

# 第41回試錐研究会

## 講演資料集

期 間：平成15年3月11日(火)

会 場：ホテルライフオート札幌(2F ライフオート)  
(札幌市中央区南10条西1丁目)

# 第41回 試 錐 研 究 会

## プ ロ グ ラ ム

－温泉資源と探査技術－

**主 催** 北海道立地質研究所

**協 賛** 北海道地質調査業協会  
(社)全国鑿井協会北海道支部

**日 時** 平成15年3月11日(火)  
10時～17時

**場 所** ホテルライフオート札幌 2F 「ライフオート」  
(札幌市中央区南10条西1丁目 Tel.011-521-5211)

あいさつ

北海道立地質研究所長 寺島 克之

特別講演

“温泉の水質管理”

(財)中央温泉研究所

理事・所長 甘露寺 泰雄

昼 食 ( 12:00 ~ 13:00 )



## 講 演

### (温泉資源関連)

1. レジオネラ属菌とその衛生対策について

北海道立衛生研究所 森本 洋

2. 北海道の温泉行政と温泉法改正の概要

北海道保健福祉部薬務課 小野 和夫

3. 温泉水位の自然変動

－ 2000 年有珠山噴火における虻田 GSH-1 井戸の水位変化－

北海道立地質研究所 柴田 智郎

### (探査技術関連)

4. ジオスライサー調査法

復建調査設計(株) 原口 強

5. ショックツール効果の実証について

石油鑿井機製作(株) 岩見 高

### (地学講座)

6. 北海道の温泉資源の枯渇現象と保護

北海道立地質研究所 秋田 藤夫

## あいさつ

北海道地質調査業協会 理事長 石田 隆雄

---

懇親会 ( 17:30 ~ 19:30 )  
会場 ホテルライフオート札幌  
( 2F ライフオート )

# 特別講演

温泉の水質管理

(財) 中央温泉研究所

甘露寺 泰雄





# 温泉の水質管理

(財) 中央温泉研究所

所長 甘露寺 泰雄

## 目 次

1. はじめに
2. 温泉法と第2条別表
3. 泉 質
  - (1) 療養泉と泉質
  - (2) 分析表の読み方使い方
4. 水質管理
  - (1) スケールとその対策 (付 腐食作用)
  - (2) 浴槽水のよごれの解析
  - (3) Legionella 属菌とその対策
5. まとめ



## 1. はじめに

温泉水は、温度があることと、多種多様の成分を含み、地下から揚湯され（湧出し）、ポンプ、パイプ、タンク、熱交換器、浴槽（濾過器等）を経て排水される過程で、成分の変化、注水希釈、薬品添加等が加わるため、その水質管理は一般の地下水、河井水等と違って、特別な注意を必要とすることが多い。

この講演は、まず基本になる温泉法、特に第2条別表とその由来、療養泉の意義を述べ、温泉水の水質表示としての「温泉分析表及び付属表（別表）」の読み方を解説する。ついで、水質管理上最も頻繁に発生するスケールの問題をとりあげ、最後に浴槽水の衛生管理を中心とした「浴槽水のよごれ」「Legionella 属菌」についてこれまでの研究成果を報告することにした。

なお、化学成分の経年的変化や、浴槽の熱管理についても講演の中で適宜付け加えることにした。

## 2. 温泉法と第2条別表

ここでは温泉法と第2条別表の由来をとりあげ、1911年ドイツ Nauheim 決議の項目及び含量に準拠して第2条別表がつくられているが、若干我が国特有の情報も盛り込まれている点を説明する（Table 1～3）。

## 3. 泉 質

### （1）療養泉

療養泉は温泉法ではふれられていない。これは環境省監修の鉱泉分析法指針（改訂）（平14年）の中で定義されているが、これもドイツの基準に準拠している（Table 4）。

温泉法との関連で温泉の泉質を分類すると Table 5 のようになる。

温泉法第2条別表は改訂されていないが、療養泉の定義は改訂されている。

### （2）分析表の読み方、使い方

前記鉱泉分析法指針による分析結果の表示は様式が国から通知されている（Table 6, 7）。

これについて、いくつかのポイントをまとめてみた。

イ．源泉で採取した温泉水の分析事例が圧倒的に多い。

ロ．温泉法に基づく利用許可、掲示の際に必要である。

- ハ．10年以内の分析であることが望ましい。
- ニ．現地分析の結果が表示され、泉温、湧出量（自・動）、pH等、分析値の他泉質名が記載されていること。
- ホ．分析値の内容として、陰陽両イオンの millival 値や、成分総計と蒸発残留物の比較、一般的には  $Na > K$ ,  $Ca > Mg$  であること等が成分のチェックポイント
- ヘ．微量成分（Li, Sr, Cu, Pb, Zn, Cd, As, Hg 等）の分析値が記載されていることが望ましい。
- ト．適応症は温泉法では必須記載事項ではない。
- チ．適応症は2～3週間の温泉療養を行った際に適応される。
- リ．温泉の人体に対する作用効果の概要（Table 8）
- ヌ．一般的に分析値は、スケールが付着するか腐食性か、化学成分の経年変化の推定、地下の温泉貯留層の温度の推定、排水の際の処理の必要、不必要等種々役に立つ。

## 4. 水質管理

### （1）スケール（温泉沈殿物）とその対策

温泉水の利用、特に揚湯や引湯を行う場合、温泉水よりしばしば不溶性の物質が析出し、ポンプやパイプをつまらせたり、浴槽中に浮遊、浴槽壁に付着する等種々の障害をひき起こす。この物質は温泉沈殿物、温泉華、湯の花（華）、湯垢、スケールといった種々の名称で呼ばれている。ポンプやパイプ、浴槽壁などに硬く付着した場合に特にスケールと云う名称が一般的である。最近では特に Legionella 属菌による汚染と関連してこの種の沈殿物中に同属菌がアメーバや藻類、細菌類と共にとりこまれ、その中で増殖する等、浴槽水の衛生管理上大変厄介な問題をひき起こしている。この種の沈殿物は軟質状ではバイオフィームやぬめりと云った名称で呼ばれることもあり、清掃による除去が重要視されるようになった。

#### スケールの種類

- ①  $CaCO_3$ （炭酸カルシウム）質のもの  
（アラゴナイト、カルサイト）



Mg, Fe, Mn, SiO<sub>2</sub>, As, Na, 有機物などを含む

- ② Fe (鉄) 質のもの
  - イ) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 質のもの
  - ロ) FeS 質のもの
- ③ S (硫黄) 質のもの
- ④ SiO<sub>2</sub> (シリカ) 質のもの
  - イ) 主として SiO<sub>2</sub> (地熱井など)
  - ロ) 粘土質のもの
- ⑤ Mn (マンガン) の酸化物
- ⑥ Cu (銅) 質のもの
- ⑦ Al (アルミニウム) 質のもの
- ⑧ CaSO<sub>4</sub> (石膏) 質のもの
- ⑨ 微生物 (細菌など) とそのスライム (有機質)
- ⑩ 特殊な例 炭塵, 油など

スケールの付着場所

ポンプインペラ, バルブ

揚湯管, 引湯管, エア管

タンク, 流量計

熱交換器

浴槽水, 内壁, タイル

排水口

温泉水が蒸発したあと

## 石灰質スケールの障害対策

機械的な除去，掃除

沈殿槽の利用

水の混合

薬品添加

薬品洗浄

揚湯方法の改良

磁石（磁力）の利用

その他（例えばセラミックス等）

薬品 ポリ 磷酸塩

ポリアクリル酸塩

ホスホン酸

クエン酸

C. M. C

薬品類は飲用の場合は品質が食品  
添加物に準拠したものを使用する

## 鉄質スケールの障害対策

除鉄

薬品添加

薬品洗浄

機械的衝撃

共沈，鉄バクの添加

その他（例えばセラミックス等）

## イオウ質スケールの障害対策

硫化水素の除去

硫化水素の酸化防止

流速の調節

付着物の除去，掃除

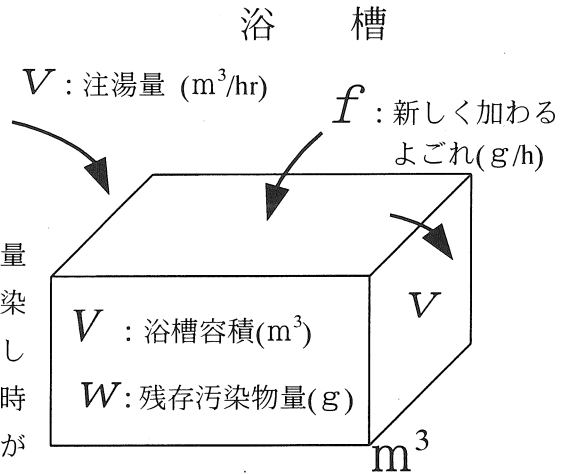
殺菌，除菌

薬品添加（液性調節）



(2) 浴槽のよごれの解析

右図のように、浴槽に新鮮な温泉が注湯され、溢流によってそのまま放流されるような場合、浴槽容積  $V(\text{m}^3)$ 、注湯量  $v(\text{m}^3/\text{hr})$ 、槽内に残存する汚染物量  $w(\text{g})$  利用者によって新しく加わる汚染物量  $f(\text{g/h})$  と時間  $t(\text{hr})$  の間には次の理論式が成立し



$$\frac{dw}{dt} = f(t) - \frac{w}{V} \cdot v \dots\dots (1)$$

これを解いて得られる次式は、実験的にも成立することが著者らによってたしかめられた。

$$w = e^{-\int \frac{v}{V} dt} \left\{ \int f(t) \cdot e^{\int \frac{v}{V} dt} dt + C \right\} \dots\dots (2)$$

いま利用者が数時間連続してあり、浴槽によごれが経時的にほぼ同じように加わる場合を想定すると、 $f(t) = k$  とおくことができる。したがって、

$$w = k \cdot \frac{V}{v} \left( 1 - e^{-\frac{v}{V} t} \right) \dots\dots (3)$$

この式を1つの近似式として、槽内の汚染物量  $w$  を  $t$  時間内である限度以内に保つに要する給湯量  $v$  (実際は給湯率  $v/V$ ) を求める計算を行ってみよう。

この式は次のように変形できる。

$$\frac{w}{N \cdot m} = \frac{V}{v} \left( 1 - e^{-\frac{v}{V} t} \right) \dots\dots (4)$$

[但し  $N$  は1時間の浴客数。  $m$  は1人に起因する汚染物量]

ここで、汚染物量の指標として濁度を用いて解析を試みた。濁度を取りあげたのは、細菌等は死滅や増殖の要素が加わり、解析が複雑になること、

循環濾過を考えた場合、濾過でとり除ける物質は粒子状のよごれ—濁り—と云われている要素であると考えたからである。

いま浴槽において保持されるべき濁度の基準をPとすれば、前式は次のようになる。

$$\frac{P \cdot V}{N \cdot m} = \frac{V}{v} \left( 1 - e^{-\frac{v}{V}t} \right) \dots\dots (5)$$

この式を用いて浴槽のよごれを濁度を用いていくつか解析してみる。

- ① 公衆浴場等では、循環濾過装置は1時間当たりで浴槽の容量の濾過能力を有する、つまり1ターン以上の根拠<sup>(1)</sup>

この1ターン以上は、連続して浴客が利用した場合浴槽水の清澄度を保持するための大切な条件である。いま浴客が3時間連続し、浴客1人が0.5gのよごれ（この値はいくつかの文献から引用した。プール等では濁度排出量学校プールで1.5g/h、レジャープールで2～3g/hとしているが、温泉浴槽では1時間当たり10分程度人間が浴槽に体をつけていると考えるので、0.5gで充分である）。

いま1時間当たりの最大利用人員を100名とすると、厚生省の衛生管理要領から、浴槽の面積Sは次式で求められる。

$$\text{浴槽の面積}(S\text{m}^2) = \text{毎時最大浴場利用人員} \times \frac{10}{60} \times 0.7\text{m}^2 \times 1.2$$

したがって  $S=14\text{m}^2$ 、深さの平均を60cmとすると容積  $V=8.4\text{m}^3$

これらを(5)式に入れて、 $v/V=1$ とした場合、浴客のよごれのピークが3時間続くと仮定すれば、次表に示す結果を得る。

$t$	1時間	2時間	3時間	基準
濁度 $P$	3.8	5.1	5.7	5

つまり  $v/V=1$  ターンの状態ならば、1時間当たり100名の浴客が平均して1人0.5gのよごれ（濁度として）を浴槽に落した場合、濁度は経時的に増大するが、3時間程度（これは夕方の4～7時頃を想定）ならば、濁度は基準の5度を保持できる。

### (3) Legionella 属菌とその対応

レジオネラ属菌は土壌や河川、湖沼など自然界に広く生息し、一般に、20～50℃で繁殖し、36℃前後が最も成長に適している。菌の形態は長さ2～20ミクロン、幅0.3～0.9ミクロン程度の細長い菌である。

レジオネラ属菌は生存・増殖するために、他の細菌や藻類などから必要な栄養分を吸収したり、アメーバなどの原生動物に寄生する。

レジオネラ症は、レジオネラ属菌に汚染された目に見えないほど細かい水滴（エアロゾル）を吸い込むことで感染する。

打たせ湯、シャワー、ジャグジーなどではエアロゾルが発生するので、循環式浴槽水を管理しなければいけない。

レジオネラ症は人から人へは感染しない。

#### 公衆浴場の水質基準

厚生省 平成12年12月15日生衛発第1811号

水質基準項目	原水、原湯	浴槽水
色度	5度以下	——
濁度	2度以下	5度以下
水素イオン濃度	pH値5.8～8.6	——
過マンガン酸カリウム消費量	10mg/L以下	25 mg/L以下
大腸菌群	不検出/50mL	1個/mL以下
レジオネラ属菌	10CFU/100mL 未満	

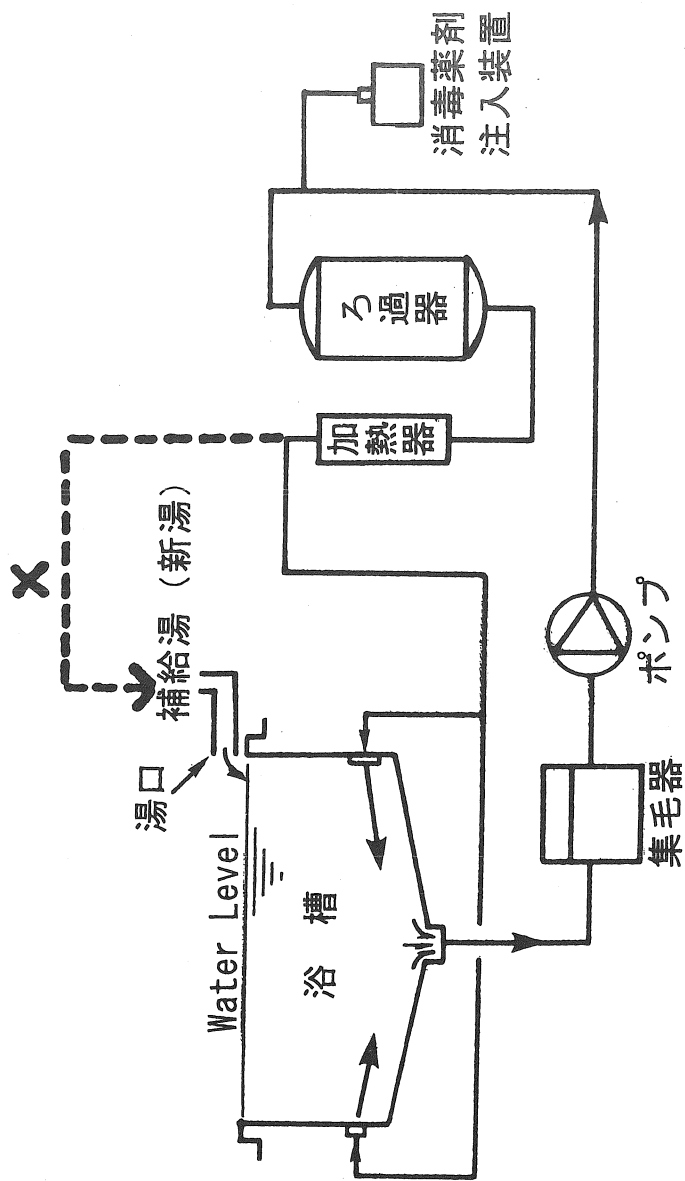


図-1 循環式浴槽の構造

## Legionella 属菌の問題

循環・濾過・殺菌＝上水を対象に開発された

- 
- 温泉水で充分検討されていない
- 
- 温泉の還元性環境が破壊される
- 
- Cl<sub>2</sub> 添加
    - Fe(II), H<sub>2</sub>S, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, As 等
    - アルカリ性      効果減退
    - NH<sub>4</sub><sup>+</sup>          クロラミン生成
    - 腐植質          トリハロメタン類生成
- 
- ClO<sub>2</sub> の効果
- 
- 浴槽水の換水
  - タンク類・濾過器・ヘアキャチャー等

洗      浄

- V.N.C.Stage の問題

## 5. まとめ

温泉水は地下から湧出，採取されて，ポンプ，パイプ，タンク，熱交換注水，希釈等を経て浴槽に供給され，循環濾過薬品添加等の処理を経て排水される。

水質管理はこの全過程が対象である。

この過程で，人間が温泉にはたらきかけ，また温泉が人間にはたらきかける相互作用に視点を置いた科学技術が重要なのである。

### 参考文献

- (社)日本温泉協会，日本温泉協会 70 年記念誌，129P (平成 11 年)
- 益子安，Kurmittel としての療養泉－温泉と健康，FORUM,87, 27P (1987)
- 甘露寺泰雄，温泉法第二条「別表」についての考察，温泉工学会誌，Vol.28, No.1, 53 (2002)
- 衣笠豊，温泉大鑑，14P (昭 16 年)
- S.W.Souci and K.-E.Quentin, Handbuch der Lebensmittelchemie, Wasser und Luft, 1044P (1969)
- 阿岸祐幸，現代の温泉保養地療法，健康と温泉，FORUM,89, 温泉とリゾート開発，56-74 (1989)
- 甘露寺泰雄，温泉スケール (温泉沈殿物) について－温泉水から析出するスケール対策－，地熱，Vol.30, No.2 (Ser.No127), 53 (1993)
- 柳谷茂夫，佐藤敬二，釈永信彦，野村弘，炭酸カルシウムスケール付着抑制技術，温泉工学会誌，Vol.27, No.2/3, 32 (2001)
- 野邑憲二，ホスホン酸系スケール防止剤による温泉スケール抑制，温泉工学会誌，Vol.27, No.2/3, 45 (2001)
- 甘露寺泰雄，山本容代，浅川澄子，温泉浴槽水の汚染度に関する研究，温泉工学会誌，Vol.4, No.2, 83 (1966)
- 甘露寺泰雄，大塚一夫，温泉水のよごれと循環濾過システムに関する衛生化学的考察，第 55 回日本温泉科学会大会，講演要旨集，21P, 2002 年 9 月 (下呂)

### Legionella 属菌に関する資料

- ① 厚生省生活衛生局長，平成 12 年 12 月 15 日，公衆浴場における衛生等管理

要領等について、旅館業における衛生等管理要領

- ② 厚生労働省健康局生活衛生課長，循環式浴槽におけるレジオネラ症防止対策マニュアル 平成 13 年 9 月 11 日
- ③ 厚生労働省健康局長，公衆浴場法第 3 条第 2 項並びに旅館業法第 4 条第 2 項及び同法施工令第 1 条に基づく条例等にレジオネラ症発生防止対策を追加する際の指針について，平成 14 年 10 月 29 日
- ④ 厚生労働省健康局生活衛生課，全国レジオネラ対策会議資料，平成 14 年 9 月 30 日（東京 三田）
- ⑤ 厚生労働省健康局生活衛生課，レジオネラ症の知識と浴場の衛生管理，平成 14 年
- ⑥ (株) リレーション開発研究所，知っていますか！レジオネラ症とその防止対策（2000）
- ⑥ 大河内正一，温泉の酸化還元電位，温泉工学会誌，Vol.28, No. 1, 26 (2002)



Table 1 温泉法第2条別表

1 温度 (温泉源から採取されるとき温度とする。)

2 物質 (左に掲げるもののうち、いずれか1)

摂氏 25度以上

物 質 名	含有量 (1 キログラム中)
溶存物質 (ガス性のものを除く。)	総量 1,000 ミリグラム以上
遊離炭酸 (CO <sub>2</sub> )	250 ミリグラム以上
リチウムイオン (Li <sup>+</sup> )	1 ミリグラム以上
ストロンチウムイオン (Sr <sup>++</sup> )	10 ミリグラム以上
バリウムイオン (Ba <sup>++</sup> )	5 ミリグラム以上
フェロ又はフェリイオン (Fe <sup>++</sup> , Fe <sup>+++</sup> )	10 ミリグラム以上
第1マンガンイオン (Mn <sup>++</sup> )	10 ミリグラム以上
水素イオン (H <sup>+</sup> )	1 ミリグラム以上
臭素イオン (Br <sup>-</sup> )	5 ミリグラム以上
沃素イオン (I <sup>-</sup> )	1 ミリグラム以上
ふつ素イオン (F <sup>-</sup> )	2 ミリグラム以上
ヒドロヒ酸イオン (HA <sub>5</sub> O <sub>4</sub> <sup>'</sup> )	1.3 ミリグラム以上
メタ亜ヒ酸 (HA <sub>5</sub> O <sub>2</sub> )	1 ミリグラム以上
総硫黄 (S) [HS <sup>'</sup> +S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>''</sup> +H <sub>2</sub> S に対応するもの]	1 ミリグラム以上
メタほう酸 (HBO <sub>2</sub> )	5 ミリグラム以上
メタけい酸 (H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	50 ミリグラム以上
重炭酸ソーダ (NaHCO <sub>3</sub> )	340 ミリグラム以上
ラドン (Rn)	20 (100 億分の1 キュリー単位) 以上
ラジウム塩 (Ra として)	1 億分の1 ミリグラム以上

**Table 2** ナウハイム決議による鉱泉の定義

*Mindestwerte für Mineralwässer nach den früher gültigen Nauheimer Beschlüssen (1911)*

Bestandteile	Mindestwert in 1kg Wasser.
Gesamtmineralstoffe	1 g
Lithium ( $\text{Li}^+$ )	1 mg
Strontium ( $\text{Sr}^{2+}$ )	10 mg
Barium ( $\text{Ba}^{2+}$ )	5 mg
Eisen ( $\text{Fe}^{2+}$ bzw. $\text{Fe}^{3+}$ )	10 mg
Bromid ( $\text{Br}^-$ )	5 mg
Jodid ( $\text{J}^-$ )	1 mg
Fluorid ( $\text{F}^-$ )	2 mg
Hydrogenarsenat ( $\text{HA}_5\text{O}_4^{2-}$ ) bzw. metaarsenige Säure ( $\text{HA}_5\text{O}_2$ )	1.3 mg
Gesamtschwefel (S) aus Hydrogensulfid + Thio-sulfat + Schwefelwasserstoff	1 mg
Borsäure (meta) ( $\text{HBO}_2$ )	5 mg
Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	250 mg
engere Alkalinität	340 mg
	(entsprechend 4 Millival $\text{NaHCO}_3$ )
Radium-Emanation	3.5 Mache-Einheiten
Temperatur	+20°C

Table 3 各種限界値

温度又ハ物質	Nauheim Geschlüssen (1911). ( ) は1931年ドイツ飲食物学会 (第28回)の追加 <sup>(注)</sup>	温泉法(日本)第2条, 別表による(昭和23年)
溶存物質	1,000 mg/kg	1,000 mg/kg
遊離 CO <sub>2</sub>	250 "	250 "
Li <sup>+</sup>	1 "	1 "
Sr <sup>2+</sup>	10 "	10 "
Ba <sup>2+</sup>	5 "	5 "
Cu <sup>2+</sup>	—	—
Fe <sup>2+</sup> 又は Fe <sup>3+</sup>	10 "	10 "
Mn <sup>2+</sup>	(10 " )	10 "
H <sup>+</sup>	—	1 "
Br <sup>-</sup>	5 "	5 "
I <sup>-</sup>	1 "	1 "
F <sup>-</sup>	2 "	2 "
HAsO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.3 "	1.3 "
HAsO <sub>2</sub>	1 "	1 "
総硫黄 (S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HS + H <sub>2</sub> S に対応するもの)	1 "	1 "
HBO <sub>2</sub>	5 "	5 "
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	—	50 "
NaHCO <sub>3</sub>	—	340 "
狭義のアルカリ度	4 mval (NaHCO <sub>3</sub> 340 mg/kg に相当)	—
Rn	3.5 (50) マツヘ/l	5.5 マツヘ/kg
Ra	—	1×10 <sup>-8</sup> mg/kg
Al <sup>3+</sup>	—	—
温 度	20°C	25°C

(注) 衣笠:「温泉大鑑」,第二章泉質編, p.14, 昭和10年, 日本温泉協会刊より。

Table 4 療養泉の定義 (昭 53 年)

1. 温度 (源泉から採取されるとき温度) 摂氏 25 度以上
2. 物質 (下記に掲げるもののうち、いずれかひとつ)

物 質 名	含有量 (1 kg 中)
溶存物質総量 (ガス成分を除く)	mg 以上 総量 1,000
遊離二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	1,000
銅イオン (Cu <sup>2+</sup> )	1
総鉄イオン (Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> )	20
アルミニウムイオン (Al <sup>3+</sup> )	100
水素イオン (H <sup>+</sup> )	1
ヨウ素イオン (I <sup>-</sup> )	10
総ヒ素 (As として)	0.7
総硫黄 (S) [HS <sup>-</sup> +S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +H <sub>2</sub> S に対応するもの]	2
ラドン (Rn)	30×10 <sup>-10</sup> キュリー単位以上 (8.25 マッヘ単位以上)

