

第32回試錐研究会

講演資料集

期 日：平成6年3月17日(木)

会 場：札幌サンプラザ(2F金枝の間)

(札幌市北区北24条西5丁目)

AK

第32回 試錐研究会

プログラム

主催 北海道立地下資源調査所

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6年3月17日(木)
10時～17時

場所 札幌サンプラザ 2F 金枝の間
(札幌市北区北24条西5丁目 Tel. 011-758-3111)

あいさつ

北海道立地下資源調査所長 早川福利

特別講演

“健康と温泉”

北海道大学 医学部

教授 阿岸祐幸

昼食 (12:00～13:00)

講演

1. 温泉掘削の現場にみる機器の改良工夫事例とその適応

上山試錐工業(株)

出口 高 広
種 畑 邦 彦
田 中 秀 二

2. ボーリング用泥水の廃泥処理について

(株)テルナイト

石川 義 昭

3. 北海道の地温勾配図

地下資源調査所

若 浜 洋

4. 温泉熱利用のケーススタディ

(株)サンエンジニアリング

直 江 正 晴

5. ボーリング孔を使った物理探査法と 泉源開発のための新しい探査法

応用地質(株)

村 上 弘 行

あいさつ

北海道地質調査業協会理事長

齋 藤 昌 之

懇 親 会 (17:30 ~ 19:30)

会場 札幌サンプラザ
(2F 高砂の間)



特 別 講 演

健康と温泉

北海道大学 医学部

教授 阿岸 祐幸

1. 温泉と人間のかかわり

私ども日本人は温泉に対し本能的ともいえる強い親和感を抱いているようである。観光業者の遊興中心の宣伝に関心のない人でも、仕事で疲れたりすると、思わず「あゝ温泉にでも行ってゆったり湯につかりたいなあ」と口にてしてしまう。そこには温泉への一種の信仰に似たものが潜在的にあるようである。

古くから人々の生活の中で、水は体の汚れを落して清潔にするばかりでなく、魂の穢れも除き浄める神聖なものと考えられてきた。まして地中から熱い湯となり湧きでてくる温泉に不思議な魔力があると感じて当然であったろう。

温泉のもつ医療効果は、わが国でも、ヨーロッパでも鳥獣たちが温泉につかって傷などを癒しているのを見かけて人間も利用するようになったという温泉由来記が多くみられる。なぜかどこでも鹿が主役として登場することは面白い。

わが国では、温泉はすでに奈良時代に「神湯」として病者に施こされたという記録があり、古くから温泉の医療効果を経験的に知っていた。江戸時代には人びとは温泉を湯治という形で広く利用していた。とくに農村では忙しい農繁期が終わるといろいろな名のついた湯治が行なわれる習慣があった。たとえば「正月の湯」、「寒の湯」、「田植前の湯」、「野上がりの湯」、「一番草後の泥落しの湯」、「取り入れ前の湯」、「刈入れ後の湯」、「秋湯治」などと呼ばれ、農仕事による心身の疲労を癒して取り除くばかりでなく、次の仕事への体力づくりも兼ねていた。すなわち温泉の保養効果を十分に活用していたのである。明治時代になり近代的な西洋医学が導入されたが、温泉医学もベルツなどの指導によって近代医学の一分野として、科学的な方法論に基づく研究が行われようになり今日に至っている。昭和10年には日本温泉気候学会が設立された。その後全国6か所の温泉地に大学附属の温泉医学研究所が設置されて活発な研究活動が行なわれるようになった。

このように温泉は古くから、また洋の東西を問わず人の暮らしの中でその保健作用が利用されてきた。しかしその利用法は、時代や場所によりさまざまに異なっている。私たち日本人は、温泉という熱い湯に手足を伸ばし首までたっぷりつかるといった情景を思い浮かべる。いっぽうヨーロッパの人達は、水浴ばかりでなく、飲泉、吸入、運動浴、蒸気浴や泥浴などバラエティーに富んだ場面が頭を過ぎるに違いない。事実、ヨーロッパでは温泉の利用法は多彩であり、その周囲の自然環境のもつ保健作用にも強く関心がもたれている。温泉や気候保養地に行くと、楽しみながら温泉や自然環境の保健作用を利用しようとする考え方が具現化された施設やシステムが整備されているのがよく分かる。

2. 保健・医療と温泉

温泉を健康生活とのかかわりからみると、目的によって①観光・レジャー ②レクリエーション ③保健・医療 という3つの面での利用法があるといえる。このうち、保健・医療面での利用は、さらに休養、保養、療養とリハビリテーションに分けることができる。休養は日常生活で疲労や過労を取り去る目的で1～3日くらい滞在する。保養は明日の活動のために体調を整え、健康を維持したり体力を増進するなど積極的に利用することで、比較的長時間の滞在を要する。療養は医療の分野で病気の治療のため温泉を利用するものである。リハビリテーションは病気や外傷、手術などで低下したり失ったりした機能や、残った機能をできるだけ正常状態に回復させたり、十分な代償機能を得るために訓練することである。温泉医学の立場からみると、従来はどちらかという温泉は慢性疾患の療養やリハビリテーションに重点が置かれていたが、最近ではこれに加えて心身のストレス状態からの解放や、健康維持、体力増強など予防医学的な面に関心が向けられてきており、社会の要望も強くなってきている。

現在、温泉地にある病院で行なっている温泉療法は、現代治療医学のひとつとして科学的な方法論に基づいたものである。温泉療法といっても、温泉浴や飲泉のように単に温泉水を利用するばかりではなく、さらに運動療法、マッサージや温熱療法のようないろいろな理学療法、食事療法などを組み合わせた複合療法を行うのが普通である。また患者は日常の社会や家庭生活から離れて、空気のきれいな緑の豊かな自然環境にある温泉地に転地するわけで、転地による心理効果や気候要素の刺激による効果も無視できない。このような治療環境下である期間滞在し、自然のリズムに則った規則正しい療養生活を送ることが大きな特色である。もちろん薬物や手術など治療法も必要に応じて併用する。わが国では、温泉を利用したい時は医師の処方や指導は必要なく、自分の好みや社会的条件によって温泉地や滞在期間を選ぶうる。

しかし、そこには誤った習慣や言伝えなどで科学的根拠に乏しい利用の仕方をしていくこともありうる。正しい温泉療法は温泉地にある病院や関連医療機関で専門医の管理のもと、処方や指導を受けるべきである。ヨーロッパ諸国では温泉利用は正規の医療行為と認められ、原則として医師の処方と指導が必要で社会保険が適用される。わが国でも温泉病院で治療を受けると健康保険の対象となることはもちろんである。

3. 温泉療法と保養治療法

温泉療法という言葉は、それだけでは温泉水を利用して病気を治療するという意味にとられる。しかし、現在の温泉療法を定義すると「地下の天然産物である温泉水、天然ガスや泥状物質などのほか、温泉地の気候要素なども含めて医療に利用する」というものである。すなわち、単なる温泉水による医療ばかりでなく保養地療法の意味も含まれているのである。

温泉療法という用語は、英語でbalneotherapy、ドイツ語でBalneotherapieというが、いずれもギリシャ語のbalneion、ラテン語のbalneumからきていて「水浴」という意味である。英語ではbathである。

この温泉療法は一般に温泉保養地で行われる。保養地に滞在し保(療)養することをドイツ語でKurといい、保養地で温泉療法や気候療法Klimatherapieなどの療法を行うのがKurbehandlung (Behandlungは治療の意)である。英語では、cure treatmentと訳す。これらの療法は保養地で行うことから保養地療法Kurortbehandlung (Ortは場所の意)ということもある。英語で温泉地で行う保(療)養をspa treatmentという。Spaはベルギーの有名な温泉のある町の名である。

ドイツで保養地をKurortというが、厳密にいうと病気を療養する場所すなわち療養地と訳すべきであろう。気分をリフレッシュしたりスポーツを楽しむ場所はErholungsortとしてあるので、本来はこの場所を保養地というべきかもしれない。しかし、現在ドイツでもKurortは療法よりも保養志向であり、わが国でも温泉地は保養の目的に沿って利用される傾向が強く、語感からも明るいイメージを抱かせることもあり、その医療機関で真の療養を行っていても、本稿では温泉保養地と呼ぶことにする。

4. 温泉療法・温泉保養地療法の作用原理

最近の医学ことに薬物療法や手術療法で代表される治療医学の発展は目覚ましいものがあり、その進歩の前には温泉療法などはもはやその意義を失ったとする考えがある。しかし、温泉療法と薬物・手術療法とはその作用原理が根本的に異なっていることを理解しなければならない。

現代治療医学の主流である薬物療法や手術療法では、からだに直接働きかけ、薬物の血中濃度のあるレベル以上に高めたり、病巣部を直接摘出除去するといったような人為的療法である。すなわちこの基本的な考え方は、病気や障害の原因となっているものに直接働きかけてこれを除去しようとするもので、いわば病因除去を志向pathogenetically orientedした治療法である。この治療法の特色は、表1で示したように、①急性感染症に抗生物質を投与して病原菌に作用させたり、腫瘍を外科的に摘出してしまいうように、病気や障害の原因や病巣部を除去(elimination)する。②たとえば肝臓の機能低下に薬物を服用させるように、病的状態にある特定の機能や器官を正常の方向に修整、修復(correction)してやる。③義肢や人工臓器のように、障害を受けたり病的状態の機能や器官を代用物で補充したり置換(substitution)する、などである。

現在の医学教育や医療の基本的な考え方はこの病因志向である。実際、急性疾患の治療や緊急時の処置、リハビリテーションでこれらの治療法が大きな役割を担っていることは疑いのないところである。しかし、これらの病因除去を目的とした治療法だけでは、場合によって適切十分でないことが明らかになってきた。たとえば、多くの慢性疾患や、現在のように高度に工業化された文明社会でみられるようなストレス病、機能の調節障害による病的状態に対処しようとするような場合である。また、健康な人にとって健康を維持増進させたり、体力を増加させて病気予防を目指すような場合もある。さらに、個人にとっても社会にとっても望ましい心身の調和のとれた健全さwellnessを確立させ維持させようとするのに効く薬物療法などありえないのである。

温泉療法は、温泉浴や運動、気候要素なども含めた治療刺激をからだ全体に作用させ、

その防御能を利用して反応させる自然療法である。このような刺激に適応していく過程で、からだの機能は訓練を受けて変調して行き、生体防御能が強化される。その結果、病的機能は正常化し、健康状態を再確立させ、健康な機能はさらに増強する。すなわち温泉療法は健康増進を志向hygiogenetically orientedの治療法といえることができる。

表1 薬物・手術療法と温泉療法の作用原理の比較(ヒルデブラントによる)

人為的治療（薬物・手術治療） 直接的 病因志向型 pathogenetically oriented 1. 病因・病巣の除去 2. 病的状態から正常への修整 3. 障害機能に対する代用 機能の補充，置換	自然療法（温泉・気候療法） 間接的 健康増進志向型 hygiogenetically oriented 1. 病的状態からの自律的回復 2. 機能調整能の改善と 病的状態の正常化 3. トレーニングによる生体 防御能，適応能の増強
---	--

温泉療法は、からだが出来もっている自然の治癒力*medicatrix vis naturae*、あるいは防御能を最大限に利用しようという考え方に立つ治療法である。因みにHygeiaはギリシャ神話の健康を司る女神であり、医療（技術）の神であるAsclepius アスクレピオスの娘である。衛生学hygieneはその名前からきている。温泉療法は薬物や手術療法と異なり、からだの内部から作用して治癒力を発動させ増強させようとする、いわば間接的効果を期待するものである。そのための刺激も荒っぽいものより穏やかなもの、たとえば入浴、運動、自然、気候環境要素などを刺激手段として用いようとするものである。もちろん、現在ではこの種の自然療法には効果に限界があることも理解されており、必要に応じて薬物や手術による治療も併用することは既に述べたところである。

自然療法としての温泉療法の特色を前述の人為的療法の薬物・手術療法と比較してみよう（表1）。温泉療法の特色は、①歪んだり病的状態にあつたり、または、不活性化されたからだの機能を自律的に正常状態へと回復させる（recuperation）。これは安静とか、循環促進、酸素の供給などによって正常状態に戻る過程を増強させるような場合である。②いろいろな治療刺激によって、主に自律神経系がゆさぶりをかけられ、この系を介してからだの諸機能を調節する能力が改善され、病的機能が正常化する（improvement and normalization）。そして③運動のような方法で積極的に機能のトレーニング（training）を行ない、からだの内外の異常環境に対する全身の防御能や適応能が増強することである。

以上の説明から分かるように、温泉療法と薬物・手術療法とはその作用原理が異なるものであり、両療法はその適応を競うものではなく、互いに補い合うものである。日常診療の中では温泉療法は、多くの場合薬物や手術療法の前後やあるいは同時に行われている。よい例は手術前に温泉療法で体力を増強しておいたため手術による消耗が少なく、術後の体力回復が早くみられた成績がある。

温泉療法の目的は表2にまとめた。すなわち慢性疾患やリハビリテーションで、病的機能の調整、生体防御能の強化などの目的があるが、今後重要性を増すのは健常人を対象とする予防医学的面で、健康維持、体力増進、心身の健全さが得られるよう積極的に活用することであろう。

現在の社会生活では、自然の時間の流れによらない生活を強いられていることが多い。エアコンディショニング、人工照明、夜間労働、鎮静剤やホルモン剤の乱用、ジェット機による旅行などは、われわれ現代人の生理的リズムやホメオスタシスの調節機能に大きなストレスとなっている。このようなストレス状態はある期間温泉療法を行ない、脱ストレス、生体リズムの正常化への調整を図ることが望ましい。また、到来しつつある高齢化社会に対応するため成人病の予防やお年寄りのデイケアなどに温泉療法は最も望ましい方法であろう。

表2 温泉療法の目的

<p>I. 慢性疾患に対し</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 生体の反応性と防御能を改善。 2. 障害機能の改善と健康な機能の強化。 3. 薬剤などの基礎治療を最小限にしたり中止させる。 4. 療養期間の長期化を防ぐ。
<p>II. リハビリテーションでは</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 運動負荷などで生体の適応性を高める。 2. 精神的適応能を増加させる。 3. 家庭や職場など社会的ストレスより解放する。
<p>III. 予防医学的に</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 成人病やストレス性疾患の予防や危険因子を除去する。 2. 健康の維持と増進、体力増進を図る。 3. 疾患の早期発見と早期治療。

5. わが国の温泉

(1) 温泉の現状と定義

昭和63年の時点では、全国で源泉数は21,095ある。このうち42℃以上の源泉数は10,940で、湧出量も豊富である。温泉地数は2,189か所ある。

昭和23年に公布された温泉法によると、温泉とは「地中から湧出する温水、鉱水および水蒸気、その他のガス（ただし、炭化水素を主成分とする天然ガスを除く）で、温泉源での温度が25℃以上のものか、または表3に掲げる物質のうち、いずれかひとつが限界値以上を含む」ものと定義している。この中で鉱泉とは「地中から湧出する泉水で、多量の固形物質またはガス状物質もしくは特殊の物質を含むか、あるいは泉温が泉源周囲の年平均気温より常に著しく高いものをいう」と定義され、常水と区別している。鉱泉は必ずしも冷たい湧き水の冷鉱泉だけではなく、温度の高い温泉も含まれているの

である。温泉、鉱泉のうちで、特に治療の目的に利用されるものを療養泉と称し、泉水中の溶存物質の限界値が決められている（表3）。

表3 鉱泉および療養泉の成分量限界値

	鉱泉の規定 mg/kg (温泉法)	療養泉の規定 mg/kg
溶存物質総量(ガス成分を除く)	> 1,000	> 1,000
遊離炭酸(CO ₂)	> 250	> 1,000
リチウムイオン(Li ⁺)	> 1	—
ストロンチウムイオン(Sr ²⁺)	> 10	—
バリウムイオン(Ba ²⁺)	> 5	—
銅イオン(Cu ²⁺)	—	> 1
総鉄イオン(Fe ²⁺ +Fe ³⁺)	> 10	> 20
マンガンイオン(Mn ²⁺)	> 10	—
水素イオン(H ⁺)	> 1	> 1
臭素イオン(Br ⁻)	> 5	> 30
ヨウ素イオン(I ⁻)	> 1	> 10
ヒドロ炭酸イオン(HCO ₃ ⁻)	—	> 360
フッ素イオン(F ⁻)	> 2	—
ヒドロヒ酸イオン(HAsO ₄ ²⁻)	> 1.3	—
メタ亜ヒ酸(HAsO ₂)	> 1	—
総イオン(S)	> 2	> 2
[総硫化水素+チオ硫酸に対応するもの]		
総ヒ酸(メタ亜ヒ酸HAsO ₂ として)	—	> 1
ホウ酸(HBO ₂ として)	> 5	> 100
ケイ酸(H ₂ SiO ₃ として)	> 50	—
炭酸水素ナトリウム(NaHCO ₃)	> 340	—
ラドン(Rn)	> 20×10 ⁻¹⁰ キュリー (5.5マッハ)	> 30×10 ⁻¹⁰ キュリー (8.25マッハ)
ラジウム(Raとして)	> 10 ⁻⁸ mg	> 10 ⁻⁷ mg
温度	> 25°	> 25°

(2) 療養泉の分類

わが国では、療養泉をその化学成分の組み合わせによって次の9種類に分類している。ここではそれぞれの泉質について臨床的にみた適応症や使用に際して注意すべき点なども記した。

1) 単純温泉

「常に25℃以上の泉温で、固形成分および遊離炭酸の含有量が、水1Kgにつき1gにみたないもの」

この温泉は、泉質の種類に関係なく、ただ濃度が薄いために単純温泉と呼ばれ、日本の温泉の中で最も多くみられる。したがって、泉質の種類によってからだへの効果にも差がある。一般に、お湯がやわらかで、刺激性も穏やかであり、お年寄りを含めてすべての人に向く温泉といえる。神経痛、筋・関節痛、病後の回復、健康増進、疲労回復など、広く利用される。また、無色透明無味無臭のことが多く、くせがないので飲用にも適し、とくに胃腸に働いて消化を助け、利尿効果もある。

2) 二酸化炭素泉（炭酸泉）

「水に1Kg中に遊離炭酸1g以上を有する」温泉水に炭酸ガスがとけ込んでいる温泉で、ヨーロッパに多くみられる。炭酸ガスは皮膚から吸収されて末梢血管を拡張し血行を促進する。高血圧の人でも心臓に負担をかけず血圧を下げる。ヨーロッパでは「心臓の湯」として心疾患に用いられている。現在でも、軽い高血圧症、末梢閉塞性動脈疾患、リウマチ性疾患に利用される。飲用では、胃粘膜の血管拡張により充血させて消化管運動を促したり、水分吸収を助けるので、食欲を高め利尿効果が期待できる。

3) 炭酸水素塩泉

これには2種類ある。

①カルシウムまたはマグネシウム炭酸水素塩泉（重炭酸土類泉）

「水1Kg中に固形成分1g以上有するもので、陰イオンが炭酸水素イオン、陽イオンとしてカルシウムイオンおよびマグネシウムイオンが主成分である」

カルシウムやマグネシウムは鎮静、鎮痛、抗炎症作用があり、アレルギー性疾患、慢性皮膚疾患、じんま疹、リウマチ性疾患によいとされる。飲用すると利尿効果、尿酸排泄効果があるので、痛風、高尿酸血症、それに慢性胃腸障害によい。

②ナトリウム炭酸水素塩泉、アルカリ泉（重曹泉）

「水1Kg中に固定成分1g以上有し、陰イオンに炭酸水素イオン、陽イオンには80%以上がナトリウムでこれが結合すると重炭酸ナトリウムとなるもの」

重曹は、皮膚表面の脂肪や分泌物を乳化して軟かくし、肌をなめらかにする。この温泉に入ると、浴後の皮膚表面からの水分発散が盛んとなって体温放散が強まり、清涼感、爽快感が強くなり「冷えの湯」ともいわれる。

浴用の適応は、外傷、皮膚病、リウマチ性疾患などである。飲用すると、重曹は胃酸を中和し、できた炭酸ガスは、粘液を溶解し、胃粘膜を刺激して運動を高めるので、過酸症や消化管潰瘍によい。ただし、この時は食前に温かい重曹泉を飲むようにするとよい。胃液分泌を高めるには食後に冷たい重曹泉を少量飲用する。重曹泉の飲用により、胆汁分泌促進や肝臓や膵臓の働きを助けるので、ドイツでは「肝臓の湯」として、胆石、慢性胆のう炎、初期の肝硬変、糖尿病や痛風に用いている。

4) ナトリウム塩化物泉（食塩泉）

「水1Kg中に固形成分1g以上を有し、陰イオンは塩素イオン、陽イオンはナトリウムイオンが主成分で、結合すると食塩を構成するもの」

日本では単純泉に次いで多い温泉である。この場合は、多量の飲用は避けなければならない。

5) 硫酸塩泉

「水1Kg中に固形成分1g以上を有し、陰イオンとして硫酸イオンが主成分で、主な陽イオンの種類で4種類に分けられている」

① ナトリウム硫酸塩泉（芒硝泉）

陽イオンがナトリウム。浴用では高血圧や動脈硬化症、外傷によい。飲用はドイツが盛んで、胆道疾患、糖尿病、肥満症に効くとされている。

② カルシウム硫酸塩泉（石膏泉）

陽イオンがカルシウム。カルシウムの鎮静消炎作用を利用し、切傷、やけどに用いられてきた。リウマチ性疾患、高血圧症に適するといわれている。飲用で、じんま疹、胆道疾患、慢性湿疹に用いられる。

③ マグネシウム硫酸塩泉（正苦味泉）

陽イオンがマグネシウム。効果は芒硝泉、石膏泉に準ずる。

④ アルミニウム硫酸塩泉（明ばん泉）

陽イオンがアルミニウム。明ばんは収れん作用があり、水虫、湿疹など慢性皮膚病に用いられる。

6) 鉄泉

「水1Kg中にフェロイオンまたはフェリイオンが10mg以上含まれてれている」。これに2種類がある。

① 炭酸鉄泉（フェロイオンと陰イオンのヒドロ炭酸イオンを含み、これが結合して重炭酸第1鉄となる）

② 緑ばん泉（フェロイオンと陰イオンの硫酸イオンを含み、結合して硫酸鉄となる）
鉄泉は飲用で体内に吸収され、貧血症に用いられる。浴用でも鉄が皮膚から吸収される。浴用には、リウマチ性疾患、更年期障害などによい。

7) 硫黄泉

「水硫イオンか水素イオンとともにチオ硫酸イオンあるいは遊離硫化水素を含有し、水1Kg中にヨード法で滴定されている硫黄の総量が1mg以上あり、温泉の特異作用が硫黄によると確認されたもの」

硫黄泉は、炭酸泉と同様に、末梢血管拡張作用が強く、動脈硬化症、振動障害、頸肩腕症候群などの症状に適する。

浴用には、高血圧症、糖尿病、皮膚角化症や慢性湿疹などの皮膚疾患によいとされている。飲用には硫黄の解毒作用により、金属中毒や薬物中毒に用いる。

また硫化水素ガスは痰を出しやすくするので、慢性気管支炎、気管支拡張症に用いる。

8) 酸性泉

「水1Kg中に水素イオン1mg以上を含み、塩酸や硫黄のように遊離鉱酸を構成するもの」この温泉は刺激が強く、入浴でただれを生じやすい。皮膚の弱い人、病弱の人、お年寄りには向かない。

