

4-3 事後調査（3日間を目処）

影響調査時に出現した変化が対象源泉によるものか否か（影響か否か）を確認するもので、事前調査と同じく、3日間程度の観測期間を考慮する。影響調査時に明確な変動がなければ、事後調査の実施は省略できる。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）

5. 観測方法

5-1 自動記録

アナログ記録計（ペン式、打点式）では連続記録、ロガーによる場合のデータサンプリング間隔は10分を基本とし、前者の場合は連続記録をそのまま図化するか、10分間隔でデータを読み取る。

5-2 機器の指示値の読み取り・現地測定

a) 温泉水位・孔口圧力（対象源泉・観測源泉共通）

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、徐々に測定間隔を長くする。具体例を以下に示すが、源泉状況や水位の変化状況に応じて適切な間隔を選択すべきである。

《測定例》

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) ゆう出量・温度（対象源泉・観測源泉共通）

原則60分間隔とする。

c) 上記の実施が困難な場合

観測源泉が利用しているなどのため、上記したような定期的観測が困難な場合は、温泉利用に支障が生じない範囲で観測する。特に、旅館等の繁忙時や夜間には観測困難となるので、観測間隔は柔軟に対処し、これに応じて観測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、休止状態で温泉水位（静水位）や自噴締め切り圧力（静止水頭）を測定するのが理想であるが、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の揚湯（自噴）状態はできる限り一定とすることが望ましい。

間欠的な揚湯を行っている源泉の場合は、対象源泉の影響を誤認させないためにも、調査期間中はできれば一定の揚湯状態を維持したい。これが実現困難な場合は、通常状態における運転状態を監視・記録すべきである。

6. その他特記事項

6-1 関連データの収集

影響観測時には、直近の気象観測点の気象データ（気温、気圧、降水量など）を収集・整理するとともに、付近の河川水位や潮位も測定しておくべきである（気象庁、国土交通省等の公表データがあれば、そのデータを収集・整理する）。

また、源泉分布域の中に地下水井が存在していれば、その揚水量や揚水時間、水位などを測定しておくべきである。

6-2 観測間隔や揚湯期間の変更

対象源泉の温泉水位は、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、温泉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。反面、温泉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。要は、状況に応じた適切な方法を採用することが重要であり、観測間隔をより短くしたり、観測期間を長くしたりすることは差し支えない。

II 集湯能力調査（揚湯試験）

1. 揚湯試験の種類

a) 予備揚湯試験

エアリフトによる孔内洗浄の後、実際にポンプ揚湯を行ってゆう出量と揚湯水位との関係を確認し、以降の揚湯試験の計画を立てるための資料を得るのが予備揚湯試験である。所要日数は1日程度を目処とする。

b) 段階揚湯試験

この試験は、ゆう出量を段階的に変えて、その段階ごとのゆう出量と揚湯水位（水位降下量）との関係を調べるものである。5段階以上で実施することを基本とする。設定する最大ゆう出量は、ゆう出量に関する規制量があればその量を、規制量がなければ、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、動水位が安定しない場合は、おおよそその安定をもって次の段階に移行せざるを得ない。

なお、可能採取量が少ないときは、その採取量の範囲内で段階を設定するものとし、さらに少なければ、c)の連続揚湯試験のみを実施することになる。

c) 連続揚湯試験

段階揚湯試験で得られたデータを基に、ゆう出量を規制量の範囲内で、その源泉で適正と思われる量又は将来的に採取することになるゆう出量に設定して、一定ゆう出量で長期間の揚湯を行う試験である。この試験の所要日数は、水位が安定化するまで（1時間当たりの水位変化量が、全体変化量のおおむね0.1%以内となるまで）を基本とし、3～7日間程度を目処とする。

d) 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観測するものである。観測期間は1日以上とする。

2. 揚湯試験の観測項目と観測方法

揚湯試験で観測すべき項目と測定間隔は、「I 影響調査 5. 観測方法 5-2 機器の指示値の読み取り・現地測定」と同様に実施すること。

3. 揚湯試験の観測機器

揚湯試験に使用する観測機器は、「I 影響調査」の項で記した観測機器を援用すること。

温泉モニタリング実施手法

I 自動観測

1. 観測機器

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4の「I 影響調査 3. 観測に使用する機器 3-1 自動記録方式」に記した機器と基本的に同一である）。

