

第38回試錐研究会

講演資料集

期 間：平成12年3月7日(火)

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

第38回 試錐研究会

プログラム

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12年3月7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11条西1丁目 Tel.011-521-5211)

あいさつ

北海道立地質研究所長 和氣 徹

特別講演

“深部地熱資源の調査と開発”

日本重化学工業株式会社

取締役 地熱事業部長 佐藤 浩

昼 食 (12:00~13:00)

講演

1. 道内温泉の保健・医療面への有効利用について

北海道立衛生研究所 内野 栄 治

2. ポリアクリル酸による炭酸カルシウムスケールの付着抑制技術

地熱エンジニアリング株式会社 柳 谷 茂 夫
地熱エンジニアリング株式会社 佐 藤 敬 二
日本重化学工業株式会社 釈 永 信 彦
日重建設株式会社 野 村 弘

3. 乙部町の温泉ボーリング

株式会社ドリリング計測 内 田 裕 之

4. 地下資源調査所の試すい探査

北海道立地質研究所 藤 本 和 徳

(地学講座)

5. 北海道の活断層

北海道立地質研究所 田 近 淳

あいさつ

北海道地質調査業協会 理事長 麻 場 邦 彦

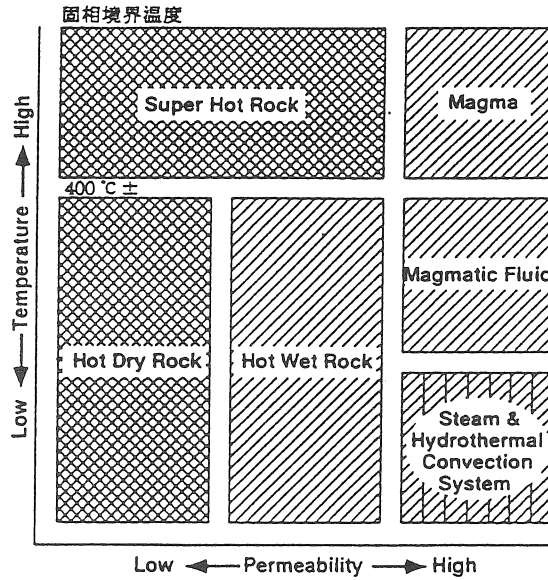
懇 親 会 (17:30~19:30)
会 場 ホテルライフオート札幌
(2F ライフオート)

特 別 講 演

深部地熱資源の調査と開発

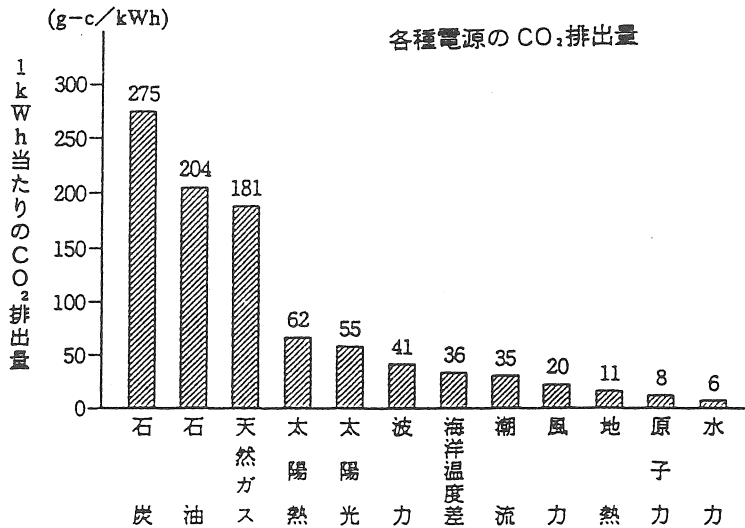
日本重化学工業株式会社
取締役 地熱事業部長 佐藤 浩

1. 地熱資源の分類



(村岡、1993 から引用)

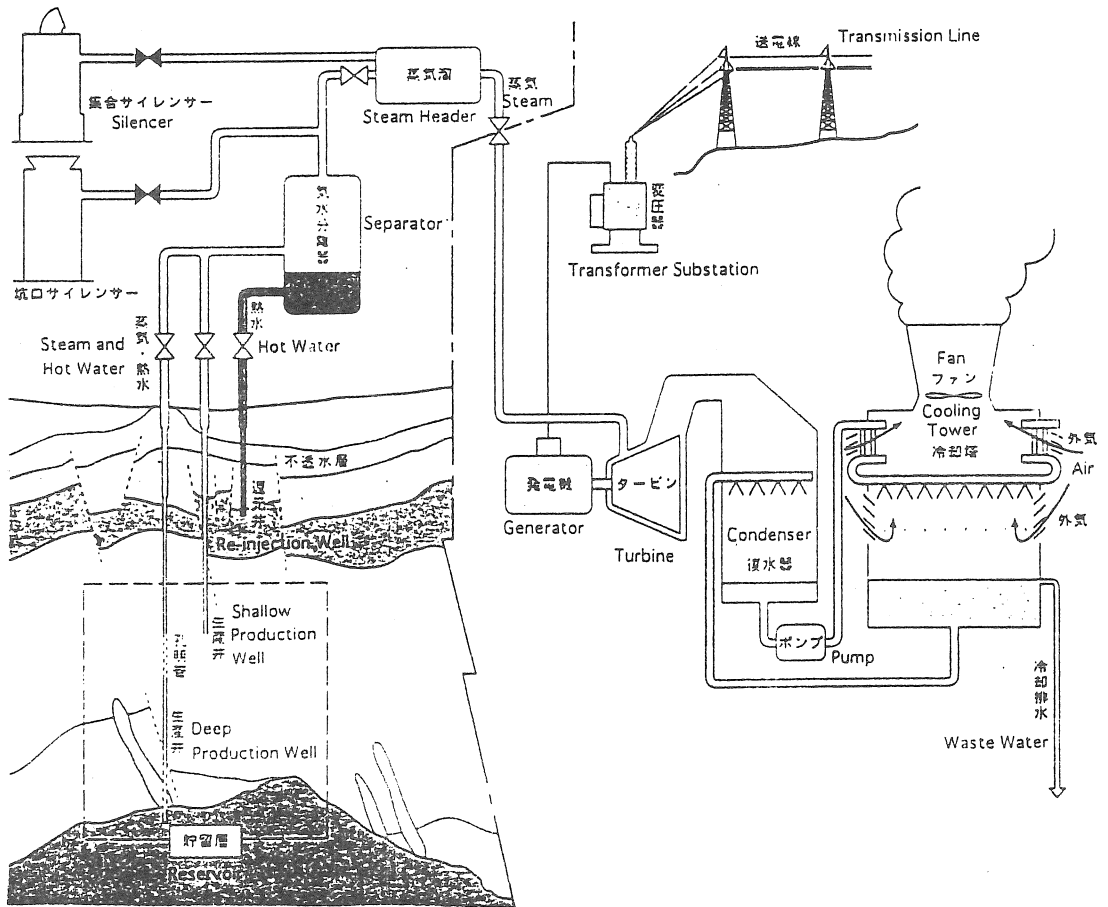
2. 地熱資源はクリーンな自然エネルギー



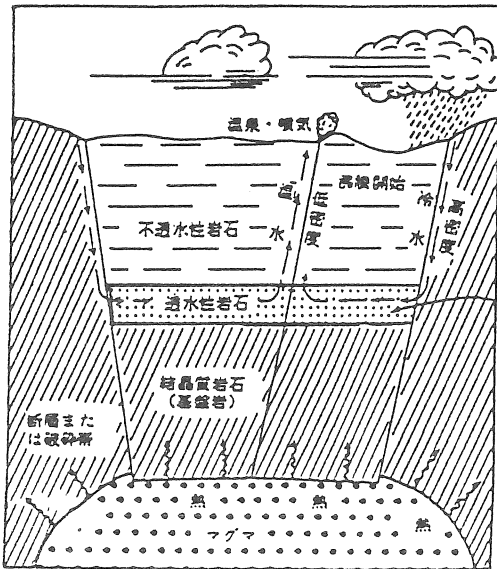
注) 原料の採掘から建設・輸送・精製・運用(実際の発電)・保守のために消費されるすべてのエネルギーを対象としてCO₂排出量を算定。

3. 地熱発電のしくみ

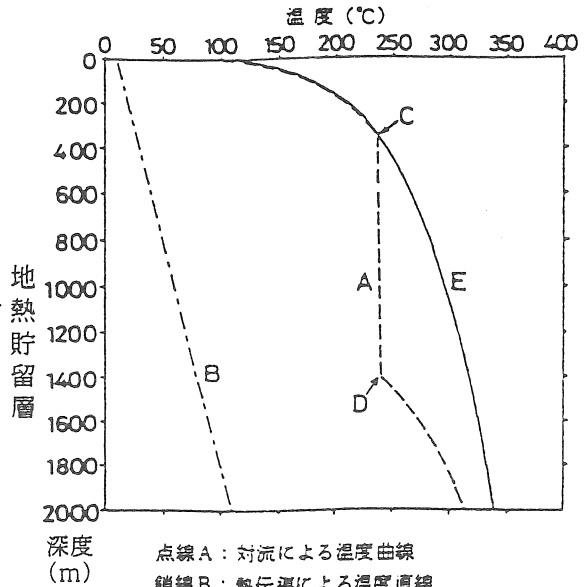
地下1~3kmの地層中の裂け目（フラクチャー）〔貯留層と呼称〕に貯えられている高温高圧の流体を、坑井の掘削によって取り出し、地上で蒸気と熱水を分離し、蒸気で発電するシステムである。地下に自然のボイラーを持つ火力発電と呼ぶ人もいる。



4. 地熱貯留層



熱水対流系のモデル (White, D. E. による)

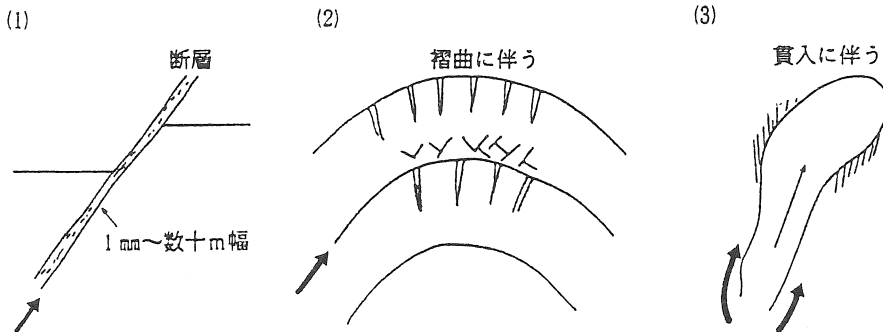


点線A: 対流による温度曲線
 鎖線B: 熱伝導による温度直線
 C: 対流層上部
 D: 対流層下部 "Base temperature"
 実線: 飽和温度曲線

理想的な熱水対流系の温度分布

地熱貯留層を構成するものは「フラクチャー」である

1	断層	広域応力場 基盤のブロック運動 局地的なドーム状隆起 (マグマ貫入)
2	褶曲	褶曲運動による幾何学的断裂 (層面すべり・引っ張り割目・軸部断層) 岩石物性差による差別的破碎
3	貫入岩	貫入時の母岩破碎 マグマの冷却・収縮による空隙・節理
4	噴火	噴火の衝撃による火道壁の破碎
5	岩相	溶岩 (節理・気泡?)

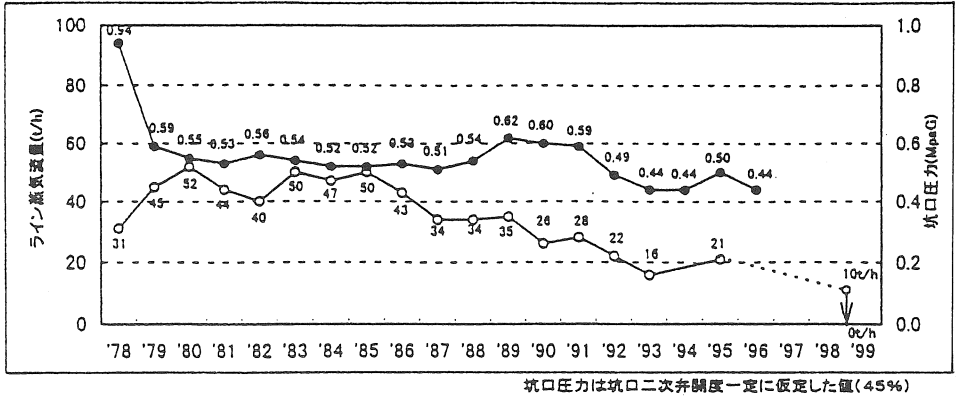


5. 浅部地熱貯留層

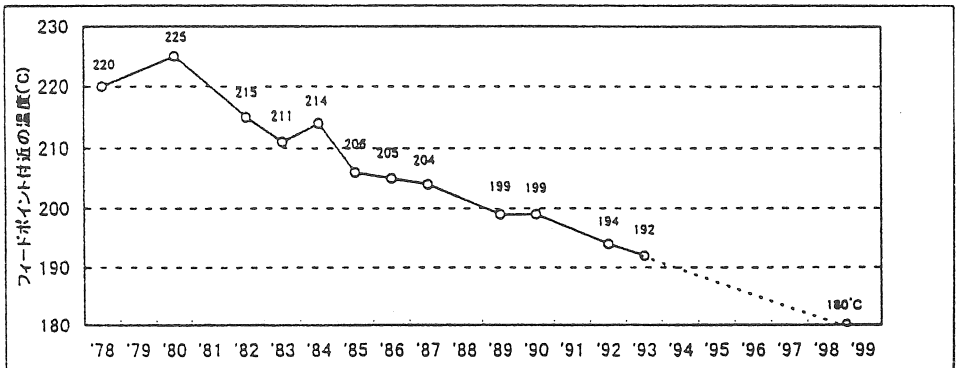
葛根田地域浅部井の経年変化の例

KB-3 (掘削深度 1,265 m)

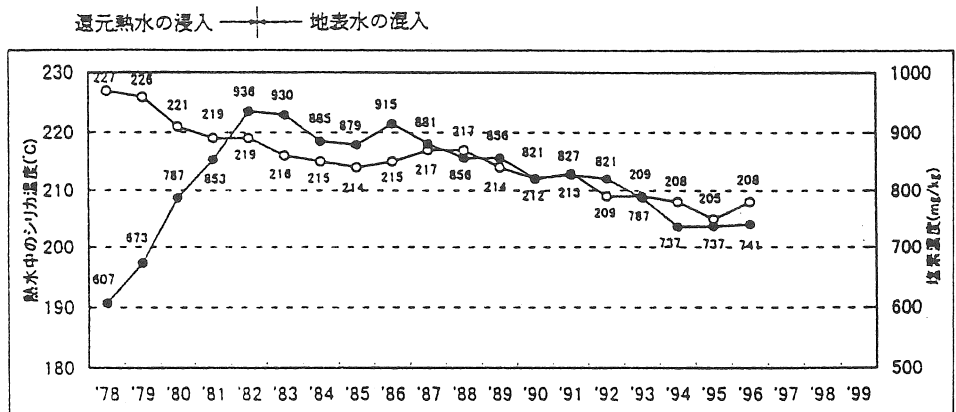
蒸気量・坑口圧力の低下
↑



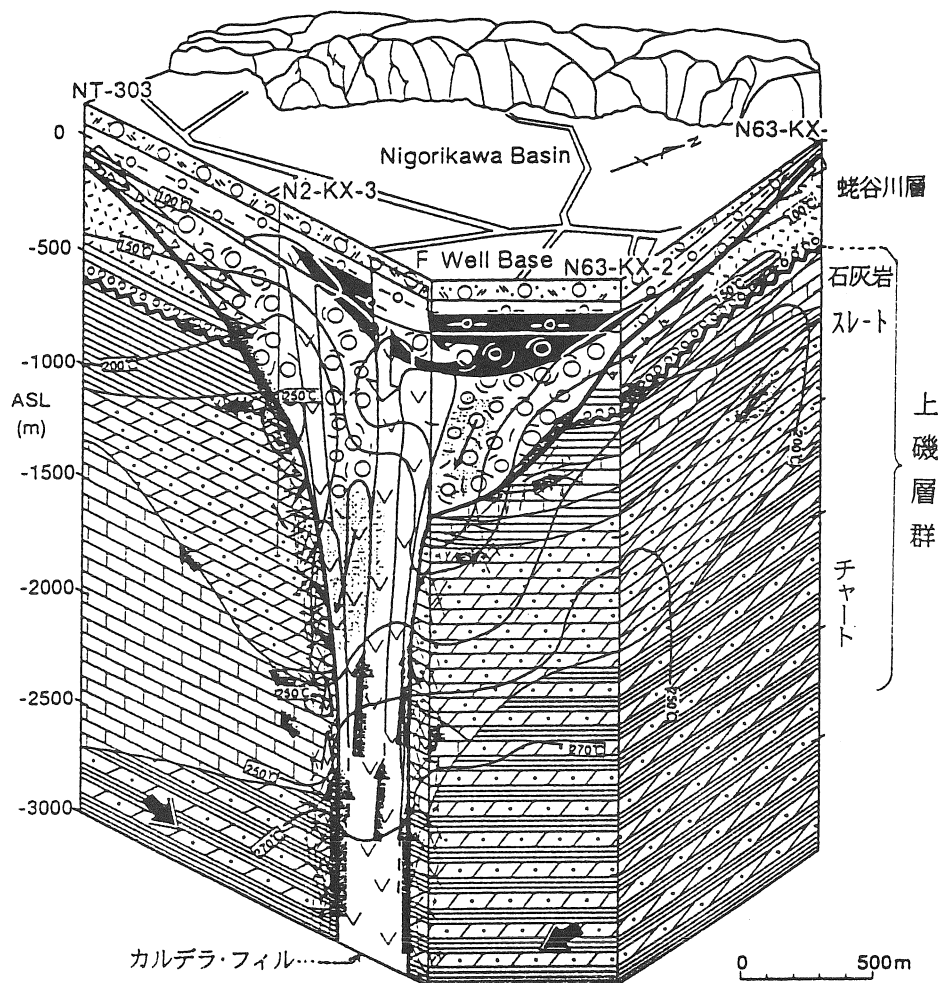
流体温度の低下
↑



還元熱水や地表水の混入



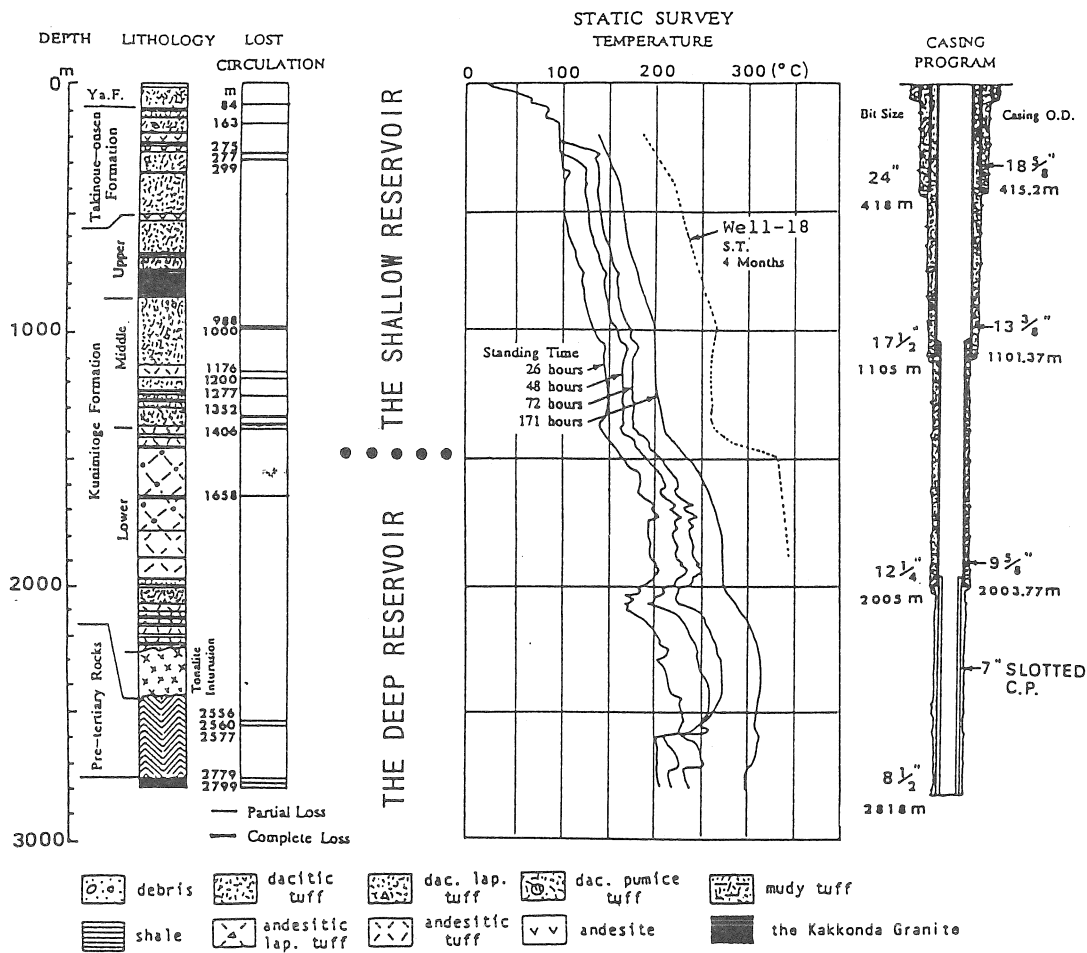
6. 深部地熱貯留層への挑戦(北海道、森地域、濁川カルデラの例)



森地域生産井の例

坑井名	掘削深度(m)	掘削年度
ND-8	1,365	1986
ND-9	1,122	1990
ND-10	2,401	1990
ND-11	3,000	1991
NF-1	2,005	1978
NF-9	2,340	1980
NF-10	3,226	1994
NF-11	3,250	1995
NF-12	3,056	1998

7. 深部地熱貯留層への挑戦 (岩手県葛根田地域の例)



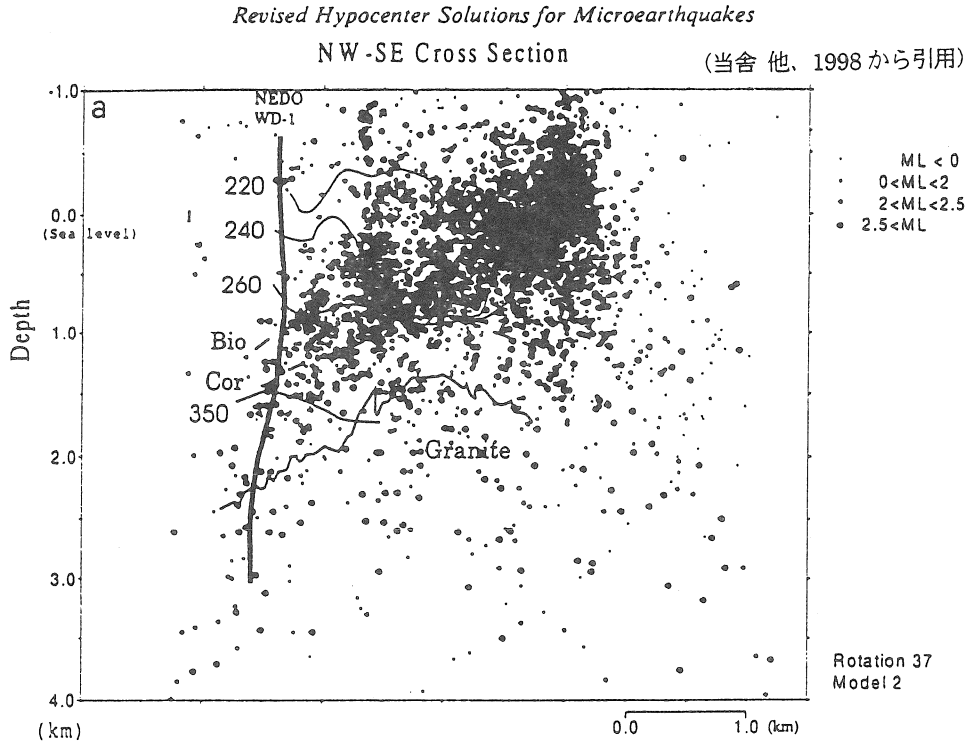
最初の深部井 K6-2 の結果 (1989)

深部井挑戦へのきっかけ

- ①1986年に掘削したKT-208テスト井(深度2,126m)を放置しておいたところ地層温度が300℃以上となり、約10t/hの蒸気が得られた。
- ②NEDOプロジェクト仙岩N-61-SN-7D井が花崗岩近傍で大逸泥に遭遇したという情報を得た。
- ③熱変成鉱物(黒雲母アイソグラッド)により熱源岩となりうる花崗岩の存在が推定されていた。

8. 深部探査方法（葛根田地域での例）

①微小地震発生地域



②接触変成鉱物による新期花崗岩の把握

第四紀花崗岩をターゲットにした葛根田地熱地域の深部貯留開発について (加藤 他, 1995 から引用)

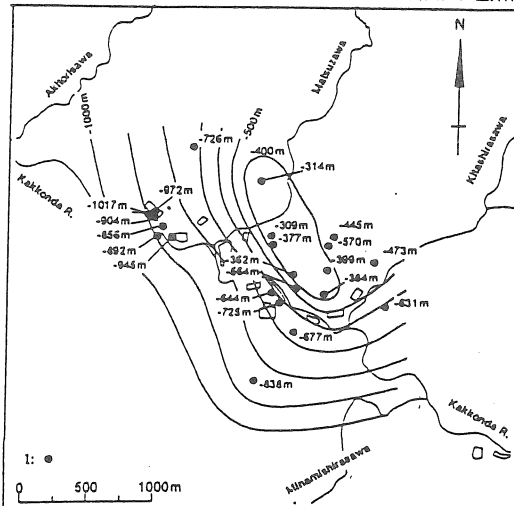


Fig. 9 Map showing biotite isograd. Contours in meters above sea level. l (solid circle): first appearance of biotite by contact metamorphism.

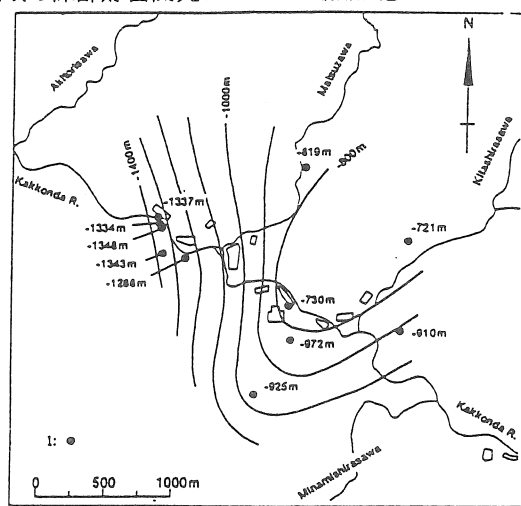


Fig. 10 Map showing cordierite isograd. Contours in meters above sea level. l (solid circle): first appearance of cordierite by contact metamorphism.

9. 深部井の成果と問題点（葛根田地域の例）

	坑井名	掘削深度	主流入点深度 主流入点地層温度	蒸気量	主流入点の地質的条件		
					微小地震群	花崗岩	主たる推定 縦断裂系(※)
1	K6-2	2,818m	2,779m 290℃	63t/h	内	新期花崗岩には 2,778m で入った。	NW-SE 系
2	K1-3	2,465m	2,344~2,465m 330℃	76t/h	内	新期花崗岩の上 面。花崗岩は未確 認。	NW-SE 系
3	K6-3	3,000m	2,764~3,000m 328℃	114t/h	内	新期花崗岩には 2,752m で入っ た。	NW-SE 系
4	KA-6	2,800m	なし	不成功	外	1,970m で花崗岩 に入った。新旧に ついては不明。	NE-SW 系
	KA-6a	2,721m	2,658m 351℃	73t/h	内	新期花崗岩には 2,617m で入っ た。	NW-SE 系
5	WD-1 (NEDO)	3,729m	最高温度 512℃	逸泥 なし	内	旧期花崗岩には 2,816m で入った	主たる縦断 裂系なし
	WD-1b (NEDO)	2,963m	2,478m 2,660m	今後	内	2,839m で花崗岩 に入った。	NE-SW 系
6	KD-9	2,305m	2,200m	15t/h	内	浅部の逸泥多く、ターゲットま で行けず	
7	KF-1	3,003m	2,873~2,978m	30t/h	内	2,882m で新期花 崗岩に入った。	NE-SW 系

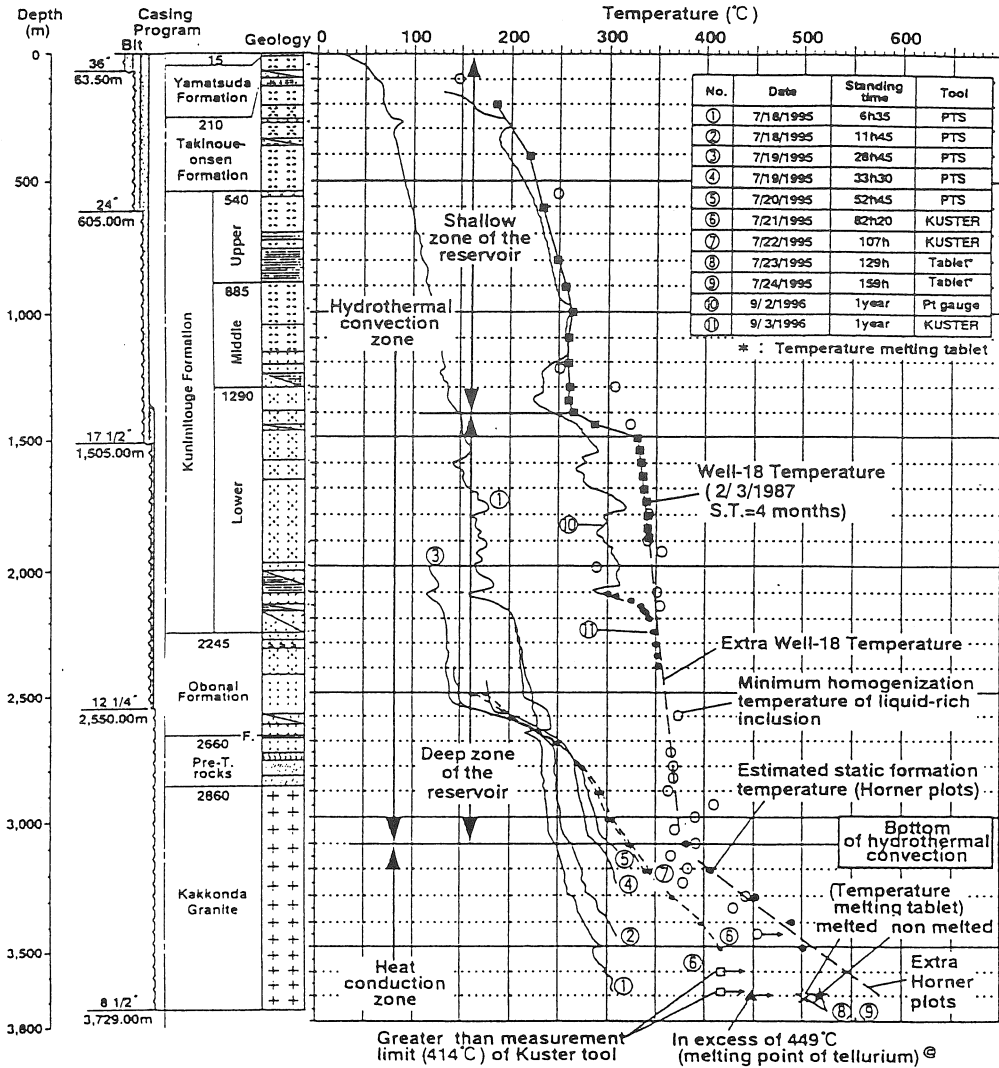
深部井の問題点

- 掘削中浅部で逸泥が多発すると深部に行けないことがある。
- 深部からの流体は、高温高压なので溶存成分が多く、かつ弱酸性であるために、スケールの発生、腐蝕問題(特にケーシング)が生じることが多い。
- 蒸気に付随する熱水量が少ないために気水分離が難しい。

※ 断層系の推定方法……地表調査に加え、定方位コアによる断層系の観察
FMI 検層等を加味して推定している。

10. NEDO 深部調査井 WD-1 の成果

- ①512°Cの高温の記録
- ②400°C近傍での熱水対流系の底部の把握
- ③固化しつつある新期花崗岩（熱源 K-Ar 年代で $0.01 \pm 0.01 \sim 0.24 \pm 0.36\text{Ma}$ ）の把握