As と I はさく除

Table 5 温泉法の温泉と泉質（療養泉）名との関係

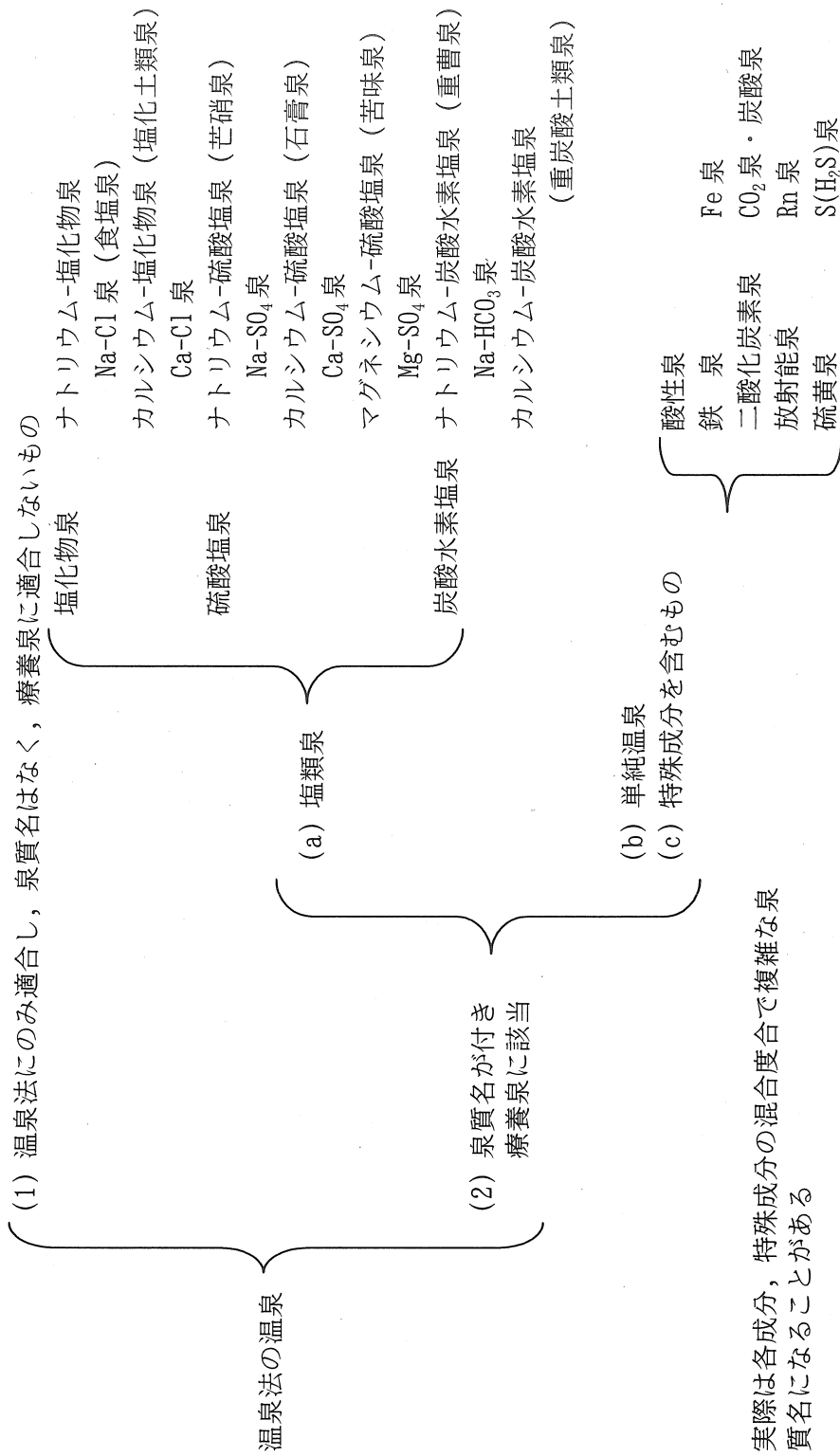


Table 6

甲第 2967 号

## 温 泉 分 析 書

1. 分析申請者 住所  
氏名
2. 源泉名及び湧出地 源泉名  
湧出地
3. 湧出地における調査及び試験成績  
(イ) 調査及び試験者 財団法人 中央温泉研究所  
(ロ) 調査及び試験年月日 平成 14 年 11 月 22 日  
(ハ) 泉温 35.4°C (調査時に於ける気温 12°C)  
(ニ) 湧出量 18m<sup>3</sup>/hour (掘削・動力揚湯)  
(ホ) 知覚的試験 淡黄色澄明強鹹味僅微銻物油臭  
(ヘ) pH 値 7.6 (ガラス電極法)  
(ト) ラドン (Rn) -- × 10<sup>-10</sup> Ci/kg (-- M.E./kg)
4. 試験室における試験成績  
(イ) 試験者 財団法人 中央温泉研究所  
(ロ) 分析終了年月日 平成 14 年 12 月 13 日  
(ハ) 知覚的試験 淡黄色澄明強鹹味僅微銻物油臭  
(ニ) 密度 1.0136g/cm<sup>3</sup> (20°C/4°C)  
(ホ) pH 値 7.69 (ガラス電極法)  
(ヘ) 蒸発残留物 23.11g/kg (110°C)
5. 試料 1 kg 中の成分・分量及び組成

## (イ) 陽イオン

成 分	ミリグラム	ミリバル	ミリバル%
ナトリウムイオン (Na <sup>+</sup> )	8017	348.7	90.84
カリウムイオン (K <sup>+</sup> )	260.4	6.66	1.73
アンモニウムイオン (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	133.5	7.40	1.93
マグネシウムイオン (Mg <sup>2+</sup> )	145.6	11.98	3.12
カルシウムイオン (Ca <sup>2+</sup> )	181.3	9.05	2.36
アルミニウムイオン (Al <sup>3+</sup> )	0.2	0.02	0.01
鉄 (II) イオン (Fe <sup>2+</sup> )	1.7	0.06	0.02
マンガンイオン (Mn <sup>2+</sup> )	0.1	0.00	0.00
陽イオン計	8740	383.9	100

## (ロ) 陰イオン

成 分	ミリグラム	ミリバル	ミリバル%
フッ素イオン (F <sup>-</sup> )	<0.05	--	--
塩素イオン (Cl <sup>-</sup> )	13090	369.2	97.07
臭素イオン (Br <sup>-</sup> )	48.9	0.61	0.16
ヨウ素イオン (I <sup>-</sup> )	25.4	0.20	0.05
硫化水素イオン (HS <sup>-</sup> )	<0.1	--	--
硫酸イオン (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2.7	0.06	0.02
炭酸水素イオン (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	624.2	10.23	2.69
炭酸イオン (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	0.9	0.03	0.01
陰イオン計	13790	380.3	100

## (ハ) 遊離成分

非 解 離 成 分	ミリグラム	ミリモル
メ タ ケ イ 酸 (H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	76.8	0.98
メ タ ホ ウ 酸 (HBO <sub>2</sub> )	19.9	0.45
メ タ 亜 ヒ 酸 (HAsO <sub>2</sub> )	<0.01	--
非 解 離 成 分 計	96.7	1.43

溶 存 ガ ス 成 分	ミリグラム	ミリモル
遊 離 二 酸 化 炭 素 (CO <sub>2</sub> )	2.2	0.05
遊 離 硫 化 水 素 (H <sub>2</sub> S)	<0.1	--
溶 存 ガ ス 成 分 計	2.2	0.05

溶存物質計 (ガス性のものを除く) 22.63 g/kg 成分総計 22.63 g/kg

## (ニ) その他微量成分 (mg)

総水銀 (Hg)	0.0005 以下
銅 (Cu)	0.05 以下
鉛 (Pb)	0.05 以下

6. 泉質  
ナトリウム-塩化物強塩温泉 (高張性・弱アルカリ性・温泉)
7. 禁忌症, 適応症等 温泉分析書別表中 5 に記載する。

平成 14 年 12 月 13 日

登録番号 14 健地衛第 1 号  
東京都豊島区高田 3 丁目 42 番 10 号  
財団法人 中央温泉研究所  
所長 甘露寺 泰雄

## 温泉分析書別表

## 1. 源 泉 名

## 2. 源 泉 所 在 地

## 3. 温 泉 分 析 申 請 者

## 4. 泉 質 ナトリウム-塩化物強塩温泉（高張性・弱アルカリ性・温泉）

## 5. 療養泉分類の泉質に基づく禁忌症，適応症等は次のとおりである。

浴用の禁忌症 急性疾患（特に熱のある場合），活動性の結核，悪性腫瘍，重い心臓病，呼吸不全，腎不全，出血性疾患，高度の貧血，その他一般に病勢進行中の疾患，妊娠中（とくに初期と末期）。

浴用の適応症 神経痛，筋肉痛，関節痛，五十肩，運動麻痺，関節のこわばり，うちみ，くじき，慢性消化器病，痔疾，冷え性，病後回復期，疲労回復，健康増進，きりきず，やけど，慢性皮膚病，虚弱児童，慢性婦人病。

飲用の禁忌症 腎臓病，高血圧症，その他一般にむくみのあるもの，甲状腺機能亢進症。

飲用の適応症 慢性消化器病，慢性便秘。

## 浴用，飲用の一般的注意事項

## （1）浴用上の注意事項

- ア. 温泉療養を始める場合は，最初の数日の入浴回数を1日当り1回程度とすること。その後は1日当り2回ないし，3回までとすること。
- イ. 温泉療養のための必要時期は，おおむね2ないし3週間を適当とすること。
- ウ. 温泉療養開始後おおむね3日ないし1週間前後に湯あたり（湯さわり又は浴湯反応）が現れることがある。「湯あたり」の間は入浴回数を減じ又は入浴を中止し，湯あたり症状の回復を待つこと。
- エ. 以上のほか入浴には次の諸点について注意すること。
  - （ア）入浴時間は入浴温度により異なるが，初めは3分ないし10分程度とし，慣れるにしたがって延長してもよい。
  - （イ）入浴中は運動浴の場合は別として一般には安静を守る。
  - （ウ）入浴後は身体に付着した温泉の成分を水で洗い流さない（湯ただれを起こしやす人は逆に浴後真水で身体を洗うか，温泉成分を拭き取るのがよい）。
  - （エ）入浴後は湯冷めに注意して一定時間の安静を守る。
  - （オ）次の疾患については原則として高温浴（42℃以上）を禁忌とする。
    - イ. 高度の動脈硬化症    ロ. 高血圧症    ハ. 心臓病
  - （カ）熱い温泉に急に入るとめまい等を起こすことがあるので十分注意をする。
  - （キ）食事の直前・直後の入浴は避けることが望ましい。
  - （ク）飲酒しての入浴は特に注意する。

## （2）飲用上の注意事項

- ア. 飲泉療養に際しては，温泉について専門的知識を有する医師の指導を受けることが望ましいこと。
- イ. 温泉飲用の1回の量は一般に100mlないし200ml程度とし，その1日の量はおおむね200mlないしは1000mlまでとすること。
- ウ. 強塩泉，酸性泉，含アルミニウム泉及び含鉄泉はその泉質と濃度によって減量し，又は希釈して飲用すること。
- エ. 以上のほか，飲用については次の諸点について注意すること。
  - （ア）一般には，食前30分ないし1時間がよい。
  - （イ）含鉄泉，放射能泉及びヒ素又はヨウ素を含有する温泉は，食後飲用する。含鉄泉飲用直後には，茶・コーヒーなどを飲まない。
  - （ウ）夕食後から就寝前の飲用はなるべく避けることが望ましい。

（注）この別表は温泉法第13条による掲示に必要な参考資料となるものである。

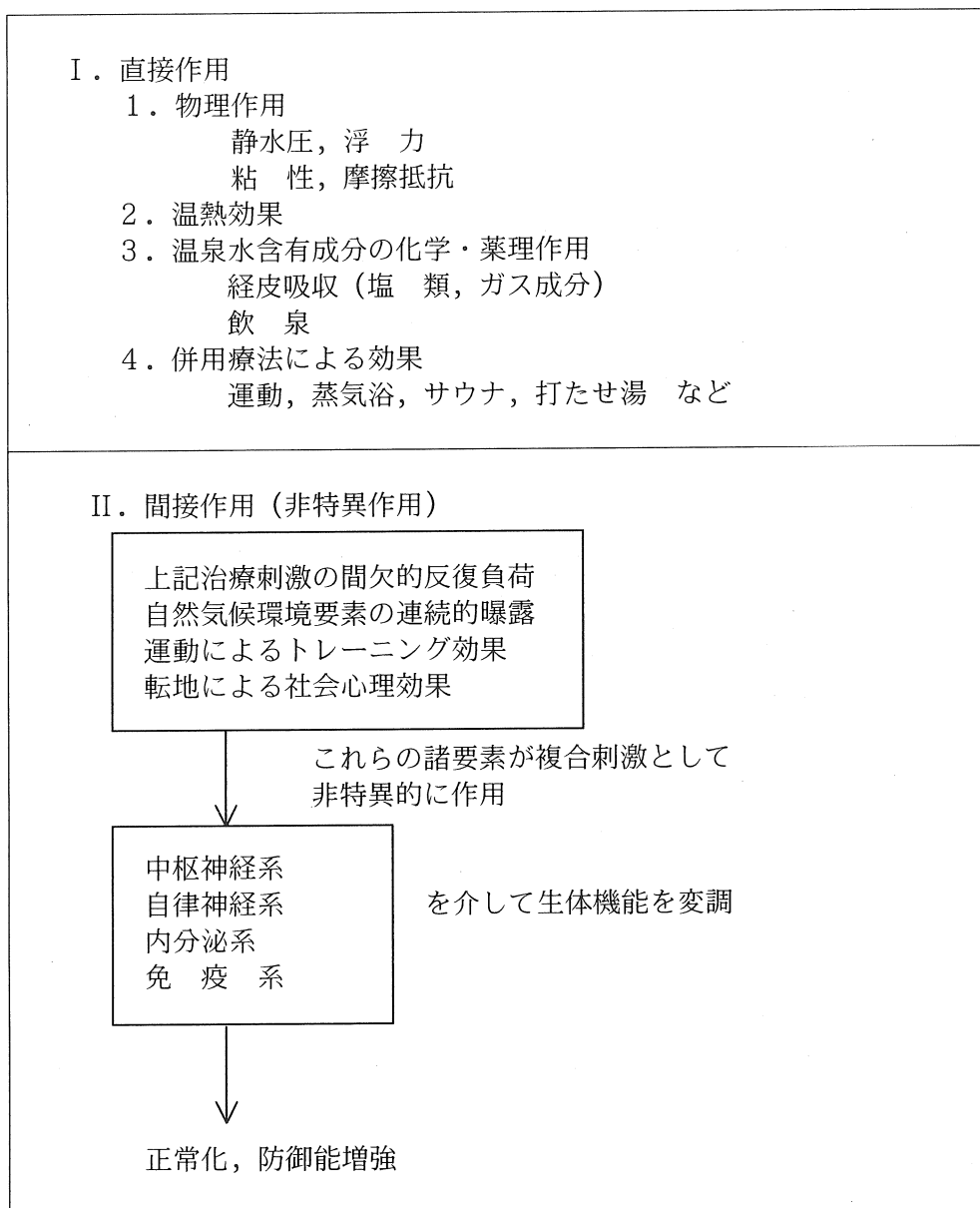
平成14年12月13日

登録番号 14健地衛第1号  
東京都豊島区高田3丁目42番10号  
財団法人 中央温泉研究所  
所長 甘露寺 泰雄



Table8

温泉療法の作用メカニズム〔阿岸 (1989)〕



# 講演

レジオネラ属菌とその衛生対策について

北海道立衛生研究所

森本 洋



# レジオネラ属菌とその衛生対策について

北海道立衛生研究所感染症センター微生物部

食品微生物科 森本 洋

## 【はじめに】

ここ数年、国内のさまざまな入浴施設で浴槽水を原因としたレジオネラ症が発生している。いくつかの集団事例も発生し、死亡例も報告されている。このため、旧厚生省では、公衆浴場及び旅館業におけるレジオネラ症発生の防止対策等、一層の衛生水準の維持、確保を図る目的で、平成 12 年 12 月 15 日付で「公衆浴場における水質基準等に関する指針」を策定し、「公衆浴場における衛生等管理要領」及び「旅館業における衛生等管理要領」を全面改正した。このことは、北海道条例においても平成 13 年 11 月 1 日より施行されている。しかしながら、これ以後も全国的にレジオネラ症の報告が相次ぎ、現在に至っている。レジオネラ及び自施設についてよく理解しなければ、適切な衛生管理は難しいと思われる。

## 【レジオネラについて】

レジオネラ属菌は、一般的に自然界の土壌や河川、湖沼などに生息している。また、冷却塔水や渦流浴槽水などの人工環境水中では、増殖しやすく高率に検出される場合がある。アメーバなどの細菌捕食性原生動物に寄生し増殖することも知られている。

レジオネラ症には、主にレジオネラ肺炎とポンティアック熱の 2 種類の病型があるが、最近話題になっているレジオネラ症は、前者のレジオネラ肺炎である。一方ポンティアック熱は、インフルエンザに似た熱性疾患であり、いわゆる風邪の症状とも非常によく似ている。そのため、症状からレジオネラ症を疑うことは非常に難しいといわれているが、自然に治癒することが多く、予後は良好とされている。

## 【衛生対策】

人工環境水からレジオネラ属菌が高い菌数レベルで検出される時は、配管やろ材に老廃物と微生物からなる生物膜（バイオフィーム）が付着している場合が多い。この生物膜にはレジオネラ属菌の宿主となるアメーバが存在している。レジオネラ属菌はアメーバ内に取り込まれたときに増殖しやすく、活性が強くなる。アメーバ内で増殖したレジオネラはアメーバの体を破り、水中に拡散する。それまでレジオネラは、ある意味生物膜により保護されている。そのため、単に消毒だけでは生物膜内部まで効果が及ばない場合がある。したがって、適切な清掃（洗浄）と消毒をセットで行わなければ衛生対策効果が薄いと思われる。

一般的な塩素消毒を行う場合、例えば対象となる浴槽水がアルカリ性であれば、その殺菌効果が弱まることが知られている。その他、泉質等により一様な消毒効果が得られないこともある。

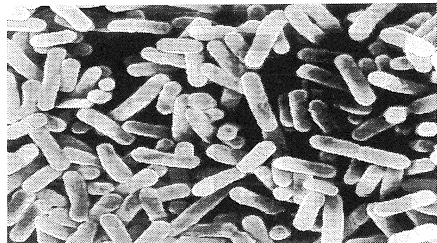
適切な衛生対策を行うためには、施設側の意識、知識、技術、体制、予算等いくつかの要素を考慮し、実行する必要があると思われる。

## レジオネラ感染症の病型

- 1.レジオネラ肺炎（劇症、中等度、軽症）  
新生児では血行性
- 2.ポンティアック熱
- 3.不顕性感染
- 4.種々の移行型

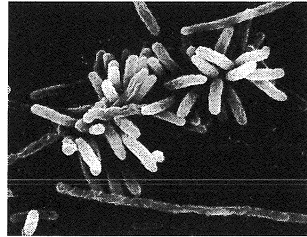
## レジオネラ肺炎の発見

- 1976年夏米国フィラデルフィアの在郷軍人大会において、集団肺炎が発生。
- 患者 221 名、死者 29 名
- 原因菌は新属新種、*Legionella pneumophila*



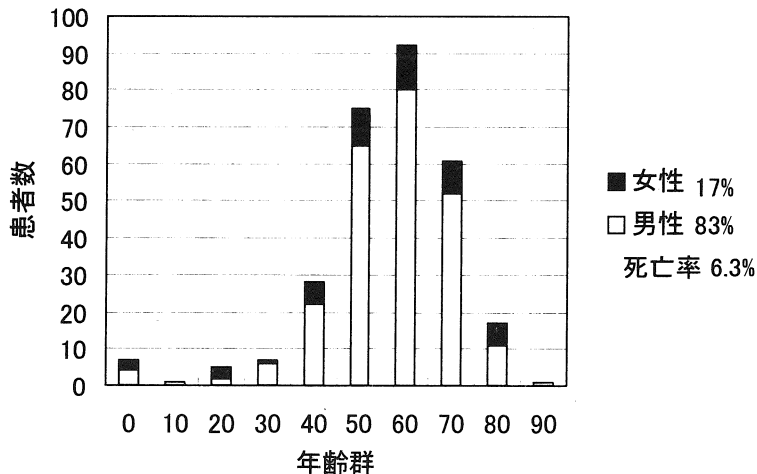
# レジオネラ症

- 平成11年4月、感染症法が施行され、レジオネラ症は全臨床医に届け出義務のある4類感染症となった。



## レジオネラ症患者の性別年齢別分布

1999.4-2001.12 (厚生省感染症発生動向調査)



# 病原性

- ・ 病原因子が未解明のため、全菌種がヒトに病気を起こす可能性があると考えられる。

## Legionella属菌48菌種のヒトへの病原性

臨床検体からも分離された菌種	環境からのみ分離された菌種	
<i>L. pneumophila</i> *a)	<i>L. adelaidensis</i>	<i>L. shakespearei</i>
<i>L. micdadei</i> *a)	<i>L. brunensis</i>	<i>L. spiritensis</i>
<i>L. longbeachae</i>	<i>L. erytra</i>	<i>L. steigerwaltii</i>
<i>L. dumoffii</i>	<i>L. fairfieldensis</i>	<i>L. worsleiensis</i>
<i>L. bozemanii</i>	<i>L. geestiana</i>	<i>L. lytica</i>
<i>L. feeleii</i> *a)	<i>L. gratiana</i>	<i>L. waltersii</i>
<i>L. gormanii</i>	<i>L. jamestowniensis</i>	<i>L. genomospecies</i>
<i>L. hackeliae</i>	<i>L. londiniensis</i>	<i>L. taumansii</i>
<i>L. israelensis</i>	<i>L. moravica</i>	<i>L. drozanskii</i>
<i>L. jordanis</i>	<i>L. nautarum</i>	<i>L. rowbothamii</i>
<i>L. sainthelensis</i>	<i>L. quateirensis</i>	<i>L. fallonii</i>
<i>L. maceachernii</i>	<i>L. quinlivanii</i>	<i>L. gresilensis</i>
<i>L. oakridgensis</i>	<i>L. tuberculigena</i>	<i>L. bellardensis</i>
<i>L. wadsworthii</i>		
<i>L. birminghamensis</i>		
<i>L. cincinnatiensis</i>		
<i>L. anisa</i> *a)		
<i>L. tucsonensis</i>		
<i>L. lansingensis</i>		
<i>L. cherrii</i>		
<i>L. parisiensis</i>		
<i>L. santicrocuis</i>		

\*a): ポンティアック熱の集団発生を引き起こした菌種

: 長波長紫外線照射により青白色の蛍光を発する。

: 長波長紫外線照射により暗赤色の蛍光を発する。

## 推定される感染源

1999.4-2001.12 (厚生省感染症発生動向調査)

	人数
温泉、入浴施設等	104
24時間風呂、自宅風呂	9
空調	6
土、塵埃	5
スポーツ施設、温水プール等	3
河川	2
腐葉土	2
井戸水	1
浄水場	1
下水道	1
計	134

## 浴槽水系はレジオネラの増殖を支持

42°C(20~35°C)前後で安定

- pH 5付近~10まで増殖
- 微生物の共存関係が成立

配管やろ材にバイオフィルムが存在

原生動物(アメーバ類など)の存在



平成12年12月15日の厚生省生活衛生局通知

「公衆浴場における衛生管理要領等について」  
(局長通達 衛生発第1811号、指導課長通達 衛指第133号)

「公衆浴場における水質基準等に関する指針」  
公衆浴場および旅館業において使用する水の水質基準、  
公衆浴場営業者衛生管理者が講じるべき措置の基準  
についての指針

新たにレジオネラ症発生の防止対策が加えられ、  
レジオネラ属菌類に関する水質基準  
浴槽水中に10CFU/100ml未満（現行検査法で不検出）

### 「公衆浴場における水質基準等に関する指針」 管 理 要 点

循環式浴槽に設置するろ過装置は1時間当たり浴槽の容量以上の処理能力があること

循環ろ過装置を使用する場合は、ろ過方式の種類を問わずろ過装置自体がレジオネラ属菌の供給源とならないように消毒を徹底すること

塩素系薬剤を用いた消毒を行うことが推奨され、具体的には浴槽水中の残留塩素濃度を1日2時間以上0.2～0.4mg/Lに保つことが推奨されたこと

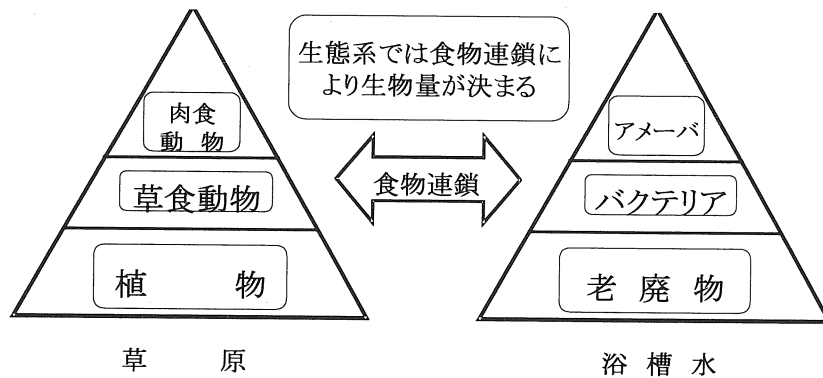
## 「公衆浴場における水質基準等に関する指針」 管 理 要 点

温泉の泉質等のため塩素が使用できない場合には、オゾン又は紫外線殺菌することとし、これらの装置を用いる場合には予めその効果を実証しておくこと

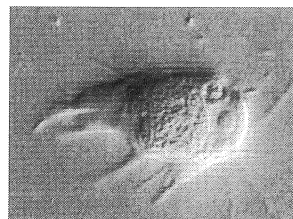
循環式浴槽では少なくとも1週間に1回以上の完全換水と清掃・消毒すること

毎日完全換水型循環式浴槽水では年に1回以上、連日使用型循環浴槽水では年に2回以上、レジオネラ汚染の有無を含めて検査すること

管理記録の3年間保存が義務付けられていること

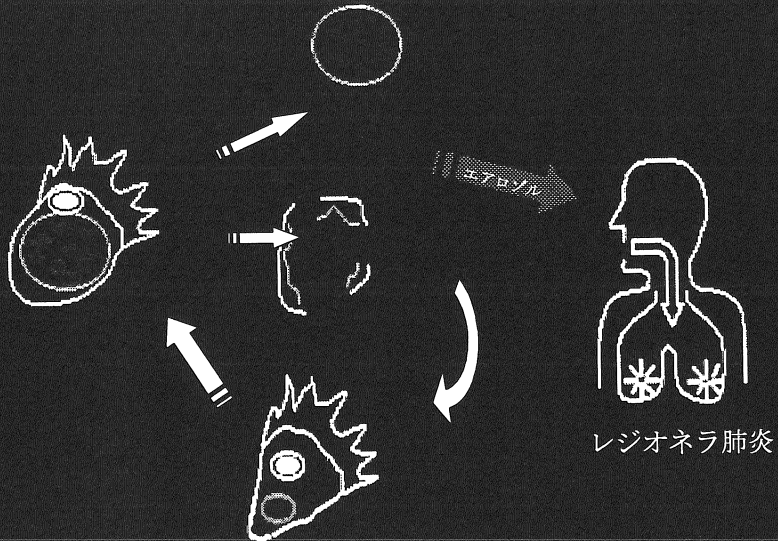


1. レジオネラはアメーバなどの原生動物に寄生して増殖する。
2. 循環系にバクテリアが繁殖しなければアメーバも繁殖せず、ひいてはレジオネラの増殖も起きない。
3. 循環系全体の洗浄・消毒が唯一のレジオネラ汚染の予防策である。



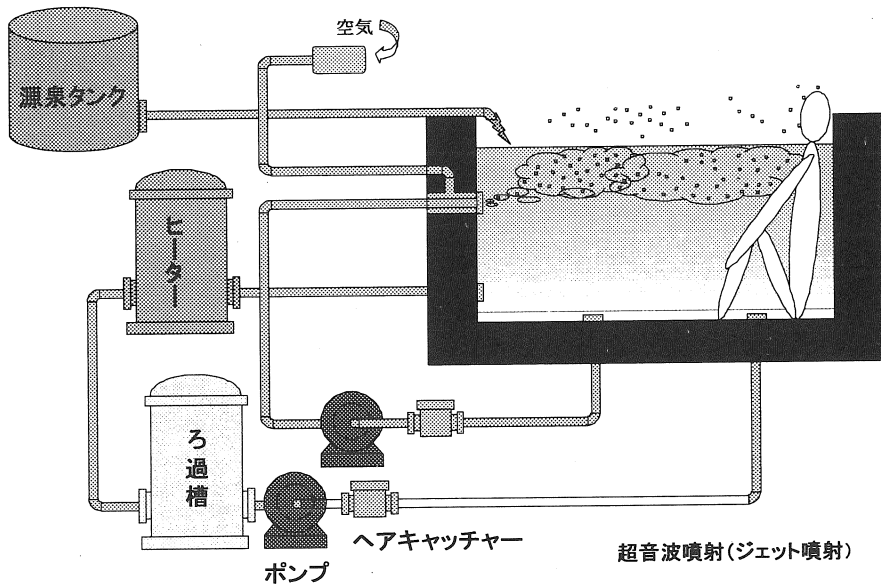
アメーバの中で増殖するレジオネラ

# Legionella 属菌の感染経路



環境水中での増殖形態

# 循環式浴槽装置

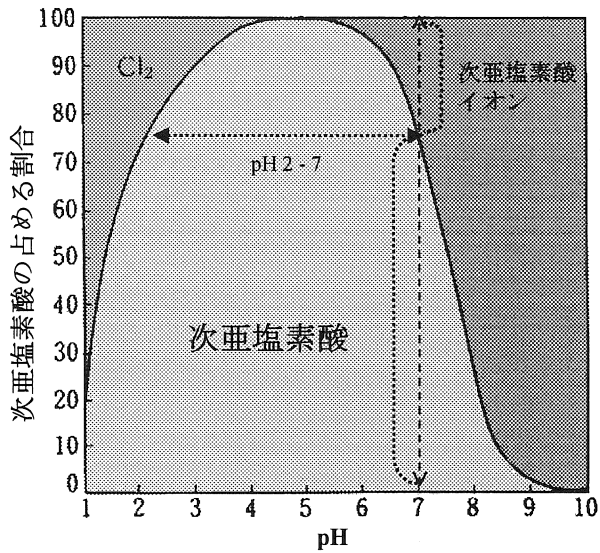


## 浴槽水系の洗淨の実際

- 手作業による清掃  
浴槽はきれいになるが、配管やろ過器の内部などはきれいにならない
- 薬剤による化学的殺菌洗淨  
配管内部のバイオフィルムも除去する
- 塩素の継続添加による処理  
残留塩素を維持して常時殺菌状態を保つ
- その他
  - 紫外線処理
  - オゾン処理、銀イオン処理