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	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

これら表示器・記録計の配置例を別図1に示すので参考とされたい。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り（別図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、それを排除するためである。その必要性がなかったり、小さかったりする場合は、バイパス管や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）には湯量測定・温泉採取用の吐き出し管を設けており、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、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（別図3）。

自動記録方式には、大きく分けるとアナログ記録（いわゆるペン式又は打点式レコーダーによる）とデジタル記録（データロガー又はパソコン管理）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—チャート—）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を来す点がデメリットである。ペン式又は打点式レコーダーによる記録の時間的な粗密の程度は、記録紙の送り速度（チャートスピード）によって決められる。

デジタル記録はサンプリング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、データのサンプリング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り、ある限られた期間において、細かい時間間隔で変化を把握したければ、さらに短い時間間隔でのデータ取得が可能であり、ローガーやパソコンの記録容量、データ通信量などに余裕があれば、1分間隔での測定も十分に可能であるが、通常の観測であればその必要性は小さい。

2. 観測項目

a) ゆう出量

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

エアリフトによる源泉では、揚湯管内はエアと温泉との混合体となって、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）などに貯留していったんエアを抜き、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、その越流水深を自記水位計（圧力式、静電容量式その他、超音波式などの隔測式水位計でも対応可能）で記録することになる。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、可燃性ガスに対する所定の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、腐食の激しい温泉などでは、このような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（測温抵抗体など）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ゆう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) 温泉水位・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（上記した超音波式などの隔測式水位計）がある。ノッチ箱で水位測定する場合や、自然ゆう出泉などで広い水面を持ち、地表から水面までの深さが浅い場合には、このような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、圧力式など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拘束し、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引き上げが必要になる。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エアパージ式水位計を用いるのも一法である。

なお、可燃性天然ガスを含む温泉では、例えばポンプ地上部で水位計の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ため、所定のガス対策を施すことが求められる。

自噴源泉の場合の孔口圧力は、源泉頭部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

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4の「I 影響調査 3. 観測に使用する機器 3-2 定期観測又は随時観測」b)に記した機器と基本的に同一であり、同 a)の自動観測機器（本紙に記した自動観測機器と同じ）の指示値の読み取りであっても構わない。

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℃）	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）

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回/日～1回/週程度の測定を標準としたい。これが困難な場合であっても、1回/月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などでは、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。

2. 観測項目

a) ゆう出量

現地でのゆう出量の観測方法は、容積法を主体とする。これは、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（sec）×60（毎分への換算）】でゆう出量を計算するものである。なお、測定ミスや湯量の脈動などに対処するため、測定は複数回行い、その平均値を採用すべきである。容積法による測定を行うためには、別図1～3に示した吐き出し管が必要である。

こうした吐き出し管がない場合には、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ほかない。タンクからの流出を止め、タンク内の温泉の上昇速度からゆう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。

また、自動計測ではないが、現地指示又は遠隔指示による流量計を用いることも有用である。特に、温泉の利用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、より実態に即したゆう出量が把握できる。

ただし、スケールが生成しやすい温泉、腐食の激しい温泉などでは、このような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、上記の吐き出し管があれば、デジタル型温度計や水銀温度計によって容易に測定できる。