(池内 他, 1998 から引用)

④Hypersaline metal-rich liquid (Ca.40wt%total chloride species)
の採取に成功—“brine”

Chemical and isotopic composition of liquid samples from WD-1a (not corrected for precipitated salts)

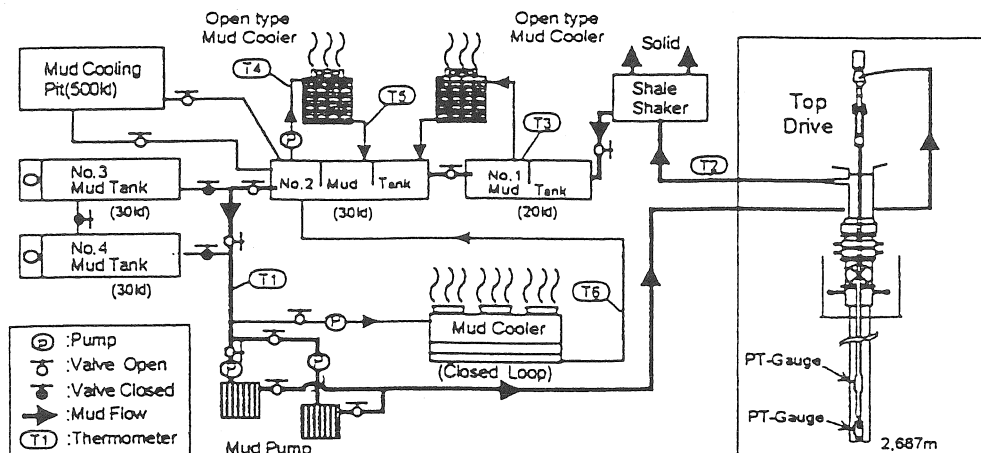
Sample Date	WD-1a								Circulation 26-Jul-95	River water 18-Jul-95
	25-Jul-95		26-Jul-95		26-Jul-95		26-Jul-95			
Time	13:05	18:15	11:50	11:55	11:58	12:00	12:05	12:10	—	—
Depth (m)	3,374N	3,590N	3,707R	3,653R	3,620R	3,598R	3,543R	3,488R	—	—
pH (temp. °C)	5.4(25)	5.3(25)	5.2(26)	5.4(26)	6.3(25)	6.2(24)	6.1(24)	6.2(24)	6.7(20)	6.6(20)
Cl	500	260	190,000	190,000	27,000	6,900	2,000	810	4.8	2.3
Br	1.5	0.7	920	530	48	16	6.3	2.9	<0.1	<0.1
I	0.7	0.4	280	140	13	4.8	1.9	0.9	<0.1	<0.1
SO ₄	29	14	180	250	45	20	26	21	15	10
Na	180	79	29,000	72,000	13,000	2,900	830	270	5.5	2.5
K	88	51	41,000	25,000	2,400	820	300	180	2.0	0.3
Li	1.0	0.2	250	140	13	4.5	1.8	1.0	<0.1	<0.1
Rb	0.3	0.1	120	69	7.0	2.2	0.9	0.5	<0.1	<0.1
Cs	<0.1	<0.1	92	55	32	1.5	0.5	0.3	<0.1	<0.1
Ca	68	54	18,000	11,000	1,600	530	260	140	7.3	4.0
Mg	6.7	7.6	30	25	8.7	5.0	3.4	5.5	1.9	1.0
Sr	0.4	0.3	120	69	7.7	2.3	1.2	0.7	<0.1	<0.1
Fe	82	38	46,000	25,000	2,000	570	150	110	2.5	0.2
Mn	40	12	12,000	6,800	510	150	36	23	0.3	<0.1
Zn	5.4	2.6	3,400	1,900	65	26	2.9	1.0	0.3	<0.1
Pb	0.3	<0.1	1,200	650	26	5.2	0.7	0.7	<0.1	<0.1
Cd	0.2	<0.1	26	2.2	4.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cu	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Au	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Al	2.8	6.0	3.7	0.7	2.0	4.0	6.8	13	2.2	0.1
As	<0.01	0.42	25	3.3	3.9	0.26	0.20	0.69	<0.01	<0.01
B	400	260	1,300	1,100	130	55	60	68	0.4	<0.1
δD	-61.8	-63.1	-50.2	-46.6	-62.1	-64.0	—	—	-63.8	-65.4
δ ¹⁸ O	-8.9	-9.7	-6.7	-4.6	-9.8	-10.4	—	—	-10.5	-10.9
tritium	6.1	8.0	4.6	3.8	6.4	6.8	—	—	7.9	8.7
	±0.3	±0.2	±0.3	±0.3	±0.3	±0.3	—	—	±0.2	±0.3
B/Cl (mol)	2.6	3.3	0.022	0.019	0.016	0.026	0.098	0.28	0.27	—

Concentrations are in mg/kg. δD and δ¹⁸O are in ‰SMOW. Tritium is in Tritium Unit (T.U.). Depth with N indicates nozzle depth of drill pipe collecting fluid sample in the well by normal circulation, whereas depth with R indicates collection depth by reverse circulation, which is estimated from the volume discharged from the 3708 m depth of the nozzle. “Circulation” sample indicates the composition of the water used to eject fluid from the well to the surface during reverse circulation.

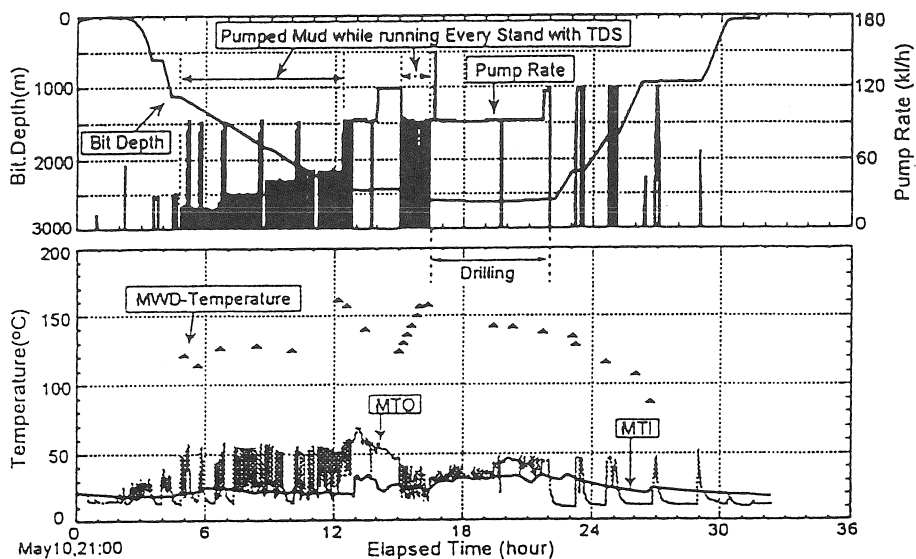
(笠井 他, 1998 から引用)

⑤500℃、3700mまでの掘削成功

1. 泥水冷却方法の工夫：高温用薄泥、大型冷却塔等の採用
2. 温度回復の制御：トップドライブを採用し、揚降管時の循環を可能にした
3. ビット中のOーリング、シールとダイヤフラムを厳しくチェック



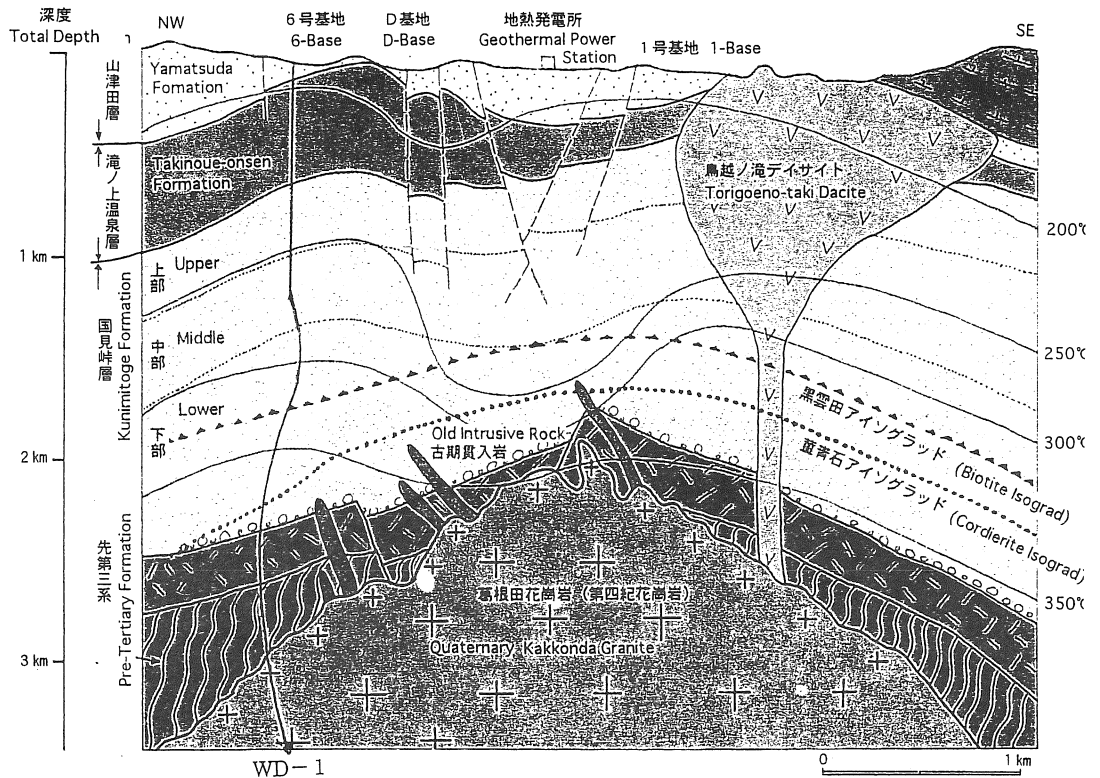
冷却システムの概要 (斉藤 他, 1998 から引用)



Trajectory correction experiment summary at 2600 m depth. MTO: mud temperature out from the well at flow line; MTI: pumped mud temperature in the well. MWD-temperature: bottomhole mud circulation temperature measured with MWD tool.

2600m ドリリング中の記録の一例 (斉藤 他, 1988 から引用)

11. 深部地質構造モデル図（葛根田地域の例）



葛根田地域の地質構造モデル図 Model of Geological Structure in the Kakkonda Area

12. 地熱井・温泉井において“フラクチャー”に当たったらどうするか

- 方法1 深部に行く： ある程度の探査予測がないと危険
- 方法2 サイドトラック： ケーシング、セメンチングがしっかりしていれば挑戦してみる価値はある。
- 方法3 水圧破碎を行う： 少しでも permeability があれば良い方法だが、坑底有効圧力を計算し、それに合うポンプを準備する必要がある。
- 方法4 長時間にわたる注水とクリーニングによる permeability 改善。
- 方法5 強制噴気作業： 温度が高ければ有効な方法である。

講

演

道内温泉の保健・医療面への有効利用について

北海道立衛生研究所 内野 栄治

1. はじめに

北海道は温泉・地熱資源に極めて恵まれ、温泉地および源泉の数は全国の各々8.6%、8.2%と約1割を占める。そして、本道の温泉は豊かな自然環境と相まって観光資源としてはもとより、広く道民の保養やレクリエーションに大きく寄与している。

特に近年は高齢化社会の到来や余暇の増大に伴い、温泉を保養・休養といった健康づくりに活用する気運が高まっており、本道においても新たな温泉の開発に伴った多目的温泉保養施設が普及しつつある。また、生活環境の多様化、社会生活の複雑化などとともに成人病、ストレス性疾患、アレルギー性疾患等の増加も指摘されており、温泉の本質である潜在的な効果を疾病の治療のみならず健康増進の分野においても積極的に活用しようとする試みがなされつつある。

しかしながら、本道温泉の健康維持・増進の分野における利用状況について調べた資料は乏しく、その効果については不明な点が多い。

本講演では当所に問い合わせが多い温泉に関するいくつかの質問について整理し、私どもが取り組んでいる「健康維持・増進を目的とした道内温泉の有効利用に関する基礎的な研究」の結果の一部について述べる。

2. 温泉一般について

2.1 温泉分析書について

温泉を知る上で重要なデータであり、温泉を公共の浴用又は飲用に供する際に、許可のための参考資料となる。試験は原則として源泉に最も近い所で、温度、湧出量、pH、ガス成分等について行い、その他多くの化学成分については持ち帰ってから分析するための適切な現地処理を行う。対象成分等は総計40項目程度から成り、その分析結果、泉質が鉱泉および療養泉の定義(表1)に基づき決定される。なお、この分析表は天然自然現象やその他温泉地環境の動向により、変化する可能性があり、その結果は医効能にも影響を及ぼすことになる。従って、道においても10年に1度は再分析するよう指導している。

2.2 温泉の効能について

一般的に、温泉の効能はその含有成分特有の薬理学的作用はもとより、温度その他の物理的因子、その土地の気候、環境、利用者の生活状態の変化（食事、対人関係等を含めて）などの総合作用と、これを受ける人の体の反応の仕方と程度に基づくとされている。事実、温泉の泉質は同じでも、各成分の濃度はそれぞれ異なることから、効能の要因については一概に言い切れないところがある。

2.3 適応症と禁忌症について

適応症は温泉療養をしてもよい病気や症状、逆に禁忌症はしてはいけない病気や症状からなる。これらは療養泉に該当する場合のみ、参考事項として、出来るだけ平易な表現で疾病名等を記載することになっている。禁忌症は掲示証に記載を義務づけているが、適応症の決定および掲示の実施については都道府県知事の判断によるとし、泉質毎の「温泉の適応症決定基準」（表2）を参考にし、専門的知識を有する医師の意見を参考とするのが望ましいとされている。なお、新しい泉質区分は昭和53年に改訂された鉱泉分析法指針により定められている。

2.4 現代医療と自然療法との作用原理の違いについて

現代医療が薬物や手術により病因や病巣を取り除くのに対し、自然療法は温泉や気候などの刺激を利用し、生体自身が本来持っている治癒能力、すなわち、再生、調節、適応などの機能や能力を刺激し、活性化させたり、増進させるといわれている。両者の決定的な違いは人が治療を受ける過程で受動的あるいは能動的に関与しているかにあると考えられる。

2.5 飲泉について

飲泉はヨーロッパにおいて、現代医学における補助治療、あるいは疾病の予防や健康の維持・回復を目的とし、広く利用され、実践的な研究例も多い。表3に示すように、従来の考えとは異なるような結果も報告されている。一方、飲泉は日本では必ずしも普及しておらず、道内においても微生物やヒ素、フッ素など特殊成分に対する注意が必要なためか、全く行われていないところも多い。また、源泉および飲泉施設については衛生学的な定期的な検査を含めた十分な公衆衛生上の配慮も望まれる。

2.6 ラドン泉の効能について

ラドンは常温中では気体として存在し、入浴や飲泉よりも吸入の利用効率が高く、主として肺を経由して体内に取り込まれるとされている。その効果としては毛細血管機能の改善、尿酸排泄の増加、アドレナリン効果の減少、ステロイド生合成の増加、DNA修復の刺激、生殖腺の刺激等が報告されている。また、鳥取県の三朝温泉（放射能泉）周辺の住民に癌患者が少ないとの疫学的調査の結果もあり、低濃度領域での生体影響に関する研究の進展が期待される。道内ではラドンを含む放射能泉は少ないとされているが、実測された例も限られていることから、現在調査中である。

3. 温泉を療養目的で利用している人の一般的特徴について

本道における温泉を用いた療養の実態を把握するため、道内各地にてアンケート調査を実施し、2528人から回答を得た。ここでは温泉を療養目的で利用している895人について調べた。

調査は道内35の温泉地において、総計47箇所の温泉施設（図1）で実施した。調査期間は平成7年11月から平成8年6月までの主として冬期間に行い、その内容は回答者の性、年齢、職業に加え、利用目的、動機、形態、頻度、その他自覚症状、かかりつけの医師の有無、よく利用する温泉施設の有無等とした。

温泉を何らかの療養目的で利用している人の内訳は女性が男性に比べて僅かに多く、50才以上の高齢者が全体の79%を占めた。職業別には主婦、農業、無職の順であった。

複数回答で得られた主な自覚症状は神経痛が最も多く、全体の34%を占めた。以下、関節痛、冷え症、筋肉痛、高血圧症、五十肩、便秘、胃腸病、アトピー性皮膚炎、糖尿病と続き、温泉を少なくとも療養として利用している人のほぼ3人に1人は神経痛を訴え、アレルギー性疾患の一つであるアトピー性皮膚炎も比較的多いことが認められた。その利用効果については自覚症状の改善を認めた人が全体の約9割を占めた。

かかりつけの医師を有する人は全体の68%を占め、利用する温泉を少なくとも46%が決めていた。

その他、1ヵ月当たりの利用日数、利用方法等についても解析した。

以上、温泉を療養目的で利用している人は比較的時間に余裕があると考えられる高齢者であり、主婦、無職の人が多いことが特徴として挙げられる。また、農業の人が比較的多く認められたのはこの調査時期とも関係しているかもしれない。また、

温泉療養者は1人当たり2個程度の複数の自覚症状を有していることが認められた。これらの結果は温泉を利用している療養者は高齢者が多いことから、老年病の特徴である老化に伴う運動、消化器および循環器機能の低下や調節傷害等による合併症とも関連していると考えられる。さらに、かかりつけの医師が多いことは温泉を現代医療の補助的手段として利用していると推定される。一方、種々の自覚症状に対する強弱は解らないが、少なくとも5人に1人は医師に頼らず、温泉療法を取り入れている結果が得られた。

4. アトピー性皮膚炎と関連した温泉水の利用について

アトピー性皮膚炎（以下、ADとする）は小児だけではなく、成人になっても治らなかつたり、成人になつてからも発症する例も多く見られ、大きな社会問題になっている。その発症機序については未だ不明な点が多いが、セラミドの減少による皮膚の乾燥と、バリアー機能の低下がみられるアトピー皮膚を基盤とし、これにアレルギー、非アレルギーの様々な因子が加わつて生じるとする考えがある。現在、その治療はステロイド外用剤を基本とした薬物療法を主体とする他、除去食療法や減感作療法あるいは多くの民間療法が試みられている。民間療法としては種々の植物エキスを素材とした入浴剤による治療、温泉水の宅配等を利用した家庭での温泉療法、イオン水およびシソエキス療法などの他、多くのアトピーグッズによる治療方法が知られている。しかしながら、これらはあくまで対症療法であり、ADを完全に制御するまでには至っていない。また、民間療法については皮膚科専門医の間では必ずしも十分な評価は得られていない。

4.1 アトピー性皮膚炎を訴え温泉を利用している人について

先のアンケート調査において温泉を療養目的で利用して人のうち、本症状を訴えている76人について調べた。

利用者に年齢による偏りはほとんど認められなかつた。療養効果については、そのニュアンスに違いはあるものの自覚症状の改善を対象者の82%が認めた。少なくとも症状が悪化した例は認められなかつた。かかりつけの医師は対象者の60%が有するが、医師の薦めにより温泉を利用している人は僅か2人程であった。利用する温泉は36人が決め、19人が決めていないという結果が得られ、あちこちの温泉へ行って、その効果を試している人も比較的多いように考えられた。その他、利用の動機と

して、知人、友人および家族の勧めが最も多く、有効回答者中41%を占め、以下、マスコミ等の情報、医師および薬剤師の勧め、距離的に近いことが挙げられ、中には病院から見放されたとの回答例もあった。

本調査において症状が大幅に改善された人の概要を表4に参考として示した。

今後、皮膚科専門医の適切な助言あるいは指導に基づいた温泉療法が実施されれば、さらに有効なものになると考える。

4.2 黄色ブドウ球菌の消長に及ぼす道内温泉水の影響について
ADの増悪因子の一つと考えられている黄色ブドウ球菌（黄ブ菌）の消長に及ぼす道内温泉水の影響について調べた。

使用した温泉水は泉質、pHおよび含有成分の特徴等を考慮し、道内27地域の温泉から採取した（図2）。

試験は予めメンブランフィルターを用いて除菌した温泉水3mlに対し、菌液30 μ lを添加し、37 $^{\circ}$ Cにて一定時間保温した。次に、上記保温液とそれを100倍に希釈した希釈液各30 μ lを普通寒天平板表面に塗末し、1夜培養後、コロニー数をカウントした。

その結果、図3に示すとおり24時間の時点で、pH3以下の酸性泉では成分含量の多少に関わらず、黄ブ菌に対し著しい殺菌、生育抑制作用が認められた。同様に、ホウ酸濃度の高いpH6.6~7.6の中性の温泉水でも著しい殺菌、生育抑制作用が認められた。また、それらの温泉水の中でも1時間の時点で、泉質の微妙な違いにより、黄ブ菌に対して著しい殺菌、生育阻害作用を示すものも認められた（図4）。一方、中性、アルカリ性のいくつかの温泉水では保存日数や菌株の違いによっても、その作用に差が認められた。

以上の結果はAD患者が温泉を選択する際の有益な情報として、また、温泉がADの補助治療やその予防となりうる可能性を示唆しているものと考ええる。

今後、殺菌、抑制作用を認めた温泉水による、角質細胞を用いた黄ブ菌の洗い流し効果や温泉療法前後における皮表での黄ブ菌数の変化についても検討する必要があると考える。

4.3 臨床試験の一試み

札幌市在住の成人AD患者2名の同意のもと、豊富町から5日おきに搬送した、出来るだけ新鮮な温泉水に1ヵ月間、毎日入浴してもらい、皮膚症状、冷えおよび倦怠感、血液免疫学的

パラメーターの連浴前後の変化について調べた。

対象とした2名は22歳の男性と28歳の女性で、いずれも小学生の時に発症し、数軒の病院を転院した経緯があり、調査期間中も従来どおりの治療を続けた。使用した温泉水の泉質はナトリウム塩化物泉であった。温泉浴は市販のバスパックを利用し、1ヵ月間毎日行った。皮膚症状は視診により本患者にしばしば認められる皮膚の掻痒、皸癩乾燥、発赤、湿潤痂皮および小丘疹面について、点数化して評価した。併せて、病変部位の写真撮影も行った。また、冷えおよび倦怠感については患者からの聞き取りにより評価した。血液免疫学的検査は温泉開始前と開始1ヵ月後に患者の静脈より採血し、リンパ球数、好酸球数、血清LDH(アイソエンザイム1,2,3,4,5を含む)、血清IgE、IgG、IgA、IgM、CD4陽性細胞数、CD8陽性細胞数、CD4/CD8比およびPHA、ConAに対する反応性等について検査した。

その結果、2名ともに温泉の連浴による皮膚症状の軽快が視診から明瞭に認められた。また、冷えや倦怠感の改善が明らかに認められた。一方、血液学的にも連浴後、血清LDH値、中でもそのアイソエンザイム3,4,5値に明らかな低下が認められた。また、好酸球数の減少傾向は認められなかったが、血清IgE値、CD4陽性細胞数およびCD4/CD8は若干の低下傾向を示した。さらにリンパ球のPHA、ConA刺激による細胞分裂促進能は増加傾向を示した。

以上、ADに対して、温泉の連浴により、皮疹の軽快に加え、患者特有の冷えおよび倦怠感の改善、ある種の免疫学的パラメーターも正常値方向へ変動するなどの良好な結果を得た。今後、例数を増やし、ADに対する道内温泉浴の効果、その条件等についてさらに研究を進めていく必要があると考える。

5. おわりに

近年、各市町村のふるさと創生や福祉・健康づくりの一環として温泉の開発が進み、道民にとっても、温泉はより身近に、しかも低料金で利用できるようになってきた。また、長寿社会の到来、温泉の保健的作用に対する意識の高まり等を考慮すると、健康維持・増進を目的とした温泉の利用は、今後、益々増加するものと予想される。温泉の効果については温泉地の気候、環境等を含めた総合作用が指摘されており、その要因について簡単に言い切ることが出来ないが、アンケート調査にみられたとおり、ほとんどの人が自覚症状の改善を認めていることも事

実である。また、温泉利用者は温泉水自身に含まれる主要成分の薬理学的作用により泉質特有の効果を期待されるかもしれないが、各種成分濃度は各温泉により大きく異なることも予想され、自分の症状にあった温泉もしくは温泉地を試してみることも必要と思われる。

最後に、温泉療法を普及し、その効果を高めるために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とされているが、現実的にはその数は極めて少ないこと、あるいは民間療法的な位置づけやこれまで研究をリードしてきた各大学の付属温泉病院の廃止など、いくつかの大きな問題点があることを指摘しておく。

本実験の意義についてご理解いただき、快くご協力いただいた各保健所、市町村および施設担当の関係各位等に厚くお礼申し上げます。なお、本調査は北海道立衛生研究所において平成7年度より開始した「健康科学プロジェクト研究」の一環として行われたことを付記しておく。

参考文献

- 環境庁自然保護局監修(1978)：鉱泉分析法指針(改訂)，温泉工学会，東京
- 平野富雄(1994)：箱根二十湯一やさしい温泉入門一，神奈川新聞社，神奈川県
- 植田理彦(1994)：元気が出る温泉利用法，光雲社，東京
- 日本温泉気候物理医学会編(1994)：温泉医学，日本温泉気候物理医学会，東京
- 環境庁自然保護局監修(1995)：温泉必携(改訂第7版)，日本温泉協会，東京
- 日本温泉協会編(1996)：温泉の基礎講座，日本温泉協会，東京
- 内野栄治・佐藤洋子・都築俊文・上田祥久・小島弘幸・矢野昭起(1997)：療養を目的とした温泉利用者の一般的特徴について，北海道立衛生研究所報，47，70
- 内野栄治・佐藤洋子・都築俊文・小島弘幸・矢野昭起(1997)：アトピー性皮膚炎を訴え温泉を利用している人について，北海道立衛生研究所報，47，101
- 内野栄治・小島弘幸・佐藤洋子・都築俊文・長谷川 浩(1998)：アトピー性皮膚炎に対する温泉水利用の一試み，北海道立衛生研究所報，48，1
- 内野栄治・砂川紘之・佐藤洋子・都築俊文(1999)：黄色ブドウ球菌の消長に及ぼす道内温泉水の影響，北海道立衛生研究所報，49，1

表1 鉱泉および療養泉の定義

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（炭化水素を主成分とする天然ガスを除く）で、次の表に記載されている温度又は物質を有するものをいいます。

1. 温度（源泉から採取されるとき温度） 25℃以上
2. 物質（下に記載されるものうちいずれかひとつ）

物質名	鉱泉の規定, mg/kg	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	>250	>1,000
リチウムイオン	>1	—
ストロンチウムイオン	>10	—
バリウムイオン	>5	—
銅イオン	—	>1
総鉄イオン	>10	>20
マンガンイオン	>10	—
水素イオン	>1	>1
臭素イオン	>5	—
ヨウ素イオン	>1	—
フッ素イオン	>2	—
ヒドロヒ酸イオン	>1.3	—
メタ亜ヒ酸	>1	—
総硫黄	>1	>2
メタほう酸	>5	—
メタけい酸	>50	—
炭酸水素ナトリウム	>340	—
ラドン	20×10^{-10} キュリー	$>30 \times 10^{-10}$ キュリー
ラジウム	$>10^{-8}$	—
アルミニウムイオン	—	>100

表 2 温泉の禁忌症および適応症の決定基準

温泉の一般的禁忌症(浴用)

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)

療養泉の一般的適応症(浴用)

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、冷え症、病後回復期、疲労回復、健康増進

泉質別禁忌症

泉質	浴用	飲用
塩化物泉		腎臓病、高血圧症、その他一般にむくみのあるもの、甲状腺機能亢進症のときはヨウ素を含有する温泉を禁忌とする
炭酸水素塩泉		ナトリウム・炭酸水素塩泉は塩化物泉に準ずる
硫酸塩泉 (鉄・硫酸アルミニウム除く)		下痢の時、ナトリウム・硫酸塩泉は塩化物泉に準ずる
二酸化炭素泉		下痢の時
硫酸泉	皮膚、粘膜の過敏な人特に光線過敏症の(硫酸水素型)乾燥者の皮膚	下痢の時
酸性泉	硫酸泉に準ずる	

泉質別適応症

泉質	浴用	飲用
塩化物泉	さきりみず、やけど、慢性皮膚病、虚弱、慢性婦人病	慢性消化器病、慢性便秘
炭酸水素塩泉	さきりみず、やけど、慢性皮膚病	慢性消化器病、糖尿病、痛風、肝臓病
硫酸塩泉 (鉄・硫酸アルミニウム除く)	動脈硬化症、さきりみず、やけど、慢性皮膚病	慢性胆嚢炎、胆石症、慢性便秘、肥満症、糖尿病、痛風
二酸化炭素泉	高血圧症、動脈硬化症、さきりみず、やけど	慢性消化器病、慢性便秘
含鉄泉	月経障害	貧血
含銅・鉄泉	含鉄泉に準ずる	含鉄泉に準ずる
硫酸泉	慢性皮膚病、慢性婦人病、さきりみず、糖尿病、尿病	腎臓病、痛風、便秘
酸性泉	慢性皮膚病	慢性消化器病
含アルミニウム泉	酸性泉に準ずる	酸性泉に準ずる
放射能泉	痛風、動脈硬化症、高血圧症、慢性胆嚢炎、胆石症、慢性皮膚病、慢性婦人病	痛風、慢性消化器病、慢性胆嚢炎、胆石症、神経痛、筋肉痛、関節痛

表3 Gutenbrunner博士による飲泉の研究

- 1) ナトリウムと重炭酸に富む飲泉は高血圧の人に対しても危険性はなく、
脳下垂体-副腎皮質系を活性化し平常化作用を発現する。
- 2) カルシウムに富む飲泉は尿アルカリ化の結果、尿結石の生成の危険性を
増加するのではなくむしろ抑制し、クエン酸排泄を増加する。
- 3) ナトリウムに富む飲泉は夜間の抗利尿を減じ尿結石の危険性を低下する。
- 4) 飲泉を行った場合、副腎皮質ホルモンのコーチゾール排出量や血圧が正常化
する過程は7日周期性で変動する。



図1 アンケート調査点分布図

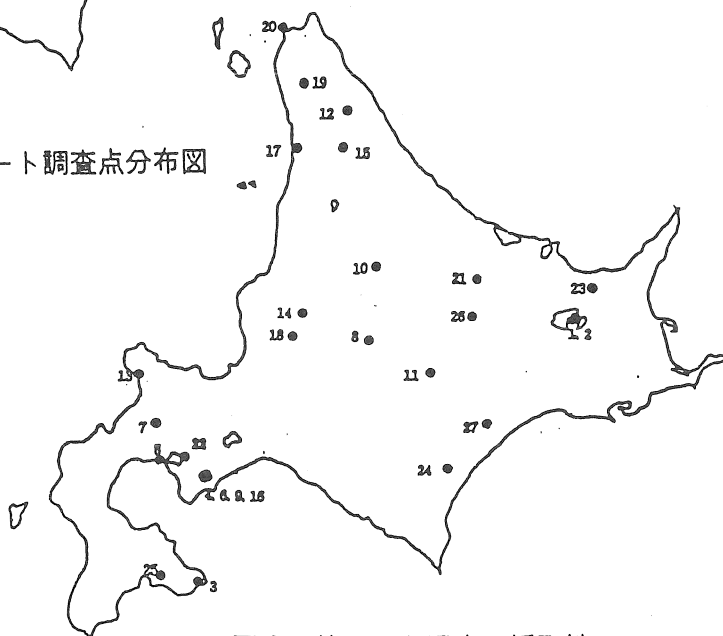


図2 使用した温泉の採取地

表4 A Dで温泉を利用し症状が大幅に改善された人の概要（アンケート調査結果）

性	年齢	職業	動機	利用回数/月	利用方法	温泉の選択状況	施設の所在地	症状
1 男	20代	学生	自分から	—	入浴	決めている	豊富町	赤く発疹
2 女	10代	学生	知人の勧め	—	入浴	決めている	豊富町	カサカサ
3 男	10代	学生	友人の勧め	—	入浴	決めている	豊富町	赤く化膿
4 男	70歳以上	農業	自分から	—	入浴・飲泉	—	豊富町	ブツブツ
5 女	50代	主婦	医師の薦め	10	入浴	決めている	豊富町	カサカサ
6 女	10歳未満	なし	知人の勧め	30	入浴	決めている	豊富町	カサカサ・ジュークジューク
7 女	20代	主婦	近いから	2	入浴	決めている	浦幌町	カサカサ
8 女	20代	会社員	—	1	—	決めている	浦幌町	—
9 男	70歳以上	農業	—	8	—	決めている	北桧山町	—
10 男	70歳以上	その他	—	4	入浴	決めている	北桧山町	ブツブツ
11 男	50代	自営業	病院から見放された	23	入浴	決めている	足寄町	—
12 女	10代	学生	近いから	28	入浴	決めている	戸井町	—
13 女	10代	学生	近いから	20	入浴	決めている	七飯町	カサカサ・ブツブツ
14 男	30代	漁業	—	22	入浴	ほぼ決めている	白老町	—
15 男	70歳以上	その他	—	—	入浴	—	—	—
16 女	20代	会社員	—	12	入浴	決めている	—	—