強い収れん作用があるので、水虫、疥癬などに効果がある。

飲用には、低酸、無酸症、低色素性貧血によい。

9) 放射能泉

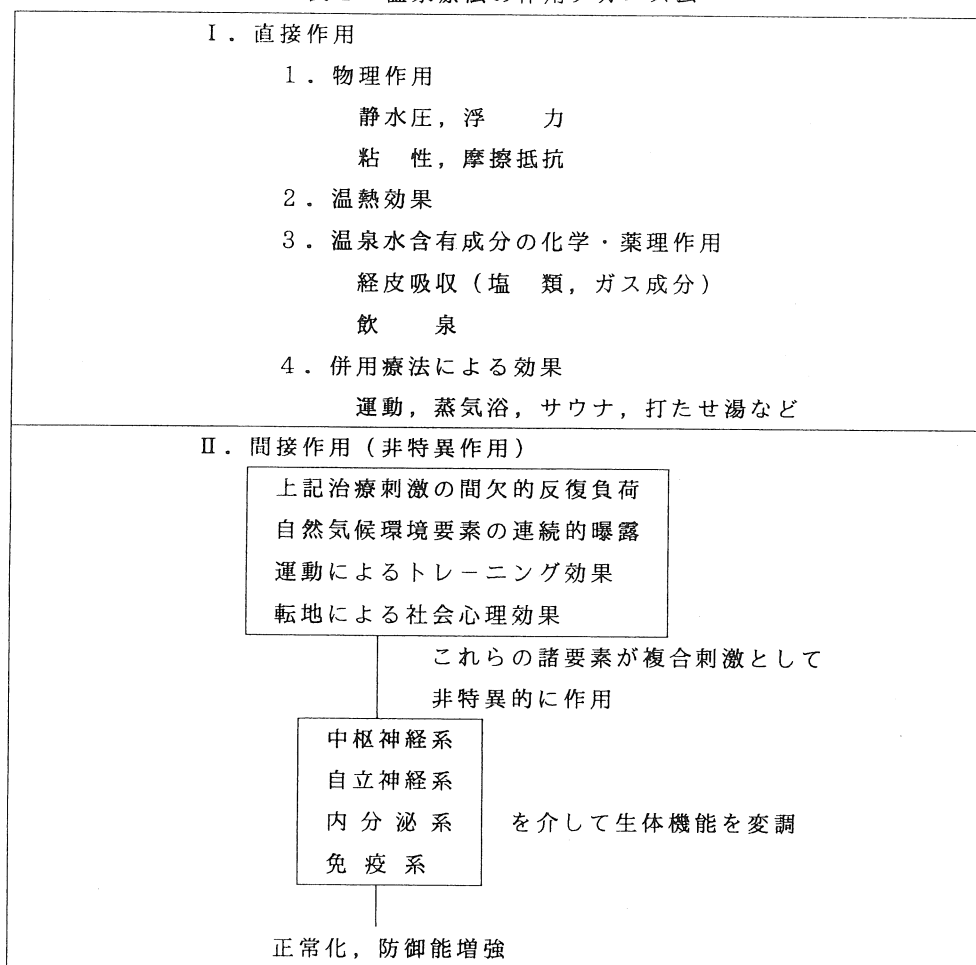
「源泉水1ℓ中にラドン量が百億分の30キュリー以上含まれている」

温泉中のラドンは、浴用、飲用により皮膚や粘膜から吸収され肺から呼出される。浴用には、神経痛、リウマチ性疾患などに向く。飲用には、高尿酸血症、痛風、糖尿病によく、利尿効果もある。

6. 温泉療法の作用因子と作用のメカニズム

わが国で普通行なわれている温泉療法では、温泉浴が中心となる。温泉療法の効果を知るためには、温泉浴によるからだに直接作用する因子と、この治療刺激をある期間くり返し負荷して、からだの機能を変調させる間接的な作用因子を理解する必要がある(表4)。

表4 温泉療法の作用メカニズム



(1) 直接作用

わが国では、温泉は入浴の形で利用することが最も多い。また熱いお湯の中に首までつかるといふ入浴法は、からだに強い影響を与えるので、入浴による作用を少し詳しく述べる。入浴では、からだは皮膚または粘膜を介して温泉の影響を直接受けることとなる。入浴で作用する物理的因子は、浮力、静水圧、温熱、浸透圧などが主なものである。もし水中で運動すると、水の粘稠度、摩擦抵抗性などが加わる。また温泉水含有成分の化学・薬理作用がある。

1) 浮力

水中にからだを入れると、アルキメデスの原理により体重は減少し、空気中の場合の9分んの1以下となる。このため下肢への負担が減り、麻痺患者でも自動運動がやりやすくなる。このような性質はリハビリテーションの水中運動の際に応用されている。

2) 静水圧

水中では水深が1m増すごとに76mmHg(0.1気圧)の水圧がからだの表面にかかる。したがって立位で水中にいと、下半身には80~100mmHgの圧が加わる。からだはその部位によって静水圧を受ける割合が異なり、四肢の内部へその85%、腹腔内へはその80%、胸腔内でもその70%が伝達される。この圧により下肢の周囲は約1.5cm、腹囲は3~5.5cm、胸囲でも2~3cmくらいまで減少する。

日本人の好む全身浴では、静水圧は特に心・循環系に強い影響を与える。図1の左のように、空気中に立っていると、下半身の静脈血は重力により変形した低血系を形成する。からだが入水に入り、水位が横隔膜の高さまでくると、静水圧の影響がでて下半身の静脈血が心臓の方へ押しやられる(静脈還流増加)。しかしその程度は、からだを空気中で立位から臥位に変えたときと同じ程度である(図の中)。したがってこの高さまでの水浴では、心不全の患者でもあまり心臓に負担がかからない。水位が頸部の高さまでくると、血液が胸郭内に強く押し上げられ胸腔内圧が高まる(図右)。一般に日本人は入浴時にうずくまる姿勢で首まで水に浸るのに比べ、西洋式の浅い浴槽中に半臥位で入浴すると、下肢に加わる静水圧も強くなり、胸腔内圧の上昇も少なく心臓への負担は軽い。

3) 浴水温度と生体機能

入浴は浴水温度より、冷水浴(24℃以下)、低温浴(24~34℃)、不感温度浴(34~37℃)、微温浴(37~39℃)、温浴(39~42℃)と高温浴(42℃以上)に区別する。水浴して冷たくも熱くも感じない水温が不感温度であり、いろいろな生理機能の変化はもっとも少ない。これより水温が高くなると、心拍数、心拍出量、一回拍出量などが増加する。末梢循環では微温浴以上で毛細管、小動脈、静脈の拡張が起こり、血流量、血流速度の増加や末梢血管抵抗の減少がみられる。血圧は微温浴では入浴直後の変動はほとんどなく、むしろ次第に下降してくる。これに対し、日本人の好む肩まで浴水中に浸る高温浴では、急激な血圧上昇が起こりうるので高血圧症や動脈硬化症の人には勧められない。臨床上、浴温が高いと筋・関節の鎮痛、弛緩作用が大きく、運動器の可動域が増すので運動療法に有利となる。

自律神経に対しては、高温浴や極端な冷水浴では交感神経が興奮する。しかし微温浴

では副交感神経優位となり鎮静効果がある。そのため寝る前の高温浴はなかなか寝つかれないが、ぬるめの湯に入るとぐっすり眠ることができる。

4) 入浴時の体温調節

体温は環境条件の変化に対し熱産生と熱放散の2つの調節機構のバランスによりその恒常性が保たれている。からだの深部で産生された熱は、大部分が血液循環で皮膚や四肢の表面に送られて体外に放散される。図2でみられるように、空気中にはだかである(図右)熱放散は、輻射、対流、伝導と蒸発の4経路のすべてで行なわれるが、輻射と対流が主である。からだ在水中にあると図の右でみられるように、水温が28~40℃の間では熱放散は対流と伝導により、輻射はほとんどなく発汗による蒸発は起こらない。水の比熱は空気の25倍、熱伝導率は3,700倍もあるので、水中では空気中に比べて熱喪失量は大きく、30℃の水温でも熱産生の増加が起こる。熱放散量が大きいため水中での皮膚温は水温に近くなり、四肢も躯幹と同じようになる。

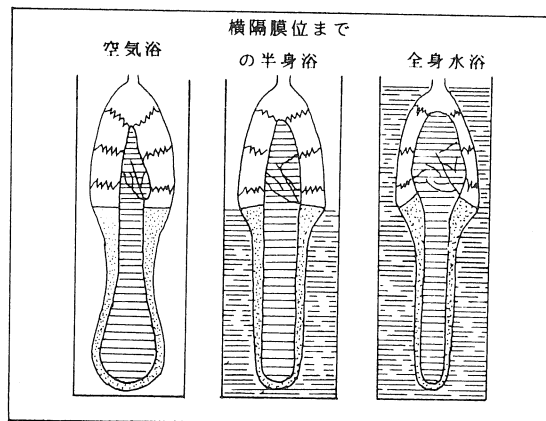


図1 横隔膜位までの半身浴および全身水浴における静水圧の体内血液分布と心機能に及ぼす影響(ガアによる)

入浴時のエネルギー代謝

水中で安静にしている時の基礎代謝量は、不感温度域でもっとも少なく、酸素消費量は0.3~0.5ℓ/分である。水温が不感温度より低下しても上昇しても代謝は高まる(図3)。入浴時の水温と消費カロリー量の変化は図4でみるように、42℃の高温浴を20分行なうと約220Kcal消費し、25℃冷水浴を20分すると約100Kcalの奪熱がおこる。

5) 入浴の利尿作用

不感温度の水中に長時間浸ると、尿量や尿中のNaやK排泄量が増加する。この利尿の程度は水深と関係し、水位が臍位以下では効果がないが、剣状突起より上に行くに従い強くなる。この入浴による水利尿は、静水圧により末梢循環領域の血液が胸腔内に押しやられ、静脈還流が増し、左心房圧が増すと圧受容体に作用し、ヘンリー・ガウアー反射により迷走神経を介して神経性刺激を脳下垂体後葉に送り、抗利尿ホルモンADHの放出が抑制される。そのため腎尿細管での水再吸収が抑制されて水利尿が起こる。ま

た入浴により尿中Na排泄量が増加するのは、静脈還流増加のため右心房圧が増すと、伸展受容体を介してレニン・アンジオテンシンII・アルドステロン系の抑制が起こり、腎尿細管でのNa再吸収が減少する。また、腎内プロスクグランディン増加、交感神経緊張位の低下による腎内血流量の変化がおこる。最近になり、右心房から心房性ナトリウム利尿ペプチドの分泌増加がおこることが分かった。これらの諸因子が働いて尿中Na排泄量が増加するのである（図5）。

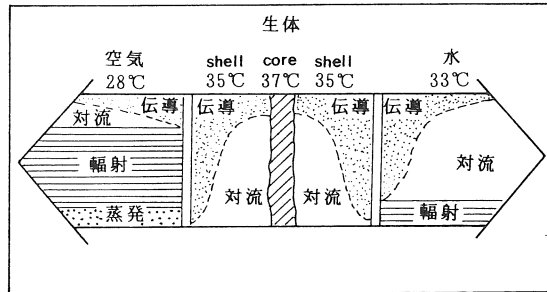


図2 空気と水中での生体からの熱放散(ドレケルによる)

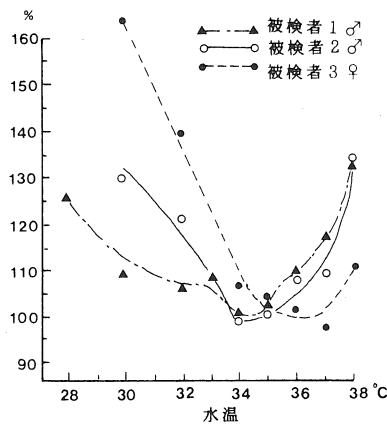


図3 水温と基礎代謝(ドレケルによる)

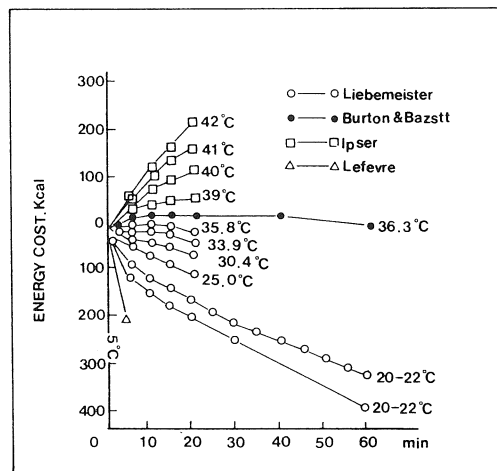


図4 全身水浴時の水温と体熱量の変化(ドレケルによる)

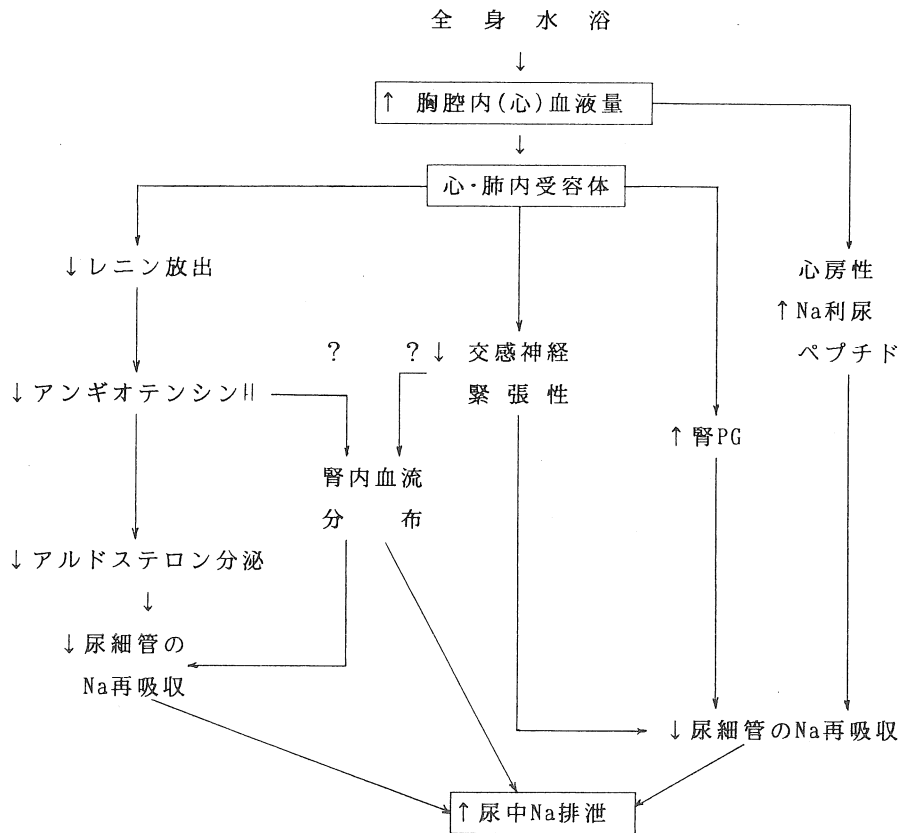


図5 全身水浴による尿中Na排泄増加のメカニズム(エフスタインによる)

(2) 温泉水含有物の薬効作用

1) 皮膚や粘膜からの吸収

これは温泉作用のもっとも特異的なものである。温泉浴や飲泉で含有成分は経皮(粘膜)的に吸収される。温水中に1時間浸っていると、皮膚表面1cm²あたり1μℓの水が吸収されるので、全身では16~20mlの水が体内に入ることになる。

温泉中のガス成分で、からだに薬効作用を与えるのは、炭酸ガス、硫化水素、ラドンやトロンなどであるが、これらは脂溶性で経皮的に容易に吸収され、その程度は水の10~100倍である。皮膚から吸収されると、静脈を経て心臓へ行き肺から呼出される。ラドンやトロンは化合物を作らずα線を出して崩壊する。炭酸ガスや硫化水素はいずれも血管拡張作用が強く、とくに硫化水素は還元力が強くて化合物を作り易い。無機成分で脂溶性物質は皮膚からの吸収は比較的容易である。ヨードや鉄などは皮脂腺から進入する。ナトリウム、カルシウムや硫酸基イオンなどは吸収され難い。

一般に、温泉の水温が高いほど、浴時間が長いほど、また濃度が高いほど経皮吸収は大となる。皮膚に炎症や潰瘍、やけどがある場合、炭酸ガスで充血している時などで吸収は促進される。連続泉浴では1回浴で経皮進入する電解質量は、次第に減少し、浴中止後にこの能力が前値に戻るのに3週間くらいかかる。

温泉中の塩類は表皮蛋白や脂肪と錯塩を作り、出浴後に皮膚表面の水分が蒸発すると薄い被膜を作り、熱放散を妨げるので保温効果がみられる。

天然の温泉水にはいろいろな微量元素や化学物質が同時に溶存していて、その相乗作用の可能性や、後述する老化現象などのため、溶存成分による生理作用の分析や解釈は難しいことが多い。

2) 温泉水の老化現象

雨水などの地表水と異なって、高温・高圧の地中深いところで出来る温泉水は、常温・常圧の地表に湧出すると、その温度や圧力は急激に低下し、さらに空気や日光に接するとその化学的性質も変わってしまうことが多い。たとえば、鉄泉は湧出時は2価の鉄で無色透明であるが、空気に曝されると3価の酸化鉄となり茶褐色の銹色となり、生物活性が失われる。炭酸泉も時間がたつと溶け込んでいる炭酸ガスが逃げてしまう。そのほか、温泉水中に溶けていたカルシウム、マグネシウム、硫黄などは沈殿してしまう。このように多くの温泉水は地上に出て時間がたつと、その物理的、化学的性質が変わってしまい、薬効作用も低下したり全くなくなったりする。この現象を温泉水の老化現象といい、鉄泉、炭酸泉、硫化水素泉、放射能泉などは変化しやすい。一般に、源泉場所から運ばれる距離が長いほど、湧出後の時間がたつほど老化現象は強くなる。したがって温泉の沈殿物である湯の華を溶かしても、何日もたった温泉水を飲用しても、心理的にはともかく、真の効果は期待できない。一般に利用しうる限界は湧出後3日ぐらいまでとされている。

(3) 温泉療法の非特異的変調作用

温泉療法では、温泉を入浴、飲泉、吸入などの方法で利用することが中心となるが、さらにマッサージや温熱療法などの理学療法、運動などを組み合わせて治療する。これらの治療刺激がある期間、間欠的に繰り返しからだに加えられる。保養地に滞在している間に、温泉地の気候要素による刺激や、治療前の日常生活によるストレスから解放されたり、転地による心理効果などが総合的にからだに影響を与えることなる。からだは、本来もっている自然治癒力、防御能力を利用して治療のため加えられる刺激に反応し、新しい治療環境に適応して行くわけである。この過程には自立神経系、内分泌系、そしておそらく免疫系が係わって進行する。その間、からだの機能は次第に鍛えられ、からだ全体の変調が起こり防御能が強化されてくる。その結果、病的にゆがんでいた機能やリズム性が正常の方向に調整され、外からの強い刺激に対する抵抗力や防御能を増やすと考えられている。その際、温熱や温泉水の化学物質などの刺激の種類や程度には無関係に、からだに加わる刺激全体の強さに応じて全身で反応するとの考えからこの作用は非特異的変調作用といわれる。これから分かるように温泉療法は一種の刺激療法であり、治療を受けるには治療刺激に反応しうる十分な予備力が必要である。また結果が現われるまでは一定の時間が必要である。

7. 温泉療法の禁忌と適応

すでに述べたように、温泉療法は一種の刺激療法であり、治療を受ける側のからだに

はそれに十分反応しうる予備力が必要である。したがって、この予備力の低下している高齢者とか体力の消耗している患者、あるいは本療法に過剰に反応するような場合は禁忌とするか治療に当って細心の注意が必要となる。主な禁忌症を表5で示した。

温泉療法の適応となる対象も、作用原理を考えると自ら明らかとなる。すなわち、病的または健康な機能をトレーニングによって障害機能をできるだけ正常に向けて回復させたい場合や、内外の異常刺激に対して心身の抵抗性や適応性を高めたい場合である。一般的に適応の対象となるのは次のようである。

(1) 慢性疾患に対し

慢性リウマチ性疾患

中枢性ならびに末梢性神経麻痺の機能回復

代謝性疾患、特に糖尿病、肥満、痛風など

慢性消化器疾患

慢性で軽度の呼吸器疾患

循環器疾患（中等度以下の高血圧、末梢循環障害）

慢性皮膚疾患

心身症、ストレスによる疾患

自律神経機能障害

振動障害

外傷後遺症

慢性婦人科疾患

(2) リハビリテーションについて

脳血管障害後遺症

慢性リウマチ性疾患

交通事故による後遺症

慢性麻痺 など

(3) 外科領域で手術の前後

(4) 予防医学的適応

成人病、職業病の予防

健康増進、体力づくり

などである。

表5 温泉療法の禁忌症

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. 急性疾患で有熱、症状が進行または悪化中のもの。2. 悪性腫瘍。3. 重篤な心，肝，腎疾患。4. 出血性疾患，高度の貧血。5. 妊娠の初期と末期。 |
|---|

8. 水中運動

水中運動はリハビリテーションの分野で広く利用されてきたが、最近では水泳を中心とした健康維持や増進のためさらにレクリエーションの目的にも用いられるようになった。

水中運動の長所は次のようなものがある。

- ① 浮力により体重が軽くなり運動が容易となる。
- ② 温水中では快い温感が得られ、また鎮痛、鎮静、筋弛緩効果により関節の可動域、筋の柔軟性が増して運動域が増大する。
- ③ 水が姿勢を支える媒体となり、弱い筋群に対し細かい訓練が可能となる。
- ④ 衣服による活動の妨げがなくなり、姿勢や動作の変化が容易となる。
- ⑤ 筋活動や運動の観察や触知がし易い。
- ⑥ ベッドや車椅子から離れることができ、歩行や運動訓練に対する自信と治療へ積極的に参加する意欲が期待できる。

水中で運動すると、水の静水圧や浮力のような物理的因子による影響のほか、水の粘性や摩擦抵抗が問題となる。粘性は内部摩擦で、液体自身の内部で相対的な運動に抵抗を与える。この抵抗の程度は物体の運動速度が速ければ大となり、形が流線型であるほどその他の形のものより小となる。水中で上肢の運動をすると、腕や指の端で水をきる方が手掌や手背で水を打つより抵抗は少ない。物体の周りの水流は一定でなく、移動する物体の前後で圧差がおこり後方に減圧部ができて水流を生じる。運動を突然に逆方向に変えると水流の惰性と攪乱運動により強い抵抗を受ける。

水中運動は水の浮力に関連して3つの基本形に分けることができる。(図6)。

- (a) 浮力介助運動(図6-a)。浮力の方向と同方向の運動で、重力をほとんど除外した運動が可能となる。
- (b) 浮力支持運動(図6-b)。浮力の方向と直角で、水面と平行な運動である。
- (c) 浮力抵抗運動(図6-c)。浮力と反対方向である下方に向かう運動で、筋力増進などに利用される。

陸上で行なう腕や下肢の運動では、空気の抵抗を無視しうるが、水中運動では水の粘性や摩擦抵抗が大きくエネルギー消費量が大となる。普通の柔軟体操程度の運動を上肢と下肢で行ない、肩以下を水に浸して行なった場合と、全く同じ運動を陸上で行なって比較した成績がある(図7)。結果は水中運動の方が、酸素消費量 V_{O_2} や心拍数ともに陸上運動より明らかに大きく、しかも下肢の運動の方が上肢の場合より両指標とも大きかった。

水中運動は、年齢を問わず広くレクリエーションからリハビリテーションまで広く利用されるようになった。水泳を初めとする水中運動には多くの利点はあるが、注意すべき点も多い。たとえば、水中では体位を一定に保つことが難しく、滑り易かったり、障害物が見難いなどである。また温水は疲労を生じ易く、不注意で溺れる危険性もある。水を通じての汚染や、皮膚や眼の感染症も起こりうるので細心な注意が必要である。