c) 温泉水位・孔口圧力

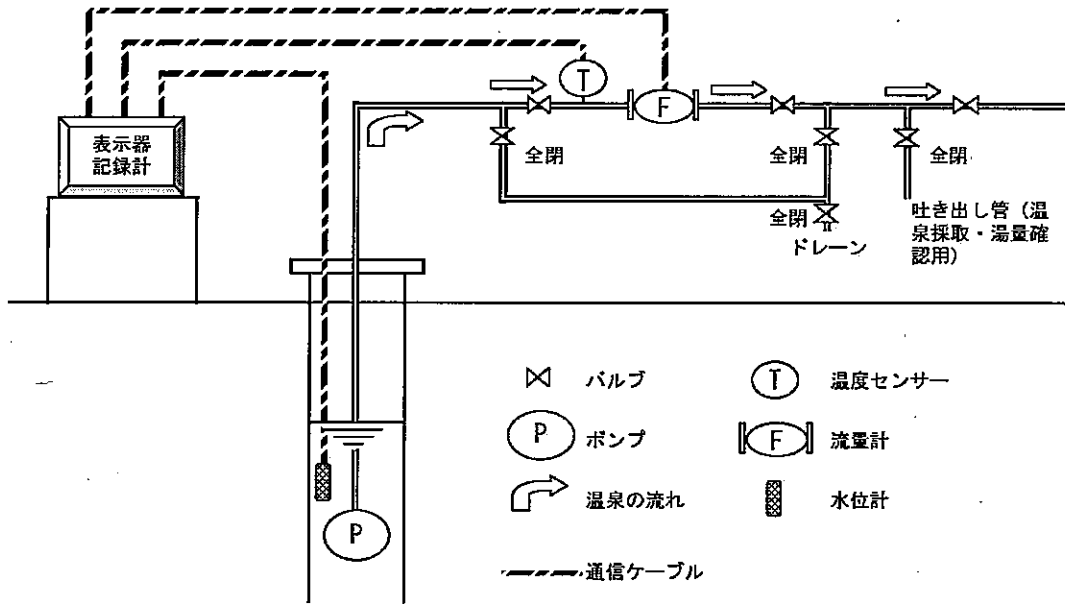
高温、ガスを含む、スケールが生成するといった源泉で、水位計の耐用が難しい温泉では、触針式水位計によって、地上部から温泉水位を測定する。源泉孔内には動力ケーブルなどがあり、水位計のスムーズな挿入を困難とするので、水位測定用の小口径のパイプを、水中ポンプ挿入時に同時設置することも一法である。

なお、可燃性天然ガスを含む温泉では、ポンプ地上部で水位測定管を通してガスが地表に漏出する可能性があるので、所定のガス対策を施すことが求められる。

自噴源泉の場合の孔口圧力は、源泉頭部に圧力計（ブルドン管式など）を設置して、その指示値を記録することとする。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。