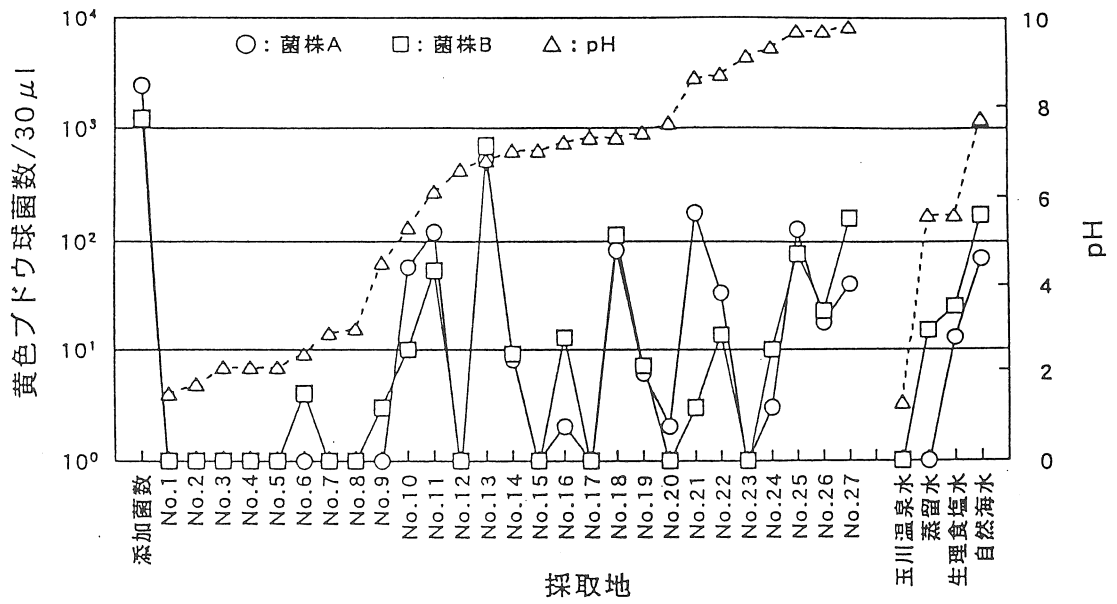


図3 各種温泉水の黄色ブドウ球菌の消長に及ぼす影響

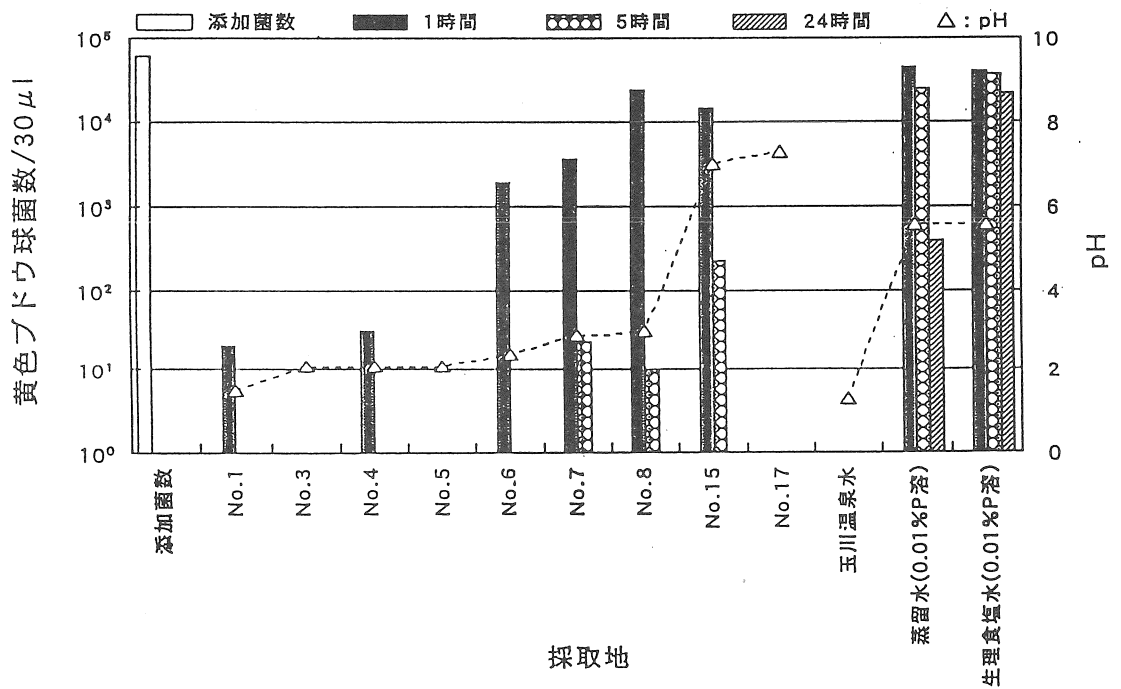


図4 各種温泉水における黄色ブドウ球菌数の経時的変化

ポリアクリル酸による炭酸カルシウムスケールの付着抑制技術

○柳谷茂夫・佐藤敬二(地熱エンジニアリング㈱)

釈永信彦(日本重化学工業㈱)

野村 弘(日重建設㈱)

URL <http://www.geothermal.co.jp/>

E-mail info@geothermal.co.jp

1. はじめに

温泉におけるスケールは、温泉水が地下深部から湧出・揚湯する過程で、温度・圧力などの物理的变化や pH などの化学的变化により、温泉中の溶存成分が不溶性となって析出・沈殿・付着したものである。このスケールは井戸内、揚湯管、ポンプのインペラー、引湯管、配湯管、貯湯タンクなどに付着して、さまざまな障害を引き起こす。温泉水から析出するスケールにはいろいろな種類があるが、その多くは炭酸カルシウムである場合が多い。この炭酸カルシウムスケールは、地熱発電所の生産井内にも付着し地熱水の噴出を妨げ問題を引き起こした。

すなわち、昭和 57 年 11 月に運転開始した森地熱発電所(蒸気供給部門:道南地熱エネルギー㈱、発電部門:北海道電力㈱)において、生産井の蒸気が噴気開始後 1~3ヶ月で減衰あるいは停止するといった事態が発生した(第1図)。この原因を調査したところ、生産井内に炭酸カルシウムのスケールが付着していることが明らかとなった(第2図)。当初このスケール対策として、掘削に用いるビットを用いて機械的に除去する方法を試みていたが、この方法ではスケールが十分に除去できなかった。また、酸を生産井内に送入して炭酸カルシウムを溶解・除去する方法も試みたが、生産井を噴気させても再びスケールが付着し蒸気が減衰・停止するため抜本的な対策とならなかった。そこで、炭酸カルシウムスケールの析出・付着を防止する方法として、スケール抑制剤(ポリアクリル酸)を生産井内の地熱水へ注入する方法を採用することとした。

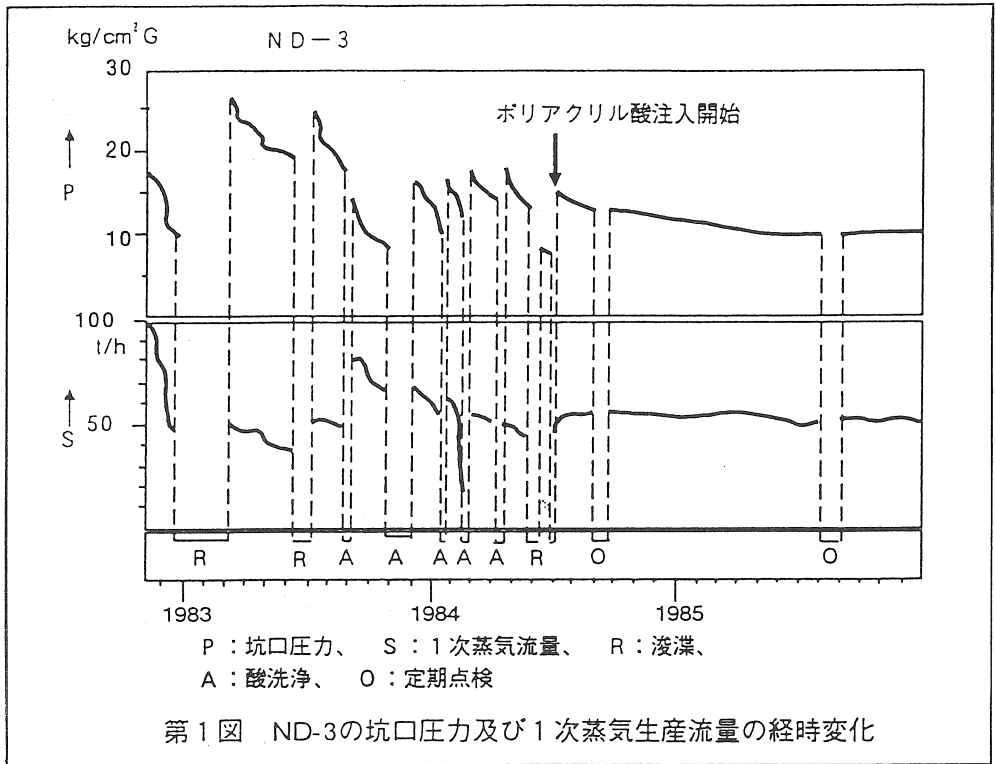
日本重化学工業㈱は昭和 59 年から 60 年にかけてスケール抑制剤の選択、注入方法等を検討していたが、同時期に NEDO(新エネルギー・産業技術開発機構)からサンシャイン計画に基づいて「炭酸カルシウムスケール付着防止技術の開発」が取上げられ、日本重化学工業㈱と三井金属鉱業㈱が委託された。

本稿では、このプロジェクトのうちスケール抑制剤の選択について述べるとともに、ポリアクリル酸注入によるスケール抑制システム及び同システムを温泉井へ応用した実績について紹介する。

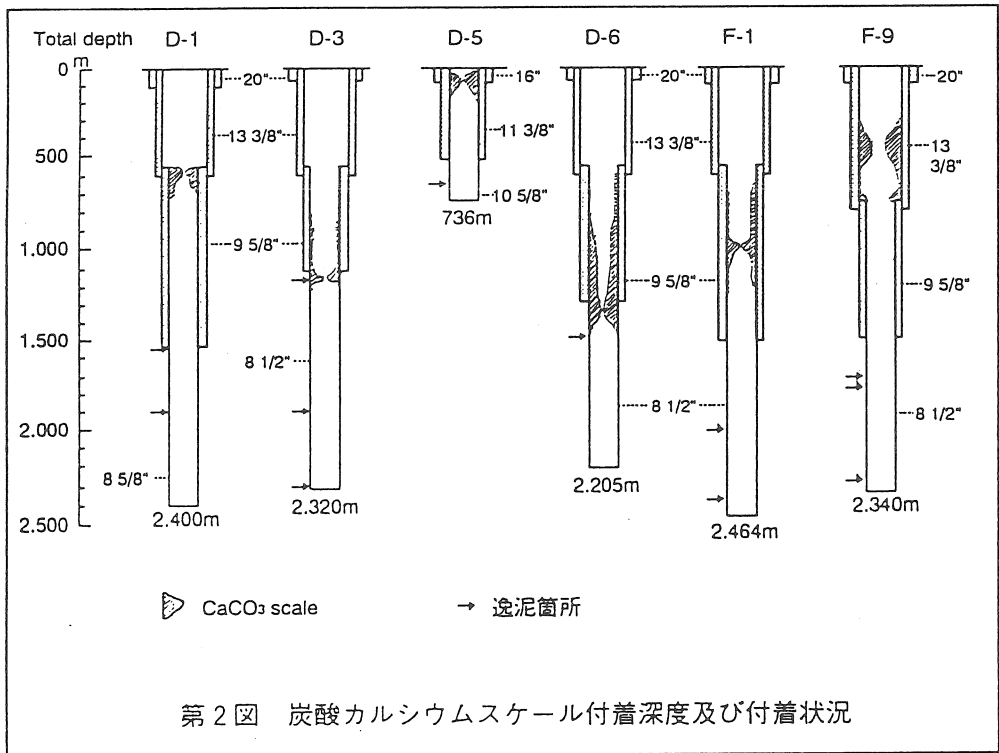
2. 炭酸カルシウムスケールの生成メカニズム

温泉井や地熱井(生産井)における炭酸カルシウムの析出・付着によるスケールの生成メカニズムは、炭酸カルシウムの熱水に対する溶解度が種々の条件の変化に伴って小さくなるためと考えられている。炭酸カルシウムの溶解度(スケール生成)に係わる因子は、熱水の Ca^{2+} 濃度、 HCO_3^- 濃度、pH、 CO_2 ガス分圧及び熱水温度等があげられる。

地下の貯留層(熱水溜まり)において CO_2 ガス分圧が高い場合は、高温下でも CO_2 ガス分圧に見合う炭酸カルシウムが溶解しているが、熱水が坑井を上昇し減圧される過程で CO_2 ガスのアイソレーション(逃散)が始まる。次いで、熱水中に溶解している CO_2 ガス濃度を保持するため

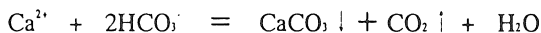


出典：日本重化学工業（株）、道南地熱エネルギー（株） 資料



出典：日本重化学工業（株）、道南地熱エネルギー（株） 資料

に必要な CO₂ ガス分圧と地熱井内圧力の間に極端な差を生じた時点で、一挙に沸騰が起きる。熱水が沸騰すると CO₂ ガスが逃散するとともに熱水の pH が上昇して次式に示す反応式が右辺に進み、炭酸カルシウムが生成しスケールリングが起こる。反応式は簡略化されているが実際は熱水が沸騰する過程では上記要因が複合して複雑な反応が起こっていると考えられる。



上述のメカニズムにより炭酸カルシウムスケールは、温泉井や地熱井内において熱水が沸騰する深度に集中的に付着することになる(第2図)。

3. スケール抑制剤の選択

スケール抑制剤の選択は抑制剤を収集してから、性能(ピーカー)試験、耐熱試験、腐食試験を行い、良好な結果を得た抑制剤を絞り込んでいった。選択された抑制剤は実坑井において確認試験を行った。

(1)スケール抑制剤の収集

抑制剤は、市販品あるいは薬剤メーカーの試作品等から以下の条件を基準に収集した。

- ① 炭酸カルシウムスケールに対して効果があること
- ② 水溶性であること
- ③ 耐熱性があること

収集した抑制剤は 140 種(25 社)であり、主成分別の内訳はポリアクリル酸系(56 種)、ポリメタクリル酸系(4 種)、ポリマレイン酸系(7 種)、ポリカルボン酸系(15 種)、スルホン酸系(13 種)、ホスホン酸系(9 種)、ポリリン酸系(11 種)、その他[アミン系、フミン酸系など](25 種)である。

(2)性能(ピーカー)試験

一般にスケール抑制剤の作用は、炭酸カルシウムの結晶核に抑制剤が吸着して、その成長過程を抑える機構によると考えられている。炭酸カルシウムスケールの析出を防止する作用(結晶析出防止作用)が強い抑制剤は結晶核そのものの生成を妨げている。一方、炭酸カルシウムが析出する過程で結晶を歪め(Crystal Distortion)、スケール化を防止する作用(付着防止作用)が強い抑制剤は、析出する結晶の成長を妨げる力が大きい。ただし、抑制剤はこれらの機能を合わせ持つと思われる。

また、抑制剤が Ca²⁺とキレート化合物を作り、炭酸カルシウムの生成を抑制する作用も考えられる(キレート効果)。

試験方法は飽和した重炭酸カルシウム溶液を加熱して、炭酸カルシウムを析出させる。この際、スケール抑制剤を添加することにより炭酸カルシウムの析出を抑制し、析出しなかった Ca 濃度(溶存 Ca²⁺濃度)を測定した。また、スケール抑制剤を添加する時にチタン板を溶液中に入れ、付着した炭酸カルシウムを塩酸で溶解し Ca 濃度を測定した(付着 Ca 量)。これら測定された溶存 Ca²⁺濃度及び付着 Ca 量をそれぞれ抑制剤が炭酸カルシウム析出防止作用及び炭酸カルシウムの付着防止作用の指標とした。

本試験から得られた熱水中の溶存 Ca²⁺濃度及びチタン板への炭酸カルシウム付着量を第3図及び第4図に示す。

① 結晶析出防止効果

各温度で結晶析出防止効果の高い(溶存 Ca²⁺濃度が高い)順にならべると次のようになる。

180℃ : ポリカルボン酸>ポリマレイン酸>ホスホン酸>ポリアクリル酸
215℃ : ポリアクリル酸>ポリカルボン酸>ホスホン酸>メタクリル酸
250℃ : ポリマレイン酸>ポリカルボン酸>ポリメタクリル酸>ポリアクリル酸

炭酸カルシウムの析出防止効果は、ポリカルボン酸が高く、次いでポリアクリル酸、ホスホン酸、ポリリン酸が高い。

② スケール付着防止効果

各温度でスケール付着防止効果の高い(炭酸カルシウムの付着量が少ない)順にならべると次のようになる。

180℃ : ポリアクリル酸>ホスホン酸>ポリメタクリル酸=スルホン酸
215℃ : ポリメタクリル酸>スルホン酸>ポリアクリル酸=ポリリン酸
250℃ : ポリアクリル酸>ポリリン酸>ポリカルボン酸>スルホン酸

スケール付着防止効果(無添加の場合より付着量が少ない)は、ポリアクリル酸系が高く、次いでポリリン酸、ホスホン酸、スルホン酸が高い。

③ 結晶歪化作用

付着したスケールの走査電子顕微鏡観察結果(結晶形状と結晶成長の観察)を第5図に示す。観察結果によると、抑制剤を添加した場合はいずれの系列の場合も結晶歪化(Crystal distortion)の効果があらわれ、針状結晶あるいは粒状結晶になった。X線回折分析結果(結晶構造解析)を考慮して結晶歪化作用の大きい順にならべると次のようになる。

ホスホン酸、スルホン酸>ポリリン酸>ポリアクリル酸、ポリカルボン酸>ポリメタクリル酸>ポリマレイン酸

(3) 耐熱性

抑制剤を 180℃及び 250℃に加熱した時の構造変化をゲル浸透型クロマトグラフィーを用いて検討した。

構造変化が少なかったのはポリリン酸、ポリアクリル酸、ポリカルボン酸、ホスホン酸であった。

(4) 腐食試験

坑井内において、抑制剤は抑制剤の坑内注入管と高温下で長時間接触することになる。そのため、注入管を腐食あるいは浸食する抑制剤は、性能や耐熱性が優れていても使用できない。そこで、性能及び耐熱試験結果の良かった抑制剤 27 種について、235℃×24時間の腐食量を測定した。

結果は、ポリアクリル酸、ポリカルボン酸が実用上問題のない腐食量(1.0mm/年)であった。

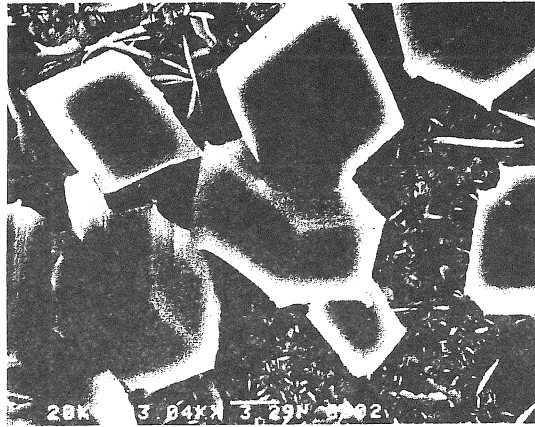
各種試験結果から作成したスケール抑制剤選択基準表を第1表に示す。

以上の各種室内試験結果を総合的に検討し、スケール抑制剤としてポリアクリル酸を選択した。このポリアクリル酸を約5ヶ月間実坑井に注入してモニタリングした結果、スケールの抑制効果を確認できた。

4. スケール抑制設備

森地熱発電所における炭酸カルシウムスケール抑制設備(特許第 1504808 号)の概略図を第6図に示す。

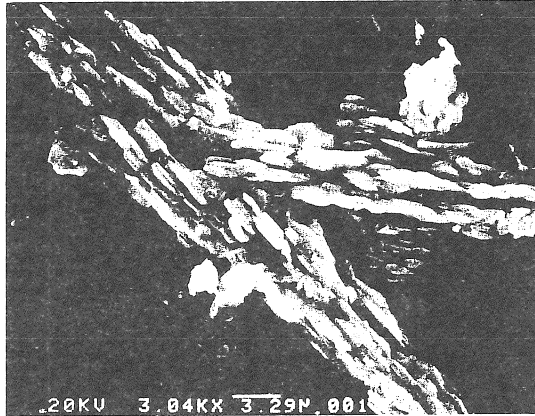
【無添加】



250°C

×3000

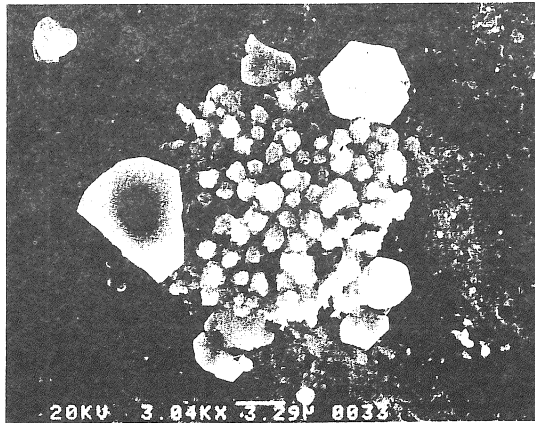
【ポリアクリル酸】



250°C

×3000

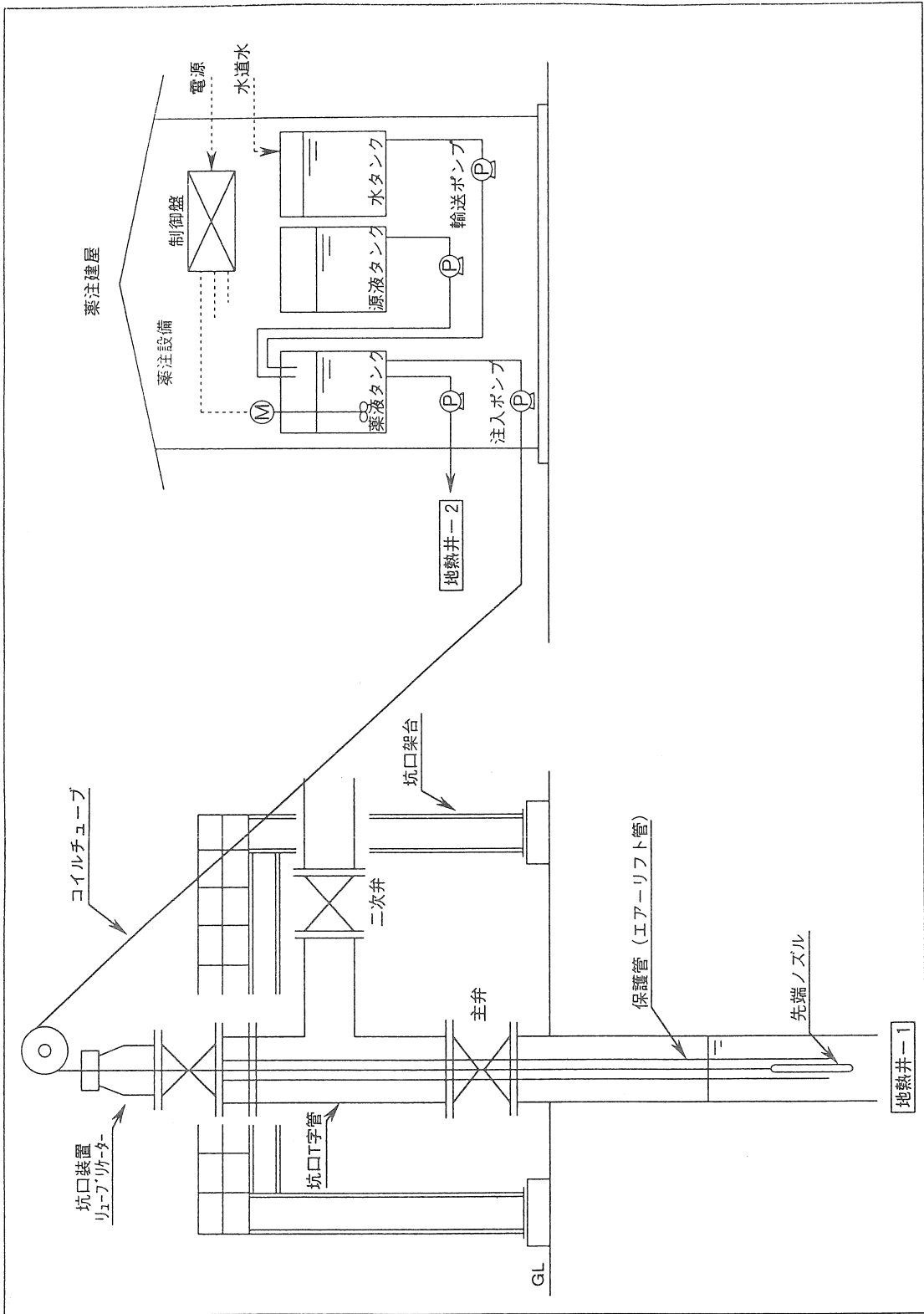
【ホスホン酸】



250°C

×3000

第5図 走査電子顕微鏡写真



第6図 森地熱発電所スケール抑制設備

第1表 スケール抑制剤選択基準表

抑制剤の系列		ポリアクリル酸系	ポリカルボン酸系	ホスホン酸系	ポリリン酸系	スルホン酸系	ポリメタクリル酸系	ポリマレイン酸系
効果	スケール付	◎	△	○	×	△	△	△
	着付防止効果	△	△	×	△	○	◎	×
	250℃	◎	△	×	△	△	×	×
	結晶析出防止効果	△	◎	○	△	×	×	○
	180℃	◎	○	△	×	×	×	×
	215℃	○	◎	△	△	×	○	◎
	250℃	○	◎	△	△	×	○	◎
	結晶歪化作用	○	○	◎	△	△	×	×
	180℃	○	○	◎	△	△	×	×
	250℃	△	△	◎	△	○	×	×
抑制剤の特質	腐食(防食)性	○	×	×	×	・	・	×
	熱分解(耐熱)性	○	○	◎	◎	・	・	○
	150℃	◎	△	○	×	・	・	×
	180℃	◎	○	○	×	・	・	×
価格	235℃	◎	○	×	×	△	×	×
	相対比	◎ ($\mu m < 4200$) ○)	○	×	・	・	・	・

◎最適 ○適 △場合によっては適 ×不適 -未調査

出典) 新エネルギー総合開発機構(1986) から抜粋

スケール抑制剤は薬注タンクから坑井内に降下したコイルチューブを通して、坑井内の熱水に注入する(特許第 1476448 号)。その薬注ノズル位置はフラッシュ開始深度より深い位置にセットされる。

ポリアクリル酸をスケール抑制剤として坑井内に注入した結果、坑井内へのスケール付着はなくなり、蒸気を安定して生産できるようになった。森地熱発電所では、この薬注設備を 10 数本の生産井に設置してから 10 数年経過したが、順調に稼働している。

森地熱発電所で使用しているポリアクリル酸の製品データシート(抜粋)を第2表に示す。

5. スケール抑制設備の温泉井への適用例

福島県土湯温泉は日本有数の温泉の一つである。土湯温泉の1号井は、深度 200m の温泉井であるが、非常に高温であり坑口圧力 $5\text{kg/cm}^2\text{G}$ の状態で蒸気が 70%、温泉水 30%の割合で噴出する。この蒸気と沢水を混合して造成した温泉水は土湯地区の旅館や家庭に供給されている。しかし、この温泉井は熱的に非常に優勢であるものの、温泉井内で温泉水が沸騰し蒸気と温泉水に分離する位置に炭酸カルシウムが析出してスケールとして付着し、温泉井内を閉塞させるに至っていた。これらのスケールを除去する方法としてスケールを機械的に削り取る方法が年に8回程度行われていたが、作業は長くて1週間近くかかることやこの期間温泉水の供給が完全にストップしてしまうこと及び作業に多大なコストを費やすことが問題となっていた。

対策を模索していた土湯温泉では、森地熱発電所で実施していた「ポリアクリル酸による炭酸カルシウムスケール防止技術」に注目し、試験プラントを建設して実証試験を行うことになった。試験の結果、炭酸カルシウムスケールの付着による温泉井の閉塞はなくなり、本格的なスケール防止設備の導入となった。

土湯温泉1号井におけるスケール抑制設備の概要図を第7図に示す。スケール抑制剤のポリアクリル酸はユニット本体(ユニット名:“クリーンΣ”)内で希釈され、埋設管及びコイルチューブを通して温泉井内へ注入される。本設備は手動ウィンチとリュブリケーターを備えているため、コイルチューブの点検は温泉の湧出を停止させることなく行えるというメリットもある。“クリーンΣ”は、当社グループの日重建設㈱が製品化しものであり、据付けスペース、運転操作、作業の省力化等を考慮してスケール抑制剤の希釈混合設備及び注入設備をユニット化したものである。

土湯温泉では、このスケール抑制設備を導入してから安定的に温泉の供給が行われるようになり、スケールを削り取る作業もなくなり、温泉運転管理費用の低減にもつながっている。

なお、温泉水へ薬液を注入する場合は安全性を重要視しなければならないが、ポリアクリル酸は食品添加物の一種であり、第2表に示したように安全性も高い。さらに、ポリアクリル酸はポリリン酸やホスホン酸のようにリンを含んでいないため、温泉排出流域での富栄養化の問題もないことから、環境負荷の小さい地球に優しいスケール防止剤である。

6. ポリアクリル酸注入によるスケール抑制システム

当社グループは、地熱井や温泉井での薬注法によるスケール防止の実績を踏まえて「ポリアクリル酸注入による炭酸カルシウムスケール付着抑制技術」をシステム化した(第8図)。システムは事前調査、設備の設計、設備の施工、モニタリング及びメンテナンスからなる。以下にシステムの流れを、第3表に本システムの特長を示す。