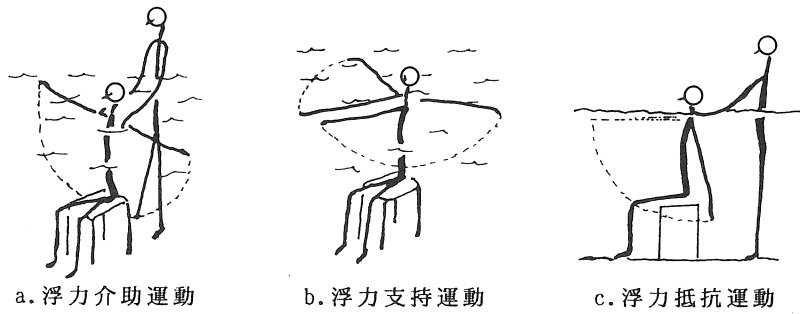
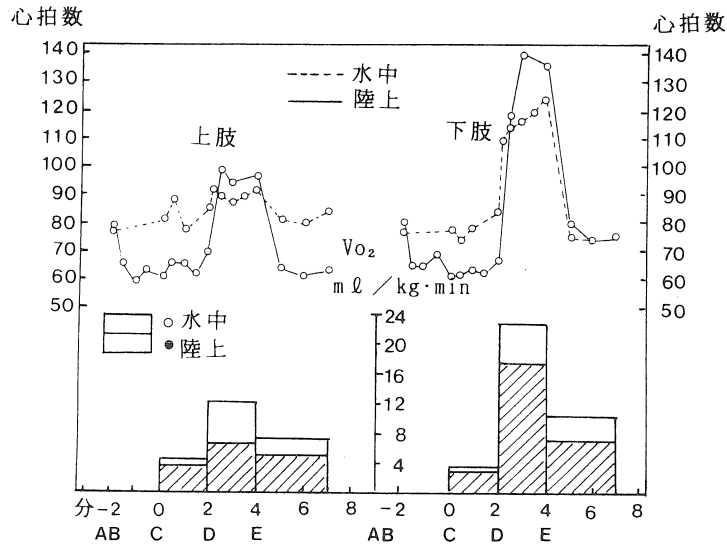


図6 水中運動の基本形、三角筋に対する水中運動例（ハリスらによる）



水中および陸上での上・下肢運動による心拍数と酸素摂取量の動き（男性）。

A - 入水時、B - 水中安静時、C - 安静中のガス採取、

D - 運動開始時、E - 回復期のはじめ

図7 水中運動と陸上運動の比較（ジョンソンらによる）

9. 飲泉療法の現状

わが国では、奈良時代に「神湯」として病者に施されたという記録があり、古くから飲泉の効能は認められていたようである。しかし、現在に至るまで飲泉の習慣はあまり多くなく、温泉療養法のひとつとしての飲泉に関する研究も少ない。近年、ミネラルウォーターや天然飲料水に対する関心が高まり、温泉ブームに関連して温泉飲用に対しても注目されるようになった。このような社会傾向を反映してか、昭和61年に環境庁から飲泉に関する温泉利用基準が一部改正された。改正の内容は、飲用しようとする温泉中の一般細菌、大腸菌および過マンガン酸カリウム消費量について衛生管理の基準値が設定されたこと、それに飲用に供する温泉源などが周辺環境から汚染されないように施設の管理を強化することがもりこまれている。これによって飲泉の普及とより安全な

利用が確保されるようになった。

最近の飲泉について動向を、学会の発表をもとにまとめてみる。個々の温泉病院や温泉地の宿泊施設を対象として調査した結果は、168施設のうち68か所で伝統的な飲泉が行なわれていた。飲泉の対象疾患は、胃腸疾患、糖尿病、リウマチ性疾患、痛風などが主であった。飲泉の回数は1日1～3回、飲泉量は100～1,000 mlであった。

飲泉の治療効果はその含有成分、とくに無機物によるが、わが国の温泉は、一般にその濃度は希薄で薬効はあまり強くないと考えられている。これは、ヨーロッパの温泉は高濃度のものが多く、昔から飲泉療法が盛んであったのと対照的である。

しかし、最近の研究で消化器系に対する作用が再認識されてきた。すなわち、三朝温泉を連続飲泉した結果、胃液分泌促進、膵外分泌改善、胆汁分泌促進作用を認めた。九大の研究では、単純泉、硫化水素泉、Na塩化物泉などの連続飲泉で胃腸運動促進を認めている。われわれも、Na硫酸塩泉を飲用した後に試験食を摂り、その後みられた血中胆汁酸やインスリンの増加が、水道水の場合に比べ明らかに強いことを認めた。これらの成績から、飲泉は消化管の運動機能不全、消化管ホルモン分泌促進などの作用があり薬物療法の補助療法として利用できよう。

ヨーロッパでは、今なお飲泉の習慣はなお盛んである。多くの温泉保養地では、昔ながらの飲泉風景がみられるが、医師の関心は薄くなってきており、保養客が医師の処方なしに自分の好みで飲むところが増えてきている。

ただし、最近の西ドイツでは、炭酸泉や食塩泉の飲泉について、利尿効果や尿路感染、尿路結石の予防や補助的治療法としての意義が再確認される研究が行なわれている。

10. 気候保養地

温泉療法では、温泉そのものの物理的、化学的因子による直接作用のほか、温泉地の自然環境、とくに海、森林、山岳などの地形要素や気候要素による作用も重要である。

転地療法とは、日常の生活空間から、気候や地形など自然環境の異なる場所（温泉地など）に移ることにより、新しい環境がからだに刺激となり、心身の機能がこれに反応、適応して変調を起こし、これを疲労からの回復、病気の予防や治療に役立たせようとするものである。

日本は、北東から南西の方向に細長く、気候的には温帯から亜寒帯に位置している。また、四季の移行がはっきりしていて、四方が海に囲まれ、山や森林も多いという恵まれた自然環境にある。しかも温泉は全国いたるところにある。温泉地で保養や療養する場合には、温泉の泉質ばかりでなく、自分の体調を十分考慮しながら、地形や気候、季節なども考慮に入れて、気候療法の効果も同時に期待できるような温泉地を選びたいものである。

(1) 保養地気候

保養地の気候条件について日本ではあまり研究されていないが、ヨーロッパとくに西ドイツでは保養地として認める際の重要な要素となっている。

保養地気候は、一年を通じてからだに対する気候性刺激に応じて3つに分類している。

1) 保護制気候

温度の変化が急激ではなく、昼夜の差も大きくない。穏やかな日光が適当量あり、雲は多くない。気圧の変化も比較的少なく、空気は清浄である。植生が多様で豊富であり、樹木や谷間などが天候の急激な変化を防ぐ、などの特色を備えている。全体的にからだに鎮静的、保護的に作用するものである。

2) 刺激性気候

風が強くなったりして温度冷却の程度が強くなる。温度や湿度の日内変動や年間変動が大きくなる。大気放射や紫外線の強度が高まる。全体的にからだに刺激的である。この気候条件下では、気候刺激に対する生体反応を利用して、生体防御機能の鍛錬を行なうことができる。しかし、からだに気候刺激に耐えうる予備能力があることが大前提となるので、新鮮な心筋梗塞、高度の動脈硬化症、重症の肺気腫や気管支拡張症などの患者は禁忌である。

3) 負荷性気候

連続した蒸し暑さ、汚染された空気、霧や湿った冷たさ、大気放射や紫外線の強度がいつも少ないような気候である。この気候条件での治療に対する禁忌は2)と同じである。

同じ保養地でも、保護性気候と刺激性気候要素を併せもっているところもありうる。

(2) 地域気候と保養地

ヨーロッパでは、気候環境を利用した気候保養地がいたるところにみられるが、海拔からの標高を大体の基準として、生気候学的な特色を分類している。ここでは、保健作用からみて特色ある地域気候(小気候)について述べることにする。

1) 海岸気候

海岸や海岸線から500m以内ぐらゐの地域の気候では、沖からの海風が運んでくる湿気と海塩粒子による影響が大きい。この海風には、食塩、カリウム、カルシウム、ヨードなどが多く含まれている。昼夜や季節による気温差はあまり大きくなく、夏は涼しく冬は比較的暖かい穏やかな気候条件のところが多い。このような海岸での温泉療法は、高血圧、動脈硬化症、喘息や疲労からの回復に適している。ドイツの海岸保養地では、気管支性喘息や慢性湿疹などアレルギー性疾患専門の小児病院がある。

2) 森林気候、低地気候

温帯地で海拔500m以下ぐらゐのところでは、日光や紫外線量は比較的少なく、穏やかな気候で、春や秋の療養に適している。森林の中に入ると、空気は清浄で騒音はなく、樹々の緑や香りは安心感を与える。フィトンチッドや空気イオンなどの効果が考えられている。森の中は夏は涼しく冬は暖かいなど気象暖和作用がある。最近では森林浴として積極的に利用するようになった。日本では、たいていの温泉地の近くには森林があり、温泉療養の中で森林浴や地形療法として森林内を歩くことが一般的となるであろう。森林に近い温泉は、虚弱体質、心身症やストレス解消に適している。

3) 高地気候、高山気候

気温は海拔高度が100m上るごとに0.5~0.6℃下がる。空気は乾燥し、細菌

やじん埃が少なくなる。日照と日陰による温度の変化は急でかつ差が大きい。海拔800mを越えると気圧低下の影響が出はじめ、骨髄の造血機能が刺激され、血色素や赤血球の増加がみられるようになる。紫外線の量も多くなり、ビタミンDやコレステロール代謝に影響がでてくる。一般に高山気候は急激に変化し、からだへの刺激性が強い。不眠症や高血圧症、ストレス症、心身症などには不向きである。

1.1. 西ドイツの温泉療法と保養地

西ドイツの温泉医学や温泉療法は長い伝統の上に、多くの自然療法医学のうちで、現代医学の一分野として高いレベルの内容をもっている。西ドイツの温泉療法が日本の場合と根本的に異なる点は、温泉療法が正規の医療行為として認められており、原則として医師の処方が必要であり、保険が適用されることであろう。

ドイツの温泉協会(DBV)の資料によると保養地(クアオルトKurort、バードBad)は1985年で全国に294か所である(表6)。

DBVの定義によると保養地とは「地下物質・海・気候などの自然条件が疾病の治療、予防に適することが、科学的・経験的に実証される場所」としている。必要な設備として、保養や療養の目的に沿った特定の治療法を行なう施設・設備があり、温泉気候療法の専門医が常任し、その自然の治療素材の適応と禁忌が明示されていることなど厳密な基準がある。

保養地は必ずしも温泉地である必要はなく、治療別に4つの種類に分類されている。すなわち、気候療法を主に行なう保養地が50か所、海浜療法(タラソテラピー)を行なう保養地が49か所、クナイプ療法を行なう保養地が60か所、それに温泉療法や泥浴療法を主として行なう保養地が135か所である。注目すべき温泉保養地は全保養地の46%くらいであることで、温泉ばかりではなく、海、山、森林などの自然環境や気候要素を保養や療養の目的に利用していることである。

表6 西ドイツの保養地

気候療法 (Heilklimatische kurorte).....	50	カ所
海浜療法 (Seeheilbäder u. Seebäder)		
北海沿岸.....	29	} ----- 49
バルト海沿岸.....	20	
クナイプ療法		
療養地 (Kneippheilbäder).....	17	}60
保養地 (Kneippkurorte).....	41	
Felckeyrorte.....	2	
療養鉱泉・泥浴を主とした保養地 (Mineral- Moorbäder).....	135	

DBV. BRD 294

これら保養地で行なう療法の共通した目的は、まず第1に予防医学の面から健康づくりの方法を教育、実践することである。第2にリハビリテーション医療を行ない、第3は慢性疾患の早期回復を図ることであるとしている。

各保養地では、その規模の大小はあっても、基本的な構成単位は次の3つである。

(1) クア・ハウス(Kurhaus)

保養地の中心的存在で、保養客のコミュニティーセンターともいうべき建物で、治療施設がないのが原則である。中には各種集会場、講堂、会議室、ダンスホール、音楽会場、レストランなどがある。

(2) 総合治療館 クアミッテル・ハウス(Kurmittelhaus)

温泉浴室、各種水治療室、泥浴室、吸入、飲泉、電気・磁気療法室、マッサージ、各種運動場、サウナ、蒸気浴室、それに屋内・外プールなどの施設が集中的に整備されている。

日本でいう「クアハウス」はこれに相当する。

(3) 公園 クア・パーク(Kurpark)

自然の景観と地域特色を活かして芝生、樹木や草花を配し、その中を遊歩道が縫い、音楽堂、飲泉場などが配置されている憩いの場である。

保養地には、その中あるいはそれに接してテニス場、ゴルフ場、乗馬や釣りなどを楽しむ場所があり、多くの保養地には地形療法を行なうための歩道が整備されている。

保養地に入るには僅かな入場料・保養税を払うが、1回1.5~4.5DMくらいである。

保養地の運営経費は、保養税Kurtax、保険や治療費、各種運動・遊戯施設の使用料、カジノなどの収益の1部からなっている。さらに政府からの助成交付金もある。

保養地では、上記の施設に隣接して公立、私立のクア・ホテルやペンションなどが建ち並び、この中には医師や専門の療法士を配した治療施設を併設しているところも多い。

各保養地は、泉質や気候条件に応じた適応症が明示されているのが普通で、多くの保養地では設備の整った専門病院やサナトリウムがあり、質の高い治療が行われている。

患者が保養地での治療・療養を希望する場合、家庭医などの診断や助言があると、健康保険審査医の審査を受けて保養地が指定される。保養地では温泉療法医、保養地療法医が専門的に診察し、療養期間中の温泉浴、吸入、マッサージ、運動などの治療法が具体的に処方されて療養に入る。この場合、療養費はもちろん滞在費も社会保険が適用される。一回の療養期間は4~6週間が普通である。

保養地における療法(表7)

保養地では総合治療館 Kurmittelhausで、温泉浴、泥浴、飲泉、各種の理学療法が医師の処方で、泉浴の水温、時間、回数などが決められる。実際には、有資格のよく訓練を受けた理学療法士、作業療法士、温泉療法士たちが、医師の指示を受けて患者や保養客に接する。

各保養地は、その温泉や気候条件の性質により適応症が基本的に決まっている(表8)。さらに地域や治療法の特色を強調して保養客の確保に努力している。近くに大きな専門病院があり秀れた専門医による治療が保障されても、一般の保養客に対するサービスや施設の手入れを怠ると、その保養地の客の入りは減ってしまう。

西ドイツの公認保養地のうち、半分以上は温泉に関係ない気候保養地やクナイプ保養地である。

バルト海や北海に面した海浜保養地では、海水の温浴、吸入、海底泥パックなどの特殊な海浜療法タラソテピラーthalassotherapyが行われている。海洋性気候を利用して、アトピー性湿疹、気管支性喘息患者を対象とする小児病院などがある（ノルデルナイ、ジルト、ウェスターランドなど）。

高原や山岳気候を利用した保養地も、温泉とは無関係に気候療法が行われている。たとえばミュンヘンの南にあるガルミシュ・パルテンキルヒェンでは、海拔500mくらいから2000m級の山の間に17か所の歩行路が設置されている。これらの歩行路は、距離、勾配、周囲の植生などが調べられており地形療法Terrainkurを行う場合に、コースの選択や歩くスピードなどの処方や指示を受ける。最近、医師の処方と専門指導員の指導が地形療法を行うと社会保険が適用されるようになった。

表7 西ドイツの温泉保養地療法

1. 種々の形での温泉療法。(温泉浴、泥浴、飲泉など)
2. 日光浴、空気浴を含めた気候療法。
3. 物理療法の補充的手段として
a) 能動的と受動的運動、トレーニング。(体操、地形運動療法、各種スポーツ)
b) 水治・温熱療法。
c) 電気療法。
d) 光線・放射線療法。
e) 吸入。
f) マッサージ。
4. Kneipp療法。
5. 食事療法。

(DBV)

表8 西ドイツにおける保養地療法の適応症

疾患	療養 鉱泉	気候 療法	海浜 療法	泥浴	クナイプ	保養 地数
心・循環器系	+	+	+		+	64
運動・支持器系	+		+	+	+	121
呼吸器系	+	+	+			46
婦人科系	+		+	+		61
消化器系, 代謝性	+				+	42
小児科領域	+		+			20
皮膚科領域	+	+	+			21
泌尿器系	+			+		18
末梢神経系	+					24
眼科領域	+					5
体力回復, 健康保持	+	+	+	+	+	全部

1 2 . 温泉療法の日独比較

ヨーロッパ諸国では、温泉（気候）保養地療法は社会医療システムの一環として組み込まれ、多彩で密度の濃い治療が行われている。とくに西ドイツの保養地療法は、システム、規模、設備、運営などの多くの面で、わが国の今後の温泉地開発のあり方に多大の示唆を与えてくれる。しかし、両国の間には、温泉の性質はもとより、自然や温泉に対する考え方、行政の取組み方も著しい違いがある。また、温泉刺激に対する自覚的および生理反応に明らかな人種差が存在するなど、相互に得られた情報を参考にする場合に留意すべき点が多い。

ここでは、温泉の性質、利用法、作用のメカニズムなどについて両国間を比較してみた（表9）。

わが国の温泉は、泉温の限界値は25℃であるが、ドイツでは20℃である。湧出量は、日本では一般に豊富であるがドイツではあまり多くない。含有成分濃度の限界値は両国で同じく、泉水1Kgにつき1,000mgである。日本の温泉は、概して濃度が希薄でしかも高温の単純泉がもっとも多くみられ、Na塩化物泉、硫酸塩泉がこれに次ぐ。特徴的なものは酸性泉や遊離酸のように刺激の強いものがみられることである。ドイツの場合は、泉温はあまり高くないが含有成分濃度が高いのが特色である。特徴的な泉質は、炭酸泉、硫化水素泉、高濃度のNa塩化物泉などである。

温泉療法の方法も、泉質や伝統習慣、国民性などを反映して大きな差異がある。日本では主な利用法は入浴で、高温の温泉水に手足を伸ばした坐位か、うずくまった姿勢で、いずれも頭のあたりまで湯に浸かる全身浴が好まれる。しかも1回の入浴時間は比較的短い、連日1日に3～6回くらい頻繁に入浴する。ドイツでは温泉保養地に療養に行っても、1日1回で週2～3回の割合で入浴し、温度も38℃前後のぬるめの温泉に比較的長い時間をかけて入るのが普通である。入浴時の体位も手足をゆったり伸ばした半臥位をとる。入浴以外の利用としては、日本では飲泉を含めてほとんどないが、ドイツでは飲泉はもっと盛んで、吸入、蒸気浴、泥浴なども普通にみられる。温泉以外の海、森林、山などの地形や自然・気候環境を積極的に療養法に組み入れて利用することは、日本ではやっと一部の温泉場で森林浴などを採り入れるようになったが、ドイツでは気候療法や地形療法として盛んに利用されている。

以上のように、日本とドイツでは、温泉の性質や利用法に差がみられるので、温泉療法によるからだへの影響とその効果が現われるメカニズムにも明らかな差異がある。これを表9-IIIでまとめてみた。日本では、温熱による刺激の程度が極めて強く、静水圧の影響も強い。一方、ドイツでは、温熱効果はあまり強くなく、静水圧による影響も比較的少ない。しかし、温泉中には化学物質が高濃度に含まれていることが多く、この影響はとくに飲泉の場合に強くみられる。

全体として、日本の温泉療法では、からだに受ける刺激はドイツに比べて強いといえる。

表9 日本とドイツの温泉と温泉療法の比較

	日本	ドイツ
I. 温泉の性質		
1. 温泉 (定義による)	> 25℃	> 20℃
2. 源泉数	約 20,000	約 300 (ドイツ温泉協会)
3. 温泉保養地	約 2,000.	あまり多くない
4. 湧出量	豊富	
5. 温泉含有成分濃度 (定義による)	1,000mg/kg	1,000mg/kg
6. 主な含有成分	Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ HCO ₃ ⁻ , H ⁺	CO ₂ , H ₂ S, Na ⁺ , Cl ⁻ Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻
7. 特色ある成分	酸性泉, 遊離酸 (H ₂ SO ₄ , HCl)	CO ₂ 飲, 強食塩泉
II. 温泉・気候療法の特色		
1. 温泉浴	主な利用法	
水 温	41~43℃	36~38℃
入浴時間	短い	比較的長い
回 数	1日に3~6回	1日1回, 週に2~3回
浴 体 位	長 坐 位	半 臥 位
2. 飲 泉	稀 (5-10%)	主な利用法
3. 療法期間	4-5週間	4-6週間
4. 特別な利用法		
吸入, 泥浴, 蒸気浴	稀~無	普通にみられる
5. 海岸療法	なし	多い
6. 他の気候療法	稀~無	多い
III. 温泉療法効果のメカニズム		
1. 温熱効果	卅	+
2. 機械的・物理的因子 (静水圧・浮力)	+	±
3. 温泉水の化学・薬理効果	+	卅
4. 非特異的変調作用 (温泉反応の発現頻度とその程度)	卅	+

1 3 . 今後の問題点

これからますます進む高齢化社会、ストレス社会にとって温泉地での保養や療養が健康増進、脱ストレスなどの目的にもっとも適した手段である。新しい温泉療法は、病院での治療だけではなく、予防医学的な活用が重視されよう。このような温泉療法を推進するには、いくつかの考慮すべき問題点がある。

(1) 専門医師や療法士の養成

現在、約400人の温泉治療医が登録され、温泉療法の指導や相談に応ずるようになっている。しかし、今後はより深い専門知識と経験ある専門医による温泉処方や管理が行なわれるべきである。そのための教育システムを確立し、育成する必要がある。同時に、水治療法、運動療法などを実際に行う専門療法士の育成も必要となる。

(2) 温泉・気候保養地の整備

現在のような遊興のためではなく、健康保養地として温泉地を整備、再開発すべきである。そこでは、温泉療法や、健康・体力診断を行なう医療機器を中核とし、多くの人を楽しみながら健康増進や体力づくりが出来るような施設を配するようになる。森林浴コース、各種屋内外スポーツ施設はもちろんであるが、憩いの場所としての公園、音楽堂、そして会議や多様な行事のできるような多目的センターを作る。

(3) 社会保険制度の導入

現在の病気に対する保険を一步進めて、温泉療法専門医による処方や指導のもとに行われる保養的利用にも、ある期間について社会保険の適用や税制上の優遇措置がとられるようにする。

(4) 総合保養地学研究所とモデル保養地の設置

保養地療法は温泉医学だけではなく、多くの関連領域との協調が必要である。スポーツ医科学、栄養学、心理学、東洋医学、衛生工学、植生学など保養や保養地に関連する分野をまとめて、総合保養地学研究機関を設け、国内、国外からの研究者に開放する。このため、全国に数か所、広大な土地にモデル保養地を建設し、この研究の実践の場として活用したいものである。

講

演

1 温泉掘削の現場にみられる機器の改良工夫事例とその適応

上山試錐工業株式会社

○ 出 口 高 広

種 畑 邦 彦

田 中 秀 二

1. はじめに

近年、温泉の掘削技術は機器の高性能化、ツールの発達、泥水技術の開発などにより急速に進歩した。また、掘削口径もより大きく、深度もより増大する傾向にあり、これらの問題に対応したより高い技術力が求められているのが現状である。

温泉掘削技術者はこのようなニーズに対応し、正確・迅速・安全かつ効率的により多量の、より高温の温泉の湧出を目指して現場作業に従事している。

多くの現場技術者の技術向上に資するため、この資料はボーリング会社、掘削機器メーカーならびに北海道立地下資源調査所の各位から、温泉掘削技術における機器の改良工夫事例とその適応について幅広く御意見を伺い、これらをもとにとりまとめたものである。

2. 機器の改良工夫の事例

温泉の掘削現場では、崩壊，逸泥，暴噴等の突発的に起る孔井障害に対しての対応策や、掘削過程における仕上げ技術、安全性および効率を高めるため、各企業がそれぞれ適切な機器を準備し対応をはかっている。