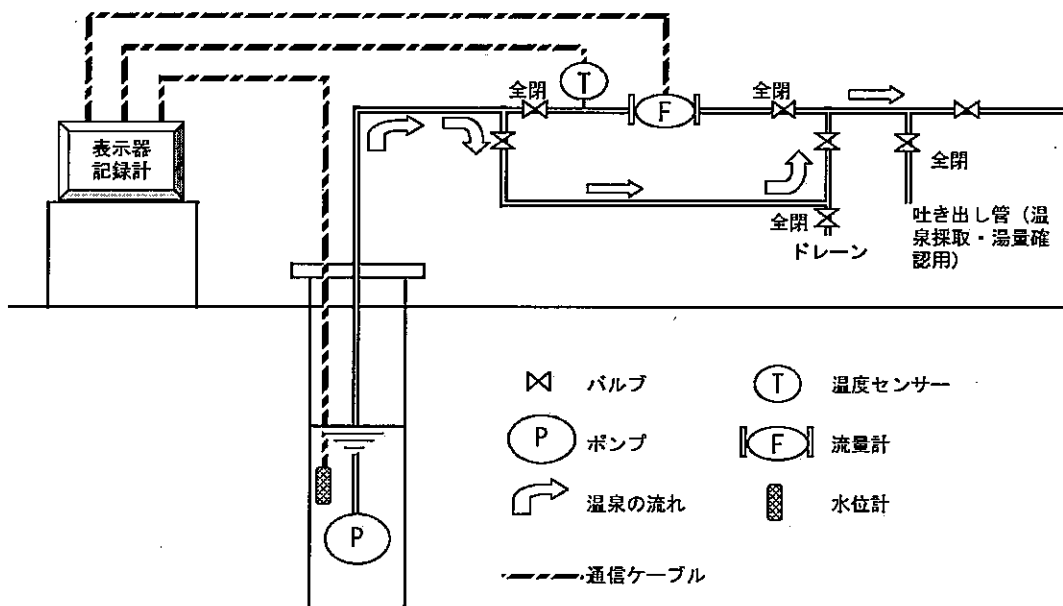
別図 1

通常状態



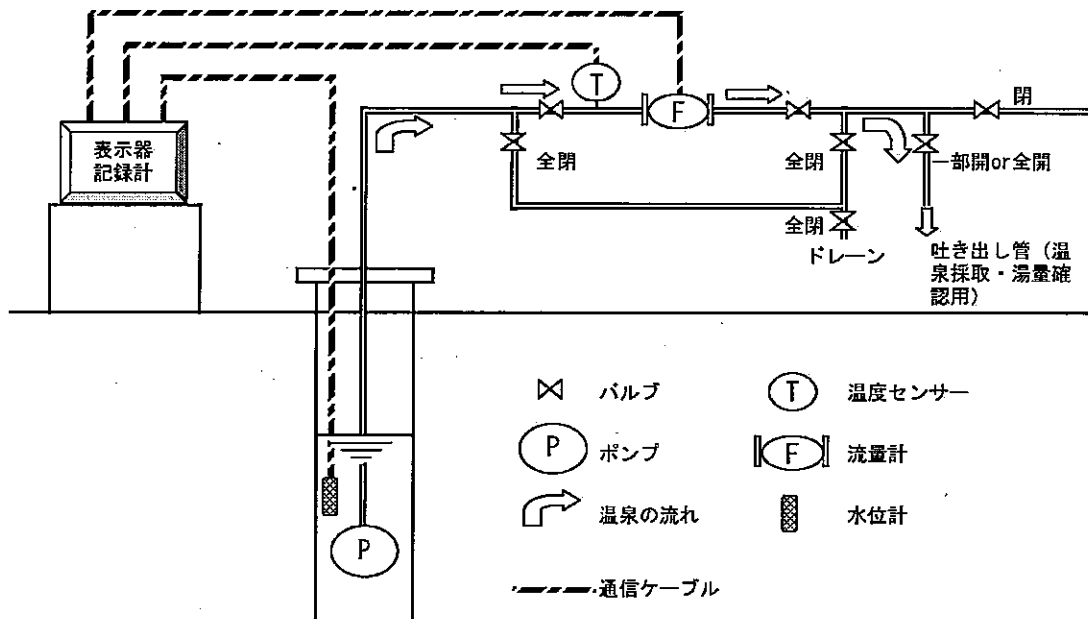
別図 2

流量計などメンテナンス時



別図3

温泉採取・湯量確認時



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号より抜粋)

別表1 人の健康の保護に関する環境基準

項目	基準値
カドミウム	0.01mg/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	0.05mg/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	0.02mg/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	0.03mg/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	1 mg/L 以下

※1: この告示は、公共用水域の水質汚濁に係る環境基準を定めたものであり、別表2として、「生活環境の保全に関する環境基準」が定められている。

※2: 別途、「地下水の水質汚濁に係る環境基準について」が告示されている(平成9年3月13日環境庁告示第10号)。

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号より抜粋)

	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、0.01mg/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、0.05mg/L以下であること。
9	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。
10	硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10mg/L以下であること。
11	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。
12	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。
13	四塩化炭素	0.002mg/L以下であること。
14	1,4-ジオキサン	0.05mg/L以下であること。
15	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。
16	ジクロロメタン	0.02mg/L以下であること。
17	テトラクロロエチレン	0.01mg/L以下であること。
18	トリクロロエチレン	0.03mg/L以下であること。
19	ベンゼン	0.01mg/L以下であること。
20	塩素酸	0.6mg/L以下であること。
21	クロロ酢酸	0.02mg/L以下であること。
22	クロロホルム	0.06mg/L以下であること。
23	ジクロロ酢酸	0.04mg/L以下であること。
24	ジブロモクロロメタン	0.1mg/L以下であること。
25	臭素酸	0.01mg/L以下であること。
26	総トリハロメタン(クロロホルム、ジブロモクロロメタン、プロモジクロロメタン及びプ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。
27	トリクロロ酢酸	0.2mg/L以下であること。
28	プロモジクロロメタン	0.03mg/L以下であること。
29	プロモホルム	0.09mg/L以下であること。
30	ホルムアルデヒド	0.08mg/L以下であること。