(1)事前調査

第2表 「ポリアクリル酸」の性状、基本物性及び環境影響

1. 性状

組 成 : ポリアクリル酸ナトリウム
(C_2H_3COONa)_n

媒 体 : 水溶液

外 観 : 淡黄色透明水溶液

異 物 : 混入なし

凝固点 : -22°C

荷 姿 : 200Lケミドラムに250kg充填

消防法 : 危険物に該当せず

2. 基本物性

濃 度 : 40±10%

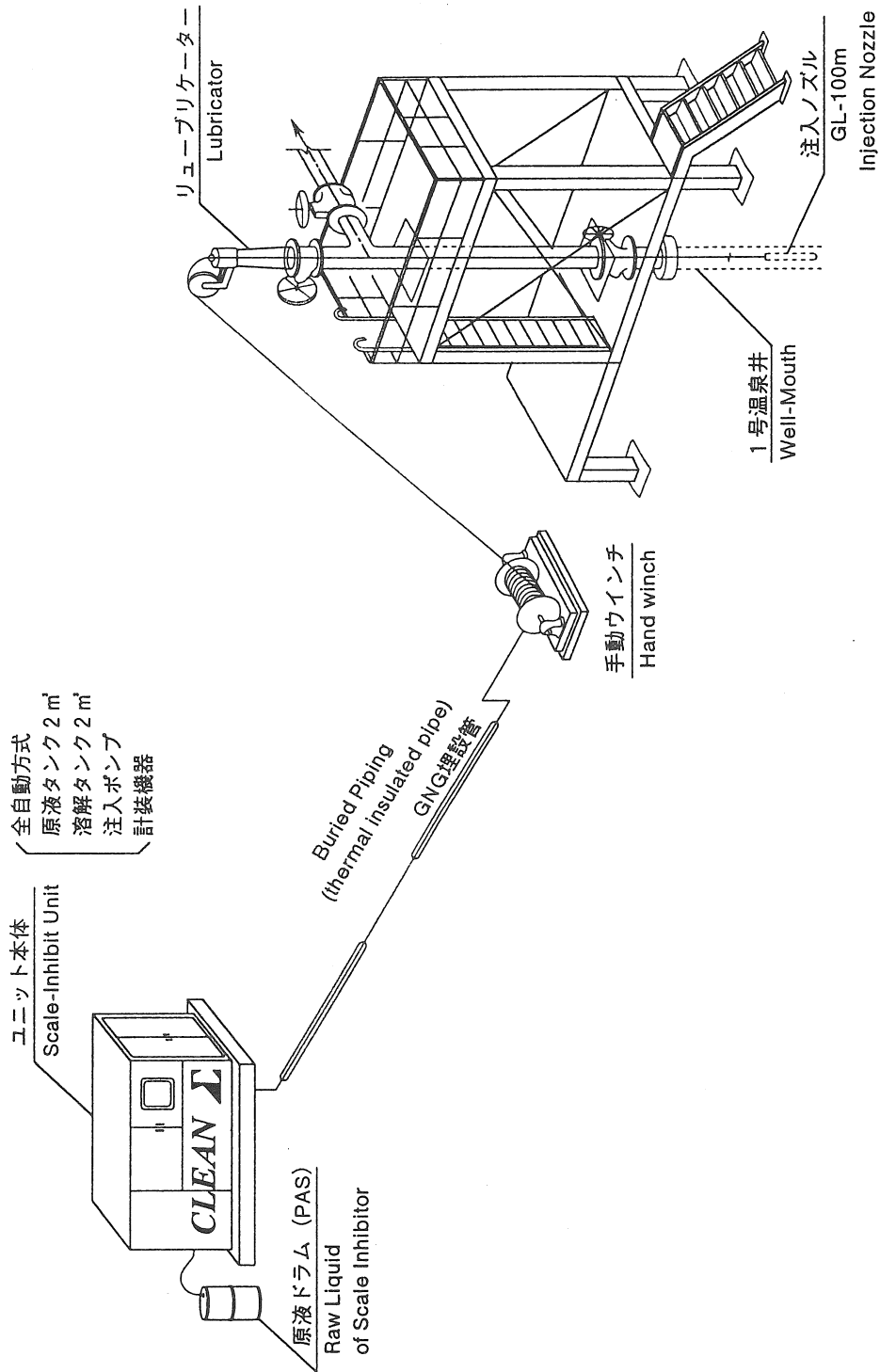
pH : 8.8±0.8

粘 度 : 200±50 cps

3. 環境影響

急性毒性試験 : LD50値が10320mg/kg以上と極めて安全

魚毒性 : TLm48 1000ppm以上と極めて安全



第7図 土湯温泉1号井スケール抑制設備

1. 事前調査

- ① 温泉水採取・分析 ⇒ スケール生成予測
- ② スケール採取・分析 ⇒ スケール成分の同定
- ③ スケール生成原因の検討 ⇒ 抑制システム適用可否の判定



2. 設備の設計

- ① ポリアクリル酸の注入深度、濃度及び量の決定
- ② 温泉井内注入設備及び地上注入設備の設計
- ③ 設備費及びランニングコストの見積り



3. 設備の施工

- ① 地上設備『クリーンΣ』据え付け工事
- ② 設備の試運転及び運転指導



4. モニタリング及びメンテナンス

- ① 温泉水のモニタリング ⇒ スケール抑制効果の把握
- ② コイルチューブ引き上げ点検

第8図 スケール付着抑制システム

第3表 スケール付着抑制システムの特長

- ◎ 事前調査によるスケール付着原因究明
- ◎ 高温泉(沸騰泉)においても優れたスケール抑制効果を発揮
- ◎ 地上設備をユニット化(クリーンΣ)し、現場設置工事を簡素化
- ◎ ポンプ設置深度の深い温泉井にも有効な設備
- ◎ ポリアクリル酸は極めて安全であり、富栄養化の一因であるリンも含まないことから、環境負荷の小さい地球に優しいスケール防止剤である。
- ◎ スケール抑制剤注入による泉質の変化なし
- ◎ スケール抑制剤注入後のモニタリングによる効果の把握

① 温泉水分析

現地にて採取した温泉水の分析を行う。温泉分析結果から現状の温泉水の泉質を把握するとともに化学平衡シミュレータを用いて鉱物の溶解度を計算して”スケール生成の予測”を行う(第9図)。

② スケール分析

温泉井内、ポンプ、揚湯管、引湯管、貯湯槽等から採取したスケールはX線回折分析を行い、スケール成分を同定する。温泉井内にスケールが付着している場合は、必要に応じてキャリパー検層(井戸の内径を測定する装置)にてスケールの付着状況を調査する場合もある。

③ スケール生成原因の検討

温泉井の仕様、温泉の湧出状況及び上記の温泉水、スケールの分析結果から総合的に解析してスケールの生成原因を究明する。併せて当該温泉井にスケール抑制システムが適用可能か否かを判定する。

(2)設備の設計

① ポリアクリル酸の注入深度、濃度及び量の決定

温泉井内で沸騰する温泉井の場合、沸騰する深度付近に炭酸カルシウムスケールが付着することから、ポリアクリル酸は沸騰深度より深い位置に注入しなければならない。沸騰深度は検層結果や当社で開発した坑井内流動シミュレータ(特許第 2662275 号:温泉分析結果や流量、温度、口径などから計算)を用いて決定する。また、温泉水の分析結果と湧出量からポリアクリル酸の注入濃度及び量を決定する。

② 温泉井内注入設備及び地上設備の設計

ポリアクリル酸の注入量と注入深度からコイルチューブ及び保護管の長さ、管径を設計する。温泉の泉質及び湧出量からコイルチューブ、先端ノズル及び保護管の材質を決定する。原液タンク、薬液タンク、希釈水タンク、注入ポンプなどの地上設備の仕様は、ポリアクリル酸の注入量及び温泉の湧出量により設計する。水中ポンプによる動力揚湯した場合のスケール抑制設備を第 10 図に示す。

③ 設備費及びランニングコストの見積り

上記により設計された薬液注入設備の見積りを行う。また、温泉湧出量、ポリアクリル酸注入量、電気使用量などから設備のランニングコストの見積りを行う。

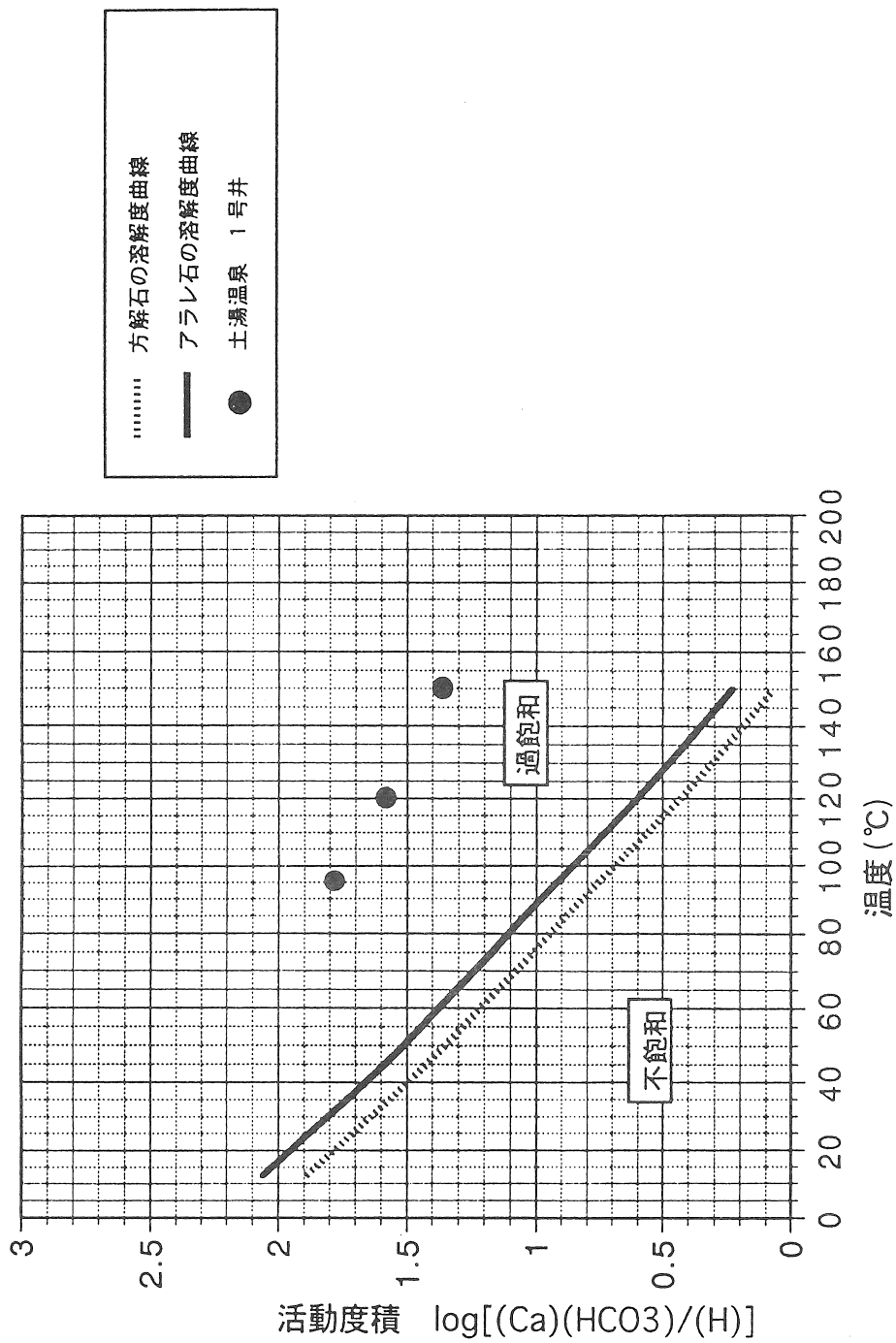
(3)設備の施工

原液タンク、薬液タンク、希釈水タンク、注入ポンプなどの地上設備はユニット化(クリーンΣ)されていて、現地では据え付け工事を行うのみである。温泉井内薬注設備及び地上設備の設置後は試運転を行い、ポリアクリル酸が確実に注入されていることの確認を行うとともに運転指導を行う。

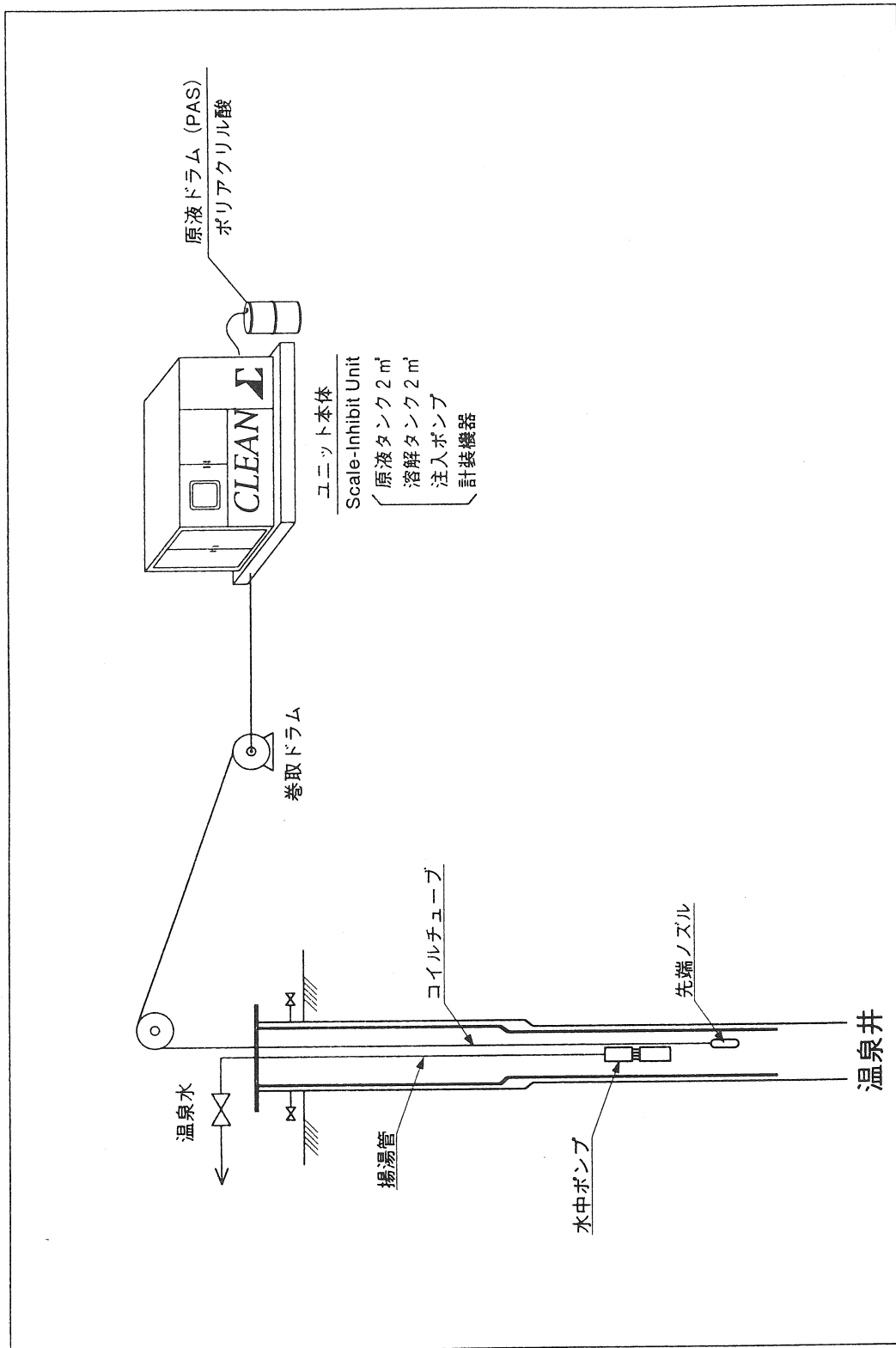
(4)モニタリング及びメンテナンス

温泉水、湧出量及び泉温等の測定・分析を数回(1ヶ月間)行い、スケール抑制効果が得られているかのモニタリングを行う。

また、年に1回程度、コイルチューブを引き上げて点検を行う。



第9図 炭酸カルシウムスケール生成可否の判定



第10図 温泉井スケール抑制設備 (動力揚湯)

7. まとめ

- (1) 地熱井に付着する炭酸カルシウムのスケール抑制剤として、140種の抑制剤を収集し各種試験を実施した結果、耐熱性があり高い抑制効果を持つポリアクリル酸を選定した。このポリアクリル酸は安全性も高く、リンを含んでいないことから富栄養化の問題もなく、環境負荷の小さい地球に優しいスケール防止剤である。
- (2) スケール抑制設備を10数本の地熱井に設置している森地熱発電所は、ポリアクリル酸注入後スケール注入後炭酸カルシウムスケールの付着は抑制され、10数年経過後も順調に稼働している。
- (3) ポリアクリル酸注入によるスケール抑制設備は温泉井にも適用され優れたスケール抑制効果が得られた。また、この設備の導入により温泉運転管理費用も低減した。
- (4) スケール抑制剤の希釈混合設備及び注入設備について、据付けスペース、運転操作、作業の省力化等を考慮してユニット化した「クリーンΣ」を製品化した。
- (5) 地熱井や温泉井での薬注システムの実績を踏まえて「ポリアクリル酸(PAS)注入による炭酸カルシウムスケール付着抑制技術」をシステム化した。システムは事前調査、設備の設計、設備の施工、モニタリング及びメンテナンスからなり、
 - ① 事前調査によるスケール付着原因究明
 - ② 高温泉(沸騰泉)においても優れたスケール抑制を発揮
 - ③ 地上設備をユニット化(クリーンΣ)し、現場設置工事を簡素化などの特長を有する。

謝辞

本研究会において講演の機会を与えていただいた北海道立地質研究所の方々に心より感謝申し上げます。また、本件の講演に際しデータの公表を許可して頂いた日本重化学工業株式会社に感謝の意を表します。

* 引用文献・参考文献

藤井幸夫(1988) 炭酸カルシウムスケールの付着とその対策. 地熱,vol.25,No.4,340-351.

藤井幸夫(1991) 炭酸カルシウムスケールの生成機構及び抑制・除去技術. (社)地熱調査会セミナー, 21-39.

日本重化学工業(株)・道南地熱エネルギー(株) 森地熱発電所パンフレット.

新エネルギー総合開発機構(1985) 熱水利用発電プラント等開発(炭酸カルシウムスケール付着防止技術の開発). 昭和 59 年度サンシャイン計画補助事業 新エネルギー総合 開発機構委託成果報告書

新エネルギー総合開発機構(1986) 熱水利用発電プラント等開発(炭酸カルシウムスケール付着防止技術の開発). 昭和 60 年度サンシャイン計画補助事業 新エネルギー総合 開発機構委託成果報告書

佐藤敬二・柳谷茂夫・釈永信彦・野村弘(1999) ポリアクリル酸注入による炭酸カルシウムスケール付着抑制技術. 第 52 回日本温泉科学会大会講演要旨集, 34.

柳谷茂夫・佐藤敬二・釈永信彦・野村弘(1999) ポリアクリル酸注入による炭酸カルシウムスケール付着抑制技術. 第 39 回温泉経営管理者研修会テキスト.

3 乙部町の温泉ボーリング

株式会社ドリリング計測 内田 裕之

はじめに

今年度に実施された、乙部町では3源泉目となる緑地区での温泉ボーリング探査の結果報告と、あわせて市街地で温泉開発をおこなう場合の様々な環境問題のうち、ボーリング工事に伴う騒音・振動問題について検討し、その対策法の事例を紹介したい。

乙部町から熊石町南部にかけては、厚い泥質堆積岩からなる新第三系堆積盆が形成されており、相沼堆積盆と呼ばれている。この堆積盆内には、江差町五厘沢で泉温 45℃の自然湧出泉があるのみであり、他に温泉徴候は認められていなかった。しかし、北海道による地域エネルギー開発利用施設整備事業として温泉熱利用が取り上げられた昭和 55 (1980) 年に、乙部町が館浦地区で深度 1,244mのボーリングをおこない温泉開発 (67.1℃、164ℓ/分自噴) に成功した。

館浦井の成功から、当地域の深部熱水は厚い泥質堆積岩類からなる堆積盆下に隠された基盤岩類 (先第三系) の弱線帯に胚胎すること、基盤岩類に至る天水循環系は泥質堆積盆下で高い圧力をもつことが明らかにされた (松波・高見、1990)。これらの見解は、昭和 63 (1988) 年の鳥山地区のボーリング (深度 1,212m) に受け継がれ、泉温 67.8℃、230ℓ/分自噴につながっている。緑地区のボーリングもこれらの見解の延長上に計画された。

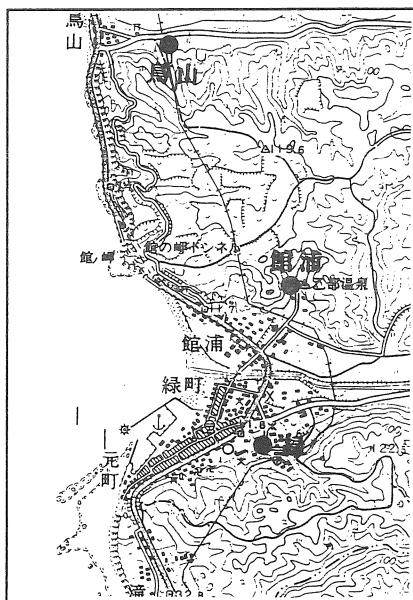


図-1 ボーリング位置図

表-1 乙部町周辺の温泉井

町名	乙部町	乙部町	江差町	江差町	上ノ国町
源泉名	館浦井	鳥山井	五厘沢調査井	尾山井	勝山井
掘削年	1980	1988	1973	1992	1995
深度 (m)	1244	1216	600	1202	1203
スレーナー深度 (m)	700~1244	970~1216	550~600	859~1189	667~1192
最高温度℃ (m)	81.6(1236)	67.7(1212)	55.0(600)	52.3(1201)	61.7(1185)
静水位 (m)	-	-	-6.0	-2.5	-
動水位 (m)	-1.7	-14.3	-50.0	-54.2	-
泉温 (℃)	67.1	68.6	23.0	50.4	61.6
湧出量 (ℓ/min)	164.4 (F)	420 (AL)	50 (AL)	377 (WP)	787 (F)
対象地層	先第三系	先第三系	新第三系	先第三系	先第三系
備考	自噴: 164ℓ/min	自噴: 230ℓ/min		自噴: 90ℓ/min	

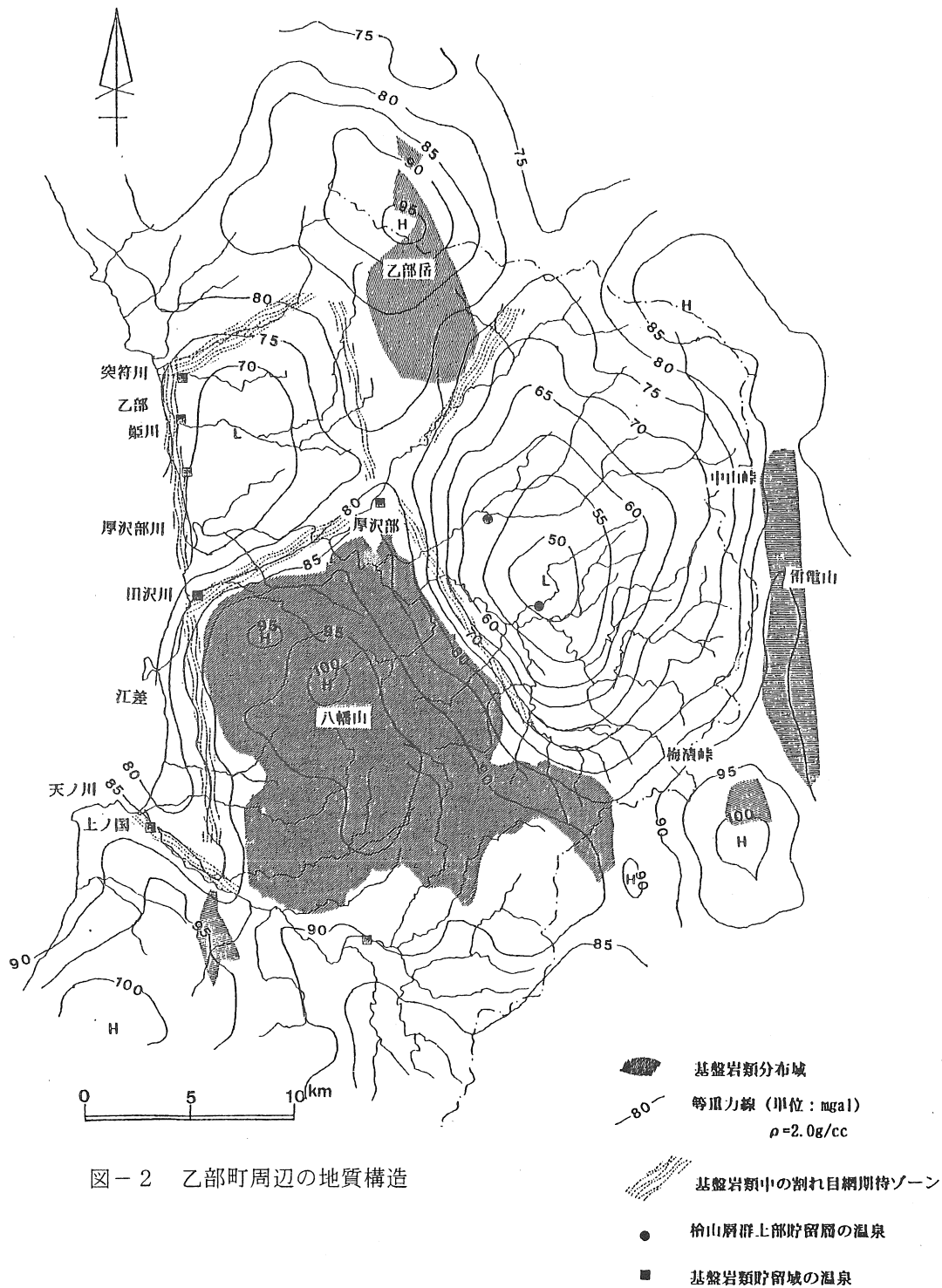


図-2 乙部町周辺の地質構造

開発計画および結果概要

乙部町が緑地区において温泉開発をおこなったのは、福祉施設などの浴用や暖房用熱源として温泉を利用することを目的としたもので、またこの地域の深部地質や温泉貯留形態の解明も課題であった。当初の掘削計画深度は1200mであったが、深度1200mまでには温泉湧出を期待させるような割れ目は顕著には認められず、深度1300mまで増掘し仕上げをおこなった。揚湯試験時の自噴量が330l/min、その後18日経過した泉質分析時には590l/min（泉温69.5℃）まで増加した。

掘削工事の全体経過と結果は、結果表、工程表および総合柱状図に示した。以下に各項目について概略を述べる。

表-2 緑地区の最終結果

掘削深度 (m)	ストレーナー区間 (m)	湧出量 (l/min)	泉温 (℃)	PH	TSM (mg/kg)
1309.12m	873~1282m	590 (自噴)	69.5	18	4,869

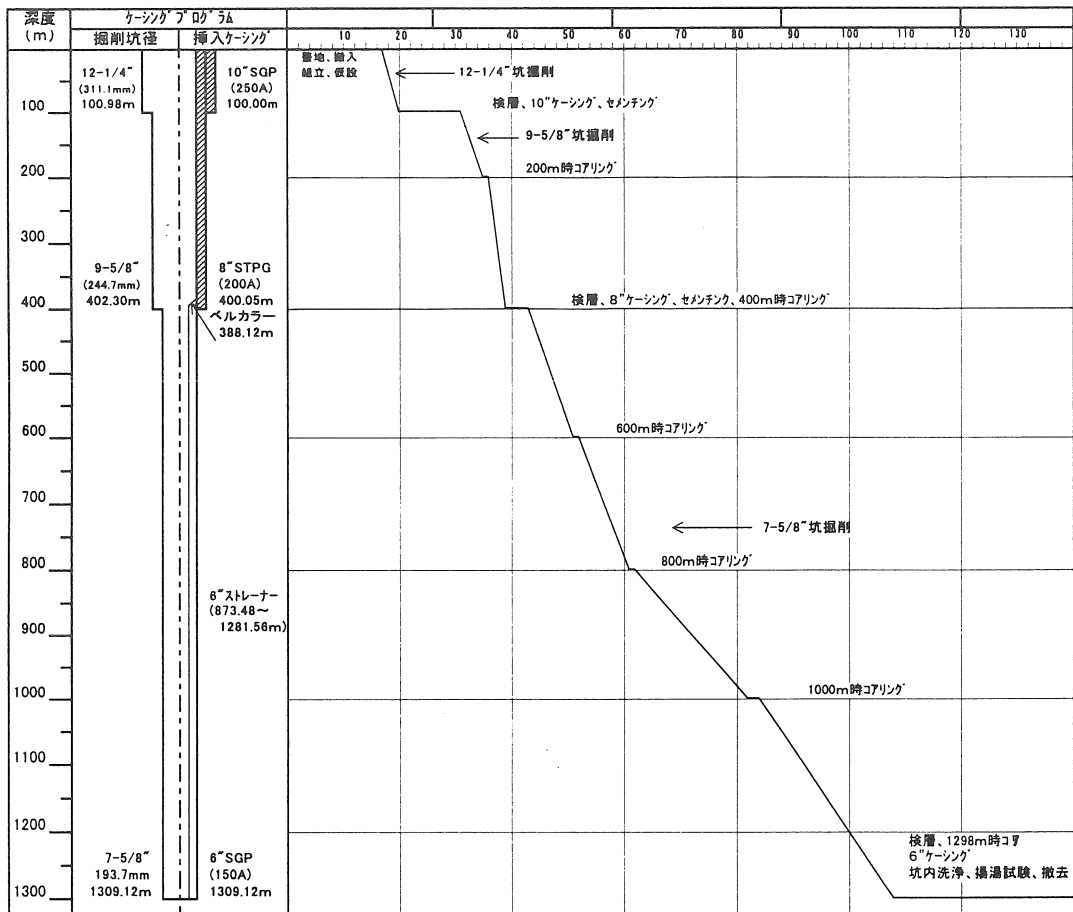


図-3 実績工程表とケーシングプログラム

表-3 使用機械一覧表

名称	仕様	単位	数量	能力	製作所
掘削機				巻上能力	
ドローワークス	SKK-20D	台	1	シングル20t巻	アイデコ
ロータリーテーブル	R-20	台	1	20-1/2"	
同上動力	エンジン	台	1	280HP	日産
	モーター	台	1	37Kw	東芝
主泥水ポンプ	JD-200D	台	1	最大圧力 115ksc 最大吐出量 1500ℓ/min	大原鉄工
同上動力	モーター	台	1	90kw	東芝
副泥水ポンプ	D-30-70	台	1	最大圧力 70ksc 最大吐出量 500ℓ/min	セキサク
同上動力	エンジン	台	1	180HP	三菱
マッドスクリーン	サイクロン式	台	1	最大処理量 1000ℓ/min	近畿工業
掘削檣	鋼製4脚	基	1	耐荷重 100t 高さ 30m	中山機械
ランニングブロック	6車	台	1	耐荷重 100t	セキサク
ウォータースイベル	K-13	台	1	耐荷重 50t	大原鉄工
サブホイスト	MA-7	台	1	7.5kw	トーヨー工業
発電機	DCA-220SPK	台	1	220kVA	デンヨー
ドリルパイプ	2-7/8"	本	128	プレミアムE	
ドリルカラー	8"	m	35.87	" 220kg/m	
"	6"	m	104.87	" 140kg/m	

表-4 掘削状況一覧表

項目		掘削深度		
		0~1,309.12m		
段		1	2	3
掘削深度(m)		0~100.98	100.98~402.30	402.30~1,309.12
掘削径/インチ		12-1/4"	9-5/8"	7-5/8"
(mm)		(φ311.4)	(φ244.7)	(φ193.7)
泥水	種類	パワー	フレックス	
	調泥剤	テルポリマーH・L、消泡剤No.50、ソーダ灰、カセイソーダ		
トリコンビット種類・使用記録(丁数)		MS	S	MS、X20GH、X30GH
試錐機		ドローワークスSKK-20D、ロータリーテーブルR-20		
泥水ポンプ		(主)JD-200D (副)D-30-70		
掘削ツール		2-7/8"ドリルパイプ+4-1/4"ケリー		
ドリルカラー		8"	8"	6-1/2"
ビット	荷重(t)	1~3	3~7	3~9
	回転数(rpm)	25~50	25~50	38~85
ポンプ	圧力(kg/cm ²)			
	送泥量(ℓ/min)	700~1,200	700	400~600
掘進率(m/h)		平均13.6	平均10.8	平均1.9
地質		礫、砂、泥、軽石凝灰岩	軽石凝灰岩、安山岩質凝灰岩、凝灰質泥岩、シルト質泥岩	泥岩・頁岩、礫岩・砂岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩・溶岩、細粒~中粒砂岩、粘板岩・チャート
逸泥・湧水		認められず	1,200m以深で極小規模の逸泥が観測された	

(1) 坑井地質

坑井地質は、地表部から27mの段丘堆積物を除けば、深度888mまでが新第三紀の地層で、以深が基盤の松前層群となっている。

深度102mまでは軽石凝灰岩、深度273mまで凝灰質泥岩が卓越した地層。深度273～666mの間は、ほとんどが泥岩あるいは頁岩からなる比較的単調な地層、深度666～711m間は礫岩、砂岩からなる。深度711～888mの間は、石英安山岩質あるいは角閃石安山岩質の凝灰角礫岩を主体とする。深度888～1309m間は松前層群の砂岩を主体とした地層となっている。

表-3 坑井地質層序表

地質時代	一般層序	地層名	層厚 (m)	岩質	
第四紀	更新世	段丘堆積物	27	礫、砂、泥	
新第三紀	中新世	館層	軽石流堆積物	75	軽石凝灰岩
			凝灰質泥岩層	48	安山岩質凝灰岩
				54	凝灰質泥岩
				21	安山岩質凝灰岩
				48	凝灰質泥岩 安山岩質凝灰岩
			江差層	厚沢部層	泥岩・頁岩層
	木古内層				
	古生代	松前層群	大安在川層	45	礫岩・砂岩
			福山層	177	凝灰角礫岩 火山角礫岩・溶岩
			砂岩・粘板岩層	412	細粒～中粒砂岩 粘板岩・チャート