これらのうちいくつかについて紹介し、改良工夫点，性能について説明することにする。

(1) スタッフィンボックス（簡易型 B・O・P）（図－1 参照）

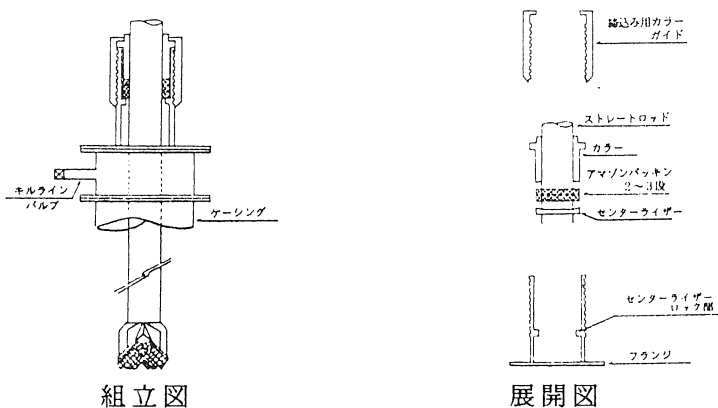
1) 改良工夫点

補泥用孔口装置上部に簡易型の孔口装置を設置し、掘管とアニュラスの間の密閉ができるように改良されている。

2) 性能その他

- ① 制限循環が可能となり、泥水の比重の調整が容易となる。
- ② 湧水層が続く地層で、キルラインから排泥量を調節しながらある程度の掘進が可能である。
- ③ 崩壊によるポケットや、掘屑が大きくて泥水の調整では、ざく揚げが困難な場合、リバース掃孔が可能である。
- ④ レギュラータイプのトリコンビットを使用することにより、リバースによる掘進が可能になる。

- ⑤ 湧水時、ストレートタイプの掘管を使用することにより、湧水を押えながらの降管が可能であり、スポットセメンチングの成功率を高めることができる。
- ⑥ 実証値によると、孔口圧15～20 KSC程度まで使用可能である。



組立図

展開図

図-1 スタフィンボックス機構図

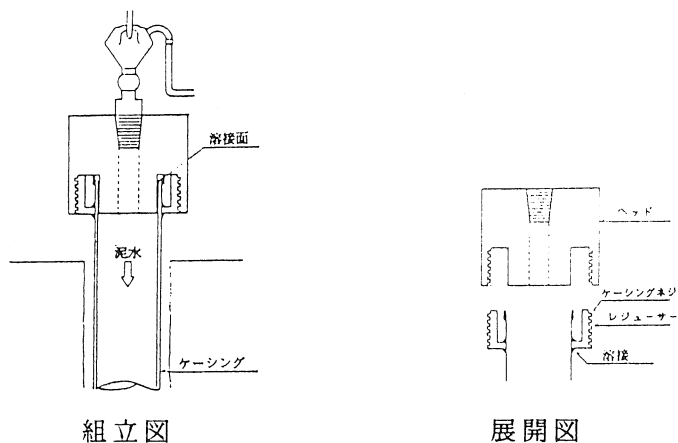
(2) ケーシング循環用ヘッド (図-2 参照)

1) 改良工夫点

ケーシング降下時、崩壊あるいは押出しによりケーシングの挿入が困難となった場合に、ケーシングの溶接面を痛めることなく、接続が出来るような改良工夫がされている。

2) 性能その他

- ① 循環ヘッドを接続することにより、送泥を行ないながら管動（ケーシングパイプの揚降）が可能である。
- ② ケーシング接続時の曲がり防止をすることができる。
- ③ レジューサーは挿入後、ガスにより切断し再利用は出来ないが、ヘッドは再利用が可能である。



組立図

展開図

図-2 ケーシング用循環ヘッド機構図

(3) バンパーサブ (図-3 参照)

1) 改良工夫点

ゴムシールパッカーまたはベルカラー降下時、切り離しを安全に行なうために改良工夫がされている。

2) 性能その他

- ① スライド機構により、ケーシング重量を完全にフリーにし、パッカーおよびベルカラー部分に引張り、圧縮の力がかからない。
- ② スライド部分が角型となっているため、ゴムシールパッカーの締込みが可能である。
- ③ バンパーサブ上部に水抜き用の穴を設け、パッカー、ベルカラー離脱後の孔内洗浄が可能である。

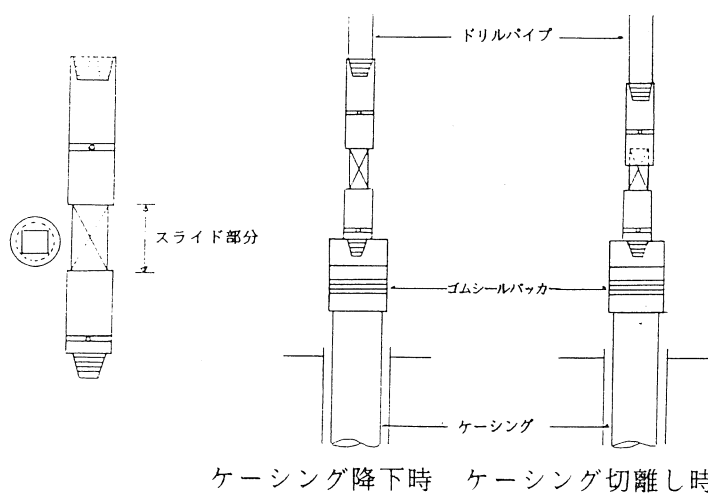


図-3 バンパーサブ機構図

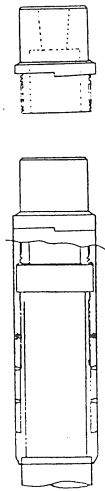
(4) ゴムシールパッカー (図-4 参照)

1) 改良工夫点

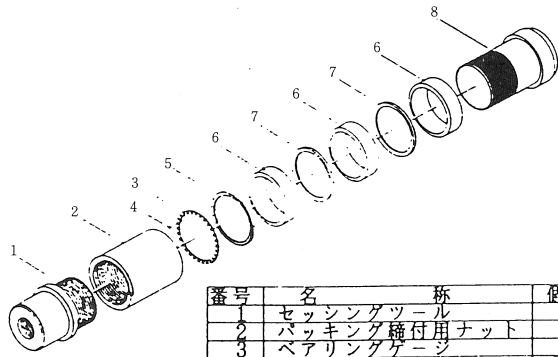
上部ケーシングと仕上げ管との間隙を完全に遮断し、低温水の流入を防止するため、パッカーの締込み方法および損傷を可能な限り少なくするように改良工夫されている。

2) 性能その他

- ① セッティングツールズにストッパー段付を設け、セッティングツールズと締込用ナットの間のネジの齧りを防止するとともに、パッカー降下後すぐに締込が可能である。
- ② パッキン締込用ナットとリテナーリングの間にベアリングを入れて、ラバーが回転しないようにしている。
- ③ スペーサーリングを逆テーパーに加工して、ラバーが溝から抜け出さないようにしている。
- ④ ケーシングとパッカーの間隙は、締込み前で片側3~4mm程度とし、ゴムの変形率が30~40%の範囲で完全密閉される。



組立図



番号	名称	個数
1	セッティングツール	1
2	パッキング締付用ナット	1
3	ベアリングゲージ	1
4	ホーンベアリング	2
5	リテーナーリング	1
6	パッキングエレメント	2
7	リテーナーリング	1
8	パッカーボディ	1

展開図

図-4 ゴムシールパッカー機構図

(5) 掘管の降管 (図-5 参照)

1) 改良工夫点

ビット交換等の作業時間を短縮するため、掘管の降管作業時にトラベリングブロックが、セカンドプラットフォームに到達するまでの間に、ホイストにより掘管の接続を行なうように改良されている。

2) 性能その他

- ① トラベリングブロックの上昇速度を遅くすることで、ドリリングラインのワイヤーの乱巻きを防止できる。
- ② 作業待ちの時間がなくなり能率が向上する。

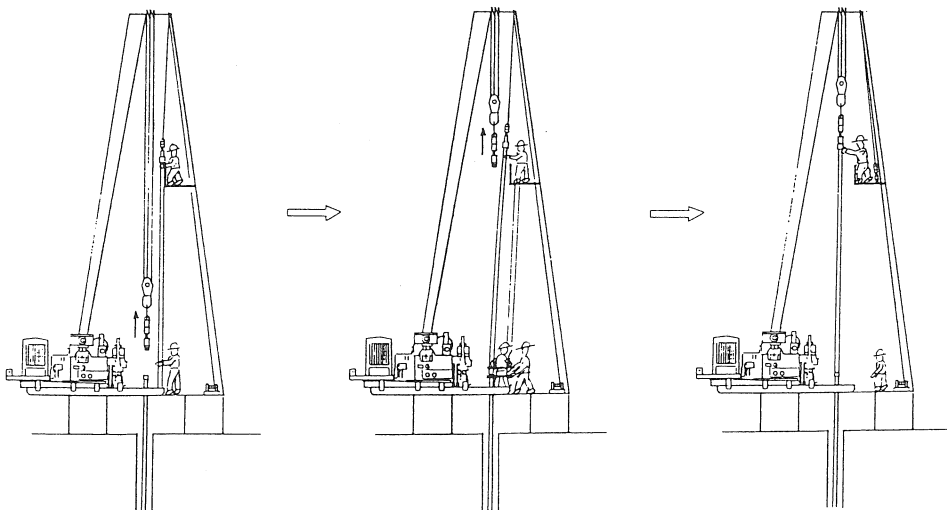


図-5 降管作業手順

3. 機器の適応について

温泉井の孔内状況は、その地域の坑井地質、割れ目の発達ならびに破碎状況などによって異なり、状況変化に対応した掘削技術が要求される。このため、孔内状況を的確に察知し、それぞれの状況に適応した機器を選定し掘削を進める必要がある。この報告では、温泉井掘削の過程で最も重要な作業の一つであるセメンチングと、構成地質に対応したビットの選定上の留意事項について、特に説明することにする。

(1) セメンチングの適応

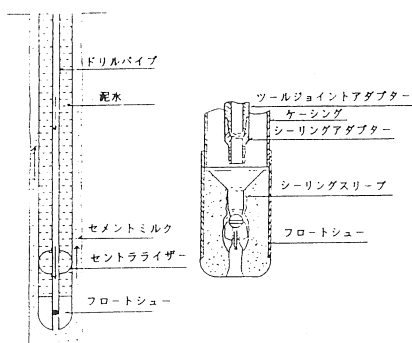
孔内の状況に応じてケーシングの環状部に完全なセメンチングを行なうことは、上部低温水の完全遮水および保温効果の向上につながり、より高温の温泉の湧出を可能とする。この効果は、深層熱水のタイプの温泉になるほど顕著となってあらわれる。

また、高濃度の食塩泉や硫化水素泉などの腐蝕性流体からケーシングを保護する効果をもち、外面腐蝕を防止し、温泉井の寿命を長くする。

一般に、温泉井のセメンチングの方法として、二栓式およびインナーリング方式がある。

道内でほとんど二栓式を使用している。しかし、二栓式のセメンチングについては数多くの報告もあるので、ここではインナーリング方式について説明することにする。

1) 工法



- ① ケーシング降下後、掘管にシーリングアダプターを接続してケーシング内に降下する。
- ② シーリングアダプターを改造型フロートシュに差し込み、泥水循環を行なう。
- ③ 先行水（スペサー）を送入する。
- ④ セメントスラリーを送入する。
- ⑤ セメントスラリーが地表で確認されたら、セメント送入を止め、シュまで後押しする。
- ⑥ フロートシュからシーリングアダプターを引き抜き、坑内を洗浄する。

図-6 インナーリング方式の概要

2) 利点

- ① 後押し量が少ない。
- ② 逸泥がない限り、地上部まで確実にセメントスラリーの上昇が可能である。
- ③ セメントスラリーの管内残留が少ないため、ゴムシールパッカー挿入時の障害が少ない。
- ④ セメンチングの時間を短縮できる（シックニングタイムを過ぎる危険が少ない）。

3) 適応事例

①多段仕上げで下部ケーシングのフルホールセメンチングを実施する場合

②未固結の砂礫層やポケットによりセメントスラリー量の想定が難しい場合



図-7 インナーstringerセメンチングの適応事例

4) セメンチングの留意事項

- ① ケーシング降下前は必ずワイパートリップを行なって、孔内状況を確認し、カッティングスは排除する。
- ② ケーシング降下後はできるだけ泥水の粘性を下げる。
(VISの目安 35~45sec, 946/1500cc)
- ③ 一般に後押しの吐出量は、セメントスラリーと泥水の置換効率を高める(乱流状態)ため出来るだけ多くする。
- ④ セメンチング中は作業を中断することなく連続的に行なう。
- ⑤ 逸泥層は掘削中に、逸泥防止措置をして閉塞する。
- ⑥ セメントミルクの比重は出来るだけ高い方がよいが、経験上、深度300m程度までは1.75~1.85, 深度600~700mまでは1.65~1.70を目安として配合する。また、温度およびセメント押し上げ高さ等の坑内条件より、遅硬化剤、脱水減少剤、分散剤、比重調整剤を状況に応じて添加し、セメンチングの効率を高める。
- ⑦ トップジョブセメンチングは、小口径パイプをセメント頭部付近まで降下し、清水で環状部を洗浄後に行なう。

(2) 構成地質に適応したビットの選定

温泉井の掘削には、一般にトリコンビットが使用されている。ビットは岩質に応じて軟岩用、中硬岩用、硬岩用、最硬岩用に大別され、現場技術者は構成地質および掘削状況を的確に判断し、岩層に対応した最も効率の良いビットを選定して行かなければならない。

そこで、トリコンビットの構造上の特異性と適応性について説明する。

1) ツースタイプ(鋼歯)

ツースタイプのビットは、構造および製造過程で軟岩用、硬岩用の2つのタイプに分けられる。

軟岩用は主として、岩石をスレーピング作用（削り）およびガウジング作用（捻り掘り起こし）により掘削するように設計されており、ビットの中心に対して各カッターの中心線がオフセットされている。この削り、捻り掘り起こし作用がそれぞれの歯に摩擦力として絶えず働くため、歯面に硬装材を溶着して磨耗を防止している。

一方、硬岩用は主として、チップング作用（破碎）およびクラッシング作用（押し潰し）により掘削するように設計されており、オフセットがなく各カッターの中心線がビットの中心に向っている。破碎、押し潰し作用が主となるため摩擦作用が少なく、歯面に硬装は施されていない。

これは、いわゆる軟岩用ビットは岩石面を掘り起こす“シャベル”と、硬岩用ビットは岩石面を叩く“ピッケル”との違いと言えよう。

また、トリコンビットの材料はニッケルモリブデン鋼が使用され、熱処理および硬装が施されている。硬装材は、タングステンカーバイド粒（WC）である。熱処理は、表面硬化法の一つで、浸炭（焼入れ・焼戻し）処理をして表面を著しく硬化させ、磨耗に耐えるようにしている。さらに、耐磨耗性を高めるため、歯面およびケーシング面に硬装を施している。

軟岩用は歯面の両側に硬装材（WC）を溶着した後、浸炭熱処理を行なっている。硬岩用は歯面は硬装していないが、ケーシング面に硬装し浸炭熱処理を行なっている。

現場技術者の中から軟岩用ビットを硬質岩に使用した場合、最初は硬岩用よりも能率が上がるが、すぐに刃先部分が磨耗して能率が低下する、あるいは軟岩用のビットは刃先部分だけが早く磨耗して丸くなり、ベアリング、ゲージはしっかりしていることが多いなどという話をよく耳にする。

この理由として、つぎにあげることが考えられる。

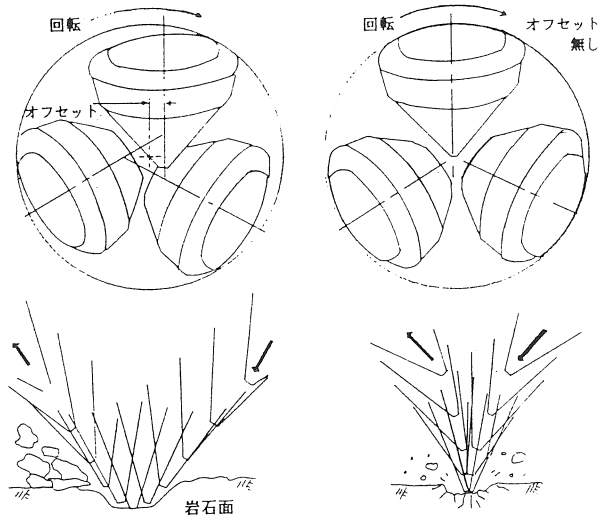
- ① 同一のビット荷重の場合、軟岩用ビットの方が歯間が大きいため、一つの歯にかかる荷重が大きくなり、その分くい込みが大きく破碎効率が大きくなる。しかし、掘り起こし作用を主としているため、歯先が早く磨耗してしまい寿命が短くなる。
- ② ビットは石油、天然ガス、地熱井での掘削資料をもとに改良工夫され、現在の設計に至っている。それらの現場では、ビットは機器メーカー各社で提唱している荷重、回転、吐出量の範囲で使用している。しかし、温泉掘削現場では、軟岩層である程度（掘進率3～5 m/h±）掘進能率が良い場合、適性ビット荷重以下で使用していることが多い。

したがって、岩石へのくい込みが少なくなり、歯面サイドの磨耗が少なくなる。いわゆる歯先だけで掘削している状態となり、先端部分だけが磨耗す

る。ただし、一般にビット寿命は比較的長い場合が多い。

表-1 ツースビットの特徴

	歯先の特徴	歯先作用
軟岩用	歯が荒い。歯数が少ない。 歯高は大きい。歯間幅広い。 欠歯を設ける。	大きな掘り屑を作り地層に深く貫通させる。 張付防止。歯間の清浄を容易にする。
硬岩用	歯が細い。歯数が多い。 歯高は低い。外周の歯を2~3枚つなぎ、ゲージ面完全硬装。	重荷重に耐える。 ゲージ面耐磨耗性強化。



岩石をシャベルに似た動きで掘削
軟岩用

岩石を叩く様子はピッケルに似た動きで掘削
硬岩用

図-8 ツースビット概念図

2) インサートタイプ

岩層が硬質であって掘削が困難な場合や、深度が深くなるとビット交換に時間を要するため、耐久性の強いインサートタイプビットが使用される。

インサートビットは、浸炭処理された合金鋼コーンに正確に機械加工された穴に、タングステンカーバイトチップをプレス圧入し、カッターの歯を形成している。

掘削作用はツースタイプと同じように叩いて岩石を砕くタイプである。

ビット寿命を長くするには、十分な泥水のソリッドコントロールを行なうとともに、常にカッターシェルにカッティングスが残留しないようにポンプ吐出量を調整しなければならない。

したがって、温泉井などの掘削ではポンプ能力により、送泥量がかぎられた場合であっても、ノズルによってカッターのカッティングスを常に排除することが必要と思われる。

4. おわりに

温泉井掘削の現場では構成地質，割れ目発達，破碎の状態，地下水の存在などいろいろな環境条件によって状況は変化し、新規に開発された機器が適用されなかったり、また、思いがけぬ機器の適用が功を奏するといった技術者の現場に対応した創意工夫が絶えず求められている。

この報告文では、温泉井掘削にあたって現場においてより一歩前進した機器の改良工夫の事例およびその適応の一端について紹介した。

いうまでもなく、のべた事例は僅か一握りの数に過ぎないものと思われる。また、事例の説明に適切でない面も多々あったかと思われる。多くの方々の御批判・御指導を切に希望する次第である。

<謝 辞>

この報文の取りまとめには、北海道地下資源調査所の各位をはじめ、(株)アクア，エスケイエンジニアリング(株)，(有)佐藤ボーリング，ジオサイエンス(株)，ドリリング計測(株)，日東技研(株)，北星コンサルタント(株)，(株)北幸，ユニオンコンサルタント(株)，(有)大館精工，(株)セキサク，(株)ティクス，(株)テルナイト，(株)利根，明治興産(株)などの多くの会社の方々から、貴重な御意見と御指導を承った。ここに明記して厚く感謝の意を表する次第である。

2 ボーリング用泥水の廃泥処理について

株式会社 テルナイト
石川 義 昭

1. 固液分離について

水の中に微細な粒子が浮遊しているために水が濁っている場合、微細な粒子を集めて大きな塊にして分離しやすくする作用を凝集といいます。又、粒子を集めて大きな塊にする薬剤を凝集剤といい、集められてできた大きな塊をフロックと言います。更に液体の中に含まれる微細な固形分をフロック状にして液体から分離する事を固液分離といいます。

凝集剤として使用されている代表的なものに、高分子凝集剤といわれるものがありますが、色々なメーカーで分子量、イオン性などの違う製品が数多く製造され、それぞれの用途に合わせて使用されています。

図-1 に高分子凝集剤による凝集の状態を示します。

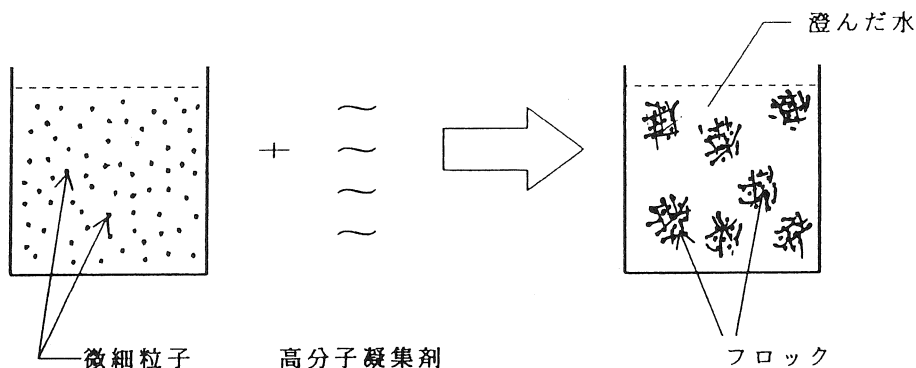


図-1 高分子凝集剤による凝集

図-1 に示した状態は、単純に水の中に微細な粒子が浮遊している場合ですが、ボーリング工事から発生する廃泥水には固形分として次のような物が含まれていて、単に高分子凝集剤を添加しただけでは固形分を分離することはできません。

ベントナイト

分散剤 (テルナイトB、BX、リボナイト等)

ポリマー (テルセローズ、各種テルポリマー)

掘屑 (粘土質微細スライム、シルト質スライム等)

特に分散剤は泥水中の固形分が凝集しない様にするために加えているものですから凝集剤の働きとは相反する作用を持っています。従って良い凝集反応ができませんし、分離しやすいフロックを作る事ができません。又、ボーリング用泥水に使用されている分散剤はほとんどの物が茶褐色に着色しているため、固形分を分離しても液体部分は茶褐色に着色していますので、例え重金属等の有害物質を含んでいなくてもそのままでは放流する事ができません。

2. テルナイトで従来から行われている廃泥処理

テルナイトで従来から行われている廃泥処理方法は、前項で述べた原理に基づき微細な固形分粒子に高分子凝集剤を作用させ脱水性の良いフロックを作り液体から分離する方法ですが、ベントナイトや分散剤の効力を無くしたり、分離した水が無色透明になるような処理方法を開発し、石油開発、地熱開発現場で採用されています。その方法は次通りです。

- ①酸性鉄塩でベントナイトや微細粒子表面の電荷を中和します。
- ②石灰を加えpHを調整すると共に、活性が強く、濾過性に優れた水酸化鉄の沈殿を作ります。
- ③高分子凝集剤を添加し、大きく丈夫なフロックを形成させます。
- ④フロックを脱水機にかけ水分を抜き取り、固形分と液体部分に分離します。
- ⑤分離された液体部分を高度処理し完全に規制基準に合格する無色透明の水にします。