## 薬剤による化学的洗淨

- 薬剤洗淨により、バイオフィルム除去、配管も含め浴槽水系全体が殺菌される
- 使用する薬剤(例)
  - 汚れが激しいとき：過酸化水素 2～3%
  - 汚れが軽微なとき：次亜塩素酸 5～10ppm( $\text{Cl}_2$ )
- 洗淨方法(過酸化水素)
  - 浴槽の水量を減らして薬品を添加、2～3時間循環
  - 汚れとともに循環水を排水し、水を入れ替える
  - 薬品の放流先に注意する、必要に応じて中和する
  - 循環水が清澄になるまで水の入れ替えを行なう



## 塩素消毒

遊離塩素濃度は次亜塩素酸と次亜塩素酸イオンの総和。

⇒ 次亜塩素酸イオンに傾いてしまえば、消毒力は数十分の一に低下する。

⇒ pHの高い水では塩素消毒の効果は弱い。

水中の遊離塩素の形態とpHの関係  
(20℃、溶存物質100mg/L以下の場合)

# 講演

北海道の温泉行政と温泉法改正の概要

北海道保健福祉部薬務課

小野 和夫



# 北海道の温泉行政と温泉法改正の概要

北海道保健福祉部薬務課 小野和夫

## 1 はじめに

温泉法は昭和23年の制定以来、本質的な改正が行われてきていなかったが、法律の施行後50年余を経て、温泉をとりまく状況も変化してきており、とりわけ温泉の掘削に関しては、許可を受けながら近年の経済状況を反映して、工事に着手しないまま放置されるなど、結果として、温泉の有効利用の機会が失われている場合が多く見受けられていた。

また、温泉の成分分析については、これまで環境大臣が指定する指定分析機関のみが行っていたが、平成12年4月1日から施行された「地方分権の推進を図るための関係法律の整備等に関する法律」（地方分権一括法）により機関委任事務制度の廃止とそれに伴う事務区分の再編成が行われた中で、温泉法に基づく掘削許可や温泉利用許可等についても地方公共団体の自治事務とされていることを背景として見直しが求められ、これらの状況を踏まえ、平成13年6月27日に「温泉法の一部を改正する法律」が公布され、昨年4月1日から施行されている。

その概要について以下述べるとともに、併せて北海道の温泉行政の現況について報告する。

## 2 温泉法の一部改正について

### 2-1 温泉分析機関の都道府県知事への登録

地方分権および規制緩和の趣旨にのっとり、環境大臣による温泉成分機関の指定制度を改め、



一定の検査能力のある機関（営利、非営利を問わず）を都道府県知事に登録する制度とする。（14条2項及び15条から24条まで関係）

- ① 改正前は、環境大臣が86の非営利の分析機関（国の機関11、都道府県・市町村の機関52、公益法人23）を指定。

改正後は、民間機関でも温泉成分の分析能力を確保するための分析機器、分析に従事する者に関する基準を満たせば、都道府県知事へ登録の上、分析業務を行うことが可能。

- ② 改正前の指定制度は省令に基づくものであり、平成8年の「公益法人に対する検査等の委託等に関する基準」の閣議決定により、本件のような分析機関については、平成12年度末までに法律上の整備を求められていることに対応したもの。

- ③ 道内の登録状況としては、平成14年4月1日付けで、改正前の指定分析機関である道立衛生研究所及び北海道薬剤師会公衆衛生検査センターの2施設が登録済み。



## 2-2 温泉の成分等の掲示の届出の義務付け等

改正前は、都道府県知事が温泉の成分等の掲示内容を把握、指導する仕組みが法律上ない。

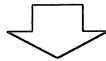


知事が、掲示内容について、事前に把握・指導ができるよう、事前の届出、不適切な内容に関する改善命令を規定。（14条3項及び4項関係）

- 改正前は、法律上温泉の成分等の掲示義務があるが、知事に対しては、省令で掲示内容の届出を規定しているのみ。義務を課するものは、法律で規定すべきであるとの考えにより、省令から法律に格上げがされた。

## 2-3 温泉の掘削等の許可の失効手続きの迅速化

改正前では、許可を受けた者が1年以上掘削に着手しない場合等において、都道府県知事は聴聞を行った上でなければ許可の取消ができない。



温泉掘削等の許可の有効期間を2年間とし、原則期限が到来すれば許可が失効することとする。（5条、6条関係）

- ① 温泉をゆう出するための土地の掘削等には都道府県知事の許可が必要となっているが、掘削の許可を得ながらこれを放置する問題事例が滞留（全国で800件）
- ② 改正前では、許可を受けた者が1年以上掘削に着手しない場合等において、都道府県知事は聴聞を行った上でなければ許可の取消ができないこととされている。
- ③ また、既存の許可が放置されると新規の掘削許可ができない事態が生じ、結果として温泉の有効利用の機会が失われる場合がある。
- ④ 許可制度の適正や工事の安全面からも問題であるため、許可の有効期間を設ける。ただし、災害その他やむを得ない理由により有効期間内に完了しないと予想される場合は、1回に限り2年を限度として、有効期間を更新することができることとする。（5条関係）
- ⑤ 温泉の掘削等の許可を受けた者は、その工事を完了し、又は廃止したときは、その旨を都道府県知事に届け出なければならないこととし、その届出があったときは当該許可は効力を失うものとする。（6条関係）

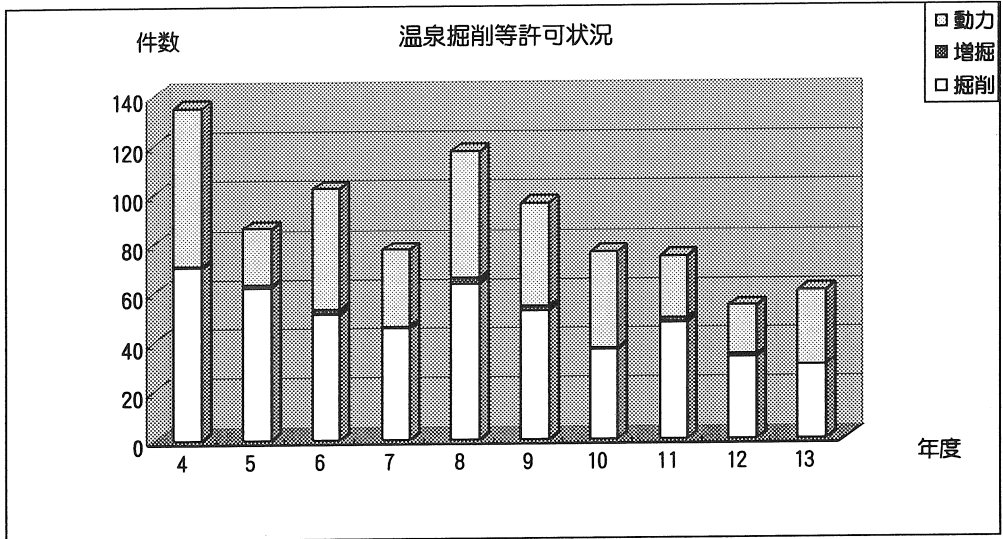
### 3 北海道の温泉行政について

#### 3-1 平成13年度部会開催状況及び審議件数並びに審議結果

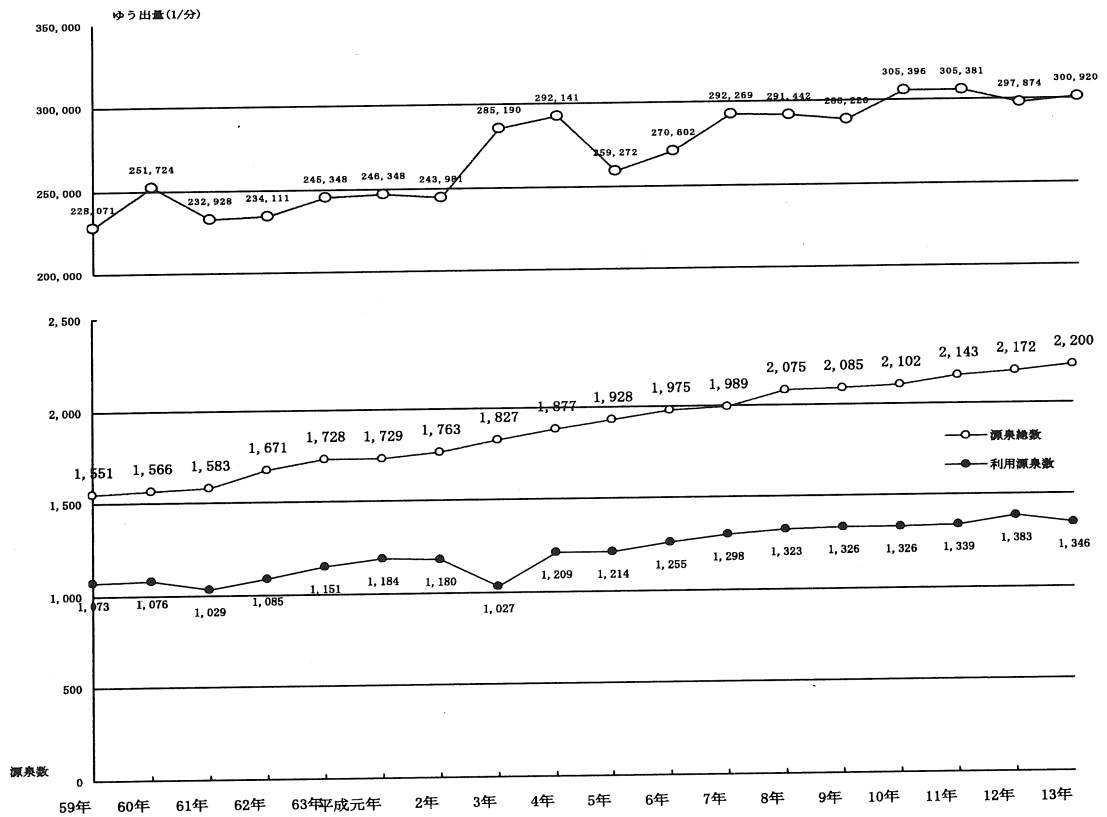
	第1回部会				第2回部会				第3回部会				第4回部会				合 計			
開催日	平成13年5月24日				平成13年9月12日				平成13年11月28日				平成14年2月22日							
開催場所	北方圏センター 特別会議室				札幌第1ワシントンホテル 4階ライラック				札幌第1ワシントンホテル 4階ライラック				プレスト 1.7ビル 2階H会議室							
許可申請 の種別等	許可 相当	不 許可 相当	保 留	計	許可 相当	不 許可 相当	保 留	計	許可 相当	不 許可 相当	保 留	計	許可 相当	不 許可 相当	保 留	計	許可 相当計	不 許可 相当計	保 留計	合 計
掘さく	11	0	2	13	9	0	0	9	5	1	0	6	5	0	0	5	30	1	2	33
増掘	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
動力装置	13	0	0	13	8	0	0	8	4	0	0	4	5	0	0	5	30	0	0	30
合 計	24	0	2	26	17	0	0	17	9	1	0	10	10	0	0	10	60	1	2	63

\*第1回の保留2件については、第2回で審議の上、許可相当との答申となっている。

### 3-2 温泉掘削等許可状況



### 3-3 源泉数・ゆう出量の推移



## 温泉行政及び温泉法改正の概要

### 改正温泉法の概要

- 温泉分析機関の都道府県知事への登録
- 温泉成分等の掲示の届出の義務化
- 温泉の掘削等の許可の失効手続きの迅速化

## 温泉分析機関の都道府県知事への登録

環境大臣指定機関(非営利団体のみ)



都道府県知事登録機関(営利、非営利を問わず)

## 温泉成分等の掲示の届出の義務化

省令においてのみ掲示内容の届出規定



義務を課すもの

法において掲示内容の届出規定

不適切な内容に関する改善命令

## 温泉の掘削等の許可の失効手続きの迅速化

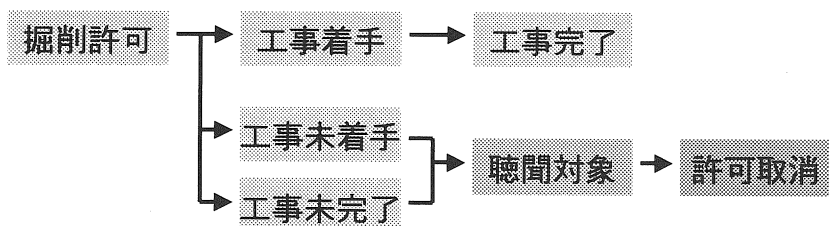
### 改正前

掘削等の許可を受けた者が、許可の日から1年以内に工事に着手せず又は着手後1年以上その工事を中止したときは、都道府県は、その許可を取り消すことができる。ただし、已むを得ない事由があるときはこの限りではない。

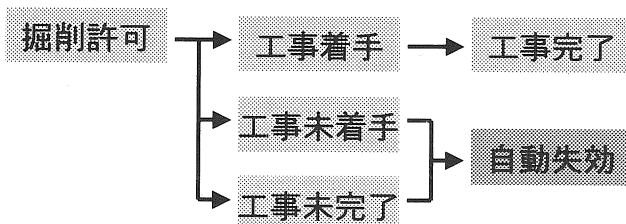
### 改正後

掘削等の許可有効期間は、当該許可の日から起算して2年とする。

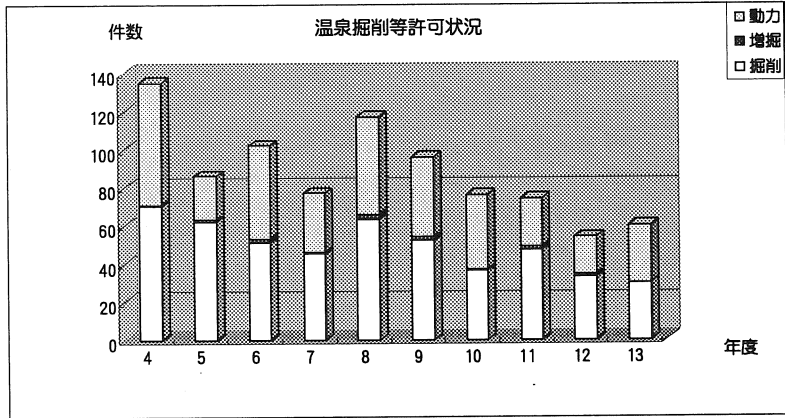
### 改正前



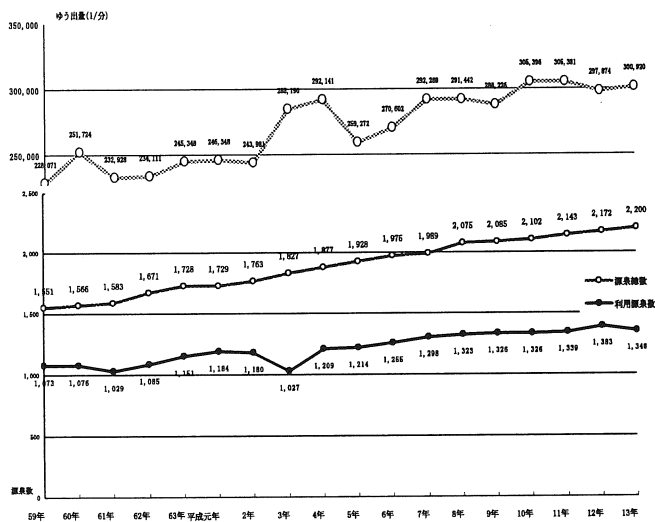
### 改正後



## 温泉掘削等許可状況



## 源泉数・ゆう出量の推移



# 講演

## 温泉水位の自然変動

－ 2000年有珠山噴火における蛇田GSH-1井戸の水位変化－

北海道立地質研究所

柴田 智郎





# 温泉水位の自然変動

## - 2000 年有珠山噴火における虻田 GSH-1 井戸の水位変化 -

北海道立地質研究所 柴田智郎

### 1. はじめに

被圧帯水層を仕上げ対象とする温泉井の自然水位は、気圧・潮汐・降雨・積雪荷重などさまざまな現象の影響があらわれる。これらの諸現象と水位応答との関連から、帯水層の水理特性を評価する試みが古くから行われている。たとえば、気圧応答に対する弾性モデル (Jacob, 1940) や地球潮汐応答に対する等方性媒質モデル (Bredehoeft, 1967) などは水理特性を評価する解析モデルとして有名である。

近年、地下水などの地殻内流体が地震などの地殻破壊や火山活動に直接関与していることが報告されており、地殻内流体の地震・火山活動に対する役割が世界的に注目されつつある。それゆえ、地下水の水理学および地球化学的な研究は地震・火山噴火予知に関する研究分野で重要性を増している。

本稿では、虻田 GSH-1 井戸を例にとり、自然水位変化から帯水層の水理特性を求めるとともに、2000 年有珠山噴火における水位変化について述べる。

### 2. 坑井と水位観測

虻田 GSH-1 井は、洞爺湖温泉街の南東端で有珠山山頂から北へ約 2km の距離に位置にある (第 1 図)。また、坑井地質および坑井構造の概要を第 2 図に示す。坑井地質は下位層から、新第三紀中新世の長流川層 (1002m 以深)・荘珠内川層 (381~1002m) から構成されている。その上部には、火山灰質の泥・砂及び礫混じりの砂からなる第四紀洪積世の柳原層 (163~381m) が分布している。この柳原層は難透水層であり、上部の温泉帯水層を含めたこの地域の帯水層の基盤である。深度 70~163m の間には、有珠山から噴出した外輪山溶岩から構成されており、この外輪山溶岩は非常に透水性が良く、洞爺湖温泉の帯水層を形成している。その上の深度 0~70m には、火山砂礫を主体とし

た扇状地堆積物や崖錐堆積物が薄く覆っている。虻田 GSH-1 井は深さが 1202m で、スクリーンは長流川層および荘珠内川層に位置している。

水位の観測は測定範囲が 10m の圧力検知式の水圧計を用いた。その水圧計は水深約 5m の位置に設置し、自動的に 10 分間隔で水位を測定するように設定した。

### 3. 地下水と地殻歪の関係

地殻歪変化をもたらすものには、自然界の現象として気圧・潮汐・断層クリープ・地震などが考えられる。このような地殻歪変化と地下水との関係についての研究は、地下の空隙率を直接反映する地下（井戸）水位を用いて行われてきた。ここで地下水とは、地中の空隙を完全に満たしている水のことである（空隙の一部を満たすものは除く）。そこで、地下水は不圧地下水（自由水面をもち、ここでは圧力は大気圧に等しい）と被圧地下水（上部を不透水性の地層に覆われ、自由水面をもたない地下水で上部の境界の水圧は一般に大気圧よりも大きい）に分けられる。そこで、それぞれの地下水を含む層を不圧帯水層、被圧帯水層と呼ぶ。一般に、地殻の体積歪変化の影響を直接受けるのは被圧地下水である。

地球潮汐による体積歪の影響を受けて井戸の水位が潮汐変化することは古くから知られていた。Melchior(1960)は不透水性の壁に囲まれ、水で満たされた球状の帯水層モデルを提案し、地球潮汐（潮汐歪）に起因する地下水の変化を定量的に解析した。一方、Bredehoeft (1967) は、上下を不透水層に挟まれ、水で飽和した弾性的で等方・均質な多孔質媒体を帯水層であるというモデルを提案した。これは、水平成層構造における地下水帯水層をイメージさせるが、岩盤中に発達した割れ目系に存在する地下水に対してもその割れ目の傾斜がそれほど大きくなく、個々の割れ目の向きがランダムであるならば、このモデルを適用することができる。このモデルに基づき、非排水条件（考えている系から水の出入りがないものとする条件）を仮定すると、地球潮汐による体積歪変化（ $\epsilon_v$ ）によって生ずる地下水位の変化（ $dh$ ）は以下のような簡単な式で表わされる。

$$dh = -\Delta_t/S_s \quad (1)$$

$$S_s = \rho g c_w \phi/BE \quad (2)$$

$$BE = -\Delta g dh/dP_{atm} \quad (3)$$

ここで、 $\rho$ は地下水の密度[ $\text{Kg/m}^3$ ]、 $g$ は重力加速度[ $\text{m/sec}^2$ ]、 $c_w$ は地下水の圧縮率[Pa]、 $\phi$ は帯水層の空隙率[-]、 $BE$ は気圧効率[-]、 $S_s$ は比貯留量[ $\text{m}^{-1}$ ]（水頭圧 {=水圧を水の高さで表したもの} の単位変化に応じて単位体積の帯水層から出入りする水量）、 $dP_{atm}$ は大気圧の変化[Pa]である。(1)式で符号が負になるのは、体積が縮んだときに水位が上昇することを意味する。同じように、(3)式で符号が負になるのは、大気圧は上昇したときに水位が低下することを示す。

第3図には1999年9月17日から1999年12月16日まで約3ヵ月間の水位データを示す。第3図に示すように水位は、気圧と潮汐の影響を受け、大きく変化している。そこで、潮汐解析プログラム Baytap-G を用いて (Tamura et al. 1991)、潮汐および気圧応答の解析を行った。潮汐および気圧応答から得られた比貯留量および気圧効率は、それぞれ  $1.5 \times 10^{-6} \text{m}^{-1}$  および 0.34 である。また、(2)式より帯水層の空隙率が 11%と求められる。得られた空隙率は、秋田(1989)の物理検層結果の値 (3-13%) と一致している。

次に、気圧変化に伴う地下水位の緩和応答について述べる。等方・均質を仮定すると、垂直方向の一次元の帯水層の圧力変化は

$$\partial p(z, t) / \partial t = c \partial^2 p(z, t) / \partial z^2 \quad (4)$$

$$c = \kappa / S_s \quad (5)$$

の流動方程式で表される。このとき、 $p(z, t)$ は空隙圧[Pa]、 $\kappa$ は透水係数[m/sec]、 $z$ は垂直方向の距離[m]、 $t$ は時間[sec]である。いま  $t=0$  で、表面 ( $z=0$ ) の気圧が突然 (デルタ関数的に) 変化したときの水位応答を考える。このとき、単純な半無限の帯水層を考えると、このときの水位の過渡応答は

$$p(z, t) = p_0 \operatorname{erf}(z/\sqrt{4ct}) \quad (6)$$

というエラー関数で表されることが知られている(Wang, 2000)。そこで、観測された気圧に対する水位変化を(6)式にあてはめると、透水係数は  $2.4 \times 10^{-10} \text{m/sec}$  と見積もられる。この値は標準的な花崗岩の透水係数に調和的である。

#### 4. 2000年有珠山噴火における水位変化

観測された水位変化から気圧と潮汐の影響を取り除くとドリフト (またはトレンド) と呼ばれる変動成分が得られる。ドリフトの変動は、1999年9月から1999年12月の間、ほぼ一定であるが、2000年有珠山噴火の約3ヵ月前の、1999年12月中旬に0.04m上昇し、その後、

-0.02m/月の割合で変化していることがわかる。さらに、この水位変化を体積歪に変換すると、0.04mの上昇は $6 \times 10^{-8}$  strainの圧縮歪に、-0.02m/月の水位低下は $3 \times 10^{-8}$  strain/月の伸長歪に対応する。この体積歪変化はマグマの活動に伴って生じたものと考えられ、その活動は少なくとも噴火の約3ヶ月前から起きていたことがわかった (Shibata and Akita, 2001; Shibata et al., 2003)。

2000年3月28日午前0時30分に水位が5m以上低下した。その後については記録範囲外でどうなっているかわからないが、2000年4月3日午前5時50分突然水位が上昇し、噴水のように地表面から高さ10-20m吹き上げている(秋田ほか2000)。1999年12月以前の水位は地表面から約85mの深さであることから、少なくとも100mは水位が上昇したと考えられる。このことから、3月28日から4月3日の間でGSH-1源泉の帯水層が破壊され、破壊された帯水層に火山性の高圧流体が供給され、4月3日に観測された水位上昇が生じたものと思われる。

## 5. おわりに

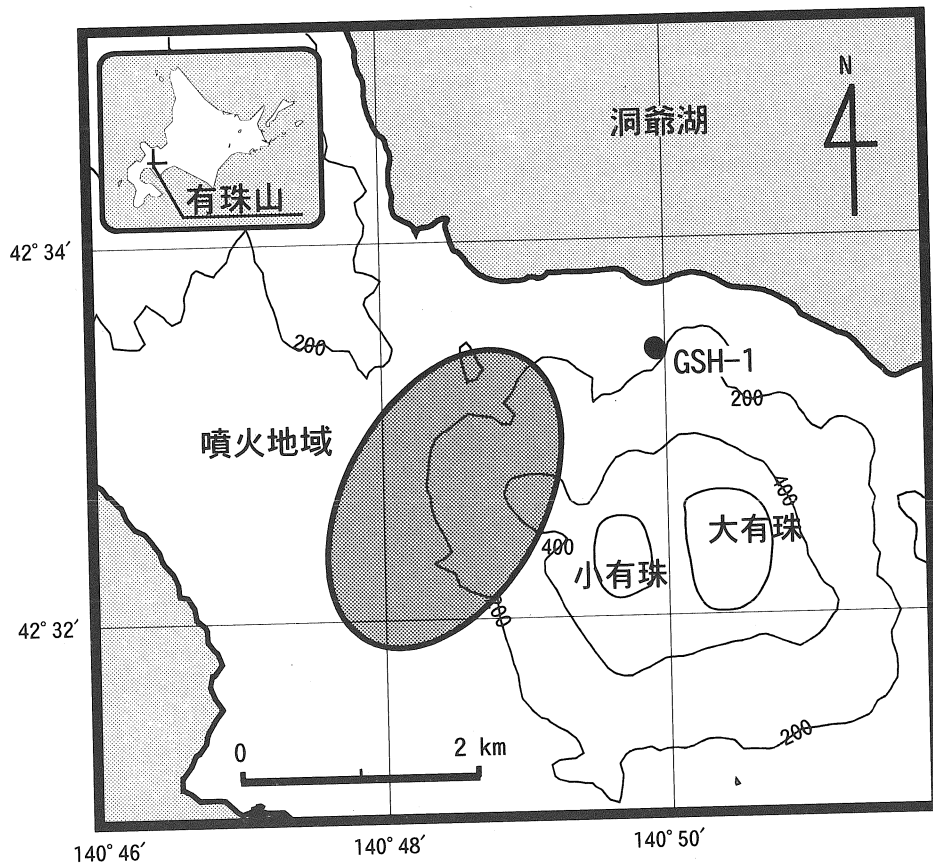
本稿で示したように、自然水位変動解析から帯水層の水理特性を推測することができる。得られた貯留係数、空隙率および透水係数は既存資料から判断して妥当な値と思われる。また、2000年有珠山噴火前に観測された地下水位変化の異常は、噴火の約3ヶ月前から確認でき、今後の噴火活動予測研究においても重要な観測事実が得られた。