(2) 掘進率

掘進率は坑井地質の変化にほぼ調和しており、凝灰質泥岩部で10～18m/h、礫岩、凝灰角礫岩部で3～5m/h、松前層群で1～2m/hである。

(3) 逸泥・泥水位の変化

本井の掘削中に規模の大きな逸泥は認められなかったが、深度1200m以深では極小規模の逸泥が観測された。また毎朝の泥水位の観察で顕著に水位低下が認められたのが1220m付近で泥水位GL-25.5m、深度1260m時の泥水位GL-37.5mであり、亀裂の存在が推定された。

(4) 物理検層

測定された比抵抗は、全体に地質状況とよく対応しており、自然電位(SP)は比抵抗ログに対応する示徴が認められる。深度888mを、境界として明瞭に比抵抗ログの様子が変化しており地層境界が認められる。深度1030～1085m、1170～1270m間に特に大きな振幅とパレージョンが現れており亀裂の発達した地質と推定される。

温度検層で温度アノマリーが認められる深度1200m以深の各所が比抵抗ログや逸泥状況からも温泉脈と判断される。

表-4 坑井地質・比抵抗対比表

深度 (m)	坑井地質	比抵抗値 (Ω・m)
10～101m	礫、砂、泥、軽石凝灰岩	45～150
101～273m	安山岩質凝灰岩、凝灰質泥岩	8～150
273～666m	シルト質泥岩、凝灰質泥岩、泥岩・頁岩	2～4
666～888m	礫岩・砂岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩・溶岩	2～14
888～1300m	細粒～中粒砂岩、粘板岩・チャート	5～250

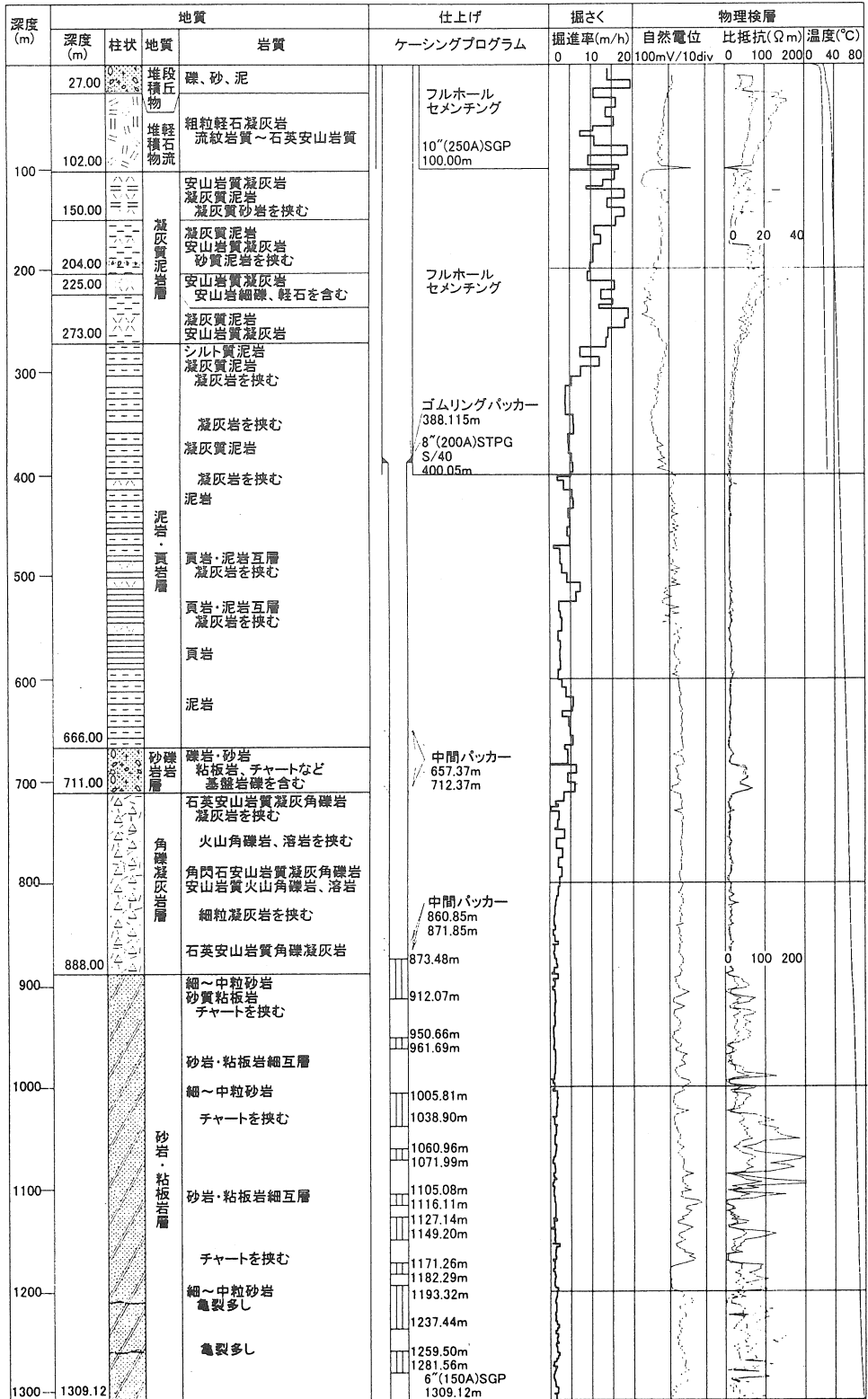


図-4 総合柱状図

坑井仕上げと揚湯試験結果概要

10"SGP(250A)は深度 100.98m、8"STPG(200A)は深度 402.3mまで挿入後、フル-スケールを実施した。6"STPG(150A)設置深度は 388.16~1309.12m間であり、深度 873.48~1281.56m(区間長 408.08m)の適所にストレーナを配置した。

8"STPG と 6"STPG の接続・遮水には回転膨脹式ゴリングパッカを使用し、中間遮水パッカを深度 657.37~871.85m間の 4 カ所に取り付けた。

6"STPG 挿入後、坑内水洗いをおこなったところ、109 ㍓/分の自噴を観測した。その後自噴観測と平行して清水送入による坑内洗浄を繰り返し実施した。自噴量は次第に増加し分析時には自噴量 590 ㍓/分、泉温 69.5℃の結果を得た。

まとめ

既存泉源との比較のために館浦、鳥山、緑井の坑井地質、揚湯試験結果および温泉成分について図と表にまとめた。3井はいずれも類似的であるが、緑井の基盤深度は深度 888 mに認められ、館浦井に比べて 200m程度浅くなっている。これは重力図からも予想されており、掘削地点はいずれも高重力域と低重力域の遷移部に相当する。本地域ではこのような低重力域の周辺部（等重力線の急傾斜部）が基盤岩隆起による割れ目網の発達期待される地域であり、基盤岩を対象とした温泉開発ターゲット地域として有望であるとの指摘がなされていた（地下資源報告 平成2年）。今回の温泉開発の成功は、そこで示された当地域での熱水系の考え方が、強く裏付けられた結果であるとおもわれる。

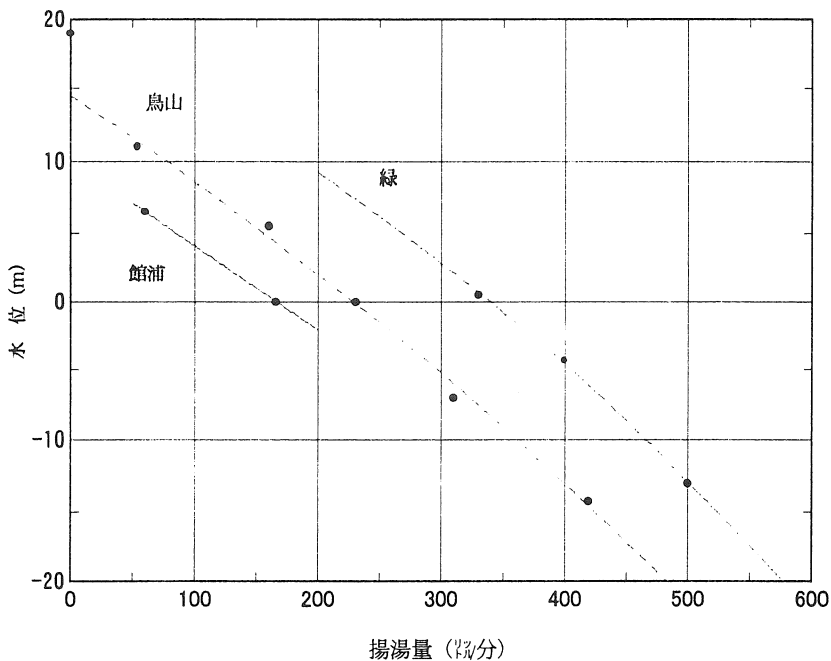


図-5 揚湯特性図

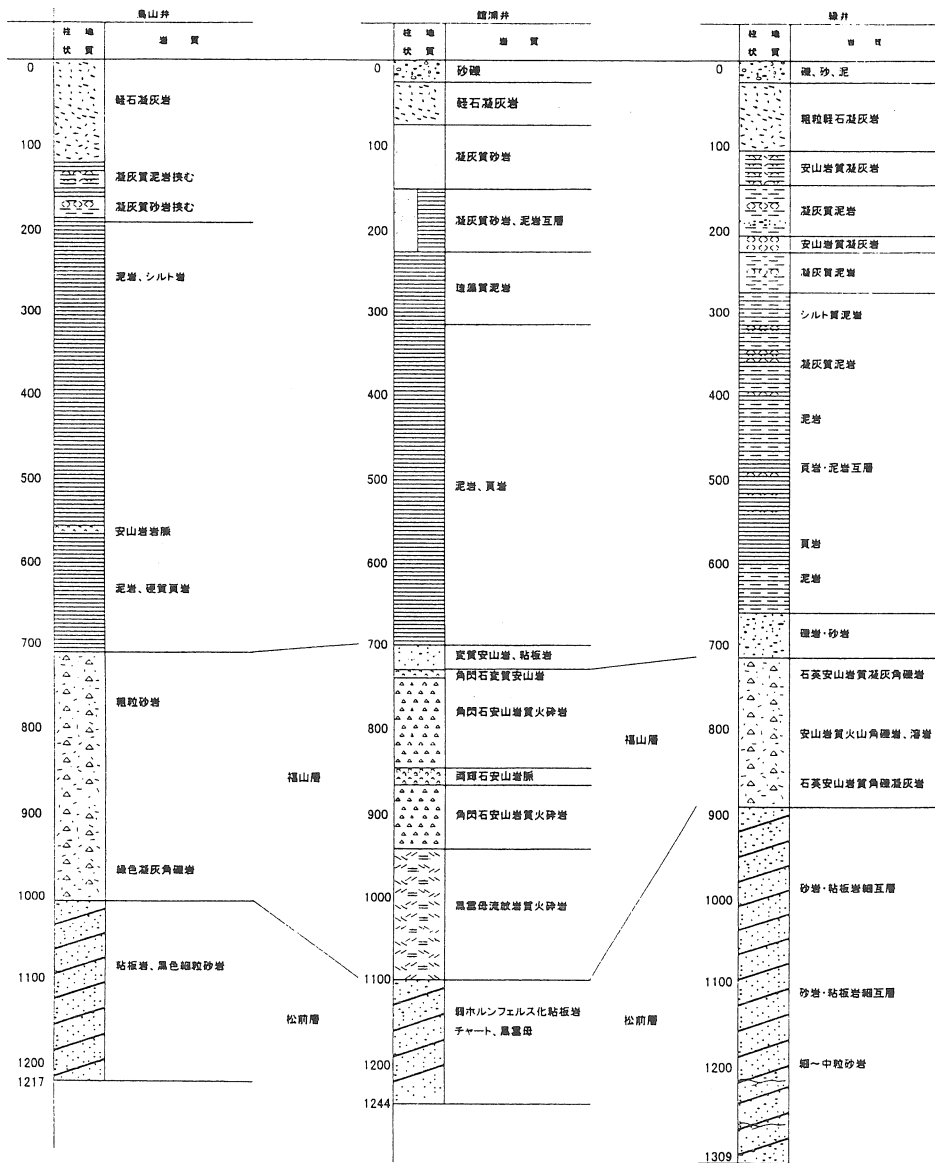


図-6 坑井地質

表-7 温泉成分比較

泉源	深度 (m)	動水位 (m)	湧出量 ℓ/分	泉温 (°C)	pH	TSM (mg/ℓ)	Ca (mg/ℓ)	Mg (mg/ℓ)	Na (mg/ℓ)	K (mg/ℓ)	TFe (mg/ℓ)	
館浦井	1244.0	+1.60	164.4(自動)	67.1	7.7	5166.0	59.1	9.8	1668.0	46.3	4.2	
鳥山井	1216.0	+0.96	230.0(自動)	67.8	7.5	5215.5	81.2	22.2	1627.0	29.8	2.98	
緑井	1309.1	+	590.0(自動)	69.5	7.2	4881.2	57.7	12.6	1629.1	34.5	1.40	
		Cl (mg/ℓ)	HCO3 (mg/ℓ)	SO4 (mg/ℓ)	F (mg/ℓ)	H2O2 (mg/ℓ)	SiO2 (mg/ℓ)	F.CO2 (mg/ℓ)	H2S (mg/ℓ)	CO2ガス (Vol%)	CH4ガス (Vol%)	N2ガス他 (Vol%)
館浦井	979.3	584.4	1939.0	3.46	35.6	49	20.2	0.11	7.37	0.24	92.39	
鳥山井	1209	403.8	1761.2	1.63	46.0	44.7	18.0	0.14	7.13	5.21	87.66	
緑井	867.8	634.6	1945.9	1.4	44.2	40.4	19.8	0.40	6.30	0.60	88.90	

市街地での温泉開発の留意点

近年では、都市中心部の繁華街や商業地などでの開発以外に、住宅地域にある温浴施設での温泉開発の事例も増えてきた。

住宅地では騒音や振動のレベルが都市部と比べて格段に小さく、掘削現場から発生する騒音・振動が近隣住民の生活環境に影響を与え苦情となり、工事進捗に大きな障害が起きることも度々ある。

騒音苦情については数多い現場事例から、対策が比較的容易であり、周辺住民より許容される範囲内に納めクレームを解決できることが多い。しかし「騒音は気にならないが、振動が苦痛である」との指摘は多く、作業時間の短縮や振動の低減が求められる。

振動の規制は振動規制法に定められているが、対象とされる環境振動は、工場・事業所振動、建設作業振動、道路交通振動である。温泉掘削作業（ボーリング工事）は規制法に基づく特定建設作業に該当しないため、その規制基準の適応は受けない。しかし住民からの苦情が行政に持ち込まれ指導がおこなわれる場合には、特定建設作業の基準値が援用されるようである。地方公共団体によっては、特定建設作業以外の作業についても条例等により、規制、指導を行っていることがある。

*振動規制法、騒音規制法による基準（抜粋）

表－８

特定建設作業の種類	
(1) くい打機・くい抜機・くい打くい抜機を使用する作業	(イ) くい打機 (ロ) くい抜機 (ハ) くい打くい抜機
(2) 硬球を使用して建築物その他の工作物を破壊する作業	
(3) 舗装版破砕機を使用する作業	
(4) フレカ（手持式のものを除く）を使用する作業	

表－９

振 動 基 準	振動の大きさ	作業のできない時間		一日における作業時間		同一場所 における 作業時間	日曜日、 休日にお ける作業
		第一号区域	第二号区域	第一号区域	第二号区域		
	特定建設作業の敷地境界線で75デシベルを越えないこと	午後7時から翌日午前7時	午前10時から翌日午前6時	10時間を越えないこと	14時間を越えないこと	連続して6日を越えないこと	禁止

表－10

騒 音 基 準	騒音の大きさ	作業のできない時間		一日における作業時間		同一場所 における 作業時間	日曜日、 休日にお ける作業
		第一号区域	第二号区域	第一号区域	第二号区域		
	特定建設作業の敷地境界線で85デシベルを越えないこと	午後7時から翌日午前7時	午前10時から翌日午前6時	10時間を越えないこと	14時間を越えないこと	連続して6日を越えないこと	禁止

* 建設工事に伴う騒音振動対策技術指針（建設省）の抜粋

1. 総論

第1章 目的

- 1.本指針は、建設工事に伴う騒音、振動の発生をできる限り防止することにより、生活環境の保全と円滑な工事の施工を図ることを目的とする。
- 2.本指針は、建設工事に伴う騒音、振動の防止について、技術的な対策を示すものとする。

第2章 適用範囲

- 1.本指針は、騒音、振動を防止することにより、住民の生活環境を保全する必要があると認められる以下に示す区域におけるすべての建設工事に適用することを原則とする。ただし、災害その他の事由により緊急を要する場合はこの限りではない。
 - (1) 良好な住居の環境を保全するため、特に静穏の保持を必要とする区域
 - (2) 住居の用に供されているため、静穏の保持を必要とする区域
 - (3) 住居の用にあわせて商業、工業等の用に供されている区域であって相当数の住居が集合しているため、騒音、振動の発生を防止する必要がある区域
 - (4) 学校・保育所、病院、診療所、図書館、老人ホーム等の敷地の周囲おおむね80mの区域
 - (5) 家畜飼育場、精密機械工場、電子計算機設置事業場等の施設の周辺等、騒音、振動の影響が予想される区域

第3章 現行法令

- 1.騒音、振動対策の計画、実施にあたっては、公害対策基本法、騒音規制法及び振動規制法について十分理解しておかなければならない。
- 2.地方公共団体によっては、騒音規制法及び振動規制法に定めた特定建設作業以外の作業についても条例等により、規制、指導を行っているので、対象地域における条例等の内容を充分把握しておかなければならない。

第4章 対策の基本事項

- 1.騒音、振動対策の計画、設計、施工にあたっては、施工法、建設機械の騒音、振動の大きさ、発生実態、発生機構等について、十分理解しておかなければならない。
- 2.騒音、振動対策については、騒音、振動の大きさを下げるほか、発生期間を短縮するなど全体的に影響の小さくなるように検討しなければならない。
- 3.建設工事の設計にあたっては、工事現場周辺の立地条件を調査し、全体的に騒音、振動を低減するよう次の事項について検討しなければならない。
 - (1) 低騒音、低振動の施工法の選択
 - (2) 低騒音型建設機械の選択
 - (3) 作業時間帯、作業工程の設定
 - (4) 騒音、振動源となる建設機械の配置

(5) 遮音施設等の設置

4.建設工事の施工にあたっては、設計時に考慮された騒音、振動対策をさらに検討し、確実に実施しなければならない。なお、建設機械の運転についても以下に示す配慮が必要である。

(1) 工事の円滑を図るとともに現場管理等に留意し、不必要な騒音、振動を発生させない。

(2) 建設機械等は、整備不良による騒音、振動が発生しないように点検、整備を十分に行う。

(3) 作業待ち時には、建設機械等のエンジンをできる限り止めるなど騒音、振動を発生させない。

5.建設工事の実施にあたっては、必要に応じ工事の目的、内容等について、事前に地域住民に対して説明を行い、工事の実施に協力を得られるように努めるものとする。

6.騒音、振動対策として施工法、建設機械、作業時間帯を指定する場合には、仕様書に明記しなければならない。

7.騒音、振動対策に要する費用については、適正に積算、計上しなければならない。

8.起業者、施工者は、騒音、振動対策を効果的に実施できるように協力しなければならない。

このような敷地境界線での騒音・振動基準値がクリアされているからといって、周辺住民からの苦情が発生しないというものでもなく、生活環境への影響は可能なかぎり小さくとどめなくてはならない。

温泉ボーリング工事で騒音・振動を発生させる機械は、振動篩、泥水ポンプ、発電機、掘削機械など様々である。

現場敷地内の防音対策が適切におこなわれている場合には、機械そのものから発生する騒音や振動がクレームの原因となることは少ない。殆どが掘削時のビット振動による苦情であり、特に硬質岩や浅部の礫岩層を掘削する時に生じるビットの跳ねや衝撃荷重によって引き起こされる地盤振動が問題となることが多い。

対策の基本事項は先に紹介した技術指針に述べられているとおりであるので、以下では温泉ボーリング工事での実際の振動対策の施工や掘削防振装置について紹介し、現場事例を述べる。

振動、騒音を測定する機器

* 振動レベル計 地盤や床の振動を検出して、人体の振動の感覚特性を考慮した補正をおこなった振動量（振動レベル）を測定する。

* 騒音計 音の大きさの感覚量は音圧レベルだけでは定まらず、周波数補正をおこなって人の感覚に近づけた騒音レベルを測定する。

振動対策

(1) 掘削地点の選定

泉源位置は多くの場合、敷地境界線近傍の端の方に計画される。利用施設での設計の課題は建物や景観が重視され、掘削工事や井戸メンテナンス敷地等についての考慮は小さく、極端な例では、既存住宅の直近隣接部が掘削地点となることさえある。近隣住宅から可能な限り離れた地点での掘削を検討するべきであろう。

(2) 掘削機械の選択

工法	騒音	振動
ロータリスピンドル式	やや小	大
ロータリテーブル式	やや大	やや小（浅部では大）

(3) 工法・装置の選択

- ・ダウンホールモーター 坑底駆動モーター、ビット直上に接続され、泥水の力でビットを回転させ、掘管を回転せずに掘進する。
- ・ショックサブ
(ショックガード、ショックワール) 掘進中のビットに加わる衝撃や振動を吸収する装置で、スプリング式のショックアブソーバーで吸収される。ビット直上部に接続される。
- ・バンパーサブ 上下方向のストロークを有しトルクを伝達する。ドリルカラムの頭部付近に接続される。
- ・コア堀り 大孔径エアハンマー工法が導入される以前は、浅層部の硬質巨礫の掘削では、コア堀りやケーシング堀りでおこなわれていた。

(4) 櫓基礎部での防振対策

- ・杭工事（埋め込み杭） 軟弱地盤では櫓基礎に杭工事をおこない、支持杭で荷重を受け、表層部での振動発生を防止する。
- ・防振ゴム敷き 櫓底面のコンクリート基礎とサブストラクチャー間に防振ゴムを挿入し、振動を低減する。

現場事例

（富山県 深度 1400m 対象地質・礫岩、泥岩）

住宅地域の温浴施設計画地での泉源開発。口元管工事としてパーカッション掘削を行ったところ、近隣住民から振動と騒音について非常に強硬な苦情が発生した。予定よりも浅い深

度で口元工事を終え、ロータリスピンドル工法に切り替えた。工事着手前に防音シート工事、ポンプ原動機エンジン防音工事のうえ掘削をはじめたが、振動・騒音共に苦情があり、行政への相談も発生した。

(対策)

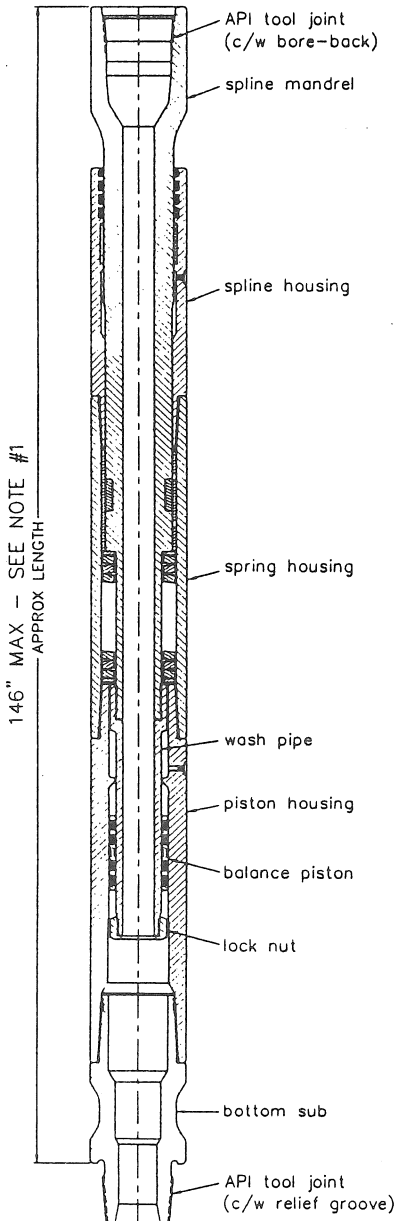
環境計測を実施して敷地境界線での振動・騒音は規制値内であることを証明のうえ、交渉にあたる一方、ショックサブを導入した。掘削を行ったところ相当な振動除去の効果があり、なんとか住民の納得を得て掘削を続けることが出来た。

ショックサブの特徴

- ・内蔵されたディスクスプリングでショックを吸収する
- ・ビット跳ねと衝撃荷重を軽減してビットライフを延ばす。
- ・地上部のツールへのダメージを軽減する。

表-11

SHOCK TOOL Specifications			
技術仕様			
サイズ	単位	6-1/2	8
外径	mm	6.50	8.12
内径	mm	2.00	2.50
スタンダード・ツールジョイント			
トップコネクション、ボックス		NC46 (4"1F) or NC50 (4-1/2"1F)	6-5/8"REG
トップコネクション、ボックス		同上	同上
Box with Float Bore		4-1/2"REG	6-5/8"REG
ボトムピン装着時の全長	(m)	3.82	4.04
ボトムボックス装着時の全長	(m)	3.89	8.25
重量(約)	(kgm)	430	770
張力負荷(AT YIELD)	(x1000daN)	290	4245
最大ねじれ負荷(AT YIELD)	(N-m)	49,500	95,000
ポンプオープンエリア	(cm ²)	108	154
パネ率(平均)	(daN/cm)	7,700	8,400
最大ラベル(圧縮時)	(mm)	93	102
最大ラベル(張力時)	(mm)	55	51
最大負荷(圧縮時、張力時)	(daN)	31,000	33,000



(北海道 深度 600m 対象地質：礫岩、シルト岩)

住宅地域での浴場の水井戸（温泉）工事に着手し、掘削をスタートさせたところ、住民より振動について苦情が発生した。

(対策)

櫓基礎と外周に杭工事(埋め込み杭・鉄管)を行い、H鋼張りの上に櫓全体を載せ、杭に支持させた。再開したらとところ苦情は無くなり、工事を進めることが出来た。

(福井県 深度 1300m 対象地質・花崗閃緑岩)

観光地のホテル予定地での温泉開発。駐車場横の敷地でロータリテーブル式工法にて掘削を開始したところ、住民と隣接のお土産店から“騒音”について苦情が発生した。

(対策)

防音工事（足場組、防音シート張り）を行ったうえ、ロータリピンドル工法に変更して再開した。騒音については理解が得られたが、今度は“振動”増加について苦情が発生した。再びピンドル工法からテーブル式工法に戻して掘削したところ、発生振動についても理解が得られた。

(東京都内 深度 1500m 対象地質：シルト岩、砂礫岩)

工場跡地での温泉開発。跡地周辺は住宅過密化が進み工場は移転している。周辺住民より砂礫岩の掘削で“振動”について苦情が発生した。

(対策)

騒音防止は現場囲りに足場組立のうえ高さ 5.4mの防音シートを張っていたほか、使用電力は買電を利用し原動機は全てモーターを導入した。振動対策として、サブストラクチャーと櫓基礎コンクリートベースの間に普通ゴムシートを挿入していたが効果は薄く、掘進調整にて対応せざるを得なかった。

(茨城県 深度 1500m 対象地質：花崗岩)

町村の保健保養施設建設での温泉掘削工事。硬岩掘削でのピット跳ね、衝撃荷重による地盤振動に対して、県道を挟み約 50m離れた寿司屋から振動について苦情が発生した。

(対策)

当初計画では昼夜 24 時間の掘削予定であったが、夜間の掘削を中止した。その後、振動吸収ツール（ショックガード）を導入して掘削したところ振動が非常に小さくなった。住民と話し合いのうえ試験的に夜間掘削をおこなってみたところ理解が得られ、昼夜掘削が可能となった。

4. 地下資源調査所の試すい探査

北海道立地質研究所 藤本和徳

まえがき

1999年8月、北海道立地下資源調査所は機構改革を行うとともに、名称を北海道立地質研究所に変更した。この機構改革で、ボーリング探査を実施してきた部署は廃止された。ここに、これまでのボーリング事業を振り返り総括するとともに、今後の課題について述べる。

1. 地下資源調査所におけるボーリング事業

当所では、昭和25年に創立された当初から、ボーリング探査を実施してきた。まず、ボーリング探査を担当してきた部署の組織内での変遷をみでみる。発足当初の機構は所長、次長および4系の体制であり、このなかの資源調査係でボーリング探査を実施していた。昭和26年からは技術課・試錐係、昭和37年からは技術部・試すい科、昭和57年からは技術探査部・開発技術科、平成元年からは資源地質部・開発技術科で実施してきた。

これまでにボーリング探査を実施してきた部署に所属した職員は総勢16名である。科(係)内定数は3~5名で推移してきた。最も多い5名体制は昭和50年代およびその前後数年間である。平成に入ってから職員総数の減少に伴い3~4名で対応してきた。

1-1. 対象別ボーリングの推移

地下資源調査所では、昭和25年から平成10年までの49年間に、357坑井、総延長61550mのボーリングを実施した。各年度の掘削坑井数は前半期(昭和25年~昭和48年までの24年間)と後半期(昭和49年~平成2年までの25年間)で大きく別れる。前半期の年間掘削坑井数の平均は12坑井であるが、後半期は3坑井である。これに対して年間掘削深度は、大きな変化が無く、全期間を通して、ほぼ1000mから1500mの間で推移している。

探査の対象は、温泉(蒸気含む)、鉱床(金属・非金属)、天然ガス、石炭、地下水、基盤(ダム基盤)等である。その他に数は少ないが、石油、地盤沈下観測、鉱害対策調査、活断層調査、土壤汚染調査のボーリングも実施している。

掘削坑井数は鉱床が最も多く127坑井、続いて温泉の97坑井である。掘削長でみると温泉の36592mが最も長く、続いて鉱床の11740mである。

前半期の総掘削坑井数は283坑井で、このうち鉱床が122坑井と最も多く43パーセントを占めている。後半期では、総掘削坑井数75坑井のうち、温泉が48坑井と最も多くを占めている。後半期の年間掘削坑井数が少なくなったのは、比較的深度の浅い鉱床など温泉以外の坑井が少なくなったことに起因している。

石炭の探査ボーリングは昭和27年から実施し、昭和38年の猿払村の小石炭鉱が最後である。

この間、砂川市（茶志内炭鉱）、厚岸町（上尾幌炭鉱）、幌加内村（朱鞠内）等の中小炭鉱の可採埋炭量調査を行い、探鉱指針作成に寄与している。

天然ガスのボーリングは、昭和 25～34 年にかけて、岩見沢市を中心に、札幌市、千歳市など石狩低地帯での水溶性天然ガスの開発調査を目的に実施している。深度 100m前後で、100～200m³/日の産出をみたが企業化されるまでにはいかなかった。その後は昭和 39～50 年に遠別町で実施しているほか（後述）、昭和 40 年代には釧路市、長沼町でも探査を行っている。

鉱床の探査ボーリングは、前半期ではほとんど毎年実施している。昭和 40 年代は、貿易の自由化に伴う道内既存鉱山の擁護を主眼とし、盛んに実施された。中でも昭和 41～44 年は、白老鉱山、上国鉱山、本庫鉱山、幌別鉱山などで探査し、年間、延べ 1000m以上のボーリングを行っている。調査の結果、新鉱床や新鉱体を把握したが、大規模な開発には至らなかった。後半期では昭和 53 に千歳鉱山で金、昭和 54 年に大江鉱山で銅・鉛・亜鉛、昭和 63 年に剣淵町で粘土、平成 3 年には勢多鉱山で金の探査を行っている。このうち、勢多鉱山での金の探査は、国の探査を呼び込むきっかけとなっている。

温泉の開発調査ボーリングは全期間を通して実施している。掘削数は、前半期と後半期でほぼ同数の 49 と 48 坑井であるが、1坑井あたりの平均掘削深度は 157mと 602mと大きく異なる。年度別に平均掘削深度をみると、前半期では 150～200mで推移しているが、昭和 48 年度から深くなり始め、昭和 59 年度でほぼ 1000mに達している。それぞれの年度は設備を大型化した時期に対応している。