図-2 にテルナイトで従来から行われている廃泥処理方法を示します。

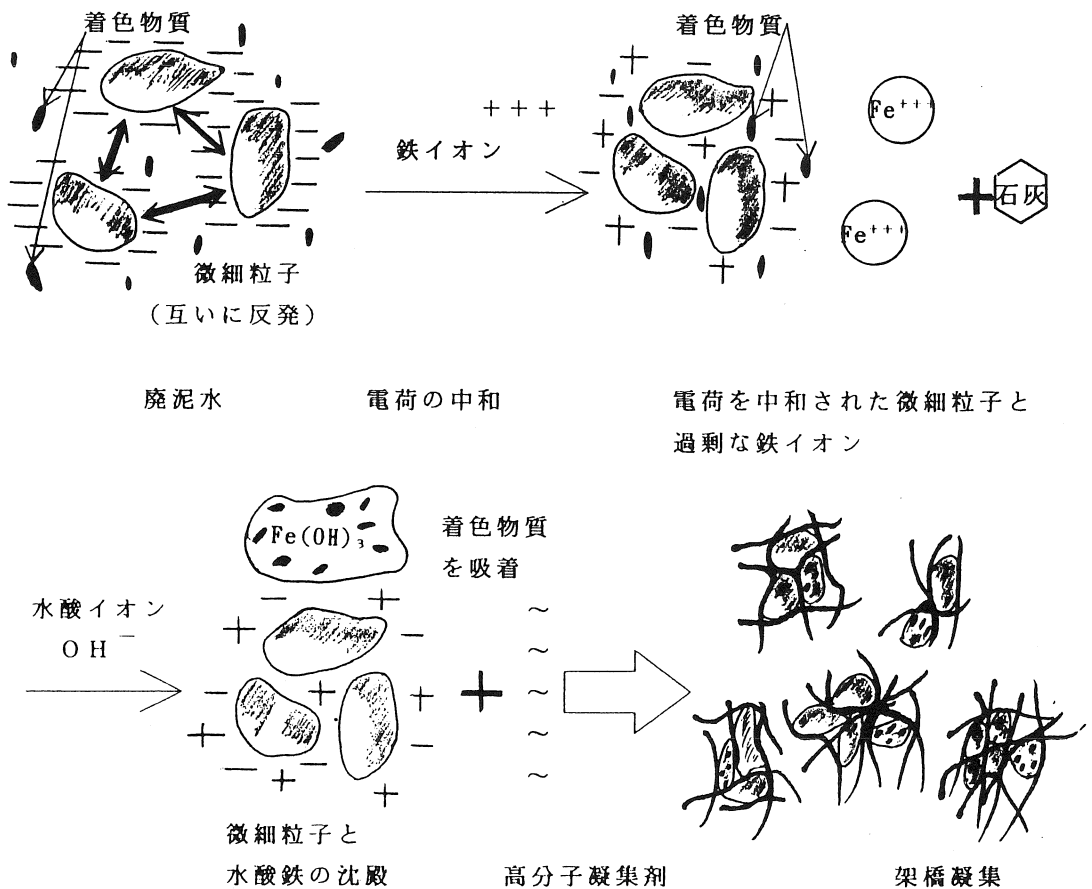


図-2 従来の廃泥処理方法（テルナイト方式）のメカニズム

3. 新しい廃泥処理方法について

従来から行われている廃泥処理方法は、微細な固形分に高分子凝集剤を作用させてフロックを作り、液体と固形分に分離する方法ですが、テルナイトで最近開発した方法は、従来の処理方法と全く逆の考え方から成り立っています。その方法は、

- ①ボーリング工事で発生する廃泥水に泥水の分散力を上回るだけの凝集力を持った強力な高分子物質を作用させ、固形分を凝集させます。このフロックには、多量の水が内臓されています。
- ②水を内臓した形で凝集状態になった凝集フロックに、プラスの電荷を持った電解質を添加し、フロックを適度の大きさに切断します。
- ③更に攪拌を続けると、高分子物質は内臓している水を吐き出して小さくなり、脱水し易い状態に変わります。

図-3 に新しい処理方法について示します。

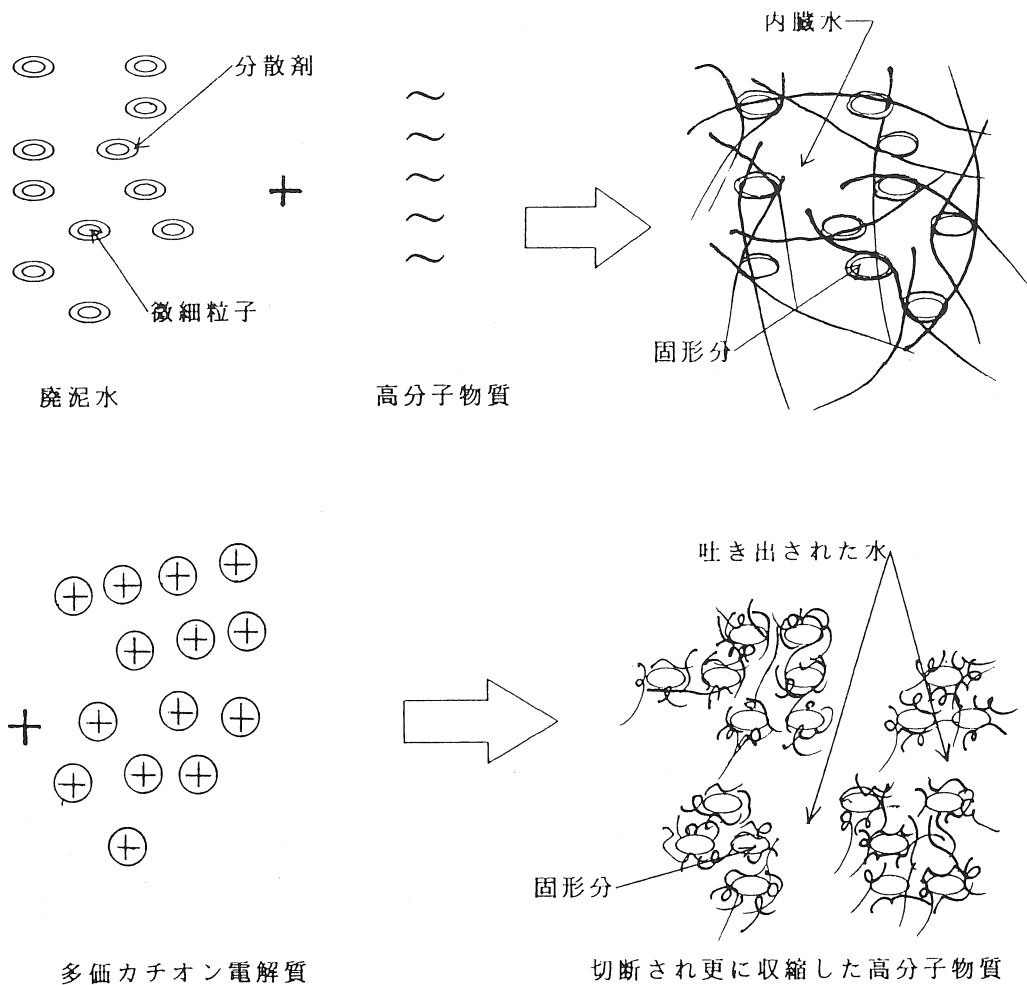


図-3 新しい廃泥処理方法（テルナイト方式）のメカニズム

4. ボーリング用廃泥水の処理機

新しい廃泥処理方法を利用し廃泥水を効率良く処理する為に開発した処理機について紹介いたします。

廃泥水の処理機には連続式処理機と処理能力は小さいですがコンパクトなバッチ式処理機があります。

連続式処理機で連続的に処理するためには、廃泥水はできるだけ均一な濃度であることが必要ですが、なかなか均一にしにくいいため処理剤の添加量を廃泥水の状態に合わせて管理しなければなりません。又、装置も複雑で専門的な知識を持ったオペレーターをつける必要があります。

一方、バッチ式処理機の場合は一回一回反応が終了しますので、処理する廃泥水の状態や反応状態を目で確かめながら処理できます。従って専門的な知識を持ったオペレーターをつける必要がありません。処理剤はボタンを押せば自動的に計量、添加されますので運転は非常に簡単です。

図-4 にバッチ式処理機のフローシートを示します。

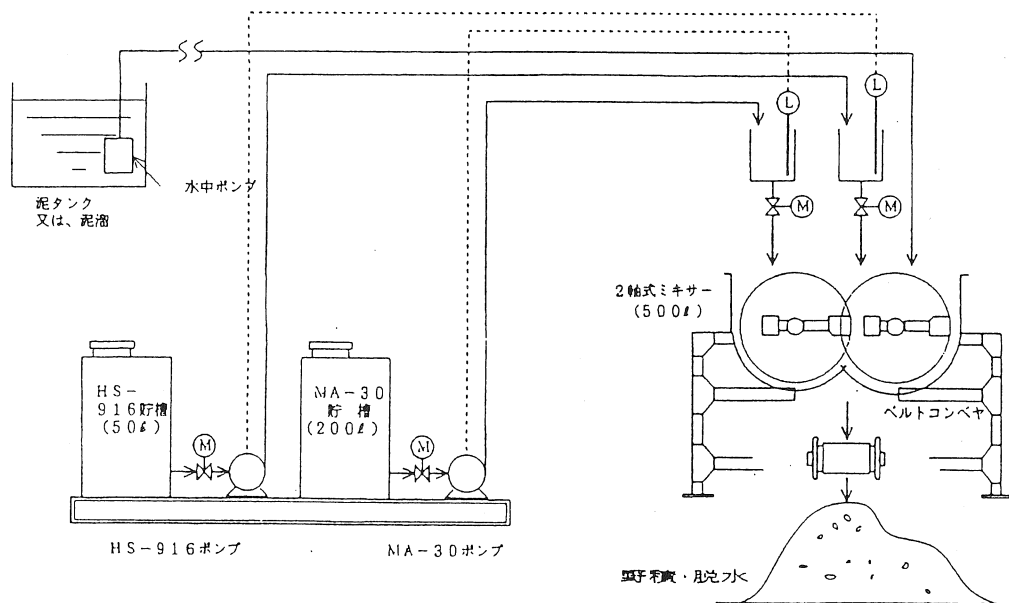


図-4 バッチ式処理機の概要

3 北海道の地温勾配図

地下資源調査所 若浜 洋

1. はじめに

地熱・温泉資源の探査および開発をするうえで地下温度は1つの重要な指標である。地球上のすべての地域では、地球内部から熱伝導によって地表に向かう定常的な熱流（ヒートフロー）が存在する。このため、一般には地下温度は深度とともに増大することが知られている。地下温度の増加率は地温勾配とよばれ、ふつう100mあたりの温度上昇値で表現される。例えば湯原(1979)によると、石狩平野では1.8~3.6(°C/100m)の範囲にあるとされており、さまざまな値をとることが知られている。この理由は、ヒートフローや地下地層の熱伝導率に地域的な差異があるためと考えられる。

地温勾配の算定は深いボーリング井の温度検層データや鉱山における岩盤温度測定データを利用しておこなわれる。地熱調査に伴うボーリングでは必ず温度検層が実施され、それらのデータに基づいた地下温度構造の評価がなされている。また坑内温度の高い鉱山では、特に坑道通気の設計の点から定期的に岩盤温度の測定がなされてきた。このため、これらの地熱井や鉱山では多くの場合、地温勾配・地殻熱流量・熱伝導率が明らかになっている。また石油・天然ガスに関連して掘削された坑井では、電気検層時に坑底温度が計測されるほか、ドリルステムテストを実施した場合には、テスト区間での温度測定がなされている。

温泉ボーリングでは、掘進中の坑内温度の確認のため、あるいは坑井完掘後にストレーナ位置を決定する目的などから、温度検層が実施される。

こういった一連の温度データから、これまでに幾つかの研究がなされ、公表されてきた。北海道の広域的な地下温度構造の観点からは、地殻熱流量分布図（H O R A I, 1963; 江原ほか, 1970; 江原・横山, 1971）や地温勾配図（青柳ほか, 1978）がまとめられている。また、さらに広い視点からは、日本列島全域を対象として、温度勾配図（大久保, 1993）がまとめられており、そのなかで北海道の地下温度構造についても述べられている。

北海道においては地熱・温泉ボーリング井は、年々増加の一途をたどり、その総数は現在までに1000本を越えている。そのうちの約8割の坑井では温度検層ないしは坑底温度測定が実施されている。特に最近の温泉開発ブームに伴い、市町村を主体とする温泉開発も含めると、温泉ボーリング井は年間あたり約20本の割合で増加している。また、いままで開発には不利とされていた地温勾配の小さいと考えられた地域でもボーリングがおこなわれるようになってきた。この結果、北海道全体に渡って広域的な視点から地下温度データを扱えるようになり、特に地温勾配に関してもその地域性や相対的な大小関係が明らかになりつつある。

地下資源調査所では、平成2~3年度にかけて「広域的熱構造区分と地下温度構造に関する調査研究」をおこなった。この調査研究は、北海道の地熱・温泉井を中心とした深部ボーリング井の温度検層結果をコンパイルし、広域的な熱水対流系の観点から地下温度構造を明らかにすることを目的としている。筆者は、地下資源調査所が過去数十年に渡って収集したボーリング井の温度検層データを整理するとともに、新たに長期間未利用井の温度検層を実施した。これらの検層資料とこれまでに公表された地下温度データを総括して北海道の地温勾配図を作成したので現時点までの結果について報告する。

2. 坑井データのコンパイル

現在までに資料収集および現地調査をした坑井数は、総計で781本におよぶ。

文献調査をした資料は、HORAI(1963)、江原ほか(1970)、江原・横山(1971)、青柳ほか、(1978)、大久保(1993)、その他、地質調査所、日本地熱調査会、日本地熱資源開発促進センター、新エネルギー・産業技術総合開発機構、北海道立地下資源調査所等の各機関から発行されている報告書・資料集等があり、多岐にわたる。地殻熱流量測定資料の中で、温度検層データあるいは地温勾配が公表されているものについては、それらのデータもコンパイルした。このほか、地下資源調査所が現在までに収集した未公表の温度検層データも整理した。更に、本調査研究では、道内で長期間未利用で温度検層が可能な坑井について31箇所の検層を実施した。

調査対象別の分類では、地熱・温泉井が731本、石油・天然ガス井が28本、金属鉱山の調査井が6本、基礎試錐が10本、石炭調査井が6本である。このほか、鉱山・トンネルの坑内で直接温度測定が行われた12カ所の資料がある。温度検層データのコンパイルは以下のようにおこなっている。温度検層データ毎に坑井名、坑井位置、掘削完了年月日、坑井仕様（深度、ケーシングプログラム等）坑井仕上げ状況、温度検層実施時のスタンディングタイム等の各種測定条件を整理し、データベース化をおこなっている。温度プロファイルデータは、ほとんどがアナログデータであるため、整理の段階で可能なものから順次デジタルデータを作成している。デジタルデータの作成は、直接原図を読み取るかデジタイザーを用いておこなっている。このデジタル化は非常に時間を要する作業ではあるが、現時点で全坑井の20%まで完了している。

3. 温度検層データの概要

一般にボーリング井では掘削時の泥水循環によって坑井周辺の地下温度場が乱されている。したがって、泥水擾乱期間に対するスタンディングタイムの割合が大きいほど温度プロファイルは真の地温のプロファイルに近づく。BULLARD(1947)によれば、このような坑井の検層温度が坑井掘削前の地温にほぼ完全に回復するためには、スタンディングタイムは泥水擾乱期間の10倍程度は必要とされている。多くの場合、温泉ボーリング井における温度検層はストレナ位置の決定を主な目的としている。よって、検層は異なるスタンディングタイムで2回おこない、両者の温度プロファイルの相対的な温度差から、特に逸・溢泥深度が再確認される。この温度差をできるだけ大きく見だすため、検層は掘削終了後のできるだけ早い時点で1回実施され、ある程度時間が経過した時点でさらに1回なされる。2回目の温度検層は、スタンディングタイム24時間程度で実施される場合が多い。このためこれらの検層では一般に真の地温まで回復していない温度を測定することになる。真の地温を知るためには、非自噴井に対してできるだけスタンディングタイムの長い温度検層をするのが望ましい。しかし温泉井では、坑井仕上げ・揚湯試験が完了するとただちに生産利用がはじまるケースが多く、実際にはほとんどなされていない。

地熱調査地域の坑井では、必ず温度検層が実施される。これらの坑井で真の地温を推定する場合には、一般に長期間休止後の検層という方法はとられない。これに代わる方法として、スタンディングタイムの異なる検層を多数回実施し、ホーナー法(LACHENBRUSH, A.H. & BREWER, 1959)によって真の地温が推定されている。今回調査した坑井については、同一深度で温度検層を3回以上実施している坑井数は全体の17%未満である。しかも3回以上の検層がおこなわれていて、かつ掘削履歴やスタンディングタイム、循環泥水温度等のデータセットが揃っている坑井は、更に少ないうえに限られた地域に偏在することから、ホーナー法のような統一された手法で真の地

温を推定することはできない。よって、地温勾配の検討は、各坑井においてスタンディングタイムの最も長い検層データを採用しておこなった。スタンディングタイム別では、20時間以下が56坑井、20～50時間が209坑井、50～100時間が17坑井、100～1000時間が131坑井、1000時間以上が1年未満が27坑井、1年以上が64坑井であり、その56%が50時間未満であった。なお、スタンディングタイムの不明な坑井は277本であった。スタンディングタイム1000時間以上の検層がなされており、しかも自噴していない坑井は79本である。これらの坑井深度は250m～1500mの範囲にあり、堀削期間は、1か月～4か月の範囲と考えられる。よって、ホーナー法で定義された無次元時間 (Horner Time) は、少なくとも0.1以上あり、とくに泥水擾乱の影響が小さい坑底では温度はほぼ真の地温にまで回復しているとみなせる。

4. 地温勾配の算出

地温勾配は、地表の基準温度を設定し、これと坑底温度 (最大検層深温度) を直線で内挿したときの、深度に対する温度上昇率 (割線勾配値) とした。

地表基準温度は、本来は実際の地表もしくは地下浅部の地温データに基づいて設定するべきである。この地表地温は気象条件・季節あるいは地域によって大きな差異があり、これを何度Cにするべきかが問題になる。地表の基準温度として、たとえば青柳ほか(1978)では、これを15°Cとした整理がなされているほか、多くの場合には便宜上、該当地域の平均気温などが用いられてきた。しかしこれらの温度が基準温度として妥当かどうかについてはあまり検討されていない。今回の調査ではあらためて温泉ボーリング井を中心に地表基準温度につき検討した。

検討には、スタンディングタイム1000時間以上・非自噴で温度プロファイルが明らかにされている47坑井、および6カ所の鉱山における温度データを使用した。地表地温データは、これらの深度-温度関係のうち静水位下数10mから深度200～300mまでの区間を直線外挿して得たものである。これら54データから平均値10.4°C、標準偏差4.9°Cを得た。標準偏差の値からあきらかなように、この外挿地表地温にはかなりのばらつきがある。

平均気温との関係については、全道162カ所の気象測候所における過去20年間 (1971～1992) までの平均気温 (札幌管区气象台, 1992) を使って検討した。この期間の全道平均気温は6.1°Cであり、さきの検層からの外挿地表地温の平均値に比べ4.3°C低い。また、各坑井の外挿地表地温と最寄りの気象測候所における年平均気温との相関は、相関係数が0.5925と非常に悪く、平均気温は地温勾配における基準温度として不適当と考えられる。

本調査研究では、地下水温との関係についても検討した。

平均地下水温は、北海道内各地における地下水井のデータ (地下資源調査所, 1970～1985) に基づき、深度50m未満の地下水井 (274本) で10.2°C、深度50m以上75m未満 (245本) では11.1°C、さらに深度75m以上100m未満 (237本) では11.6°Cとなっている。特にさきの54坑井の外挿地表地温の平均値は、深度50m未満のごく浅い地下水井の平均地下水温とほぼ一致している。

以上の結果をふまえて、地温勾配は、地表基準温度を10°Cに統一して算出することとした。なお、文献調査から得た温度検層データについても基準温度を10°Cとして再計算している。

5. 地温勾配図の作成

第1図に示すように温度プロファイルの形態は、大まかには伝導型、上昇流型、下降流型、側方流型の4タイプに分類される。地熱流体の移動が激しい地熱地帯では、この4つのタイプが複雑に入り混じるプロファイルが見られる場合もある。したがって割線勾配で定義された地温勾配は、坑井深度ないしは検層深度に依存することになる。検層プロファイルを検討した結果、地球内部からのヒートフローが支配的であると考えられるような非火山性の伝導卓越地域でも、検層プロファイルは必ずしも直線性が高いとは限らないことが判った。直線からの偏差が大きな坑井では、着目する深度における地温勾配が、坑底深度のそれと比較して10%程度異なる場合があることが明らかになった。

よって現段階では、地温勾配図の作成にあたって、顕著な上昇流・下降流・側方流を示している坑井は除外し、温度プロファイルから伝導型と判断されるスタンディングタイム50時間以上の坑井データを主に使用した。それより短いスタンディングタイムのデータは真の地温まで回復していないと考えられるが、コンターを引く際には参考値としている。また、坑底温度データだけしかないが温度プロファイルが伝導型を示すと判断される地域の勾配値はそのままプロットした。第2図は、各坑井および既存資料から得られた地温勾配値をプロットし、 $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ のコンターを手書きで描いたものである。

6. 地温勾配図の特徴

今回作成した地温勾配図は、北海道の地下浅部の大局的な温度構造を表現しているといえる。大まかな熱構造区分を行うと以下ようになる。

* 高地温勾配 ($4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上) を示す地域

- (a) 知床半島から屈斜路湖、阿寒に至るNE-SW方向に延びる地域。
- (b) 十勝北部(然別湖・糠平湖周辺)から大雪山に至る地域。
- (c) 定山溪・豊羽鉱山を中心とした地域。
- (d) 登別・洞爺湖・倶多楽・支笏湖を中心とした地域。
- (e) 恵山から鹿部へ延びる地域。
- (f) 濁川-八雲-熊石と連なる地域、この延びは奥尻島に連なる可能性がある。

* 低地温勾配 ($4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下) を示す地域

- (a) 日高山脈から富良野、旭川盆地を経て、道北の天北地域へ至る北海道のほぼ中央部を南北に連なる地域。
- (b) 中央部の石狩低地帯では西側の高地温勾配域と接するように低地温勾配域を形成しており、空知地域側に延びる。
- (c) 馬追丘陵の南西側には狭い範囲ではあるが、 $2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下の地温勾配を示す地域が広がる。
- (d) 日高山脈の南部から十勝地方南部を経て根室半島に至る太平洋沿岸地域。

本調査・研究では、以上のような大まかな熱構造区分が明らかになった。
なお、地温勾配図は地質図・地殻熱流量図・重力異常図などの地球科学におけるベースマップと対比することにより、本質的な意味が明確となると考えられる。本発表ではこれらの諸点についても述べる予定である。

7. おわりに

今回制作した地温勾配図は、データの量・質については、まだ十分とはいえない。また、データの処理法ならびに表現法についても問題が残されている。しかし、この地温勾配図は、現時点での北海道の広域的かつ大局的な地下浅部（2000m以浅）の地下温度構造を表現していることから今後の地熱・温泉などの探査・開発に役立つことが期待される。

なお、現在この北海道の地温勾配図については、道内の地下温度データを整理したリストと平行して、60万分の1のスケールで作成中である。

参考文献*

青柳宏一・讀良紀彦・早川福利(1978)；北海道の地温勾配について。

石油資源開発技研所報，21,4,1-6.

Bullard,E.C.(1947):The time necessary for a borehole to attain temperature equilibrium.

Royal Astron Soc.Monthly Notices,Geophys.Supp.,5(5),127-130.

江原幸雄・西田直樹・横山 泉(1970)；北海道における地殻熱流量の測定（その1）。

北海道大学地球物理学研究報告，24,12-139.

江原幸雄・横山 泉(1971)；北海道における地殻熱流量の測定（その2）。

北海道大学地球物理学研究報告，26,69-84.

北炭(株)新砒開発本部(1974)；夕張新炭砒第一立坑開さく工事について（1）。

炭砒技術，Vol.29,No.10,1-6.

HORAI,K.(1963): Studies of the thermal state of the earth,the 12th paper:

Terrestrial heat flow measurements in Hokkaido District,Japan.

Bull.Earthq.Res.Inst.,41,167-184.

飯島庸三・駒田光徳・白川 晋・中原一郎(1970)；住友奔別炭砒における深部開発の諸問題－特に地圧・温度・ガスについて。炭砒技術，Vol.25,No.6,162-167.

LACHENBRUSH,A.H. & BREWER,M.C.(1959):Dissipation of the Temperature Effect of Drilling a Well in Arctic Alaska.Geol.Survey Bull.,1083-C,73-109.

