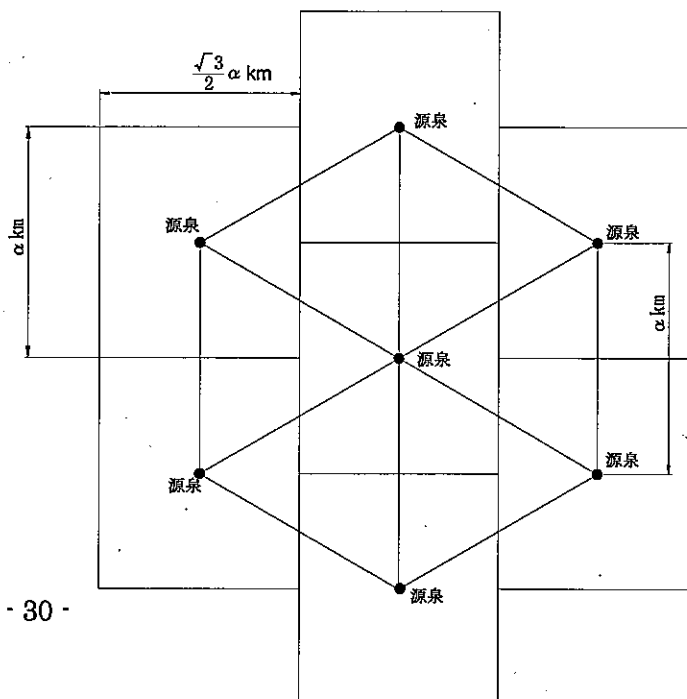
以上のとおり、現状 (資源保護のための対策実施後) 又は枯渇現象発生前の温泉採取量から、1 源泉当たりの所要面積を計算すると 0.119~0.176 km<sup>2</sup>となる。これが温泉資源の枯渇現象を抑えるために必要な源泉密度となり、この密度の源泉を均等に配置するために必要な源泉間の距離は 369~449m となることから、現在、多くの自治体が採用している 300~500m という規制距離とおおむね符合している。

(参考)

最も高い密度で源泉を配置した場合の 1 源泉当たりの所要面積

( $0.866\alpha^2 \text{ km}^2 (= \sqrt{3}/2 \alpha^2 \text{ km}^2)$ ) 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  $(\alpha)$  と  $(\sqrt{3}/2\alpha)$  を二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。



(別表) 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 <sup>2</sup> )	1.400	4.400	2.030
②合計温泉ゆう出量 (L/分)	940	2,500	1,700
③1源泉 (100L/分) 当たりの所要面積 (km <sup>2</sup> )	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  $\alpha$  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  $\alpha$  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源泉当たりのゆう出量の全国平均である 100 L/分 (≒100,000 g/min) を採取したとすると、地下から採取する熱量 (Qs とする) は以下のとおりとなる。

$$Q_s = ((45 [^{\circ}\text{C}] - 15 [^{\circ}\text{C}]) \times 100,000 [\text{g}/\text{min}]) / 60$$

$$= 50,000 \text{ cal}/\text{sec}$$

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(※)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。

※地殻熱流量 (Q: cal/cm<sup>2</sup>·sec) とは、地球内部から地表に向かう熱の流れの量を意味する。地表付近ではほとんどの熱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 を測定することで、熱流量は次式により求められる。

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

(新版地学事典：1996 による)

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

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 (1 HFU は 1 × 10<sup>-6</sup> cal/cm<sup>2</sup>·sec) 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 (Qe とする) は 1 × 10<sup>-6</sup> cal/cm<sup>2</sup>·sec であり、1 km<sup>2</sup> 当たりに換算すると 10,000 cal/km<sup>2</sup>·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 (Qs) を、熱伝導によって運ばれる熱量 (Qe) で補填するには、Qs/Qe = 5 km<sup>2</sup> 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、いくつかの HFU 値に対応して試算した結果を下表に示しておく。

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 <sup>2</sup> ·sec	0.0000005	0.000001	0.0000015	0.000002
同上 (1km <sup>2</sup> 当たり)	cal/km <sup>2</sup> ·sec	5,000	10,000	15,000	20,000
必要面積	km <sup>2</sup>	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、ゆう出量は 100L/分 (=100,000 g/min) としたので、温泉の熱量は 50,000cal/sec となる。

## 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)、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(108km<sup>2</sup>)、湯河原で2,200mm(30km<sup>2</sup>)である。一方、1979年度の温泉総ゆう出量は箱根で約27,000L/分、湯河原で約7,000L/分(いずれも神奈川県統計資料による)であり、温泉ゆう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：湯河原の水位(1982年)、神奈川県温泉地学研究所報告、第15巻、第5号、183-191

\*2：大山正雄・平野富雄・大木靖衛、1985：箱根の地下水とその利用、神奈川県衛生部

### 1. 湯河原温泉

- ① 大山・大木(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、総ゆう出量の推移と、静水位の低下についてまとめている。湯河原温泉の開発が顕著だったのは1935~40年頃と、1950年以降の2時期であった。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1950年以降であり、総ゆう出量は1958年の5,400L/分(利用源泉数67)から、1978年の7,000L/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、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。1957年と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、湯河原温泉の総ゆう出量は、著しい水位低下が起きる前の毎分4,500~5,000L/分程度が適当であるとしている。