1-2. 「試すい探査」事業

北海道立地質研究所では地下資源調査所時代から調査対象別に様々な事業を実施している。このなかで、ボーリング探査は多数の事業の中で実施してきたが、最も多くのボーリングは「試すい探査」という事業で実施してきた。この他、例えば「金属・非金属鉱床調査」、「天然ガス開発調査」、「地熱開発調査」あるいは「地盤調査」などの事業のなかでも実施してきた。

「試すい探査」は、当所設立 2 年後の昭和 27 年から開始され、平成 10 年までの 47 年間と長寿の事業であった。この事業は依頼を受けて実施するものであり、予算の形態が他の事業と異なっている。多くの事業は 100%が道の経費であるが、「試すい探査」は依頼者から条例で定めた額を道に納めてもらい、これと同額を道が予算化するため、50%は道の経費であるが、50%は依頼者の経費である。たとえば、平成 10 年度に弟子屈町川湯温泉で実施した 1000mの温泉ボーリングをみると、町で支出した経費は、条例に定められた 1,783 万円と実費の 2,097 万円をあわせて 3,880 万円、道で負担した経費は条例で定められた額と同額の 1,783 万円であり、総事業費は 5,663 万円であった。

「試すい探査」では、総計 274 坑井、47136mの掘削を行った。対象別にみると、前半期は掘削した 235 坑井のうち、鉱床が 109 坑井と全体の 46%を占めている。後半期は掘削した 39 坑井のうち、鉱床、天然ガス、地下水がそれぞれ 1 坑井であり、残りの 36 坑井が温泉であった。

本事業の設立当初の主目的は、道が経費の半額を負担することで、中小鉱山の探鉱ボーリングを奨励・促進することであった。ところが、探査の対象主体が鉱床から温泉へと移行していくな

か、事業の考え方も温泉ボーリングに対するものが主体となっていった。温泉ボーリングにおける地域の選定にあたっては、温泉の胚胎を明らかにするうえで、①可能性はあるがリスクを伴う地域（処女地）、②坑井は多数あるがデータが少なく未解明な地域などを検討の材料とした。

1-3. 「試すい探査」以外の事業

「試すい探査」以外の事業では、総計 84 坑井、14414mの掘削を行った。対象別にみると、石炭と基盤は少ないが、温泉、鉱床、天然ガス、地下水のいずれも 10 坑井以上の掘削を行っている。特に、天然ガスでは唯一、坑井数、掘削深度ともに「試すい探査」を上回っている。温泉に関しては、上川町、羅臼町、熊石町の「地熱調査」と、札幌の当所敷地内で実施した「都市型熱水利用調査」である。年代別にみると、昭和 61 年以降少なくなっている。これは、ボーリングに携わる職員数や予算の減少もあるが、ボーリングを伴うプロジェクト事業を設定しなかった担当職員ならびに体制にも一因があったと考える。

以下に、ボーリングが大きな位置を占めたプロジェクト事業について、簡単に紹介する。

（白水沢の地熱）

上川町白水沢では、昭和 43、44、45 に「地熱調査」で HGS-1、-2、-3 と 3 坑井を掘削した。HGS-3 では、HGS-1 で確認した深度 131m の 2t/h、102°C の蒸気脈の深部を目標とし、数 100m 離れた地点で深度 270m まで掘削し、23t/時、148°C の蒸気の噴出をみた。報告書によると「9 月 7 日メインバルブを開放と同時に高さ 30m まで熱水を吹き上げ、約 5 分後には加熱蒸気となった。」と当時の様子が記載されている。本坑井の利用に関しては、国立公園内の問題により地熱発電の計画を見送り、熱水を利用するべく検討を加えた。しかし、熱水を造成するために必要とする水の確保（水利権）が大きな問題となり未利用のまま現在に至っている。

（遠別町の天然ガス）

遠別町旭では歌越別背斜の軸部で天然ガスを対象に 6 本の坑井を掘削した。昭和 39、40 年の E-1 と E-2 は「試すい探査」で実施し、昭和 47~50 年に掘削した E-3、-4、-5、-6 の 4 坑井は、「天然ガス調査」で実施した。本地域の天然ガスは非常に高压であり、いずれの坑井も深度 200 から 400m で泥水比重を 1.8 程度にする必要があり、逸泥と溢泥を頻繁に繰り返し困難を極めた。E-6 では、深度 220m まで 8 インチ SGP、深度 314m まで 6 インチ STPG、深度 360m まで 5 インチ STPG を挿入し掘り進んだが、深度 370m で全量逸泥の後、暴噴に逢い 360m 以深裸孔のまま坑口装置を設置した。ガス量は、坑口圧 10kg/cm² で 2800m³/日とこれまでで最も大量であった。これらの坑井から噴出するガスは、旭温泉の燃料として現在も利用されている。使用設備は昭和 48 年の E-4 で HLL（利根製マシン）を導入、昭和 50 年の E-6 で D-100（セキサク製ポンプ）を導入し、設備が 1 ランク大型となった。

（羅臼の地熱）

羅臼町湯の沢では、昭和 51、53 年と「試すい探査」で、昭和 54~56 年は「地熱調査」で坑井を掘削した。昭和 56 年は浅部探査を目的に 4 坑井を、それ以外の年は毎年 1 坑井を掘削した。昭和 54 年井は当初 500m の計画で掘削したが、深度 58m で暴噴に逢い、結果的には 13t/時、106°C の蒸気と 700 ㍈/分、98°C の熱水の噴出をみた。この大量の熱水と蒸気の噴出が、現在の羅臼温泉

ならびに市街地での温泉熱利用の端緒となった。昭和 55 年井では、ダイナドリルによる初の方位傾斜掘りを行った。この他、高温対策として BH 泥水、地熱用セメントを取り入れた。

(所敷地内の温泉)

昭和 57 年～60 年までに、当所敷地内で、温泉の胚胎ならびに地質構造の把握を目的に調査井、生産井、還元井の 3 坑井を掘削した。これは札幌などの都市部における地熱水の開発・利用を意識して実施した事業である。生産井の掘削深度は 600m であり、537m 以深にスクリーンを配置し、430 ㍓/分、35.5℃の温泉の湧出を見た。札幌市の市街地における温泉のなかでは初期に位置するものである。その後これらの 3 坑井は、生産井から揚湯した温泉を融雪実験に使い、還元井に還元し、調査井で水位を観測する実験などを行った。現在は冬期間に揚湯して倉庫の暖房・融雪に利用している。

1-4. 技術のレベルアップとその普及

地下資源調査所が果たしてきた技術的役割りについて述べる。新しい工法や機器などを早期に導入し、その利点・欠点を明らかにし、それらの普及に努めた。普及の方法としては、試錐研究会での発表や所報告への掲載が定期的なものとしてあげられるほか、現地での見学会や新人の研修受け入れなどでも対応してきた。

試錐研究会は、開催についての企画、運営など全般にたずさわってきた。第 1 回試錐研究会は昭和 39 年に実施し、以降毎年実施している。年に一回の開催であるが、昭和 52 年に二回（一回は例年の時期、一回は 9 月に神恵内村現場検討会）実施している。

具体的な技術課題の取り組みについて、いくつか述べることにする。

当初～昭和 40 年代にかけては、泥水とその技術の普及に努めた。泥水の機能やその管理技術についての情報の提供は、前半期の大きなテーマであり、昭和 48 年までに実施した 10 回の試錐研究会の中で 9 度講演されている。一般に使用されている泥水以外で、実際に現場で使用した泥水としては、高圧対策として高比重泥水、高温対策として BH 泥水、市街地での汚染防止も考慮した K ポリマー泥水などがあげられる。

昭和 41 年に歌登本庫鉱山で行った銅・鉛・亜鉛の鉱床調査において、始めてワイヤーライン工法を採用した。この工法の採用により能率が著しく向上した。普及のため、工法の概要と問題点をいち早く報告書に掲載したほか、検討・討論会を開催している。この他の特殊工法としては、ダイナドリル、ハンマードリルも用いており、試錐研究会で紹介している。

メーカーで機器類を開発する際に、実際に試錐を経験しているものの声として、現場で求めているもの、使いやすさ、安全性などを提案し採用してもらった。(株)利根のボーリングマシン「HLL」、(株)セキサクのツールズ脱着装置「スーパーアームロボ」等がある。

計測は昭和 50 年代中期に実施した泥水の送・排泥温の連続記録から始まっており、後半期の大きなテーマである。その後トルクや掘進率等の計測を行い、連続して客観的なデータを採取することが坑井内を把握するうえで大きな武器となることを実感した。平成 5 年からはパソコンを組み込み、結果をリアルタイムに画面に表示する方法や保存する方法に取り組み、ほぼシステムを確立している。

2. 地質研究所におけるボーリング事業

ボーリングを用いた調査、およびその技術に関する研究を課題としてきた開発技術科は平成 11 年 7 月 31 日で廃止され、8 月 1 日より坑井に関しての調査研究を主な課題とする技術情報科が誕生した。当所で直接ボーリングを実施する事業は無くなったが、今後、掘削（開発）、揚湯・揚水（利用）、坑井障害（管理）など坑井に関連する事業を行っていく。

現在実施している事業のなかでは、「温泉ボーリング技術の地下地域特性」に関する情報の収集・解析・まとめを行っている。温泉を開発する場合、まず、その地域の温泉賦存の可能性や地下地質などを検討する。当所では、これに答える情報を多数提供してきており、これは評価できることと自負している。ところが、全道の温泉資源を掘削の観点でまとめたものは、道の市町村振興補助金が交付された坑井について整理した「北海道の地熱・温泉ボーリング（S55～H5）」があるにすぎない。この報告書は柱状図、揚湯結果、分析結果をコンパクトにまとめており、掘削上の留意点は備考欄に若干述べられている。現在実施している事業は、掘削上の留意点、すなわち、逸泥、崩壊、高圧地下水、抑留、掘進率などを中心としてまとめ、さらに地下地質との関係を明らかにするものである。

その他、来年度は「揚湯温度に関する研究」も実施する。具体的には、水中モーターポンプの設置深度の違いによる揚湯温度、樹脂系揚湯パイプの保温効果などの試験を行う予定である。また、この試験のなかでは、揚湯能力の季節変動も明らかにし、効率的な坑井の利用、管理についても考察する予定である。

近い将来における課題としては、温泉源として利用している坑井において、揚湯量の減少や温度の低下など、坑井の障害に関する研究が考えられる。具体的には、①現況を正確に把握するための研究、②原因追及のための研究、③効果的な対策方法の研究等が考えられる。昨年、ある町村で、温泉成分による腐食が原因でケーシングの一部が破損する事故が発生した。幸い大事には至らなかった。ケーシングや揚湯機器類の材質の違いによる腐食を明らかにするため、揚湯管に炭素鋼、ステンレス鋼などのテストピースを取り付け、経過を観測することとした。これは、一部、事業を先取りした調査である。

あとがき

地質研究所では、これからも坑井に関することの全般に取り組んでいくつもりであります。また、坑井の発注者、受注者、利用者からの問い合わせに関しても積極的に情報を提供していくつもりであります。最後に、皆様からの情報の提供、課題の提案等を歓迎しておりますので、よろしく願いいたします。

(前半期と後半期)

対象別掘削坑井数

	温 泉	鉱 床	天然ガス	石 炭	地下水	基 盤	その他	合 計
S25～S48	49	122	28	29	33	20	2	283
S49～H10	48	5	3	0	6	2	11	75
合 計	97	127	31	29	39	22	13	358

対象別掘削坑井深度

	温 泉	鉱 床	天然ガス	石 炭	地下水	基 盤	その他	合 計
S25～S48	7679	10758	4513	3077	2003	469	302	28801
S49～H10	28913	982	1677	0	711	181	285	32749
合 計	36592	11740	6190	3077	2714	650	587	61550

(試すい探査とそれ以外の調査)

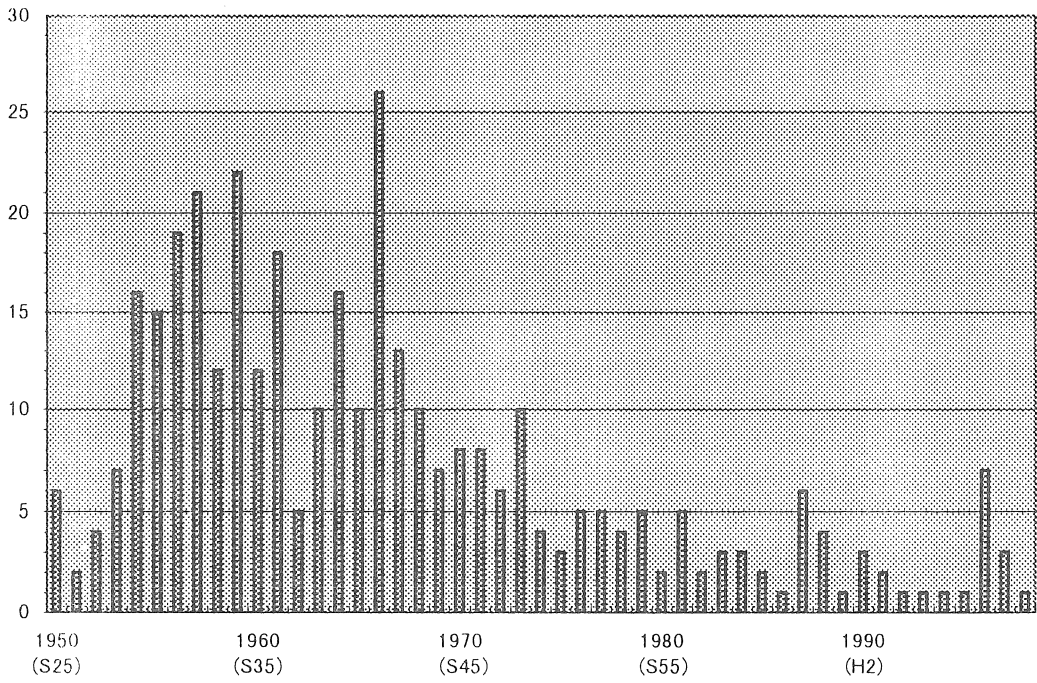
対象別掘削坑井数

	温 泉	鉱 床	天然ガス	石 炭	地下水	基 盤	その他	合 計
試すい探査	79	110	13	27	28	16	1	274
試すい探査以外	18	17	18	2	11	6	12	84
合 計	97	127	31	29	39	22	13	358

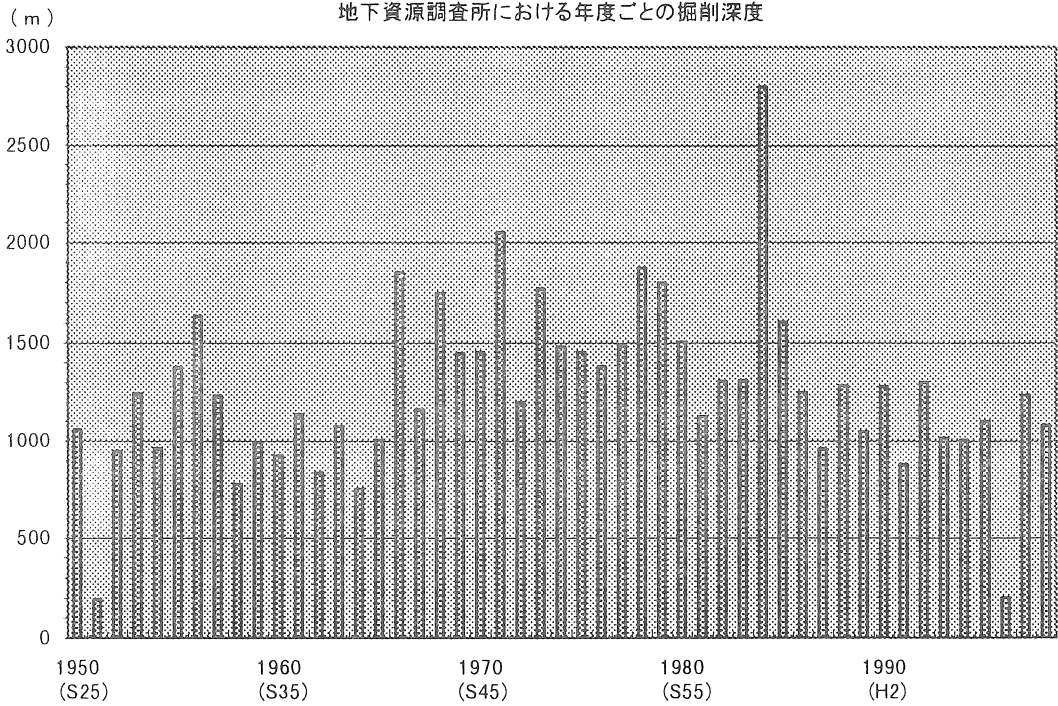
対象別掘削坑井深度

	温 泉	鉱 床	天然ガス	石 炭	地下水	基 盤	その他	合 計
試すい探査	32607	8393	1277	2569	1690	380	220	47136
試すい探査以外	3985	3347	4913	508	1024	270	367	14414
合 計	36592	11740	6190	3077	2714	650	587	61550

地下資源調査所における年度ごとの掘削坑井数



地下資源調査所における年度ごとの掘削深度



地下資源調査所が実施したボーリング調査

年度	市町村名	地域名	坑井名	掘削深度	掘削対象	
1950 (S25)	当別町			200	天然ガス	
	長沼町			200	天然ガス	
	幌別村			180	硫黄	
	鹿部町	精進川鉱山		73	硫黄	
	札幌市	手稲鉱山		385	金銀銅	
	幕別町	札内温泉		20	温泉	
1951 (S26)	岩見沢市	幌向		145	天然ガス	
	岩見沢市	幌向		48	天然ガス	
1952 (S27)	岩見沢市	御茶ノ水	天然ガス1号	305	天然ガス	
	砂川町	茶志内炭鉱		299	石炭	
	砂川町		砂川試錐2号	209	石炭	
	幕別町	札内温泉		134	温泉	
1953 (S28)	岩見沢市	上幌向西川向	天然ガス2号	312	天然ガス	
	札幌市	東米里	天然ガス3号	303	天然ガス	
	砂川町	豊沼付近	砂川試錐3号	395	石炭	
	白老村	白老鉱山	1号	40	硫黄	
	白老村	白老鉱山	2号	25	硫黄	
	白老村	白老鉱山	3号	32	硫黄	
	幕別町	札内温泉		137	温泉	
	1954 (S29)	岩見沢市	上幌向市街地	天然ガス4号	61	天然ガス
岩見沢市		上幌向市街地	天然ガス5号	95	天然ガス	
千歳町		長都	天然ガス6号	503	天然ガス	
遠軽町		奥瀬戸瀬		106	温泉	
今金町		美利河鉱山		45	マンガン	
今金町		美利河鉱山		15	マンガン	
今金町		美利河鉱山		31	マンガン	
今金町		美利河鉱山		37	マンガン	
今金町		美利河鉱山		34	マンガン	
今金町		美利河鉱山		27	マンガン	
今金町		美利河鉱山		26	マンガン	
豊平町		豊羽鉱山	第1号	252	鉛亜鉛	
岩内町			町上水道泉源	99	地下水	
西足寄町				36	地下水	
森町		島崎川		6	ダム基盤	
森町		島崎川		6	ダム基盤	
1955 (S30)		豊平町	豊羽鉱山	第2号	126	鉛亜鉛
		豊平町	豊羽鉱山	第3号	200	鉛亜鉛
		芦別市	油谷炭鉱		194	石炭
	蘭越町	昆布		200 ※1	温泉	
	苫小牧市	錦岡		101	温泉	
	岩内町	漁業協同組合		104	地下水	
	江別市	北日本製紙		212	地下水	
	訓子府町	豊坂		延べ 138	地下水	
	訓子府町	緑丘			地下水	
	月形町	豊丘		延べ 15	基盤	
	月形町	豊丘			基盤	
	月形町	豊丘			基盤	
	今金町	神岡		延べ 88	基盤	
	今金町	神岡			基盤	
今金町	神岡			基盤		
1956 (S31)	共和村	国富		42	銅鉛亜鉛	
	尾札部村	古部鉱山		85 ※2	硫黄	
	厚岸町	上尾幌炭鉱	1号孔	96	石炭	
	厚岸町	上尾幌炭鉱	2号孔	23	石炭	
	厚岸町	上尾幌炭鉱	3号孔	18	石炭	
	厚岸町	上尾幌炭鉱	4号孔	38	石炭	
	猿払村	小石藤田炭鉱	1号孔	97	石炭	
	猿払村	小石藤田炭鉱	2号孔	120	石炭	

	厚真村	宇久留		220		石油
	岩見沢市	幌向	天然ガス7号	96		天然ガス
	小樽市	朝里		370		温泉
	蘭越町	昆布		93	※1 293	温泉
	訓子府町	協成		72		地下水
	札幌市	大谷地	1号孔	53		地下水
	札幌市	大谷地	2号孔	48		地下水
	札幌市	白石南郷		102		地下水
	朝日村	岩尾内		延べ 60		基盤
	朝日村	岩尾内				基盤
	朝日村	岩尾内				基盤
1957 (S32)	札幌市	真駒内		35		地下水
	広島村	輪厚		41		地下水
	厚岸町	上尾幌炭鉱	5号孔	73		石炭
	厚岸町	上尾幌炭鉱	6号孔	26		石炭
	厚岸町	上尾幌炭鉱	7号孔	118		石炭
	厚岸町	上尾幌炭鉱	8号孔	40		石炭
	釧路村	東釧路炭鉱	1号孔	81		石炭
	釧路村	東釧路炭鉱	2号孔	72		石炭
	釧路村	東釧路炭鉱	3号孔	32		石炭
	釧路村	東釧路炭鉱	4号孔	46		石炭
	釧路村	東別保炭鉱	1号孔	38		石炭
	釧路村	東別保炭鉱	2号孔	14		石炭
	釧路村	東別保炭鉱	3号孔	62		石炭
	岩見沢市	幌向	天然ガス8号	100		天然ガス
	尾札部村	古部鉱山		115	※2 200	硫黄
	富良野町	富良野鉱山	1号孔	50		銅
	富良野町	富良野鉱山	2号孔	23		銅
	富良野町	富良野鉱山	3号孔	47		銅
	富良野町	富良野鉱山	4号孔	40		銅
	歌登村	今井本庫鉱山		75		銅鉛亜鉛
	上ノ国村	桂岡鉱山		105	※3	磁鉄鉱
1958 (S33)	上ノ国村	桂岡鉱山		50	※3 155	磁鉄鉱
	芦別市	高根炭鉱		263		石炭
	岩見沢市	幌向	天然ガス9号	90		天然ガス
	上ノ国村	今井石崎鉱山		108		マンガン
	余市町	余市川上流		25		ダム基盤
	余市町	余市川上流		40		ダム基盤
	余市町	余市川上流		40		ダム基盤
	余市町	余市川上流		30		ダム基盤
	余市町	余市川上流		30		ダム基盤
	余市町	余市川上流		35		ダム基盤
	余市町	余市川上流		30		ダム基盤
	余市町	余市川上流		35		ダム基盤
1959 (S34)	幌加内村	朱鞠内	1号孔	88		石炭
	幌加内村	朱鞠内	2号孔	85		石炭
	幌加内村	朱鞠内	3号孔	50		石炭
	幌加内村	朱鞠内	4号孔	110		石炭
	幌加内村	朱鞠内	5号孔	107		石炭
	幌加内村	朱鞠内	6号孔	83		石炭
	岩見沢市	幌向	天然ガス10号	91		天然ガス
	歌登村	今井本庫鉱山	1号孔	45		銅鉛亜鉛
	歌登村	今井本庫鉱山	2号孔	35		銅鉛亜鉛
	歌登村	今井本庫鉱山	3号孔	40		銅鉛亜鉛
	歌登村	今井本庫鉱山	4号孔	20		銅鉛亜鉛
	留萌市	樽真布		延べ 98		地下水・ダム基盤
	留萌市	樽真布				地下水・ダム基盤
	留萌市	樽真布				地下水・ダム基盤
	留萌市	樽真布				地下水・ダム基盤
	留萌市	樽真布				地下水・ダム基盤
	留萌市	樽真布				地下水・ダム基盤

	留萌市	樺真布				地下水・ダム基盤
	留萌市	樺真布				地下水・ダム基盤
	留萌市	樺真布				地下水・ダム基盤
	留萌市	樺真布				地下水・ダム基盤
	美瑛町	白金	白金温泉4号井	141		温泉
1960 (S35)	美瑛町	白金	白金温泉5号井	216		温泉
	苫小牧市	勇弘	市上水道泉源	196		地下水
	幌別町	カルルス	民間泉源	124		温泉
	幌別町	カルルス	町泉源	60		温泉
	美唄市		工業用水調査井	延べ 120		地下水
	美唄市		工業用水調査井			地下水
	美唄市		工業用水調査井			地下水
	美唄市		工業用水調査井			地下水
	豊浦町	大岸鉦山	1号孔	65		銅鉛亜鉛
	豊浦町	大岸鉦山	2号孔	32		銅鉛亜鉛
	新冠町	奥新冠		60		石灰岩
	新冠町	奥新冠		50		石灰岩
1961 (S36)	登別町	カルルス	民間泉源	102		温泉
	釧路市	昼ヶ浦	工業用水調査井	150		地下水
	阿寒町	阿寒湖畔		56		温泉
	今金町	美利河鉦山		延べ 358		マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	今金町	美利河鉦山				マンガン
	豊浦町	大岸鉦山	3号孔	68		銅鉛亜鉛
	豊浦町	大岸鉦山	4号孔	66		銅鉛亜鉛
	鹿追町	然別湖畔		135		温泉
	美幌町	豊岡		200		天然ガス
1962 (S37)	釧路市	大栗毛	工業用水3号	151		地下水
	鹿追町	然別湖畔		200		温泉
	泊村	興志内	潮香荘1号井	220		温泉
	泊村	興志内	潮香荘2号井	233		温泉
	札幌市	庁舎構内		30		地下水
1963 (S38)	釧路市	大栗毛	工業用水4号	166		地下水
	津別町	中里	1号井	28		温泉
	津別町	中里	2号井	200		温泉
	津別町	中里	3号井	17		温泉
	猿払村	北沢小石炭鉦		200		石炭
	室蘭市	石川町		42		地下水
	大滝村	御園鉦山	1号井	98		銅鉛亜鉛
	大滝村	御園鉦山	2号孔	107		銅鉛亜鉛
	大滝村	御園鉦山	3号孔	85		銅鉛亜鉛
	大滝村	御園鉦山	4号孔	131		銅鉛亜鉛
1964 (S39)	寿都町	湯別		167		温泉
	枝幸町	北幸鉦山	1号孔	25		石灰岩
	枝幸町	北幸鉦山	2号孔	28		石灰岩
	枝幸町	北幸鉦山	3号孔	32		石灰岩
	枝幸町	北幸鉦山	4号孔	47		石灰岩
	枝幸町	北幸鉦山	5号孔	16		石灰岩
	枝幸町	北幸鉦山	6号孔	12		石灰岩
	北見市	相内鉦山	1号孔	延べ 165		石灰岩
	北見市	相内鉦山	2号孔			石灰岩
	北見市	相内鉦山	3号孔			石灰岩
	北見市	相内鉦山	4号孔			石灰岩

	北見市	相内鉱山	5号孔			石灰岩
	北見市	相内鉱山	6号孔			石灰岩
	北見市	相内鉱山	7号孔			石灰岩
	北見市	相内鉱山	8号孔			石灰岩
	遠別町	旭	E-1	260		天然ガス
1965 (S40)	釧路市	愛国		40		天然ガス
	釧路市	愛国		54		天然ガス
	釧路市	愛国		33		天然ガス
	釧路市	愛国		32		天然ガス
	釧路市	愛国		39		天然ガス
	泊村	茂岩		227		温泉
	八雲町	八雲鉱山		100		マンガン
	白老町	南白老鉱山	1号孔	100		重晶石
	遠別町	旭	E-2	278		天然ガス
	厚沢部町	館		100		重晶石
1966 (S41)	釧路市	愛国		延べ 140		天然ガス
	釧路市	愛国				天然ガス
	釧路市	愛国				天然ガス
	奥尻町	幌内		100		温泉
	奥尻町	幌内		50		温泉
	白老町	南白老鉱山	2号孔	30		重晶石
	白老町	南白老鉱山	3号孔	37		重晶石
	白老町	南白老鉱山	4号孔	52		重晶石
	白老町	南白老鉱山	5号孔	32		重晶石
	白老町	南白老鉱山	6号孔	20		重晶石
	白老町	南白老鉱山	7号孔	14		重晶石
	白老町	南白老鉱山	8号孔	14		重晶石
	白老町	南白老鉱山	9号孔	13		重晶石
	白老町	南白老鉱山	10号孔	17		重晶石
	白老町	南白老鉱山	11号孔	14		重晶石
	白老町	南白老鉱山	12号孔	71		重晶石
	白老町	南白老鉱山	13号孔	23		重晶石
	上ノ国村	上国鉱山		150		銅鉛亜鉛
	上ノ国村	上国鉱山		100		銅鉛亜鉛
	上ノ国村	上国鉱山		100		銅鉛亜鉛
	上ノ国村	上国鉱山		100		銅鉛亜鉛
	上ノ国村	上国鉱山		50		銅鉛亜鉛
	歌登町	本庫鉱山		延べ 721		銅鉛亜鉛
	歌登町	本庫鉱山				銅鉛亜鉛
	歌登町	本庫鉱山				銅鉛亜鉛
	歌登町	本庫鉱山				銅鉛亜鉛
1967 (S42)	幌別町	幌別鉱山	1号孔	延べ 250		銅鉛亜鉛
	幌別町	幌別鉱山	2号孔			銅鉛亜鉛
	幌別町	幌別鉱山	3号孔	202		銅鉛亜鉛
	白老町	南白老鉱山	14号孔	40		重晶石
	白老町	南白老鉱山	15号孔	44		重晶石
	白老町	南白老鉱山	16号孔	55		重晶石
	白老町	南白老鉱山		200		重晶石
	歌登町	本庫鉱山		250		銅鉛亜鉛
	島牧村	千走温泉		10		温泉
	島牧村	千走温泉		13		温泉
	島牧村	千走温泉		23		温泉
	島牧村	泊川上流		23		温泉
	仁木町	大江鉱山	1号孔	300		マンガン
1968 (S43)	幌別町	幌別鉱山		116		金銀銅
	幌別町	幌別鉱山		187		金銀銅
	上土幌町	勢多鉱山		100		カオリン
	上川町	白水沢	HGS-1	140		温泉
	上川町	白水沢	ニゴリ沢1	150	※4	温泉
	上川町	白水沢	ニゴリ沢2	78		温泉
	泊村	茂岩	茂岩3号	300		温泉

	仁木町	大江鉱山	2号孔	300		マンガ
	紋別町	竜昇殿鉱山	1号孔	250		水銀
	紋別町	竜昇殿鉱山	2号孔	126		水銀
1969 (S44)	紋別町	竜昇殿鉱山	3号孔	273		水銀
	幌別町	幌別鉱山		110		金銀銅
	幌別町	幌別鉱山		192		金銀銅
	上ノ国村	上国鉱山		504		マンガ
	熊石町	平田内	1号井	68		温泉
	上川町	白水沢	HGS-2	268		温泉
	南幌町	晩翠		29		地盤
1970 (S45)	紋別町	竜昇殿鉱山	4号孔	222		水銀
	留辺蘂町	イトムカ鉱山	1号孔	191		水銀
	留辺蘂町	イトムカ鉱山	2号孔	200		水銀
	赤井川村	轟鉱山		255		金銀
	上川町	白水沢	HGS-3	270		温泉
	上川町	白水沢	ニゴリ沢1	120	※4 270	温泉
	熊石町	平田内	2号井	51		温泉
	島牧村	千走河口	1号井	141		温泉
1971 (S46)	神恵内村			570		温泉
	長沼町			100		天然ガス
	島牧村	千走	S46-1	14		温泉
	島牧村	千走	S46-2	37		温泉
	紋別町	竜昇殿鉱山		353		水銀
	赤井川村	轟鉱山		502		金
	上川町	白水沢	ニゴリ沢3	364		温泉
	新得町			110		地下水
1972 (S47)	赤井川村	轟鉱山		332		金
	遠別町	旭	E-3	301		天然ガス
	上川町	高原温泉		126		温泉
	上川町	ヤンベタツ		255		温泉
	厚沢部町	上里		103		温泉
	札幌市	屯田		82		地盤沈下
1973 (S48)	上土幌町	勢多鉱山	2号孔	17		カオリン
	上土幌町	勢多鉱山	3号孔	13		カオリン
	上土幌町	勢多鉱山	4号孔	75		カオリン
	上土幌町	勢多鉱山	5号孔	20		カオリン
	上土幌町	勢多鉱山	6号孔	30		カオリン
	上土幌町	勢多鉱山	7号孔	9		カオリン
	遠別町	旭	E-4	487		天然ガス
	江差町			600		温泉
	上ノ国町			170		温泉
	ニセコ町	曾我		348		温泉
1974 (S49)	八雲町			205		温泉
	今金町	種川		387		温泉
	知内町	湯の里		400		温泉
	遠別町	旭	E-5	487		天然ガス
1975 (S50)	白糠町	大苗		350		温泉
	共和町			731		温泉
	遠別町	旭	E-6	370		天然ガス
1976 (S51)	札幌市	手稲山口		35		地盤
	札幌市	手稲山口		146		地盤
	羅臼町	羅臼温泉		192		温泉
	大成町	貝取瀨		504		温泉
	熊石町	平田内		504	※5	温泉
1977 (S52)	熊石町	平田内		530	※5 1034	温泉
	神恵内村			805		温泉
	壮瞥町	幌別鉱山		延べ 150		鉱害対策
	壮瞥町	幌別鉱山				鉱害対策
	壮瞥町	幌別鉱山				鉱害対策
1978 (S53)	羅臼町	羅臼温泉		800		温泉
	今金町	田代		360		温泉

	今金町	田代		212		温泉
	千歳市	千歳鉱山		500		金
1979 (S54)	羅白町	羅白温泉		58		温泉
	清里町	羽衣		1017		温泉
	上富良野町	吹上		333		温泉
	羽幌町	天売島		40		地下水
	仁木町	大江鉱山		350		銅鉛亜鉛マンガン
1980 (S55)	羅白町	羅白温泉		781		温泉
	弟子屈町	湯の島		720		温泉
1981 (S56)	羅白町	羅白温泉	A井	80		温泉
	羅白町	羅白温泉	B井	79		温泉
	羅白町	羅白温泉	D井	63		温泉
	羅白町	羅白温泉	E井	84		温泉
	幌延町	上幌延		820		天然ガス
1982 (S57)	熊石町	平田内		800		温泉
	札幌市	庁舎構内	調査井	508	※6	温泉
1983 (S58)	女満別町			100		地下水
	阿寒町	阿寒湖畔		1061		温泉
	札幌市	庁舎構内	調査井	149	※6 657	温泉
1984 (S59)	札幌市	庁舎構内	生産井	600		温泉
	浜益村	実田村		1200		温泉
	壮瞥町	滝之町		1002		温泉
1985 (S60)	虻田町	洞爺湖温泉		1202		温泉
	札幌市	庁舎構内	還元井	400		温泉
1986 (S61)	瀬棚町	市街地		1250	※7	温泉
1987 (S62)	瀬棚町	市街地		240	※7 1490	温泉
	虻田町	洞爺湖温泉	H1	63		温泉
	虻田町	洞爺湖温泉	H2	155		温泉
	虻田町	洞爺湖温泉	H3	146		温泉
	虻田町	洞爺湖温泉	H4	203		温泉
	虻田町	洞爺湖温泉	W1	153		温泉
1988 (S63)	弟子屈町	原野		1030		温泉
	剣淵町			22		粘土
	剣淵町			30		粘土
	釧路市			200		地下水
1989 (S64)	清里町	札弦		1048		温泉
1990 (H 2)	真狩村	緑岡		1012		温泉
	石狩町	石狩湾新港		81		地下水
	石狩町	石狩湾新港		188		地下水
1991 (H 3)	上士幌	勢多鉱山		80		金
	剣淵町	元町		800		温泉
1992 (H 4)	美幌町	都橋		1300		温泉
1993 (H 5)	羅白町	幌萌		1014		温泉
1994 (H 6)	知内町	浦元		1002		温泉
1995 (H 7)	壮瞥町	仲洞爺		1100		温泉
1996 (H 8)	七飯町	大中山		102		地下水
	雨竜町	豊里		7		活断層
	雨竜町	豊里		11		活断層
	雨竜町	豊里		30		活断層
	浦白町	札的		44		活断層
	当麻町		調査井	5		土壌汚染
	当麻町		システム井	1		土壌汚染
1997 (H 9)	興部町	緑ヶ丘		1200		温泉
	大野町			23		活断層
	大野町			14		活断層
1998 (H10)	弟子屈町	川湯温泉		1080		温泉

地 学 講 座

北海道の活断層

—その調査のねらいと最近の調査結果から—

北海道立地質研究所 田近 淳

はじめに

平成 7 年兵庫県南部地震の記憶もやや薄れかけてきた昨年, 8 月にはトルコ大地震, さらに 9 月には台湾大地震が発生した. 出現した地表地震断層は大規模であり, 内陸大地震の被害の大きさを改めて示した. これらはプレート境界を構成する活動度の大きな活断層であるが, 活動性の小さな活断層は北海道内陸部にも多数分布する.