松林 修・大久保泰邦・山崎俊嗣・上島正人・宮崎光輝(1992)；日本及び隣接地域熱流量・キュリー一点深度図。日本地質アトラス（第2版），地質調査所。

長尾年恭・山野 誠(1991)；日本周辺の地殻熱流量分布とその特徴。

地質調査所月報，42,10,550-551.

大久保泰邦(1993)；日本列島の温度勾配図。日本地熱学会誌，15,1,1-21.

札幌管区気象台(1992)；北海道のアメダス統計

田中 隆・佐藤勝義(1977);東北日本の油田地域における地下温度の推定.
石油技術協会誌, 42,229-237.

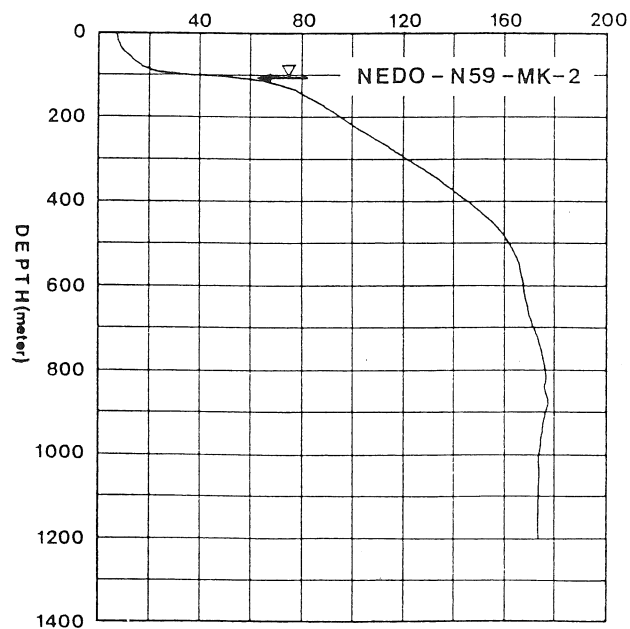
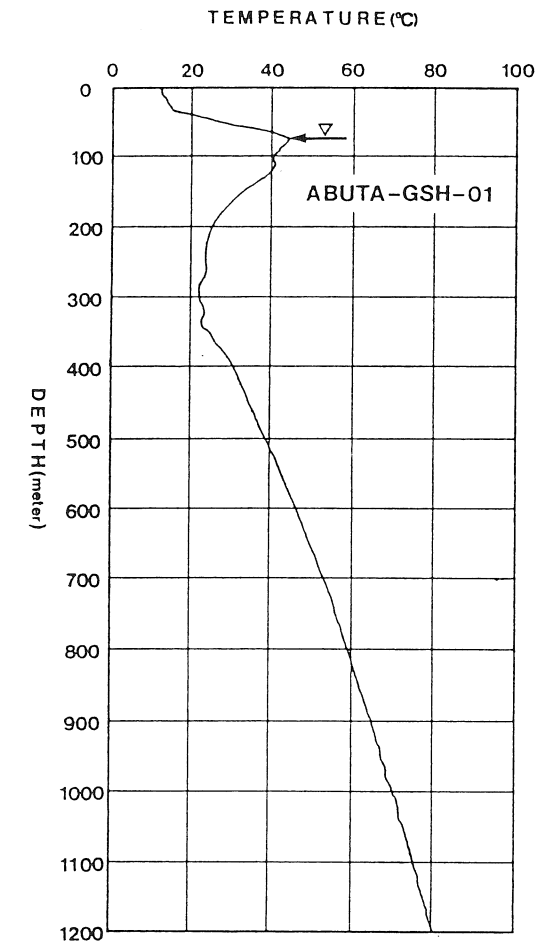
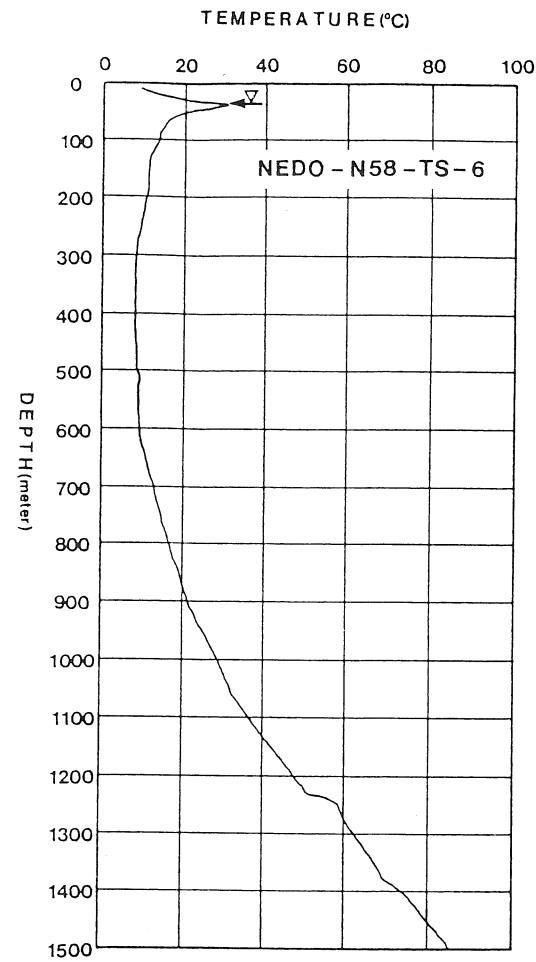
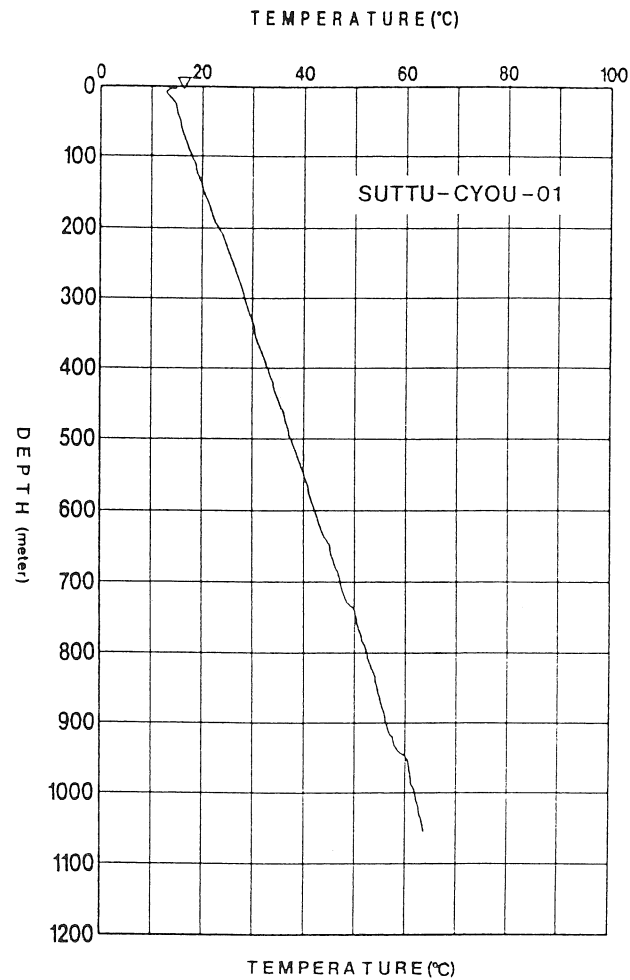
UYEDA,S.(1972):HEAT FLOW.The Crust and Upper Mantle of the Japanese Area,Part 1
Geophysics,Japanese Committee for Upper Mantle Project,97-105.

湯原浩三(福田正巳編)(1979);地下水ハンドブック,建設産業調査会,121.

吉田 廣(1989);深部移行に伴う坑内条件と技術改善の推移.炭鉱技術,平成元年1月号,2-3.

若浜 洋・秋田藤夫・松波武雄(1993);北海道の地下温度勾配図.
第81回物理探査学会講演論文集.

*参考文献の中で、地質調査所、日本地熱調査会、日本地熱資源開発促進センター、新エネルギー総合開発機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構、石油公団、石油開発技術センター、北海道立地下資源調査所の報告書・資料集は非常に数が多いため、参考文献のリストからは割愛した。



W E L L N A M E	SUTTU-CYOU-01	ABUTA-GSH-01	NEDO-N59-MK-2	NEDO-N58-TS-6
DATE	30th, OCT. 1991	26th, MAY. 1986	06th, DEC. 1985	21th, NOV. 1983
ATMOSPHERIC TEMPERATURE (°C)	+13.2	+12.6	+1.0	+2.8
WELL DEPTH (m)	1101.0	1202.0	1205.5	1501.4
WELL DIAMETER (mm)	142.9	142.9	75.7	76.5
CEASE MUD DISTURBANCE	29th, JUL. 1991	03th, DEC. 1985	06th, MAR. 1985	16th, NOV. 1983
STANDING TIME(hours)	2230	4180	6530	120
WATER LEVEL IN THE WELL (m)	-1.74	-87.7	-103.0	-35.0
PLOOVE SPEED (m/min)	7.3	>10	6.7	10
MAX. TEMPERATURE/DEPTH (°C/m)	63.3/1055	79.9/1197.5	177.5/870	85.1/1500.0
BOTTOM HOLE TEMPERATURE (°C)	-	79.9	173.6	85.1
WELL COMPLETION	CASING	CASING	CASING	CASING
WELL FLUID	WATER	WATER	WATER	WATER

Fig. 1 Four typical Temperature Depth profiles.

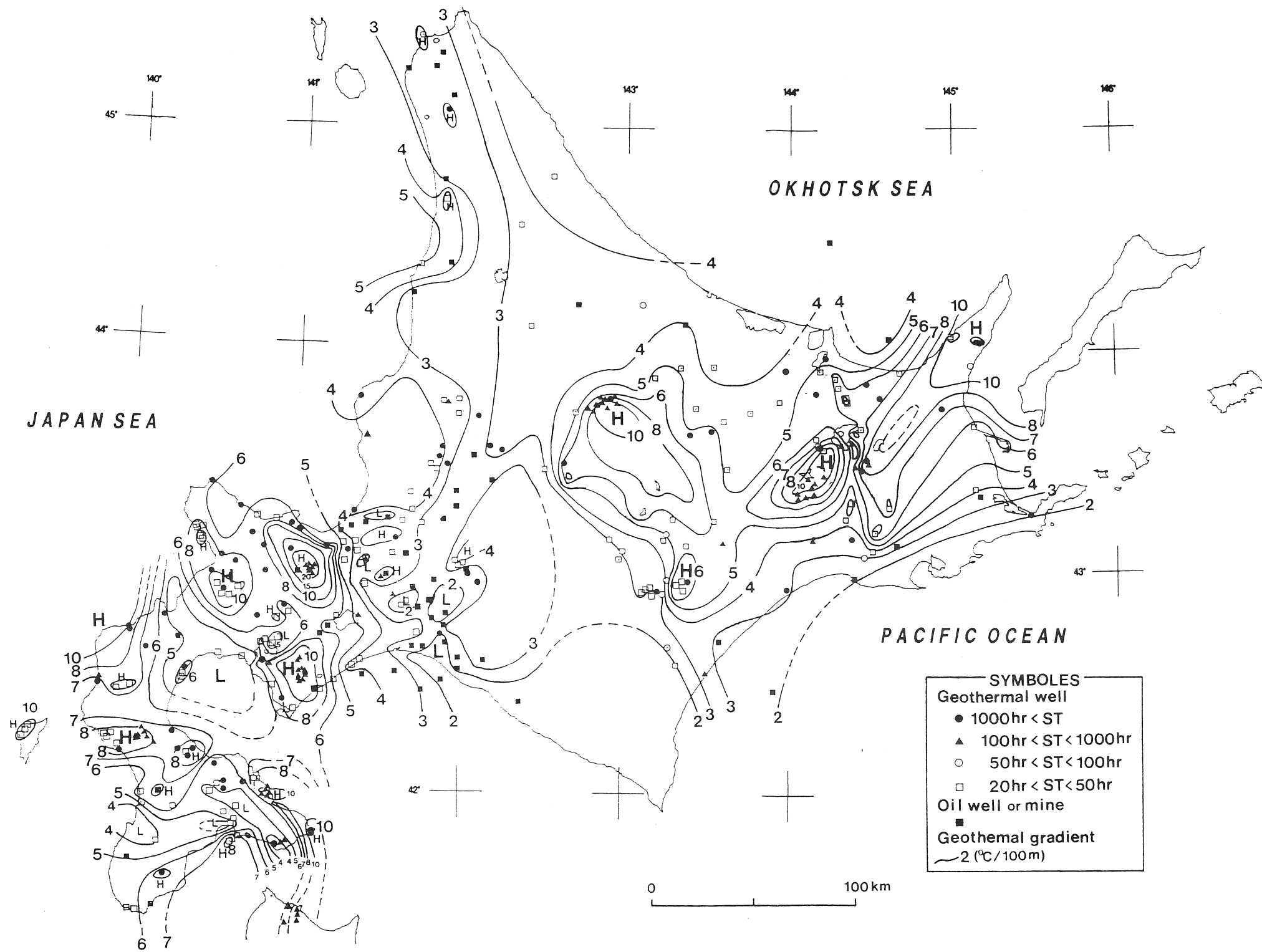


Fig. 2 Geothermal gradient map of Hokkaido

4 温泉熱利用のケーススタディ

(株)サン・エンジニアリング

直江 正晴

1. まえがき

石油代替エネルギーの開発を目的の柱とし、我国でも豊富に得られる太陽エネルギー、地熱エネルギー等のクリーンエネルギーの開発を目指した、国の「サンシャイン計画」がスタートして20年が経過した。その間、とりわけ地熱エネルギーの開発、利用技術は進歩し、各地でさまざまな形態で利用されている。一方、現在においても、我国のエネルギー所要量の大部分を相変わらず輸入石油に依存している現状に照らし、今後ますます地熱エネルギーの有効利用に対する期待が高まることは否めない。

この様な状況から、現在地熱水の膨大なエネルギーを有効利用するため各地で多目的利用のフィジビリティ・スタディが活発に行われている中で、具体的に湧出源泉と計画施設の関係から、熱量と対象規模設定の為の基本単位を多く求められることから、利用対象施設別温泉必要量、源泉所有熱量と施設規模選択等に関するケーススタディを行い、計画の目安の一助となることを目的とした。

2. 地熱、温泉の利用形態

2-1 利用可能形態

地熱エネルギー利用の形態には一般にあげられているものとして、[表-1]に挙げる様に、温度域により利用法は多岐にわたっており、地域特性と合せ利用される。[表-1]には地熱発電を始め鉱工業、農業、水産、暖房、給湯等あらゆる分野が対象可能となっているが、現在我国では、高温部(100°C以上)で地熱発電が行われており、発電後の熱水の多目的利用として本格的に利用されているのは、岩手県松川で温泉給湯付分譲地、及び施設園芸ハウスである。その他別府杉の井ホテルでは発電、暖房、給湯と総合的に利用されて

[表-1] 地熱温度別利用法

180°C	蒸留, アンモニア冷凍, 製紙
170	重水製造, 珪藻土乾燥
160	魚肉乾燥, 材木乾燥
150	アルミナ製造, 冷熱利用(冷凍・冷蔵・冷房)
140	農作物乾燥, 缶詰製造
130	製糖
120	淡水製造
110	セメント乾燥, 殺菌
100	干草製造, 食品加工, 炊事, 製塩
90	干魚製造, 海水, 道路融雪, 木材加工, 処理煮沸
80	地域暖房, 温床, 養鶏
70	
60	畜舎暖房, 温床, 発酵
50	茸栽培, 浴用
40	土壌加温
30	温水プール, 養魚, 汚水処理, 撤水道路消雪
20°C	

いる例があり、他は現在計画中の所が多い。一方100°C以下の低温部では、古くから温泉としての浴用が圧倒的に多い利用方法であり、近時省エネルギーの立場から拡大し一般民家の浴用給湯へと進んでいる。この他では福祉施設の暖房、床暖房、施設園芸ハウスの暖房、水産施設の昇温利用、観光植物水産施設の暖房昇温利用などが一部にあるのが現状である。

この様に利用対象は多岐であるのに現在実働している対象が少ないのは、地熱エネルギー源の温度、量、質、場所等と実際にこれを消費する所の量、場所等が合致する条件が整わないからであり、利用地における地域特性に左右されることになる。現状使用されている対象について挙げると次の様なものである。

地 熱 発 電	7ヶ所
暖 房 (蒸 気)	旅館ホテル等
暖 房 (温 水)	福祉施設(養護老人ホーム)施設園芸ハウス(そ菜栽培)

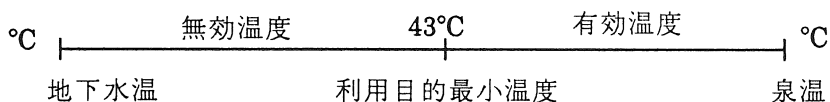
		培、樹木育苗、菌糸栽培、花卉栽培)観光施設(観光植物園)等
給湯(温泉浴)		旅館ホテル、福祉施設(養護老人ホーム、リハビリテーションセンター等)一般民家(浴用他)土地分譲(居住住宅、別荘住宅、保養所)等
昇温		水産施設(養鰻、テラピヤ、スッポン、オニテナガエビ、大タニシ、アワビ等養殖)体育施設(温水プール、学校温水プール)汚水処理、発酵醸造等
土壌加温		施設園芸
床暖房		福祉施設(養護老人ホーム)国民宿舎、養鶏畜舎等
消雪		道路融雪

上記に見られる様に、蒸気暖房を除く他は全て100°C以下の低温領域における利用形態である。

2-2 有効熱量

(1) 有効熱量

地熱水エネルギーは、通常他の燃料と違うのは、利用目的により利用出来る熱量が異なる点にある。例えば、地熱水を浴用として無加熱で浴槽を運転しようとする、43°C程度以上必要といわれている。従って、この43°C以上の有効な部分と43°C以下の無効部分の2領域に分けられ、地熱水のもつ泉温とこの浴槽運転温度の差が有効温度と呼ばれ、この有効温度と地熱水の泉量の積が有効熱量となる。



$$\text{有効温度}^{\circ}\text{C} = \text{泉温} - (\text{利用目的最小必要温度})$$

$$\text{有効熱量} \text{ kcal/h} = \text{有効温度}^{\circ}\text{C} \times \text{地熱水量} \text{ kg/h}$$

この様に利用目的で各々最小必要温度が変わることにより、同一地熱水でも保有する有効熱量は変化するのである。そして有効熱量の絶対量が対象

施設の負荷量以上になれば利用出来ないことになる。又多目的利用を図る場合には、利用目的最小必要温度の高温部から配置順次の利用組合せを取らなければ、数次利用は出来ないことになる。

2-3 利用形態別最小必要温度

前述の如く、利用可能形態は対象施設の利用目的別最小必要温度による。又、同じ暖房利用でも施設対象によって最小必要温度は異なる。

[表-2]に想定施設に対する最小必要温度を示す。

[表-2] 温泉熱利用想定対象施設最小必要温度

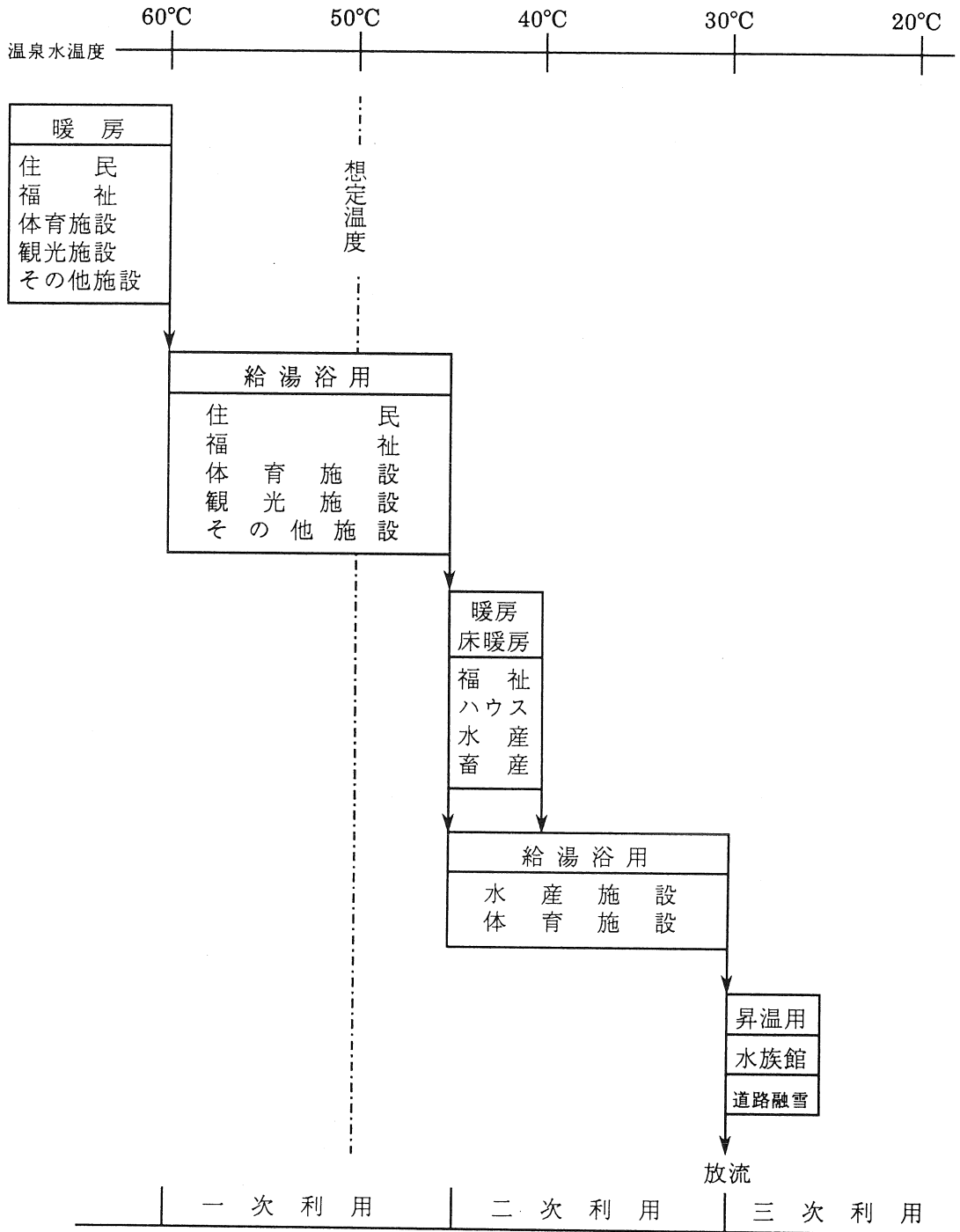
対象施設		熱利用目的別最小必要温度				
施設	対象	暖房	給湯	浴用	昇温	床暖
福祉	住民	60℃	45℃	45℃	℃	℃
	福祉施設	60	45	45		40
農業	施設園芸	40				
	畜産施設	40				40
水産	養魚	40			30	
体育	体育施設	60	45			
	温水プール	60	45		30	
	学校温泉プール	60			30	
観光	観光施設	60	45			
	水族館	60			25	
その他	道路融雪					35

2-4 温泉熱の段階的利用形態

[表-2]に示した如く、施設対象によって最小必要温度が異なること、即ち利用温度巾が異なることを利用し、温度の下位に流れる施設集団を作れば、温泉熱の段階的利用という最も有効な熱利用も可能となる。

[図-1]に温泉熱の段階的利用模式図の一例を示す。

[図-1] 温泉熱の段階的利用模式図



暖房
給湯

床暖房
浴用

10~6月 8ヶ月
通年

3. 多目的利用形態別単位当りの必要熱量(熱負荷単位)

温泉熱の有効利用を図る為の第一段階は、利用施設が必要とする単位当りの熱量を求めることである。これは利用形態により利用温度巾が異なる事、算出式が異なる等によりそれぞれ利用形態別に算出する必要があるが、ここでは熱利用の実績が圧倒的に多い浴用給湯における熱負荷単位について述べることとする。