また、他の火山噴火活動や地震活動においても、その周辺で地下水井に顕著な水位変化が生じたことが報告されているこのことから、火山噴火活動や地震活動に伴う地下水研究は非常に興味深いものである。

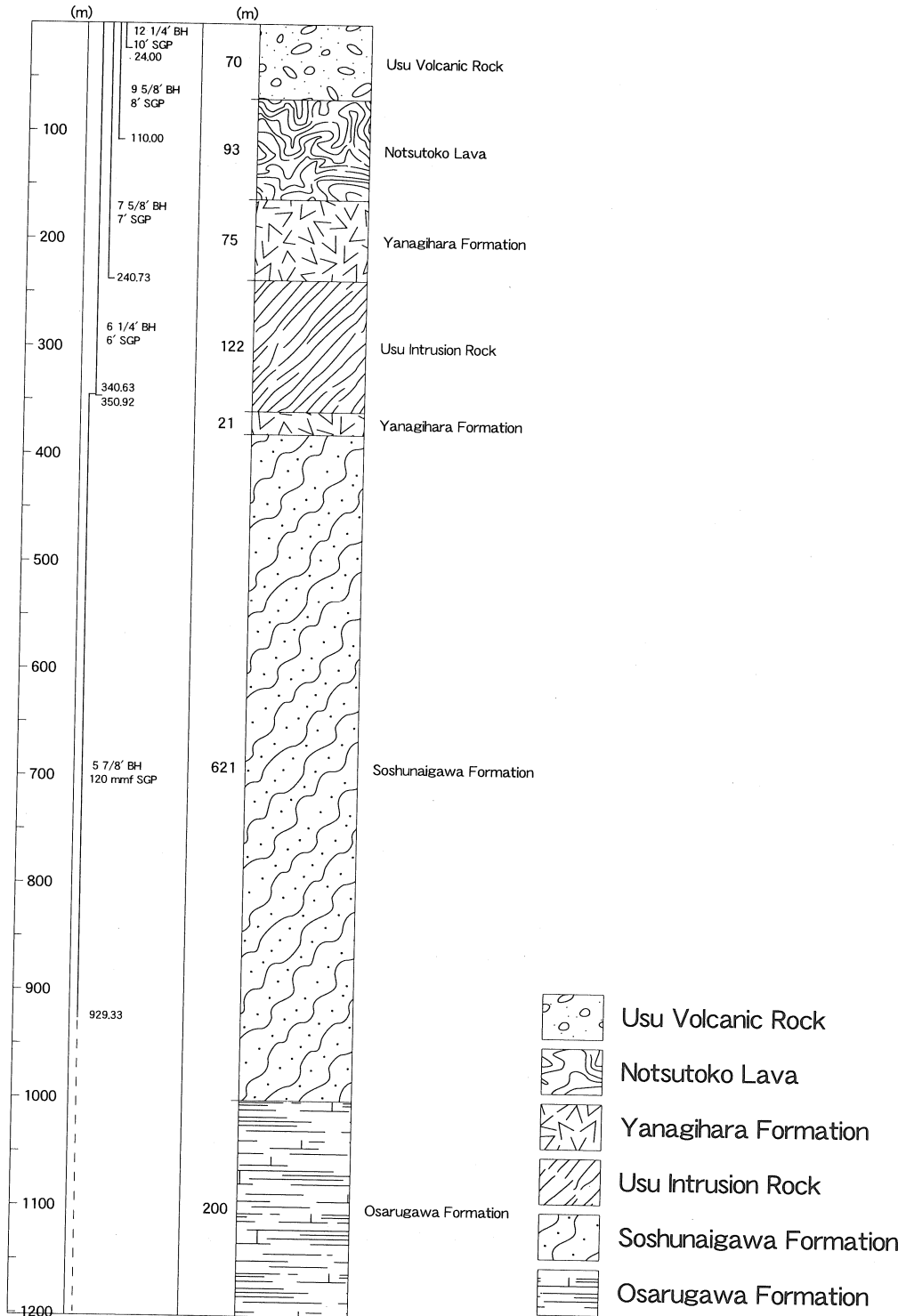
## 参考文献

- 秋田藤夫 地熱井における物理検層解析 -地熱調査井・虻田 GSH 1 をケーススタディとして-, 地下資源調査書報告, 第 61 号, 1-18, 1989.
- 秋田藤夫・柴田智郎・鈴木敦夫・松島喜夫・佐藤 努, 有珠山噴火に伴う温泉・地下水の変化(速報), 温泉科学, 50, 43-46. 2000.
- Bredehoeft, J., Response of well-aquifer system of earth tides, *J. G. R.*, 72, 3075-3087, 1967.

- Jacob, C. E., On the flow of water in an elastic artesian aquifer, *EOS Trans. AGU*, **21**, 574-586, 1940.
- Melchior, P., Die gezeiten in unterirdischen flüssigkerten, *Erdoel Kohle*, **13**, 312-317 1960.
- Shibata, T. and F. Akita, Precursory changes in well water level prior to the March, 2000 eruption of Usu volcano, Japan, *Geophys. Res. Letts.*, **28**, 1799-1802, 2001.
- Shibata, T., N. Matsumoto and F. Akita, Fluctuation in groundwater level prior to the critical failure point of the crustal rocks, *Geophys. Res. Letts.*, **30**, 10.1029/2002GL016050, 2003.
- Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, and M. Ishiguro, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516, 1991.
- Wang, H. F., *Theory of linear poroelasticity with applications to geomechanics and hydrogeology*, Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey, 2000.

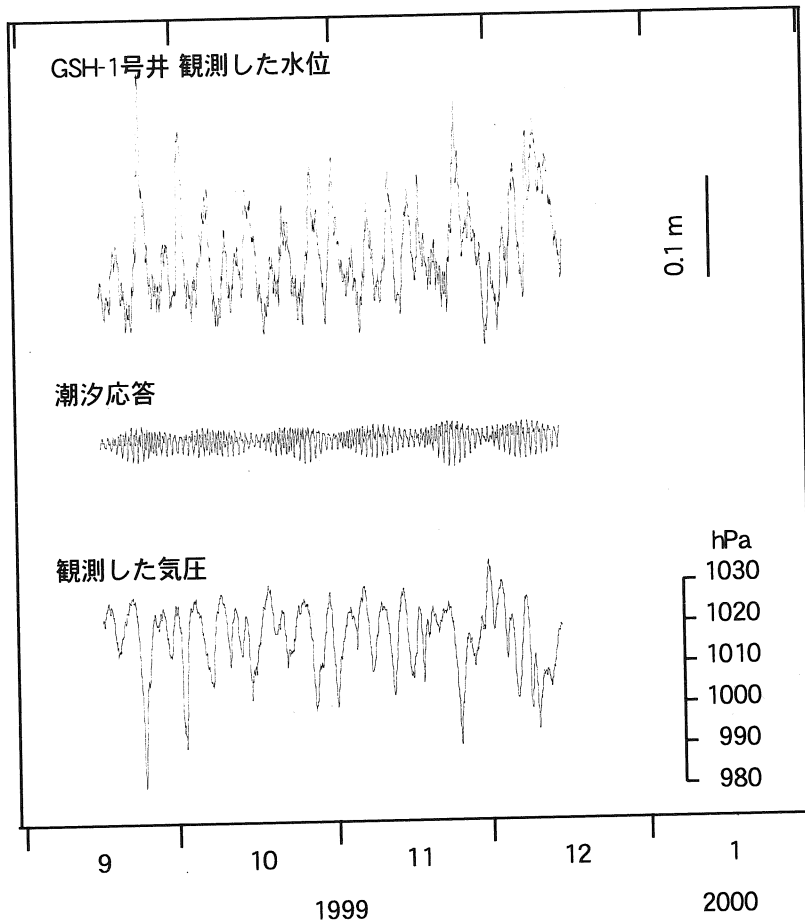


第1図 坑井位置図



第2図 虻田GSH-1井の坑井地質と坑井構造

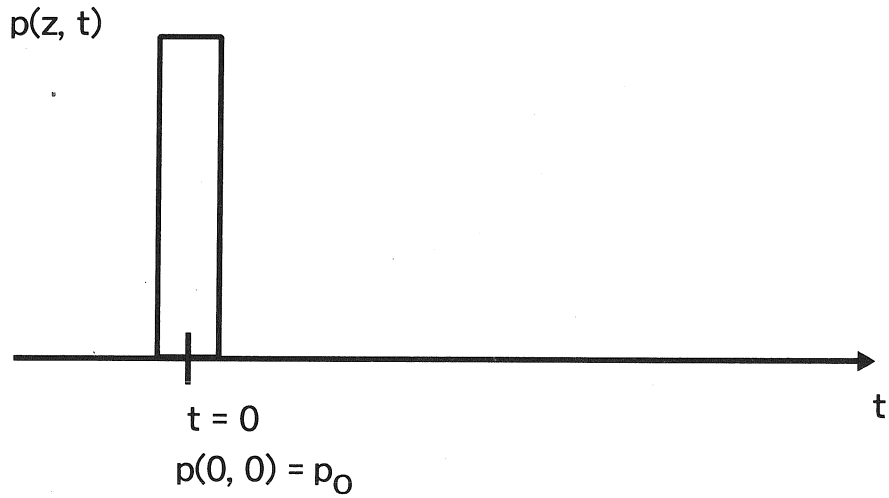




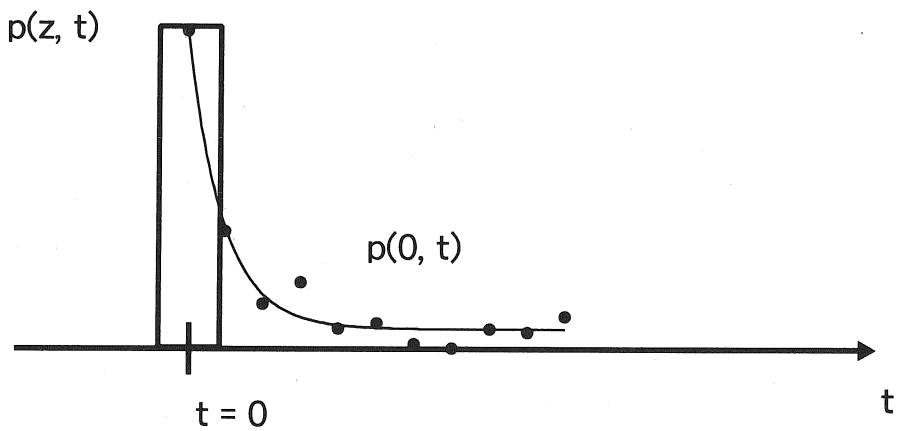
第3図 1999年9月17日から1999年12月16日までの水位変化

A

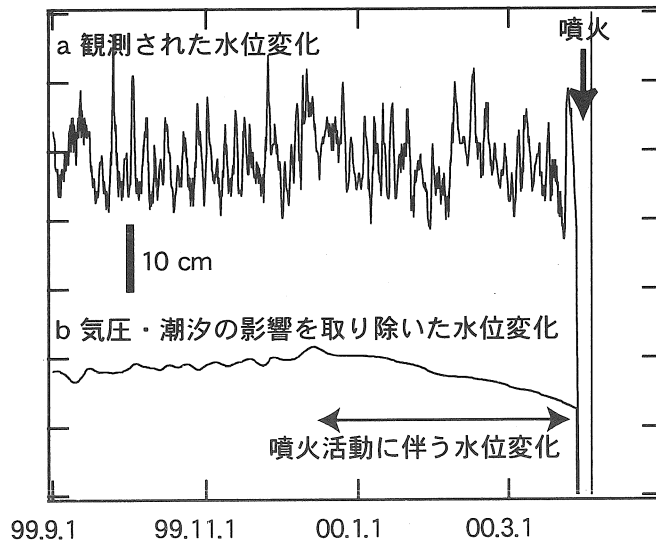
$$P_{\text{atm}} = P_0$$



B



第4図 気圧変化に伴う水位応答  
観測における気圧がステップ上に気圧変化が起きたと仮定し(A)、  
その気圧変化の水位の緩和応答(B)



第5図 観測された水位変化と気圧・潮汐の影響を取り除いた水位変化

# 講演

ジオスライサー調査法

復建調査設計(株)

原口 強



# ジオスライサー調査法



復建調査設計㈱東京支社 原口 強  
博士(工学)、技術士(応用理学)

## 1. はじめに

地下の地質をそのまま抜き取って、手にとって見る事ができれば、……。これは、地質・土質技術者の夢である。その夢に挑戦した技術が、ジオスライサー調査法(図1、図2)である。ジオスライサー調査法は、地層を定方位で面的にかつ連続的に採取できる手法および装置(特許番号2934641)である。

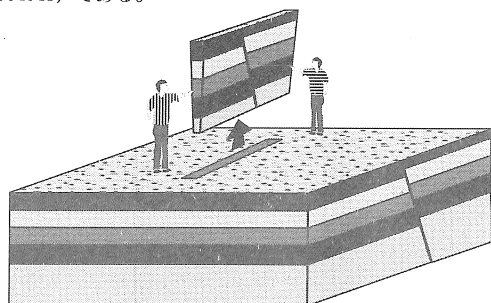


図1 ジオスライサーのイメージ



図2 四国の中央構造線での採取例

建設土木事業の遂行において、地質調査は重要な役割を担っている。通常、サイトの地質・土質を把握する作業は、ボーリングを中心に行われている。今後も、基本的な流れは変わらないと考えられる。ただし、ボーリングも万能ではない。

多様化し、高度化した設計施工に対応するには、地下の地層をより詳細に調査できる技術が必要である。このような背景から、開発した技術、それがジオスライサー調査法である。

ジオスライサー法開発の第一歩は、現在のボーリング技術が不得意とする分野とした。すなわち、含水した未固結地層の定方位連続地層採取方法である。

ここでは、まずジオスライサーの概要を紹介する。次に、活断層調査、液状化層、海浜堆積物、地すべり調査等の事例について述べる。

## 2. ジオスライサーの概要

ジオスライサーは、堆積構造を乱さずに定方位で面的にかつ連続的に採取できる手法および装置(図3)である。その方法は、サンプルボックスとシャッタープレートとを、地中で併合させるようにそれぞれ別々に地中に打ち込み、2枚の平板にはさまれた地層を抜き取る方法である。

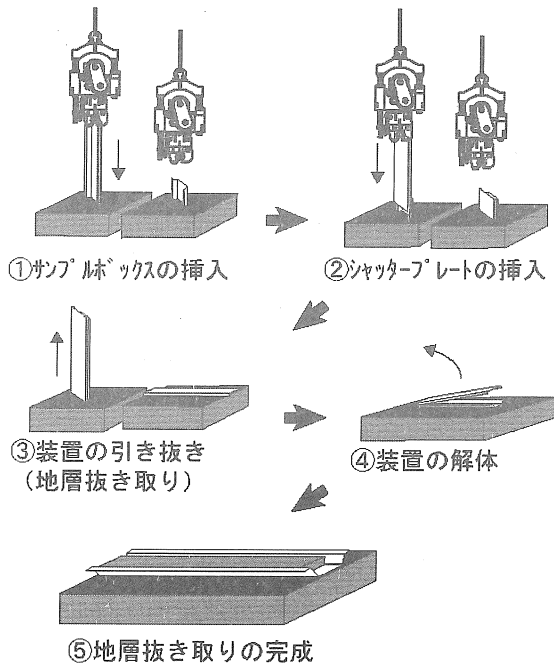


図3 ジオスライサーの概略図

## 2. 1 ジオスライサーの種類

### (1) ワイドジオスライサー

目的：主に幅広く、浅い地下断面を採取すること  
概要：専用ツールで幅 1~1.5m、深さ 4m 程度まで



図4 ワイドジオスライサー

### (2) ロングジオスライサー

目的：主にやや深い地下断面を採取すること  
概要：専用ツールもしくは、通常の矢板（シートパイル）を利用して、幅 0.4m 程度、深さ 15m 程度まで

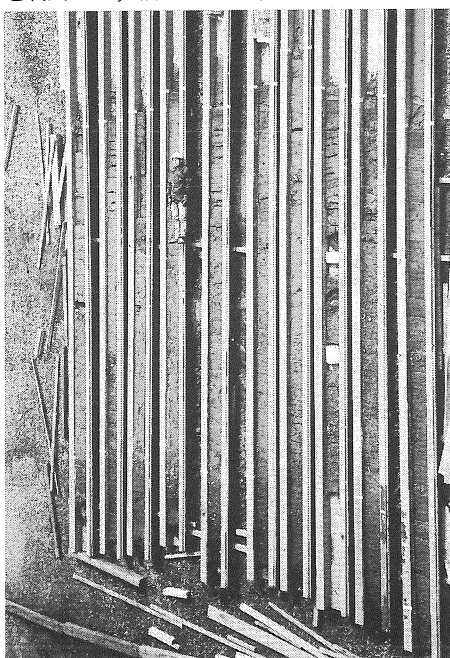


図5 ロングジオスライサー

### (3) ハンディジオスライサー

目的：主に人力で、浅い地下断面を採取すること  
概要：専用ツールで幅 0.1m、深さ 1.5m 程度まで

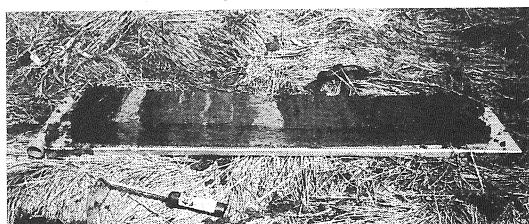
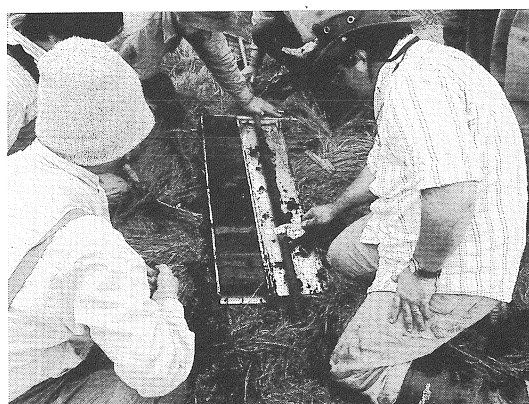
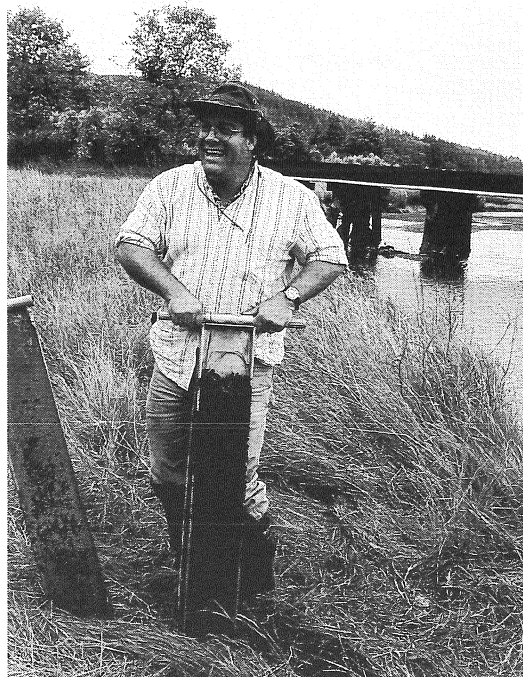


図6 ハンディジオスライサーの採取例とサンプル

### 3. 事例

#### (1) 活断層調査

活断層調査では、地盤を掘削し壁面の地層断面を観察し、地層の変形や変位状態から活断層の活動履歴を読み取るトレンチ調査が主体である。

最近では、広い面積を必要とするトレンチ調査用地の確保が難しくなっている。また、地下水の高いところでの作業は、施工性が悪く高コストとなる。トレンチ調査法では、垂直な壁面作成は現実的には難しく、さらに長時間にわたる壁面での危険な観察作業を伴う。これらの問題を解決し、さらに貴重な地質データを最小限の地盤破壊で得る方法として、ジオスライサー調査法は、採用されている。

さらに、最近ではトレンチ調査とジオスライサー調査を組み合わせた方法をとるケースも増えている。トレンチ調査で断層の位置を特定し、その下位を確認したい場合が出てくる。この際、両者の利点を組み合わせ、短期間に多くの情報を得ることも可能となっている。丹那断層(図7)や米国ヘイワード断層(図8、9)の調査では、この方法を採用している。

ジオスライサーで採取したサンプルは、断層そのもののサンプリングも容易で、CTによる内部構造観察(図10)も可能である。



図8 丹那断層

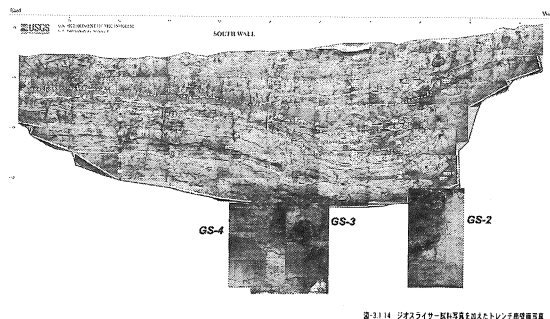


図8-3114 ジオスライサー-断層写真と土質トレンチ調査結果

図8 ヘイワード断層(米国)

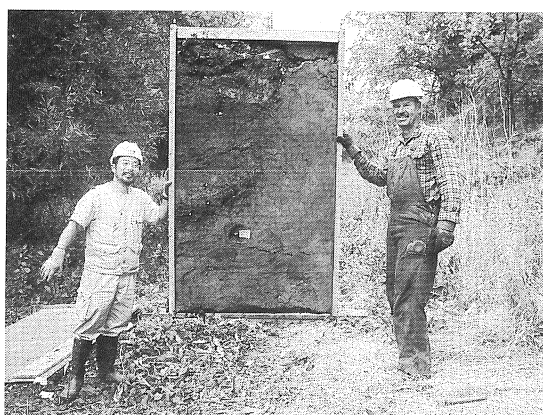


図9 ジオスライサーで採取したヘイワード断層(米国)

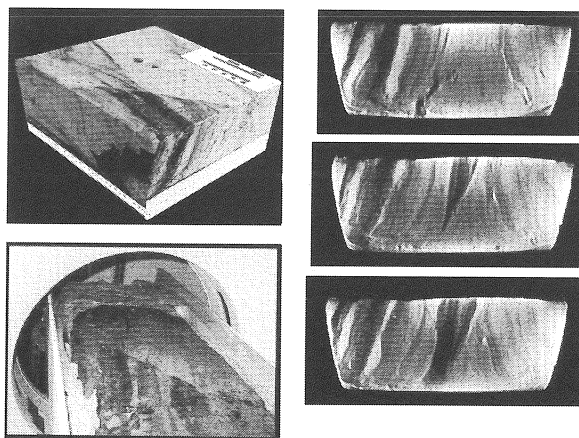


図10 断層のX線CTによる観察例(神城断層)

#### (2) 液状化層の調査

大地震の直後、埋立地や旧河道沿いでは液状化に伴う噴砂現象が見られる。液状化は、多くの土木建築構造物に深刻な被害をもたらす。しかし、液状化直後の地下の様子を直接観



察することは技術的に難しかった。液状化メカニズムの解明と地震防災面から、地下の様子を直接観察することは重要である。これらの要求の解決方法として、ジオスライサー調査法は、採用されている。

図11は鳥取県西部地震に伴う噴砂列、図12は噴砂列をジオスライサーによって採取した事例である。噴砂は昭和53年頃の埋め立て地盤で発生し、今回の鳥取県西部地震で初めて大きな地震動を経験し、噴砂が発生した地点である。



図11 液状化に伴う噴砂列(鳥取県西部地震)



図12 噴砂の地下断面(鳥取県西部地震)

図13、14は米国コロンビア川での作業状況で、西暦

1700年に発生したカスケード地震に伴う液状化現象を、河口から約40km上流のハンティングアイランド河岸で調査した様子である。図15は採取サンプル、図16は採取サンプル中のサンドダイクで、壁面からもたらされたマッドクラストも明瞭に認められる。

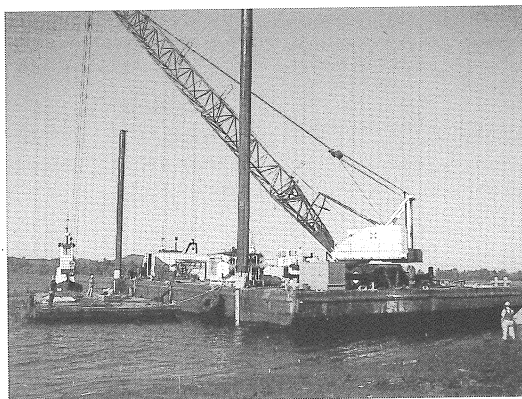


図13 米国コロンビア川で使用した作業台船

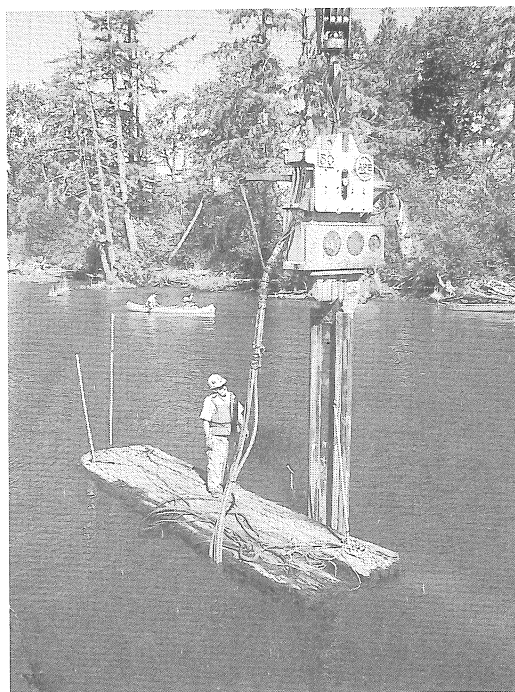


図14 コロンビア川でのジオスライサー作業状況

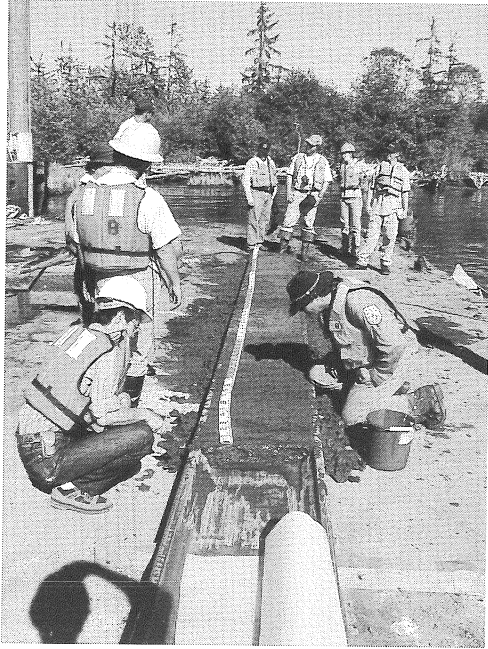


図15 採取サンプルの状況



図16 採取サンプル中のサンドダイク

### (3) 海浜・干潟堆積物の調査

温暖化による地球環境変化は、海岸地形に大きな影響を及ぼす。干潟を含む海浜堆積物は、人為的なものを含め、過去数百年～数千年間の地球環境変化を記録している。海浜環境

の将来予測には、現在の海浜堆積物を詳細に調べることが重要である。ただし、こうした堆積物を、定方位で連続的に採取できる手法がなかった。ジオスライサーは、その意味で、海浜堆積物調査のブレイクスルーとなり得る。