北海道でも, 第四紀に活動した断層や褶曲の存在は比較的古くから指摘されていたが(たとえば阪口, 1959 など), 全道的な活断層の分布は, 1976 年から開始した活断層研究会の調査研究によって明らかになった(活断層研究会, 1980). 1981 年からは地質調査所によって 1/50 万活構造図の調査・編纂が開始され, 「札幌」(寒川ほか, 1984), 「釧路」(寒川・山口, 1985) 「旭川」(杉山ほか, 1987), および「網走」(寒川ほか, 1987) が出版された. これとともに, 道内でも個々の活断層に関する露頭の記載や, 詳細な判読図が報告されるようになり(卯田ほか, 1979; 小野, 1980; 山岸・木村, 1981; 柳田ほか, 1985; 岡, 1985; 山岸, 1986; 加藤, 1991; 東郷・小野, 1994; 太田ほか, 1994; など), それらを集大成して「新編: 日本の活断層—分布図と資料」(活断層研究会, 1991) が出版された. しかし, 北海道では古い時代の歴史資料がないことなどから, これらの活動履歴に関する資料は乏しかった. 活断層のトレンチ調査も平成 7 年に北海道教育大学函館校のグループが実施したのが初めてである(鴈澤ほか, 1996).

北海道(総務部/道立地質研究所)は, 平成 5~6 年北海道三大地震および兵庫県南部地震の教訓から, 平成 7 年度から道内の主な活断層の活動性に関する調査を開始した. この調査は, これまで詳細な実態が不明であった道内活断層の活動性を本格的に明らかにしようとするものである. この調査も既に 5 年目を迎えたので, これまでの調査を振り返り今後の課題を探ってみたい.

1. 活断層とその活動性評価

1.1 活断層とは?

活断層は「最近の地質時代(第四紀: 約 170 万年前から現在まで)に繰り返し活動し, 将来も活動すると推定される断層」と定義されている(活断層研究会, 1991). 断層は地下の岩盤がずれ動いたことによってできた破断面であり, この急激なずれ動き(断層運動)によって地震が発生すると考えられている. 地震の原因となって地下にできた断層が「震源断層」であり, 震源断層やそれから派生した断層が, 地表に達して地面に食い違いを生じた場合には, 「地表地震断層」と呼ばれている(図-1).

現実には, 現在活断層と呼ばれているもののほとんどは空中写真などの地形判読によって抽出されたものである. したがって, 活断層と呼ばれている断層は, 「地形判読が可能な程度の過去から繰り返して活動し, 将来も活動すると推定される地表地震断層」ともいえる. このようなことなどから, 最近の活断層の定義には, 年代をより新しい範囲に限定したり, 地形的な要素を加える場合が多い. 例えば国土地理院(1996)の都市圏活断層図の凡例では, 活断層は「最近数十万年間に, 概ね千年から数万年の周期で繰り返し動いてきた跡が地形に現れ, 今後も活動を繰り返すと考えられる断層」とされている. なお, 地表地震断層と震源断層の相互の関係はまだ判らないことが多い. 今後, これらの関係が具体的に明らかにされることによって, 地震学者・地形学者・地質学者の用いる用語が統一されてゆくようになるだろう.

1.2 地表地震断層と地震被害

それでは, 地表地震断層が現れるような地震はどのような地震であろうか. 地表地震断層が現

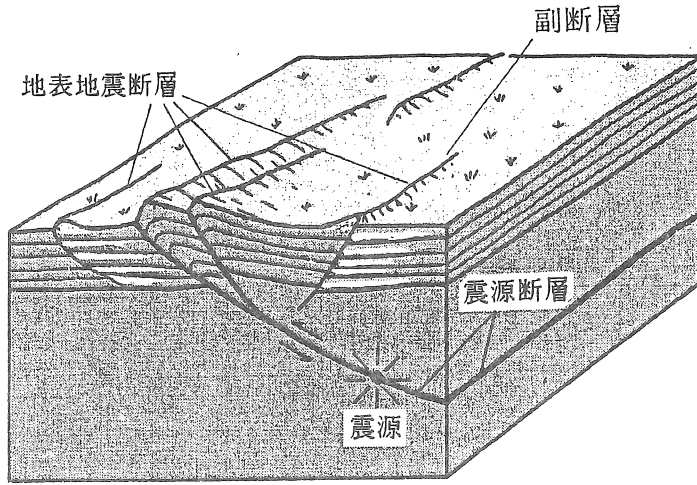


図-1 地表地震断層の成因 (池田ほか, 1996)
[松田, 1995 を改変]

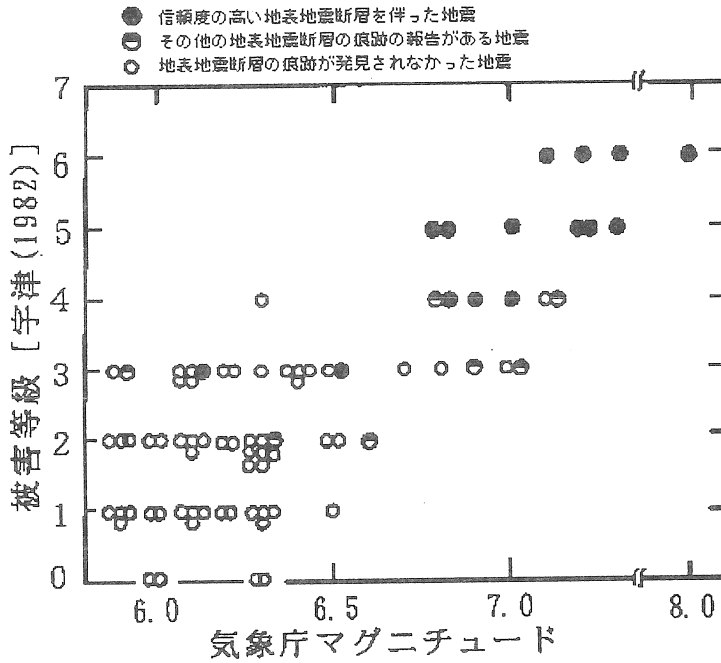


図-2 マグニチュード毎の被害等級と地表地震断層の関係 (武村による: 地震学会ホームページより引用)

被害等級[宇津(1982)]

- 1: 壁や地面に亀裂が生じる程度の微小被害。
- 2: 家屋の損傷、道路の破損などを生じる程度の小被害。
- 3: 複数の死者または複数の全壊家屋が生じる程度。
- 4: 死者20人以上または家屋全壊1千戸以上。
- 5: 死者200人以上または家屋全壊1万戸以上。
- 6: 死者2千人以上または家屋全壊10万戸以上。
- 7: 死者2万人以上または家屋全壊100万戸以上。

れた地震としては、最近でも、1995年兵庫県南部地震（野島断層）、1999年トルコ大地震（北アナトリア断層の一部）、1999年台湾集集地震（チェルンブー断層）などの、極めて大きな被害を出した内陸地震である。日本の内陸の被害地震におけるマグニチュードと、地表地震断層の出現および被害との関係（図-2：地震学会ホームページ）をみると、M6.8以上で被害等級が急激に大きくなり、そのような地震では例外なく地表地震断層が確認されている。また、M6.5以下では、1998年岩手山南麓雫石の地震（M6.1）などのいくつかの例を除いて、地表地震断層はほとんどみられず、被害も小さくなる傾向が認められる。

ところで、このような内陸地震でも地震被害の主要な原因は強い震動であり、地表地震断層によるずれによる直接の被害は相対的に小さいといわれている。地表地震断層のずれによる被害としては、横ずれ断層では断層や周辺の亀裂の直上に限られる。また逆断層では上盤側、例えばチェルンブー断層のような大規模な逆断層でも、断層のずれによる直接の被害は幅100m程度の範囲といわれており、被害面積としては小さい。

むしろ、広い範囲に広がる地震被害の原因は強い震動である。地表地震断層ができるような浅い地震では地表に強い震動が直接伝わることになる。また、マグニチュードが大きいということは、地下の震源断層の大きさも、ずれの量も大きいということである（逆にこのために地表地震断層ができやすいということにもなる）。断層から離れていても軟弱な地盤の上では揺れが大きく被害は増加するだろう。さらに神戸の「震災の帯」で、注目されているように、その深部の地盤構造によっては一層大きな震動を引き起こす可能性がある。

このように地表地震断層が出現するような内陸の地震では震動も強く、大きな被害を出し易い傾向があり、その活動性について把握しておくことは地域防災を考える上で重要である。ここに活断層調査がもつ防災上の意味がある。

1.3 活断層を探す

地形に現れた活断層を探す場合には、空中写真による地形判読が最も重要な手法である（活断層研究会、1991）。具体的には、地形的に連続する線状模様（リニアメント）を抽出し、同時代にできたひと続きの地形面や地形線を基準として、それらがリニアメントの両側でくいちがっていることを確かめる。このような断層変位の有無を判断する基準は変位基準地形と呼ばれ、段丘面、段丘崖・河谷の谷筋・稜線、などを使う。これら基準地形の年代は第四紀なので、基準地形がくいちがっていることは、そのリニアメントが活断層であることを示す。また、断層運動に伴う特有の断層変位地形（断層崖、低断層崖、逆向き低断層崖、撓曲崖、地溝、地壘、横ずれ尾根、横ずれ谷、閉塞丘など）が、地形的リニアメントに沿って認められるかどうかによって、活断層の認定を行うことも多い。

それらのリニアメントに沿う露頭で実際に活断層の露頭が発見されれば、さらに確実な認定ができるであろう。ただし、このような場所では露頭も少なく、露頭があったとしても地すべり構造などのような断層と誤り易い構造も存在するので注意を要する。

なお、空中写真判読による認定においては、基準地形の明瞭さや性質の確かさに応じて活断層の存在の確かさ、即ち確実度を以下のように3区分している（活断層研究会、1991）。

確実度Ⅰ：基準面の変位やその累積性から活断層であることが確実なもので、断層の位置・変位の向きがともに明確であるものをいう。

確実度Ⅱ：活断層であると推定されるもので、位置・変位の向きも推定できるが、明瞭な基準地形がない場合など、確実度Ⅰと判定できる決定的な資料に欠けるもの。

確実度Ⅲ：活断層の可能性はあるが、変位の向きが不明であったり、他の原因（侵食による崖や古い断層に沿う侵食作用）によってリニアメントが形成された疑いが残るもの。

1.4 活断層の活動度

活断層の過去における活動の程度を活動度と呼ぶ。活動度は断層の平均変位速度(S)から次のように4区分されている（活断層研究会、1991）。

活動度 AA：S = ~10 m/kyr

活動度 A：S = 10~ 1 m/kyr

活動度 B：S = 1~ 0.1 m/kyr

活動度 C：S = 0.1~ 0.01 m/kyr

平均変位速度(S)は、基準地形面や地層の、断層によるくい違いの量(変位量)を、その形成時から現在までの年数で除した値であり、上のようにm/1,000年(m/kyr)やmm/年で表現される。変位基準の年代決定のためには、広域テフラや放射年代を用いた地形面の地形学的な編年が必要になる。また、変位量は現地での測量や精密な地形図の読図から求められる。平均変位速度は、地震の発生間隔や将来の地震活動を推定する重要な指標である。

1.5 長期的な活動予測

活断層の将来の活動性を評価するためには、一般に断層活動の一樣継続性と一樣反復性の考えをもとに、過去の活動履歴から将来の活動の規模や時期を予測する方法がとられる(垣見, 1995; 池田ほか, 1996; に詳しい)。具体的には、地形地質調査やトレンチ調査により、一回の活動で動く断層の長さや変位量、活動間隔、および最新活動時期を明らかにする必要がある。

しかし、様々な制約からこれらの値が求められない場合、しばしば使われるのは「経験則」である。松田(1975)によれば、地表地震断層の断層線の長さL(km)と1回の地震に伴う断層変位量D(m)は、地震のマグニチュードMとの間に次のような統計的な関係をもっている。

$$\log L = 0.6 M - 2.9$$

$$\log D = 0.6 M - 4.0$$

地形地質調査やトレンチ調査から得られるLまたはDの値を、上式に代入することによってMの概略値を計算できる。

地形的または地質学的に一回の変位量(D)とその変位基準の年代が決定できれば、断層運動の平均変位速度(S)を推定できる。従って、断層活動の一樣継続性と一樣反復性の考えに基づいて、断層が繰り返し活動する際の平均的な活動間隔(R)は、次の式により見積ることができる。

$$R = D / S$$

また、これらの式を組み合わせた次式により、Dが分からなくても、LとSから活動間隔Rを推定することができる。

$$R = 0.0794 L / S$$

この方法はあくまでも、データが不十分な場合の推定法であり、誤差も大きいといわれる。トレンチ調査などにより、イベント(地震)を解読し、その時期から活動間隔と最新活動時期を特定して、次の地震までの時間の長さを予測することが重要である。

なお、松田(1995)は、活動間隔のバラツキの大きさを検討し、最新活動期(t_0)に対する平均活動間隔(R)の比から、近い将来動く可能性の高い断層を抽出することを試み、 $E (=t_0/R) \geq 0.5$ の活断層を要注意断層と呼ぶことを提唱している。最近では、詳細な調査によって活動間隔と最新活動期の得られた断層について、予測された地震の発生確率の算定が行われるようになり、それによる長期危険度評価が試みられている。既に、本州のいくつかの活断層では、今後30年、50年、100年以内の発生確率が数値として公表されている(地震調査研究推進本部のホームページ)。

2. 北海道による活断層調査

北海道(総務部防災消防課/道立地質研究所)では、1995(平成7)年度から1つの断層帯について概ね3年間の計画で調査を実施している。活断層の活動性を評価するためには、断層の運動形態、断層の長さや一回の活動の変位量、活動間隔、そして最新活動時期を明らかにしなければならない。これらの決定のためには時間軸が必要であり、変位基準となる地形面や地層の詳細な年代の解明が不可欠である。即ち、1年次は空中写真判読、地形地質踏査によって断層の分布・規模(長さ)、地形面や第四紀層の年代と変位量の概略を把握して地形的な平均変位速度を求めるとともに、物理探査やボーリング調査を行って断層とその周辺の地下構造を把握する。さらにこれらをもとに、トレンチ等詳細調査の実施候補地を選定する。2年次は、ボーリング調査や試掘ピット調査を含む詳細地質調査により調査地を決定して、トレンチ調査や群列ボーリング等を行い、活動履歴(活動時期や1回あたりの変位量)を明らかにする。最終の3年次には、以上の結果を総合的に解析し、分布を活断層図に示すと共に長期的な予測を試みようとするものである。

この事業は、平成 8 年度から科学技術庁の交付金対象事業となった。すでに増毛山地東縁断層帯（平成 7～9 年度）と函館平野西縁断層帯（平成 8～10 年度）の報告書（広田ほか，1998；田近ほか，1999）が公表されており，現在，石狩低地東縁断層帯（平成 10～12 年度）と当別断層帯（平成 11～13 年度）の調査を実施中である。平成 13 年度からは十勝平野断層帯を調査する予定である。

3. 北海道の活断層

3.1 概要

活断層研究会（1991）によれば，道内には確実度Ⅰの断層として 62 断層が分布する。また，これらの活動度は，A 級が 2 断層，B 級が 38 断層，そして C 級が 22 断層である。確実度Ⅱ以上の活断層を図-3 に示した。

周知のように北海道は東北日本弧と千島弧の会合部にあたり，現在の地殻変動はそれぞれの島弧の活動特性とその会合部としての特性をもっている。

北海道の西部は東北日本弧にあたる。東北日本弧の内帯大陸斜面にあたる日本海東縁部には延長の長い活断層が多数分布する。これらの一部あるいは全体がユーラシア（アムール）プレートと北米（オホーツク）プレートの収束域と考えられている（例えば，瀬野，1987）。東北日本内帯陸上にあたる渡島半島では，黒松内-函館低地帯縁辺部に断続的な B 級活断層帯があり，西傾斜逆断層が卓越する。これらの南方には津軽半島東縁の断層帯がある。

北海道東部から中央部の太平洋側は，西に移動する千島弧前弧（外帯）およびそれらが東北日本弧に衝突している地帯と考えられる（例えば，Kimura et al., 1983）。その前縁にあたる石狩低地帯西縁部や，日高沿岸，富良野盆地，十勝平野中央部には西に凸な形状をした分布を示す B～C 級活断層帯が多い。なお，図-3 には陸棚から千島海溝にかけてのデータが表示されていないが，実際にはかなりの活断層が存在しているようである。千島弧の火山弧～背弧に相当する阿寒-知床，網走湖岸-網走沖にも B（～A）級の活断層帯が分布する。阿寒-知床は千島弧前弧の西進に伴う隆起帯とみられており，活断層は平野側の落ちた逆断層と推定されている。

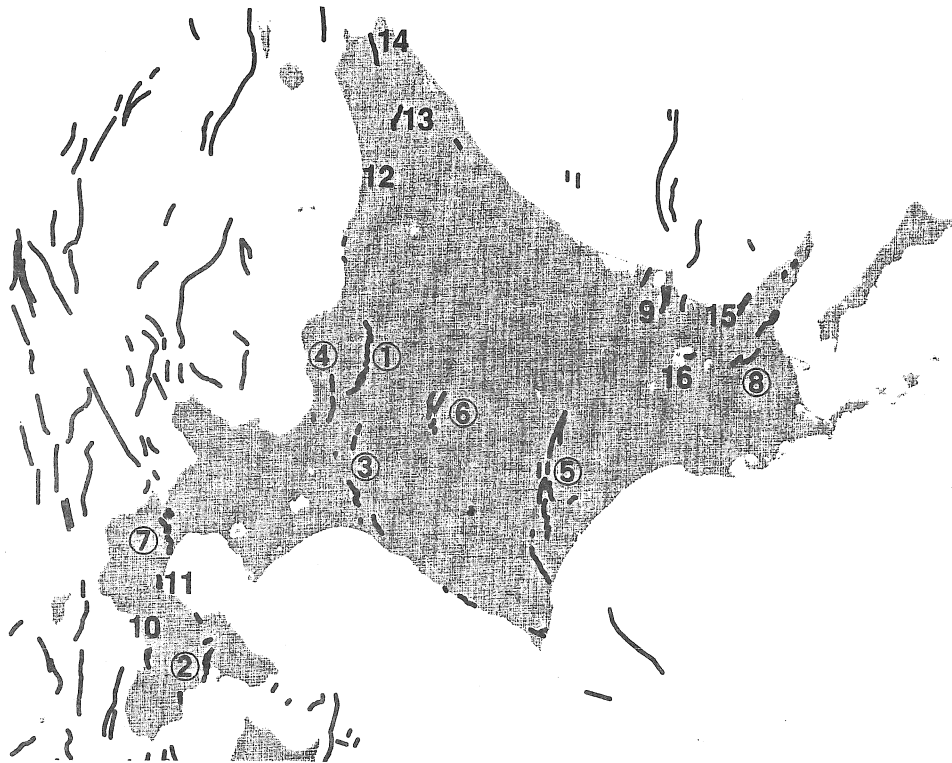
東北日本弧と千島弧の境界域である石狩低地帯の北部には，西傾斜逆断層を主とする当別断層や増毛山地東縁断層帯が分布する。これらの北方には，問寒別，幌延といった南北に延びる活断層が点々と見られる。

3.2 最近の地殻変動と活断層の分布

最近の地殻変動に関して，北海道のテクトニックな枠組みにも関連する新たな知見が報告されている。それは 1994 年から国土地理院が展開した GPS 連続観測網の整備によって得られた地殻変動のデータである。これによって，これまでの三角測量結果を用いた変位・歪場の検討（多田・木村，1987；橋本・多田，1988）に加え，非常に短期間の広域的な地殻の水平変動ベクトルを把握することができるようになった（笠原・高橋，1999；Takahashi et al., 1999；図-4）。これらによれば，北海道では，その西進に対応する千島弧前弧域の西～北西向き変位が非常に明瞭であり（2cm/y），石狩低地帯は東西変位の収束帯とみなされる。また，原因は不明であるが渡島半島は西向き変位が比較的大きく，それに対して，増毛山地より北の日本海側内陸では明らかな東向きの変位がある。この東向き変位は，南サハリンやロシア沿海州の東向き変位とともに，アムールプレートの直接の動きと推定された。このことから，従来，道北沖の日本海を通ると考えられてきたアムール-オホーツク両プレートの力学的な収束帯は道北地域陸上を通る可能性が大きいと考えられるに到っている。

北海道周辺の浅い地震活動の分布をみてみよう（図-5）。プレートの収束に関連した太平洋沿岸や日本海東縁南部の地震帯のほかに，内陸でも地震の集中しているところがあることがわかる。千島弧や東北日本弧の火山弧～背弧にあたる部分，千島弧・東北日本弧・太平洋プレートの衝突帯である浦河を中心とした日高山脈とその前縁，さらに石狩低地帯から北の道北日本海側からサハリン南西部にいたる地帯である。

内陸活断層の分布は，これらの地球物理学的のデータに大局的に調和している。石狩低地帯東縁断層帯はまさに東西変位の収束帯に位置する。十勝平野断層帯付近は，既に三角測量の結果から得



	調査対象断層	実施期間	确实度	活動度	総延長	備考
①	増毛山地東縁断層帯 (樺戸・和断層)	H7-9 終了	I - II	B	52km	国の調査対象断層 周辺人口20万人以上
②	函館平野西縁断層帯 (函館平野西縁断層)	H8-10 終了	I - II	B	27km	国の調査対象断層 周辺人口20万人以上
③	石狩低地東縁断層帯 (栗沢・岩見沢断層) (馬追・泉郷・嶮淵断層)	H10-12 調査中	I - II	B-C	60km	国の調査対象断層 周辺人口20万人以上
④	当別断層	H11-13 調査中	I - II	B	28 (55) km	国の調査対象断層 周辺人口20万人以上
⑤	十勝平野断層帯 (茂発谷断層)	H13-15 計画中	I - II	B	83km	国の調査対象断層 周辺人口20万人以上
⑥	富良野断層帯 (中富良野ナマコ山断層)	未定	I - III	B	25km	国の調査対象断層 富良野市と周辺
⑦	黒松内断層帯 (白炭断層)	未定	I - II	B	28km	国の調査対象断層 黒松内・長万部町と周辺
⑧	標津断層帯		II - III	B	40km	国の調査対象断層 中標津・標津町と周辺
9	網走湖東岸断層帯		I - II	B	15km	網走市
10	江差断層		I - II	B-C	4-8km	江差町
11	八雲断層		I - II	B	5km	八雲町 (⑦の延長部)
12	築別背斜断層		III	×	23km	羽幌町・初山別村
13	問寒別断層		I - II	B	14km	幌延町
14	幌延断層		II - III	B	23km	幌延町・豊富町・稚内市
15	峰浜断層群		I - II	A	15km	斜里町 (⑧に隣接)
16	弟子屈地震断層				1938年 10km	弟子屈町, 地震断層?

図-3 北海道のおもな活断層 (活断層研究会, 1991ほか)

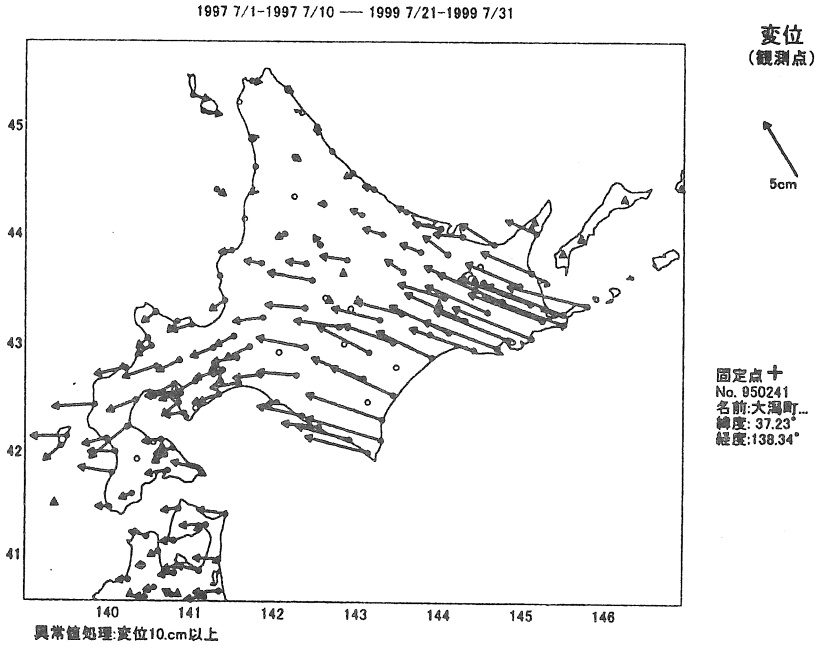


図-4 新潟県大湯固定による北海道内の水平変位ベクトル
(笠原・高橋, 1999)

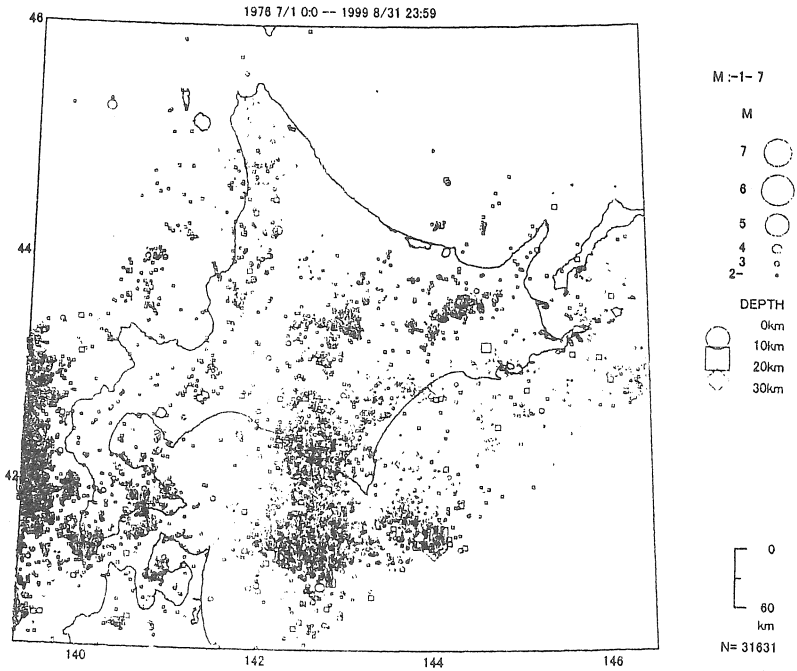


図-5 北海道とその周辺の浅い地震の震央分布
(笠原・高橋, 1999: データは北大地震予知センター)

られた歪分布によって、大きな東西圧縮歪が見られることが指摘されている(橋本・多田, 1988)。規模も活動度も小さいが点々と道北日本海側に見られる活断層帯は、アムール・オホーツク両プレートとの相対運動の一部を解消しているのかもしれない。ただし、増毛山地東縁断層帯や当別断層帯がどちらの影響下にあるのか、また、黒松内-函館の断層帯と渡島半島が伸長場であることとの関係など不明な点が多い。

3.3 主な断層帯の調査結果

① 増毛山地東縁断層帯

増毛(樺戸)山地の東麓の北竜町、雨竜町、新十津川町、浦臼町、そして月形町をとおり、和断層および樺戸断層(セグメント a, c, d)からなる断層帯である(図-6)。近傍では、新十津川町でM5.7(1995年5月)、北側の沼田町でM5.3(1986年11月)の浅い地震が起きている。いずれの断層も東側落ちの撓曲崖として地形面を変位させている。全延長は47km程度であるが、北海道の調査結果では、樺戸断層b(新十津川町中徳富から浦臼町於札内)は存在せず、北側(19.5km)と南側(18km)とは連続しないようである。年代データは不備であるが、地形学的に得られた平均上下変位量は北側の和断層・樺戸断層aで0.2~0.5m/kyr(B級下位)、樺戸断層c-dが0.1/kyr前後(B級下位~C級上位)で、北側でやや活動度が大きいようである。断層の長さや変位量から計算で求めた活動間隔は4,000年~11,000年であるが、他にこれを支持するデータは得られていない。トレンチ調査の結果、5万年前の段丘面は傾動していることが明らかとなったが、完新世の活動の時期は確認されておらず、今後の課題である。なお、完新世の面で明瞭な変位が見られる例が少ないことから、ごく最近では活動していないと推定され、安心はできない。広田ほか(1998)によれば、各断層の特徴は以下のとおりである。