31以降、次頁

項目名		基準値
31	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。
32	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。
33	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。
34	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。
35	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。
36	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。
37	塩化物イオン	200mg/L 以下であること。
38	カルシウム、マグネシウム等(硬度)	300mg/L 以下であること。
39	蒸発残留物	500mg/L 以下であること。
40	陰イオン界面活性剤	0.2mg/L 以下であること。
41	(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。
42	1,2,7,7-テトラメチルピシクロ[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。
43	非イオン界面活性剤	0.02mg/L 以下であること。
44	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。
45	有機物(全有機炭素(TOC)の量)	3mg/L 以下であること。
46	pH 値	5.8 以上 8.6 以下であること。
47	味	異常でないこと。
48	臭気	異常でないこと。
49	色度	5 度以下であること。
50	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（水稲）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（水稲）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一つとなっている。

農業（水稲）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 以上
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解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否か。

- 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
 - 地表面踏査調査、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、揚水量等資源収集
 - 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・塩化物イオン・塩化物イオン・塩化物イオン・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寄与率および寄与率解析
- 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
地表面踏査調査、水露頭調査	1.5km ² (更竹付近)
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
定期地下水位観測	37~38箇所/月1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1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・塩化物イオン・塩化物イオン・塩化物イオンに関する影響度・寄与率解析	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寄与率および寄与率解析	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。

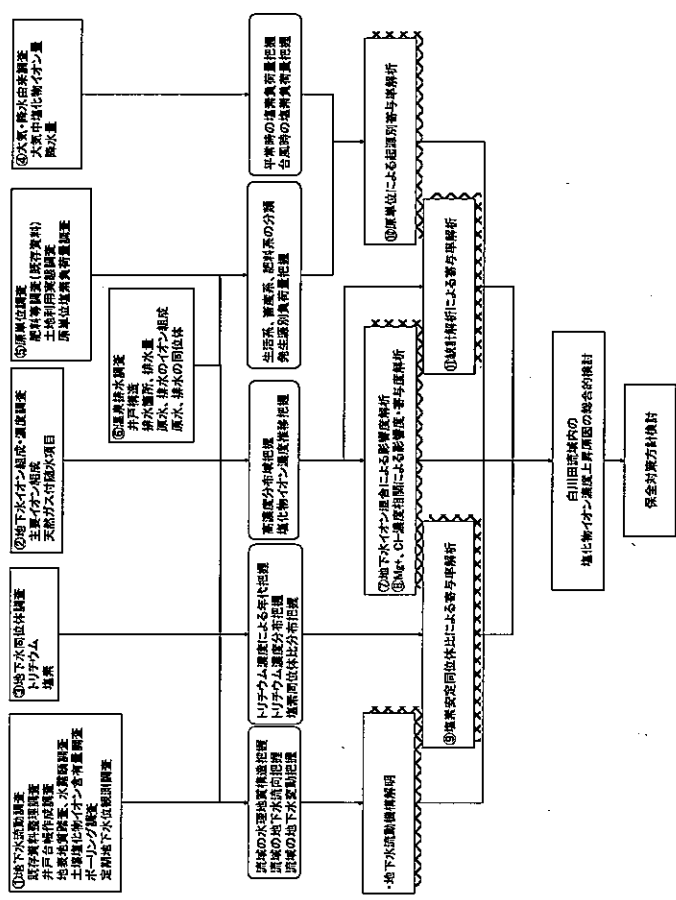


図 1.2.1 検討フロー

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、総合的な結論を提示す。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、南東一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成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・塩化物イオン濃度関連法 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、流域外の海岸沿いの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 Mg^{2+}/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、同地点の地下水中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た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ている。

このような状況において、本委員会は、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6.3.1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6.3.2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%を超えると考えられ、また同様に、白川田水源地の地下水への寄与率は、2006年のおおよそ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、その直後に水源地に顕在化した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。

温泉動力の装置の許可に係る審査基準

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立方メートル 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。

〈 参考 〉

温泉法第4条第1項

都道府県知事は、前条第1項の許可の申請があつたときは、当該申請が次の各号のいずれかに該当する場合を除き、同項の許可をしなければならない。

第1号 当該申請に係る掘削が温泉の湧出量、温度又は成分に影響を及ぼすと認めるとき。

第2号 前号に掲げるもののほか、当該申請に係る掘削が公益を害するおそれがあると認めるとき。

(第3号、第4号、第5号、省略)