図17は河口干潟でのジオスライサー作業状況、図18はジオスライサーで採取した海浜堆積物の断面である。

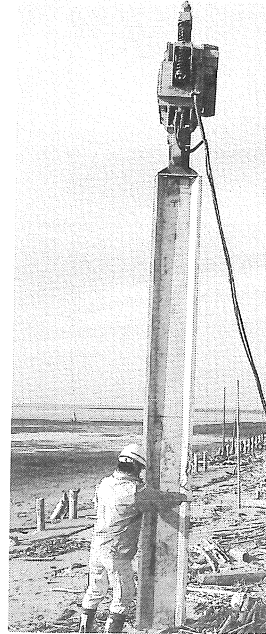


図17 河口干潟でのジオスライサー作業(小櫃川)

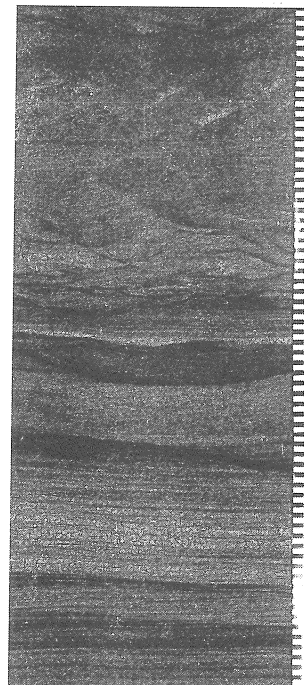


図18 海浜堆積物(いわき海岸)

#### (4) 津波堆積物

地震時、沿岸域では、津波による災害が問題となる。過去の津波の履歴を調べるには、古文書があるが、具体的証拠としては、地層中に保存されている津波の痕跡も重要となる。むしろ歴史記録の乏しい地域においては、地層中の津波堆積物が唯一の物的証拠となる。

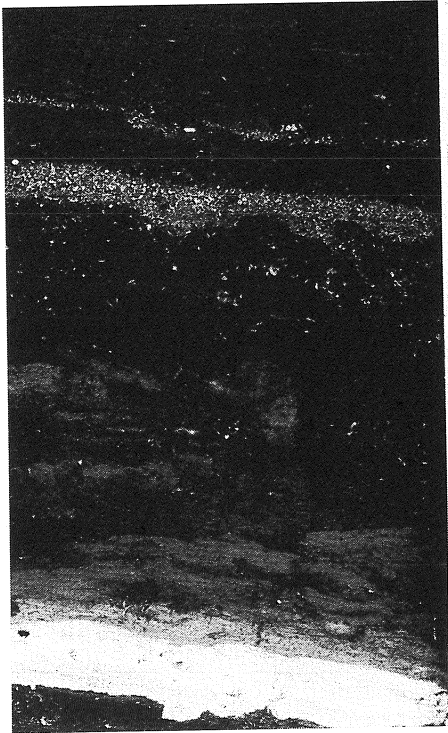


図19 津波堆積物の例

図19は十勝沿岸で採取した津波堆積物の例である。ここ

では、当時の地表面を削り込んだ津波砂層の形態が明瞭に確認され、同時にテフラを数枚確認することができ、年代を特定する指標となっている。

#### (5) 河川堆積物

河川管理者にとって、過去の河道変遷、洪水前後の河床変化、さらに堤防の補修履歴を把握することは重要である。通常は工事記録や定期的に行われる横断測量等のデータがあるが、設計検討する際必ずしも十分でない場合がある。このとき、直接対象となる地点の地層断面を観察することによって、その履歴を明らかにすることができる。

しかしながらこうした調査は、流水の見られる河道内でのサンプリングが難しいことなどから、ほとんど行われてこなかった。

図21は、河道内で実施したジオスライサーのサンプル（幅40cm）の一部である。成層した粘土質堆積物の表面に重機の爪で削られた痕が明瞭である。上位の地層は洪水時のごみや葉っぱが主体で、腐乱臭をともない、内部からは年代を示すたばこの空き箱が見つかった。その上位はきれいなラミナをもつ砂層で覆われている。こうした事実から河床掘削の時期とその後の環境変遷の履歴を読み取ることが可能となる。

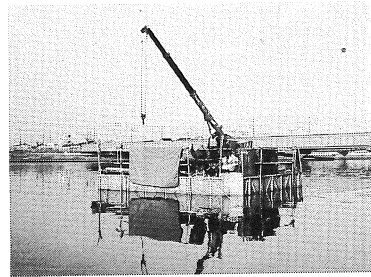


図20 河川内での作業状況



図21 河道内のジオスライサーサンプル例

## (6) 地すべり調査

地すべり調査では、本来、地すべり面を直接採取・観察・分析することが求められている。しかし、多くの労力とコスト、さらに活動中の地すべりでは、作業の危険を伴うことからほとんど行われていない。ジオスライサー調査は、移動活動中の地すべりでも、地すべり面をそのまま採取できる技術である。こうしたことから、これまであきらめていた地すべり面採取が可能となり、地すべり調査に大きく貢献できることが予想される。

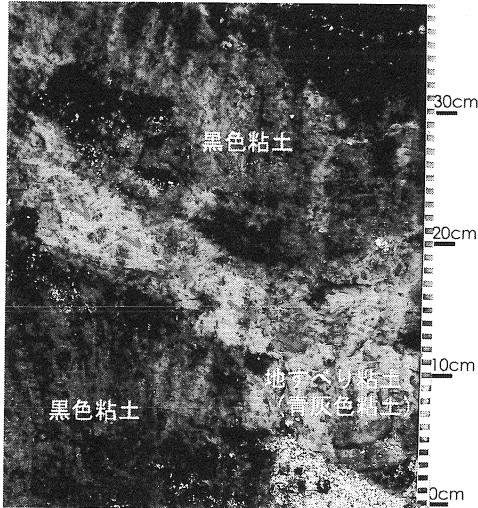


図 22 ジオスライサーで採取したすべり面

すべり面が深い場合は、採取できるサンプルの大きさが制限されるが、大口径ボーリングとの組み合わせによって実施することができる(図23)。図24はパイレーション式ボーリングマシンとの組み合わせによる方法である。すべり面直上までは、二重間方式でノンコア掘削し、必要な深度のサンプルのみを定方位で採取する方法である。

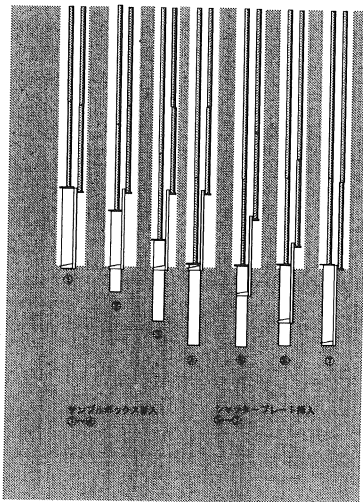


図 23 大口径ボーリングとの組み合わせによる定方位サンプリング方法

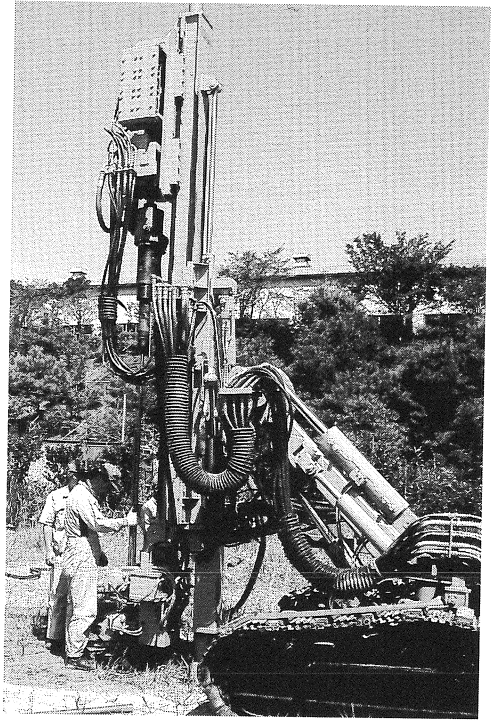


図 24 パイレーション式ボーリング



図 25 採取サンプル例

## 4. まとめ

ジオスライサー調査法は、技術者の長年の夢であった地下を取り出して観察するという行為を実現した画期的な考え方であり、技術である。ここでは、現時点で実現している手法と、事例を述べた。今後、この技術を広く展開していくとともに、固結堆積物、岩盤調査への適用についても技術開発を行っていきたい。

<参考文献>

- 1) 中田高・島崎邦彦 (1997); 活断層研究のための地層抜き取り装置 (ジオスライサー), 地学雑誌, 106, pp59-69.
- 2) 原口強・中田高・島崎邦彦・今泉俊文・小島圭二・石丸恒存 (1998); 未固結堆積物の定方位連続地層採取方法の開発とその応用. 応用地質, 第 39 巻 3 号, pp306-314.



# 講演

ショックツール効果の実証について

石油鑿井機製作(株)

岩見 高





# ショックツール効果の実証について

石油鑿井機製作株式会社

はじめに

国内の地層は、海外の地層に比べ岩相変化が激しく、地層によっては激しい振動が伴う掘削作業が余儀なくされてきました。また、掘削設備などの理由により、ビット荷重がかけられない等の状況が振動発生の原因となることもありました。

従来、石油・ガス・地熱・温泉井掘削による振動の吸収装置として、外国製ショックツール(ショックガード,ショックサブ等)が国内において多数紹介されてきました。

当社としては、近年の掘削環境問題(振動,騒音など)を解消することにショックツールは有効であること、掘削作業においては、ビット寿命,掘進率の向上が望めると判断し、国内産ショックツールの開発に取り組みました。また、ショックツールを国産化することで、アフターサービス(テクニカルサービス)、メンテナンス等の機動性を向上させること、及び、従来、海外製品であるがゆえに、ショックツール本体を予備品として現場で余分に保有しなければならない状況を、国産化により予備品保有数を減少させることで、掘削費のコストダウンに有効であると考えました。

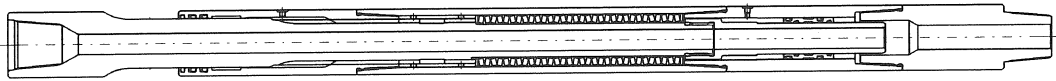
これらのメリットを踏まえ、ショックツールを製品化し、各地の掘削現場で使用した結果を基に、その効果の実証について御紹介致します。

## 1. ショックツールの効果

- (1) 掘削振動を低減
- (2) 掘削振動に伴う騒音を低減
- (3) 掘進率の向上
- (4) ビット寿命の向上
- (5) 掘削振動によるストリングスへのダメージ低減



## 2. 仕様



品名	4-3/4" ショックツール	6-1/4" ショックツール	8" ショックツール
型番	ST-4-3/4×2100× 3-1/2IF・B×3-1/2IF・P	ST-6-1/4×2400× 4 IF・B×4 IF・P	ST-8×3000× 6-5/8REG・B×6-5/8REG・P
外径	4-3/4" φ120.65 mm	6-1/4" φ158.75 mm	8" φ203.2 mm
全長 (ピン部含まず)	2100 mm	2400 mm	3000 mm
内径 (泥水通過径)	φ44.45 mm	φ50 mm	φ63 mm
上部接続ねじ(BOX)	3-1/2 IF	4" IF	6-5/8 REG
下部接続ねじ(PIN)	3-1/2 IF	4" IF	6-5/8 REG
重量	1422 N (145 kgf)	2942 N (300 kgf)	6276.5 N (640 kgf)
最大負荷 (圧縮・引張)	213.8 kN (21.8 tonf)	305 kN (31.1 tonf)	396.2 kN (40.4 tonf)
最大ねじれ負荷	39.2 kN・m (4 tonf・m)	68.6kN・m (7 tonf・m)	145.1kN・m (14.8 tonf・m)
最大圧縮移動量	50 mm	70 mm	70 mm
最大引張移動量	40 mm	50 mm	50 mm
推奨常用 ビット荷重	29.4 kN (3 tonf) ~ 98.1 kN (10tonf)	58.8 kN (6 tonf) ~ 117.6kN (12tonf)	98.1 kN (10 tonf) ~215.8kN(22tonf)
推奨ビットサイズ	5-5/8 ~ 6-3/4	7-5/8 ~ 8-5/8	9-5/8 ~ 14-3/4

### 3. ショックツールの構造

ショックツールの構造を大きく分類すると、掘削トルクを伝達しながら、振動と共に上下運動をするスプライン、振動を吸収する直列積層皿ばね、ショックツール内部と外部との圧力バランスを行う為のピストンです。また、内部には潤滑油が充満しており、潤滑油の流出と外部泥水の侵入を防ぐ為、上部には3連シール、ピストン内外径にはダブルシールを設けています。

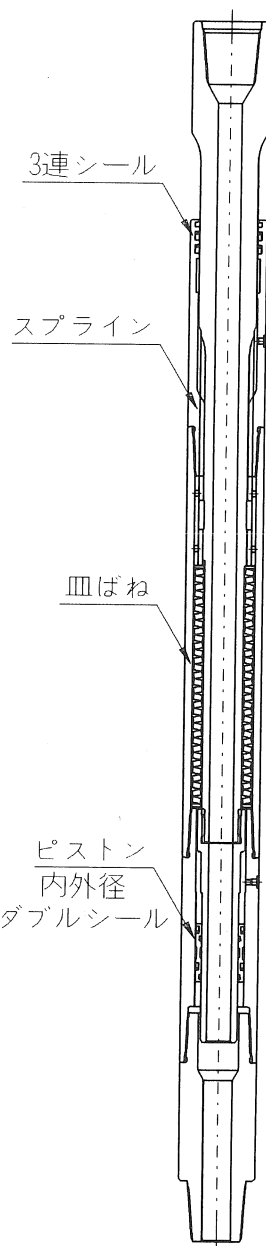
### 4. ショック吸収のメカニズム

掘削中に坑底で発生した掘削衝撃力は、ビット荷重を上回る衝撃力となり、坑内ストリングスを介し、坑底から地上へと伝播し、ケリー、フックブロック、スイベルを揺らし、更にはマスト本体を大きく揺らす程の振動とそれに伴う騒音が発生していました。

ショックツールを接続することで、掘削中の衝撃力は下記の作用にて吸収され、振動、騒音を抑制します。

- ① ショック吸収は内部に直列積層された皿ばねで行われます。
- ② 通常のビット荷重がショックツールに負荷され、皿ばねのばね定数に応じ圧縮されます。(初期圧縮量)
- ③ 掘削中に発生した、坑底より突き上げ方向の衝撃力は、皿ばねを圧縮する方向で衝撃を吸収します。(衝撃吸収圧縮量) によって、この時点での皿ばね総圧縮量 = (初期圧縮量) + (衝撃吸収圧縮量) となります。
- ④ 地層変化による、瞬間的なビット歯先貫入量の増加、また、地層の亀裂などにより、急激にビットが掘進方向に下がった場合は、ショックツール初期圧縮量にて、その移動量を吸収します。
- ⑤ これらの作用を繰り返すことで掘削振動が吸収されます。また、この作用による内部圧力変化には、ピストンの上下移動により対応しています。

参考) 掘削中の衝撃力をリアムタイムに察知することは出来ませんが、使用後、3連シールのシャフト側摺動痕により、突き上げ方向の衝撃力を推察することは出来



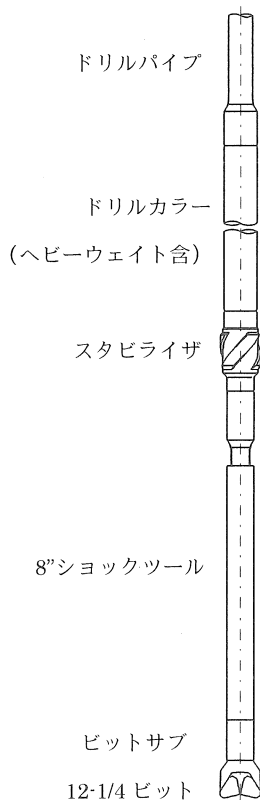
ます。掘削衝撃力＝ばね定数×シール摺動痕長となります。ここで注意しなければならないのが、シール摺動痕長がビット荷重による初期圧縮量を超えているかです。つまり、ビット荷重／ばね定数<シール摺動痕長であれば、ビット荷重を上回る突き上げ方向の掘削衝撃力が発生していた事になります。逆に、3連シールのシャフト側摺動痕長がビット荷重による初期圧縮量以下であれば、掘削振動は突き上げるような衝撃力ではなく、ビットが掘進方向に下がる収縮運動であったと考えられます。

## 5. ショックツール接続編成例

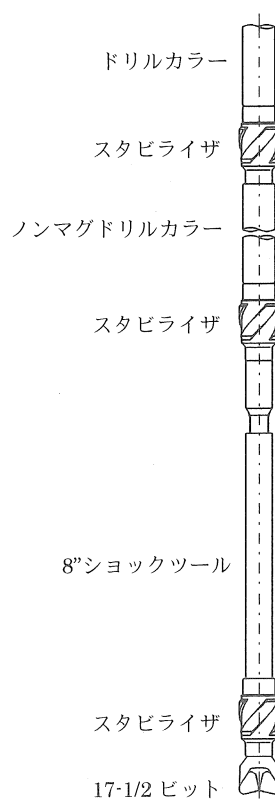
ショックツールは振動吸収のための上下運動を行うことから、本体に与える極度な曲がり避ける必要があり、ショックツール近傍にスタビライザを編成することを推奨しています。また、振動吸収効果を最大限に発揮する為、ビット直上に編成することを推奨しています。

実際の掘削現場でショックツールを用いたストリングス編成例を簡略図にて紹介します。(簡略図のためストリングスの形状は実際のものとは異なります)

温泉井編成例



地熱井編成例



## 6. ショックツール掘削現場使用実績について

ショックツールを掘削現場で使用した事例及び振動・騒音低減効果の調査結果について、3現場の実例を下記に紹介します。

### (1) 振動・騒音低減効果調査方法

ショックツール未使用時と使用時における、振動・騒音レベルの違いを調査し、低減効果を実証する。

#### ① 測定機器

- ・振動測定機器：リオン VM-52A 振動レベル計 (Zレンジ)
- ・騒音測定機器：リオン NA-12 型普通騒音計 (Aレンジ)

#### ② 測定場所

- ・掘削リグ (サブストラクチャーまたはマスト支柱土台, 井戸芯より 5m 付近)
- ・掘削現場周辺 (掘削リグより約 30m 離れた場所、住宅などがあつた場合その場所を選ぶ)

### (2) ショックツール使用実績

#### i) 掘削現場 A

##### ① 掘削現場：大阪府 温泉井

##### ② ショックツール採用の理由

掘削地層は大阪層群による堆積層に礫が混じっていることが想定され、その際、掘削振動が発生することが考えられることから採用に至った。

##### ③ ショックツールサイズ：6-1/4

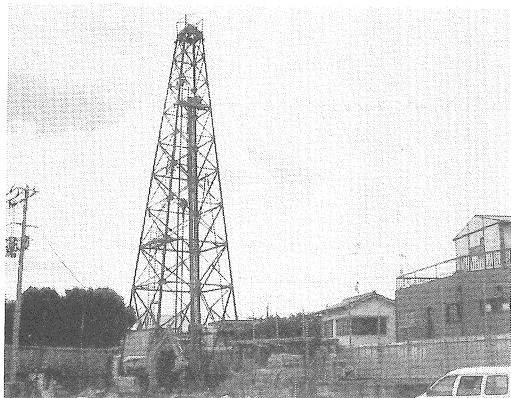
##### ④ 掘削条件

ビットサイズ：7-5/8

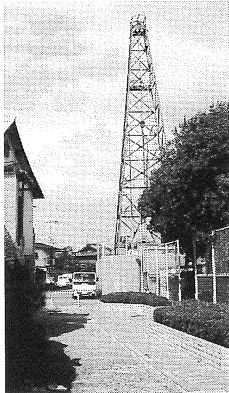
荷重／回転数：2.5 ton / 60 rpm

泥水吐出量：450 L / min

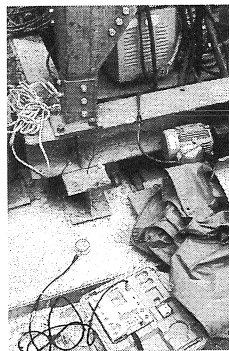
##### ⑤ 掘削現場全体：



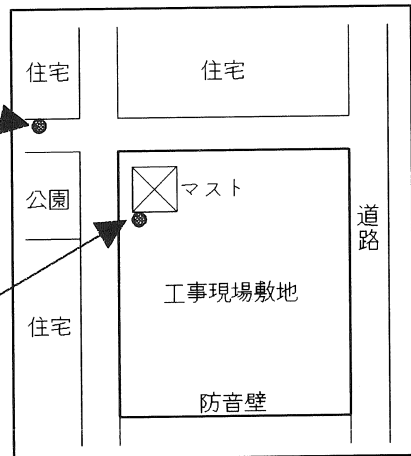
⑥ 振動・騒音測定ポイント



測定ポイント  
掘削現場周辺



測定ポイント  
掘削リグ



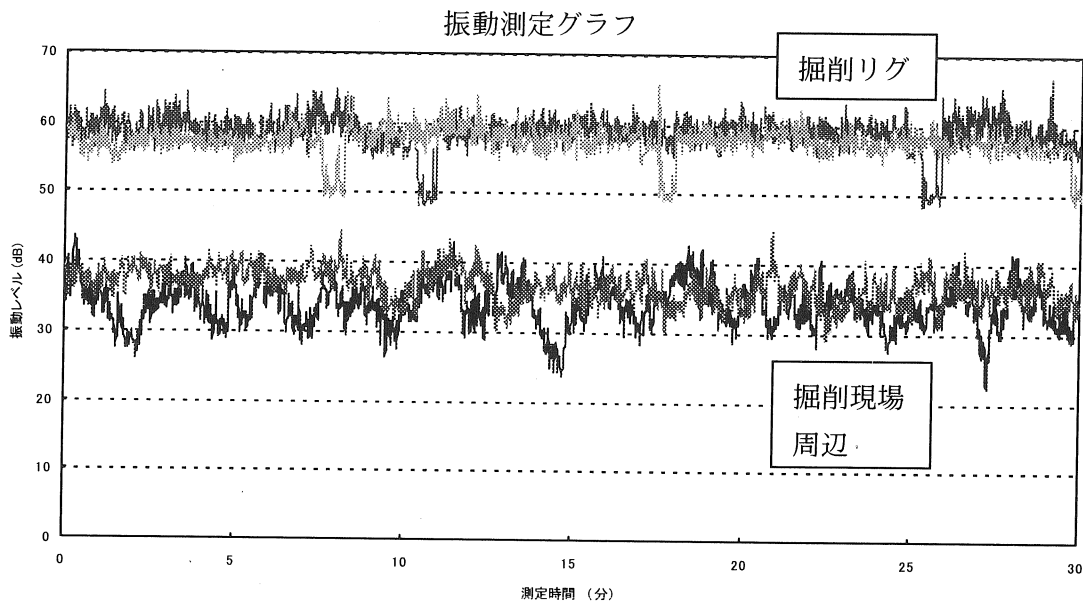
現場周辺概略図

⑦ ショックツール使用掘削実績

- ・掘削深度：478 m ～ 498 m
- ・掘進長：20 m
- ・掘削時間：9 時間

⑧ 振動測定結果

測定ポイント	ショックツール 接続状態	振動レベル (dB)		
		平均値	最大値	最小値
掘削リグ	未使用	59.1	66.7	48.0
	使用	57.8	65.6	49.0
掘削現場周辺	未使用	37.0	44.8	29.1
	使用	35.0	43.4	22.1



- ・掘削リグ : ..... ショックツール使用,      —— ショックツール未使用
- ・掘削現場周辺 : —— ショックツール使用,      ..... ショックツール未使用

⑨ 騒音測定結果

測定ポイント	ショックツール 接続状態	騒音レベル (dB)
掘削リグ	未使用	75.0
	使用	74.5
掘削現場周辺	未使用	54.5
	使用	54.0

⑩ 振動・騒音低減効果

測定ポイント 掘削リグ、測定レベル 平均値を対象とする。

	ショックツール 未使用	ショックツール 使用	低減効果
振 動 (dB)	59.1	57.8	1.3
騒 音 (dB)	75.0	74.5	0.5

ii) 掘削現場 B

① 掘削現場：三重県 温泉井

② ショックツール採用の理由

掘削地層は軟質層ではあるが、間隔をおいてバウンドするような振動が発生することから採用に至った。

③ ショックツールサイズ：8”

④ 掘削条件

ビットサイズ：12-1/4

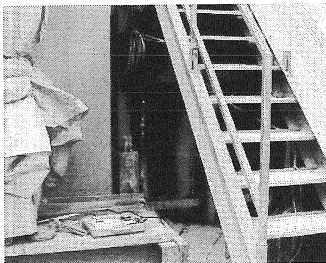
荷重／回転数：16 ton / 60 rpm

泥水吐出量：790 L / min

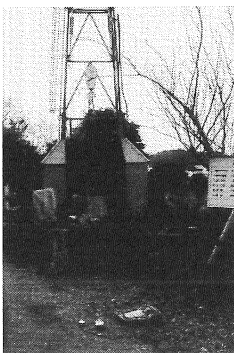
⑤ 掘削現場全体：



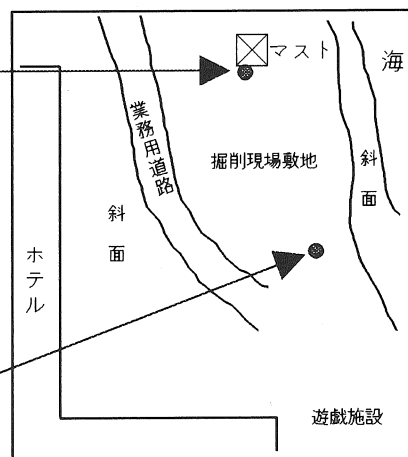
⑥ 振動・騒音測定ポイント



測定ポイント  
掘削リゲ



測定ポイント  
掘削現場周辺



現場周辺概略図

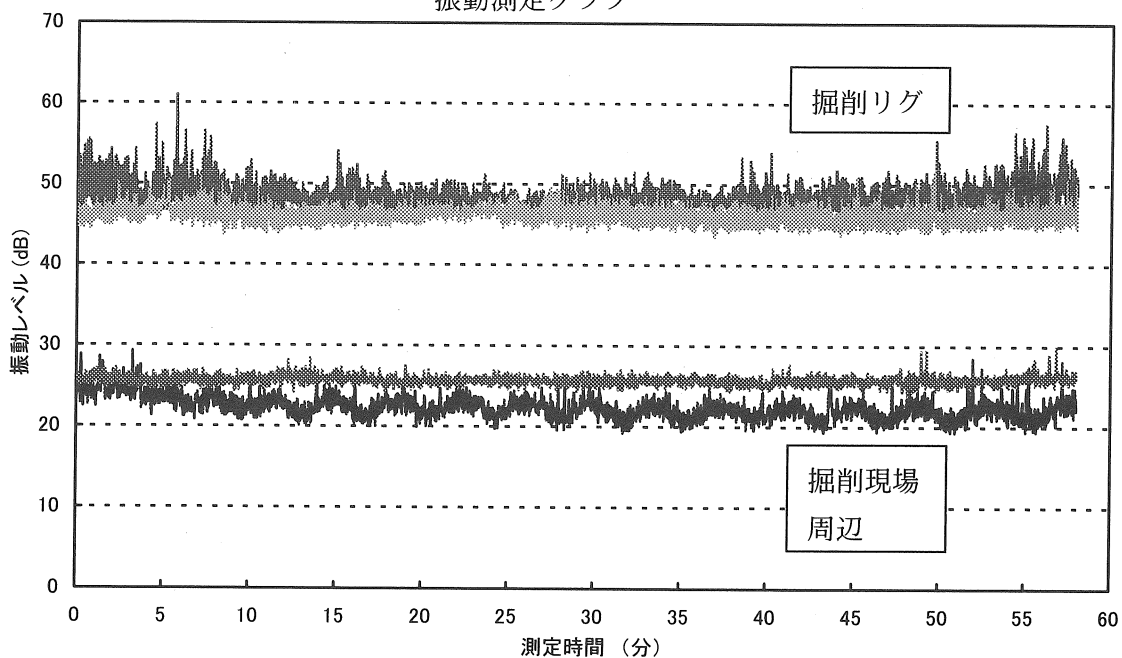
⑦ ショックツール使用掘削実績

- ・掘削深度：801 m ～ 867 m
- ・掘進長：66 m
- ・掘削時間：47 時間

⑧ 振動測定結果

測定ポイント	ショックツール 接続状態	振動レベル (dB)		
		平均値	最大値	最小値
掘削リグ	未使用	48.7	60.9	45.7
	使用	46.3	51.7	43.5
掘削現場周辺	未使用	25.7	29.9	23.9
	使用	22.4	29.2	19.2