和断層

和断層については、雨竜町牧岡において、T3面(50kaと推定)とされる段丘面に延長1.5kmの撓曲崖とその西方に並走する逆向き低断層崖が認められた。撓曲崖は南-北走向で東に撓み下がっている。平均変位速度は0.2~0.5m/kyrで、活動度はB級となる。この北側の低地面(現河床面)には、断層活動による変形が認められなかった。これより北方では延長2.5km程度の撓曲崖が追跡できるが、さらに北では不明瞭となる。和断層の全延長は6.5~10kmと推定される。

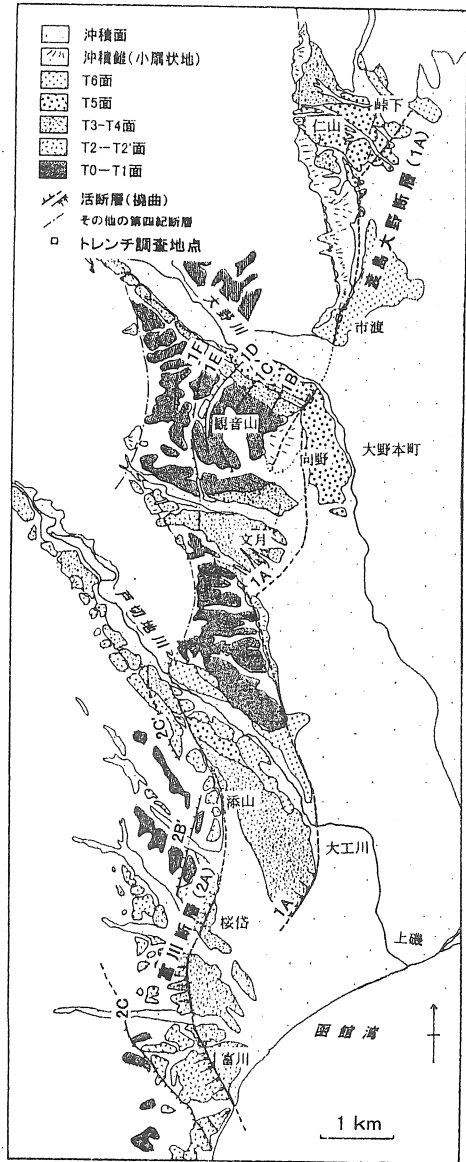
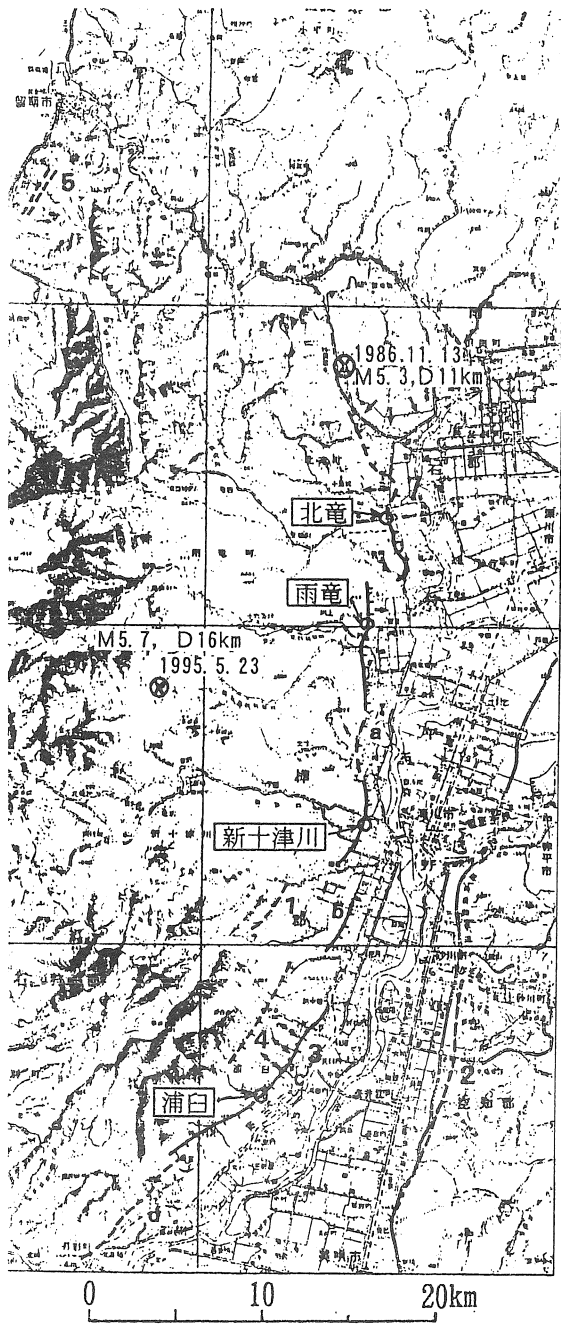
樺戸断層群セグメント a

セグメント a は、雨竜町洲本から新十津川町大和、総富地川付近まで総延長19.5kmの活断層である。北部の雨竜町洲本~新生地区にかけてはT3面ないしT5面(10kaと推定)が東へ撓み下がっている。その南側では三角末端面が延長4kmにわたって連続するが、T6面(7kaと推定)や現河床面に明瞭な変位地形はみられない。その南方の新十津川町大和のT3面とT5面では、背後に逆向き低崖を伴う撓曲崖が認められる。総富地川下流両岸にも撓曲崖が存在し、いずれも不明瞭ではあるが、鮮新統の緩やかな褶曲に対応しているように見える。すべてが連続するとすれば総延長19.5kmとなる。セグメント a の北部の雨竜町豊里で実施したトレンチ調査によって、T3面の撓曲が確認された。しかし、活動間隔と最新活動期に関するデータは得られなかった。

樺戸断層群セグメント c-d

セグメント c は、浦臼町於札内から月形町札比内にかけて分布し、全延長は12kmである。北東-南西走向の撓曲崖がみられ、T3面・T2面(150kaと推定)・T1面が南東に撓み下がっている。T3面およびT2面では、0.09m/kyr程度の変位速度が得られた。札の内川下流のT6面(7kaと推定)では約1mの撓みが計測された。仮に、これを1回の変位量として、平均変位速度(0.09m/kyr)から、断層の活動間隔を求めると約11,000年となる。[なお、札の内川下流左岸のT6面で行われたトレンチ調査では、当初、2回の活動歴が推定された。しかし、逆断層とされたものはチャネル壁であり、これらのイベントの確実性はないと考えられる。]

セグメント d は、月形町北農場から知来乙にかけての山麓線にやや不明瞭な撓曲崖がみられる。また知来乙から五耕地山にかけてはT4面が南南東に撓曲している。この撓曲崖は、セグメント c の東側へ連続するようにも見え、連続する場合には両セグメントの全長は延長18kmとなる。



②函館平野西縁断層帯

函館平野西縁断層帯は、北海道西部の亀田郡七飯町北西部から大野町を経て、上磯郡上磯町まで南北に延びる、渡島大野断層と富川断層からなる全長約 22km の活断層帯である(図-7)。なお、これらの断層は渡島半島北部の黒松内低地帯から噴火湾岸をとって本地域に至るより大きな活断層帯の一部を構成している。調査の結果、この断層帯は 5,000~9,000 年の間隔で、M6.6~7.2 の地震を発生させるような活動をしていたことが判明した(田近ほか, 1999)。最も新しい活動はおよそ 7,800~8,800 年前でありそれ以後は起こっていない。いわゆる満期の要注意断層である。なお、函館市ではこの結果を地域の地震防災計画に反映させるために、函館平野西縁断層帯が活動した場合の被害想定を実施している。

渡島大野断層

渡島大野断層(1A)は、断層帯の北部と中央部を占める主要セグメントである。七飯町峠下、仁山から大野町市渡、向野、文月を経て上磯町大工川、押上付近まで、NNE-SSW から NNW-SSE 方向に走向を変化させながら約 12km の長さで連続する。西側が上がり、東側が落ちた逆断層であり、横ずれを示す現象は見られない。渡島大野断層の西側には、逆断層運動に伴ってその背後に形成したバックスラストとみられる逆向き低断層崖が配列しており、特に大野町八郎沼一観音山周辺に多い。これを八郎沼断層群(1B-1F)とよぶ。

渡島大野断層の平均変位速度は、従来、上下成分で 0.2~0.9m/kyr 以上(B級)とされてきたが(活断層研究会, 1991; 太田ほか, 1994)、今回の調査によって 0.1~0.3m/kyr、おおむね 0.2m/kyr (B級下位)であることが明らかになった(図-8)。また、市渡地区 3 箇所でのトレンチ調査の結果、最新活動期は 7,800y. B.P. ~8,800y. B.P. であり、断層活動は最短で 5,000~6,000 年、およそ 7,000~9,000 年の間隔で起こっていることが明らかになった(図-9)。また、一回の活動による上下変位量は 1~1.5m で、断層の長さや実変位量などから計算される M は 6.6~7.2 である。

富川断層

富川断層(2A)は、渡島大野断層の南端の西側、上磯町添山から、桜岱を経て富川までつづく陸上部の長さ 5.5km の活断層である。富川断層の南部は函館湾に延びており、海域を葛登支岬沖付付近まで連続する可能性がある。この場合には長さ約 15km となる。西上がりの逆断層と考えられるが、断層は地表近くまで達しておらず、地表では撓曲帯としてとらえられる。主断層の西側には、主断層の活動に伴って副次的に形成されたとみられる添山断層(2C)や、宗山川断層(2B)、館野断層(2C)などの基盤の層理面に沿って形成された逆断層が分布し、これらに沿って緩やかな活褶曲が認められる。平均変位速度は、変位地形から概ね 0.2~0.3m/1,000 年(B級下位)と推定される。10 万年前のテフラをのせる段丘を変位させていることから、それ以降に活動していることは確実であるが、活動履歴の詳細は不明である。

この断層は渡島大野断層の山側に一部並走して分布しており、函館平野西縁断層帯の全長は 22km 程度となる。断層の長さから計算される M は 7.1 である。したがって全体が活動しても M は 7.2 を越えないと考えられる。

③石狩低地東縁断層帯

石狩低地東縁断層帯は、石狩低地帯の東、岩見沢一栗沢丘陵、馬追丘陵の西麓に南北に分布する断層帯であり、全延長は約 60km である。北から岩見沢断層、栗沢断層、泉郷断層、馬追断層、および嶮淵断層から構成される(図-10)。いずれも東側の落ちた逆向き低断層崖であり、この西側の地形面は西が下がる撓曲~傾動がみられる。最近の石油資源探査のデータによれば、低地帯から馬追丘陵の地下には水平~低角のスラストが発達し、丘陵部の地下はそれらのスラストシートがスタックしてデュプレックスをなしていることが判ってきた(石油公団, 1997)。地表部の活断層(低断層崖)は、東から西へのスラスト運動の際に反対側に乗り上げるバックスラストと考えられる(大津, 1999)。したがって、これらの地表活断層の動きは、ブラインドスラストの活動を直接反映しているとみなして良い。

石狩低地東縁断層帯については現在調査を実施中であり、昨年度までの結果(北海道, 1999)と最近のトピックを紹介するが、あくまでも最終的な結論ではないことをお断りしておく。

岩見沢断層

岩見沢市内にみられる北-南に延びる 2 列の逆向き低断層崖であり、長さは約 6km である。こ

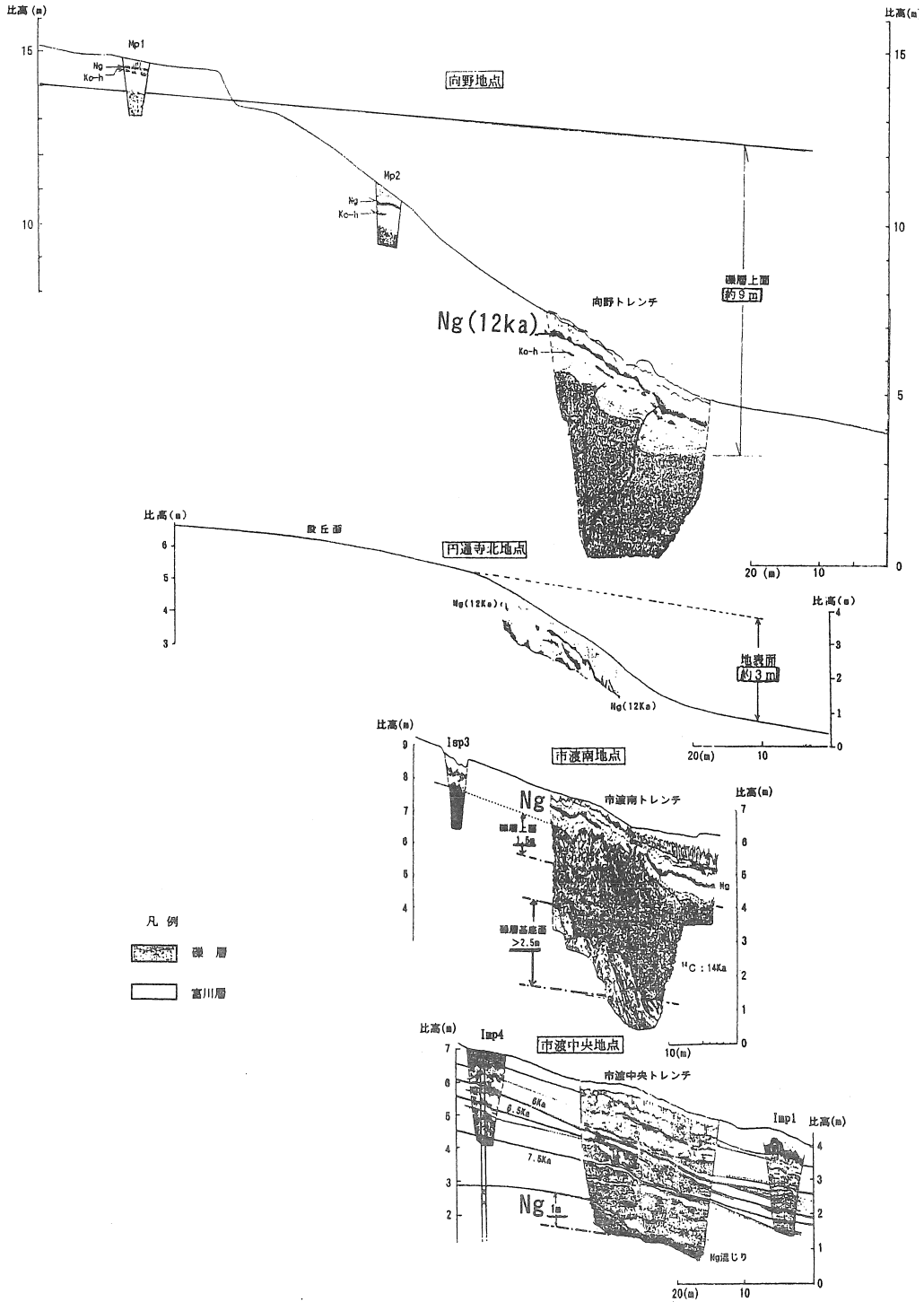


図-8 渡島大野断層の上下変位置

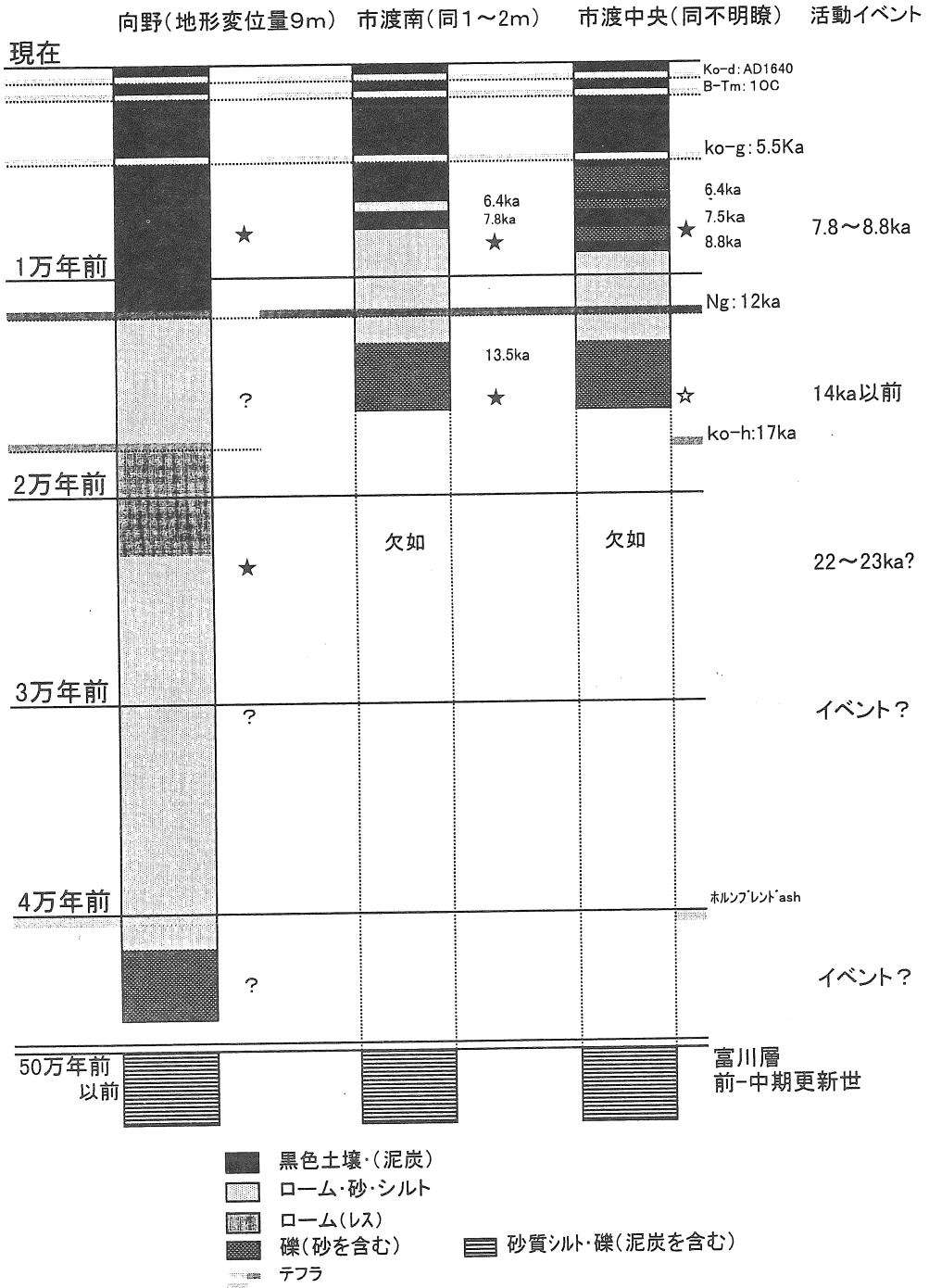


図-9 渡島大野断層トレンチの層序と活動イベント

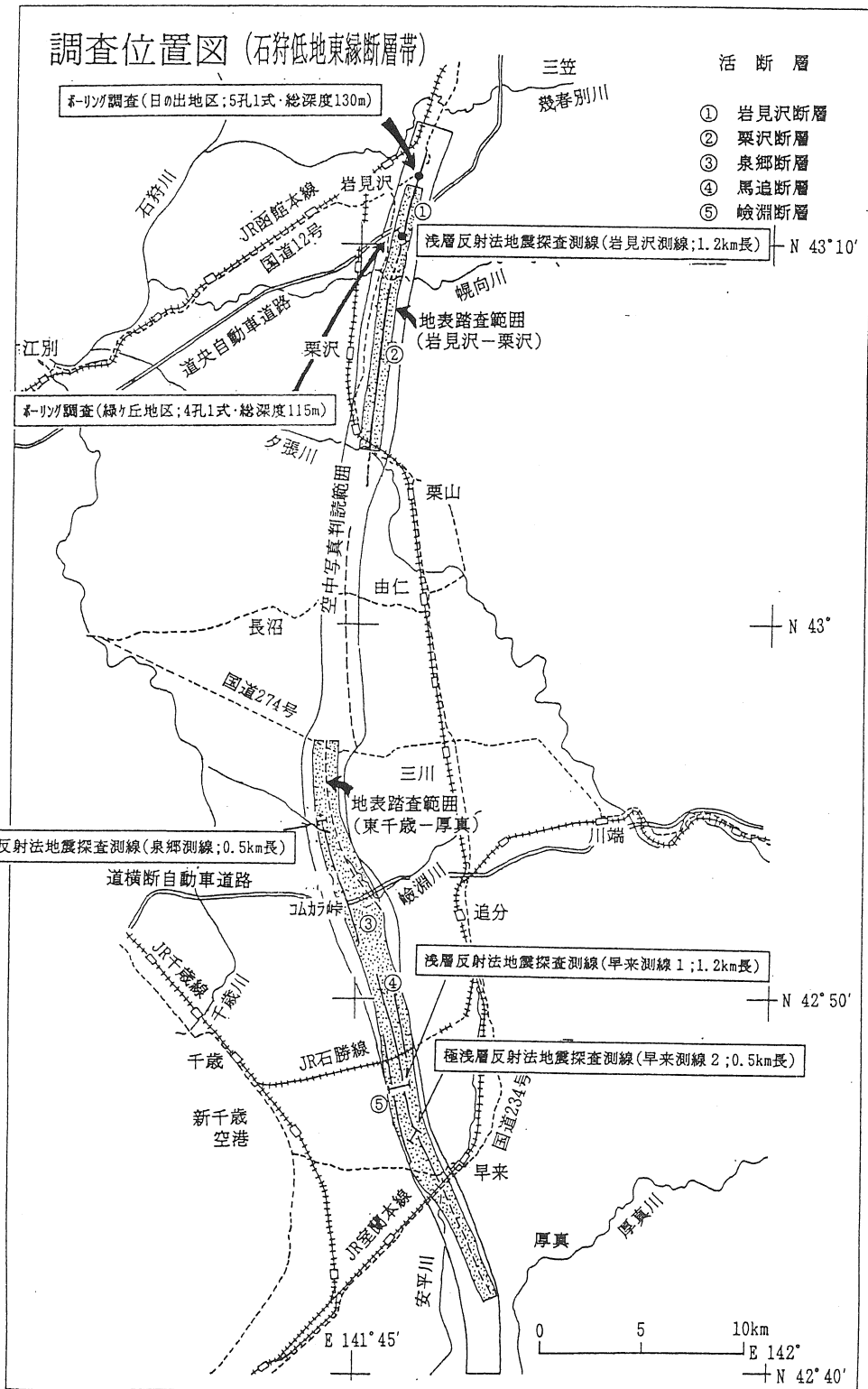


図-10 石狩低地東縁断層帯調査位置図 (北海道, 1999)

の崖の西側の面は西に傾動している。年代データは不備であるが、低断層崖の平均変位速度は $0.02 \sim 0.06\text{m/kyr}$ とC級下位と見られる。反射法地震探査、ボーリングおよびピット調査の結果、低断層崖をつくる断層は、西傾斜の第三系の層面すべり断層であることが判った。岩見沢市日の出では更新統の基底に約10mの変位が認められ、5,320y.B.P.の木片を含む沖積層には変位が見られていない。したがって過去5千年は活動していないことになる。この断層の分布域は古い地形面と、沢沿いの沖積面であり、過去1~2万年の活動性を解明するためには別の手法を考慮する必要がある。

栗沢断層

栗沢町由良から栗丘まで南北に延びる東落ちの逆向き低断層崖であり、長さは約6.5kmである。岩見沢断層と同様に20~12kaと推定される地形面も西に傾動している。南方の北長沼付近の段丘面にもこれに対応するような撓曲変形があり、ここまで連続すると15kmを越える。年代データは不備であるが、低断層崖の平均変位速度は $0.02 \sim 0.07\text{m/kyr}$ とC級と見られる。栗丘では、中部更新統(?)の基底に約5.5mの変位が認められ、断層は西傾斜の第三系の層面すべり断層である。活動性に関しては岩見沢断層と同様の問題が残っている。

泉郷断層

長沼町南長沼から千歳市泉郷、コムカラ峠を経て自衛隊東千歳駐屯地東方まで、北北西-南南東に延びる東落ちの逆向き低断層崖であり、長さは約9kmである。断層の西側の地形面は西に撓曲~傾動している。地形から求めた平均変位速度は約 0.04m/kyr でC級である。泉郷では本年度トレンチおよびピット調査が実施された。それらによれば、最新活動期は約5,000~6,000年前の可能性が大きい。

馬追断層

千歳市東千歳駐屯地東方から早来町富岡、新栄付近まで、北北西-南南東に延びる南西に張り出した、東落ちの逆向き低断層崖であり、長さは12-15kmである。断層の西側の地形面は西に撓曲~傾動している。地形から求めた平均変位速度は約 0.03m/kyr でC級である。富岡では本年度トレンチおよびボーリング調査が実施された。それらによれば、最新活動期はTa-cテフラ(2.5~3ka)降下以前であり、Ta-dテフラ(8-9ka)降下後、2回のイベントが推定される。この2回の垂直変位量は約3.5mあり、予想外に活動的であったことが判りつつある。詳細な年代データが出れば、泉郷断層との関係についても新たな知見が得られる可能性がある。

嶮淵断層

早来町富岡付近に馬追断層の西側に平行して延びる東落ちの逆向き低断層崖であり、長さは4kmである。断層の西側の地形面は西に撓曲~傾動している。地形から求めた平均変位速度は約 0.02m/kyr でC級である。馬追断層との関係が重要であるが、それに関するデータは得られていない。

おわりに--今後の課題

この5年間の活断層調査のなかで、調査対象や調査条件の問題から今後に課題を残すものも多い。函館平野西縁断層帯についてはかなりの精度で解析が可能であった。これは、第1に断層が様々な年代の地形面を切って発達すること、言い替えると断層の活動性が、地表の侵食・堆積作用を上回る程度に活動的であったことによる。第2に基準地形や基準堆積物の編年の指標となるテフラが多く、特に活動性を評価するうえで重要な駒ヶ岳や濁川カルデラなどの数万年より新しい時代のテフラが適度に存在したことである。このことによって平均変位速度の精度が上がるとともに、調査の各段階で精度のよい調査ポイントの設定が可能となった。これは、石狩低地東縁断層帯南部の場合も同様である。

これに対して、増毛山地東縁断層帯では、調査期間が他断層帯に比べて短かったこともあるが、上述の2点において条件が厳しかった。調査時に指標テフラは全く発見されていない(その後の調査や、現在実施中の当別断層調査の過程でToyaやAso4が発見されつつある)。また、リニアメントが古い地形面に発達する活動度の小さな断層では、堆積物の存否が解析結果に直接かわる。岩見沢断層の例のように、リニアメント沿いに5,000年より新しい沖積層と10万年以前の面しかない場合には、その活動性を精度良く求めるためには工夫が必要である。幸いにも、調査

の初期に比べて最近では様々な手法の調査が可能となってきた。また、従来とは異なる発想の調査ポイント設定などによって克服できるかもしれない。

一方、今後調査しなければならない断層帯も数多く残っている。現在は都市圏近傍を主要なターゲットに調査を進めているが、3.2 で述べたような事実からすると、これまであまり注目されていない断層についても一通りの調査を検討する必要がある。

引用文献・参考文献

(インターネットHP)

日本地震学会：<http://www.soc.nacsis.ac.jp/ssj/naifuru/vol8>

北海道立地質研究所<http://www.gsh.pref.hokkaido.jp/>

地震調査研究推進本部(科学技術庁) <http://www.sta.go.jp/jishin/jishin.html>

(文献)

- 雁澤好博・真方 昇・紀藤典夫(編)(1996) 西南北海道の地震・火山災害。北海道教育大学函館校, 138p.
- 橋本学・多田堯(1988) 北海道地方の水平変動とテクトニクス。地震, 41, 29-38.
- 広田知保・田近 淳・岡 孝雄・岡崎紀俊・平川一臣・伏島祐一郎(1998) 北海道活断層図 No.1 増毛山地東縁断層帯解説書。65p.
- 北海道(1999) 平成10年度地震関係基礎調査交付金 石狩低地東縁断層帯に関する調査 成果報告書。223p.
- 池田安隆・島崎邦彦・山崎晴雄(1996) 活断層とは何か。東京大学出版会, 228p.
- 笠原稔・高橋浩晃(1999) 最近の地殻変動からみた北海道のテクトニクス。月刊地球号外 No.27, 194-199.
- 垣見俊弘(1995) 古地震研究の歩み—古地震から大地震の再来を予測する。古地震を探る, 古今書院。
- 加藤茂弘(1991) 日高地方西部の活断層。活断層研究, No.9, 11-18.
- 活断層研究会(1980) 日本の活断層, 分布図と資料。東京大学出版会。363P.
- 活断層研究会(1991) [新編] 日本の活断層, 分布図と資料。東京大学出版会。437P.
- Kimura, G. et al.(1983) Collision tectonics in Hokkaido and Sakhalin. In M.Hashimoto and S.Uyeda (eds): Accretion tectonics in the circum-Pacific Region, Terrapub.123-134.
- 国土地理院(1996) 都市圏活断層図Ⅰ札幌地区。日本地図センター。
- 松田時彦(1975) 活断層から発生する地震の規模と周期について。地震, 28, 269-283.
- 松田時彦(1995) 活断層。岩波書店, 242p.
- 太田陽子・佐藤 賢・渡島半島活断層研究グループ(1994) 函館平野とその周辺の地形—特に西縁の活断層に関連して。第四紀研究, 33, 243-259.
- 大津 直(1999) ブラインドスラストに関連したバックスラスト。地質学会106年会演旨, 86.
- 岡 孝雄(1985) 北海道天北・間寒別構造盆地のネオテクトニクス。活断層研究, No.1, 19-28.
- 小野有五(1980) 日高山脈周辺の活断層について。筑波大学水理実験センター報告, 4, 41-54.
- 阪口 豊(1959) 北海道の新しい地質時代の地殻運動。地理学評論, 32, 401-431.
- 寒川 旭・衣笠善博・垣見俊弘(1984): 50万分の1活構造図「札幌」。地質調査所。
- 寒川 旭・水野清秀・山口昇一(1987) 50万分の1活構造図「網走」。地質調査所。
- 寒川 旭・山口昇一(1985) 50万分の1活構造図「釧路」。地質調査所。
- 石油公団(1997) 平成8年度基礎試錐「馬追」地質検討会資料。61p.
- 瀬野徹三, 1987 日本付近の新プレート境界と50万年前の変動。科学, 57, 84-97.
- 杉山雄一・粟田泰夫・秦 光男(1987) 50万分の1活構造図「旭川」。地質調査所。
- 多田堯・木村学(1987) 千島孤南西端における衝突現象と地殻変動。地震, 40, 197-204.
- Takahashi, H. et al.(1999) Velocity field of around the Sea of Okhotsk and Sea of Japan regions determined from a new continuous GPS network data. Geophysical Res.Letters, 26, 2533-2536.
- 田近 淳・大津 直・岡崎紀俊・鈴木隆広・平川一臣・伏島祐一郎(1999) 北海道活断層図 No.2 函館平野西縁断層帯活断層図とその解説。65p.
- 東郷正美・小野有五(1994) 十勝活断層系およびその活動特性について。法政大学多摩研究報告, 9, 1-14.
- 卯田 強・木村学・会田信行・外崎徳二(1979) 樽前降下軽石層を切る活断層。地球科学, 33, 304-307.
- 山岸宏光・木村学(1981) 黒松内低地帯の活断層露頭。地球科学, 35, 94-97.
- 山岸宏光(1986) 北海道のいくつかの活断層露頭。
- 柳田 誠・平川一臣・大内 定・貝塚爽平(1985) 富良野盆地周辺の活断層と金山付近の活褶曲。地理学評論, 58A, 255-265.

第38回 試験研究会講演資料集

発行 平成12年3月7日

編集 試験研究会

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>