3-1 浴用給湯における熱負荷単位

一般住宅に対する浴用給湯の熱負荷単位を算出するに当っては、基本条件を設定し、下記の諸量を求める必要がある。

- ① 浴槽基本湯量
- ② 体重排除量及び洗体量
- ③ 浴槽内温度を一定に保つ為の補熱量

即ち、一世帯当りの1日の温泉必要量は①+②+③となるが、ここで①、②については特に複雑な算出式はなく、従って③について以下に述べることとする。

3-1-1 補熱量

浴槽を一定温度(通常42°C前後)に保つ為には、浴槽からの放熱量に見合うだけの温泉有効熱量を補給すれば良い。ここで放熱量に関しては、湯表面温度(浴槽内温度がほとんど均一になっている浴槽では槽内温度としても良い)から浴室温度を差し引いたものと浴槽表面積との積に比例し、即ち(1)式で表される。

$$Q = K \times S \times (t_1 - t_0) \quad \dots (1)$$

Q : 1時間当りの浴槽からの放熱量 (kcal/h)

K : 総括伝熱係数 (kcal/m²·h·°C)

t₁ : 浴槽内温度 (°C)

t₀ : 浴室温度 (°C)

ここで総括伝熱係数に関しては、実験結果及び実測データより
 $50\text{kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ みれば十分とされている。

一方、上記によって求められた放熱量に見合う必要補熱量の算出式は(2)
 式で表される。

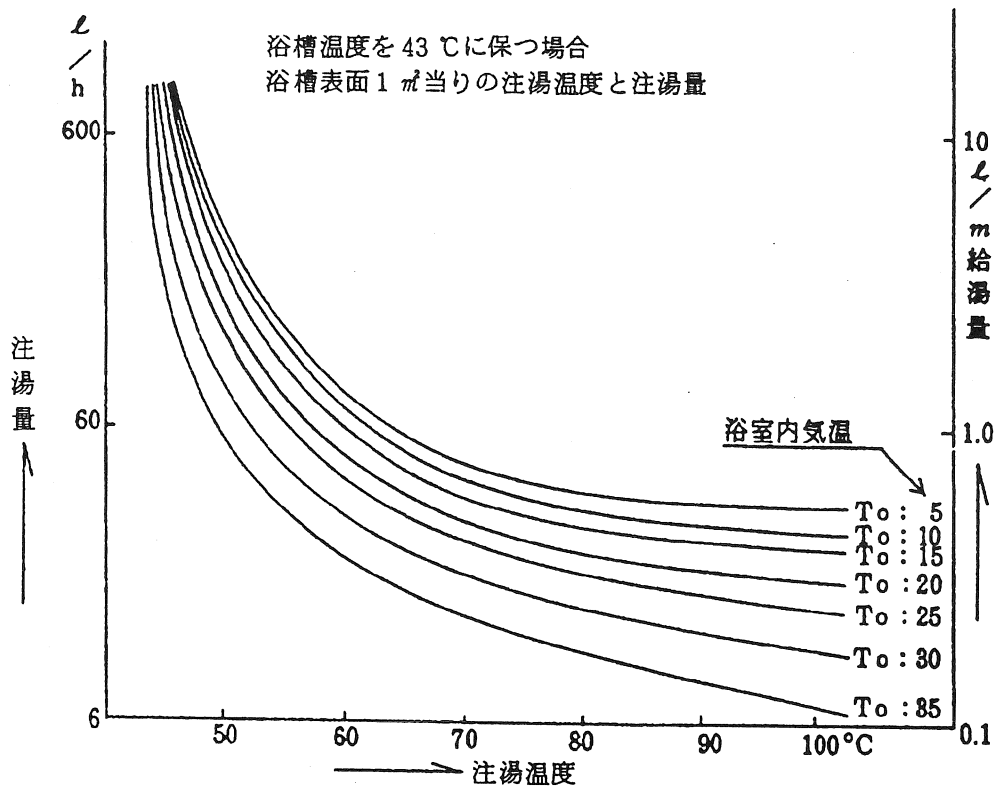
$$W = \frac{Q}{(t_2 - t_1) \times 60} \quad \dots (2)$$

W : 補熱量 (ℓ/min)

t_2 : 浴槽注湯温度 (°C)

これらの関係をグラフ化したものを[図-2]に示す。

[図-2]



3-1-2 試算例

一般住宅の浴用給湯について次の条件により試算を行う。

条件

浴槽の容積 : $270 \ell (0.85L + 0.6W \times 0.6H)$

利用時間 : 2時間

世帯当り住人 : 3人

平均体重 : $50 \text{ kg} / 1人$

洗体量 : $30 \ell / 1人$

温泉注湯温度 : 50°C

浴槽内温度 : 43°C

浴室温度 : 20°C

(1)式に諸条件を代入し、

$$\begin{aligned} \text{放熱量 } Q &= 50 \times 0.51 \times (43 - 20) \\ &= 586 \text{ (kcal/h)} \end{aligned}$$

(2)式より

$$\begin{aligned} \text{温泉注湯量 } W &= \frac{586}{(50 - 43) \times 60} \\ &= 1.4 \text{ (}\ell/\text{min)} \end{aligned}$$

従って、入浴時間に必要な温泉量は、

$$1.4 \ell/\text{min} \times 2\text{h} \times 60 = 168 \ell$$

となり、一世帯当りの日必要量は

浴槽基本量 : 270ℓ

補熱量 : 168

体重排除量 : 150

洗体量 : 90

合計 678ℓ

となる。これは源泉量に換算すれば

$$678\ell/\text{min} \div 24\text{h} \div 60 = 0.47\ell/\text{min}$$

となり、わずかの源泉量で一世帯の浴用が賅えることがわかる。

3-2 その他の利用形態における熱負荷単位

浴用給湯以外の利用形態では、ほとんど暖房利用であり、即ち、熱負荷単位は単位時間、単位面積当りの必要熱量で表わす。

この算出に当っては、利用形態別に算出式が異なる為、ここでは結果のみを[表-3]に示す。

[表-3] 利用形態別熱負荷単位

対象施設	熱負荷単位 kcal/m ² ·hr
地域暖房	130
ビニールハウス	200
畜産施設(鶏舎)	100
水産施設	630
温水プール 暖房	370
体育館	136
道路融雪	100

4. 利用施設規模と温泉量及び温度の関係

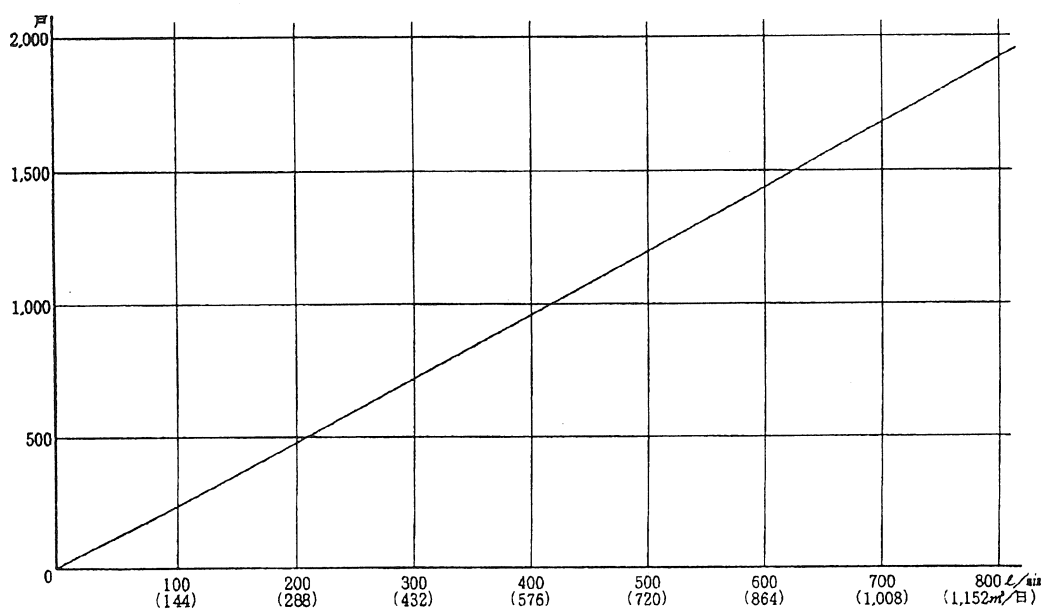
3項で算出した熱負荷単位を基準とし、実際に温泉が湧出した場合の熱量(温度及び量)と対象施設別実施可能規模との関係を、[表-4]~[表-8]に示す。

本表はあくまでも基本段階における目安であり、実施計画の段階では各施設への供給管路、貯湯槽を始めとする供給設備よりの放熱量等を見込み、熱収支を検討する為、実際上の実施可能規模は本表に示した値より小さくなる。

一般住宅給湯 源泉量と戸数の関係

[表-4]

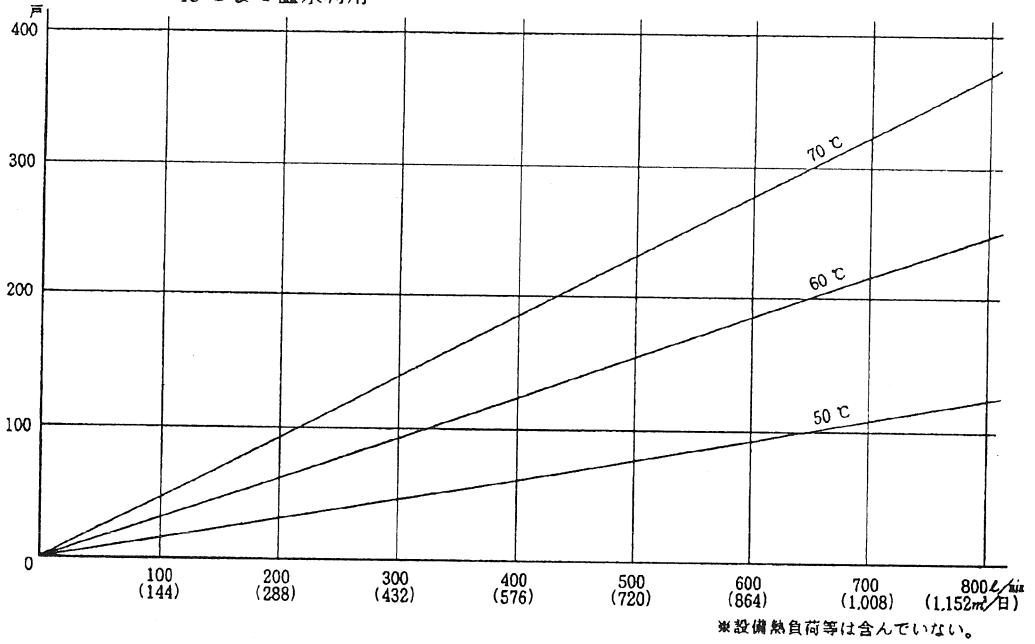
(ただし、600ℓ/日・戸、源泉温度：50°C)



一般住宅暖房

熱源泉の温度と量の変化による規模の関係
 ただし、暖房負荷：3,900 kcal/hr/1戸
 40℃まで温水利用

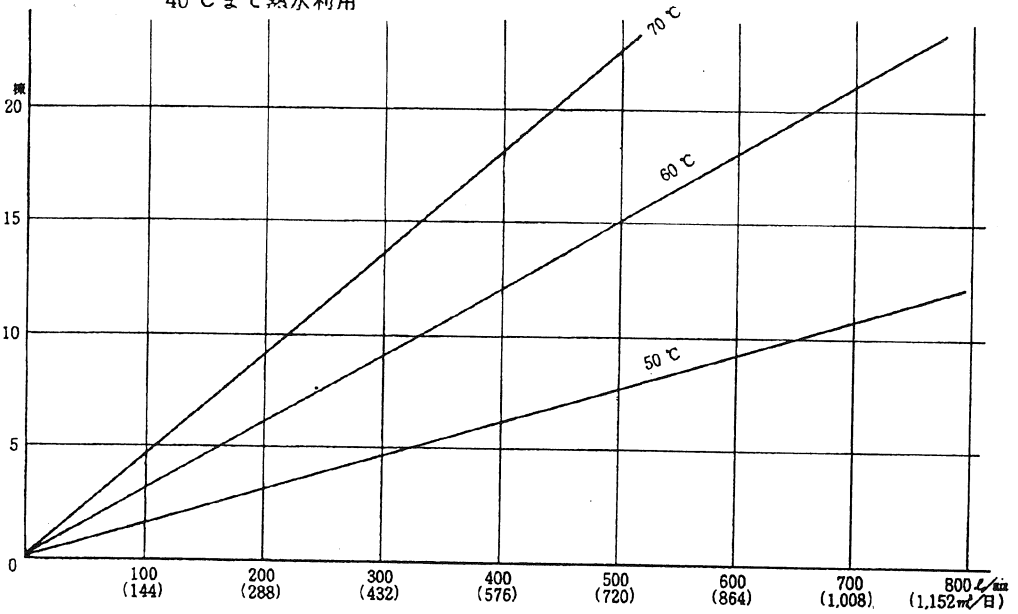
[表-5]



集合暖房

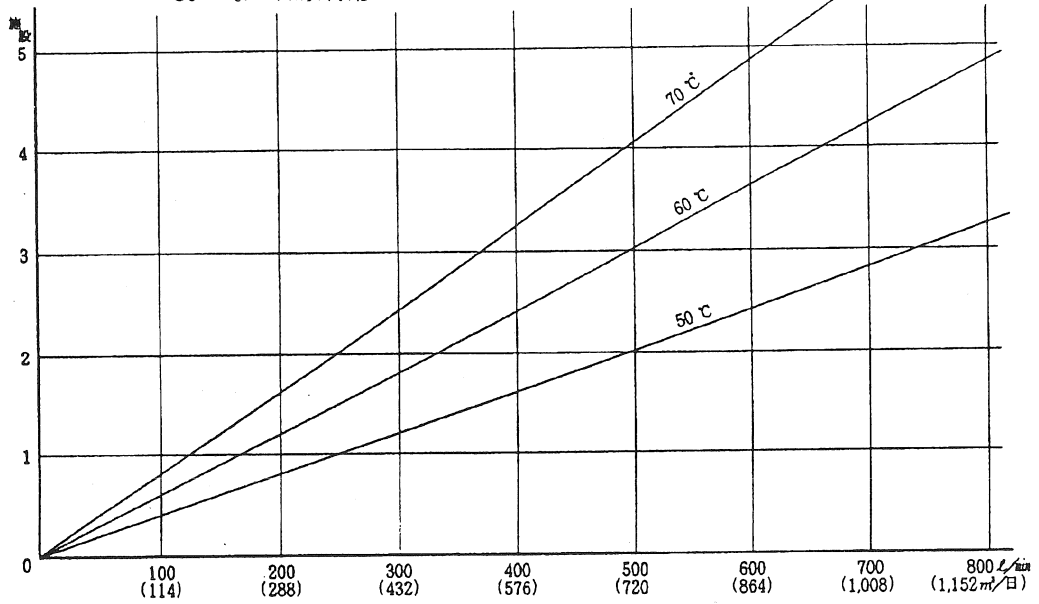
熱源泉の温度と量の変化による規模の関係
 ただし、暖房負荷：40,000 kcal/hr/棟
 400㎡/棟
 40℃まで熱水利用

[表-6]



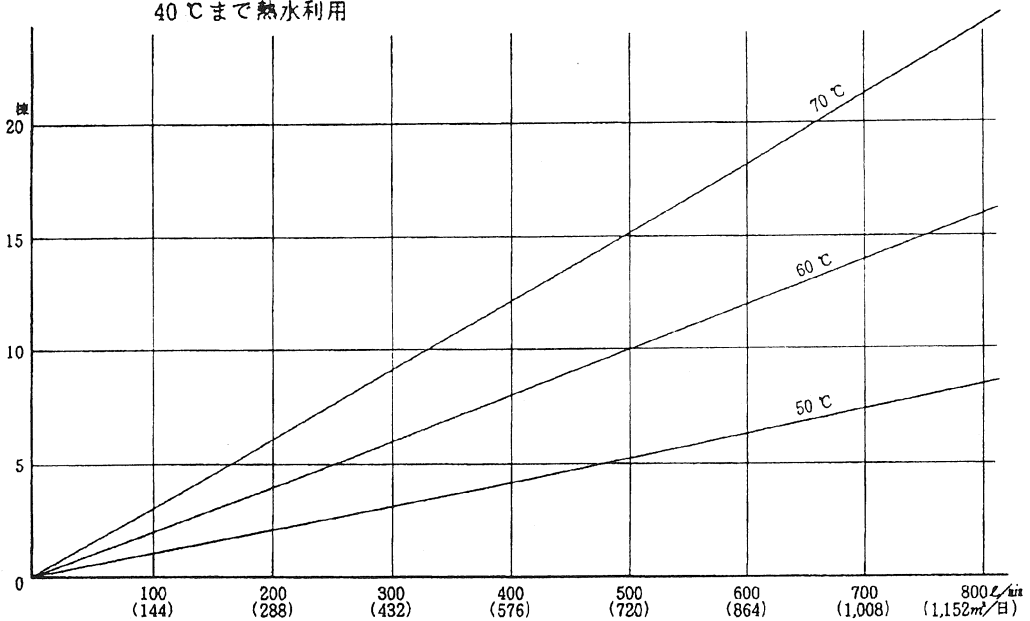
水産施設
熱源泉の温度と量の変化による規模の関係
ただし、470 m²/1施設
熱負荷：296,100 kcal/hr/1施設
30℃まで熱水利用

[表-7]



ビニールハウス暖房
熱源泉の温度と量の変化による規模の関係
ただし、300 m²/棟
暖房負荷：60,000 kcal/hr/棟
40℃まで熱水利用

[表-8]



5 ボーリング孔を使った物理探査法と泉源開発のための新しい探査法

応用地質(株)札幌支社
村 上 弘 行

はじめに

ボーリング孔を使った物理探査法は“物理検層”に代表され、地質調査の重要な一項目となっている。しかしながら、孔内という特殊な測定条件もあって、良質なデータを得るには以外に苦勞する場合も多く、測定技術を高める努力が今後共必要である。

一方、物理検層結果の解釈については、コンピュータシミュレーションなどによる研究も含め、技術が確実に蓄積されつつある。

以下では、特に現場での測定技術に重点を置きながら主要な物理検層について解説する。また、あわせて、泉源開発のための新しい探査法として比抵抗映像法およびMT法を紹介する。

I. ボーリング孔を使った物理探査法（物理検層）

1. 物理検層とは

物理検層とは、何らかの物理現象を捕らえるセンサーをボーリング孔内に挿入し、ボーリング孔沿いの物性の深度分布を測定する手法である（ただし、通常、孔径やボーリング形状を求める検層種目も物理検層に含める）。

測定する物性や測定の手段によって様々な種目が考案されており目的に応じて使い分けられている。主な物理検層種目を表-1.1に示す。

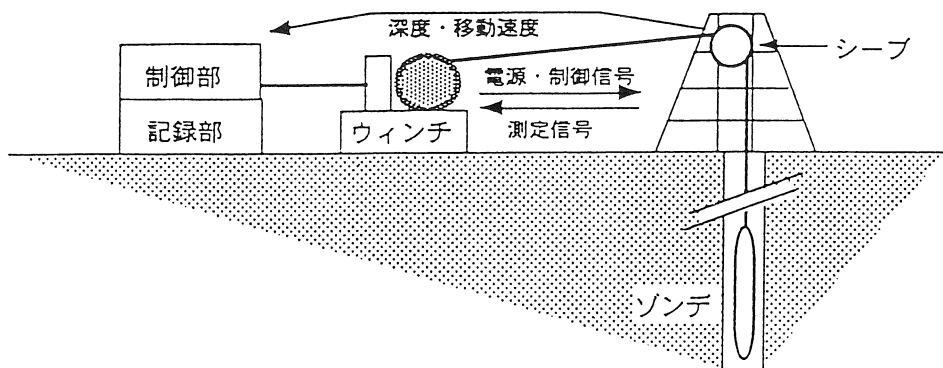
2. 物理検層測定システムの構成

物理検層測定システムは、一般に地上の制御、記録装置とボーリング孔内に挿入するセンサーであるゾンデ（プローブということもある）、およびそれらを接続するケーブルとケーブルを巻き上げ／下げするウィンチ、深度をカウントする回路の入ったシーブと呼ばれる滑車からなっている。

一般的な物理検層測定システムの構成を図-1.1に示す。

表・1・1 主な物理検層種目一覧

測定する物性・物理量	物理検層種目		利用する物理現象
比抵抗	電気検層	比抵抗検層	電気伝導
電導度		インダクション検層	電磁誘導
自然電位		自然電位検層	拡散電位、膜電位
弾性波速度	音波検層		弾性波動の伝搬
	速度検層		
	P S 検層 (サスペンションPS検層)		
密度	放射能検層	密度 ($\gamma - \gamma$) 検層	γ 線コンプトン散乱
孔隙率		中性子検層	高速中性子の吸収
自然放射能強度		自然放射能検層	放射性同位体の崩壊
磁化率	磁化率検層		磁化
誘電率	誘電率検層		電磁波の伝搬
孔内温度	温度検層		熱伝導
孔内水比抵抗	孔内水比抵抗検層		電気伝導
孔内水流速	流速検層		
孔径	キャリバー検層		



図・1・1 物理検層測定システムの構成

3. 物理検層の特殊性

物理検層はボーリング孔を使用するため他の物理探査にない注意すべき点が多く、物理検層の測定技術者は、以下のような点に特に注意を払う必要がある。

<測定的重要性>

まず、一旦現場を離れたら再測定は通常不可能であるということを強調したい。一般に物理探査は、計画→測定→解析→解釈の過程を取るが、物理検層は、この過程のうち測定と解釈の重みが極めて高い技術であるといえる。

<測定時のトラブル>

最も重大で注意を払わなければならないトラブルがゾンデの孔内抑留、いわゆるジャーミングである。ジャーミング事故にはボーリング孔や地質の状況から避けられないものもあるが、小さな不注意から起こっているものも少なくない。ジャーミング事故を防ぐための注意事項を別項にまとめた。

測定器自体のトラブルも地表の探査に比べて多く発生する。その多くは、Oリングの摩耗などによるゾンデ内への浸水によるリーク、あるいはケーブルヘッドやゾンデ接続部の疲労からくるテンションによる断線、接触不良が原因である。

<測定深度の誤差>

測定深度の誤差は、ケーブルの伸縮や摩耗などの本質的な原因から測定スピードの超過によるシーブパルスの数え落としやケーブルの滑りと言った人為的なものまで様々である。

人為的な誤差は、適当かつ一定の測定スピードで測定することやなるべくケーブルとシーブの接する部分を長くすること(1/4周巻きつけるより半周巻くほうが滑らない)で防ぐことができる。

～ジャーミング事故を防ぐために～

ボーリング孔内でのゾンデの抑留は最も恐れなければならない事故のひとつである。しかしながら、調査で最も知りたい深度というのは、破碎帯や弱層であったりするので往々にしてジャーミングしやすい深度であることが多い。