振動測定グラフ



- ・掘削リグ : ..... ショックツール使用,      ..... ショックツール未使用
- ・掘削現場周辺 : ——— ショックツール使用,      ..... ショックツール未使用



⑨ 騒音測定結果

測定ポイント	ショックツール 接続状態	騒音レベル (dB)	
		通常掘削時	振動発生時 (最大)
掘削リグ	未使用	80 ~ 81	83 ~ 85 (瞬間最大 90)
	使用	76 ~ 82	
掘削現場周辺	未使用	67 ~ 68	70
	使用	66 ~ 69	

⑩ 振動・騒音低減効果

・振動低減効果 (測定ポイント：掘削リグ)

振動レベル	ショックツール 未使用	ショックツール 使用	低減効果
平均値 (dB)	48.7	46.3	2.4
最大値 (dB)	60.9	51.7	9.2

・騒音低減効果 (測定ポイント：掘削リグ)

騒音レベル	ショックツール 未使用	ショックツール 使用	低減効果
通常掘削時 (dB)	80 ~ 81	76 ~ 82	1 ~ 5
振動発生時 (dB) (瞬間最大)	83 ~ 85 (瞬間最大 90)		1 ~ 9 (瞬間最大 8 ~ 14)

iii) 掘削現場 C

① 掘削現場：香川県 温泉井

② ショックツール採用の理由

掘削中、マストを揺らす程の激しい振動が発生、荷重をかけることで更に振動が激しくなり、掘進率も思うように上がらないことから、ショックツールを使用することとなった。

③ ショックツールサイズ：8”

④ 掘削条件

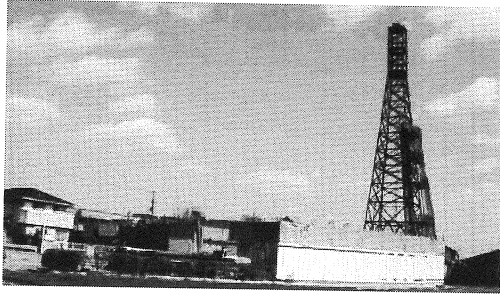
ビットサイズ：12-1/4

荷重／回転数：7 ton / 66 rpm

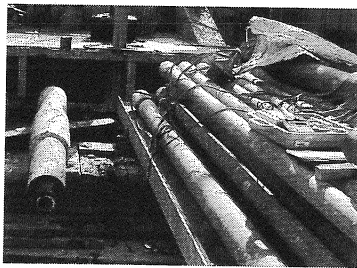
泥水吐出量：830 L / min

地質：流紋岩質凝灰岩（砂質層との互層）

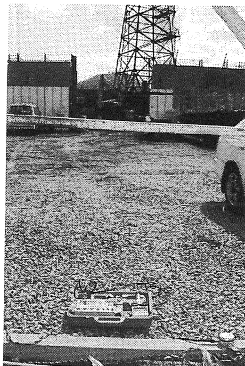
⑤ 掘削現場全体：



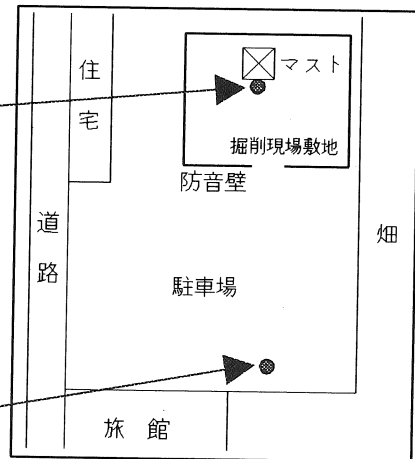
⑥ 振動・騒音測定ポイント



測定ポイント  
掘削リゲ



測定ポイント  
掘削現場周辺



現場周辺概略図

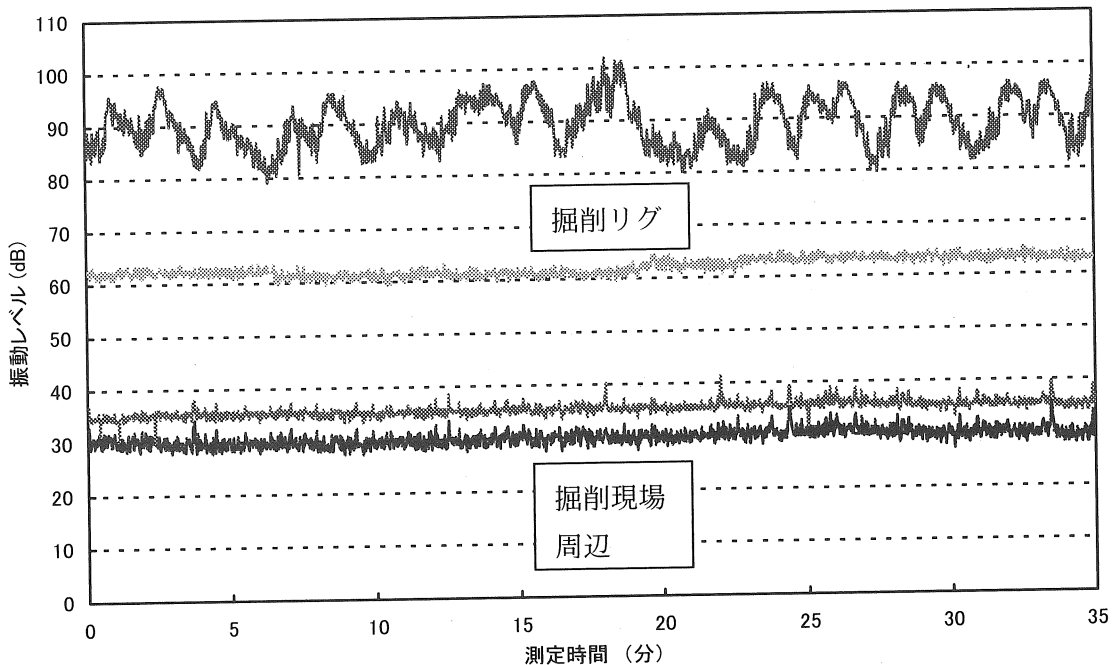
⑦ ショックツール使用掘削実績

- ・掘削深度：504 m ～ 600 m
- ・掘進長：96 m
- ・掘削時間：44 時間 10 分

⑧ 振動測定結果

測定ポイント	ショックツール 接続状態	振動レベル (dB)		
		平均値	最大値	最小値
掘削リグ	未使用	90.0	102.0	79.1
	使用	62.3	65.3	59.3
掘削現場周辺	未使用	35.5	41.4	30.2
	使用	30.1	35.7	27.2

振動測定グラフ



- ・掘削リグ：—— ショックツール使用， - - - - ショックツール未使用
- ・掘削現場周辺：—— ショックツール使用， - - - - ショックツール未使用

⑨ 騒音測定結果

測定ポイント	ショックツール 接続状態	騒音レベル (dB)
掘削リグ	未使用	88 ~ 91
	使用	86 ~ 88
掘削現場周辺	未使用	67 ~ 71
	使用	66 ~ 68

⑩ 振動・騒音低減効果

・振動低減効果 (測定ポイント：掘削リグ)

振動レベル	ショックツール 未使用	ショックツール 使用	低減効果
平均値 (dB)	90.0	62.3	27.7
最大値 (dB)	102.0	65.3	36.7

・騒音低減効果 (測定ポイント：掘削リグ)

	ショックツール 未使用	ショックツール 使用	低減効果
騒音レベル (dB)	88 ~ 91	86 ~ 88	最大 5

### (3) ショックツール使用実績まとめ

#### i) 掘削現場 A

ショックツール 1 号機のファーストトライでもあったため、振動低減効果実証の意味も含め現場に臨んだ。地層は礫混じりとのことであったが、実際は粘土質であり、大きな振動も発生していなかった。

このような軟質状態でありながらも、若干の振動レベル低減の兆候が見られたことから、更に大きな振動に対しては、十分な振動吸収効果が現れるものと確信した現場であった。

#### ii) 掘削現場 B

掘削現場は、観光ホテルより海に向かった岸壁側であったため、ホテルには掘削振動・騒音による影響をあまり与えない場所であった。

掘削中の振動は激しくは無いものの、断続的に現れ、突き上げるような衝撃で、フックブロックが揺れることもあった。

ショックツールを使用し掘削したところ、断続的に発生していた振動も解消され、安定した掘削を行うことが出来るようになり、振動・騒音レベルも最大約 9dB 低減する結果となった。

これら断続的な振動に対し振動低減効果を発揮する結果となったことから、掘削現場 A で確信した振動吸収効果の有効性を実証する結果となった。また、更に激しい振動に対しても効力を発揮するものと期待できる結果であった。

#### iii) 掘削現場 C

掘削現場は、旅館所有の広い駐車場の一角で行われていた。

掘削状況は、フックブロック、スイベルはもとより、マストまでも大きく揺れる激しい振動が発生しており、騒音も伴っていた。掘進率を上げる為、ビット荷重を上げたいところであったが、更に振動が激しくなり、思うようにビット荷重を上げられない状況であった。また、掘削中の振動を測定したところ最大で 100dB を超える時もあった。

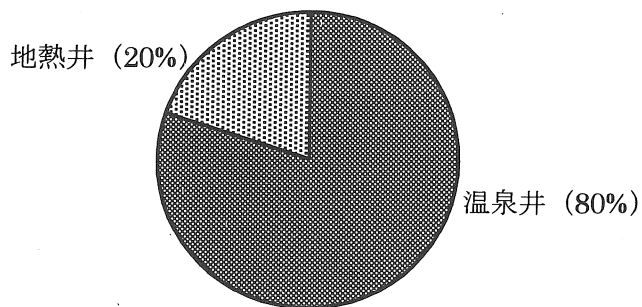
このような掘削状況の中、ショックツールを接続し、掘削を行ったところ激しい振動は皆無に等しいほど解消され、安定した掘削が行えるようになった。その振動低減レベルは 36dB 以上であり、騒音も最大 5dB 低減した。ビット荷重は最大 9ton まで上げることが可能となり、その結果、掘進率が 2 倍に向上する結果となった。

これらの掘削現場使用実績より、ショックツールは軟質層から激しい振動の現場まで、掘削振動低減に対し有効であることを実証した。

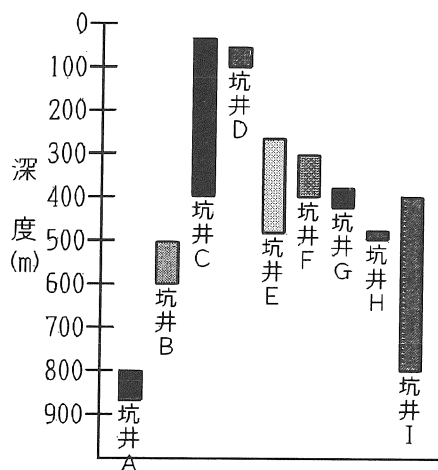
## 7. ショックツール使用実態調査結果

当社ショックツールにて、各掘削現場で使用されてきた実績の一例に基づき、使用実態の調査結果を下記に紹介します。

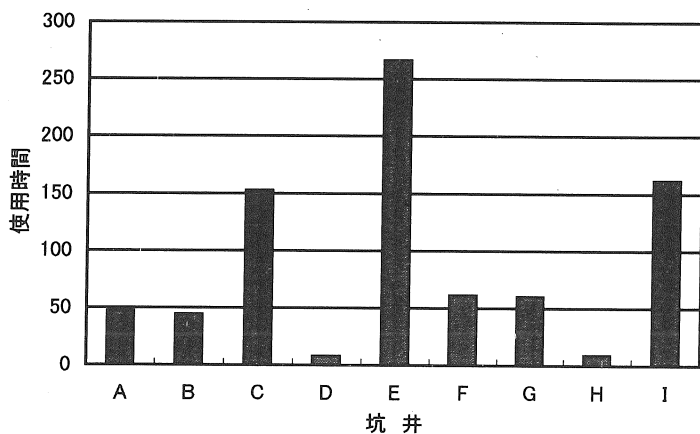
### (1) 使用坑井



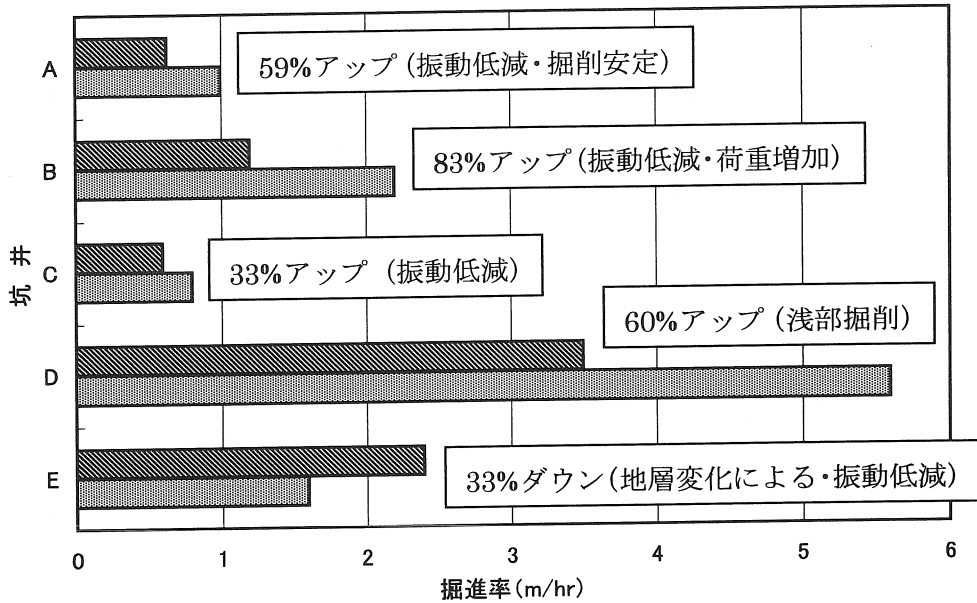
### (2) 使用深度



### (3) 使用時間

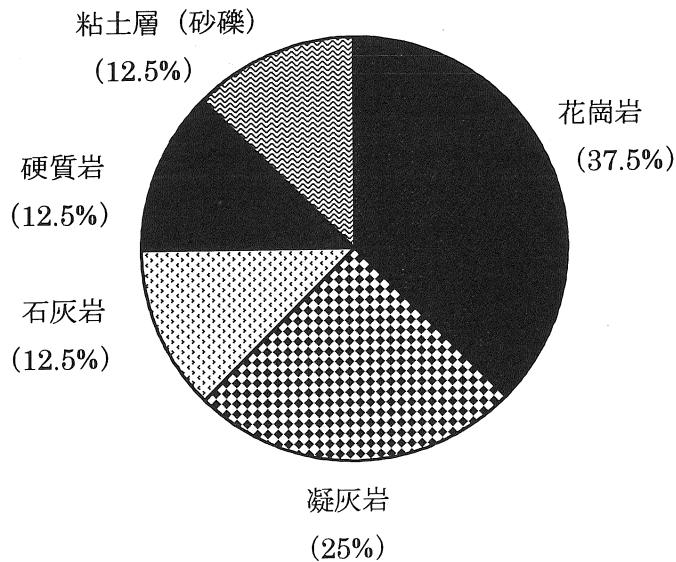


(4) 掘進率効果

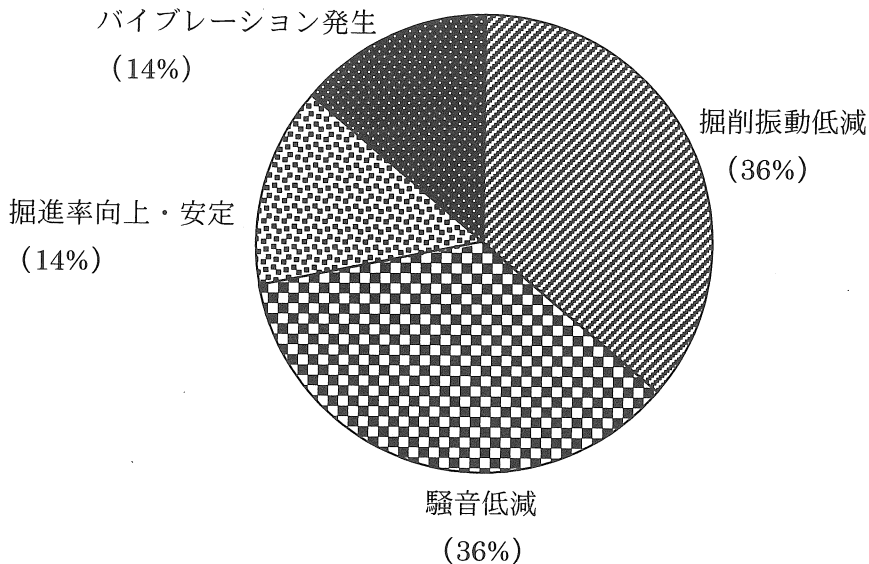


(斜線) ショックツール未使用, (塗りつぶし) ショックツール使用

(5) ショックツールを使用した地質



## (6) ユーザーからのショックツール効果の評価



## 8. まとめ

ショックツールを商品化するにあたり、本来のショックツール効果（振動，騒音低減，掘進率向上等）、その効果の程度を把握する必要がありました。

効果の実証は、ファーストライである軟質層掘削から振動低減の効果が数字で現れ始め、次の現場では断続的な振動に対し効果を発揮、また次の現場ではマストも揺らす程の過激な振動を平常な掘削状態にもどすなど絶大な効果を発揮しました。その後、数多くの現場で実績を積み重ね、ショックツール効果である振動・騒音低減・掘進率の向上，安定などが明確なものとなり、その効果の実証をすることが出来ました。

今後の課題としては、更なる現場実績の積み重ねによる効果の分析（地層とのマッチング，ばね定数の設定など）を進め、メンテナンスサービス，テクニカルサービスを充実させる所存であります。

掘削における振動は、地層変化，掘削設備などの問題で、どうしても避けて通れない場合があります。その際は、今回御紹介したショックツール効果の実証を参考にショックツールの御検討をして頂ければ幸いです。

最後に、ショックツールを商品化するにあたり、沢山の有識者の方々に御指導を頂き、データ収集に際しては数多くの掘削会社殿に御協力を頂きましたことをこの場を借り厚く御礼申し上げます。





# 講演

北海道の温泉資源の枯渇現象と保護

北海道立地質研究所

秋田 藤夫



# 北海道の温泉資源の枯渇現象と保護

北海道立地質研究所

秋田藤夫

## 1. はじめに

近年、我が国が経済発展を続け、高齢化社会を形成していくにつれて温泉地における国民のレジャー志向や保養、休養、療養の必要性は益々高まる傾向にある。我が国の温泉の開発利用は戦後の温泉法施行、高度経済成長、二度の石油危機、バブル景気、ふるさと創世等の地域活性化のための地域振興策、更には保健・保養・福祉政策の一環として進展してきた。北海道における温泉の開発利用も全国的な動向と同様の社会・経済情勢とともに変遷してきた。このような背景のもと、多くの泉源が集中する特定の温泉地においては、施設の大型化や露天風呂の設置等に伴う利用量の増大により、温泉資源の過剰採取、乱掘、乱開発等を引き起こした。このことが、水位、湧出量、泉温、成分等に大きな影響を与え、いわゆる温泉資源の衰退・枯渇現象につながっている。

これまで北海道は我が国の中でも一二を争う温泉資源の豊かな地域とされてきた。現状でも、何とかその地位は保持している。しかし、一方で全国的な動向に追いつき更には追い越す勢いで温泉資源の衰退・枯渇現象が急速に、かつ着実に進行しているのも事実である。

本講座では、北海道の温泉資源の開発の変遷と現状、そして温泉資源を枯渇現象という観点から捕らえ、今後どのような取り組みが必要かについて述べる。

## 2. 北海道の温泉資源の分布と特徴

第1図には、北海道における主要な地熱・温泉徴候地やボーリング井および代表的な深層熱水地帯等の概要を示した。北海道は温泉湧出地や湧出量が多く、かつ自然湧出泉も多いという特徴を持っている。加えて、近年になって探査・掘削技術の向上に伴い、都市部やその周辺域でも深層熱水をターゲットにした温泉開発が盛んに行われ、源泉数、湧出量とも年々増加を続けている。

北海道の80°C以上を示す高温泉湧出地は、石狩低地帯を境にして大まかに中央部北海道の大雪山・十勝岳・東大雪地域、東部北海道の知床半島から摩周・屈斜路・阿寒へと連なる地域及び西南部北海道に分けられる。西南部北海道には比較的狭い範囲で徴候地が数多くあり、高温の温泉湧出地が点在している。これらの温泉徴候地は、現在も活発に活動を続ける第四紀火山の分布とほぼ一致する。

道内の平野部には、いわゆる非火山性の深層熱水と呼ばれるやや温度の低い温泉賦存域が広がっており、新第三紀中新世から鮮新世の堆積岩類を主体とする深部帯水層での温泉開発が進展している。

第1図に示すように温泉開発を目的としたボーリング井は、山岳部の非居住域を除いて

ほぼ全域に分布している。ボーリングは、初期の頃には古くからの温泉湧出地を中心に行われていたが、その後徐々に周辺地域でも行われるようになった。加えて、1970年頃から深部をターゲットにした開発が積極的に進められた結果、深度1,000mを越える大深度ボーリングと高揚程水中モーターポンプによる動力揚湯の割合が急速に増加してきた。

### 3. マクロに見た北海道における温泉資源の衰退・枯渇現象

環境省が毎年公表している都道府県別温泉利用状況データ等に基づき北海道の温泉資源の変遷と現状について述べる。環境省(2002)によると、北海道は2001年3月時点で温泉地数245、源泉総数2,200、総湧出量は300,920 l/minであり、源泉総数では我が国の約8.3%、総湧出量では約10.9%を占める。また、道内212市町村中約90%に当たる192市町村で温泉利用が行われており、まさに北海道は一村一温泉・温泉王国と言っても過言ではない。北海道内では、大まかに見積もって温泉や蒸気という形態で地中から約1,130MW相当の熱エネルギーが常時放出されている。

源泉総数や総湧出量として示される数値は、自然湧出源泉とボーリング等によって開発された源泉の総計であるが、1960年代の後期以降はボーリングによる源泉が徐々に増加している。現在では総湧出量の8割強がボーリング源泉から湧出しているものと推定される。

第2図と第3図には全国と北海道の源泉総数と総湧出量の経年変化を示した。全国の源泉総数と総湧出量は、増減率に変化はあるものの経済・社会情勢を反映しながら全体的には右肩上がりの増加を示している。北海道も大局的には全国と同様な推移を示しているように見えるが、細部では若干異なっている。北海道の源泉総数は全国の1割以下であるが総湧出量は1割を越えている。このことは、北海道における1源泉当たりの湧出量の豊富さを示している。

第4図には、全国及び北海道の温泉枯渇概況指数の経年変化を示した。枯渇概況指数は、温泉資源の衰退・枯渇の程度の全体像を把握する目安として、全源泉数に占める動力利用源泉数の割合と全湧出量に占める動力揚湯量の割合を平均した値である。指数が大きくなるほど動力による割合が増すことから温泉源の衰退・枯渇化が拡大することを意味する。

北海道の枯渇概況指数は、1957~1972年まで増減はあったが、1968年を除くと0.3以下を示していた。しかし、その後は増加と停滞を繰り返しながら着実に増加している。2000年には、0.6前後まで増加しており、全国値の0.7に近づきつつある。マクロに見た北海道の温泉資源の枯渇現象は全国に比べて進展の速いことが明らかとなった。このままの傾向が続くならば、近い将来枯渇概況指数は全国値とほぼ同等になることが懸念される。

### 4. 温泉地で観測される枯渇現象

温泉とは、「降水が地下に浸透し、地下深部の熱源によって加熱され、それが流動して地表に現れた露頭が温泉や地獄である」というのが、一般的な温泉生成・湧出機構モデルである。

温泉地において新たに井戸を掘って温泉を採取し始めると、井戸の周辺域の温泉水位が低下する。その結果、それまで自噴していた井戸では、自噴が止まり、ポンプで汲み上げなければならなくなることもある。多量の温泉採取が続くと、その影響は水位低下だけに止まらず、様々な現象に波及する。たとえば、温泉帯水層に周辺から低温で成分濃度の異なる地下水が流入することにより、泉温低下や泉質変化を引き起こし、温泉の特徴が変化する。そのほか、優勢な温泉賦存域が移動・縮小するなどの現象も引き起こされる場合もある。温泉の過剰な採取による変化は、単独の現象として起こることは少なく複合的に表れることが多い。これらの一連の温泉変動は、温泉を利用する者にとって不都合なことが多く、温泉資源の衰退・枯渇現象と総称されている。

これまでの温泉の生成・湧出機構に関する研究を見ると、特に規模が大きく優勢な温泉地においては、温泉現象を維持する熱と溶存化学成分の直接的な供給源は地下深部に求めるのが合理的であり、温泉現象と地熱活動を一連の水理的・熱的・化学的過程として捕らえることが重要と考えられる。

多くの観測事例からいわゆる温泉資源の衰退・枯渇現象の診断にはどのような温泉要素のモニタリングが重要であるかが伺われる。ある温泉地において、それらの現象の一つが観察されるとき直ちにその温泉地が衰退・枯渇現象を呈しているというわけではなく、衰退・枯渇現象が進展するにしたがって次第に多項目にわたり、色々な現象が確認されるようになる。

## 5. 温泉水系モデルと温泉変動データの解析

地熱開発等によって地下深部の調査データが集積するにつれ、多くの地熱・温泉地域の地下深部には熱水貯留層の存在が明らかとなってきた。活動的な火山周辺に形成される地熱・温泉系の概念モデルを第5図に示す。この中の温泉貯留層を中心として成立する温泉収支の単純化したモデルを第6図に示す。