- ② 平野・栗屋・大山・大木(1976) 湯河原温泉の地下水位低下と温泉の冷地下水化 — こそ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(こそめ橋周辺)で古くから利用されている源泉について、井戸の深さ、温泉温度とゆう出量、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、増くつ、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、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。

## 2. 箱根温泉

- ③ 大山・伊東・大木(1985) 箱根温泉の温度と湧出量の観測 昭和57-58年、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・ゆう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、地域の総温泉ゆう出量の約8%をゆう出する竪穴湧泉において、1958年から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、1968年以降、ゆう出量の減少傾向が続いていた。

- ④ 大山・久保寺・小鷹・伊東・迫(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1978(昭和53)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、1960年から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0.7~0.8m/年と見積もった。

- ⑤ 平野・広田・小鷹・栗屋・大木(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・広田・大木(1977) 箱根湯本、下茶屋地区の温泉のゆう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、温泉総ゆう出量が、1953年の毎分2,810Lから、1983年には、その2倍以上にあたる6,023L/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、ゆう出量、溶存成分の低下が進行していることを報告している。



## 動力装置の際の影響調査等実施手法

## 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」として捉え、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、泉質の同一性等を考慮した上での位置関係、観測の難易度等を考慮して、5源泉程度を抽出することが適当である。

## 2. 観測項目

## 2-1 観測源泉

源泉間の影響関係でもっとも鋭敏に反応するのは温泉水位であり、自噴の場合にはゆう出量と孔口圧力である。ゆう出量は温泉水位に応じて変化するものだが、温泉利用上は温泉水位よりも重要な項目である。また、温泉の温度や質は、上記の項目に比較すれば変化しにくいものであるが、温泉利用上はやはり重要な項目である。

このため、影響調査で必須の観測項目は、温泉水位（自噴では孔口圧力）、ゆう出量、温度である。温泉の成分に係わる測定項目である pH と電気伝導率は、必須の観測項目とはいえないが、適宜測定すべき項目である。なお、温泉の成分分析は、温泉の温度や pH、電気伝導率に特に目立った変化が生じない限り、実施する必要性は小さい。

## 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観測する必要がある。

## 3. 観測に使用する機器

観測に使用する機器は以下の内容を参考とし、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態勢を取ることになる。pH と電気伝導率は自動記録化する必要はなく、ポータブル測定器による現地での随時観

測（定時観測）で十分である。

なお、観測源泉において、これらの機器のいくつかが設置できない場合、あるいはいくつか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するほかない。しかし、温泉水位、ゆう出量ともに測定できない場合は、観測源泉としては不向きといえる。

### 3-1 自動記録方式

観測項目	代表的機種	規格
温泉水位	圧力式など	±0.1% FS (フルスケール) 程度
ゆう出量	電磁式など	±2%指示値
孔口圧力	圧力発信器など	測定精度±1% FS
温度	測温抵抗体など	分解能 0.1℃
記録方式	アナログ記録計 データロガーなど	連続記録、定時での記録

### 3-2 定期観測又は随時観測

#### a) 機器の指示値の読み取り（観測機材は自動記録方式に準ずる）

観測項目	代表的機種	規格
温泉水位	圧力式など	±0.1% FS (フルスケール) 程度
ゆう出量	電磁式など	±2%指示値
孔口圧力	圧力発信器など	測定精度±1% FS
温度	測温抵抗体など	分解能 0.1℃
記録方式	指示計あるいは表示計による	指示値・表示値の読み取り

#### b) 現地測定（手観測）

観測項目	代表的機種	測定
温泉水位	触針式など	0.5cm 単位以下で読み取り
ゆう出量	容積法、ノッチ法など	L/min 単位で小数第一位
孔口圧力	ブルドン管式など (測定精度±1.6% FS 程度)	機器の指示値
温度	デジタル温度計など (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

※ ゆう出量と温度を測定するために、源泉近くに採取した温泉の全量を吐き出すことができるバイパス管を設置する必要がある。

※ ゆう出量の測定は、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など）

#### 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（影響調査）、対象源泉の揚湯を停止した状態での測定（事後調査）の三つの期間を設定する。

##### 4-1 事前調査（3日間を目処）

観測源泉の通常期（対象源泉の影響がない状態）のゆう出状況を把握するためのもので、3日間程度の観測期間を考慮する。この期間の観測内容は以下のとおりとする。

a) 対象源泉での測定

    温泉水位（静水位）

b) 観測源泉での測定

    揚湯の場合：温泉水位（静水位、動水位）、ゆう出量、温度、その他（pH、電気伝導率など）

    自噴の場合：孔口圧力、ゆう出量、温度、その他（pH、電気伝導率など）

##### 4-2 影響調査（1段階で1日以上、5段階を目処）

観測源泉において、対象源泉の揚湯による影響の有無と程度を確認するため、対象源泉のゆう出量を段階的に増加する方式を推奨する。ゆう出量の設定は、下限は使用ポンプでの最小ゆう出量、上限は許可制限量、対象源泉の適正採取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日程度とし、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など）については、源泉の利用状況などを勘案して決定する。

対象源泉のゆう出可能量が少なく、5段階以上のゆう出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、この期間の観測内容は以下のとおりとする（対象源泉・観測源泉とも共通）。

- ・温泉水位（自噴の場合は源泉孔口圧力）
- ・温泉ゆう出量
- ・温度
- ・その他（pH、電気伝導率など）