以下にジャーミングを防ぐための実際的な注意項目を示す。

① 本番は一回きりの気構えで

現場にいく前のチェック、測定前の地表での動作チェックを入念に行う。測定前の調整作業などゾンデをボーリング孔に挿入する前にしなければならないことを忘れずに行う。

② 孔底からはできるかぎり早く遠ざかる。

どうしても孔底で機器の調整を行わなければならないときは、一旦ゾンデを1～2m程度孔底から浮かしてから調整を行い再び孔底まで下げて測定を行う。

③ ケーシング尻に注意

ケーシング尻は孔内も孔口も注意が必要である。

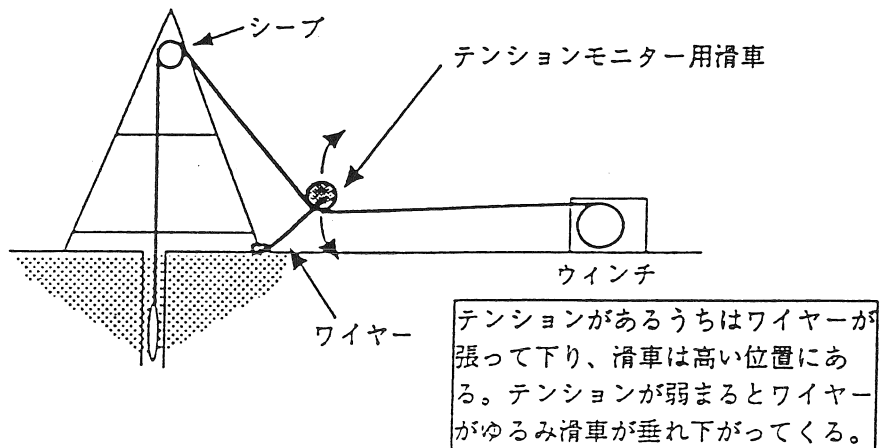
④ ゾンデの降下時のスピードに注意

あまり早くゾンデを降下させるとケーブルがゾンデより下に回り込みゾンデに巻きつくことがある。

⑤ ケーブルテンションのモニター

降下時にゾンデが止まっているにもかかわらず、ケーブルを出してしまうことは、ケーブルがゾンデに絡むなどしてジャミングにつながる。

テンションメータがない場合でも深度が浅ければ、重た目の滑車を使って下図のようにしてテンションをモニターできる。



⑥ ジャーミング回収にあたって

運悪くジャーミングしてしまった場合、以下のことに注意して回収に努める

i) ケーブルは無理に引っ張らない。楔をかませることになる。

また、ケーブルヘッドから抜けてしまう場合もある。

ii) ゾンデは上がらなくとも動いているうちは動くほうに動かす。

iii) 軟弱地盤であれば、ゾンデの頭に軟らかい崩壊物がのっていることが多い。そのため、水をゾンデの頭でふかせば取れることが多い。

iv) ロッドでゾンデの頭を叩く。このときケーブルを常に持っていて、ゾンデへの荷のかかり方をチェックしておかなければならない。

4. 電気検層

4-1. 電気検層の種類

電気検層には大きく分けて、電気伝導現象を利用する比抵抗検層と、誘導現象を利用するインダクション検層、および電気化学的な現象を利用する自然電位法の3つの手法がある。

土木調査で最もよく用いられているのが比抵抗検層で、以下では主として比抵抗検層について説明する。

4-2. 比抵抗と物性

比抵抗とは電気伝導度の逆数で『電流の流れ難さ』を表す。

地層の比抵抗は、

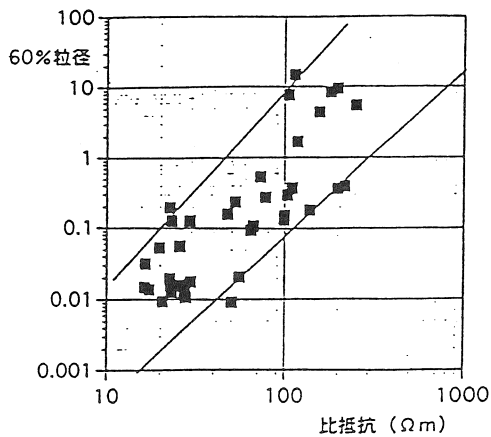
- ・地層の孔隙率
- ・孔隙を満たす水（地層水）の比抵抗
- ・孔隙を水が満たす割合（水分飽和率）
- ・孔隙の形状
- ・地層を構成する鉱物
- ・温度

など様々なパラメータによって決定される（下図参照）。

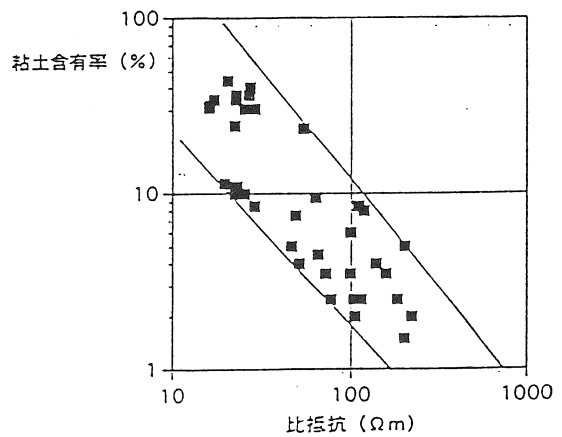
比抵抗	低い	←————→	高い
孔隙率	大きい	←————→	小さい
地層水比抵抗	低い	←————→	高い
水分飽和率	大きい	←————→	小さい
地質性状	風化・変質	←————→	新鮮
土質（粒径）	粘土（小）	←——シルト——砂——→	砂礫（大）
地域	海域	←————→	内陸
地中温度	高い	←————→	低い
造岩鉱物	金属鉱床	←————→	一般の造岩鉱物
岩種	頁岩・泥岩など	←————→	石灰岩・流紋岩など

従って、比抵抗値のみが分かっても、何も言えない。しかし、なるべくパラメータを少なくすれば（他のパラメータを固定できる範囲では）、比抵抗からかなりのことが言える。

例として、東京都内の洪積堆積物中で測定された検層結果から求めた比抵抗と粒度の関係を図-1.2に示す。



比抵抗と粒径の関係



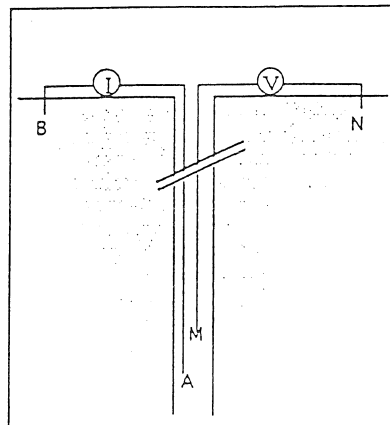
比抵抗と粘土含有率との関係

図-1.2 比抵抗と粒度の関係

4-3. ノルマル法測定時の一般的注意

比抵抗検層の中で最も一般的なものはノルマル法である。ノルマル法は右図のように電極を配置し、AB間に一定電流を流し、MN間の電位を測定する。いわゆる2極法である。

ノルマル電気検層の測定は簡単で誰でもできると思われがちであるが、よいデータを取るにはそれなりの注意が必要である。



ポイントは測定電流の選択と遠電極の接地である。

- ① 電流はできるだけ多く流す。

測定されるものは電位であり、電流を多く流すと電位は大きくなる。

- ② 遠電極（B極、N極）の接地

B極、N極はそれぞれ互いに測定電極間隔の50倍程度離して湿った所（接地抵抗の低い場所）に接地する。特にN極は、ノイズのありそうな所（高圧線、鉄道、電源設備、電話線、川の中、送信設備など）を避ける。近くに大きな良導体（矢板、鋼管など）がないか注意する。

5. 密度検層

5-1. 密度検層の原理

密度検層は人工 γ （ガンマ）線を用いた放射能検層のひとつで γ 線の散乱強度が物質の密度と関係があることを利用してボーリング孔沿いの密度を測定するものである。

一般的な密度検層のゾンデは、図-1.3に示すように、線源を入れる部分と γ 線の検出部分で構成される。線源部と検出部との距離は20cm程度のものである。線源部と検出器の間は線源から γ 線が直接到達しないように鉛でできている。 γ 線を効率よく地盤内に放射し、また地盤内で散乱した γ 線を選択的に検出するように、線源と検出器は管体に納められ一方にのみ窓がつけられているものが多い。ゾンデの片側（窓の空いていない側）はスプリングが取り付けられ、ゾンデを孔壁に押しあてながら測定するようになっている。このような工夫により、ボーリング孔の影響を少なくし、より確かな密度値を得ることができる。

なお、測定される密度値は孔壁から20cm程度（線源～検出器程度）の範囲のものである。

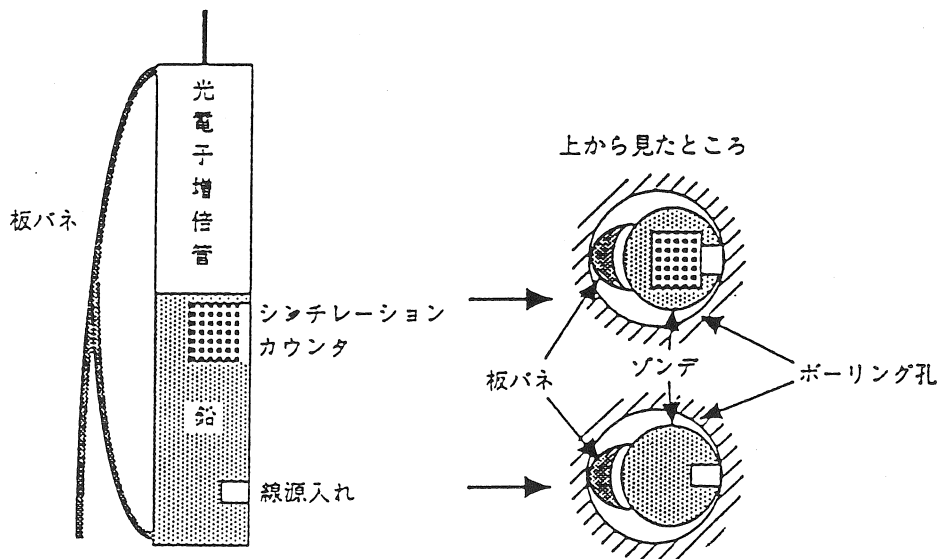


図-1.3 一般的な密度検層ゾンデの構造

5-2. 測定時の注意

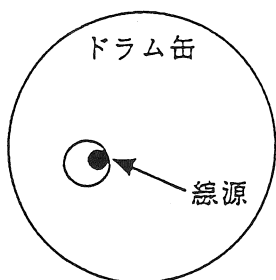
① 測定の時定数と検層スピードについて

経験的には時定数5秒で検層スピード3m/min以下であれば良好な記録が取れるようである。

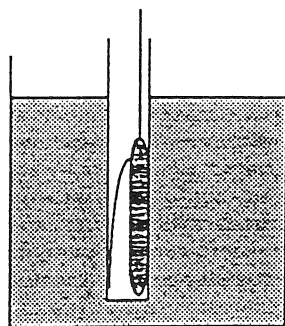
② 測定は必ず孔壁に押し当てて行うこと

③ ケーシング内測定、無水孔測定

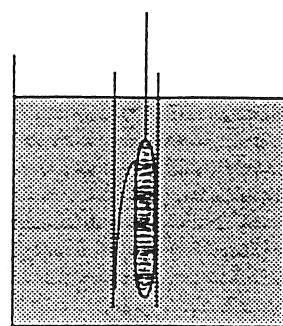
止むを得ずケーシング内で測定する場合は測定スピードを裸孔の場合よりも遅くして測定する。また、校正用に水のカウンド数 (N_w) を求める時は、下図のように1m程度のケーシングの中にゾンデを入れた状態で測定する。また、止むを得ず無水孔で測定する場合は、底を塞いだ塩化ビニールパイプの中にゾンデを入れ、パイプの中に水が入らないようにして N_w を測定する。



ドラム缶内で測定するときはこのような位置が目安。



無水孔での N_w の測定は底を塞いだ塩ビパイプを使う。



ケーシング孔での N_w の測定はそのとき使用しているケーシング内で行なう。

6. 弾性波速度検層

弾性波速度検層は次の3種類が一般的である。

- (1) ダウンホール法 (地表起振、孔内受振)
- (2) サスペンション法 (孔内起振、孔内受振)
- (3) ソニック法 (孔内起振、孔内受振)

(1) ダウンホール法

最も古くから行われている手法である。土木の分野では確立した手法となっている。地表で起振し、孔中で受振する手法である。

この手法の場合、S波起振のための震源作りが非常に重要である。S波起振には、板を設置してその上に荷重を置き、板の側面をカケヤ、重錘により打撃する。板の設置にあたっては地面によく密着するように整地する。板、荷重、重錘の諸元は経験上下記のようである。

深度100m以浅の軟弱地盤では、板は2m程度、荷重はドラム缶2つ程度、打撃は、カケヤまたは小さなモンケンなどによる打撃などで充分と思われる。また、荷重は車、重機などが乗せられるときはそれらが有効である。

深度100mを越えて対象が岩盤であるときは、地質の構造により、震源は工夫が必要である。図-1.4にS波測定模式図とともに大規模S波震源の例を示す。

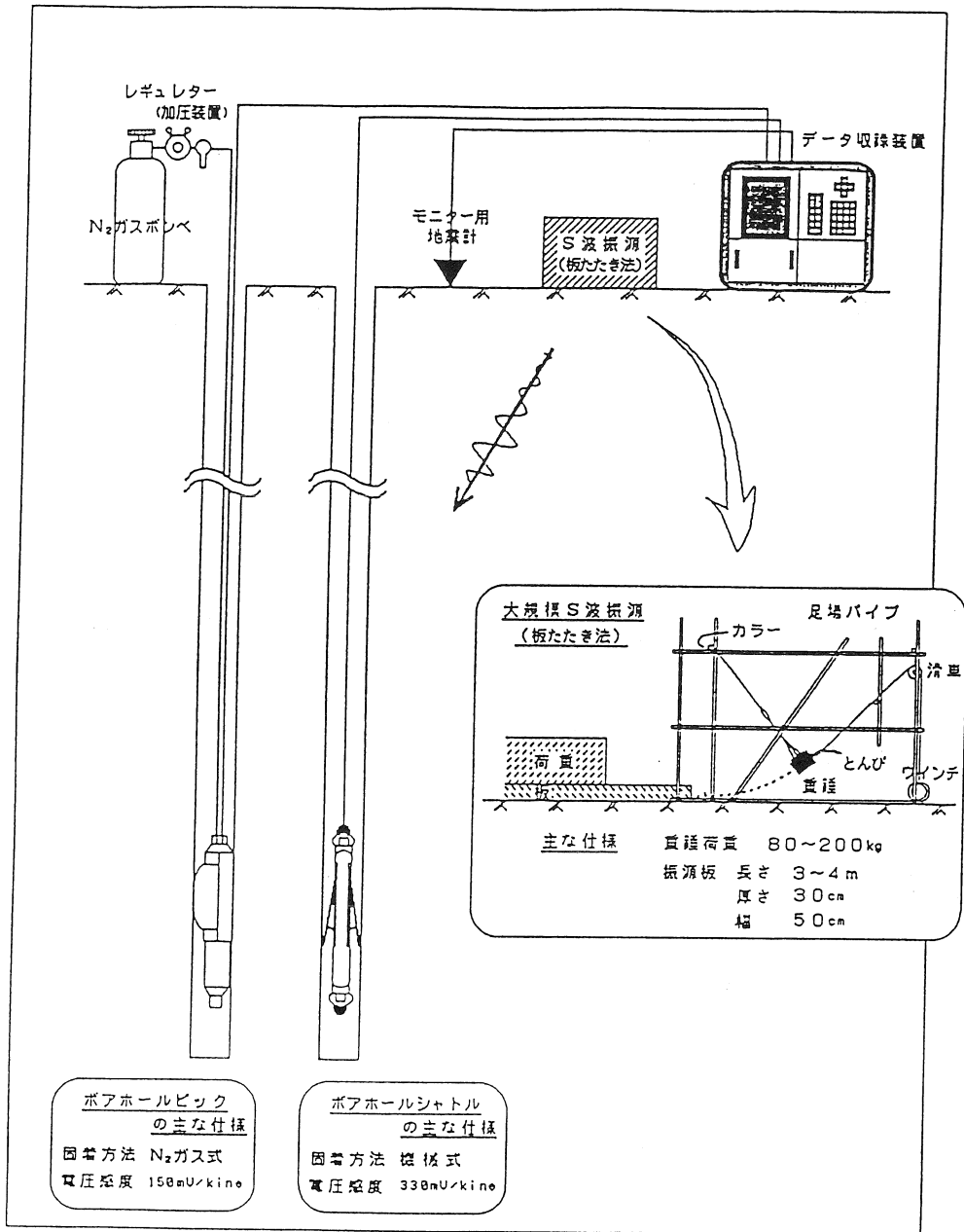


図-1.4 ダウンホール法S波測定機器模式図

(2) サスペンション法

サスペンション法は1980年頃から秋田大学狐崎氏の理論に基づき応用地質株が製品化したものである。

S波は本来、水の中を伝わらないが、サスペンション法は受振器を固着させることなく優勢にS波を検出することができる。それは、孔内水が孔壁と同じ動きをする周波数領域に着目して、孔内水の動きを比重1の受振器を用いて検出しているためである。関東近辺のPS検層は最近ほとんどこの手法で行われている。

ダウンホール法と比較してサスペンション法の得失は以下ようになる。

i) 得な点

- ① ゾンデを孔壁に固着させることなく、測定が可能である。
- ② 孔中起振であるため、深度が深くなってもダウンホール法と異なり、S/N比が悪くならない。
- ③ 使用している周波数が約1kHzと高く地表付近のノイズ(数10Hz)に対して強いこと。
- ④ 1mごとに測定できるので深度に対して高分解能な測定ができる。また、ダウンホール法のように速度層構造を求めたいときも走時の累積を行って求めることが可能である。
- ⑤ 海上のような地表に振源が設置できないところでの検層も可能である。

ii) 欠点

- ① 孔内に水が無いと測定できない。
- ② ゾンデの構成上約5m程度の余掘りが必要である。

サスペンションPS検層模式図を図-1.5に示す。ゾンデは、ケーブルヘッド、受振器、フィルターチューブ、振源、ドライバー、下部重錘からなる。

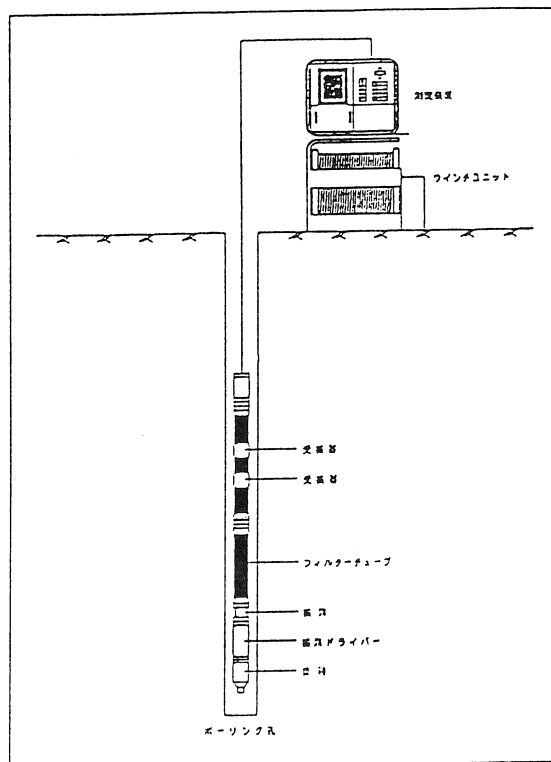


図-1.5 サスペンションPS検層模式図

II. 泉源開発のための新しい探査法

1. 比抵抗映像法

比抵抗映像法とは、電気探査の新しい手法であり、測線直下の二次元断面内の比抵抗分布を求めるものである。この方法は、地下構造の複雑な変化を断面内の映像として表現できるのが特徴である。

測定は図-2.1に示す二極法電極配置によって行う。

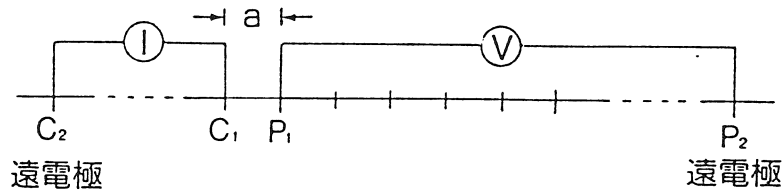


図-2.1 二極法電極配置

比抵抗映像法の解析では、見掛比抵抗の多くの測定値を矛盾なく説明できるように、測線下の比抵抗分布図（二次元断面モデル）を作成する。具体的には、次のような手順で数値計算による自動解析を行う。

- ① 地形補正
- ② 遠電極補正
- ③ 見掛比抵抗分布（初期モデル）の作成
- ④ 理論計算
- ⑤ 残差（理論値と測定値との差）計算とモデル修正
- ⑥ 繰返し計算
- ⑦ 比抵抗分布図の出力

解析後の比抵抗分布図の例を図-2.2に示す。

なお、比抵抗映像法の探査深度は測定限界等から500m程度までである。

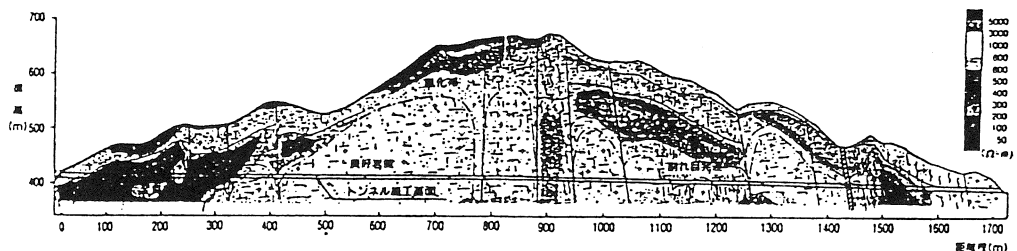


図-2.2 比抵抗映像法解析例

2. CSAMT法

MT法、即ちマグネトテリック法は自然の電磁場を信号とする広域かつ深部の探査法であり石油や地熱の探査などに広く用いられている。

また、解析結果は比抵抗分布図として表されることから、近年、泉源開発にも実績を重ねてきた。

その内、CSAMT法は人工振源を用いたMT法であり、一般に1 kmより浅い垂直探査に用いられる。CSAMT法は信号が安定で測定機能が非常に高いため、ある限られた地域内の高密度で信頼性の高い探査に適している。

CSAMT法においては図-2.3に示すように、信号源として両端を接地した電線に電流を流すグラウンディドワイヤが用いられる。通常、4, 8, 16 …… 1024, 2048Hzと倍々に増やした10周波数程度で測定するが、探査対象によって帯域をより広げた測定を行うことがある。垂直探査曲線の例を図-2.4に示す。

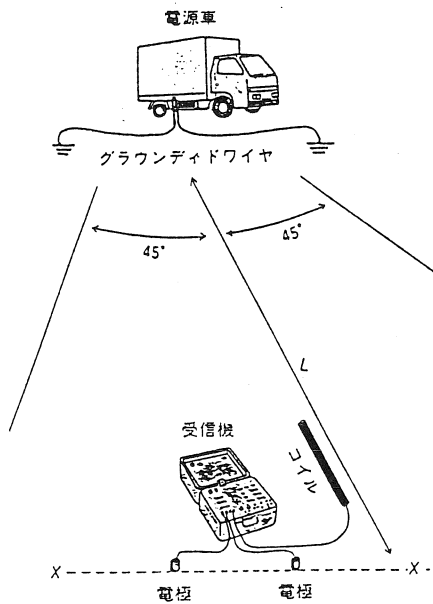


図-2.3 CSAMT法測定概念図

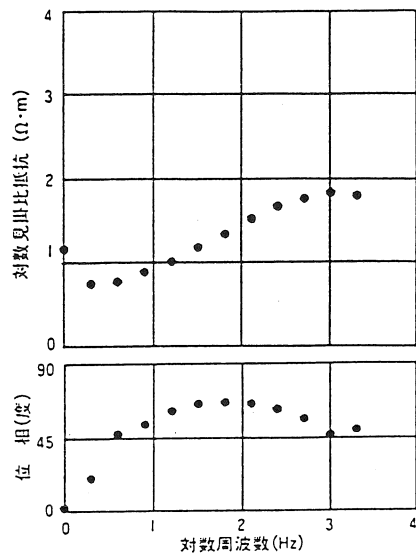


図-2.4 CSAMT法の垂直探査曲線例

第32回 試錐研究会講演資料集

平成6年3月15日印刷

平成6年3月17日発行

編集 北海道立地下資源調査所

発行所 試錐研究会

〒060

札幌市北区北19条西12丁目

北海道立地下資源調査所内