開発の進展に伴う温泉資源の衰退・枯渇現象を定量的に評価するには、観測データを集め、解析し、更には将来予測を行わないまでも、その現象に対する指針や対策を述べなければならない。そのためには、客観的な判断材料となるデータの蓄積が不可欠である。フィールドを相手にする科学では、現象を観測し、その特徴を記述・解析し、一般法則を探るという手順で進めるのが、ごく普通のアプローチと思われる。地下で発生している現象は、様々な要素の絡み合った非線形的で複雑なものと考えられることから、出来るだけモデルを単純化した計算機によるシミュレーション手法を最大限に活用すべきである。

温泉貯留層をモデル化した資源変動予測をすといっても、各種調査を通じて得られたデータの密度や質によってシミュレーションの手法や得られる結果の信頼性が異なってくる。シミュレーションといっても主として地質学的な手法に基づいた構造モデルにより定性的評価を行うような影響予測から貯留層工学的な手法を用いた数値モデルによる定量的評価までその適用の仕方は異なる。データの質と量によっては、シミュレーション

を適用して効果のある場合とそうならない場合がある。よって、データ量の不足が予測結果に与える影響の度合いについても検討した上で適用することが重要である。

温泉地をマクロに見た場合、温泉採取量は深部熱水・温泉水・浅部地下水を含む一帯の地下水理状態によって規定される。地下水理状態の変化に関する代表的な要素は、地下流体の圧力変化であり、採取量変化は地下流体の圧力変化に置き換えられる。泉温は地下における流体温度、泉質は地下における化学組成と濃度に置き換えることが可能である。

具体的には温泉現象の特徴的要素である湧出量（採取量）、泉質、泉温といった、いわゆる温泉の三要素に現れる影響を観測し、予測するのが一般的である。

温泉採取に伴って温泉三要素の変化が、どのような順序で、どの程度現れるかは、温泉開発における重要な問題である。第7図には、比較的簡単な計算で大局的な資源変動の予測ができる Lumped Parameter Model を用いて計算した別府温泉（由佐，1987）の事例を示した。これは、下流系外からの逆流がないという条件下での温泉三要素の変化であり、水位が最初に変化し、その次に泉質が変化し、泉温変化は最も遅れて現れることが判る。もちろん、泉質と泉温の低下は、貯留層内における平均滞留時間に大きく左右され、平均滞留時間が小さいと速く定常状態に達する。このように、温泉三要素に現れる変化は、時間的に大きくずれることが容易に予測される。このことは、温泉の枯渇現象を予測するに当たり、水位変化だけの検討では危険であり、泉質や泉温の変化も考慮した長期的な検討が必要であることを意味する。

## 6. 道内における各温泉地の温泉資源の枯渇現象事例について

先に述べたように、北海道全体としてはマクロに見ても動力揚湯割合の増加（＝温泉水位の低下）等の温泉資源の枯渇現象が徐々に進展していることは明らかである。当然、過剰な温泉採取が行われている温泉地では、温泉資源の衰退・枯渇現象が明瞭に観測されている。

第1表には、道内において温泉資源の衰退・枯渇現象が確認されている温泉地を示した。第8図から第12図は水位低下、泉温低下、泉質変化、温泉源の移動等の枯渇現象が長期間に渡って観測されている事例をいくつか示した。それぞれの温泉地で観測された現象の概要を要素毎に整理すると次のようになる。

### 6.1 水位低下

温泉地において自然に自噴する温泉だけを利用する場合には問題は無いが、利用量が增大すると、湧出口の切り下げ、動力装置の設置、増掘、新規掘削が行われる。自然湧出の温泉における自噴停止は自然的な要因を除けば、そのきっかけは人為的な要因によるが、その行為の繰り返しが更に水位低下を助長し、枯渇現象を進展させる。温泉源の衰退・枯渇現象が進展している温泉地の多くは、ある量以上の総揚湯量になった時、汲み上げ量の増加に対する動水位の低下割合が増大する（限界揚湯量を越える）。この場合、安定した動

水位になるとは限らない。更に汲み上げ量の維持に対しても年々動水位が低下する等、極端な現象が現れることもある。その結果、ポンプの増強やポンプ位置の引き下げ等が繰り返され、湯量や熱量を確保するための投入エネルギーも徐々に増加する。

第8図は帯広地域の水位観測結果である。帯広地域では1975年頃から深度1,000mクラスのボーリングによる深層熱水開発が始まり、1985年前後頃までは毎分1万~1.8万リットルの温泉が自噴していた。その後、水位低下の開始に伴い自噴の停止、水中モーターポンプによる動力揚湯を経て、最近までの約15年間で約40~50mの水位低下が観測された。

第9図は函館市湯川温泉の水位観測結果である。湯の川温泉は1965年頃まで自噴する温泉を利用していたが、1970年頃から始まる揚湯量の増加とともに明瞭な水位低下を示している。最近までの約40年間で約10mの水位低下が観測された。

## 6.2 泉温低下

特定の温泉源からの総採取量がある量を超えると、その温泉源に連なる周辺の冷水界から冷水が温泉貯留層内に流入する。その結果として汲み上げられる温泉の泉温低下が起こる。流入する冷水は河川、湖沼、海等の地表水に属するものや周辺の冷地下水などである。

第10図は洞爺湖温泉の泉温の経時変化である。洞爺湖温泉は火山活動に伴い泉温や泉質が顕著に変化することが知られている。平常時は、過剰な揚湯が続けられると温泉帯水層周辺の冷地下水の混合割合が増加するために泉温低下をきたす。洞爺湖温泉では、源泉毎に異なるが、1977年の噴火から2000年の噴火までの約23年間で10~20℃の泉温低下を示した。

## 6.3 泉質変化

温泉源からの総採取量がある量を超えるときその温泉源に連なる水域からの地下水の流入が始まる。このことにより、温泉賦存域内における一部区域の温泉源の泉質が変化し始める。更に、総採取量がある限界を超えると泉質変動域が急激に広がる。温泉源に連なる水域が河川水、湖沼水、地下水あるいは海域によって現象の表れ方が異なる。

第11図には阿寒湖温泉のCl濃度の経時変化を示した。各源泉毎に違いはあるが、全体としては明瞭なCl濃度の低下が認められる。

## 6.4 温泉賦存域の移動

これまで述べたように、温泉地における温泉開発の進展により、水位低下、泉温低下、泉質変化等の枯渇現象が起こることにより、泉源としての利用が不可能となった場合、優良な泉源を求めて深部掘削や温泉地内の新たな場所での開発が行われるようになる。枯渇現象が進んでいる古くからの温泉地では、以下のようなことが繰り返されて来た。

優良な泉源の分布域が徐々に周辺域から中心部へと縮小する。優良な泉源の分布域が徐々に海岸、湖岸、河川岸から陸側へ移動する。掘削地点が徐々に周辺部へ移動し、それ



らの泉源からは泉温、泉質とも中心部に較べて劣る温泉が湧出する。

第 1 2 図には優勢な温泉開発域が徐々に移動した事例として洞爺湖温泉の結果を示した。洞爺湖温泉では、高温泉湧出域の後退に伴い泉源開発域も徐々に移動している。最近では、高温泉の上昇路と考えられる爆裂火口列の近傍まで泉源が移動している。

## 6. 5 阿寒湖温泉における温泉資源の枯渇現象と資源変動予測

ここでは、上に述べた中から阿寒湖温泉で観測された温泉変動データを基に Lumped Parameter Model により資源変動予測を行った結果について紹介する。

### 6. 5. 1 温泉資源変動の観測結果

阿寒湖温泉では昭和 30 年代の前半まで主に自然湧出による温泉利用が行われていた。その後、昭和 36 年にボーリングによる泉源開発に成功して以来、これまでに 25 本ものボーリングが実施された。阿寒湖温泉では泉源が増加するにしたがって温泉採取量も年々増加し、それに伴い水位低下や泉温低下、泉質変化が進展してきた（第 1 3 図）。ボーリング深度は、50~1060m で掘削地点や掘削深度により湧出能力が異なる。湧出する温泉の泉温は 37~72°C で、Cl 濃度も 8~220ppm と幅を持っているが、これは各泉源の掘削位置や深さの違いによって温泉貯留層を取り囲む周辺地下水の混合する割合が変化することに起因すると考えられる。阿寒湖温泉全体としての総湧出量は、1961 年以前は自然湧出状態で 250~300 l/min 程度であったのが 1965 年頃には約 1,500 l/min、1970 年頃には約 2,500 l/min、1975 年頃には約 3,000 l/min、1980 年前後以降には約 4,200 l/min 前後まで増加し、その後は大きな増減はないと考えられる。総湧出量は 1980 年頃までは新たに泉源が開発されるたびに段階的に増加してきたと推定される。

水位変化は揚湯量が急激に増加し始めた 1965 年頃から始まったようである。水位低下は約 30 年の間に、およそ 20m に及んでいる。水位低下量は泉源の位置によって若干異なるが、大局的にはそれほど大きな差はない。

泉温低下は 1970 年頃から始まっていて、泉源の位置により泉温低下率は異なるが、全体的な傾向として低下率は徐々に大きくなっている。

各泉源の Cl 濃度も全般的な傾向としては、時間の経過とともに低下していることが明瞭である。

### 6. 5. 2 熱水貯留層の概念モデルについて

これまでのボーリング結果や温泉の湧出状況によると、阿寒湖温泉の主要な温泉貯留層は地表から比較的浅い 300m 以浅に存在し、その下位には低温で低 Cl 濃度の地下水層が賦存すると推定される（第 1 4 図）。また、温泉貯留層の周辺にも貯留層を取り囲むように、低 Cl 濃度で低温の地下水層が分布している。温泉貯留層には地下深部から裂か系に沿って上昇した本源熱水が流入していると推定され、泉温は貯留層の中心部で高温となり、周辺

部に移動するにしたがい低くなる。Cl 濃度も貯留層の中心部では高く、周辺部では低くなる。これは、貯留層の中心部から周辺部に移動するに従い本源熱水と混合する低温地下水の割合が増加するためと考えられる。更に、温泉採取量が増加することによる温泉貯留層内の圧力（水位）低下にともない、貯留層を取り囲んで存在する低温・低 Cl 濃度の地下水の流入が促進されることが予想される。

### 6. 5. 3 資源変動予測結果

水位低下と塩素イオン濃度の経年変化データに基づき、温泉採取に伴う資源変動予測を行った結果を第 15 図に示した。ここでは、熱水貯留層体積の時間変化係数と地下深部から上昇する本源熱水の供給量を一定とし、温泉採取量が変わることにより周辺境界から流入する地下水供給量が変化すると仮定した。数値計算の結果は観測結果と矛盾のないものとなっている。すなわち、阿寒湖温泉における水位変化と塩素イオン濃度の変化は、本源熱水の供給量を一定とすることによっても説明できる。この場合、温泉採取量の変化によって生じる温泉貯留層内における水位変化は、本源熱水の供給量にはほとんど影響を与えないが、周辺地下水の供給量には著しく影響を与えると結論される。

ちなみに、このモデルに従うならば、現在の温泉採取状況（約 4,200 ㎥/分）が続くと最悪のシナリオを考えた場合、およそ 60 年後には温泉が枯渇する可能性があるという結論になる。ただし、現実には、温泉貯留層圧力がある値以下になると貯留層を取り囲む周辺地下水（場合によっては湖水）が大量かつ急激に流入することにより水位が上昇し、顕著な泉温低下と泉質変化が起きる可能性が高い。したがって、温泉貯留層内に温泉水が無くなる時間は、モデル計算上の見積もりであって、現実にはそれ以前に水位低下が鈍化するとともに急激な泉温低下や泉質変化を引き起こすことが予測される。

## 7. 温泉資源の保護対策について

我々が開発利用している温泉水の大部分は循環水と考えて良い。天水の循環系から見ると、温泉資源の衰退・枯渇現象の進行は自然の循環速度以上で温泉水を採取するために生じると考えることが出来る。温泉地における様々な規制や保護対策等も結局は自然の循環速度に出来るだけ近い状態で湯量、泉温、泉質等に急激な変化を及ぼさない範囲でその地域に適した方法で温泉を持続的に利用しようとすることに他ならない。

### 7. 1 北海道における温泉保護・準保護地域

昭和 23 年に施行された「温泉法」は、温泉を保護し、その利用の適正を図り、公共の福祉の増進に寄与することを目的としている。昭和 30 年代からは温泉資源を保護するという目的で都道府県による「温泉保護地域」の指定が始まった。

北海道も昭和 30 年代から 40 年代にかけて当時の温泉審議会の学術委員のメンバー（福富・石川・他）が中心になり、既に温泉資源の衰退・枯渇現象が現れ始めていた温泉地を

中心とした調査が精力的に行われ、各温泉地の温泉資源現況が明らかにされた。その後の温泉採取量の増加や乱掘・乱開発等による温泉資源の衰退・枯渇現象の進展を受けて1976年には北海道温泉保護対策要綱が施行された。この要綱は、道内温泉地の温泉資源の衰退・枯渇現象の状況を踏まえて温泉の湧出量の減少、温度低下、成分変化等の衰退現象を防止し、もって温泉の恒久的保護と適正な利用の推進を図ることを目的とするとされ、温泉法に準拠したものとなっている。1976年の要綱の施行では、温泉資源の枯渇現象が進展していた11カ所の温泉地を保護地域、その周辺部の5カ所を準保護地域に指定した。その後、1988年には帯広地域が保護地域と準保護地域に加わり、現在保護地域は12カ所、準保護地域は6カ所となった（第1表）。

保護地域内では、泉源の距離制限、動力装置の制限、新たな泉源掘削や増掘等の開発行為に対する制限が科せられた。この温泉保護施策により、新たな開発行為に対して一定の歯止めはかかった。しかし、保護地域、準保護地域指定後の資源状況の推移を見ると湧出量の減少、水位低下等の衰退・枯渇傾向が依然として続き、必ずしも資源保護対策がうまく機能していない温泉地もある。また、地域指定が泉源所有者の既得権の保護に繋がり、温泉地の発展を阻む要因となった事例も見受けられる。

一方では、温泉利用上の私権や利害関係を調整し、温泉資源の採取と利用を合理的かつ効率的に行うことにより、温泉資源勢力の回復に成功し、資源保護の実を上げている温泉地もある。

これら保護・準保護地域以外にも枯渇現象が観測されたことにより、揚湯量を制限する等、それぞれの独自の保護対策を取っている温泉地もある（例えば、島牧村宮内温泉、島牧村漁り火温泉、弁景温泉、阿寒湖温泉等）。

## 7.2 阿寒湖温泉の資源保護への取り組み事例

先に述べたように、阿寒湖温泉では温泉資源の現況や利用状況の分析、更には資源動向の将来予測結果を踏まえたうえで、平成11年には「阿寒湖温泉総合調査検討委員会」が設置され、今後阿寒湖温泉が持続的な発展をしていくにはどのような形での温泉の開発利用と保護を推進すべきかの検討が続けられている。委員会では温泉資源の安定確保と保護のための様々な技術的な対策とともに地元住民や温泉関係者に対する正確な温泉資源状況を理解してもらうための情報公開の必要性が提言されている。

温泉資源の衰退・枯渇現象への歯止めは、温泉汲み上げ量の総量規制により可能となる。汲み上げ量を減らすほどその効果は大きくなる。阿寒湖温泉は積雪・寒冷地であることから温泉の利用量は必然的に冬期に多くなる。しかし、温泉供給の現状は24時間、365日ほぼ同量の温泉が休み無く送られていて、需要の多い冬期に合わせて運転されている。このことから、夏場は余剰の温泉が未利用のまま大量に排出されることが予想される。この無駄に捨てられる温泉量は正確に把握されてはいないが、未利用で排出されている分の揚湯を減らすだけでも資源の回復に大きく寄与すると考えられる。

現在、阿寒湖温泉では資源保護対策の一つとして、この未利用で排水される温泉を減らすための実証化試験を実施している。阿寒湖温泉では、各源泉からいわゆる「たこ足方式」による配湯を行っている。試験では利用者側で不要な温泉が生じた場合、利用者側の末端バルブを閉めることによって発生する圧力変動を捕らえて水中モーターポンプをインバーターにより制御することで、揚湯量を減らすシステムを稼働させている（第16図）。この方式の有効性が明らかになれば、今後他の源泉に同様の制御システムを設置することにより、温泉地全体として汲み上げ量の減量につながる事が期待される。しかし、ここにも難しい問題が存在する。利用者側のバルブ操作は給湯契約を結んでいる各利用者の理解と協力無くしては成し得ないことである。規模の大きな温泉地における資源問題は、利用者も含めた地元住民のコンセンサスの形成無しに進めることは到底不可能である。そのような観点からも温泉資源状況に関する正確な情報公開は不可欠である。啓発活動等を通じて地域住民の中に「温泉あつての地域」という意識が芽生えてくれば、温泉資源の保護と安定確保への道筋は、自ずと見えてくるであろう。

### 7.3 温泉資源の保護は温泉変動データの蓄積から

温泉資源の保護と安定確保のためには平常時から充分計画された方法で色々な資料を整理しておくことが重要である。それらの資料は不断の努力で長い年月に渡るほど役立つ。

温泉資源の保護や適正管理は湧出量、水位、泉温、泉質等の温泉変動の継続的な観測や温泉湧出機構、利用形態などに関する調査結果に基づいて行うことが不可欠といえる。観測結果が無ければ科学的で適切な判断はできない。しかし、温泉地によっては、新規掘削や増掘、動力の増強等が他の源泉の湧出量、泉温、成分等にどのような影響を及ぼすかについての根拠となる科学的資料が必ずしも充分とは言えず、適切な判断を下すことが極めて難しい事例の多いことも事実である。そのため、対応策が遅れて過剰採取や乱開発が進み、衰退・枯渇現象が更に進展している温泉地もある。

開発の進展に伴う温泉資源の衰退・枯渇現象を量的に評価するには、観測データに基づき将来予測を行わないまでも、その現象に対する指針や対策を示さなければならない。そのためには、客観的な判断材料となるデータの蓄積が不可欠である。ところが、現実の問題では、上に述べた通常の手順だけに頼るのでは不十分な場合もある。たとえば、影響が現れた時点では、既に事態が深刻化していて、通常の手順で調査を進めながら、同時に理論的な影響予測をする取り組みが必要となる時もある。その際、フィールドで得られたデータは、常に影響予測にフィードバックされるようであればならない。

### 7.4 温泉保護策をめぐる様々な議論

一般的に、湧出量の豊富な温泉地では、温泉資源の保護という視点はなかなか生まれてこない。これに対して、湯量の減少、泉温低下、泉質変化等、目に見える形で温泉枯渇の徴候が現れた温泉地では、温泉に限られた資源であり、利用の仕方によっては枯渇すると

いうことに気づく。しかし、温泉地によっては温泉変動の観測結果やシミュレーション結果から資源の衰退・枯渇の予測が示されたとしても必ずしも適切な資源保護対策が取れるとは限らない。場合によっては、通常の温泉利用が不可能な状態になるまで抜本的な対策が取られないこともある。古くからの温泉地では、温泉資源保護を目的として温泉保護協議会等が組織され、資源保護に向けた地域としての取り組みをしようという姿勢はあるが、必ずしもうまく機能していないのが実情と思われる（いわゆる総論賛成、各論反対の議論が多い）。これは、泉源に係わる利権や保護対策を進めるうえでの資金、温泉資源状況への正しい理解の希薄さ等に起因する危機意識の欠如からくるものであろう。

温泉保護と適正管理を進めるうえで大切なことは、温泉に対する意識改革が最も重要と考える。とかく、温泉は個人の財産・個人の所有物という見方をしがちだが、温泉資源が個人の所有物ではなく、地域社会全体のかげがえのない地場資源・共有資源であるという共通認識を持つことが最も重要と考える。

温泉地において死活問題ともいえる温泉資源の枯渇により、温泉に関わる地域住民が問題意識を共有し、解決のための共同事業を実施する経験は、地域にとって大きな財産になると思われる。温泉資源の保護対策における極めて大切な第一歩は、利害関係が錯綜する地域の人々のコンセンサスの形成にある。

全国的に見ると、昭和40年代から50年代にかけて急増した観光客を迎えていた規模の大きな温泉地では、温泉採取量の増加や乱掘・乱開発等により温泉の枯渇現象が急速に進み、温泉地存亡の危機とも言える事態になった所もあった。これに対応するため、それまで「湯水のごとく使っていた」温泉の保護と適正利用の仕組みを構築する必要に迫られた。枯渇現象が生じたことにより、温泉地再生のために苦肉の策で生まれたのが集中管理による給湯システムである。各温泉地では枯渇現象が生じて直ちに循環による集中管理方式が導入されたのではなく、源泉間の問題、源泉統合、たこ足・魚骨方式による集中管理配湯等といった歴史的な過程を経て、最終的に循環による集中管理方式に至った事例も多い。

資源保護対策という点から見れば、循環による集中管理方式は、確かに効率が良く、無駄のない給湯システムである。源泉から温泉を集め、「必要なとき必要なだけ必要なところに配湯できる」ということで非常に優れたシステムである。

循環による集中管理方式は、温泉汲み上げ量の大幅な減量や熱損失の低減が可能になるとともに源泉や熱量管理が容易になるなど、多くの利点はあるが、以下のような問題点も指摘される。

- (a) 温泉関係者のコンセンサスの構築に多大な時間と労力を要する。
- (b) 既存源泉の財産として評価の難しさ。
- (c) 初期投資に莫大な資金が必要である。
- (d) 泉質の均質化と老化 → 昨今の消費者の本物志向への対応の難しさ。
- (e) 温泉利用料金の高額化。

各温泉地における資源保護対策は、温泉地の規模や資源の賦存形態、開発状況、更には

枯渇の進行度等によって異なることは当然である。また、温泉地の実情に合った利用・供給形態が考えられることから、一概に循環による集中管理方式が最良で究極の温泉供給システムとは結論できない。全体的な温泉資源保護の取り組みの中で、温泉変動の観測データや資源変動の予測データを適切に取り込みながら保護策を展開していくことが重要と考える。資源保護を進めるには、資源状況の把握以外にも各温泉地が独自に解決しなければならない課題が多い。

## 8. おわりに

北海道内における温泉資源の変遷と現状、各温泉地における枯渇現象の観測事例等について述べた。これらの事例からいわゆる温泉資源の衰退・枯渇現象の診断にはどのような温泉要素のモニタリングが重要であるか、更にはどのような保護策が取られているかあるいは取るべきか等について述べた。

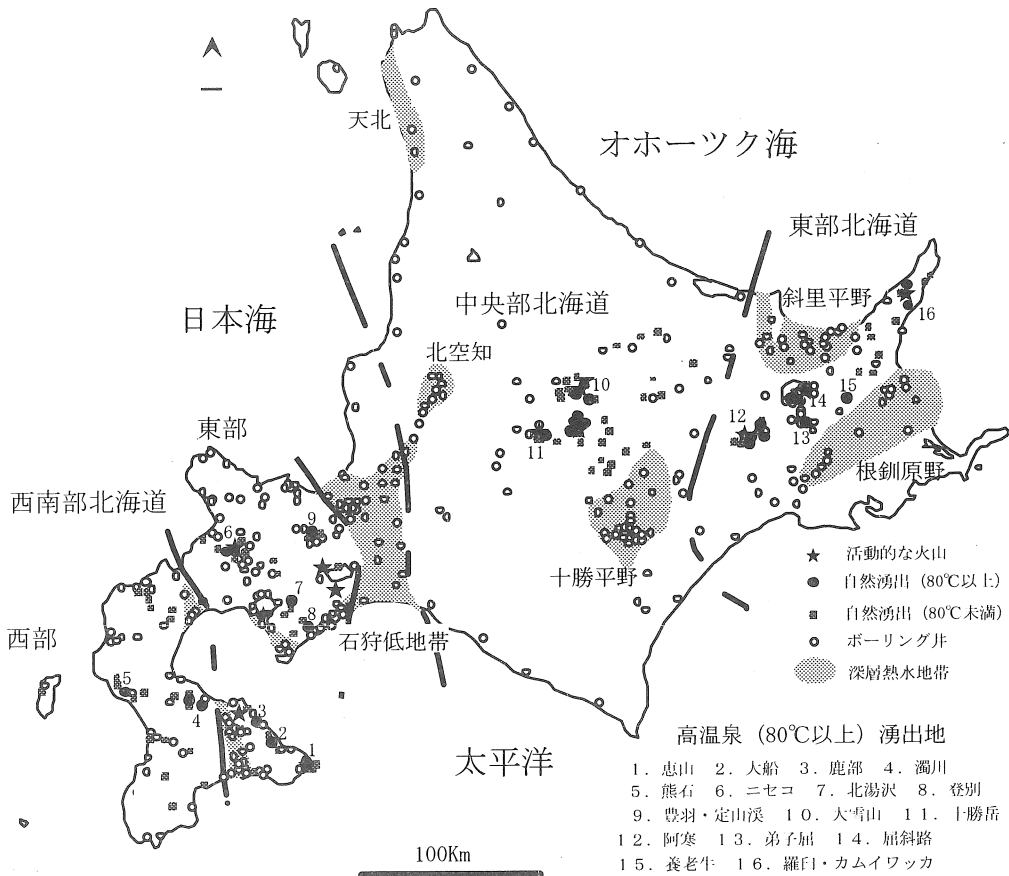
温泉は天水循環系の中で長い年月をかけて生成する再生可能な地場資源である。このような特性は、採掘したら無くなる石油・天然ガス等の化石燃料資源と本質的に異なる。しかし、再生可能と言っても無尽蔵に温泉を採取し、湯水のごとく使えるかということ、そうではなく適正な採取量があるはずである。需要と供給のバランスを欠いた開発・利用は資源の衰退・枯渇現象を招くということを理解すべきである。

北海道にとって温泉資源は基幹産業である観光の基盤としてだけではなく、社会・経済基盤として各地域の根幹をなしている。また、世界でも類を見ない温泉好きの国民性、来るべく高齢化社会・余暇有効活用時代への対応等、これからの温泉の果たす役割はますます重要になっていくと思われる。

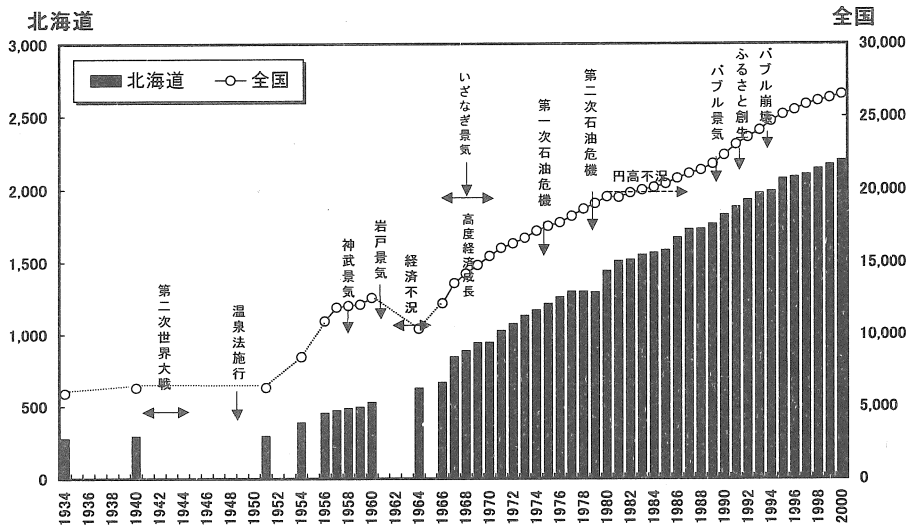
昨今の温泉資源を取り巻くキーワードは、露天風呂、レジオネラ菌、循環温泉、源泉100%、温泉の情報公開等々、温泉関係者から見ると温泉がいくらあっても足りないというような状況にある。このような中で、温泉をこよなく愛する日本人の湯上がり文化を守るためにも、温泉資源の枯渇問題の解決へ向けた持続的な取り組みが必要と考える。

## 参考文献

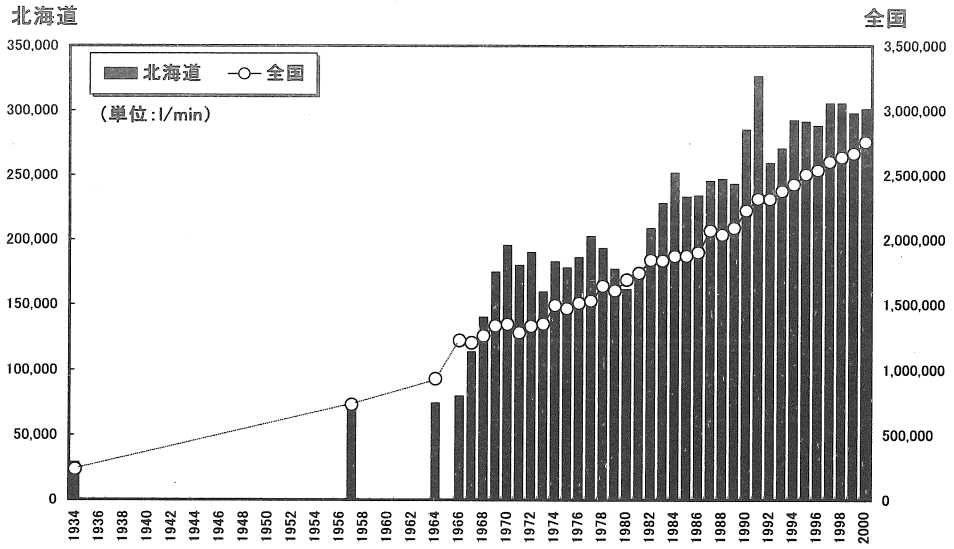
- 秋田藤夫：北海道の温泉資源の変遷と現状，一都道府県別温泉利用状況データに基づき一，地下資源調査所報告，70，27-49，1999a.
- 秋田藤夫（2002）：北海道の地熱・温泉資源の分布と特徴．日本農業気象学会北海道支部，152-163.
- 環境庁（～2002）：都道府県別温泉利用状況．温泉．
- 甘露寺泰雄（1978）：温泉統計と枯渇現象．温泉科学，29,3,118-128.
- 由佐悠紀（1987）：温泉の流動と賦存一温泉開発の影響に関する考察一．温泉科学，37,2,161-168.



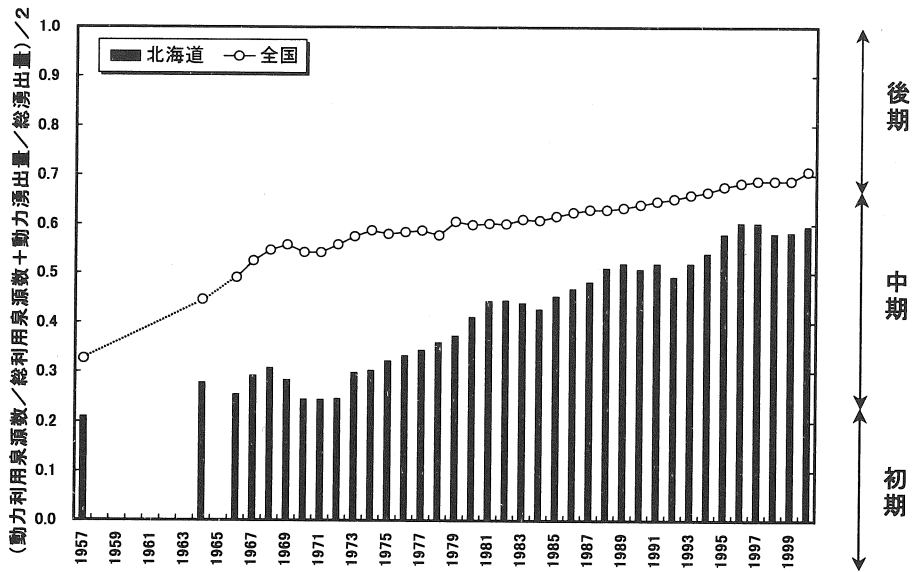
第1図 北海道における地熱温泉分布の概要



第2図 全国及び北海道の源泉総数の経年変化

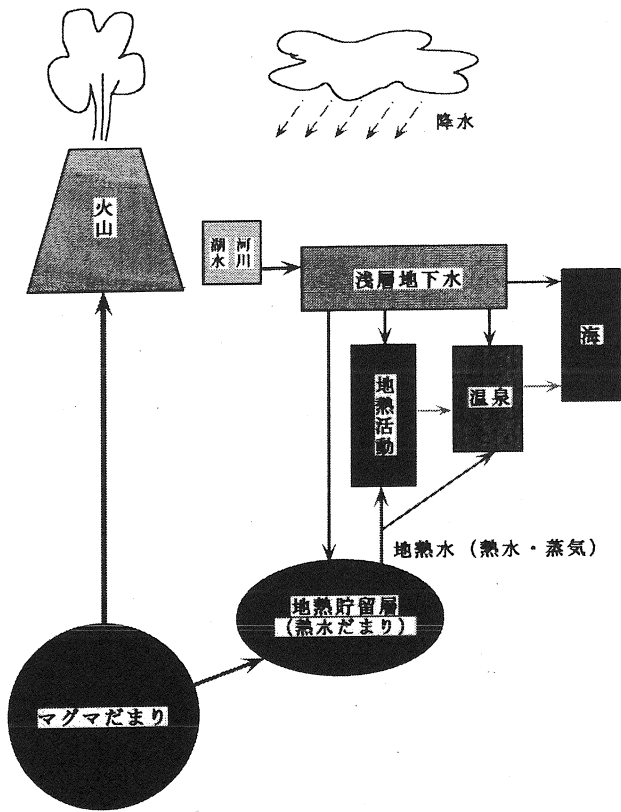


第3図 全国及び北海道における温泉総湧出量の経年変化

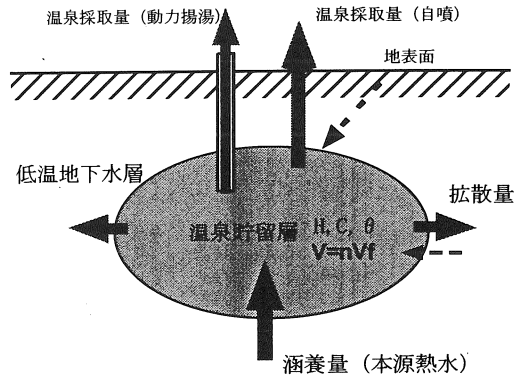


第4図 全国及び北海道の温泉枯渇概況指数の経年変化



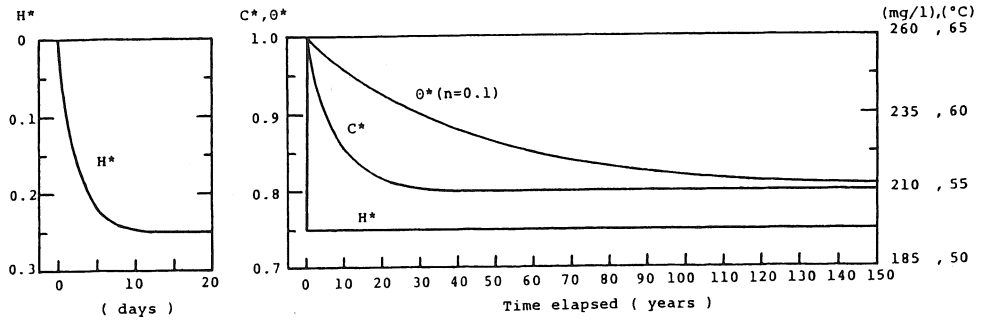


第5図 温泉生成機構の概念図



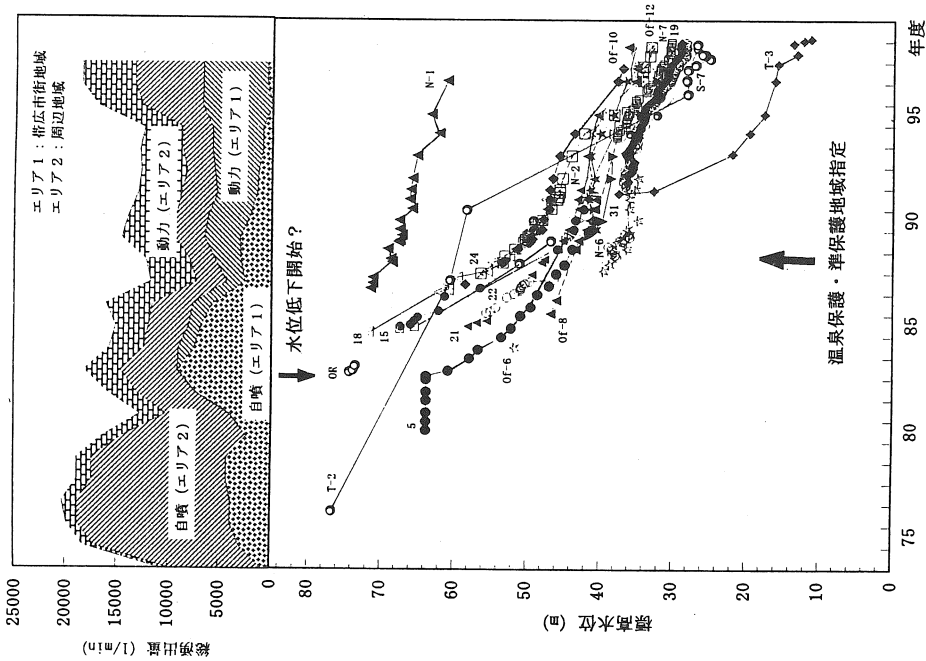
- (1) 自然状態  
涵養量 = 温泉採取量(自噴) + 拡散量(大)
- (2) 過剰採取状態  
涵養量 < 温泉採取量(自噴 + 動力揚湯) + 拡散量(小)

第6図 温泉貯留層周辺の温泉収支



温泉開発ともなう無次元の水位 $H_{\infty}^*$ 、化学成分濃度 $C_{\infty}^*$  および泉温 $\theta_{\infty}^*$ の変化  
 例. 計算条件:  $\epsilon = 0.5$ ,  $\eta = 1.0$ ,  $\tau = 10$ 年,  $n = 0.1$ ,  $\rho c = 1 \text{ cal/cm}^3 \cdot \text{C}$ ,  
 $\rho_r c_r = 0.5 \text{ cal/cm}^3 \cdot \text{C}$ . 右の縦軸は $C_0 = 260 \text{ mg/l}$ ,  $\theta_0 = 65 \text{ C}$ ,  $C_G = 10 \text{ mg/l}$ ,  
 $\theta_G = 15 \text{ C}$ としたときの次元量.

第7図 温泉開発に伴う温泉三要素の変化(由佐, 1987)



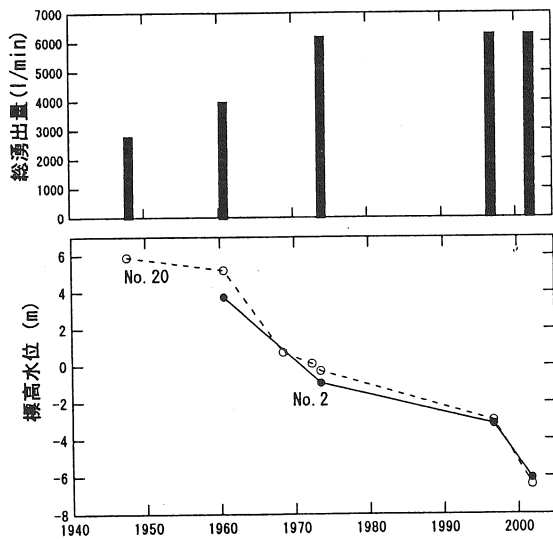
第8図 帯広地域の総湧出量と水位の経年変化

第1表 北海道内の温泉地における温泉資源の衰退・枯渇現象の概要

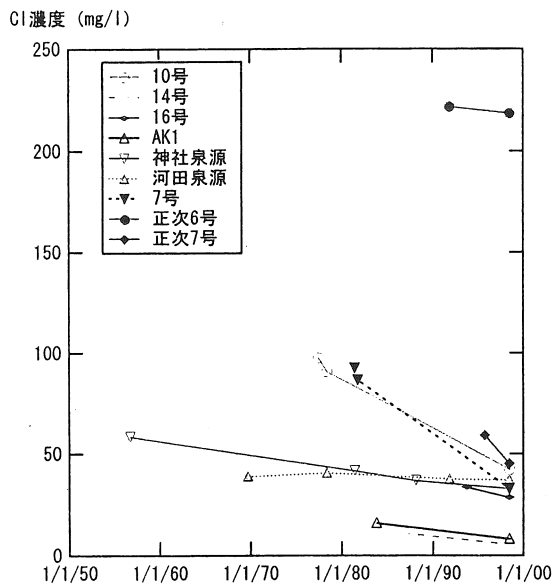
温泉地	衰退・枯渇現象	備考*
弟子屈温泉	水位低下, 泉温低下, 泉質変化	保
弟子屈(一部)・鯨別温泉	水位低下, 泉温低下, 泉質変化	準
川湯温泉	泉温低下, 泉質変化, 温泉賦存地域の移動	保
仁伏温泉		準
温根湯温泉	水位低下, 泉温低下, 泉質変化	保
襟平温泉		準
十勝川温泉	水位低下, 泉温低下	保
帯広地域	水位低下, 泉温低下	保
帯広(西帯広)地域	水位低下, 泉温低下	準
定山浮温泉		保
虎杖浜地域	水位低下, 泉温低下	保
竹浦地域	水位低下, 泉温低下	保
北吉原・萩野・石山地域 (上記地域以外の白老地域)	水位低下, 泉温低下	保
登別・下登別温泉		準
洞爺湖温泉・壮瞥温泉	泉温低下, 泉質変化, 温泉賦存地域の移動	保
濁川温泉	水位低下, 泉温低下, 泉質変化	準
湯川温泉	水位低下, 泉温低下, 泉質変化	保
阿寒湖温泉	水位低下, 泉温低下, 泉質変化	
標茶地域	水位低下	
北湯沢温泉	水位低下	
弁景温泉	水位低下	
朝里川温泉	水位低下, 泉温低下	
宮内温泉	水位低下	
島牧湯の火温泉	水位低下, 泉温低下, 泉質変化	

\*保: 保護地域, 準: 準保護地域

今後, 注意を要する温泉地: 札幌市街地, ニセコ周辺, 北空知, 宇登呂等

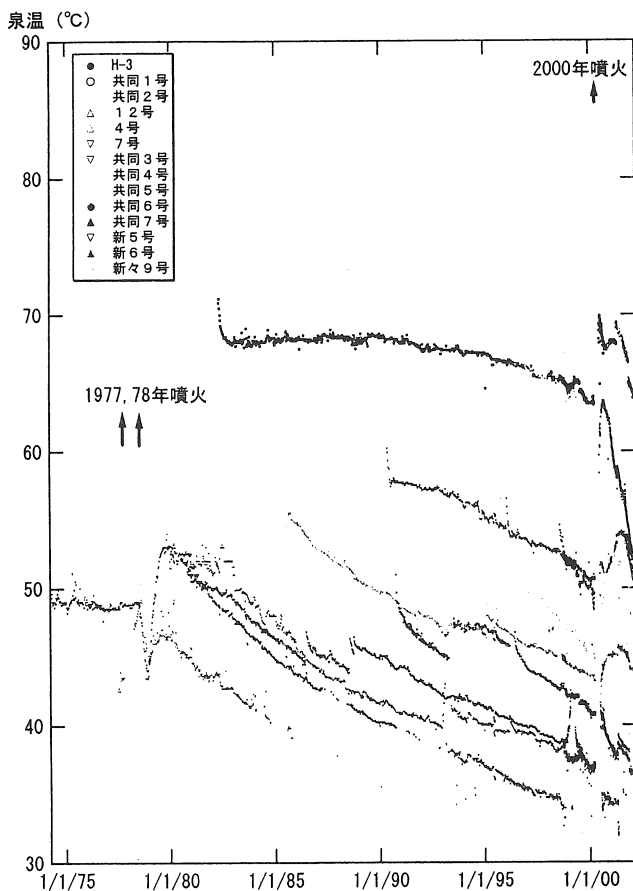


第9図 湯川温泉の総湧出量と水位の経年変化

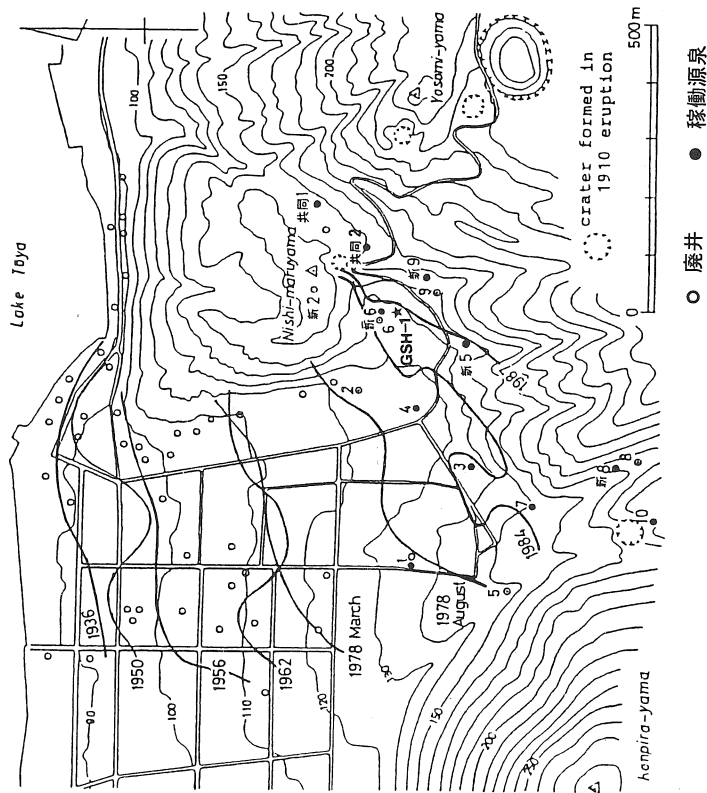


第11図

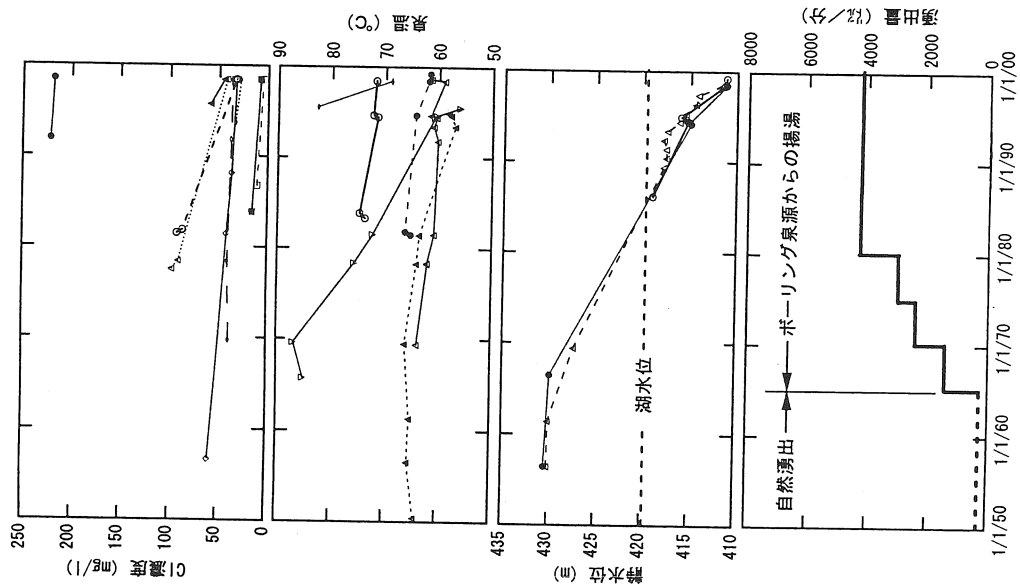
阿寒湖温泉のCl濃度の経年変化



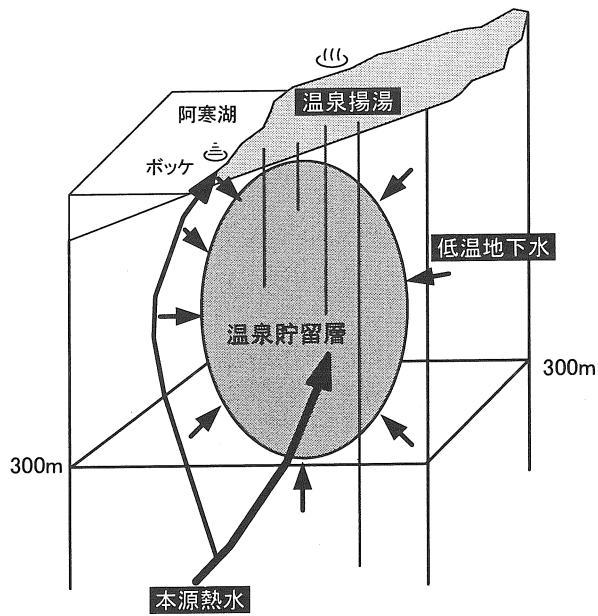
第10図 洞爺湖温泉の泉温の経年変化



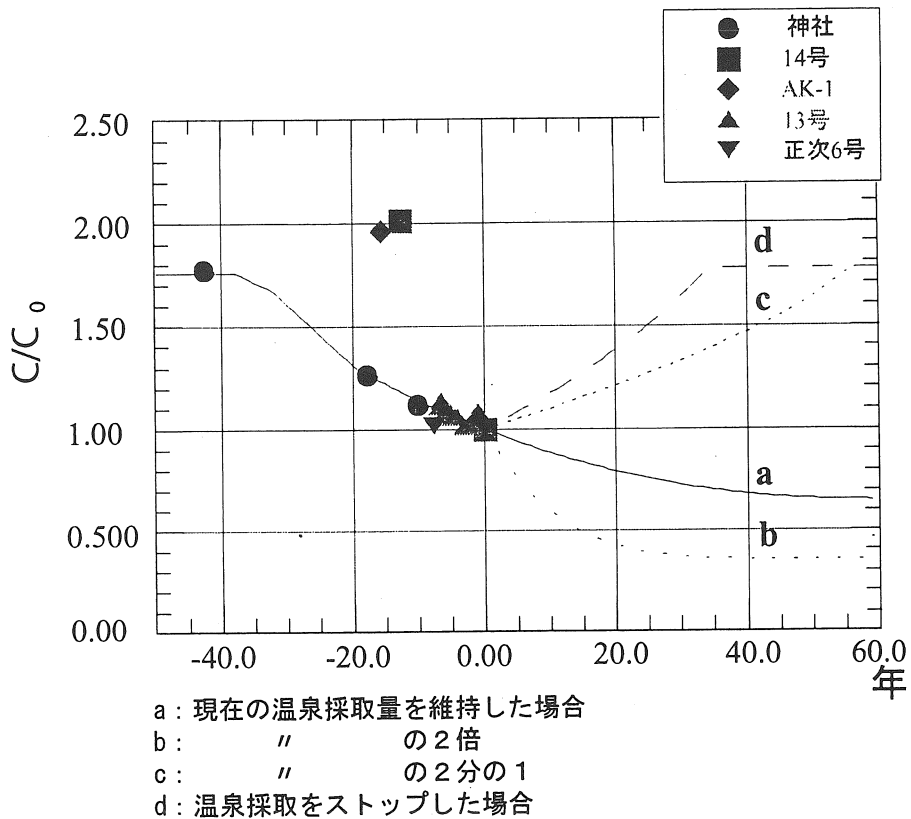
第12図 洞爺湖温泉における45°C等温線の移動とそれに伴う源泉開発地の移動



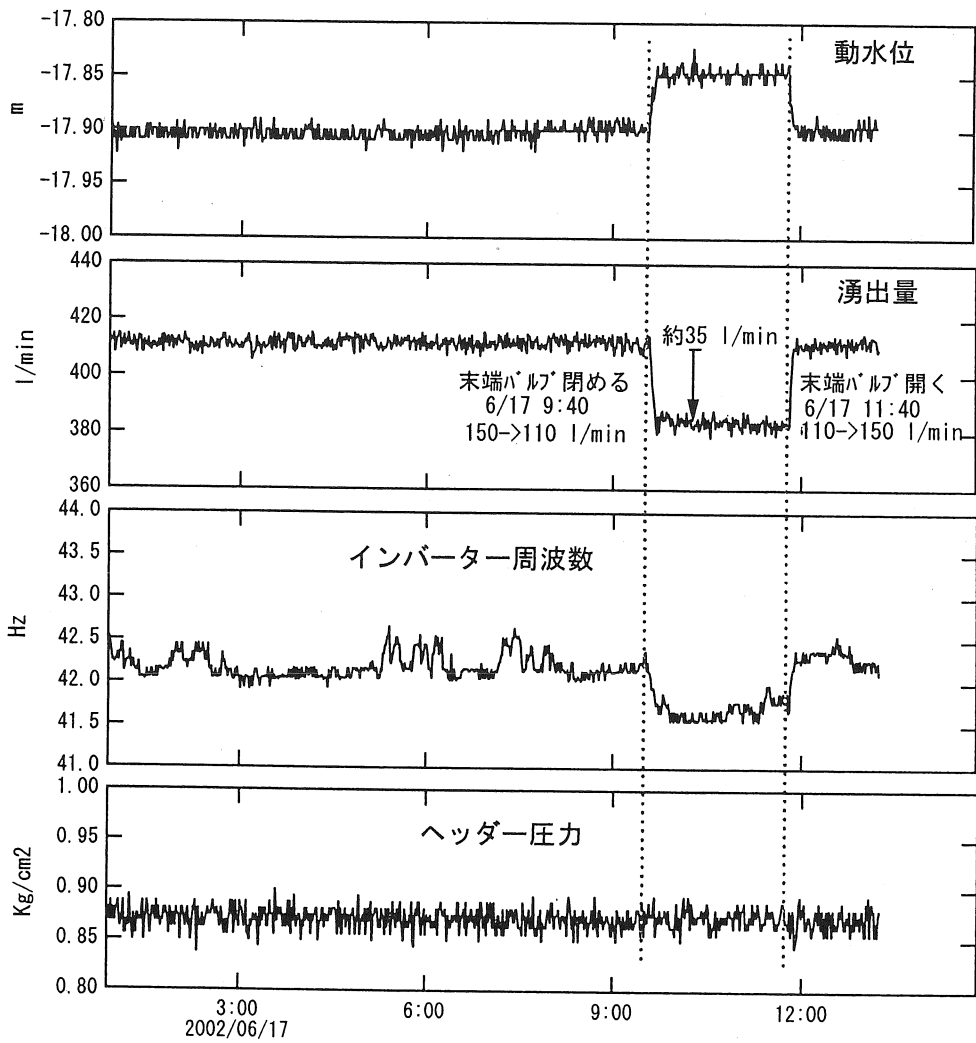
第13図 阿寒湖温泉における温泉資源状況の経年変化



第14図 阿寒湖温泉の温泉貯留層概念モデル



第15図 Lumped Parameter Model による Cl 濃度の変動予測例  
(熱水体積の時間変化係数と本源熱水供給量が一定の場合)



第16図 阿寒湖温泉新2号源泉における温泉揚湯自動制御試験結果



---

第 41 回 試錐研究会講演資料集

発 行 平成 15 年 3 月 11 日

編 集 試錐研究会

出 版 北海道立地質研究所

〒060-0819 札幌市北区北19条西12丁目

☎ 011(747)2211(代)

Fax. 011(737)9071

URL <http://www.gsh.pref.hokkaido.jp>

---